



## รายงานวิจัย

### เรื่อง

การพัฒนาชิ้นส่วนวัสดุผงอัดขึ้นรูปที่ผ่านการใช้งานกลับมาใช้ใหม่  
Recycling of tools Scrap

### คณะผู้ทำวิจัย

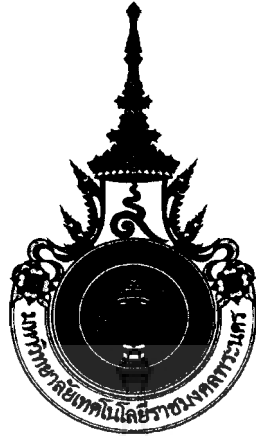
1. นายสหรัตน์ วงษ์ศรีษะ
2. นายสิงห์แก้ว ปือกเท็ง
3. นายคมพันธ์ ชมสมุทร

รายงานวิจัยนี้เป็นการวิจัยสาขาวิชาการ กลุ่ม สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปีการศึกษา 2552



## งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาชิ้นส่วนวัสดุผงอัดขึ้นรูปที่ผ่านการใช้งานกลับมาใช้ใหม่

หัวหน้าโครงการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ

ผู้ร่วมวิจัย นายสิงห์แก้ว ปือกเท็ง

นายคมพันธ์ ชมสมุทร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปีงบประมาณ 2551

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการ Recycled เศษโลหะแข็ง (hard materials) ชนิดความแข็งสูง (high hardness) และเป็นเศษโลหะ(cemented carbide) ที่ผลิตด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป (press formed) และอบบด(sintering process) ได้แก่ เศษโลหะซีเมนต์คาร์ไบด์ ซึ่งมีส่วนผสมของ ทังสเทนคาร์ไบด์ โคบอลต์ ซิลิกอน ไททาเนียม และโลหะอื่น ๆ งานวิจัยมีเป้าหมายเพื่อ recovery โลหะทังสเทน ให้กลับมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการผลิตได้อีกครั้งหนึ่ง โดยเริ่มจากการทำความสะอาดเศษโลหะ การบด(Ball milled) เพื่อลดขนาดเศษโลหะจากความยาว 12-25 มม. ความกว้าง 10-15 มม. และความหนา 2.5 – 8.0 มม. ให้ขนาดเล็กลง จากนั้นแยกสลาย (Disintegrated) ด้วยกระบวนการเคมีไฟฟ้า ต่อจากนั้นเป็นการคัดกรองผงโลหะ ทำความสะอาด การอบให้แห้ง(drying) ผลการทดลองแยกสลาย(Dissolved)โลหะด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก(HCl) ที่ความเข้มข้น 85% แรงดันไฟฟ้าในช่วง 6-24 โวลต์ กระแสไฟฟ้าในช่วง 3-10 แอมแปร์ สารละลายมีความร้อนเพิ่มขึ้นถึง 180 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าโลหะได้จากกระบวนการ เป็นทังสเทนออกไซด์( $WO_3$ ) เช่นเดียวกับการใช้สารละลาย

ฟอสฟอริก ผลการทดลองที่ได้รับเป็นโลหะ  $WO_3$  เช่นกัน ขนาดผงประมาณ  $550 \mu m$  และศึกษาความสามารถในการแยกสลายเศษโลหะจากการทดลองใช้โลหะสื่อนำไฟฟ้ากับขั้วไฟฟ้าลบแตกต่างกัน ผลปรากฏว่า การใช้โลหะโคบอลต์เป็นสื่อนำกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้สูงขึ้นส่งผลให้เศษโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์เกิดการแยกสลาย(Disintegrated) ได้ดีกว่าร้อยละ 10-15 เมื่อเทียบกับการใช้ทั้งสแตนคาร์ไบด์ และเหล็กกล้าสแตนเลสเป็นสื่อนำ เป็นต้น ผลการวิจัยปรากฏว่ากระบวนการ recovery ทั้งสแตนคาร์ไบด์ ประสบผลสำเร็จเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 6.00 โวลต์ กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 3.0 แอมแปร์ ในสารละลายไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นไม่เกิน 7 N ผลการทดลองปรากฏว่าผงโลหะเป็นโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) ที่มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นเกือบ 100% (ไม่มีโลหะหรือธาตุอื่นเจือปน) ขนาดการกระจายของโลหะผง(Particle sized distribution) อยู่ในช่วง  $34-360 \mu m$  หลังจากบดด้วยลูกบดทั้งสแตนคาร์ไบด์ (ball milled) ในหม้อบดนาน 24 ชั่วโมง ขนาดโลหะผงเล็กลง อยู่ที่ ไม่เกิน  $60 \mu m$  เมื่อเทียบเท่ากับโลหะผงนำเข้าจากต่างประเทศ ผลการวิจัยจึงสรุปได้ว่า การ recycled เศษโลหะซีเมนต์คาร์ไบด์ สามารถนำกลับมาผลิตโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ ที่มีสมบัติเหมาะสมต่อการใช้งานในอุตสาหกรรมการอบขึ้นรูป(Sintering) และผลิตเป็นโลหะแข็ง(hard materials) ทนการสึกหรอ จึงเชื่อมั่นได้ว่าผงโลหะที่ได้จากการวิจัยนี้ นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้และมีสมบัติที่ดีต่อการใช้งาน และเป็นแนวทางสำหรับการผลิตวัสดุดีบุกทั้งสแตนคาร์ไบด์ ในอุตสาหกรรมการผลิตโลหะเพื่อทดแทนการนำเข้าของอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนโลหะแข็งภายในประเทศต่อไป

คำสำคัญ(Key word) Electrolysis, Recycling, Recovery, Cemented tungsten carbide scraps, Particle Sized distribution, Hard materials



**Research title**                      **Recycling of tools Scrap**  
**Researcher by**                      **Asst.Prof Saharat    Wongsisa**  
   **Mr. Singkaew        Pokterng**  
   **Mr. Kompun         Chomsamut**

**Faculty of Engineering**  
**Rajamangala University of Technology Phra nakon**

### **Abstract**

This research is to study the recycle process of hard materials, high hardness type, and cemented carbide produced by press forming and sintering process included cemented carbide mixed with tungsten carbide, cobalt, silicon, titanium and others. The research aims to recovery tungsten to use it again. It starts in cleaning and ball milling materials for resizing from length 12-25 mm., width 10-15 mm and thickness 2.5-8.0 mm., then disintegrated with the electric-chemical process, filtering metal powder, cleaning and drying. The result of dissolved materials with electric-chemical process in 85% condensed HCl, 6-24 volts and 3-10 amperes. The solution heats up 180 degree Celsius is found that material will be 550  $\mu\text{m}$  of  $\text{WO}_3$ , the same as usage of Phosphoric Solution. The result of the study in dissolved materials by using the conductor of electricity is found that usage of cobalt is the best to disintegrate tungsten carbide, better than tungsten carbide and stainless steel 10-15%. The result of this research is found that the best practice of tungsten carbide recovery is dissolved materials with electric-chemical process in not over 7N condensed HCl, 6.00 volts and 3.00 amperes. The metal powder will be almost 100% pure tungsten carbide and particle sized distribution is 34-360  $\mu\text{m}$ . After ball milling for 24 hours, particle sized distribution is less than 60  $\mu\text{m}$  compared with the imported metal powder. It is concluded that the



recycle of cemented carbide into tungsten carbide powder qualified for sintering work and produced to the durable hard materials. It ensures that this research is useful for the related industry and the approach for production of tungsten carbide which was instead of the imported metal powder.

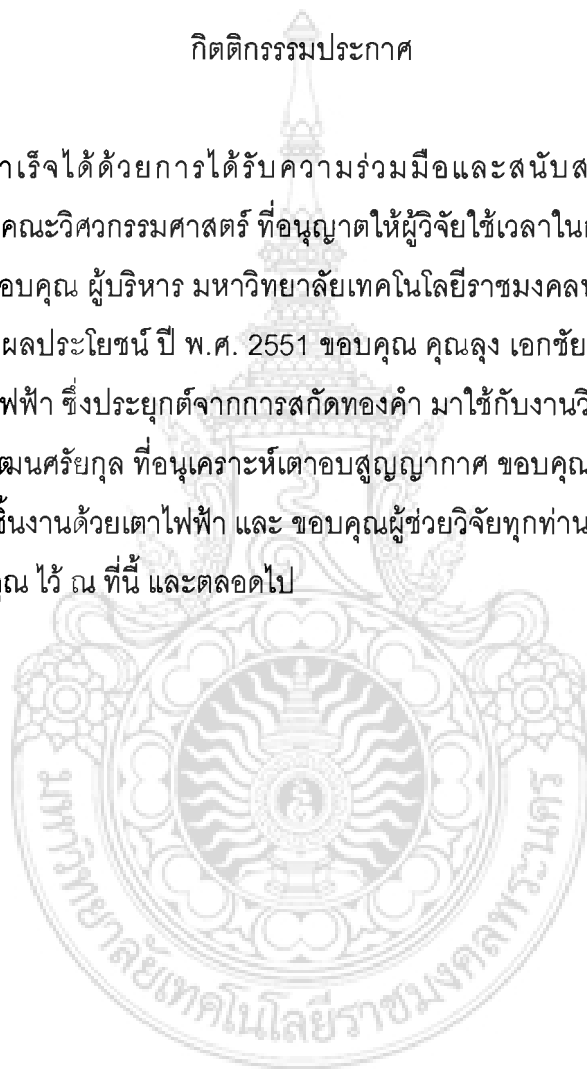
**Key word:** Electrolysis, Recycling, Recovery, Cemented tungsten carbide scraps, Particle Sized distribution, Hard materials





## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยการได้รับความร่วมมือและสนับสนุนจากบุคคลต่าง ๆ ประกอบด้วย ผู้บริหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่อนุญาตให้ผู้วิจัยใช้เวลาในการศึกษาทดลอง ทั้งในและนอกสถานที่ ขอขอบคุณ ผู้บริหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนทุนวิจัย ด้วยงบประมาณผลประโยชน์ ปี พ.ศ. 2551 ขอขอบคุณ คุณลุง เอกชัย เจตน์ชัย ที่ช่วยแนะนำกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งประยุกต์จากการสกัดทองคำ มาใช้กับงานวิจัยชิ้นนี้จนสำเร็จด้วยดี ขอขอบคุณ รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ที่อนุเคราะห์เตาอบสูญญากาศ ขอขอบคุณ อาจารย์ประสิทธิ์ แผงเพชร ที่ช่วยในการอบชิ้นงานด้วยเตาไฟฟ้า และ ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัยทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามหลายทั้งปวง ผู้วิจัยขอขอบคุณ ไว้ ณ ที่นี้ และตลอดไป



คณะผู้วิจัย

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของ โครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของ โครงการวิจัย	6
1.5 วิธีการดำเนินงานของโครงการ	13
1.6 สถานที่ทดลองและเก็บข้อมูล	15
1.7 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย (อุปกรณ์การวิจัย โครงสร้างพื้นฐาน)	16
1.8 วัสดุอุปกรณ์ในการทดลองโครงการ	16
1.9 ประโยชน์ที่ได้รับของโครงการ	18
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่สำคัญ	
2.1 บทนำ	19
2.2 นิยามศัพท์สำคัญ	19
2.3 ไฟฟ้าเคมี (Electrochemistry)	20
2.4 การย่อยสลายด้วยไฟฟ้า	22
2.5 ผลการทดลองศึกษาการแยกสลายชิ้นส่วนเครื่องมือตัดชนิดแผ่นมีดตัด ด้วยวิธีเคมีไฟฟ้า	30
2.6 กระบวนการแยกวัสดุซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์	33
2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน แบบจำแนกทางเดียว (One-way anova)	68
2.8 วิเคราะห์ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	71
บทที่ 3 การดำเนินงานและวิธีการทดลอง	
3.1 บทนำ	72
3.2 ศึกษาคุณสมบัติวัสดุ	73
3.3 ศึกษาขบวนการย่อยสลาย	79
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	80
3.5 วิเคราะห์ข้อมูล	81
3.6 ออกแบบการทดลอง	82
3.7 ทำการทดลอง	83

	หน้า
3.8 การบันทึกและรวบรวมผลการทดลอง	96
3.9 วิเคราะห์ผลการทดลอง	99
3.10 วิธีสรุปผลการทดลอง	99
<b>บทที่ 4</b> ศึกษาอิทธิพลของการอบและแยกสลายเศษโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า	
4.1 บทนำ	100
4.2 ผลการปฏิบัติงานและขั้นตอนต่างๆ	100
4.3 ผลของการแยกสลายในการทดลองในแต่ละครั้ง	107
4.4 ผลการเปรียบเทียบของการทดลองในแต่ละครั้งของการทดลอง	113
4.5 การวิเคราะห์หาผลการทดลองที่ดีที่สุด	114
4.6 เปรียบเทียบผลการตรวจสอบวิเคราะห์องค์ประกอบของผงทั้งสแตนที่ได้จากการทดลอง	115
4.7 สรุป	116
<b>บทที่ 5</b> ศึกษาอิทธิพลของวัสดุขั้วไฟฟ้าต่อการแยกสลายเศษโลหะทางเคมีไฟฟ้า	
5.1 การบันทึกและรวบรวมผล	117
5.2 กราฟแสดงผลการทดลอง	151
5.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางเคมี	154
5.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	159
<b>บทที่ 6</b> อิทธิพลของกระแสไฟฟ้าต่อการแยกสลายเศษโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์	
6.1 การทดลองการแยกสลายเม็คมัดตัด	164
6.2 วิเคราะห์ข้อมูลของผลการทดลอง	171
6.3 ผลทดสอบผงทั้งสแตนคาร์ไบด์นำเข้า และผงที่ได้จากการทดลอง	174
6.4 วิเคราะห์ข้อมูลของผลทดสอบ	180
<b>บทที่ 7</b> อิทธิพลของสารละลาย แรงดันไฟฟ้าและความร้อน	
7.1 บทนำ	182
7.2 ผลการทดสอบความแข็งของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์	182
7.3 ผลการทดลองย่อยสลายด้วยไฟฟ้า	183
7.4 ผลการทดสอบผงโลหะที่ได้จากการทดลอง	187
7.5 ลักษณะของผงโลหะที่ได้จากการทดลอง	192
7.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	193

	หน้า
บทที่ 8 การผลิตโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์	194
8.1 การอภิปรายผลการทดลอง	194
8.2 ผลการปฏิบัติงานและขั้นตอนการทำงาน	194
8.3 ผลของการแยกสลาย	200
8.4 ผลการทดสอบขนาดและการกระจายตัวของผงโลหะที่ได้จากการทดลอง	205
8.5 สรุปผลการทดลอง	207



## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 ปริมาณการนำเข้าเครื่องมือตัดชนิด Tools for tapping	2
ภาพที่ 1.2 สถิติการนำเข้า Tools for drilling	2
ภาพที่ 1.3 ตัวอย่างเครื่องมือตัดก่อนใช้งาน ผ่านการใช้งานและกลายเป็นวัสดุเหลือใช้ (Scrap)	4
ภาพที่ 1.4 กระบวนการผลิตผงและชิ้นงานทังสเตนคาร์ไบด์(Solid tungsten carbide)	6
ภาพที่ 1.5 รูปแบบการบดด้วย Mechanical alloying	6
ภาพที่ 1.6 การบดทังสเตนคาร์ไบด์ (Ball mill is a grinder for reducing hard materials to powder)	7
ภาพที่ 1.7 SPEX-8000 Mill (Applications: particle size reducing, blending or mixing, Particle shape change)	7
ภาพที่ 1.8 ตัวอย่างวัสดุผงที่นำเข้าจากต่างประเทศ	8
ภาพที่ 1.9 ตัวอย่างชิ้นงานผลิตจากวัสดุผงอัดขึ้นรูปด้วยกรรมวิธี Sintering	8
ภาพที่ 1.10 เศษชิ้นส่วนแผ่นมีดตัดที่ไม่สามารถใช้งานได้	11
ภาพที่ 1.11 ทังสเตนแบบแผ่นและแบบแท่งสี่เหลี่ยม(Tungsten plates and square bars)	11
ภาพที่ 1.12 เอ็นมีลล์ชนิดทังสเตนคาร์ไบด์	12
ภาพที่ 1.13 เศษทังสเตนคาร์ไบด์	12
ภาพที่ 1.14 Methodologies	14
ภาพที่ 2.1 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) แสดงการสูญเสียโคบอลต์ของซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์เนื่องจากการกัดกร่อน	21
ภาพที่ 2.2 การแยกสารด้วยไฟฟ้า (Electrolysis)	23
ภาพที่ 2.3 ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นบริเวณขั้วไฟฟ้าทั้งสอง	25
ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างเครื่องอุปโภคที่ผ่านกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า	29
ภาพที่ 2.5 แผนภูมิแสดงสรุปผลแรงดันไฟฟ้าในการทดลอง	30
ภาพที่ 2.6 แผนภูมิแสดงสรุปผลอุณหภูมิในการทดลอง	31
ภาพที่ 2.7 แผนภูมิแสดงสรุปผลน้ำหนักในการทดลอง	31
ภาพที่ 2.8 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบผลการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของแผ่นมีดตัดทังสเตนคาร์ไบด์กับผงโลหะที่ได้จากการทดลอง[6]	32
ภาพที่ 2.9 แผนผังกระบวนการนำเศษทังสเตนกลับมาใช้ใหม่ด้วยกรรมวิธีเทคนิคการหลอม (Flow sheets of W scrap recycling by melt bath techniques)	33
ภาพที่ 2.10 แผนผังพัฒนาการหลอมเศษทังสเตนที่อุณหภูมิต่างกัน (Schematic time- temperature diagram indicating the steps in the process of recycling tungsten scrap.)	34

ภาพที่ 2.11 โครงสร้างโลหะ คาร์บอน-เหล็ก-ทังสเทน แสดงบริเวณนำกลับมาใช้ใหม่ (Projection of the liquid us surface of the C-Fe-W system according to Jellinghaus. The shaded zone indicates the working area of the recycling procedure.)	34
ภาพที่ 2.12 แผนผังแสดงกระบวนการย่อยวัสดุด้วยกระบวนการเคมีไฟฟ้า	35
ภาพที่ 2.13 แผนผังการแยกธาตุทองแดงบริสุทธิ์	35
ภาพที่ 2.14 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้าในสารละลายที่อุณหภูมิ 25°C เพื่อการ ย่อยเศษ ทังสเทนคาร์ไบด์ CS14 (Anodic Linear sweep voltammogram of tungsten carbide scrap CS14 in various acid solutions at 25 °C)	38
ภาพที่ 2.15 คลื่นแรงดันไฟฟ้าในสารละลายเศษทังสเทนคาร์ไบด์ CS14 ในสารละลาย 2 M H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ที่อุณหภูมิ 25°C; 1, ปราศจากสารละลายเคมี; 2, ขึ้นกับ 0.1 M citric acid; 3, ขึ้นกับ 0.1 M citric acid และ 0.4 M ammonium chloride; 4, ขึ้นกับ 0.4 M ammonium chloride	39
ภาพที่ 2.16 การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในสารละลายภายใต้แรงดันที่เท่ากัน (Variation of anodic current with time for the electrolysis of 0.1 kg scrap Cs20 at (1,3), 0.6 and (2,4) 0.4 V <sub>SCE</sub> in 1 N HCl solutions without (1,2) Or with (3,4) 0.1 N citric acid.)	39
ภาพที่ 2.17 ความเข้มข้นของ โคบอลต์(a) และความเข้มข้นของทังสเทน (b)	40
ภาพที่ 2.18 ความเข้มข้นของ โคบอลต์(a) และความเข้มข้นของทังสเทน (b) ภายใต้แรงดัน ไฟฟ้าในช่วง 0.4-0.6 โวลต์	41
ภาพที่ 2.19 แผนผังกระบวนการผลิตทังสเทนและโคบอลต์จากเศษซีเมนต์ทังสเทนคาร์ไบด์ โดยใช้การแยกด้วยเคมีไฟฟ้า (A flow sheet suggested for the recovery of W and Co From tungsten cemented scraps via selective electrolysis.)	42
ภาพที่ 2.20 เฟสไดอะแกรมของ ทังสเทนคาร์ไบด์ (The WC phase diagram)	43
ภาพที่ 2.21 เฟสไดอะแกรมของทังสเทนคาร์ไบด์กับโคบอลต์ที่อุณหภูมิ 1425°C (The isothermal section of WC-Co phase diagram at 1425°C)	43
ภาพที่ 2.22 อิทธิพลของกรดไนตริกต่อประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้า (Effect of nitric acid concentration on current efficiency) (current density 10 kA m <sup>-2</sup> , 28°C)	46
ภาพที่ 2.23 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้า (Effect of varying current density on current efficiency.) (electrolyte 10% HNO <sub>3</sub> , 28°C)	47
ภาพที่ 2.24 อุณหภูมิและประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าในการย่อยโลหะด้วยไฟฟ้า (Effect of temperature on current efficiency) (current density 10 kA m <sup>-2</sup> electrolyte)	47

ภาพที่ 2.25 เวลาของกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าและประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าใน สารละลายกรดไนตริกที่ 28 °c (Effect of time of electrolysis on current efficiency) (current density 10 kA m <sup>-2</sup> electrolyte 10% HNO <sub>3</sub> , 28 °c)	48
ภาพที่ 2.26 ความเข้มข้นของโคบอลต์ต่อการเกิดออกซิเดชันของทังสเตนคาร์ไบด์ (Effect of cobalt concentration on the oxidation of tungsten carbide) (current density 10 kA m <sup>-2</sup> electrolyte 10% HNO <sub>3</sub> )	48
ภาพที่ 2.27 แรงดันไฟฟ้าต่อขนาดของกระแสไฟฟ้าในสารละลายกรดไนตริกที่ 28° C (Potentiostatic polarization curve of 87% wc-13% co in 10% HNO <sub>3</sub> solution. Stirred 28° C)	50
ภาพที่ 2.28 แรงดันไฟฟ้าและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (Cyclic voltammograms of (a)W1023 and (b) 30% w1023/KC.)	50
ภาพที่ 2.29 Cyclic voltammograms of: (a) NiW 1023 and (b) 30% NiW1023/KC	52
ภาพที่ 2.30 กระแสไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้า (Catalytic performance of 1-V curve and power density curves of: (a) in-house MEA of 20% Pt/C electrode and (b) 30% W1023/KC)	52
รูปที่ 2.31 อุณหภูมิในการทำคาร์บูไรซ์ต่อขนาดของกระแสไฟฟ้า (The Hor activity, power density, and the current density for several: (a)30% W/KC and (b) 30% NiW/KC catalysts compared to the performance of 20 % Pt/C. (-) Percent performance when compared to the 20wt% Pt/C.)	54
ภาพที่ 2.32 อัตราการรีดักชันของโลหะทังสเตนกับคาร์บอน (Rate of reduction of calcium tungstate with carbon and carbon monoxide at 1500K.)	54
ภาพที่ 2.33 ผลการตรวจสอบ EDX ทังสเตน (EDX spectrum of the outer layer of a scheelite particle after reduction for 8 hour at 1500K under an argon atmosphere. Only W Was present in the outer layer.)	54
ภาพที่ 2.34 ผลการตรวจสอบ EDX แร่ทังสเตนหลังการทำรีดักชันเป็นเวลา 8 ชั่วโมง (EDX spectrum of the edge of the core of a scheelite after reduction for 8 hours at 1500K under an argon atmoskrere. Ca is still present.)	55
ภาพที่ 2.35 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการย่อยวัสดุและการสกัด โคบอลต์ด้วย 6 N HCl ละลาย เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Relation between hydrothermal treatment temperature and amount of extracted Co ion Specimens are treated in 6 N HCl aqueous solutions for 24 h.)	55



- ภาพที่ 2.36 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย HCl ต่ออัตราการแยกโลหะ โคบอลต์ (Relation between concentration of HCL and amount of extracted Co ion. Specimens are treated at 110 °C for 24 H.) 56
- ภาพที่ 2.37 แสดงเศษโลหะทั้งสเดนที่ผ่านการย่อยโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล (Appearances of hydrothermal-treated WC-Co cermets chips hydrothermal treated in various concentrations of HCl aqueous solutions.) 56
- ภาพที่ 2.38 โครงสร้างจุลภาคของ WC-Co (Microstructures of the surfaces of original and hydrothermal treated WC-Co cermet chip. (a) Original WC-Co cermet chip and (b) hydrothermal- treated WC-Co cermet chip.) 57
- ภาพที่ 2.39 ผงทั้งสเดนคาร์ไบด์ที่ผ่านการแยกสลายกลับมาใช้ใหม่และผงทั้งสเดนที่สกัดจากแร่ ทั้งสเดนโดยตรง (Appearances of the recovered and virginal WC powder. (a) Recovered WC powder and (b) virginal WC powder.) 57
- ภาพที่ 2.40 โครงสร้างโลหะทั้งสเดน-โคบอลต์ (Optical microscopy and SEM-EDS images of the etched surfaces of the recovered WC-Co cermets chip. (a), (b) optical microscopy of the etched surface, mapping image of Tungsten, (d) mapping images of carbon.) 58
- ภาพที่ 2.41 แหล่งแร่ทั้งสเดนในแต่ละภูมิภาค (Principal tungsten deposits and mining districts.) 58
- ภาพที่ 2.42 ต้นไม้แสดงการประยุกต์โลหะทั้งสเดนไปใช้ประโยชน์ในช่วง 40 ปีที่ผ่านมา (40 years of the tungsten tree.) 59
- ภาพที่ 2.43 ปริมาณการผลิตทั้งสเดนทั่วโลกในช่วงปี 1910-1996 (Tungsten world production 1910- 1996.) 60
- ภาพที่ 2.44 การผลิตผงทั้งสเดนจากการลดออกซิเจนด้วยการอบถึง 1000 องศาเซลเซียสในเตาสัญญากาศ (Morphological changes associated with the hydrogen reduction of tungsten blue oxide under near industrial conditions (1000 °C) by courtesy of wolfram bergbau and huttenges.) 60
- ภาพที่ 2.45 การลดปริมาณออกซิเจนใน ด้วยการอบในเตาสัญญากาศ (Transition  $WO_{2.72}$   $WO_2$  (left) and  $WO_2 \rightarrow W$  (right). Note the gap which forms between the reacting particles. It is characteristic for the CVT growth of the phases in case of tungsten, small singles crystals are formed.) 61

ภาพที่ 2.46 การลดปริมาณทังสเตนออกไซด์ที่ 1000 °C (Calculated $WO_2$ ( $OH$ ) <sub>2</sub> partial pressure of different tungsten oxides at 1000 °C vs. humidity; at a certain humidity (e.g.,35 vol %H <sub>2</sub> O) the phase with the lowest $wo_2$ ( $OH$ ) <sub>2</sub> partial pressure is the stable one (e.g.,w.)	61
ภาพที่ 2.47 แสดงปฏิกิริยาเคมีระหว่างทังสเตนและทังสเตนออกไซด์(Cheical vapor of transport of tungsten via the volatile ( $WO_2$ ( $OH$ ) <sub>2</sub> ); schematic presentation.)	62
ภาพที่ 2.48 Theoretical regions of aestivation, corrosion, and immunity of tungsten at 25 °C.	64
ภาพที่ 2.49 ขั้นตอนการผลิตทังสเตนด้วยวิธี zinc process จากเศษทังสเตนซีเมนต์คาร์ไบด์ (Flow chart of the zinc process for cemented carbide reclamation.)	64
ภาพที่ 2.50 ผังสแดงขั้นตอนการผลิตทังสเตนจากแร่ทังสเตน(Tungsten flow chart for primary and secondary raw materials.)	64
ภาพที่ 2.51 ปฏิกิริยาระหว่างอะตอมทังสเตนและออกซิเจน( $WO_6$ octahedron;(a) location of the centers of the atoms; the black circle is tungsten, the white circles oxygen. (b) atoms shown in full size: the tungsten atom is the small circle.)	66
ภาพที่ 2.52 ขั้นตอนการผลิตแบบ cold stream process (Flow chart of the cold stream process.)	67
ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน โครงการ	72
ภาพที่ 3.2 ทดสอบความแข็งของชิ้นส่วนทังสเตนคาร์ไบด์	74
ภาพที่ 3.3 การแยกสารด้วยไฟฟ้า (Electrolysis)	79
ภาพที่ 3.4 ออกแบบกำหนดแนวทางในการทดลอง	82
ภาพที่ 3.5 โปรแกรมแสดงการอบชิ้นส่วนทังสเตนคาร์ไบด์ ในเตาสูญญากาศ	83
ภาพที่ 3.6 ลักษณะการวางชิ้นส่วนทังสเตนคาร์ไบด์ ก่อนนำเข้าเตา	83
ภาพที่ 3.7 การนำชิ้นส่วนทังสเตนคาร์ไบด์ เข้าในเตาอบสุญญากาศ	84
ภาพที่ 3.8 การนำชิ้นส่วนทังสเตนคาร์ไบด์ ออกจากเตาอบสุญญากาศ	84
ภาพที่ 3.9 ลักษณะชิ้นส่วนทังสเตนคาร์ไบด์ หลังอบด้วยเตาสูญญากาศ	84
ภาพที่ 3.10 โปรแกรมแสดงเวลาและอุณหภูมิการอบชิ้นส่วนทังสเตนคาร์ไบด์ในเตาอบไฟฟ้า	85
ภาพที่ 3.11 ลักษณะการวางชิ้นส่วนทังสเตนคาร์ไบด์ เพื่ออบให้ความร้อน	85
ภาพที่ 3.12 ลักษณะชิ้นส่วนทังสเตนคาร์ไบด์ หลังอบด้วยเตาอบไฟฟ้า	86
ภาพที่ 3.13 ทดสอบความแข็งของชิ้นส่วนทังสเตนคาร์ไบด์ หลังอบด้วยเตาไฟฟ้า	86
ภาพที่ 3.14 เตรียมเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าขนาด 24 โวลต์ ก่อนการทดลอง	88
ภาพที่ 3.15 ชั่งน้ำหนักของชิ้นส่วนทังสเตนคาร์ไบด์ก่อนทดลอง	88

	หน้า
ภาพที่ 3.16 ชั่งน้ำหนักของแท่งทั้งสแตนคาร์ไบต์ก่อนทดลอง	88
ภาพที่ 3.17 การออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบต์	89
ภาพที่ 3.18 การจับยึดชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบต์ก่อนการทดลอง	89
ภาพที่ 3.19 แสดงการจับยึดชิ้นงานในการทดลอง	90
ภาพที่ 3.20 จัดเตรียมพื้นที่ทำการทดลอง	90
ภาพที่ 3.21 ชั่งน้ำหนักชิ้นงานทั้งสแตนคาร์ไบต์ก่อนทดลอง	91
ภาพที่ 3.22 ชั่งน้ำหนักแท่งคาร์ไบต์ (जूवैकेटोड) ก่อนทดลอง	91
ภาพที่ 3.23 ขั้นตอนผสมสารละลาย	91
ภาพที่ 3.24 หน้าปัดของเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า	92
ภาพที่ 3.25 เกิดปฏิกิริยาสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้ม	92
ภาพที่ 3.26 วัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า	92
ภาพที่ 3.27 ลักษณะของสารละลายที่ผ่านกระบวนการทดลองครบ 3 ชั่วโมง	93
ภาพที่ 3.28 ช่างน้ำหนักชิ้นงานทั้งสแตนคาร์ไบต์หลังการทดลอง	93
ภาพที่ 3.29 ช่างน้ำหนักแท่งทั้งสแตนคาร์ไบต์ (जूवैकेटोड) หลังการทดลอง	93
ภาพที่ 3.30 แห้งผงโลหะในสารละลาย 1-2 วัน ให้ตกตะกอนเพื่อแยกสารละลายออกจากโลหะ	94
ภาพที่ 3.31 หลังจากการตกตะกอนทำการแยกสารละลายออก	94
ภาพที่ 3.32 แยกผงโลหะด้วยการละลายในแอลกอฮอล์	95
ภาพที่ 3.33 การให้ความร้อนเพื่อไล่ความชื้น	95
ภาพที่ 3.34 ลักษณะของผงที่ได้จากกระบวนการทดลอง	95
ภาพที่ 3.35 ภาชนะใส่ผงป้องกันความชื้น	96
ภาพที่ 4.1 แผ่นมีดตัดก่อนทำการอบในเตาสู่ญญากาศ	100
ภาพที่ 4.2 การจัดเรียงแผ่นมีดตัดก่อนนำเข้าเตาอบสู่ญญากาศ	101
ภาพที่ 4.3 การนำชิ้นงานเข้าในเตาอบสู่ญญากาศ	101
ภาพที่ 4.4 การนำชิ้นงานออกจากเตาอบสู่ญญากาศ	101
ภาพที่ 4.5 แผ่นมีดตัดหลังจากผ่านการอบในเตาสู่ญญากาศด้วยอุณหภูมิ 1100°C คงอุณหภูมิ 4 ชม. และเย็นตัวในเตา	102
ภาพที่ 4.6 การจัดเก็บแผ่นมีดตัดหลังจากอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว	102
ภาพที่ 4.7 การจัดเตรียมอุปกรณ์ก่อนการทดลอง	102
ภาพที่ 4.8 การเตรียมสารละลายสำหรับการทดลอง	103
ภาพที่ 4.9 การเตรียมเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าก่อนการทดลอง	103

	หน้า
ภาพที่ 4.10 การทดลองการแยกสลายแผ่นมีดตัด	103
ภาพที่ 4.11 การตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าในขณะที่ทำการทดลอง	104
ภาพที่ 4.12 การตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทำการทดลอง	104
ภาพที่ 4.13 ปฏิกริยาระหว่างการทดลอง	104
ภาพที่ 4.14 แผ่นมีดตัดก่อนนำออกมาทำความสะอาด	105
ภาพที่ 4.15 การเป่าแผ่นมีดตัดให้แห้งก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก	105
ภาพที่ 4.16 แผ่นมีดตัดก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก	105
ภาพที่ 4.17 ผงโลหะที่ยังผสมอยู่กับสารละลาย	106
ภาพที่ 4.18 ผงโลหะก่อนนำไปทำให้แห้งโดยการต้มไต้ความชื้น	106
ภาพที่ 4.19 ผงโลหะหลังจากจบกระบวนการต่างๆ เรียบร้อยแล้ว	106
ภาพที่ 4.20 ผงโลหะบรรจุถุงเตรียมส่งไปวิเคราะห์ผล	107
ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงสรุปผลกระแสไฟฟ้าในการทดลอง	113
ภาพที่ 4.22 กราฟแสดงสรุปผลอุณหภูมิในการทดลอง	114
ภาพที่ 4.23 กราฟแสดงสรุปผลน้ำหนักในการทดลอง	114
ภาพที่ 4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการตรวจวิเคราะห์หึ่งค์ประของแผ่นมีดตัด กับผงโลหะที่ได้จากการทดลอง	115
ภาพที่ 5-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียกับชนิดแคโทดในสารละลายที่ต่างกัน	151
ภาพที่ 5-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียกับแรงดันไฟฟ้า ที่แคโทดต่างชนิด ณ อุณหภูมิเหนือจุด bp	152
ภาพที่ 5-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียกับกระแสไฟฟ้า ที่แคโทดต่างชนิด ณ อุณหภูมิเหนือจุด bp	152
ภาพที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียกับอุณหภูมิ ในสารละลายที่แคโทดต่างชนิด	153
ภาพที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจุดเดือดกับชนิดสารละลาย	153
ภาพที่ 6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสารละลายและแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยใช้กระแสที่ 1.59 แอมแปร์	169
ภาพที่ 6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสารละลายและแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยใช้กระแส 3.38 แอมแปร์	169
ภาพที่ 6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสารละลายและแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยใช้กระแส 5.59 แอมแปร์	170

	หน้า
ภาพที่ 6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและน้ำหนักที่ลดลงของแผ่นมีด ฉ กระแสไฟฟ้าต่างๆ ที่ (1.59 A, 3.38 A, และ 5.59 A)	170
ภาพที่ 4-5 กราฟแสดงค่าขอบเขตวิกฤต	174
ภาพที่ 6.6 ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์นำเข้า	174
ภาพที่ 6.7 ขนาดเม็ดเกรนของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์นำเข้า ขยาย 150 เท่า	175
ภาพที่ 6.8 ขนาดเม็ดเกรนของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์นำเข้า ขยาย 1500 เท่า	175
ภาพที่ 6.9 กราฟแสดงผลการทดสอบผงทั้งสแตนคาร์ไบด์นำเข้าด้วยเครื่อง SEM	176
ภาพที่ 6.10 กราฟแสดงผลการทดสอบผงทั้งสแตนคาร์ไบด์นำเข้าด้วยเครื่อง XRD	177
ภาพที่ 6.11 ผงโลหะที่ได้จากการทดลอง	177
ภาพที่ 6.12 ขนาดเม็ดเกรนของผงโลหะที่ได้จากการทดลอง ขยาย 150 เท่า	178
ภาพที่ 6.13 ขนาดเม็ดเกรนของผงโลหะที่ได้จากการทดลอง ขยาย 1500 เท่า	178
ภาพที่ 6.14 กราฟแสดงผลการทดสอบผงที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่อง SEM	179
ภาพที่ 6.15 กราฟแสดงผลการทดสอบผงที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่อง XRD	180
ภาพที่ 7.1 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความแข็งระหว่างชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ ก่อนและหลังการอบให้ความร้อน	183
ภาพที่ 7.2 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักที่ลดลงระหว่างกรดอะซิติก: กรดไฮโดร- คลอริก: น้ำกลั่นและกรดฟอสฟอริก: กรดไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่น	184
ภาพที่ 7.3 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักลดลงเฉลี่ยระหว่างกรดอะซิติก: กรดไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่นและกรดฟอสฟอริก: กรดไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่น	184
ภาพที่ 7.4 แผนภูมิแสดงผลต่างของอุณหภูมิในการทดลองแต่ละครั้ง	186
ภาพที่ 7.5 แผนภูมิแสดงผลต่างของน้ำหนักในการทดลองแต่ละครั้ง	186
ภาพที่ 7.6 แผนภูมิแสดงผลต่างของน้ำหนักในการทดลองแต่ละครั้ง	186
ภาพที่ 7.7 ผลการตรวจสอบผงโลหะด้วย X-ray fluorescence	189
ภาพที่ 7.8 ผลการตรวจสอบผงโลหะด้วยวิธี X-Ray Diffract meter	190
ภาพที่ 7.9 ผลการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายของอนุภาคผงโลหะ	191
ภาพที่ 7.10 ลักษณะของผงโลหะที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย	192
ภาพที่ 7.11 บรรจุผงลงในภาชนะป้องกันความชื้น	192
ภาพที่ 8.1 ล้างชิ้นงานในแอลกอฮอล์จนสะอาด	195
ภาพที่ 8.2 ชั่งน้ำหนักชิ้นงาน	195
ภาพที่ 8.3 นำชิ้นงานใส่ใน Barrel	195

	หน้า
ภาพที่ 8.4 นำ Barrel และอุปกรณ์ทั้งหมดออกจากถัง	196
ภาพที่ 8.5 นำชิ้นงานมาเป่าให้แห้ง	196
ภาพที่ 8.6 นำชิ้นงานมาล้างหน้าหนักที่หายไป	196
ภาพที่ 8.7 แยกผงโลหะด้วยการล้างในแอลกอฮอล์และรองจนตกตะกอน	197
ภาพที่ 8.8 ผงที่ได้เมื่อยังไม่โดนความร้อน	197
ภาพที่ 8.9 การคนผงเมื่อโดนความร้อนไม่ให้เกิดการปะทุ	197
ภาพที่ 8.10 ผงที่ได้เมื่อโดนความร้อนเพื่อไล่ความชื้น	198
ภาพที่ 8.11 เมื่อผงเริ่มแห้งจึงนำมาใส่ถ้วยทำการอบให้ความร้อนเพื่อไล่ความชื้น	198
ภาพที่ 8.12 ลักษณะของผงที่ได้จากการให้ความร้อนเพื่อไล่ความชื้น	198
ภาพที่ 8.13 ชั่งน้ำหนักถุงบรรจุผง	199
ภาพที่ 8.14 ชั่งน้ำหนักผงที่ได้จากการทดลอง	199
ภาพที่ 8.15 บรรจุผงในภาชนะป้องกันความชื้น	199
ภาพที่ 8.16 ผลการวิเคราะห์ด้วย XRD ปรากฏว่าโลหะที่ผลิตเป็นทั้งสเตนคาร์ไบด์(WC)	202
ภาพที่ 8.17 XRD ร้อยละกว่า 99 โลหะเป็นทั้งสเตนคาร์ไบด์ มีคาร์บอนและ SiC ผสมเล็กน้อย	203
ภาพที่ 8.18 XRD ผงโลหะชนิดทั้งสเตนคาร์ไบด์ (WC)	204
ภาพที่ 8.19 ผลการตรวจสอบขนาดการกระจาย ของผงโลหะทั้งสเตนคาร์ไบด์ RECYCLING	206

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นบริเวณขั้วไฟฟ้าทั้งสอง สรุปเป็นกรณีทั่วไปได้ดังนี้	24
ตารางที่ 2.2 แสดงของชนิดที่ขั้วไฟฟ้ากับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น	24
ตารางที่ 2.3 แสดงผลปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสารอิเล็กโทรไลต์ต่างชนิดเมื่อใช้ขั้วแกรไฟต์	28
ตารางที่ 2.4 สรุปผลการทดลองแยกสลายชิ้นส่วนเครื่องมือตัดชนิดแผ่นมีดตัดทั้งสแตนคาร์ไบด์	30
ตารางที่ 2.5 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของแผ่นมีดตัดกับผงโลหะที่ได้จากการทดลอง	32
ตารางที่ 2.6 การสกัดทองแดง	36
ตารางที่ 2.7 เปรอ์เห็นการเกิดซัลเฟตออกซิเดชัน	36
ตารางที่ 2.8 ความสามารถในการกัดกร่อนของทองแดง	36
ตารางที่ 2.9 ตัวอย่างการกัดกร่อนของทองแดง	37
ตารางที่ 2.10 ผลการกัดกร่อนภายใต้เงื่อนไขที่ต่างกัน (8A)	37
ตารางที่ 2.11 ผลการกัดกร่อนภายใต้เงื่อนไขที่ต่างกัน (9A)	37
ตารางที่ 2.12 Composition and grain size of the cemented tungsten carbide scraps	38
ตารางที่ 2.13 สมบัติของซีเมนต์คาร์ไบด์แต่ละเกรด(Properties of representative grades of cemented carbide)	44
ตารางที่ 2.14 สมบัติของโลหะคาร์ไบด์วัสดุโลหะประสาน(Properties of refractory metal carbides and binder materials)	44
ตารางที่ 2.16 Columbic ratio-anodic corrosion: cathodic reduction of corrosion product	46
ตารางที่ 2.17 การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าเพื่อการละลายโคบอลต์(Variation of current efficiencies for cobalt deposition with current density)	49
ตารางที่ 2.18 Effect of additives on the cobalt deposition	49
ตารางที่ 2.19 ความสามารถในการสลายของวัสดุแต่ละชนิด (Anode performances of tungsten and nickel tungsten carbides and oxides and the percentages of anode electro activity compared to that of platinum catalyst)	51
ตารางที่ 2.20 ความหนาแน่นและสมบัติทางกลของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์(Density and mecechanical properties of sintered bodies.)	57
ตารางที่ 2.21 ปฏิกิริยาของทั้งสแตนกับสารละลายกรดแต่ละชนิด(Reaction of Tungsten Metal with Acids and Alkalis.)	59
ตารางที่ 2.22 การต้านทานทางเคมีของทั้งสแตนคาร์ไบด์ต่อการทำปฏิกิริยาในสารละลายแต่ละชนิด(Resistance to chemical attack of tungsten carbide in various media.)	63

	หน้า
ตารางที่ 2.23 ชนิดของเศษทิ้งสแตน(Typical tungsten scraps materials.)	65
ตารางที่ 2.24 Direct recycling of Tungsten scrap	67
ตารางที่ 2.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวน	68
ตารางที่ 2.26 ตารางการสร้าง Anova	69
ตารางที่ 3.1 แสดงความแข็งของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ชนิดต่างๆ	73
ตารางที่ 3.2 ความแข็งของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์หน่วยที่ใช้ HRA (Hardness Rockwell scale A)	74
ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบความแข็งของแผ่นมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์ (Insert)	75
ตารางที่ 3.4 ผลทดสอบส่วนผสมของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ก่อนอบและหลังอบ	76
ตารางที่ 3.5 แสดงคุณสมบัติของทั้งสแตน (Tungsten)	77
ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ของบริษัท Buffalo Tungsten Inc.	77
ตารางที่ 3.7 คุณสมบัติของ ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ ของบริษัท ATI Alldyne	78
ตารางที่ 3.8 คุณสมบัติของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ของบริษัท CB Carbide	78
ตารางที่ 3.9 สรุปผลการทดลองแยกสลายชิ้นส่วนเครื่องมือตัดชนิดแผ่นมีดตัด	79
ตารางที่ 3.10 คุณสมบัติของสารละลายกรดแต่ละชนิด	80
ตารางที่ 3.11 ความแข็งของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ หลังอบด้วยเตาไฟฟ้า หน่วยที่ใช้คือ HRA (Hardness Rockwell scale A)	87
ตารางที่ 3.12 บันทึกผลการทดลองกรดอะซิดิก: กรดไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่น	96
ตารางที่ 3.13 บันทึกผลการทดลอง กรดฟอสฟอริก: กรดไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่น	97
ตารางที่ 3.14 บันทึกผลการทดลอง กรดไฮโดรคลอริก: T1 (60°C)	97
ตารางที่ 3.15 บันทึกผลการทดลอง กรดไฮโดรคลอริก: T2 (100°C)	98
ตารางที่ 3.16 บันทึกผลการทดลอง กรดไฮโดรคลอริก: T3 (120°C)	98
ตารางที่ 4.1 บันทึกผลการทดลอง 6V. ครั้งที่ 1	107
ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลอง 6V. ครั้งที่ 2	107
ตารางที่ 4.3 บันทึกผลการทดลอง 6V. ครั้งที่ 3	108
ตารางที่ 4.4 บันทึกผลการทดลอง 6V. ครั้งที่ 4	108
ตารางที่ 4.5 บันทึกผลการทดลอง 6V. ครั้งที่ 5	108
ตารางที่ 4.6 บันทึกผลการทดลอง 12V. ครั้งที่ 1	109
ตารางที่ 4.7 บันทึกผลการทดลอง 12V. ครั้งที่ 2	109
ตารางที่ 4.8 บันทึกผลการทดลอง 12V. ครั้งที่ 3	109



	หน้า
ตารางที่ 4.9 บันทึกผลการทดลอง 12V. ครั้งที่ 4	110
ตารางที่ 4.10 บันทึกผลการทดลอง 12V. ครั้งที่ 5	110
ตารางที่ 4.11 บันทึกผลการทดลอง 24V. ครั้งที่ 1	110
ตารางที่ 4.12 บันทึกผลการทดลอง 24V. ครั้งที่ 2	111
ตารางที่ 4.13 บันทึกผลการทดลอง 24V. ครั้งที่ 3	111
ตารางที่ 4.14 บันทึกผลการทดลอง 24V. ครั้งที่ 4	111
ตารางที่ 4.15 บันทึกผลการทดลอง 24V. ครั้งที่ 5	112
ตารางที่ 4.16 ผลการทดลอง 6V.	112
ตารางที่ 4.17 ผลการทดลอง 12V.	112
ตารางที่ 4.18 ผลการทดลอง 24V.	113
ตารางที่ 4.19 สรุปผลการทดลอง	113
ตารางที่ 4.20 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์หึ่งค์ประของแผ่นมีดตัดกับผงโลหะที่ได้ จากการทดลอง	115
ตารางที่ 5.1 บันทึกผลการทดสอบอุณหภูมิ ณ จุดเดือดของสารละลายกรด	117
ตารางที่ 5.2 บันทึกผลการวัดขนาดและพื้นที่ผิวสัมผัสสารละลายของวัสดุ	117
ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 1 (Electrolysis in 12 M HCl (300 ml): Anode; WC rod =245.244 g and Cathode; WC plate)	118
ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 2 (Electrolysis in 15 M HNO <sub>3</sub> (500 ml): Anode; WC rod = 221.983 g and Cathode; WC plate)	121
ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 3 (Electrolysis in 85 % H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (350 ml): Anode; WC rod = 233.952 g and Cathode; WC plate)	124
ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 4 (Electrolysis in 12 M HCl (400 ml): Anode; WC rod = 183.449 g and Cathode; Co rod)	127
ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 5 (Electrolysis in 15 M HNO <sub>3</sub> (? ml): Anode; WC rod and Cathode; Co rod)	130
ตารางที่ 5.8 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 6 (Electrolysis in 85 % H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (400 ml): Anode; WC rod = 171.514 g and Cathode; Co rod)	131
ตารางที่ 5.9 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 7 (Electrolysis in 12 M HCl (300 ml): Anode; WC rod = 211.147 g and Cathode; 304 Stainless steel sheet)	133

ตารางที่ 5.10 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 8 (Electrolysis in 15 M HNO <sub>3</sub> (500 ml): Anode; WC rod = 192.174 g and Cathode; 304 Stainless steel sheet	136
ตารางที่ 5.11 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 9 (Electrolysis in 85 % H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (350 ml): Anode; WC rod = 208.511 g and Cathode; 304 Stainless steel sheet)	139
ตารางที่ 5.12 ผลการทดลองของการศึกษาการย่อยทั้งสแตนคาร์ไบด์ในกรณีพิเศษ จากตัวอย่างการทดลองที่ 4 กรณีที่ควบคุมอุณหภูมิจุดเดือดของสารละลาย ที่ประมาณ 110 °C (Electrolysis in 12 M HCl (400 ml): Anode; WC rod = 159.565 g and Cathode; Co rod = 13.609 g)	142
ตารางที่ 5.14 รวบรวมผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่ 1	146
ตารางที่ 5.15 รวบรวมผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่ 2	146
ตารางที่ 5.16 รวบรวมผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่ 3	147
ตารางที่ 5.17 รวบรวมผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่ 4	147
ตารางที่ 5.18 รวบรวมผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่ 6	148
ตารางที่ 5.19 รวบรวมผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่ 7	148
ตารางที่ 5.20 รวบรวมผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่ 8	149
ตารางที่ 5.21 รวบรวมผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่ 9	149
ตารางที่ 5.22 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองการย่อยทั้งสแตนคาร์ไบด์ ในกรณีพิเศษจากตัวอย่างการทดลองที่ 4 กรณีที่ควบคุมอุณหภูมิ เหนือจุดเดือดสารละลายที่ประมาณ 110 °C	150
ตารางที่ 5.23 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองการย่อยทั้งสแตนคาร์ไบด์ในกรณี พิเศษจากตัวอย่างการทดลองที่ 4 กรณีที่ไม่ใช้ความร้อนต้มสารละลาย	150
ตารางที่ 5.24 การรวบรวมผลการทดลองหลาย ๆ ครั้ง โดยการหาค่าเฉลี่ยและ การคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	154
ตารางที่ 5.25 ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางเคมีแล้ว	159
ตารางที่ 6-1 บันทึกผลการทดลองที่ใช้กระแสไฟฟ้า 1.59 แอมแปร์	164
ตารางที่ 6.2 บันทึกผลการทดลองที่ใช้กระแสไฟฟ้า 3.38 แอมแปร์	166
ตารางที่ 6.3 บันทึกผลการทดลองที่ใช้กระแสไฟฟ้า 5.59 แอมแปร์	167
ตารางที่ 6.4 แสดงน้ำหนักที่ลดลงของกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 1.59, 3.38, และ 5.59	168
ตารางที่ 6.5 ผลการทดสอบแผ่นมีด	171

	หน้า
ตารางที่ 6.6 ผลการทดลองเพื่อคำนวณ ANOVA	172
ตารางที่ 6.7 วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)	173
ตารางที่ 6.8 ผลการทดสอบผงทั้งสเดนคาร์ไบด์นำเข้านำเข้าด้วยเครื่อง SEM	176
ตารางที่ 6.9 ผลการทดสอบผงที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่อง SEM	179
ตารางที่ 7.1 ความแข็งของชิ้นงานก่อนอบ หน่วยที่ใช้คือ HRA (Hardness Rockwell scale A)	182
ตารางที่ 7.2 ความแข็งของชิ้นงานหลังอบ หน่วยที่ใช้คือ HRA (Hardness Rockwell scale A)	182
ตารางที่ 7.3 สรุปผลการทดลองกรดอะซิติก: กรดไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่น	183
ตารางที่ 7.4 สรุปผลการทดลองกรดฟอสฟอริก: กรดไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่น	184
ตารางที่ 7.5 ผลการทดลอง กรดไฮโดรคลอริก : T1 (60°C)	185
ตารางที่ 7.6 ผลการทดลอง กรดไฮโดรคลอริก : T2 (100°C)	185
ตารางที่ 7.7 ผลการทดลอง กรดไฮโดรคลอริก : T3 (120°C)	185
ตารางที่ 7.8 การวิเคราะห์ปริมาณของธาตุด้วยเทคนิค X-ray fluorescence (XRF)	187
ตารางที่ 7.9 การวิเคราะห์ปริมาณของธาตุด้วยเทคนิค X-ray fluorescence (XRF)	187
ตารางที่ 7.10 ผลการวิเคราะห์เพื่อศึกษาองค์ประกอบด้วย X-Ray Diffractometer (XRD)	188
ตารางที่ 7.11 การวิเคราะห์ขนาดและการกระจายของอนุภาคผงโลหะ	188
ตารางที่ 8.1 บันทึกผลการทดลอง: กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 N / 0.4 v / 50°C	200
ตารางที่ 8.2 บันทึกผลการทดลอง: กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 N / 0.4 v / 60°C	200
ตารางที่ 8.3 บันทึกผลการทดลอง: กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 N / 0.4v / 70°C	201
ตารางที่ 8.4 ผลการทดสอบขนาดและการกระจายตัวของผงโลหะของตัวอย่าง 1 A	205

# บทที่ 1

## บทนำ

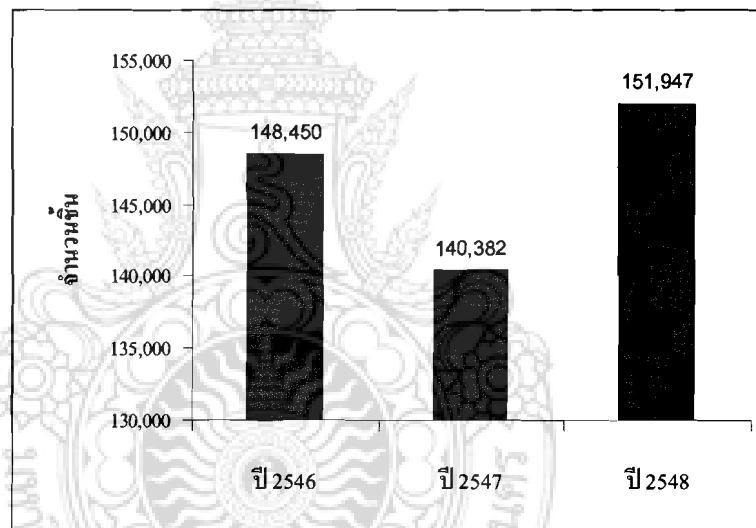
### 1.1 ความสำคัญ และที่มาของโครงการวิจัย

รัฐบาลให้ความสำคัญด้านการพัฒนาวัสดุผง(Powder) การผลิตวัสดุผงและการขึ้นรูปวัสดุผงเป็นกระบวนการผลิตที่มีแนวโน้มพัฒนาสูงมากเนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น ประหยัดวัสดุ ใช้กับวัสดุได้หลายชนิด เป็นกระบวนการที่อุตสาหกรรมการผลิตในประเทศใช้ในการผลิตมากขึ้น สามารถผลิตเครื่องมือพื้นฐานได้อย่างคุ้มค่าเนื่องจากเป็นวัสดุต้นน้ำของการผลิตในอุตสาหกรรม ต่อเนื่องอื่น ๆ จำนวนมาก ดังนั้น ตามประกาศของคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) ที่ 7/2546 ลงวันที่ 16 ตุลาคม 2546 กำหนดให้มีการสนับสนุนและส่งเสริมให้มีการลงทุนด้านการผลิต เฉพาะการผลิตชิ้นส่วนผงโลหะอัดขึ้นรูป (Sintered Product) เป็นอุตสาหกรรมที่ให้ความสำคัญเป็นพิเศษ และส่งเสริมการผลิตอุปกรณ์หรือวัสดุสำหรับงาน กัด กลึง เจาะ เจียรระไน และทำเกลียว ใช้กับเครื่องจักรกลที่มีความเที่ยงตรงสูง (High precision) (ที่มา : BOI) ปรากฏว่า ถึงปัจจุบันนี้ผลงานวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ และการลงทุนในอุตสาหกรรมดังกล่าวมีน้อยมาก จึงเป็นการเสียโอกาสในการพัฒนาวัสดุที่มีอยู่ในประเทศในรูปของวัสดุหมาะอายุการใช้งานแต่มีความต้องการสูง ดังนั้น การเสนองานวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่จะเป็นการใช้วัสดุในประเทศและแข่งขันได้มากขึ้นในอนาคต โดยได้ศึกษาข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญไว้แล้ว ตามประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

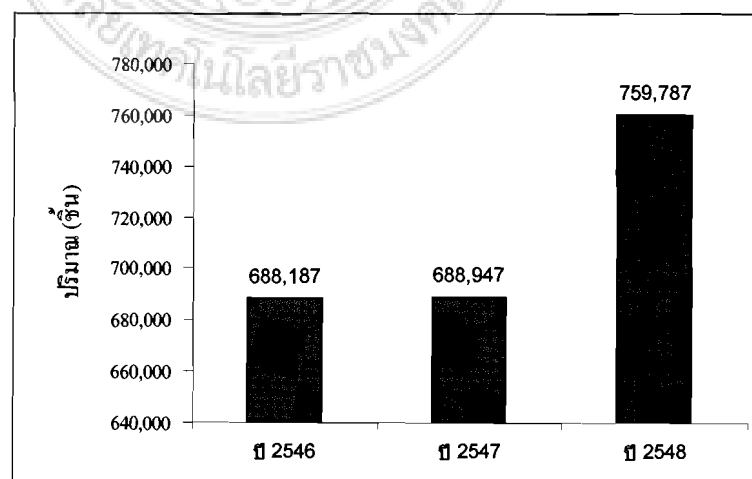
เทคโนโลยีการขึ้นรูปวัสดุผงในประเทศไทยเริ่มทำการผลิตมากขึ้นโดยนำเข้าวัตถุดิบ ตัวอย่างเช่น การผลิตซีเมนต์คาร์ไบด์ (Cement carbide) และทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide) สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนและเครื่องมือมีความแข็งแรงสูง ความแข็งและความทนทาน สูงกว่าเหล็กกล้า 10 -100 เท่า ขึ้นกับการผลิต ผู้ผลิตต้องนำเข้าวัตถุดิบทั้งหมด ได้แก่ ทังสเตนผง (Tungsten powder) จากปี พ.ศ. 2544 จนถึง ปี พ.ศ.2548 อัตราการนำเข้าสูงขึ้น 3.15 เท่า ส่วนโคบอลต์ (Cobalt powder) ใช้สำหรับเป็นตัวประสานอัตราการนำเข้าสูงขึ้นโดยตลอด นับจากปี พ.ศ. 2545 ถึง พ.ศ. 2548 อัตราการนำเข้าสูงขึ้น 4.79 เท่า นำเข้าโมลิบดีนัมผง(Molybdenum powder) ในช่วงปีเดียวกันอัตราการนำเข้าสูงกว่า 6 เท่า และประเทศไทยนำเข้าทังสเตนคาร์ไบด์ชนิดแท่ง (Bars and rode) มีอัตราการนำเข้า สูงขึ้น ร้อยละ 55.86 (ที่มา : กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง) จะเห็นได้ว่าการนำเข้าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีใหม่สามารถผลิตชิ้นส่วนได้

รวดเร็วกว่าและประหยัดกว่าการขึ้นรูปด้วยการตัดเฉือน (Machining) สำหรับชิ้นงานที่ความแข็งสูง เช่น ความแข็งสูงกว่า 800 - 2500 HV ซึ่งในอนาคตมีการนำมาใช้มากขึ้น การผลิตวัสดุผงในประเทศไทย เริ่มทำการผลิต ได้แก่ ผงเหล็กกล้า เป็นต้น

การนำเข้าเครื่องมือตัด เนื่องจากผู้ผลิตแม่พิมพ์โลหะ ผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์ (ผู้ใช้เครื่องมือตัด) ในประเทศมีจำนวนมากกว่า 2000 ราย ทำให้โดยรวมแล้วพบว่าประเทศไทย นำเข้าเครื่องมือตัดจำนวนมากเช่น เครื่องมือตัดในงานเจาะและทำเกลียว (Drilling & Tapping) ปริมาณมากกว่า 9.11 แสนชิ้นในปี พ.ศ.2548 และแนวโน้มสูงขึ้น โดยมีตัวอย่างขอยกนำเข้าเครื่องมือตัดแต่ละปีจำนวนมาก ดังรูปที่ 1 และ 2 (ที่มา : กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง) และเครื่องมือตัด สำหรับงานกลึง งานกัดอีกจำนวนมาก



ภาพที่ 1.1 ปริมาณการนำเข้าเครื่องมือตัดชนิด Tools for tapping



ภาพที่ 1.2 สถิติการนำเข้า Tools for drilling

การผลิตและแนวโน้มน ในกลุ่มผู้ผลิตเครื่องมือตัด 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ Cutting tools และ tools holder สำหรับภายในประเทศปัจจุบันมีจำนวนกว่า 10 ราย และไม่มีผู้ผลิตรายใดนำเครื่องมือตัดใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ แต่พบว่าเริ่มมีผู้ จัดหาวัสดุเหล่านี้เพื่อส่งออกบ้างแล้วซึ่งราคาต่ำ หากนำมาเพิ่มมูลค่าด้วยการ Recycle จะทำให้ประเทศไทยเราลดอัตราการนำเข้าได้

เทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วนจากวัสดุผงในประเทศไทย เริ่มมีอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีอบผนึก (Sintered) ซึ่งเป็นกระบวนการขึ้นรูปวัสดุผง และปัจจุบันผู้ผลิตชิ้นส่วนจากวัสดุผงในประเทศไทย มีจำนวนกว่า 6 ราย แต่นำเข้าวัสดุใหม่ทั้งหมด

สมบัติของวัสดุเครื่องมือตัดและต้นทุนการนำเข้า ผลิตภัณฑ์วัสดุผงชนิดเดียวกับเครื่องมือตัด ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลและแม่พิมพ์ เป็นวัสดุที่มีสมบัติด้านความแข็งสูง ได้แก่ ทั้งสเตนคาร์ไบด์ มีความแข็งสูงกว่า 1,700-2,500 HV เหล็กกล้าอบสูงความแข็งมากกว่า 860-940 HV ปัจจุบันมีราคาแพง นำเข้าด้วยต้นทุนสูงมาก ได้แก่ ผงทั้งสเตนคาร์ไบด์(WC Powder) ราคาประมาณ 4,691.28-10,551.112 บาท/กิโลกรัม (ไม่รวมค่าขนส่งสินค้าและภาษีศุลกากร) และหากต้องการชิ้นงานทั้งสเตนคาร์ไบด์ (Solid part) ต้นทุนสูง เช่น ชิ้นงานขนาด  $\phi$  0.50 นิ้ว ยาว 12 นิ้ว ราคาประมาณ 4,000- 5,000 บาท (ไม่รวมค่าขนส่งสินค้าและภาษีอากร) ทำให้ผู้ผลิตแม่พิมพ์ตัด ผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์ในการตัด มีต้นทุนวัตถุดิบสูงมากในปัจจุบัน

การนำวัสดุเครื่องมือตัดกลับมาใช้ใหม่ เป็นการลดการนำเข้าและสามารถลดต้นทุนการผลิตด้านวัตถุดิบชนิดเดียวกันได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 -40 จะทำให้อุตสาหกรรมพื้นฐานของประเทศต้นทุนต่ำลงส่งผลดีต่ออุตสาหกรรมต่อเนื่อง โดยโครงการวิจัยนี้ส่วนหนึ่งต้องการนำเครื่องมือตัดทั้งสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการใช้งานแล้วมาผ่านกระบวนการย่อยให้เป็นผงและขึ้นรูปนำกลับมาใช้งานใหม่ หากผลงานวิจัยสำเร็จ ประเทศไทยมีโอกาสลดการนำเข้าทั้งวัสดุและชิ้นงานประเภทเดียวกันได้

เครื่องมือตัดที่ผ่านการใช้งานในแต่ละปีรวมแล้วมีจำนวนกว่า 1.9 ล้านชิ้น (มูลค่านำเข้าชุดเครื่องมือตัดสูงถึง 5,747 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2548) เป็นทั้งสเตนร้อยละ 50 (ที่มา : กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง)

เฉพาะแผ่นมีดที่ผ่านการใช้งาน(Insert tools scrap) มีจำนวนมากกว่า 1,000,000 ชิ้น และมีแนวโน้มนสูงขึ้น มากกว่า 3 เท่าตลอด 5 ที่ผ่านมา

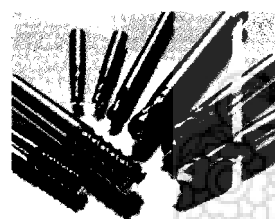
การวิจัยนี้ต้องการนำเครื่องมือตัดใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) โดยผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ได้แก่ ผงและแท่งชิ้นงาน (Solid Part) ให้สามารถนำไปผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรม ได้แก่ Punch & Die หรือ Wear resistance part หรือ Cutting tools เป็นต้น

เป็นการผลิตด้วยต้นทุนวัตถุดิบถูกกว่าการนำเข้ามากกว่าร้อยละ 70 – 90 เนื่องจากต้องนำเครื่องมือตัดที่ผ่านการใช้งานกลับมาใช้ใหม่ซึ่งมีราคาถูกกว่า

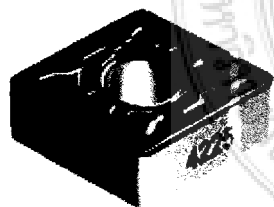
ปัจจุบันมีขดนำเข้าทั้งสแตนสำเร็จรูป (Bars and Rode) มีอัตราสูงขึ้นกว่า ร้อยละ 55.86 มูลค่านำเข้า ประมาณ 24.81 ล้านบาทในปี 2548 นำเข้าผงทังสแตน (Tungsten powder) มีมูลค่า 126.50 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2548 มีอัตราสูงขึ้นกว่าร้อยละ 300 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2544

เครื่องมือตัดทังสแตนคาร์ไบด์ ในปี 2548 มีมูลค่ารวมทั่วโลก 350,000 ล้านบาท แนวโน้มสูงขึ้นไม่น้อยกว่า ร้อยละ 20 และเครื่องมือตัดชนิดเหล็กกล้ารอบสูงมีมูลค่าทั่วโลกมากกว่า 125,000 ล้านบาท มีแนวโน้มสูงขึ้นมากกว่า ร้อยละ 15 (ที่มา: Sandvik Annual report 2005)

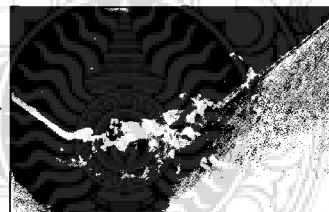
ประเทศไทยเติบโตในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนและแม่พิมพ์อย่างต่อเนื่อง มีมูลค่าสูงกว่า 5 หมื่นล้านบาทในปี 2547 (ที่มา : สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย และสถาบันยานยนต์) ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น ๆ อีกมาก



Solid carbide



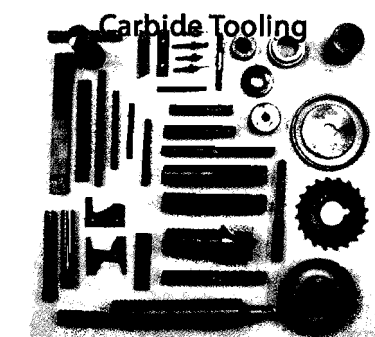
Insert carbide



Tool wear



Scrap



### Carbide tools

ภาพที่ 1.3 ตัวอย่างเครื่องมือตัดก่อนใช้งาน ผ่านการใช้งานและกลายเป็นวัสดุเหลือใช้ (Scrap)

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการย่อยชิ้นงานประเภทเครื่องมือและชิ้นส่วนโลหะอบผืน (Sintering) ที่ผ่านการใช้งานแล้วให้เป็นผง (Powder) ได้แก่ เครื่องมือตัดและชิ้นส่วนเหล็กกล้าอบสูง หรือทังสเตนคาร์ไบด์

1.2.2 ศึกษาและตรวจวัดคุณลักษณะที่สำคัญของวัสดุที่ผ่านการย่อยให้เป็นผง ต่อการนำกลับมาใช้ใหม่

1.2.3 ศึกษาการพัฒนาวัสดุผงจากวัสดุเหลือใช้ เป็นวัสดุใหม่ให้มีสมบัติเหมาะสมต่อการผลิตและเพื่อผลิตเป็นแท่งชิ้นงาน (Solid part)

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาและค้นหากระบวนการย่อยวัสดุเครื่องมือตัดและชิ้นส่วนเหล็กกล้าอบสูงหรือทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว (ที่กลายเป็นวัสดุเหลือใช้ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้แล้ว) ให้เป็นวัสดุผง (Powder)

1.3.2 เป็นการศึกษาเพื่อย่อยวัสดุแท่ง (Solid part) จากวัสดุประเภทชิ้นส่วนเหล็กกล้าที่ขึ้นรูปด้วย

กระบวนการ Sintering ให้เป็นผงละเอียด สามารถนำกลับไปขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีเดิมได้

1.3.3 กระบวนการที่พัฒนาขึ้นสามารถย่อยวัสดุให้ได้ขนาด (Grain size) ตามมาตรฐานขนาดของโลหะผง ที่สามารถนำไปผลิตชิ้นส่วน อุปกรณ์และเครื่องมือได้

1.3.4 ผลผลิตทั้งวัสดุผงที่พัฒนาขึ้นนี้ ให้มีคุณภาพไม่ด้อยกว่าสินค้านำเข้า หรือมีสมบัติเทียบเท่าสินค้านำเข้าด้วยการพัฒนาปัจจัยการผลิต

1.3.5 พัฒนากระบวนการย่อย ให้เป็นกระบวนการต้นแบบ ให้สามารถกำหนด รายละเอียดกำหนดเครื่องมือ อุปกรณ์ วัสดุ สารเคมี และอื่น ๆ

1.3.6 กระบวนการที่พัฒนาขึ้นใหม่ ต้องทดลอง และเป็นแนวทางสำคัญต่อการนำไปผลิตจริง ด้วยการตรวจสอบ ขนาด การกระจาย ของวัสดุ

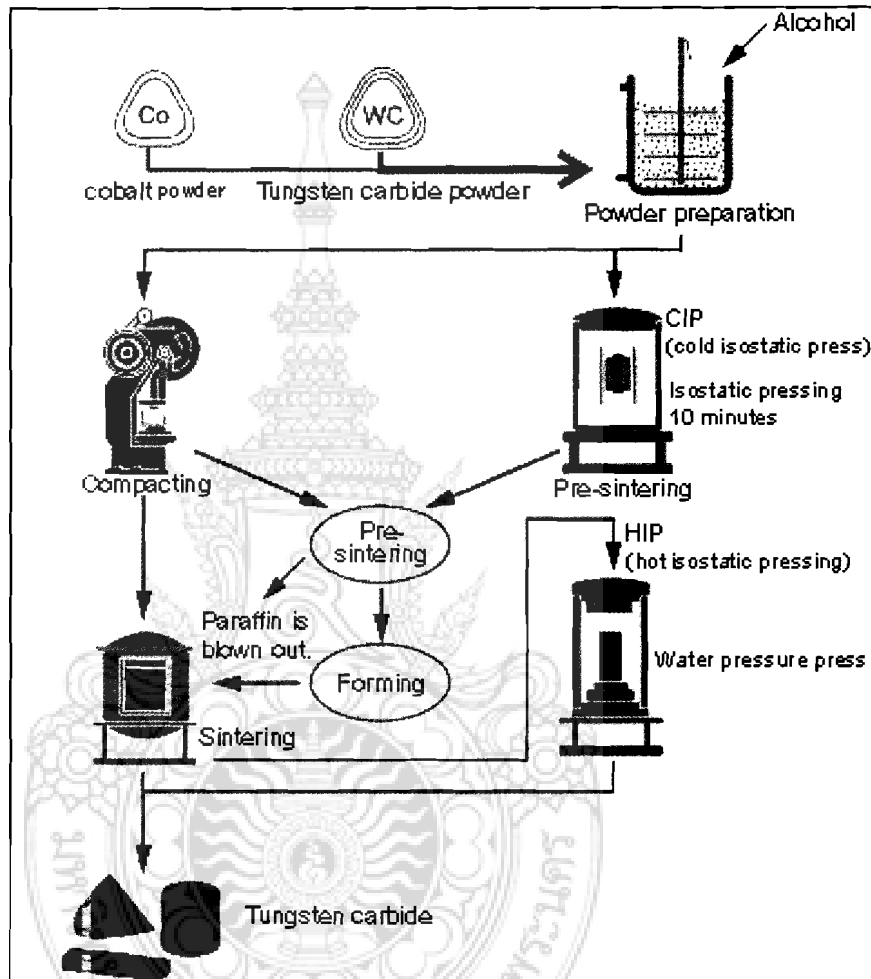
1.3.7 เปรียบเทียบวัสดุผงที่พัฒนาจากวัสดุเหลือใช้กับวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศ

1.3.8 ผลิตวัสดุผง (Powder) จากเครื่องมือตัดที่มีคุณลักษณะตามที่ตลาดเป้าหมายต้องการ และราคาถูกกว่าสินค้านำเข้าอย่างน้อยร้อยละ 20

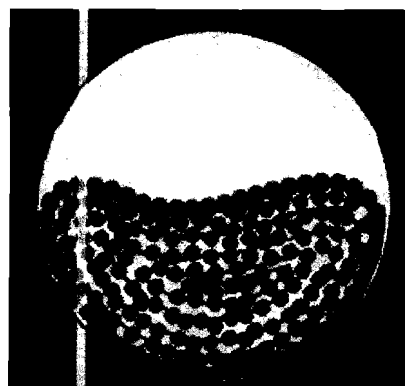


## 1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

### 1.4.1 ทฤษฎีการบดย่อยวัสดุและการขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน



ภาพที่ 1.4 กระบวนการผลิตผงและชิ้นงานทั้งสแตนคาร์ไบด์ (Solid tungsten carbide)



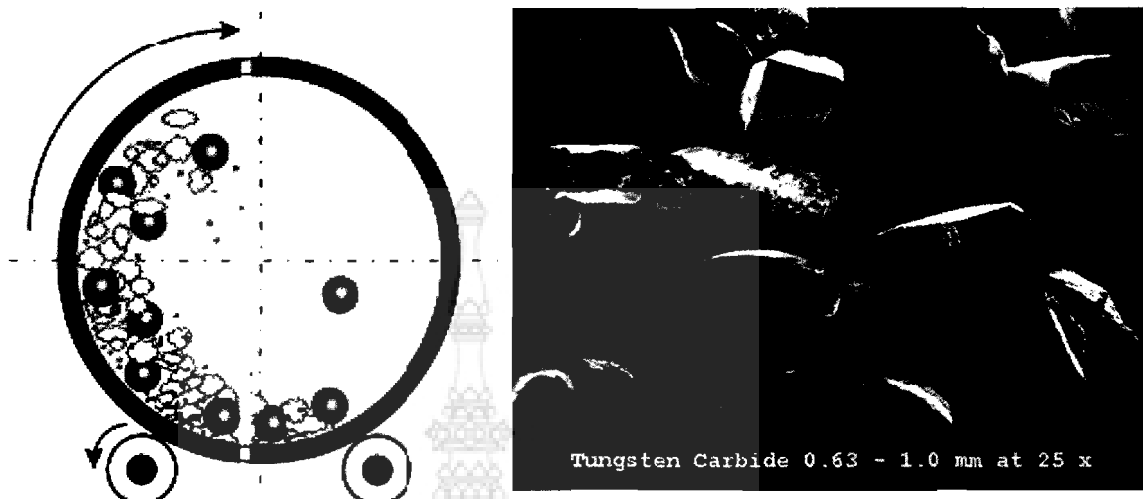
#### CRITICAL SPEED OF A BALL MILL

$$CS = \left[ \frac{76.63}{\sqrt{D}} \right]$$

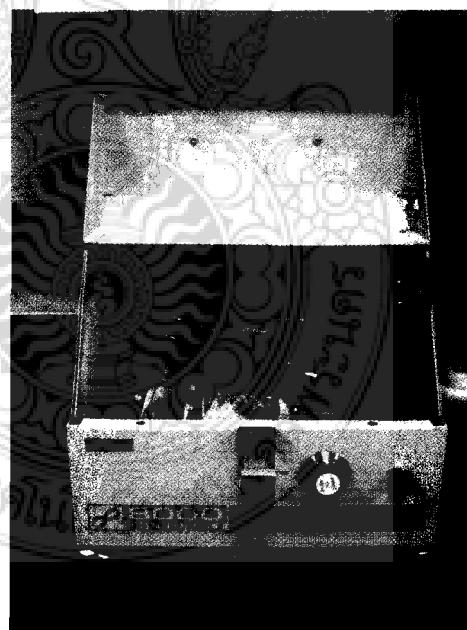
CS = CRITICAL SPEED IN REVOLUTIONS PER MINUTE

D = INSIDE MILL DIAMETER IN FEET

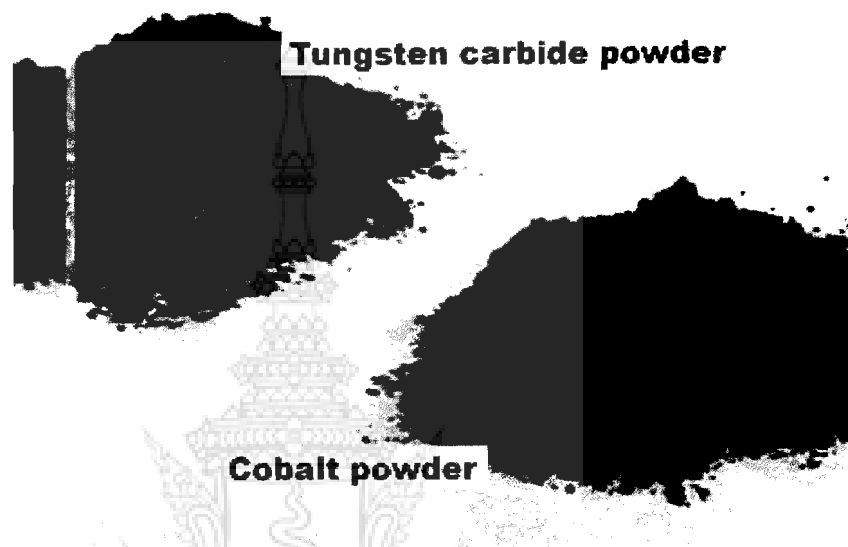
ภาพที่ 1.5 รูปแบบการบดด้วย Mechanical alloying



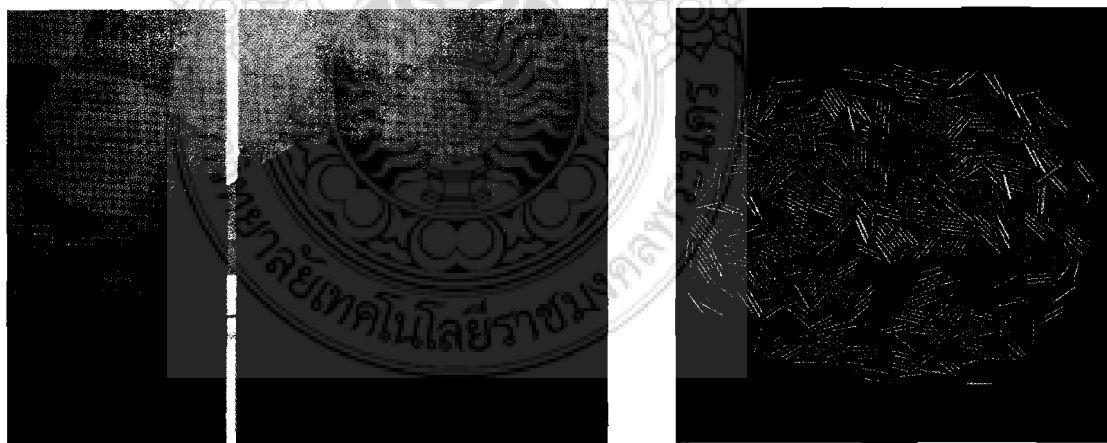
ภาพที่ 1.6 การบดทั้งสแตนคาร์ไบด์ (Ball mill is a grinder for reducing hard materials to powder)



ภาพที่ 1.7 SPEX-8000 Mill (Applications: particle size reducing, blending or mixing, particle shape change)



ภาพที่ 1.8 ตัวอย่างวัสดุผงที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ



(ก) Insert tools

(ข) Tungsten Pin

ภาพที่ 1.9 ตัวอย่างชิ้นงานผลิตจากวัสดุผงอัดขึ้นรูปด้วยกรรมวิธี Sintering

ตัวอย่างการผลิตชิ้นงาน ได้แก่ วัสดุผงทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide powder) ที่มีขนาดเกรนโดยเฉลี่ย (Average grain size) ในช่วง  $0.15-12 \mu\text{m}$  สามารถขึ้นรูปที่อุณหภูมิ  $1300-1600$  องศาเซลเซียส ในชั้นบรรยากาศของไฮโดรเจน (Hydrogen Atmosphere) และเพิ่มความแข็งแรงแก่ชิ้นงานได้ด้วยการอบผนึกที่อุณหภูมิสูง (High sintering temperature) มากกว่า  $2,000$  องศาเซลเซียส

ในชั้นบรรยากาศของไฮโดรเจน การผลิตโดยการอัดขึ้นรูปและอบพื้กนี้สามารถทำในชั้นบรรยากาศของไนโตรเจน (Nitrogen atmosphere) กับผงทั้งสเดน เช่นที่อุณหภูมิ 600 – 1200 องศาเซลเซียส เป็นต้น สามารถเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอ (Wear resistance) มากกว่าเหล็กกล้าถึง 100 เท่า มาตรฐานของชิ้นงานในตลาดปัจจุบัน ได้แก่ Mitsubishi Grade MF07 : 8.0Co% , 92WC% , grain size 0.60  $\mu\text{m}$

1) Hard metals หน่วยการวัดมาตรฐาน ISO3327 จากการวัด Rupture strength = 3.9 GPa

2) Hardmetals มาตรฐานการวัด Vickers hardness ISO 3878 และการวัดหน่วย HRA ใช้มาตรฐาน ISO3738 = 94 HRA

3) Density มาตรฐาน ISO 3369 = 14.7 g/cm<sup>2</sup>

1.4.2 สมมุติฐานและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย การผลิตชิ้นส่วนด้วยวัสดุเครื่องมือตัดใช้แล้ว (Recycle)

การนำเครื่องมือตัดที่มีสมบัติด้านความแข็งและความทนทานต่อการสึกหรอสูงที่ผ่านการใช้งานมาแล้วกลับมาผลิตเป็นชิ้นงานหรือเครื่องมือแบบใหม่ ด้วยการ บด แยก ด้วยการ ใช้เทคโนโลยี ประเภทต่าง ๆ ได้แก่ เทคโนโลยีการย่อย Cutting tools scrap หรือ Processing of Tungsten scrap ได้แก่

1) Hydrometallurgy : chemical method

2) Melting metallurgy : melting method

3) Direct recycling : Heating it in air to temperature 800 -1000 °c

4) Semi direct recycling : dissolve chemically

ทำให้เป็นผงที่มีสมบัติต่อการพัฒนาไปสู่การขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน (Solid part) มีสมบัติดีกว่าเหล็กกล้าและชิ้นส่วนที่ต้านทานต่อการสึกหรอ

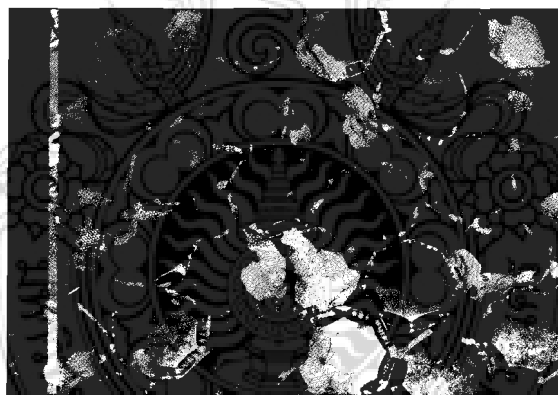
เครื่องมือตัดที่ผ่านการใช้งานแล้วในประเทศไทยมีจำนวนมากโดยอ้างอิงจากยอดนำเข้าในแต่ละปี ซึ่งเครื่องมือตัดจะใช้งานเฉพาะบริเวณคมตัดเพื่อการตัดแต่งเท่านั้นเมื่อคมตัดเสียหายกระทั่งหมดอายุการใช้งาน เช่น คมตัดสึกหรอจากการตัดแต่งชิ้นงานไม่สามารถใช้งานได้ อีก ส่วนอื่น (Body) ทั้งแบบ Solid tools และ Insert tools จะกลายเป็นของเหลือใช้ทันที เป็นวัสดุที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้อีกต่อไปกลายเป็นเศษโลหะ และที่ผ่านมานี้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เป็นวัสดุไม่มีราคาเป็นขยะไม่มีใครต้องการ และเกิดการสะสมมากขึ้น ๆ กลายเป็นวัสดุทำลายยากและในระยะยาวจะเป็นมลภาวะได้ หากมีการนำกลับมาใช้ใหม่โดยผลิตเป็นผงและขึ้นรูปเป็นเครื่องมือและอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมได้อีกครั้ง จะเป็นการใช้วัสดุให้เกิดประโยชน์มากขึ้น ซึ่งเป็นการพัฒนาเครื่องมือ หรือชิ้นส่วนที่เหมาะสมต่อความทนทานต่อการสึกหรอ เช่น ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องใช้ที่มีความแข็งแรงสูง หรือผลิตเป็นเครื่องมือตัดสำหรับใช้งานใน

อุตสาหกรรมได้อย่างเดิม โดยผสมธาตุอื่นให้เหมาะสมซึ่งปริมาณวัสดุที่ใช้สำหรับการผลิตด้วยการอบผนึกไม่เหลือเศษจึงไม่สิ้นเปลืองวัสดุมากนัก การนำกลับมาผลิตใหม่จะทำได้กับวัสดุบางชนิด เช่น ทังสเตนคาร์ไบด์ เหล็กกล้ารอบสูง เป็นต้น กระบวนการวิจัยจำเป็นต้องใช้รูปแบบการศึกษาเชิงวิศวกรรมย้อนรอยและวิศวกรรมคู่ขนานด้านวัสดุ การผลิตและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วยวัสดุชนิดเดียวกัน ดังนั้นการพัฒนาเครื่องมือตัดที่กล่าวถึงนี้เป็นการนำกลับมาผ่านกระบวนการผลิตใหม่ให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพเทียบเท่าเครื่องมือในอุตสาหกรรมที่นำเข้าและเพื่อทดแทนวัสดุต่าง ๆ ที่สมบัติใกล้เคียงกัน เป็นการลดการขาดดุลของประเทศในระยะยาว โดยเริ่มจากการศึกษากรรมวิธีการย่อยให้เป็นผง ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตด้วยส่วนผสมต่างกัน และพัฒนาต่อยอดเป็นสินค้าตามลำดับต่อไป

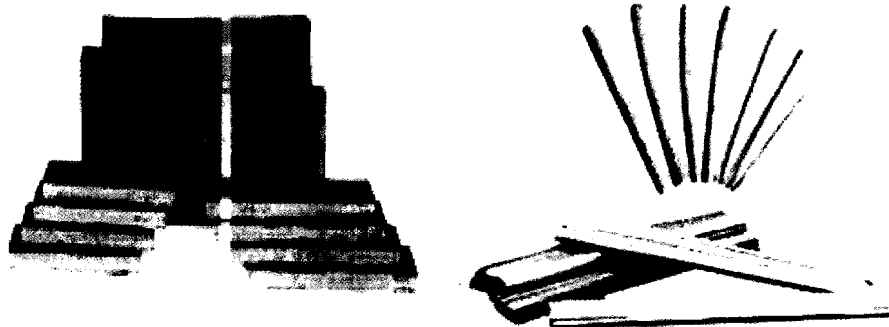
จากรายงาน USGS Science for a changing world เกี่ยวกับการนำชิ้นงานทังสเตนกลับมาใช้ใหม่ สำหรับประเทศสหรัฐอเมริกา โดย Kim B.Shedd เรื่อง Tungsten Recycling in the United States in 2000 ผลการวิจัยนี้ได้ถูกเปิดเผยเมื่อ ปี พ.ศ. 2548 พบว่าที่ประเทศดังกล่าวนี้การใช้ทังสเตนมีแนวโน้มมากขึ้นและสัดส่วนการใช้งานสูงกว่าวัสดุอื่นในกลุ่มวัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่ จากรายงานสรุปว่า มีสัดส่วนการใช้วัสดุทังสเตนที่เรียกว่า New scrap ต่อ Old scrap ในอัตราส่วน 20 ต่อ 80 และเมื่อพิจารณาสัดส่วนการนำวัสดุเก่าใช้งานแล้วกลับมาใช้ใหม่ปรากฏว่าเป็นวัสดุชนิดทังสเตนมากกว่าชนิดอื่นร้อยละ 66 ของวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ทั้งหมด ในปี ค.ศ. 2000 สหรัฐอเมริกามีทังสเตนที่เป็น New scrap สูงถึง 10,400 ตัน ส่วนใหญ่ผลิตเป็นวัสดุผงและชิ้นงานที่มีความแข็งสูง (Hard metal) ในปี ค.ศ.2000 สหรัฐอเมริกานำเข้า Tungsten ,Waste and Scrap สูงถึง 993 ตัน มูลค่าประมาณ 248,000,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 81 ของทั้งหมด โดยนำเข้าจากประเทศจีนร้อยละ 25 เกาหลีใต้และรัสเซียร้อยละ 15 เยอรมันร้อยละ 8 ญี่ปุ่น อเมริกาใต้และอุซเบกิสถานร้อยละ 6 และประเทศอื่น ๆ กว่า 14 ประเทศ ส่วนการผลิตชิ้นส่วนหรือเครื่องมือวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ (Heavy metal alloy scrap) โดยกระบวนการ Direct recycling process กระบวนการกำจัดออกไซด์ใน Scrap โดยการอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ ประมาณ 600-1,000 องศาเซลเซียส จากนั้นบดและทำความสะอาด และทำ hydrogen reduced ที่อุณหภูมิเหมาะสม ในช่วง 800 -1,200 องศาเซลเซียส

จากรายงานของ International Tungsten Industry Association ทังสเตนจะมีสมบัติในด้านต่าง ๆ ได้แก่ Atomic weight 183.85 g/g atom ความหนาแน่น (Density) 19.25 g/cm<sup>3</sup> จุดหลอม (Melting) 3387-3,422 องศาเซลเซียส จากรายงานพบว่าการนำวัสดุในอุตสาหกรรมกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) ทั่วโลก มีทังสเตนมากกว่าร้อยละ 30 และหากนับรวมการนำทังสเตนและเหล็กกล้ารอบสูงกลับมาใช้ใหม่ผสมกับวัสดุอื่น ๆ แล้วมีสัดส่วนการใช้สูงถึงร้อยละ 60-70 และในส่วนของทังสเตนคาร์ไบด์(WC) ส่วนมากผลิตเป็นผง (Powder) โดยมีคาร์บอนบริสุทธิ์ (Pure carbon Powder) ในสัดส่วนที่เหมาะสม สามารถทำการผลิตด้วยอุณหภูมิในช่วง 900 -2,000 องศาเซลเซียส

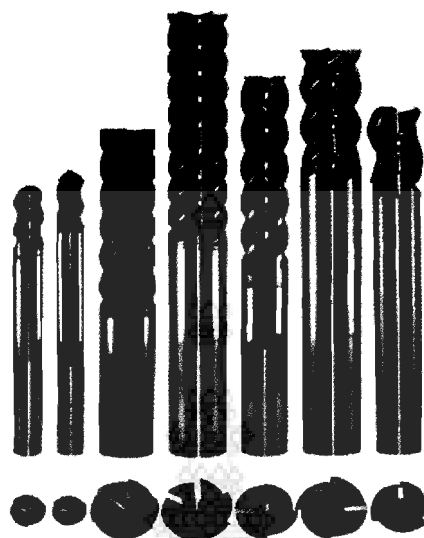
ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่จำหน่ายในตลาดทั่วโลก ชิ้นงานที่ผลิตด้วยผงทั้งสแตนคาร์ไบด์วัสดุที่นิยมทำเป็นตัวประสาน (Binder) เพื่อเพิ่มสมบัติเหมาะสมกับการใช้งาน ได้แก่ สัดส่วนคาร์บอน(C) ร้อยละ 3.8-4.1 เหล็ก (Fe) ร้อยละ 0.25-0.50 โครเมียม (Cr) ร้อยละ 0.2 โคบอลต์ (Co) ร้อยละ 0.30 และธาตุอื่น ๆ เช่น Ti-Ta+Nb ร้อยละ 0.2 ชิ้นงานจะมีสมบัติ ดังนี้ ความแข็ง (Hardness) 2,000-2,500 HV ความหนาแน่น 16-17 g/cm<sup>3</sup> ขนาดเกรน (Particle size:mesh) มีหลายขนาด ในช่วงต่างกัน ได้แก่ 10-20 , 20-30, 30-40 , 40-60, 60-80, 80-100, 100-200 โดยขนาดเกรนที่โตกว่าผลิตได้ก่อน สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายแบบ ได้แก่ ผลิตเป็นชิ้นส่วนสำหรับอุปกรณ์ชิ้นส่วนเครื่องมือในงานด้านทานการสึกหรอสูง (Abrasion machine part) ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหนัก อุปกรณ์ขุดเจาะ(Excavator) ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลส่งกำลังสูง เช่น เฟือง ลูกรีด ชิ้นส่วนในเครื่องใช้เครื่องประดับที่คงทน ได้แก่ ชิ้นส่วนนาฬิกา ของเล่น ที่แข็งแรงสูงทนทานต่อการกัดกร่อน และผลิตเครื่องมือตัด(Cutting tools) และการเลือกวัสดุผสมขึ้นกับความต้องการด้านใช้งาน โดยเฉพาะ โคบอลต์ เป็นวัสดุประสานที่ดีสามารถผสมในสัดส่วนสูงถึง ร้อยละ 20 เป็นต้น



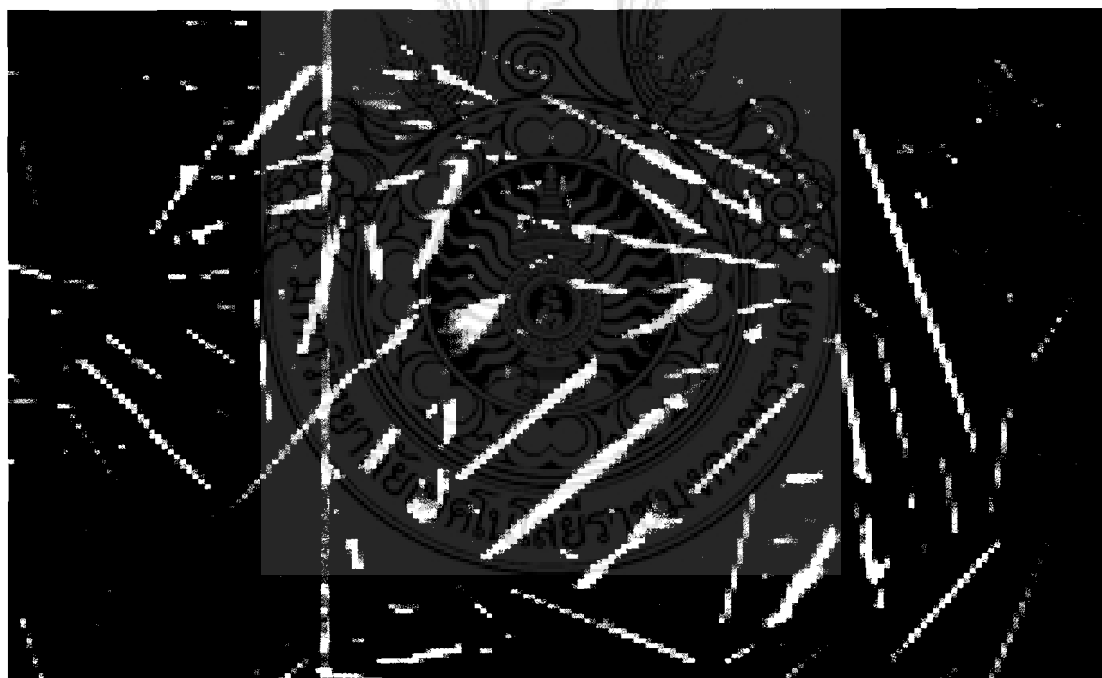
ภาพที่ 1.10 เศษชิ้นส่วนแผ่นมีดตัดที่ไม่สามารถใช้งานได้ [6]



ภาพที่ 1.11 ทั้งสแตนแบบแผ่นและแบบแท่งสี่เหลี่ยม(Tungsten plates and square bars) [27]



ภาพที่ 1.12 เอ็นมิลล์ชนิดทั้งสแตนคาร์ไบด์ [25]



ภาพที่ 1.13 เศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ [26]

ทำให้เห็นโอกาสในการนำเครื่องมือตัดจากวัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์ประเภทดอกกัด(End mills) ที่ใช้แล้วโดยทำให้นำกลับมาใช้ได้ อีก โดยทั่วไปการนำวัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมาใช้ใหม่ มีกระบวนการย่อยสลาย 4 วิธี ได้แก่ Hydrometallurgy, Melting metallurgy,

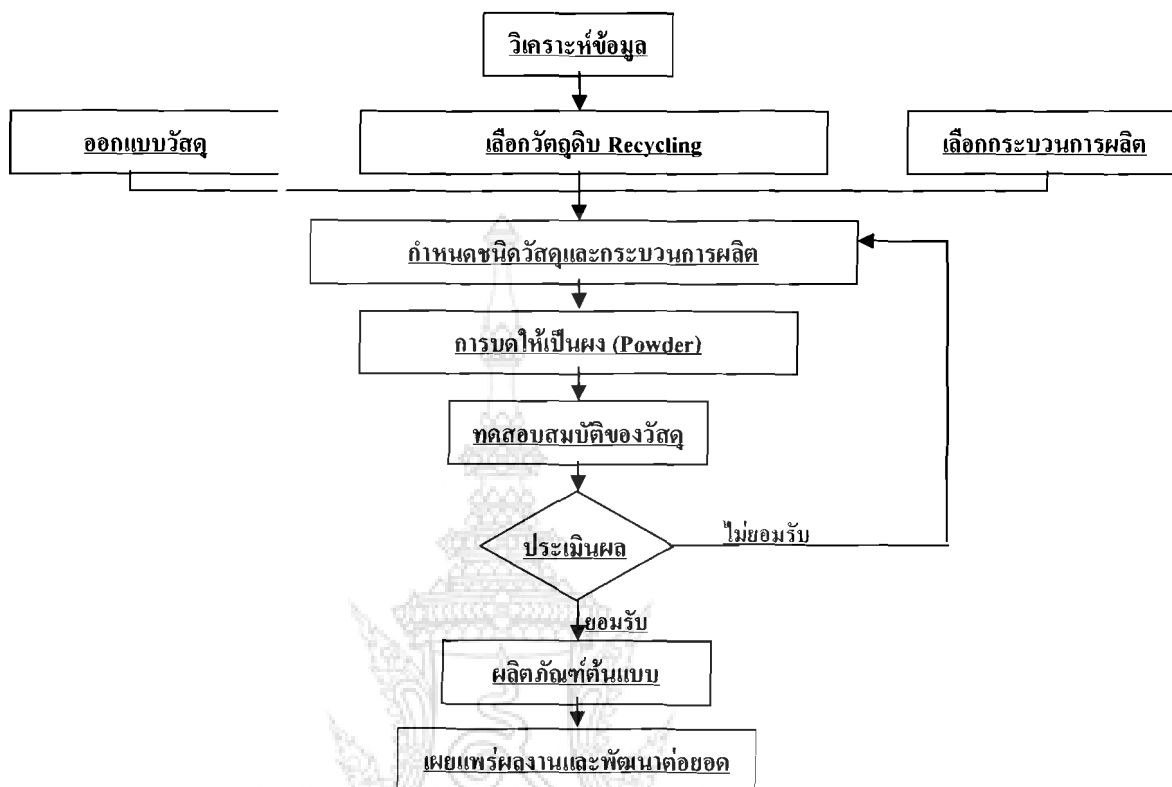
Direct recycling และ Semi direct recycling ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาแนวทางการนำเศษเอ็นมิลล์ชนิดทั้งสแตนคาร์ไบต์กลับมาใช้ใหม่โดยสลายโคบอลต์ที่เป็นโลหะยึดติดหรือโลหะประสานทั้งสแตนคาร์ไบต์ให้ติดกันด้วยกระบวนการวิธี Hydrometallurgy ซึ่งเลือกใช้การย่อยสลายด้วยไฟฟ้าในสารละลายกรด (Electrolysis) ซึ่งกระบวนการนี้จะได้ผงโลหะที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบต์ได้ใหม่ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการทดลองและคาดว่าจะลดการนำเข้าจากต่างประเทศและเป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องมือตัดในอนาคตต่อไป

## 1.5 วิธีการดำเนินงานของโครงการ

### 1.5.1 การเตรียมงานและการวิจัย

- 1) จัดหาวัตถุดิบ ทั้งสแตนคาร์ไบต์ (เครื่องมือตัดที่ผ่านการใช้งานแล้ว) หรือ เหล็กกล้ารอบสูง จากแหล่งต่าง ๆ ที่สำคัญ ประกอบด้วย ผ่านทางสมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย ผ่านทางสถาบันไทย – เยอรมัน และ กับสถานประกอบการ ผู้ใช้งาน โดยตรง
- 2) ศึกษาและตรวจวัดคุณลักษณะของเครื่องมือตัดที่ใช้งานแล้วเพื่อคัดแยกและจัดกลุ่ม ให้ง่ายต่อการ Recycle ได้แก่ รูปร่าง ขนาดและชนิดสารเคลือบ เป็นต้น
- 3) เตรียมวัตถุดิบ ได้แก่ การอบที่อุณหภูมิ 800 – 1200 องศาเซลเซียส และการทำให้แตก การย่อยเพื่อลดขนาดของเครื่องมือตัดใช้แล้วให้เล็กลงก่อนนำไป บดเป็นผงต่อไป
- 4) พัฒนาวัสดุเครื่องมือตัดที่ผ่านการใช้งาน เป็นวัสดุผง (Powder)
- 5) ศึกษาแนวทางที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน สำหรับผลิตเป็นชิ้นงานสำเร็จ (Solid part)
- 6) ศึกษาการออกแบบและทดสอบด้านสมบัติทางกล
- 7) การประเมินคุณภาพวัสดุผงที่ได้จากการผลิต ค้นหาจุดบกพร่องและปรับปรุง
- 8) พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์วัสดุผงจากเครื่องมือตัดที่หมดอายุการใช้งานแล้ว
- 9) การสร้างมาตรฐานชิ้นงานวัสดุผงให้เป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์





ภาพที่ 1.14 Methodologies

## 1.5.2 กระบวนการและเวลาดำเนินการ

1.5.2.1. จัดเตรียมวัสดุคืบและตรวจสอบคุณลักษณะ(ชนิด รูปร่าง ขนาด) ของเครื่องมือตัดใช้งานแล้ว

1.5.2.1.1 จัดหาวัสดุคืบ (เครื่องมือและชิ้นส่วนผ่านการใช้งานแล้ว)

1.5.2.1.2 แยกกลุ่มวัสดุ เครื่องมือใช้แล้วและทำให้สะอาด

1.5.2.1.3 เลือกขนาดของ Scrap ที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตผง (Powder)

1.5.2.2. ศึกษาและเลือกกระบวนการย่อยที่เหมาะสม

1.5.2.2.1 เลือกวิธีการย่อยวัสดุให้เล็กลง ด้วยกระบวนการที่เหมาะสม

1.5.2.2.2 เลือกวิธีการแยกวัสดุย่อยวัสดุให้ขนาดเล็กลง (Crushed)

1.5.2.2.3 เลือกวิธีผลิตผง (Powder) ได้แก่ การบดด้วย Ball milling

1.5.2.3. บดย่อยวัสดุ เช่น ทังสเตนคาร์ไบด์

1.5.2.3.1 บดย่อยวัสดุให้ได้ ขนาด 3.00 – 5.00 mm

1.5.2.3.2 บดย่อยให้ได้ ขนาดเล็กหรือไม่เกิน 1.00-2.00 mm

1.5.2.3.3 บดเป็นผง (Powder) ให้ขนาด (Grain size) ไม่เกิน 10.00  $\mu\text{m}$

#### 1.5.2.4. ตรวจสอบคุณลักษณะของ Powder ที่ผ่านการย่อย

1.5.2.4.1 ตรวจสอบ Particle size & distribution ของ Powder

1.5.2.4.2 ตรวจสอบ Density

1.5.2.4.3 กำหนดขนาดและรูปร่างของ Powder เพื่อการผลิต

#### 1.5.2.5. กำหนดมาตรฐานวัสดุผงและสรุปผลงาน

1.5.2.5.1 ปรับปรุงคุณลักษณะให้เหมาะสม

1.5.2.5.2 กำหนดมาตรฐาน

### 1.6 สถานที่ทดลองและเก็บข้อมูล

1.6.1 บริษัท เอ็น อาร์ อินคัสทรี จำกัด ผู้ผลิตและใช้เครื่องมือตัดให้การสนับสนุนด้านการจัดทำวัตถุดิบเพื่อทดลอง

1.6.2. ห้องปฏิบัติการ ปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าด้วยความร้อน ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ ให้การสนับสนุนด้านต่าง ๆ ได้แก่

- เตาอบชุบแบบสุญญากาศ (Vacuum furnace) สำหรับการชุบแข็งทั้งชิ้นงาน
- เตาชุบ
- ห้องปฏิบัติการด้าน โลหะวิทยา
- เครื่องทดสอบส่วนผสมทางเคมี เครื่องทดสอบความแข็ง และอื่น ๆ

1.6.3. ศูนย์เทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ ให้ความร่วมมือด้านเครื่องจักรที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานและทดสอบ ประกอบด้วย

- เครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC Lathe)
- เครื่องกลึง และเครื่องกัด

รวมถึงการออกแบบและผลิต (CAD/CAM/CAE) การวิเคราะห์และจำลองสถานการณ์ การทดสอบรูปทรงและขนาดด้วยเครื่องมือวัดละเอียด ได้แก่ CMM , Measuring microscope , Surface roughness , Microscope และอื่น ๆ

1.6.4. สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

1.6.5. สถาบันไทย-เยอรมัน และบริษัทเอกชนที่เกี่ยวข้อง

ผลงานวิจัยนี้จะนำไปสู่การพัฒนาวัสดุผงต้นแบบ (Prototype) จากเครื่องมือตัดหาคออายุการใช้งานแล้ว สามารถผลิตให้เป็นผง เพื่อนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นชิ้นงานทดแทนการนำเข้าในโอกาสต่อไป

### 1.7 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย (อุปกรณ์การวิจัย โครงสร้างพื้นฐาน)

1.7.1 ศูนย์เทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ ให้ความร่วมมือด้านเครื่องจักรที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานและทดสอบ ประกอบด้วย

- เครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC Lathe) เครื่องกลึง เครื่องกัด เครื่องเจียรระโนผิวเรียบ เครื่องมือวัดละเอียด ได้แก่ CMM , Measuring microscope , Surface roughness , Microscope และอื่น ๆ

1.7.2 ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

- เครื่องบด (Mechanical alloying)
- เครื่องผสม
- ตรวจสอบการกระจายของวัสดุผง และอื่น ๆ

1.7.3 ห้องปฏิบัติการ ปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าด้วยความร้อน ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ ให้การสนับสนุนด้านต่าง ๆ ได้แก่

- เตาอบชุบแบบสุญญากาศ (Vacuum furnace) สำหรับการชุบแข็งทั้งชิ้นงาน
- อุปกรณ์การอบชุบ
- ห้องปฏิบัติการด้านโลหะวิทยา
- เครื่องทดสอบส่วนผสมทางเคมี เครื่องทดสอบความแข็ง และอื่น ๆ

1.7.4 สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

1.7.5 สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย และบริษัทเอกชนที่เกี่ยวข้อง

### 1.8 วัสดุอุปกรณ์ในการทดลองโครงการ

อุปกรณ์การวิจัย อุปกรณ์การวิจัยที่จำเป็นต้องใช้และมีพร้อมได้แก่

1.8.1 เครื่องอบให้ความร้อน

1.8.2 เครื่องบด SPEX-8000 Mill ขนาด 19 in. (48 cm) x 14 in. (36 cm) x 18 in ใช้สำหรับ (Applications) particle size reducing, blending or mixing, particle shape change

1.8.3 เครื่องกลึง (Lathe machine) เครื่องกัด (Milling machine) เครื่องเจาะ (Drilling) และ เครื่องเจียรระโน (Grinding machine)

- 1.8.4 เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling machine) เครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC Lathe)
- 1.8.5 เครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า (EDM) หรือเครื่องเจียรระโน
- 1.8.6 เตาชุบแข็งสุญญากาศควบคุมการชุบแข็งและการอบคืนตัวแบบอัตโนมัติ
- 1.8.7 วัสดุชิ้นงานสำหรับผลิตเครื่องมือตัดสามารถจัดหาได้ง่าย ได้แก่ เหล็กกล้าเครื่องมือ เหล็กกล้ารอบสูง และทังสเตนคาร์ไบด์ หรือ ซีเมนต์คาร์ไบด์
- 1.8.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก 1/10000 กรัม
- 1.8.9 XRD, CMM, Measuring microscope, Surface roughness, Microscope และเครื่องมืออื่น ๆ
- 1.8.10 เครื่องวัด Multimeter ชนิด Clamp ยี่ห้อ Digicon ขนาด 1000 โวลต์, 2000 แอมแปร์
- 1.8.11 เครื่องประจุไฟฟ้ายี่ห้อ Super ขนาด 24 โวลต์ 30 แอมแปร์
- 1.8.12 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบเข็มยี่ห้อ Mariellato ขนาด 2 กิโลกรัม
- 1.8.13 พัดลมตั้งพื้นยี่ห้อ Hatari รุ่น BF-753M ใบพัดขนาด 16 นิ้ว
- 1.8.14 เครื่องทดสอบความแข็ง Hardness Rockwell
- 1.8.15 เตาอบสุญญากาศ
- 1.8.16 เตาอบไฟฟ้า ยี่ห้อ Linn ขนาด 1300 °C
- 1.8.17 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ยี่ห้อ AND รุ่น HR-200 รับน้ำหนักสูงสุด 210 กรัม ความละเอียด 1/1000 กรัม
- 1.8.18 เตาไฟฟ้าเอนกประสงค์ยี่ห้อ Kando รุ่น KOF-1000 ขนาด 1000 watt
- 1.8.19 สารละลายกรดชนิดต่างๆ ได้แก่
- 1.8.19.1 กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
- 1.8.19.2 กรดฟอสฟอริก ( $H_3PO_4$ )
- 1.8.19.3 กรดอะซิติก ( $C_2H_4O_8$ )
- 1.8.19.4 แอลกอฮอล์ชนิด Ethyl Alcohol
- 1.8.19.5 น้ำกลั่นบริสุทธิ์
- 1.8.20 อุปกรณ์การทดลองทางเคมี ได้แก่
- 1.8.20.1 หลอดดูดสารเคมี
- 1.8.20.2 ปรอทวัดอุณหภูมิ ขนาด 0 – 200 °C, 0 – 300 °C
- 1.8.20.3 บีกเกอร์ (ชนิด Pyrex) 2000 ml, 1000 ml., 600 ml, 100 ml, 80 ml, 25 ml.
- 1.8.20.4 บีกเกอร์พลาสติก (ชนิด PP) 1000 ml, 250 ml.

1.8.20.5 ขวดพลาสติก (ชนิด PP ขนาด) 2000 ml, 1000 ml.

1.8.20.6 ขวดแก้ว ขนาด 500 ml.

1.8.20.7 คีมจับชิ้นงานทำจากสแตนเลส

1.8.20.8 ช้อนพลาสติกสำหรับตักสารเคมี

1.8.21 อุปกรณ์ต่างๆ

1.8.21.1 แวนตาป้องกันสารระเหย

1.8.21.2 หน้ากากป้องกันสารระเหย

1.8.21.3 ถุงมือกันกรด

1.8.21.4 เสื้อกราวด์

1.8.21.5 อุปกรณ์เป่าให้ความร้อน

1.8.21.6 สำลี, กระดาษทำความสะอาด

1.8.22 เศษชิ้นงานทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว

## 1.9 ประโยชน์ที่ได้รับของโครงการ

1.9.1 สามารถย่อยเศษชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยกรรมวิธีทาเคมีไฟฟ้า

1.9.2 รู้วิธีการใช้ ประโยชน์ ข้อควรระวัง โทษของสารเคมีประเภทกรดต่างๆ

1.9.3 รู้ส่วนผสมและความแข็งของเศษชิ้นงานทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งก่อนอบและหลังอบ

1.9.4 สามารถรู้ขั้นตอนการอบชิ้นงานภายใต้จุดหลอมเหลวของชิ้นงานที่อบ

1.9.5 เป็นข้อมูลพื้นฐานให้นักศึกษาหรือผู้ที่สนใจทางด้านนี้ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาการ

ทดลองต่อไป

1.9.6 สามารถแก้ไข้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง

1.9.7 ได้ฝึกตนเองในการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม การแสดงความคิดเห็นของกลุ่ม

1.9.8 ได้ฝึกฝนในการสื่อสารกับหน่วยงานอื่นที่เราไปติดต่อขอความช่วยเหลือทางด้านวัสดุ

อุปกรณ์ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.9.9 ได้ฝังทั้งสแตนจากกระบวนการทดลองชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์

1.9.10 สามารถแยกฝังทั้งสแตนออกจากสารละลายได้

1.9.11 สามารถรู้วิธีการตรวจสอบ ส่วนผสมและคุณสมบัติของฝังโลหะที่ทดลองได้

1.9.12 คาดว่าในอนาคตจะช่วยลดปริมาณการนำเข้าของฝังทั้งสแตนได้

## บทที่ 2

### แนวคิด และทฤษฎีที่สำคัญ

#### 2.1 บทนำ

จากการศึกษาแนวทางการนำวัสดุเครื่องมือตัดชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ ที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมาใช้ใหม่

โดยการทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยได้กล่าวถึงความหมายของ สแตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide) และในบทนี้จึงกล่าวถึง การผลิตโดยการอบพ่นิก (Sintering theory) และการแยกสลายทางเคมีไฟฟ้า

โดยทฤษฎีต่างๆเหล่านี้ต้องนำมาใช้วิเคราะห์ในการศึกษาขั้นตอนการทำงานในกระบวนการผลิต และแผนการวิเคราะห์เพื่อการทดลอง

#### 2.2 นิยามศัพท์สำคัญ[6]

2.2.1 สแตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide) คือ วัสดุที่ทำจากการผสม Carbides ของ Tungsten และ Titanium หรือ Tantalum ซึ่งจะนำมาอัดขึ้นรูปเข้าด้วยกัน โดยใช้กระบวนการทางความร้อน เรียกว่า การอบพ่นิก (Sintering) คาร์ไบด์ (Carbide) ที่ได้จะมีคุณสมบัติ ทนต่อการเสียดสี ทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิสูง มีความแข็งมากกว่า 70 HRA ซึ่งมีความแข็งสูงกว่าเหล็กกล้าโรบสูง (High speed steels) และสามารถรับแรงอัด ได้สูงถึง  $7 \times 10^{10}$  ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (PSI)

2.2.2 การอบพ่นิก (Sintering theory) คือ กระบวนการทางความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมอนุภาคเข้าด้วยกันสมบัติที่ได้จากการอบพ่นิกเป็นการปรับปรุงสมบัติจากสถานะก่อนเผาหรือสถานะกรีน (Green state) ผลกระทบจากกลไก และกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการอบพ่นิกแสดงในรูปของอะตอม พร้อมทั้งอธิบายการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างรูพรุน โดยเน้นเหตุการณ์ซับซ้อนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการอบพ่นิก โดยเฉพาะการอบพ่นิกแบบมีเฟสของเหลว (Liquid phase sintering) และวัฏจักรทางความร้อนอื่นๆ ขั้นตอนที่ 1 การอบพ่นิกเริ่มต้นจากขั้นตอนแรก (Initial stage) ที่คอคอดระหว่างอนุภาคมีการเพิ่มขนาดอย่างรวดเร็ว ขั้นตอนที่ 2 ต่อมาเรียกว่าขั้นตอนกลาง (Intermediate stage) โครงสร้างรูพรุนราบเรียบขึ้น และมีการเชื่อมต่อกันของรูพรุนเป็นลักษณะทรงกระบอก (Cylindrical nature) ขณะที่สมบัติของชิ้นงานมีการพัฒนา ขั้นตอนที่ 3 เกิดการโตของเกรน (Grain growth) ส่งผลให้เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น และจำนวนเกรนลดน้อยลง

2.2.3 การกัดกร่อน (Corrosion) จากนิยามตามมาตรฐาน DIN EN ISO 8044 การกัดกร่อน

หมายถึงปฏิกิริยาระหว่างวัสดุกับสิ่งแวดล้อมซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสภาพของวัสดุนั้นๆ และยังผลให้ความสามารถในการทำหน้าที่ของวัสดุดังกล่าวเสียไป ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเป็นได้ทั้งปฏิกิริยาเคมี ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า หรือปฏิกิริยาทางกายภาพของโลหะ

### 2.3 ไฟฟ้าเคมี (Electrochemistry) [4]

ไฟฟ้าเคมีเป็นการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีหากใช้การถ่ายเทอิเล็กตรอนเป็นเกณฑ์แล้ว ปฏิกิริยาเคมีแบ่งเป็น 2 ประเภท

ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเท  $e^-$  เรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox reaction)

ปฏิกิริยาที่ไม่มีการถ่ายเท  $e^-$  เรียกว่าปฏิกิริยานั้นรีดอกซ์ (Nonredox reaction)

ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox reaction หรือ Oxidation-reduction reaction)

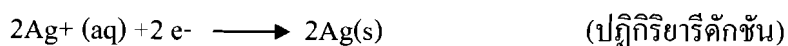
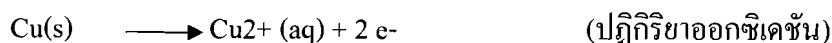
ปฏิกิริยารีดอกซ์ หมายถึง ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเท  $e^-$

ตัวอย่าง เมื่อนำแผ่นโลหะทองแดง (Cu) จุ่มลงในสารละลายของ  $AgNO_3$  พบว่าที่แผ่นโลหะ Cu มีของแข็งสีขาวปนเทาเกาะอยู่ และเมื่อนำมาเคาะจะพบว่าโลหะ Cu เกิดการสึกกร่อน ส่วนสีของสารละลาย  $AgNO_3$  ก็จะเปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีฟ้า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้อธิบายได้ว่าการที่โลหะทองแดงเกิดการสึกกร่อนเป็นเพราะโลหะทองแดง (Cu) เกิดการเสียอิเล็กตรอนกลายเป็น  $Cu_2^+$  ซึ่งมีสีฟ้าและเมื่อ  $Ag^+$  รับอิเล็กตรอนเข้ามาจะกลายเป็น Ag (โลหะเงิน) มาเกาะอยู่ที่แผ่นโลหะทองแดง

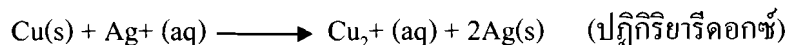
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เขียนในรูปสมการได้ดังนี้



$e^-$  ที่ถ่ายเทต้องเท่ากันสมการเคมีที่เกิดขึ้นที่แท้จริงต้องเป็น



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแต่ละสมการเรียกว่าครึ่งปฏิกิริยาซึ่งการเกิดปฏิกิริยาถ่ายเท  $e^-$  จะเกิดขึ้นได้สมบูรณ์ก็ต่อเมื่อต้องนำครึ่งปฏิกิริยาทั้งสองมารวมกัน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้



สรุปได้ว่าการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์จะต้องประกอบไปด้วย

สารที่ให้  $e^-$  เรียกว่าตัวรีดิวซ์ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction)

สารที่รับ  $e^-$  เรียกว่าตัวออกซิไดซ์ เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction reaction)

2.3.1 การกัดกร่อน(Corrosion) [4] โดย รศ. สุธา สุทธิเรืองวงศ์. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ.

จากนิยามตามมาตรฐาน DIN EN ISO 8044 การกัดกร่อน (Corrosion) คือปฏิกิริยาระหว่างวัสดุกับสิ่งแวดล้อมซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสภาพของวัสดุนั้นๆ และยังผลให้ความสามารถในการทำหน้าที่ของวัสดุดังกล่าวเสียไป ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเป็นได้ทั้งปฏิกิริยาเคมี ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า หรือปฏิกิริยาทางกายภาพของโลหะ



ภาพที่ 2.1 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกาว (SEM) แสดงการสูญเสียโคบอลต์ของซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบต์เนื่องจากการกัดกร่อน [4]



## 2.4 การย่อยสลายด้วยไฟฟ้า

ปฏิกิริยาเคมีบางชนิดไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง เช่น ปฏิกิริยาการสลายตัวของน้ำเพื่อให้ได้แก๊สออกซิเจนและแก๊สไฮโดรเจน หรือปฏิกิริยาการสลายของเกลือโซเดียมคลอไรด์เพื่อให้ได้โลหะโซเดียมและแก๊สคลอรีน อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถทำให้เกิดขึ้นได้ โดยอาศัยแรงผลักดันจากพลังงานไฟฟ้าภายนอก (Electrical energy) เข้าช่วย กระบวนการย่อยสลายสารเคมีที่ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าภายนอกนี้มีชื่อเรียกว่า การทำอิเล็กโทรลิซิส (electrolysis) โดยสารที่จะนำมาทำอิเล็กโทรลิซิสได้ต้องเป็นสารอิเล็กโทรไลต์

### 2.4.1 เซลล์อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytic cell)

ประโยชน์ของเซลล์อิเล็กโทรไลต์ การทำทองแดงให้บริสุทธิ์ โดยปกติทองแดงที่ได้จากการถลุงสินแร่จะมีความบริสุทธิ์ไม่เกินร้อยละ 99 ที่เหลือเป็นสิ่งเจือปนได้แก่ เหล็ก เงิน ทองแดง แพลทินัม และสังกะสี จึงเป็นผลให้ทองแดงนำไฟฟ้าลดลง เราสามารถทำให้ทองแดงบริสุทธิ์โดยใช้เซลล์อิเล็กโทรไลต์ ซึ่งอาจแยกออกมาขายหรือทำให้บริสุทธิ์ต่อไป การทำทองแดงให้บริสุทธิ์โดยวิธีนี้จะได้ทองแดงที่มีความบริสุทธิ์ถึง 99.95% การผลิตโลหะอะลูมิเนียม ถ้าใช้วิธีการถลุงสินแร่ด้วยความร้อนจะเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก เนื่องจากหาตัวรีดิวซ์ที่เหมาะสม ได้ยากและสินแร่บอไซด์มีจุลหุลอมเหลวสูงกว่า  $2000^{\circ}\text{C}$  แต่ถ้าผสมสินแร่บอไซด์กับสินแร่ไครโอไลต์ ของผสมนี้จะมีจุลหุลอมเหลวต่ำลงและนำไฟฟ้าได้ จึงสามารถใช้กระบวนการอิเล็กโทรลิซิสแยกโลหะอะลูมิเนียมออกมาได้ การผลิตโลหะแมกนีเซียม แหล่งโลหะแมกนีเซียมที่สำคัญ คือ น้ำทะเลซึ่งอยู่ในรูปของ  $\text{Mg}^{2+}$  เมื่อนำน้ำทะเลมาทำให้เป็นเบสจะได้ตะกอนของ  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก และทำให้แห้งจะได้  $\text{MgCl}_2$  ที่เป็นของแข็ง เมื่อให้ความร้อนจน  $\text{MgCl}_2$  หลอมเหลวแล้วผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปได้โลหะแมกนีเซียม เกาะที่แคโทด และได้แก๊สคลอรีนที่แอโนด

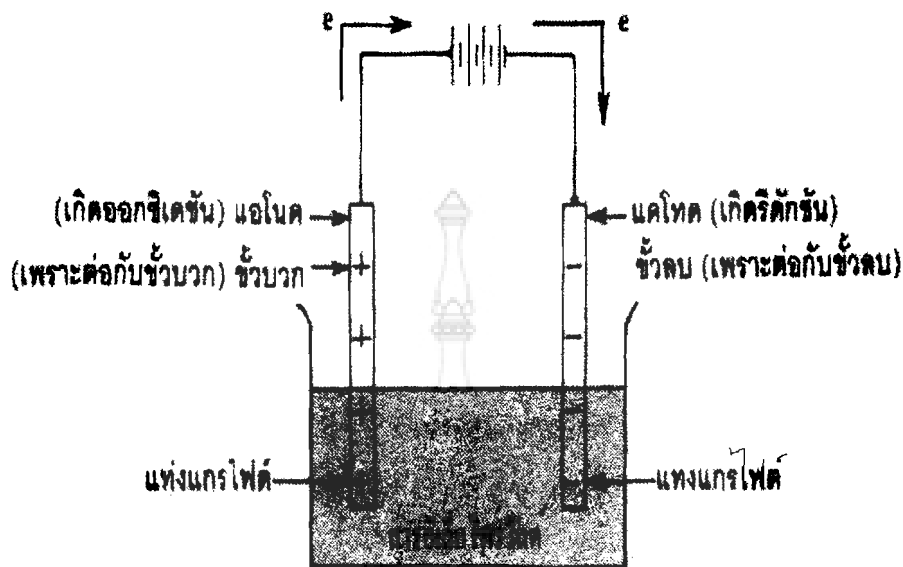
อิเล็กโทรลิซิส เป็นกระบวนการผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารอิเล็กโทรไลต์แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อให้ได้สารผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ โดยอาศัยชุดอุปกรณ์ที่มีชื่อเรียกว่า เซลล์อิเล็กโทรไลต์ ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

2.4.1.1 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากภายนอก เช่น แบตเตอรี่ หรือ แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC generator)

2.4.1.2 ขั้วไฟฟ้า (electrode) 1 คู่ ที่ทำหน้าที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบ ซึ่งอาจทำมาจากสินโลหะหรือแท่งแกรไฟต์

2.4.1.3 สารอิเล็กโทรไลต์ (สารที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้า) อาจอยู่ในรูปสารละลายหรือสารประกอบที่หลอมเหลว

2.4.1.4 ภาชนะสารบรรจุอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งทำจากวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้า



ภาพที่ 2.2 การแยกสารด้วยไฟฟ้า (Electrolysis)

#### 2.4.2 การแยกสารด้วยไฟฟ้า (Electrolysis)

การทำอิเล็กโทรไลต์จะเกิดขึ้นได้ต้องจัดเตรียมอุปกรณ์เซลล์อิเล็กโทรไลต์ให้พร้อมเสียก่อน โดยการนำขั้วไฟฟ้า (สำหรับส่งผ่านอิเล็กตรอน) ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอก เรียกขั้วไฟฟ้าที่ต่อกับขั้วบวกของแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าว่า ขั้วบวก และเรียกขั้วไฟฟ้าที่ต่อกับขั้วลบของแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าว่า ขั้วลบ จากนั้นจึงจุ่มขั้วไฟฟ้าทั้งสองลงในสารอิเล็กโทรไลต์

การทำอิเล็กโทรไลต์ เริ่มต้นจากการปิดวงจร ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขั้วไฟฟ้าทั้งสองลงไปในอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะส่งผลให้อิออนต่างๆ (ที่มีอยู่ในสารอิเล็กโทรไลต์) พากันเคลื่อนที่มายังขั้วไฟฟ้าที่มีประจุตรงข้ามกับชนิดของไอออนนั้น โดยขณะปฏิกิริยากำลังดำเนินไป ไอออนลบจะเคลื่อนที่เข้ามาให้อิเล็กตรอนแก่ขั้วบวก แล้วอิเล็กตรอนนี้ก็จะเคลื่อนที่จากขั้วบวกผ่านวงจรไฟฟ้าที่ต่ออยู่ภายนอกไหลเข้าสู่ขั้วลบและอิเล็กตรอนที่ขั้วลบก็จะถูกจ่ายให้กับไอออนบวกที่เคลื่อนที่เข้ามา

เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำอิเล็กโทรไลต์ มีทั้งการให้และรับอิเล็กตรอนประกอบอยู่ ดังนั้นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการทำอิเล็กโทรไลต์ จึงจัดเป็นกิริยารีดอกซ์ โดยชนิดของขั้วไฟฟ้าจะถูกกำหนดด้วยชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบริเวณรอบๆ ขั้วไฟฟ้าเป็นสำคัญและจากลักษณะการถ่ายเทอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ไหลผ่านวงจรไฟฟ้าซึ่งต่ออยู่ภายนอกนี้เองที่ส่งผลให้มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นจากครบวงจรในปฏิกิริยา

ตารางที่ 2.1 ปฏิกริยารีดออกซ์ที่เกิดขึ้นบริเวณขั้วไฟฟ้าทั้งสอง สรุปเป็นกรณีทั่วไปได้ดังนี้

ที่ขั้วบวก	ไอออนลบของสารอิเล็กโทรไลต์ จะเสียอิเล็กตรอนให้ขั้วบวกเกิดสารหรือแก๊สของไอออนลบ เรียกขั้วบวกที่เกิดปฏิกริยาออกซิเดชันนี้ว่า ขั้วแอโนด
ที่ขั้วลบ	ไอออนลบของสารอิเล็กโทรไลต์ จะเข้ามารับอิเล็กตรอนจากขั้วลบเกิดโลหะของไอออนบวก เรียกขั้วบวกที่เกิดปฏิกริยารีดักชันนี้ว่า ขั้วแคโทด

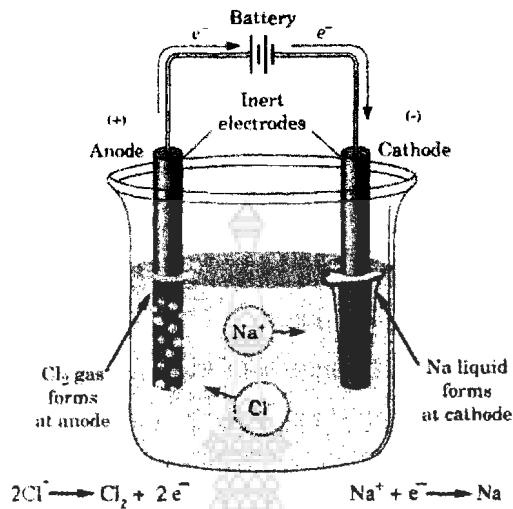
ตารางที่ 2.2 แสดงของชนิดที่ขั้วไฟฟ้ากับปฏิกริยาที่เกิดขึ้น

ขั้วไฟฟ้า	ปฏิกริยา	ชนิดของปฏิกริยา	สิ่งที่เกิดขึ้น
บวก(ขั้วแอโนด)	เสียอิเล็กตรอน	ออกซิเดชัน	สารหรือแก๊สของไอออนลบ
ลบ(ขั้วแคโทด)	รับอิเล็กตรอน	รีดักชัน	โลหะของไอออนบวก

จากที่กล่าวมาแล้วว่า สารประกอบที่นำมาแยกสลายด้วยไฟฟ้า ต้องเป็นสารอิเล็กโทรไลต์เท่านั้น ดังนั้นเราจึงไม่สามารถนำเอกสารประกอบที่เป็นของแข็งมาแยกสลายด้วยไฟฟ้าได้โดยตรง แม้ว่าภายในสารประกอบนั้นจะมีไอออนบวกและไอออนลบเป็นองค์ประกอบอยู่ก็ตามทั้งนี้เพราะไอออนเหล่านี้จะตรึงอยู่กับที่ (ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้) ดังนั้นการแยกสลายสารประกอบเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้ ต้องนำสารนั้นมาผ่านขั้นตอนการทำสารให้หลอมเหลวหรือนำมาละลายน้ำเพื่อทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออนภายในโครงผลึกเสียก่อน เพราะจะทำให้ไอออนที่มีอยู่ภายในโครงผลึกเหล่านี้ถูกแยกออกจากกัน จนมีอิสระในการเคลื่อนที่ผ่านไปตามภายในเซลล์ไฟฟ้า การแยกสลายสารด้วยไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามชนิดของสารอิเล็กโทรไลต์ คือ

#### 2.4.2.1 การแยกสารที่หลอมเหลวด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrolysis of a Molten Salt)

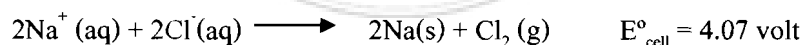
การแยกสารละลายที่หลอมเหลวด้วยกระแสไฟฟ้า มีดังเช่น การแยกสลายเกลือ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งที่สภาวะปกติ NaCl เป็นผลึกของแข็ง นำไฟฟ้าไม่ได้ ดังนั้นก่อนเข้าสู่กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส จึงต้องให้ความร้อนแก่สารจนมีอุณหภูมิสูงประมาณ 800 เพื่อให้ผลึกเกลือเกิดการหลอมเหลวจนกลายเป็นโซเดียมคลอไรด์เหลว(molten NaCl) ที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้า เนื่องจากว่ามีโซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ ) และคลอไรด์ไอออน ( $\text{Cl}^-$ ) ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ประกอบอยู่ การทำอิเล็กโทรลิซิส เริ่มต้นจากการผ่านกระแสไฟฟ้าลงสารอิเล็กโทรไลต์ที่ประกอบด้วย  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Cl}^-$  โดยมีแท่งคาร์บอน (แกรนไฟต์) ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า ซึ่งขณะทำอิเล็กโทรลิซิสจะพบว่า มีปฏิกริยาเคมีเกิดขึ้นบริเวณขั้วไฟฟ้าทั้งสอง โดยมีฟองแก๊สคลอรีน ( $\text{Cl}_2$ ) ฟูคขึ้นมาที่ขั้วบวก และมีโลหะโซเดียม (Na) มาเกาะที่ขั้วลบ อยู่ตลอดเวลา



ภาพที่ 2.3 ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นบริเวณขั้วไฟฟ้าทั้งสอง

การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว เกิดปฏิกิริยาการให้ - รับอิเล็กตรอนของไอออนในโซเดียมคลอไรด์เหลว โดยคลอไรด์ไอออน ( $\text{Cl}^-$ ) จะเคลื่อนที่เข้ามาที่ขั้วบวก เพื่อสูญเสียอิเล็กตรอนส่วนที่เกิดมา กลายเป็นอะตอมของคลอรีน ( $\text{Cl}$ ) ซึ่งไม่เสถียร อะตอมของคลอรีนจึงต้องรวมตัวกันเองกลายเป็นโมเลกุลของแก๊สคลอรีน ( $\text{Cl}_2$ ) เพื่อให้มีความเสถียรมากขึ้น ในขณะเดียวกัน โซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ ) ก็เคลื่อนที่เข้ามาที่ขั้วลบ เพื่อรับอิเล็กตรอนส่วนที่ขาดหายไป กลายเป็นอะตอมของโลหะโซเดียม ( $\text{Na}$ )

เมื่อรวมครึ่งปฏิกิริยาทั้งสอง โดยอาศัยหลักการถ่ายเทอิเล็กตรอนให้เท่ากัน จะได้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ไฟฟ้า ที่เรียกว่า ปฏิกิริยาเซลล์ (Cell reaction) ดังสมการ



นั่นคือการทำอิเล็กโทรลิซิส  $\text{NaCl}$  เหลว จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้แก๊สคลอรีน ( $\text{Cl}_2$ ) ที่แอโนด และเกิดปฏิกิริยารีดักชันให้โลหะโซเดียม ( $\text{Na}$ ) มาจากเกาะที่แคโทด ทั้งนี้กระแสไฟฟ้าที่ใช้ต้องมีค่าความต่างศักย์สูงกว่า 4.07 โวลต์ จึงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้

#### 2.4.2.2 การแยกสลายสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrolysis of solution)

เนื่องจากการแยกสารที่หลอมเหลวด้วยกระแสไฟฟ้าเป็นวิธีที่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ดังนั้นหากสารที่ต้องการแยกสลายด้วยไฟฟ้า เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงและละลายน้ำได้

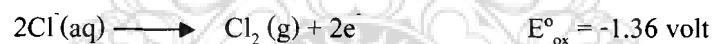
ง่ายแล้ว การละลายสารลงในน้ำแล้วจึงค่อยแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า จะทำได้สะดวกกว่า และเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าเดิม

อย่างไรก็ตาม การทำอิเล็กโทรลิซิสสารละลายอิเล็กโทรไลต์บางชนิด อาจไม่ได้โลหะของไอออนบวกที่ขั้วแคโทดและโลหะของไอออนลบที่ขั้วแอโนด เนื่องจากว่าภายในสารอิเล็กโทรไลต์ไม่ได้มีเฉพาะไอออนบวกของโลหะและไอออนลบของอโลหะเท่านั้น แต่ยังมีโมเลกุลของน้ำประกอบอยู่ด้วย ดังนั้นการทำอิเล็กโทรลิซิสสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จึงอาจได้รับผลกระทบจากน้ำที่เป็นตัวทำละลายได้ เนื่องจากที่เป็นสารที่สามารถถูกรีดิวซ์หรือถูกออกซิไดซ์ได้เช่นกัน

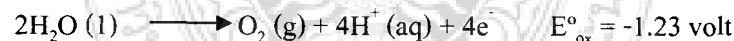
การทำอิเล็กโทรลิซิสสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าเฉื่อย เช่น แกรไฟต์ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบริเวณขั้วไฟฟ้าอาจเป็นของสารอิเล็กโทรไลต์หรือน้ำก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับความสามารถในการถูกรีดิวซ์หรือถูกออกซิไดซ์ของสารกับน้ำนั้น ซึ่งต้องพิจารณาจาก ค่าศักย์ไฟฟ้าของสารความเข้มข้นของสารละลาย และค่าศักย์ไฟฟ้าเกิน (Over voltage) ประกอบ

ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนด

จากสารอิเล็กโทรไลต์



จากน้ำ

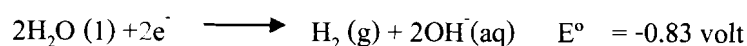


ปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วแคโทด

จากสารอิเล็กโทรไลต์



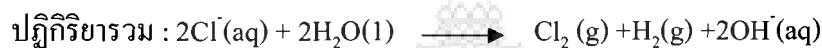
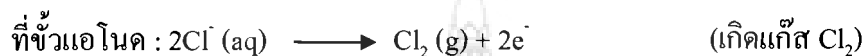
จากน้ำ



ผลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อทำอิเล็กโทรลิซิส คือมีแก๊สไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) เกิดขึ้นที่ขั้วแคโทด และมีแก๊สคลอรีน ( $\text{Cl}_2$ ) หรือแก๊สออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด ทั้งนี้จะเป็นแก๊สชนิดใดนั้น

ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นกับสารละลาย โดยหากเป็นสารละลายที่เจือจางจะได้แก๊ส  $O_2$  แต่ถ้าเป็นสารละลายเข้มข้นจะได้แก๊ส  $Cl_2$

กรณีที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นพอควร เช่น 1 โมลาร์ จะพบว่ามีแก๊ส  $H_2$  เกิดขึ้นที่ขั้วแคโทด และแก๊ส  $Cl_2$  เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในอิเล็กโทรไลต์สามารถนำมาแยกเขียนเป็นแต่ละครึ่งปฏิกิริยา ได้ดังนี้



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการทำอิเล็กโทรลิซิสสารละลาย  $NaCl$  เข้มข้น 1 โมลาร์ เกิดขึ้นได้อย่างไร อธิบายได้ดังนี้

ที่ขั้วแคโทด : มีแก๊ส  $H_2$  เกิดขึ้น เพราะน้ำ ( $H_2O$ ) มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $Na^+$ ) เนื่องจากน้ำมีศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมากกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์

ที่ขั้วแอโนด : มีแก๊ส  $Cl_2$  เกิดขึ้น เพราะคลอไรด์ไอออน ( $Cl^-$ ) เสียอิเล็กตรอนได้ดีกว่าน้ำ ( $H_2O$ ) เนื่องจากแก๊สคลอรีนมีศักย์ไฟฟ้าเกินตัวต่ำกว่าแก๊สออกซิเจน (แม้ว่า  $Cl_2$  จะมีค่า  $E^\circ$  มากกว่า  $O_2$  ก็ตาม)

เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบริเวณขั้วไฟฟ้า จะพบว่า  $Na^+$  ไม่ได้มีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาขณะทำอิเล็กโทรลิซิส ดังนั้นในสารละลายจึงยังคงมี  $Na^+$  เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระอยู่ในน้ำ และสามารถทำปฏิกิริยารวมตัวกับ  $OH^-$  ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา เปลี่ยนไปเป็นสารประกอบโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $NaOH$ ) ที่ละลายในน้ำ

ปฏิกิริยารวมที่เกิดขึ้นจากการทำอิเล็กโทรลิซิสสารละลาย  $NaCl$  เข้มข้นจึงเป็น ได้ดังสมการ



เมื่อเปรียบเทียบการทำอิเล็กโทรลิซิสระหว่างโซเดียมคลอไรด์หลอมเหลวกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ พบว่าผลที่ได้จากปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน โดยการทำอิเล็กโทรลิซิสสารละลายโซเดียมคลอไรด์จะไม่สามารถแยกโลหะโซเดียมออกมาได้แต่จะให้แก๊สโซเดียมออกมาแทน

ตารางที่ 2.3 แสดงผลปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสารอิเล็กโทรไลต์ต่างชนิดเมื่อใช้ขั้วแกรไฟต์

อิเล็กโทรไลต์	ขั้วแคโทด	ขั้วแอโนด
NaCl หลอมเหลว	โลหะ Na	แก๊ส Cl <sub>2</sub>
สารละลาย NaCl เจือจาง	แก๊ส H <sub>2</sub>	แก๊ส O <sub>2</sub>
สารละลาย NaCl เข้มข้น	แก๊ส H <sub>2</sub>	แก๊ส Cl <sub>2</sub>

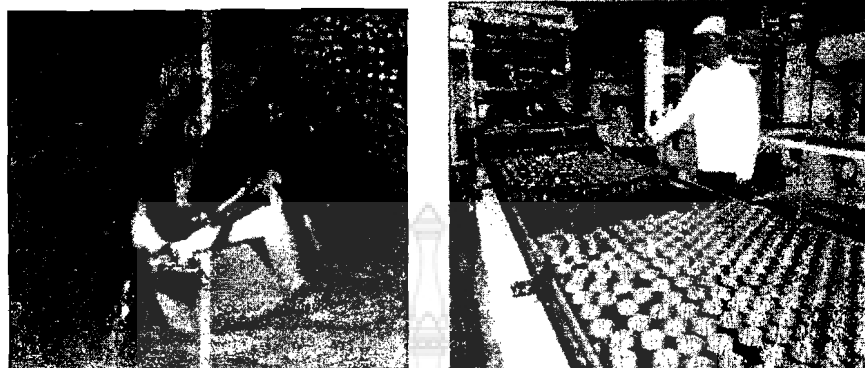
การทำอิเล็กโทรไลต์ NaCl หลอมเหลว จะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการสกัดแยกธาตุโซเดียมและคลอรีนออกจากเกลือหลอมเหลวได้ (ในทางปฏิบัติมักนำเกลือหลอมเหลวผสมรวมกับแคลเซียมคลอไรด์ เพื่อลดจุดหลอมเหลวของเกลือ) ส่วนการทำอิเล็กโทรไลต์สารละลาย NaCl เข้มข้นนั้น หากปล่อยให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ระเหยออกไป จะทำให้ได้ NaOH ตกผลึกแยกออกมา และสามารถนำมาใช้ในการผลิตสารประกอบโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมต่อไป

#### 2.4.3 การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (Electroplating)

ในวงการอุตสาหกรรม ได้มีการนำเอาหลักการทำอิเล็กโทรลิซิสมาใช้ประโยชน์กันอย่างมากมาย ทั้งทางด้านเตรียมสารละลายบริสุทธิ์ต่างๆ การทำแร่โลหะให้บริสุทธิ์ และการชุบเคลือบผิวโลหะ เป็นต้น

การทำอิเล็กโทรลิซิสโดยใช้ขั้วไฟฟ้าที่ไม่ว่องไว เช่น แพลทินัม หรือแกรไฟต์ จะพบว่าขั้วไฟฟ้างกล่าวทำหน้าที่ได้เฉพาะการส่งผ่านอิเล็กตรอนเท่านั้น (ไม่มีส่วนรวมในการเกิดปฏิกิริยา) แต่หากเปลี่ยนมาใช้ขั้วไฟฟ้าที่ว่องไวเช่นโลหะต่างๆ แล้ว จะพบว่าขั้วไฟฟ้าเหล่านี้สามารถเข้ามามีส่วนรวมในการเกิดปฏิกิริยาขณะทำอิเล็กโทรลิซิสด้วย

การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า เป็นกระบวนการชุบโลหะด้วยชนิดหนึ่งด้วยโลหะอีกชนิดหนึ่งแล้วเกิดเป็นชั้นบางๆ เคลือบอยู่ด้วยกัน โดยอาศัยวิธีการทำอิเล็กโทรลิซิสด้วยขั้วไฟฟ้าที่ว่องไว ดังเช่นการชุบวัสดุด้วยโครเมียมเพื่อให้มีความมันวาวสวยงาม และการชุบโลหะเหล็กด้วยดีบุกเพื่อป้องกันการเกิดสนิมของเหล็ก เป็นต้น



(1) การนำที่มันวาวเพราะถูกชุบด้วยโครเมียม (2) การชุบกระป๋องโลหะด้วยดีบุก

#### ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างเครื่องอุปโภคที่ผ่านกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

หลักสำคัญของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า คือให้โลหะที่ใช้ชุบเป็นขั้วบวก ส่วนโลหะที่ต้องการชุบเป็นขั้วลบ โดยในสารละลายอิเล็กโทรไลต์นั้นต้องมีไอออนที่มีโลหะชนิดเดียวกับโลหะที่ใช้ชุบประกอบอยู่ ซึ่งกระบวนการชุบโลหะจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อต้องผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ด้วยความต่างศักย์ที่พอเหมาะตามชนิดของโลหะที่ต้องการชุบ

ตัวอย่างการชุบผิวของโลหะด้วยไฟฟ้า มีดังนี้ เช่น การชุบซ็อนนิเกิล (Ni) ด้วยโลหะเงิน (Ag) ซึ่งเกิดขึ้นได้เมื่อให้แท่งโลหะเงินทำหน้าที่เป็นขั้วบวก (แอโนด) และขั้วที่ต้องการชุบเป็นขั้วลบ (แคโทด) โดยมีสารละลายซิลเวอร์ไซยาไนด์ ( $\text{AgCN}$ ) ทำหน้าที่เป็นสารอิเล็กโทรไลต์การชุบโลหะจะเกิดขึ้น เมื่อนำแท่งโลหะเงินและขั้วนิเกิลมาต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแล้วจุ่มลงในสารละลาย  $\text{AgCN}$  ให้จุ่ม จากนั้นจึงผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลาย การชุบผิวโลหะจะเกิดขึ้น โดยขั้วลบที่ขั้วนิเกิลจะดึงดูดให้  $\text{Ag}^+$  ในสารละลายเคลื่อนที่เข้ามาจับอิเล็กตรอนเกิดเป็นโลหะเงินมาเกาะอยู่ที่ขั้ว ส่วนที่ขั้วบวกของโลหะเงินเมื่อให้อิเล็กตรอนแล้ว ก็จะกลายเป็น  $\text{Ag}^+$  ลงมาอยู่ในสารละลาย แล้วเคลื่อนที่ไปยังขั้วเพื่อรับอิเล็กตรอนต่อไป ซึ่งหากปล่อยให้ทำอิเล็กโทรไลต์ยังคงดำเนินต่อไป จะพบว่าที่แท่งโลหะเงินนั้นมีการสึกหรอเกิดขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่ขั้วนิเกิลก็จะมีโลหะเงินมาเกาะหนาขึ้นเรื่อยๆ เช่นกัน โดยปริมาณที่มาเกาะจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ชุบโลหะ ตามความสัมพันธ์  $m \propto Q$  กล่าวคือ ถ้าชุบโลหะเป็นเวลานานๆ และใช้กระแสหลายๆ จะได้ความหนาของชั้นโลหะเพิ่มมากขึ้น

เมื่อ	$Q$	=	$It$
โดยให้	$Q$	=	ปริมาณไฟฟ้า (หน่วยเป็น คูลอมบ์)
	$I$	=	กระแสไฟฟ้า (หน่วยเป็น แอมแปร์)
	$T$	=	เวลาที่ใช้ในการทำอิเล็กโทรไลต์ (หน่วยเป็น วินาที)



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการชุบชั้นนิเกิลด้วยโลหะเงินเป็นดังสมการ

ที่แอโนด :  $\text{Ag(s)} \longrightarrow \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^-$  (เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน)

ที่แคโทด :  $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag(s)}$  (เกิดปฏิกิริยารีดักชัน)

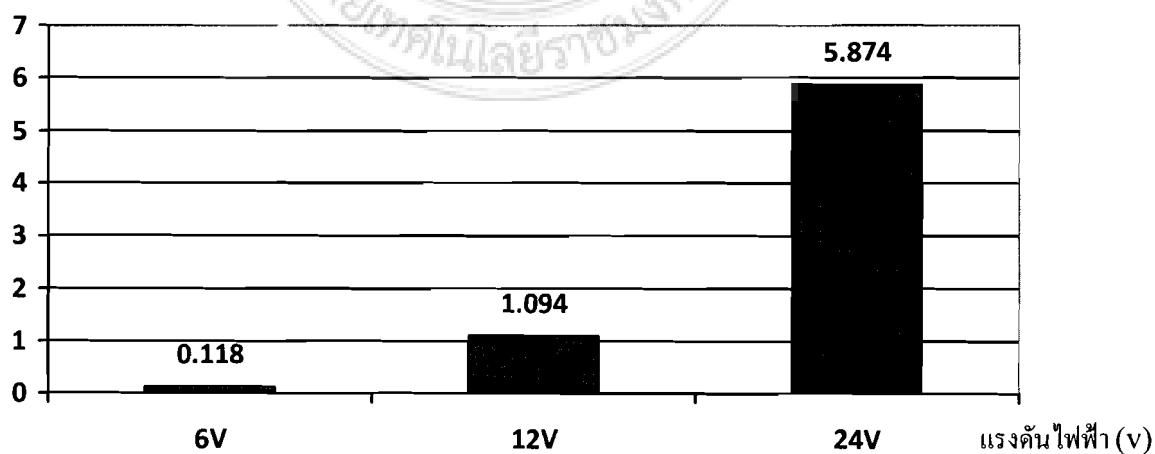
ปฏิกิริยารวม :  $\text{Ag(s)} \longrightarrow \text{Ag(s)}$

## 2.5 ผลการทดลองศึกษาการแยกสลายชิ้นส่วนเครื่องมือตัดชนิดแผ่นมีดตัดด้วยวิธีเคมีไฟฟ้า[6]

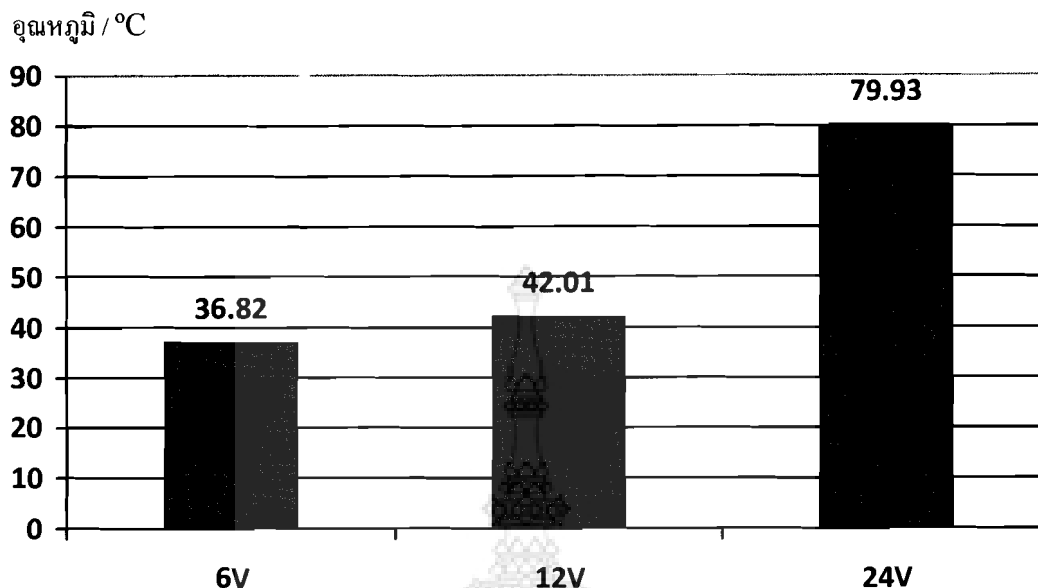
2.5.1 ศึกษาการแยกสลายชิ้นส่วนเครื่องมือตัดชนิดแผ่นมีดตัดทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยวิธีเคมีไฟฟ้า

ตารางที่ 2.4 สรุปผลการทดลองแยกสลายชิ้นส่วนเครื่องมือตัดชนิดแผ่นมีดตัดทั้งสแตนคาร์ไบด์

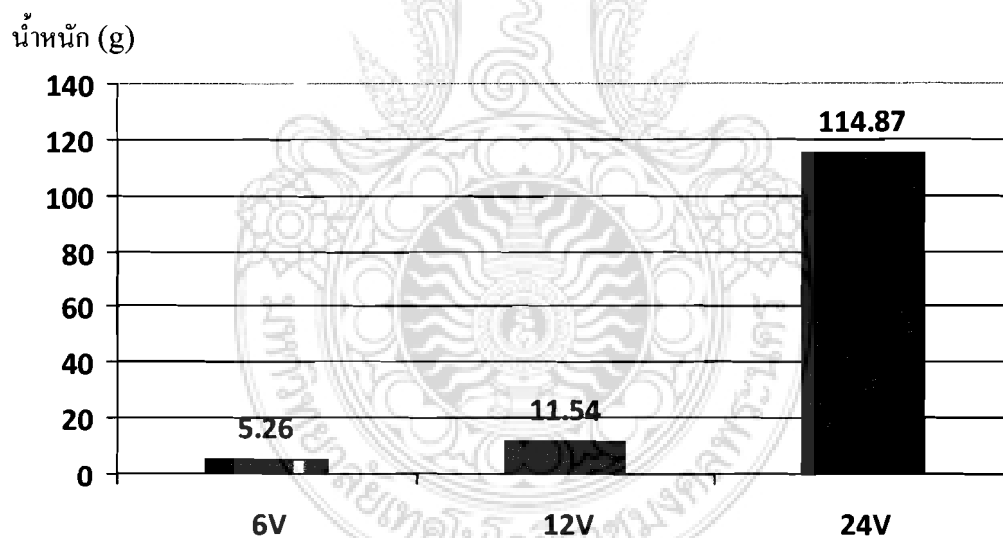
แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนักที่ลดลง (g)
6	0.11844	36.8186	5.2577
12	1.0943	42.01	11.5395
24	5.8738	79.93	114.8706
		รวม	131.6678



ภาพที่ 2.5 แผนภูมิแสดงสรุปผลแรงดันไฟฟ้าในการทดลอง[6]



ภาพที่ 2.6 แผนภูมิแสดงสรุปผลอุณหภูมิในการทดลอง[6]



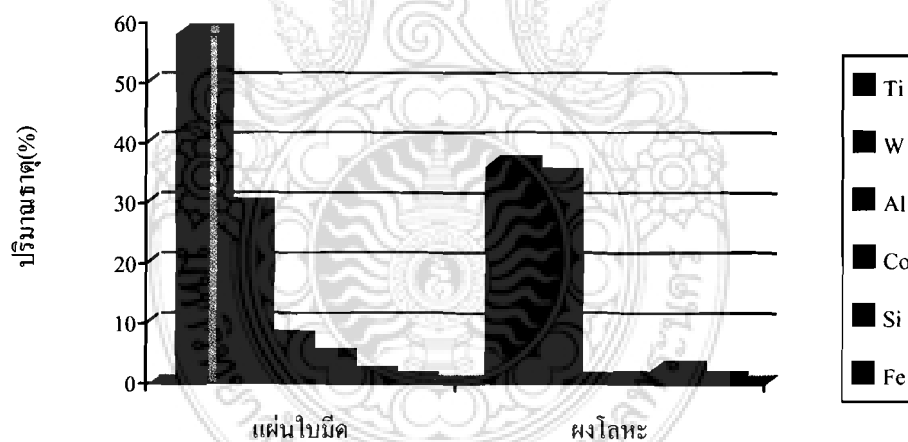
ภาพที่ 2.7 แผนภูมิแสดงสรุปผลน้ำหนักในการทดลอง[6]

2.5.2 ผลการทดลองการแยกสลายของแผ่นมิดดัดทั้งสแตนคาร์ไบต์ โดยมีข้อกำหนด ดังนี้ แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์ 12 โวลต์ และ 24 โวลต์ ความเร็วใบกวน 120 รอบ/นาที เวลา 24 ชั่วโมง ใช้กรดฟอสฟอริกผสมกับน้ำในอัตราส่วน 5: 1 คือ ฟอสฟอริก 500ml. น้ำ 100ml. รวมกันได้ 600 ml. ผลการทดลองที่ได้คือ การทดลองที่เหมาะสม และดีที่สุดคือ แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ ผลคือ น้ำหนัก 114.87 กรัม อุณหภูมิ 79.93 °C กระแสไฟฟ้า 5.8738 แอมแปร์

### 2.5.3 เปรียบเทียบผลการตรวจสอบวิเคราะห์องค์ประกอบของผงทั้งสแตนที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 2.5 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของแผ่นมีดตัดกับผงโลหะที่ได้จากการทดลอง

แผ่นใบมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์		ผงโลหะที่ได้จากการทดลอง	
องค์ประกอบ	ร้อยละ	องค์ประกอบ	ร้อยละ
ไทเทเนียม (Ti)	58	ไทเทเนียม (Ti)	36
ทังสเตน (W)	29	ทังสเตน (W)	34
อลูมิเนียม (Al)	7	ซิลิกอน (Si)	2
โคบอลต์ (Co)	4	โคบอลต์ (Co)	0.2
ซิลิกอน (Si)	1	เหล็ก (Fe)	0.2

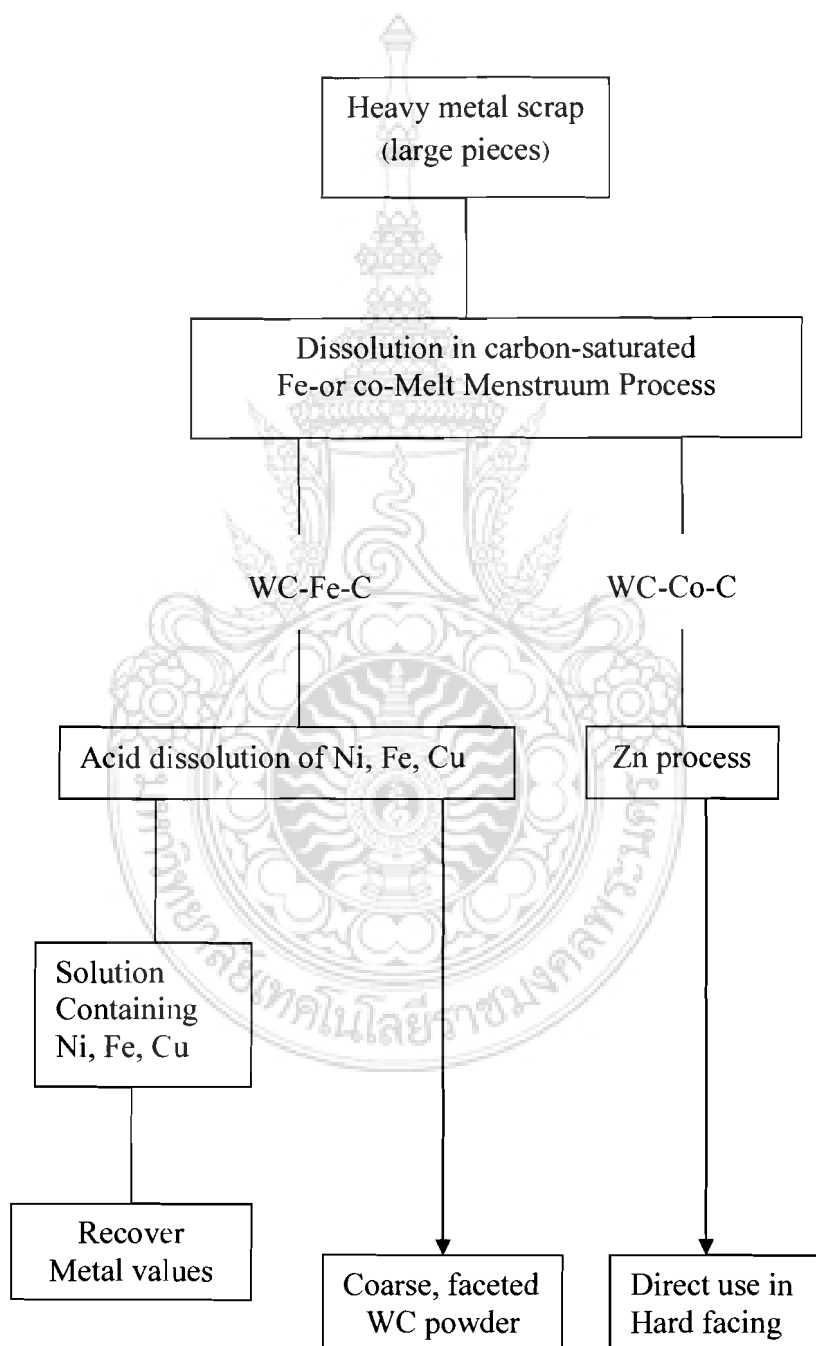


ภาพที่ 2.8 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบผลการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของแผ่นมีดตัดทั้งสแตนคาร์ไบด์กับผงโลหะที่ได้จากการทดลอง[6]

สิ่งที่กล่าวมาข้างต้นนั้นจะเป็นการสรุปผลต่างๆ ที่ได้จากการทดลองโดยจะมี ผลของการทดลองในแต่ละครั้งทั้งหมด 9 ชุด แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ 6 โวลต์ 12 โวลต์ และ 24 โวลต์ อย่างละ 5 ชุด เพื่อที่จะนำมา ผลการเปรียบเทียบของการทดลองในแต่ละครั้งของการทดลอง หรือการวิเคราะห์หาผลการทดลองที่ดีที่สุด และนอกจากนั้นยังมีการเปรียบเทียบผลขององค์ประกอบของธาตุต่างๆ ระหว่างแผ่นมีดตัด (Insert tools) กับ ผงโลหะที่ได้จากการทดลอง จากผลที่ได้จะเห็นว่าปริมาณของทังสเตนที่เราต้องการมีสูงพอสมควร คือ ร้อยละ 34

## 2.6 กระบวนการแยกวัสดุซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์

### 2.6.1 การนำเศษทั้งสแตนมาใช้ใหม่ด้วยเทคนิคการหลอม (W-Scrap Recycling by the Melt Bath Technique)



ภาพที่ 2.9 แผนผังกระบวนการนำเศษทั้งสแตนกลับมาใช้ใหม่ด้วยกรรมวิธีเทคนิคการหลอม

(Flow sheets of W scrap recycling by melt bath techniques) [16]





ตารางที่ 2.6 การสกัดทองแดง [11]

Example	Copper extraction for tests Example 1 and 2						% Extraction
	Feed Copper			Residue Copper			
	Dry wt. (g)	% Cu	g Cu	Dry wt. (g)	% Cu	g Cu	
1	150.0	40.19	60.2	96.2	2.52	2.42	96.0
2	153.7	40.19	61.8	110.9	1.65	1.83	97.0

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบการเกิดซัลเฟอร์ออกไซด์ [11]

% Sulphur oxidation		
Example	% Sulphur Oxidation	
	Sulphur Balance Method	Acid Generation Method
1	28	n.a
2	9	9

ตารางที่ 2.8 ความสามารถในการกักครอนของทองแดง [11]

Results of Acid Addition					
Example	Acid in feed (g/L) (Stream 8 and 60 combined)	Cu in Filt. (g) (Stream 8 and 60 combined)	Cu in Filt. (g) (Stream 6)	Gain/Loss in Filtrate (g)	pH Flit
3	27.3	4.1	9.7	5.6	3.2
4	22.5	7.0	10.38	3.3	3.7
5	24.0	8.1	7.1	-1.0	3.3
6	23.0	6.7	4.0	-2.7	3.6

ตารางที่ 2.9 ตัวอย่างการกักก่อนของทองแดง [11]

Copper Extraction for Examples 3-6		
Example	% Cu Extraction	%Sulphur Oxidation
3	97.2	6.73
4	95.4	7.39
5	97.7	5.64
6	98.0	7.36

ตารางที่ 2.10 ผลการกักก่อนภายใต้เงื่อนไขที่ต่างกัน (8A) [11]

Result of Example 8A							
	Flow rate (ml/min)	Assay (g/L)			Distribution (%)		
		Acid	Cu	Cl	Acid	Cu	Cl
FEED	186	20	0.89	1.1	100	100	100
DILUATE	171	8.9	0.76	0.8	41	79	67
CONCENTRATE	15	168	2.57	4.1	68	23	30

ตารางที่ 2.11 ผลการกักก่อนภายใต้เงื่อนไขที่ต่างกัน (9A) [11]

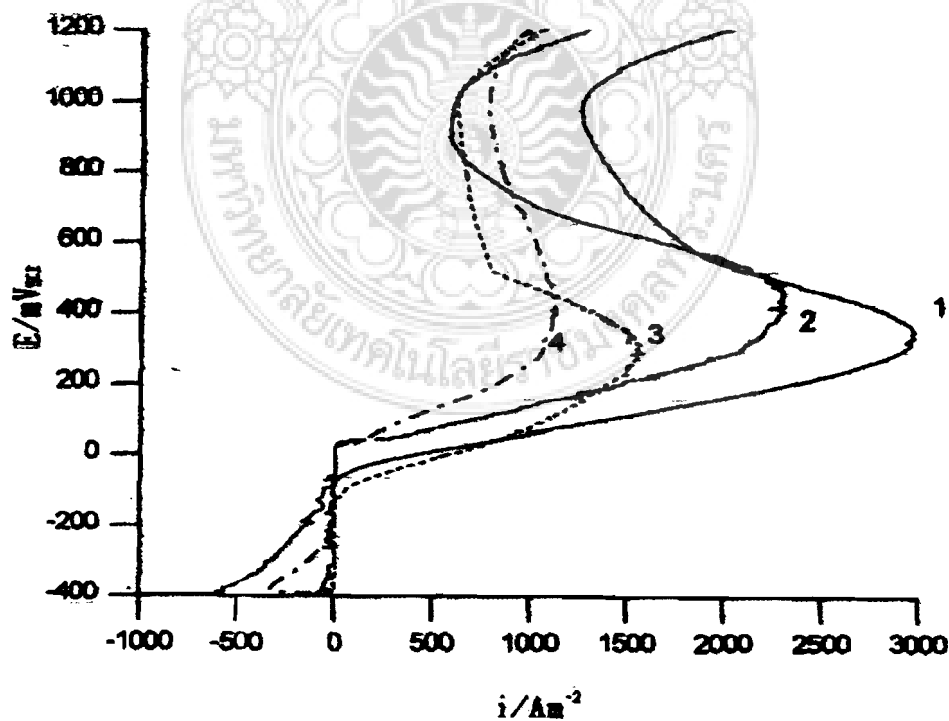
Result of Example 8B							
	Flow rate (ml/min)	Assay (g/L)			Distribution (%)		
		Acid	Cu	Cl	Acid	Cu	Cl
FEED	163	20	0.77	1.42	100	100	100
DILUATE	152	9.5	0.26	0.89	44	32	58
CONCENTRATE	11	169	7.32	8.17	57	64	39



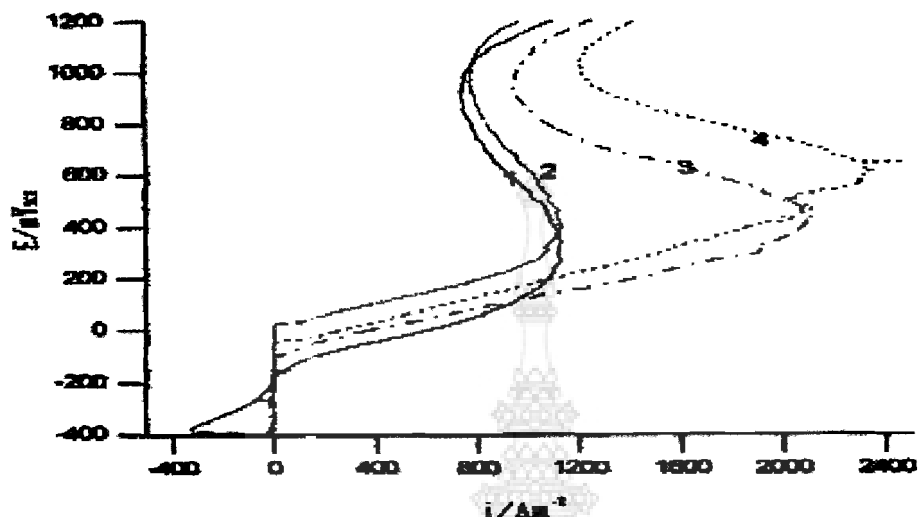
2.6.3 การเลือกการย่อย โคบอลต์จากเศษซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ (Selective dissolution of the cobalt binder from scraps of cemented tungsten carbide in acids)

ตารางที่ 2.12 Composition and grain size of the cemented tungsten carbide scraps [13]

Sample	Composition (wt %)		Grain size ( $\mu\text{m}$ )
	Co	WC	
CS6	6	94	2
CS14	14	86	2
CS20	20.6	79.4	3.55
CS22	22	77	4.5

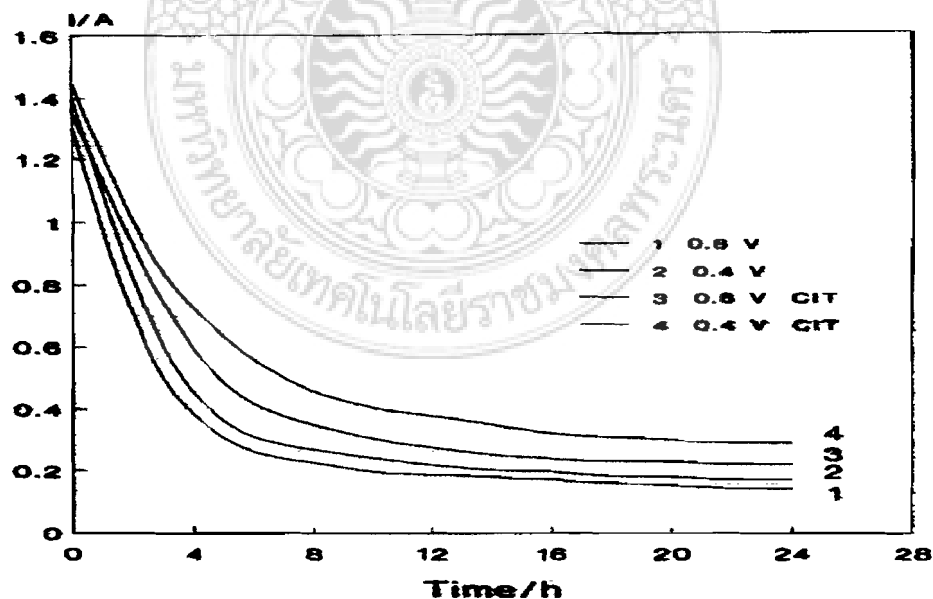


ภาพที่ 2.14 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้าในสารละลายที่อุณหภูมิ 25°C เพื่อการย่อยเศษ  
ทั้งสแตนคาร์ไบด์ CS14 (Anodic Linear sweep voltammogram of tungsten carbide scrap  
CS14 in various acid solutions at 25 °C) [13]



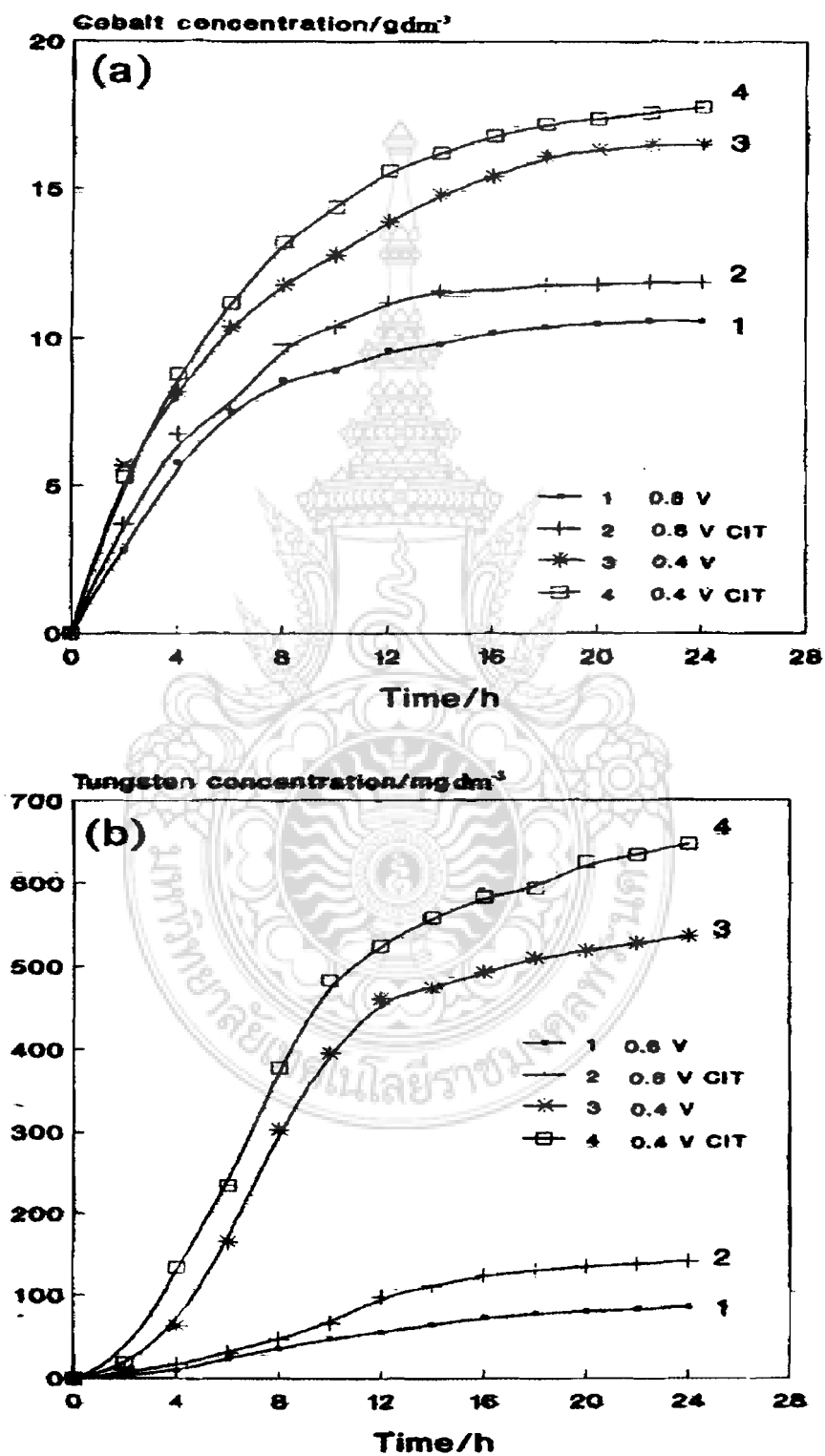
ภาพที่ 2.15 คลื่นแรงดันไฟฟ้าในสารละลายเศษทิ้งสแตนคาร์ไบด์ CS14 ในสารละลาย 2 M  $H_3PO_4$  ที่อุณหภูมิ 25°C; 1, ปราศจากสารละลายเคมี; 2, ขึ้นกับ 0.1 M citric acid; 3, ขึ้นกับ 0.1 M citric acid และ 0.4 M ammonium chloride; 4, ขึ้นกับ 0.4 M ammonium chloride [13]

*J.-C. Lin et al. / Hydrometallurgy 43 (1996) 47-61*

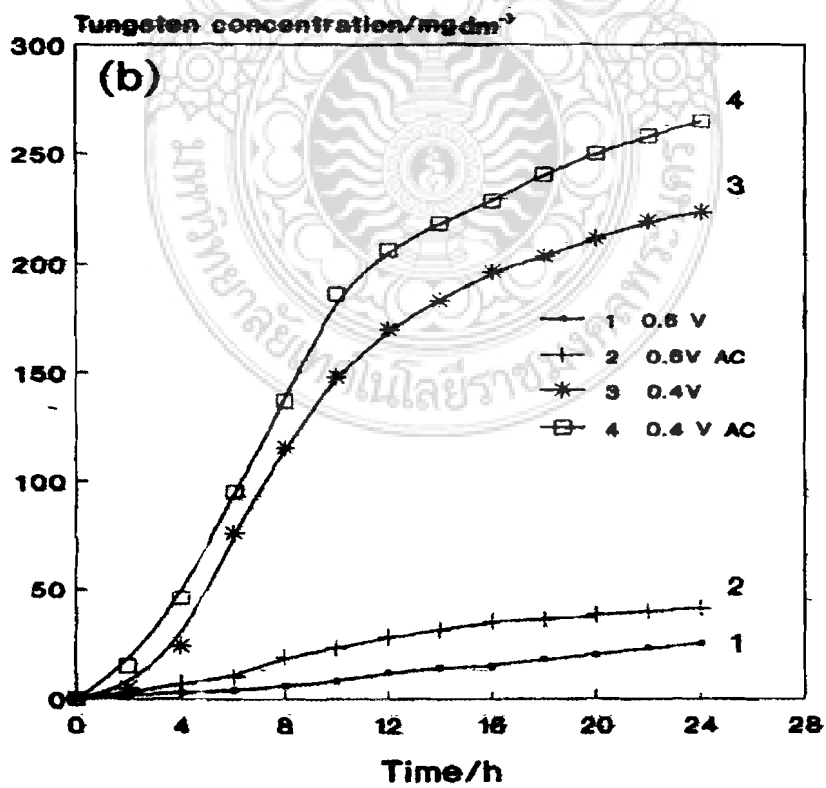
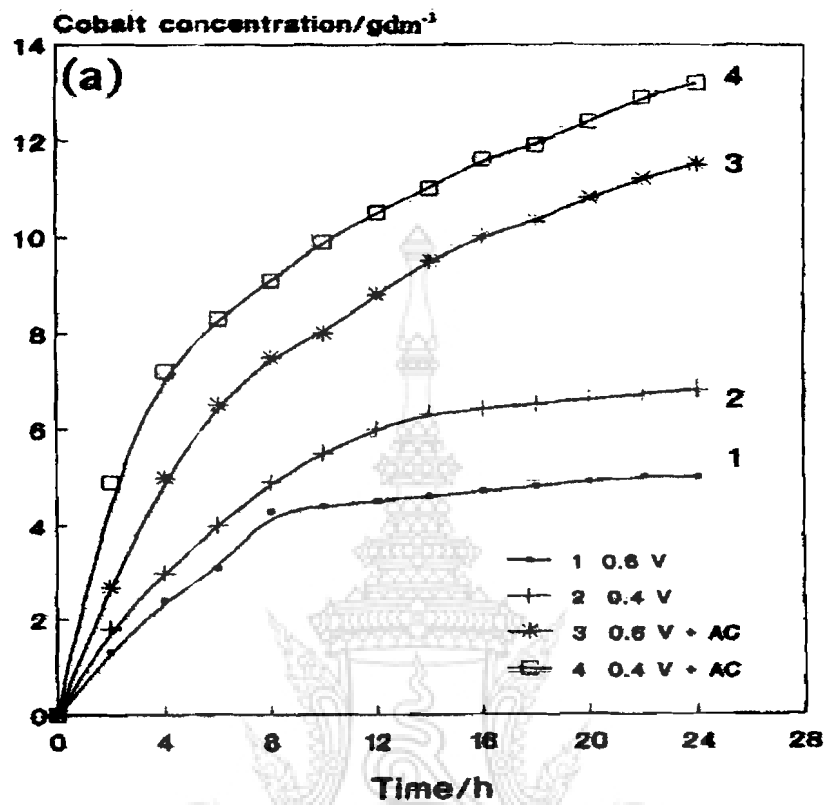


ภาพที่ 2.16 การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในสารละลายภายใต้แรงดันที่เท่ากัน (Variation of anodic current with time for the electrolysis of 0.1 kg scrap Cs20 at (1,3), 0.6 and (2,4) 0.4 V<sub>SCE</sub> in 1 N HCl solutions without (1,2) or with (3,4) 0.1 N citric acid.) [13]

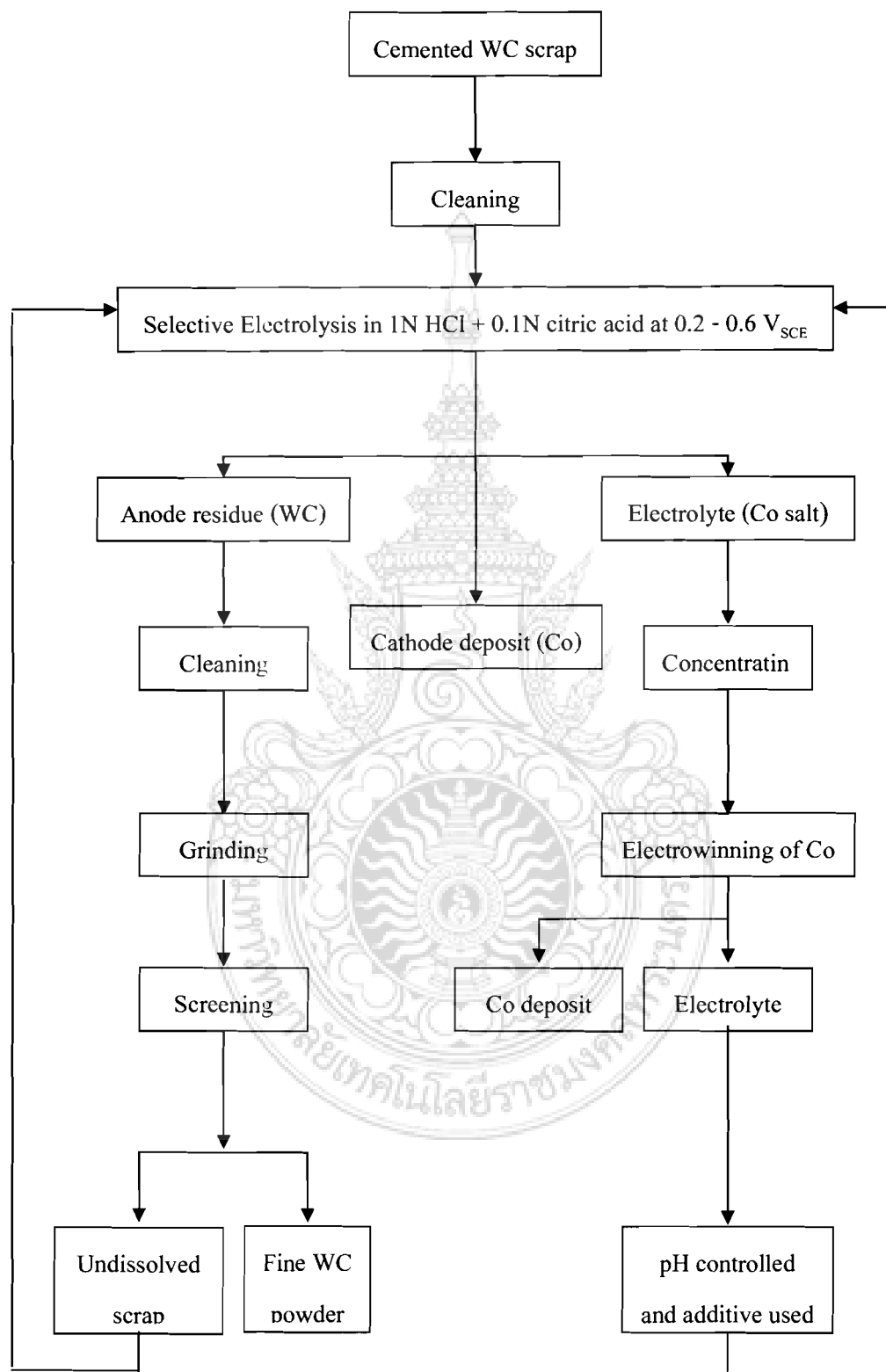
*J.-C. Lin et al. / Hydrometallurgy 43 (1996) 47–61*



ภาพที่ 2.17 ความเข้มข้นของโคบอลต์(a) และความเข้มข้นของทังสเตน (b) [13]

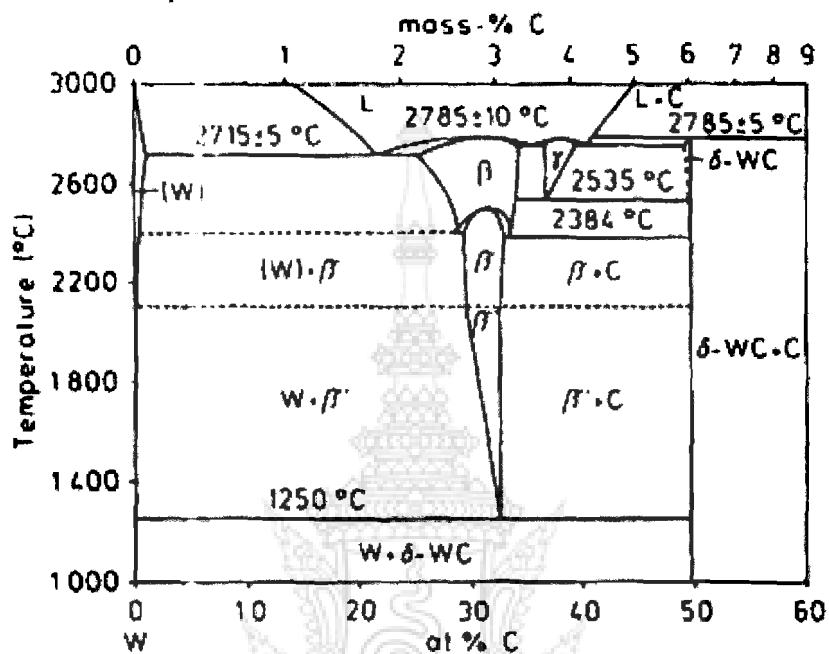


ภาพที่ 2.18 ความเข้มข้นของโคบอลต์(a) และความเข้มข้นของทังสแตน (b) ภายใต้แรงดันไฟฟ้า ในช่วง 0.4-0.6 โวลต์ [13]

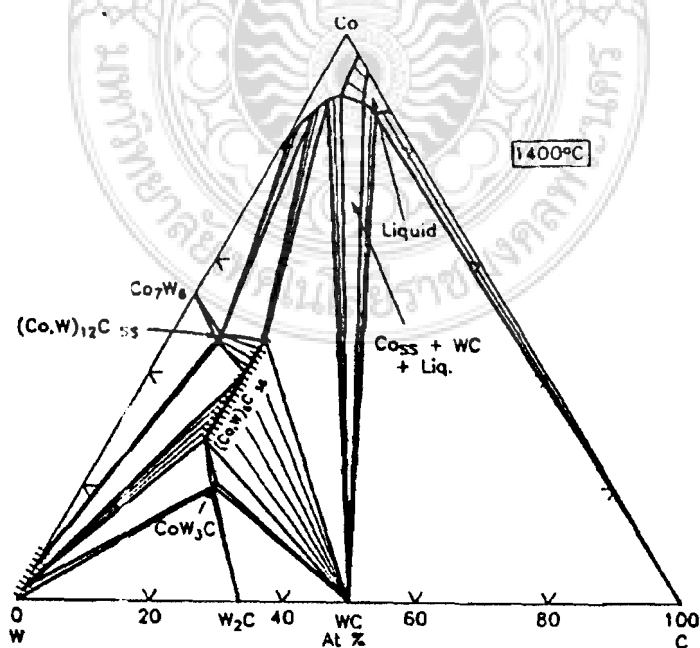


ภาพที่ 2.19 แผนผังกระบวนการผลิตทั้งสแตนและโคบอลต์จากเศษซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์โดยใช้การแยกด้วยเคมีไฟฟ้า (A flow sheet suggested for the recovery of W and Co From tungsten cemented scraps via selective electrolysis.) [13]

2.6.4 นาโนเกรนของทั้งสแตนคาร์ไบต์และโคบอลต์ (Nano-grained Tungsten Carbide-Cobalt)



ภาพที่ 2.20 เฟสไดอะแกรมของ ทั้งสแตนคาร์ไบต์ (The WC phase diagram)



ภาพที่ 2.21 เฟสไดอะแกรมของทั้งสแตนคาร์ไบต์กับโคบอลต์ที่อุณหภูมิ 1425°C (The isothermal section of WC-Co phase diagram at 1425°C)

ตารางที่ 2.13 สมบัติของซีเมนต์คาร์ไบด์แต่ละเกรด(Properties of representative grades of cemented carbide)

Cemented carbide	Room temp. hardness, HV	Modulus of elasticity, GPa	Transverse rupture strength, MPa	Coefficient of thermal expansion, $10^{-6}/K$	Thermal conductivity, W/mK	Density, $g/cm^3$
WC-20 wt%Co	1050	490	2850	6.4	100	13.55
WC-10 wt%Co	1625	580	2280	5.5	110	14.50
WC-3 wt%Co	1900	673	1600	5.0	110	15.25
WC-10 wt%Co-22 wt% (Ti,Ta,Nb)C	1500	510	2000	6.1	40	11.40

ตารางที่ 2.14 สมบัติของโลหะคาร์ไบด์วัสดุโลหะประสาน(Properties of refractory metal carbides and binder materials)

Material	Hardness HV (50kg)	Crystal structure	Melting temperature ( $^{\circ}C$ )	Theoretical density, $g/cm^3$	Modulus of elasticity, GPa	Thermal expansion, $\mu m/mK$
WC	2200	Hexagonal	2800	15.63	696	5.2
W <sub>2</sub> C	3000	Hexagonal	2777	17.3	-	-
TiC	3000	Cubic	3100	4.94	451	7.7
VC	2900	Cubic	2700	5.71	422	7.2
HfC	2600	Cubic	3900	12.76	352	6.6
ZrC	2700	Cubic	3400	6.56	348	6.7
NbC	2000	Cubic	3600	7.8	338	6.7
TaC	1800	Cubic	3800	14.50	285	6.3
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	1400	Orthorhombic	1800	6.66	373	10.3
Co	<100	Cubic/ hexagonal	1495	8.9	207	16.0
Ni	<100	Cubic	1455	8.9	207	15.0

ตารางที่ 2.15 สมบัติของโลหะผสมโคบอลต์ของซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ (Properties of representative cobalt-bonded cemented carbide grades)

Nominal Composition	Grain size (in micron size)	Hardness HRA	Density, g/cm <sup>3</sup>	Transverse strength, MPa	Compressive strength, MPa	Modulus of elasticity, GPa	Relative abrasion resistance	CTE< ppm/K	CTE< ppm/K, at 1000°C	Thermal conductivity, W/mK
97WC-3Co	Medium	92.5-93.2	15.3	1590	5860	641	100	4.0	-	121
94WC-6Co	Fine	92.5-93.1	15.0	1790	5930	641	100	4.3	5.9	-
94WC-6Co	Medium	91.7-92.2	15.0	2000	5450	648	58	4.3	5.4	100
94WC-6Co	Coarse	90.5-91.5	15.0	2210	5170	641	25	4.3	5.6	121
90WC-10Co	Fine	90.7-91.3	14.6	3100	5170	620	22	-	-	-
90WC-10Co	Coarse	87.4-88.2	14.5	2760	4000	552	7	5.2	-	112

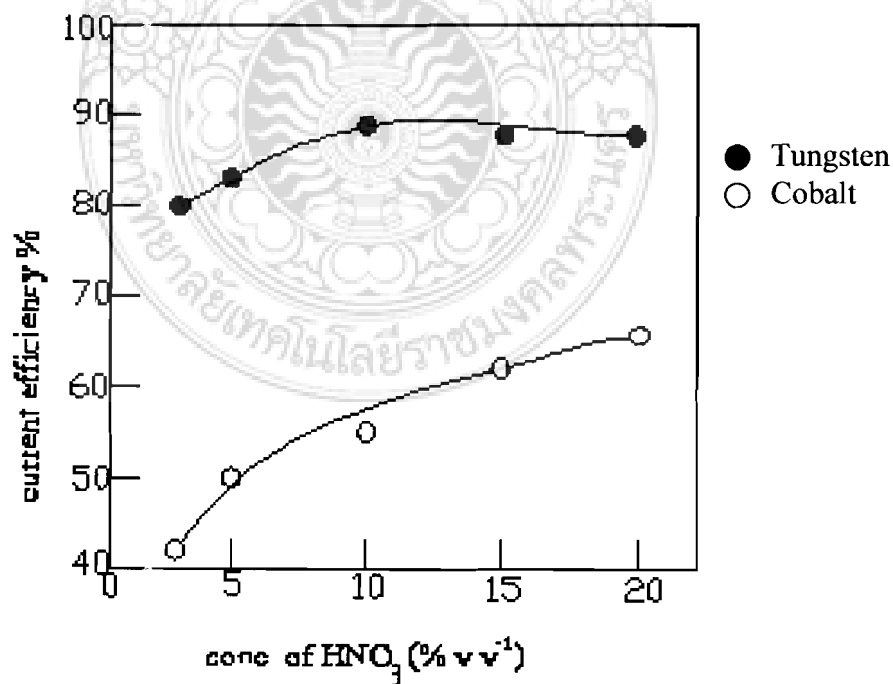


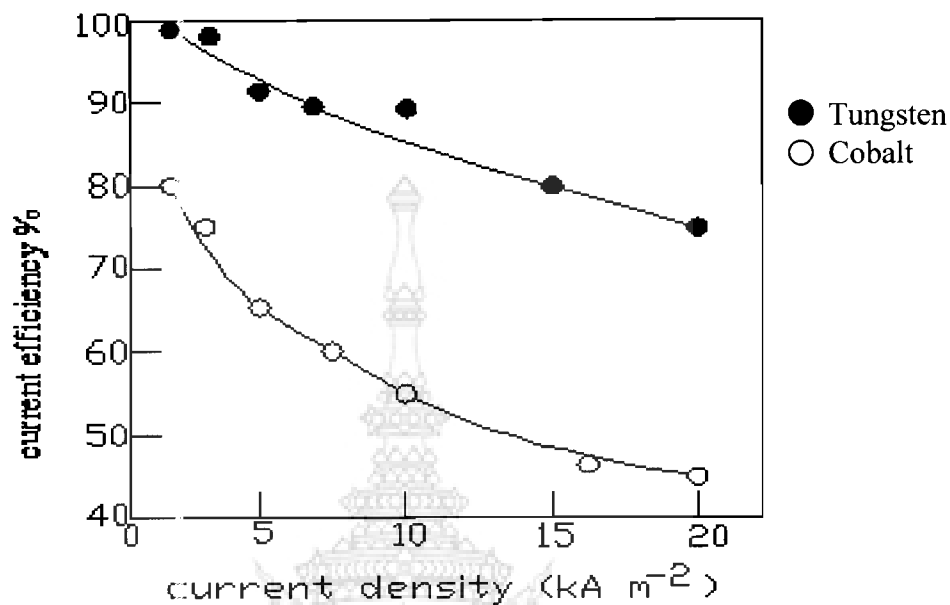
## 2.6.5 Electrochemical and Chemical Corrosion of Tungsten Carbide (WC)

ตารางที่ 2.16 Columbic ratio-anodic corrosion: cathodic reduction of corrosion product [14]

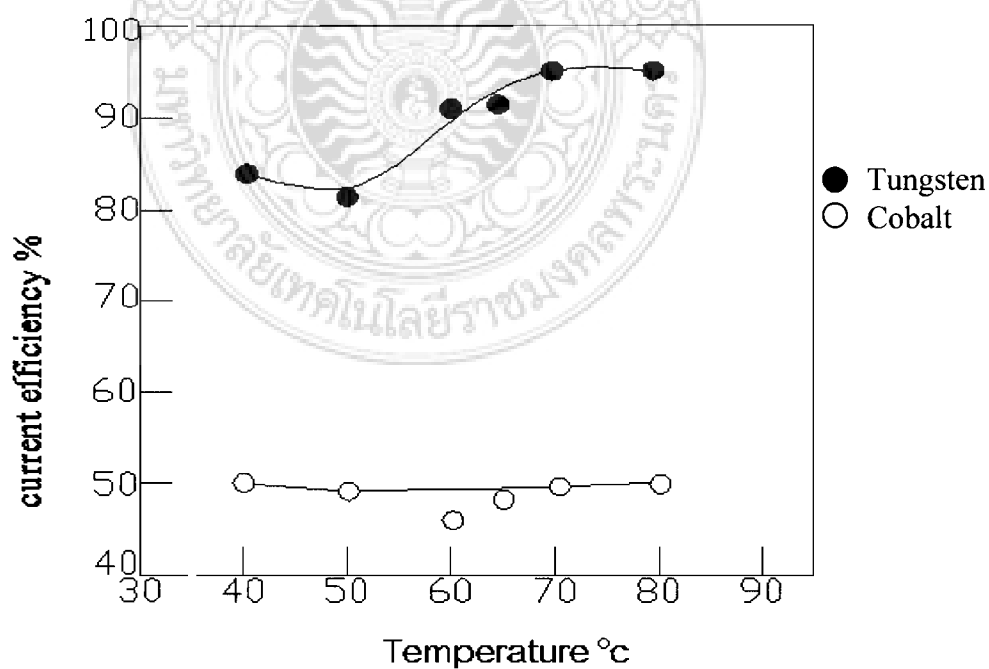
Sample(AEQ WC) (g)	Anodic carrion <sup>(a)</sup> (coulombs)	Cathodic reduction <sup>(b)</sup> (coulombs)	Ratio (A:C)
0.49	15.2	0.806	18.8
0.224	7.61	0.377	20.2
0.125	5.32	0.246	21.6
0.5	32.9	1.65	19.9
0.5	17.6 <sup>(c)</sup>	0.437	40.2 <sup>(c)</sup>

## 2.6.6 การผลิตทั้งสแตนและโคบอลต์จากเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์กลับมาใช้ใหม่ (Electrolytic Recovery of Tungsten and Cobalt from Tungsten Carbide Scrap)

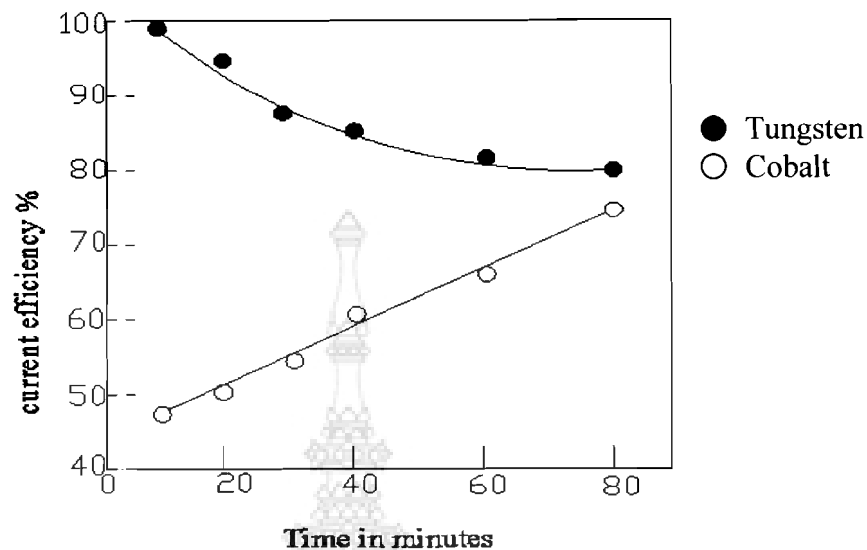
ภาพที่ 2.22 อิทธิพลของกรดไนตริกต่อประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้า (Effect of nitric acid concentration on current efficiency) (current density 10 kA m<sup>-2</sup>, 28°C) [17]



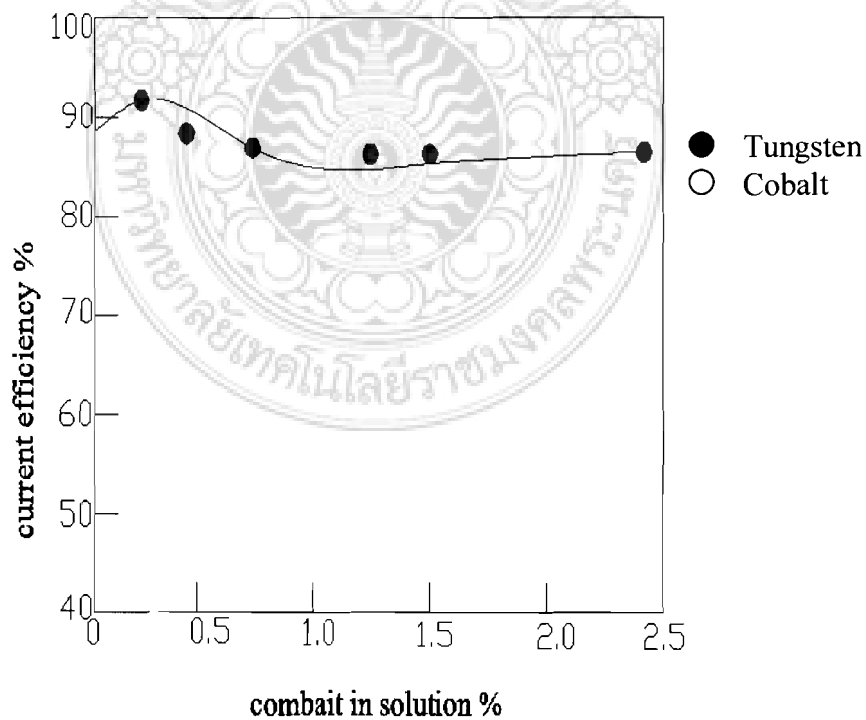
ภาพที่ 2.23 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้า (Effect of varying current density on current efficiency.) (electrolyte 10% HNO<sub>3</sub>, 28°C) [17]



ภาพที่ 2.24 อุณหภูมิและประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าในการข่อยโลหะด้วยไฟฟ้า (Effect of temperature on current efficiency) (current density 10 kA m<sup>-2</sup> electrolyte) [17]



ภาพที่ 2.25 เวลาของกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าและประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าในสารละลายกรดไนตริกที่ 28 °c (Effect of time of electrolysis on current efficiency) (current density 10  $\text{kA m}^{-2}$  electrolyte 10%  $\text{HNO}_3$ , 28 °c) [17]



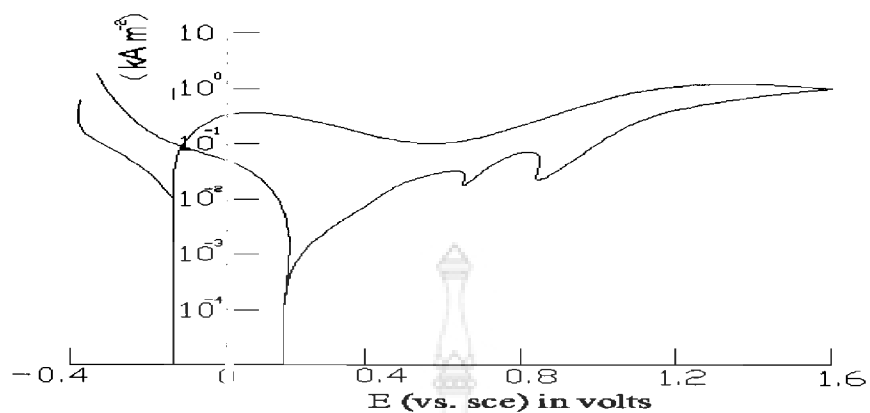
ภาพที่ 2.26 ความเข้มข้นของโคบอลต์ต่อการเกิดออกซิเดชันของทังสเตนคาร์ไบด์ (Effect of cobalt concentration on the oxidation of tungsten carbide) (current density 10  $\text{kA m}^{-2}$  electrolyte 10%  $\text{HNO}_3$ ) [17]

ตารางที่ 2.17 การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าเพื่อการละลายโคบอลต์ (Variation of current efficiencies for cobalt deposition with current density) [17]

Cathode current density ( $\text{kA m}^{-2}$ )	Cobalt in solution ( $\text{gl}^{-1}$ )	Current efficiency (%)		
		$10^a$	$7^a$	$5^a$
3.0	10	3.95	8.6	11.4
2.5		5.9	11.4	18.48
2.0		7.2	12.8	20.96
3.0	15	6.67	7.05	8.6
2.5		9.5	10.14	11.78
2.0		10.16	16.14	23.34

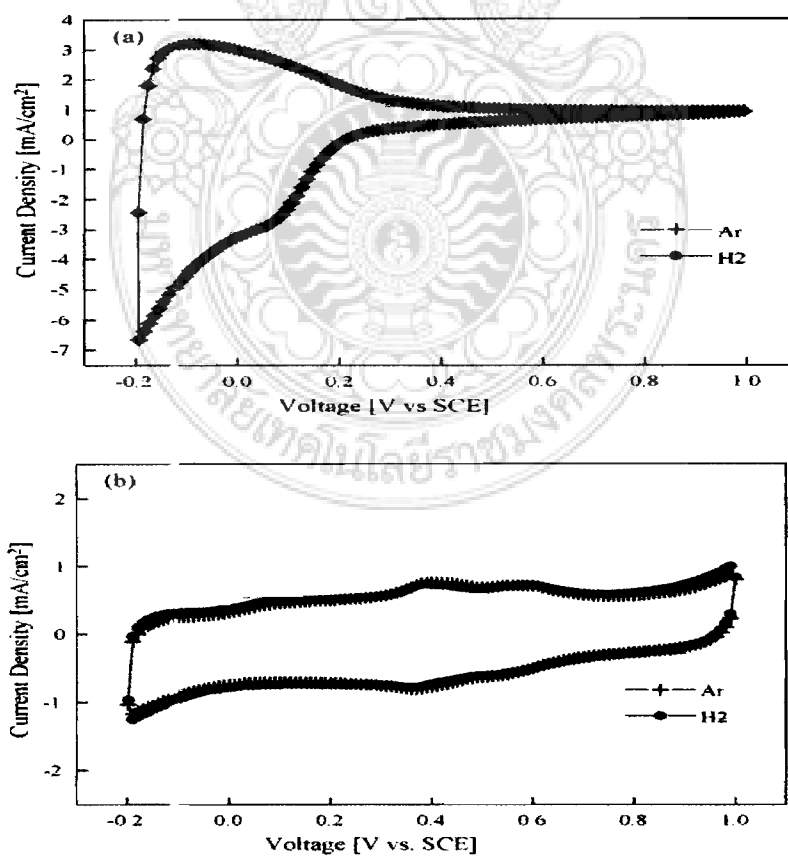
ตารางที่ 2.18 Effect of additives on the cobalt deposition [17]

Bats composition ( $\text{gl}^{-1}$ )	pH	Current efficiency (%)	Appearance of deposit
Co 20	0.4	17.64	Dull, streaked, poor adherence
Co 20: citric acid, 40: ammonium sulphate, 10	0.45	13.56	Smooth deposit with metallic appearance
Co 20 : citric acid, 40 ( $\text{NH}_4$ ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 15: sodium citrate, 5	0.50	16.88	Bright deposit, very sticky
Co 20 citric acid 20	0.6	23.42	Bright, poor adherence, with code position of cobalt oxides
Co 20 citric acid ,40: ( $\text{NH}_4$ ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 10: boric acid, 20	1.2	30.0	Bright with metallic lustre



ภาพที่ 2.27 แรงดันไฟฟ้าต่อขนาดของกระแสไฟฟ้าในสารละลายกรดไนตริกที่ 28° C (Potentiostatic polarization curve of 87% wc-13% co in 10% HNO<sub>3</sub> solution. Stirred 28° C) [17]

2.7.7 ทังสเทนและทังสเทนนิกเกิลคาร์ไบด์เพื่อการทำอิเล็กโทรไลต์ (Tungsten and nickel tungsten carbides as anode Electrocatal)



ภาพที่ 2.28 แรงดันไฟฟ้าและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (Cyclic voltammograms of (a)W1023 and (b) 30% w1023/KC.) [15]

ตารางที่ 2.19 ความสามารถในการสลายของวัสดุแต่ละชนิด (Anode performances of tungsten and nickel tungsten carbides and oxides and the percentages of anode electro activity compared to that of platinum catalyst) [15]

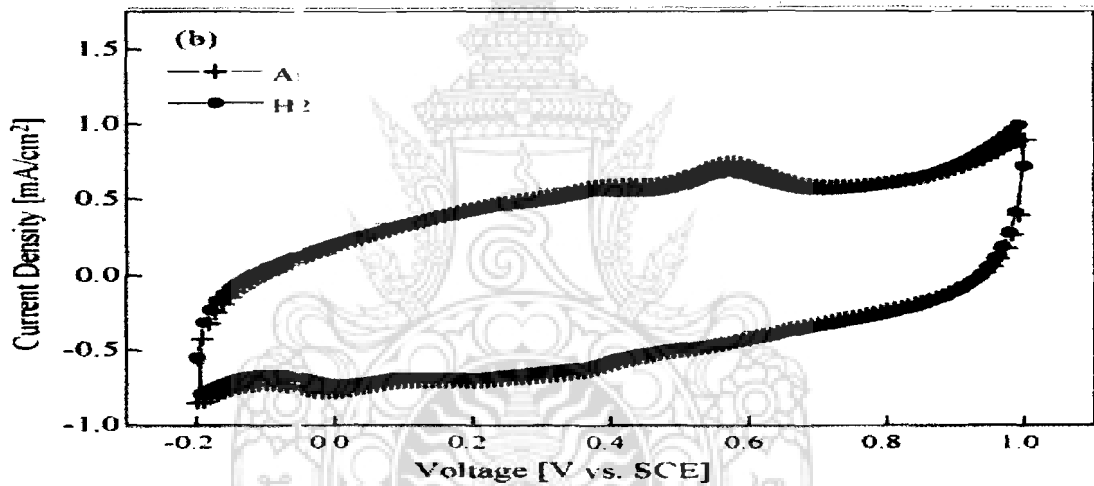
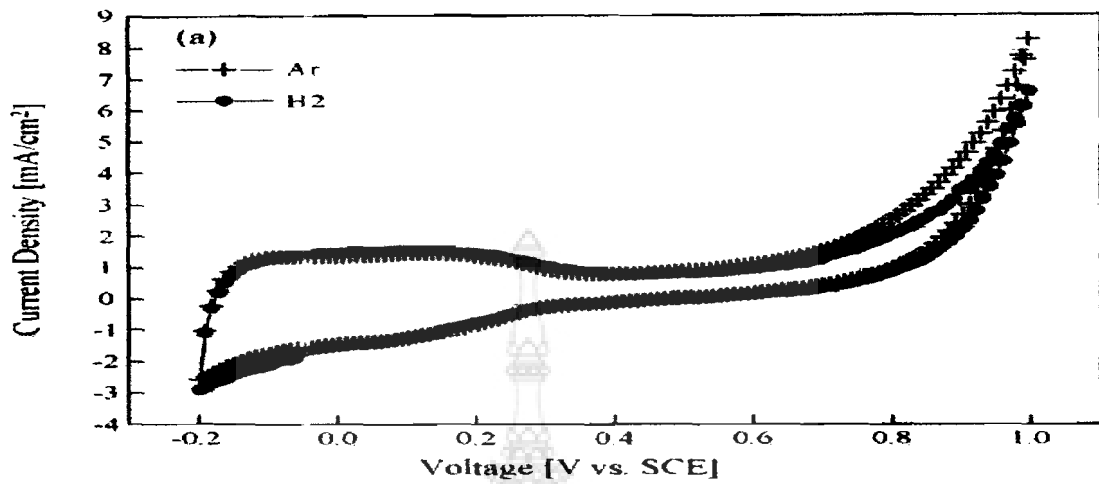
Catalyst	Curr. density <sup>a</sup> (mA/cm <sup>2</sup> )	I-V(V)				RDE	
		Pt percent (%)	PD <sup>b,c</sup>		Pt percent (%)	Curr. density (%)	Vol. /curr. (%)
			mW/ cm <sup>2</sup>	mA/ cm <sup>2</sup>			
30wt% W-oxide/KC	0.7	0.8	2.4	17.7	2.1	4.9	0.7
30wt% W873/KC	1.5	1.7	1.4	2.9	1.3	5.6	0.8
30wt% W973/KC	1.3	1.5	1.3	3.1	1.2	3.8	0.5
30wt% W1023/KC	5.0	5.6	6.4	15.2	5.7	0.7	0.1
30wt% W1023/VC	4.2	4.7	4.0	8.6	3.6	3.0	0.5
30wt% W1073/KC	0.7	0.8	0.8	1.9	0.4	1.1	0.1
W1023	0.6	0.7	0.8	1.9	0.4	1.1	0.1
30wt% NiW-oxide/KC	0.4	0.5	0.3	0.7	0.3	6.8	1.0
30wt% NiW823/KC	0	0	6.6	22.1	5.9	4.9	0.6
30wt% NiW873/KC	6.5	7.3	8.2	19.0	7.3	2.8	0.4
30wt% NiW923/KC	5.0	5.6	7.2	16.1	6.4	5.8	0.8
30wt% NiW973/KC	2.0	2.7	2.4	5.5	2.1	1.0	0.2
30wt% NiW1023/KC	4.5	5.1	4.4	9.6	3.9	2.3	0.3
30wt% NiW/KC1073 <sup>d</sup>	2.6	2.9	4.1	9.8	3.6	4.5	0.2

<sup>a</sup> Current density at 0.7 V.

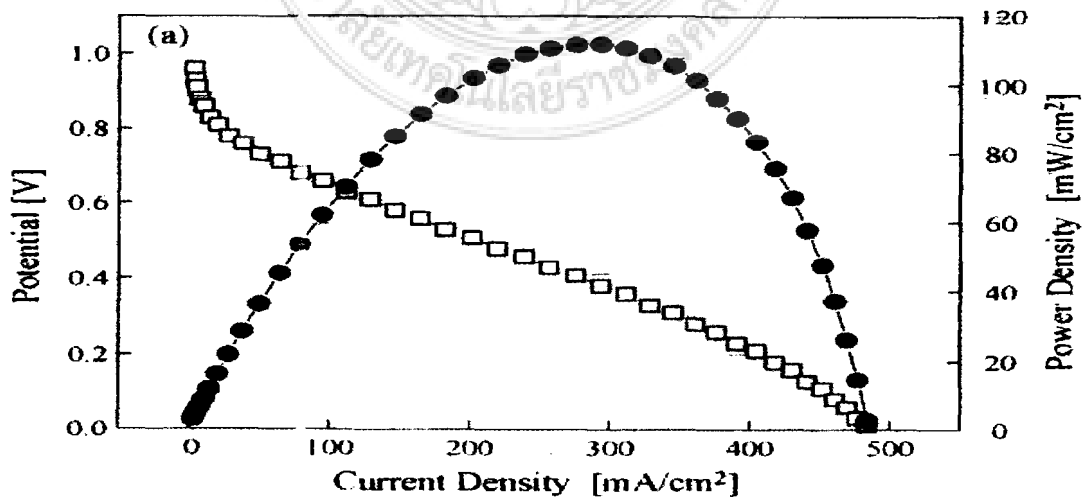
<sup>b</sup> Voltage at maximum power density.

<sup>c</sup> Power density.

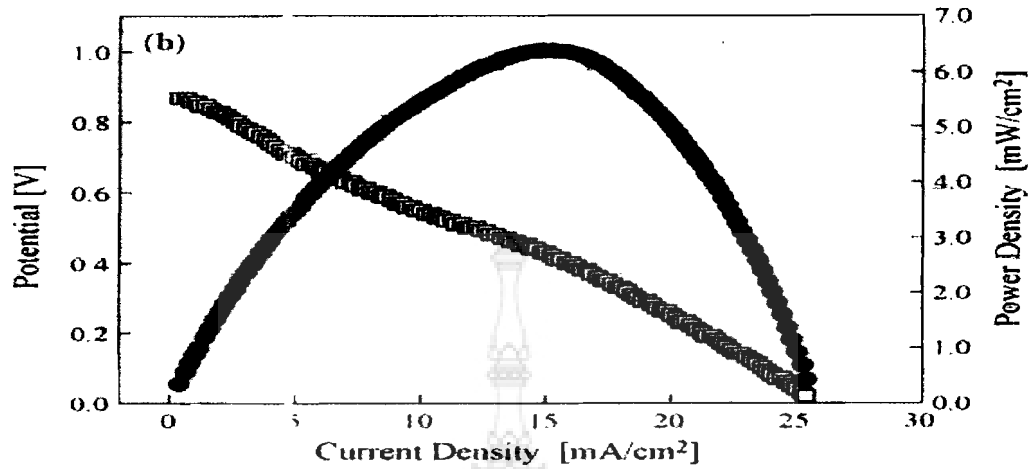
<sup>d</sup> Carbon was physically mixed before the carburization of NiW-oxide



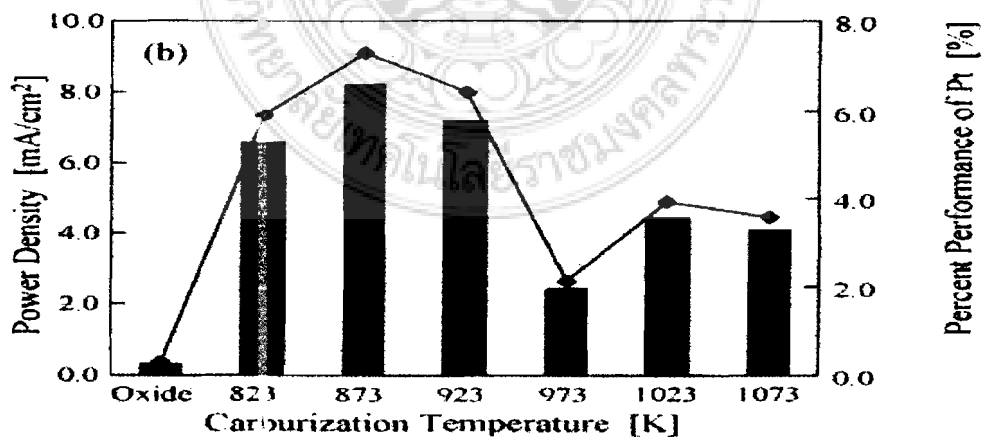
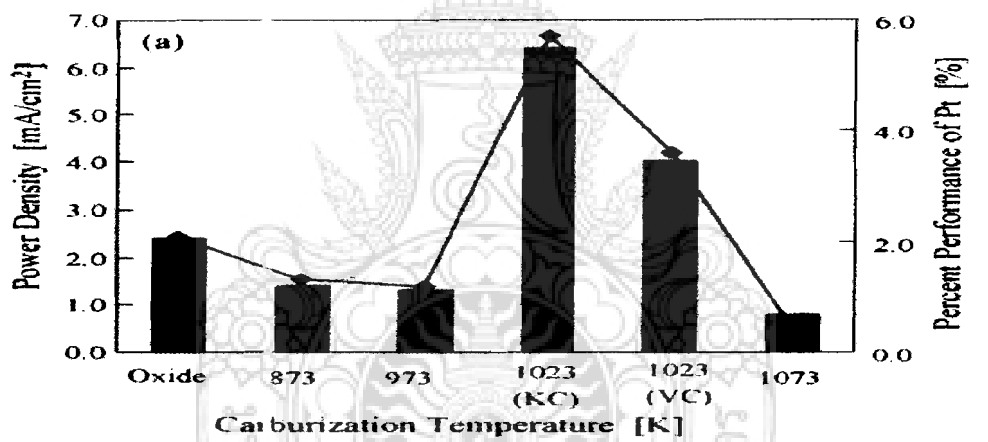
ภาพที่ 2.29 Cyclic voltammograms of: (a) NiW 1023 and (b) 30% NiW1023/KC [15]



ภาพที่ 2.30 กระแสไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้า (Catalytic performance of 1-V curve and power density curves of: (a) in-house MEA of 20% Pt/C electrode and (b) 30% W1023/KC) [15]



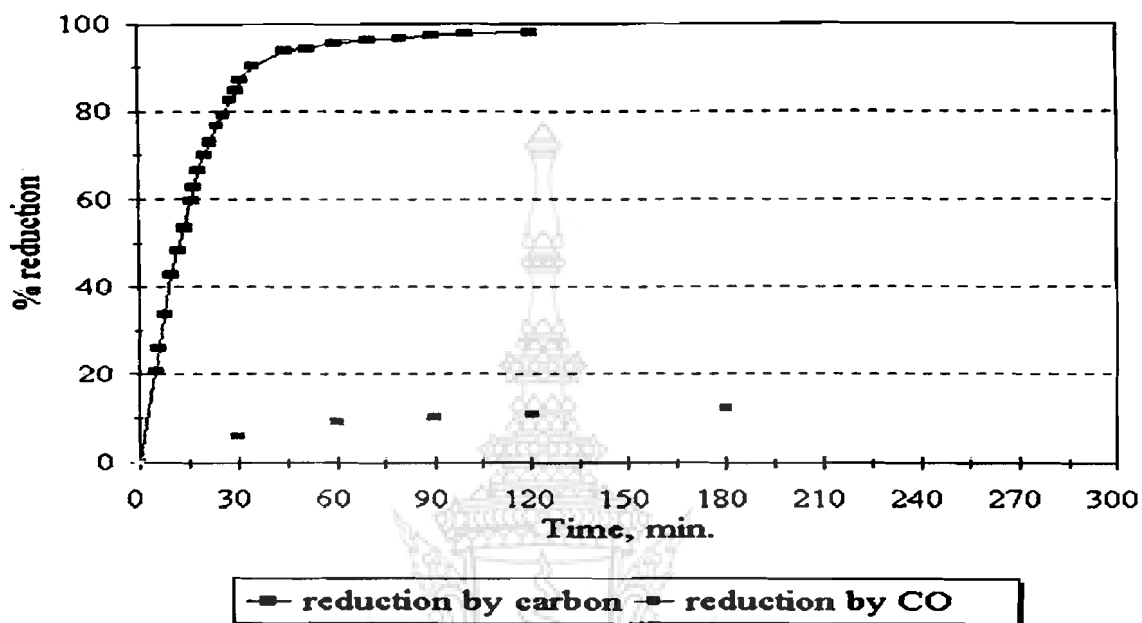
ภาพที่ 2.30 (ต่อ)



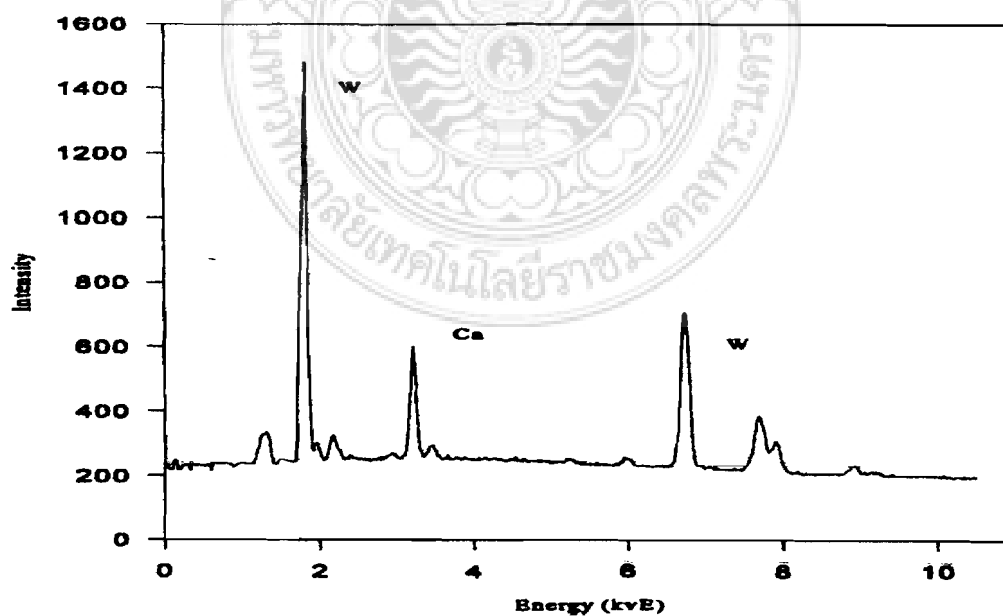
รูปที่ 2.31 อุณหภูมิในการทำคาร์บูไรซ์ต่อขนาดของกระแสไฟฟ้า (The Hor activity, power density, and the current density for several: (a)30% W/KC and (b) 30% NiW/KC catalysts compared to the performance of 20 % Pt/C. (-) Percent performance when compared to the 20wt% Pt/C.) [15]



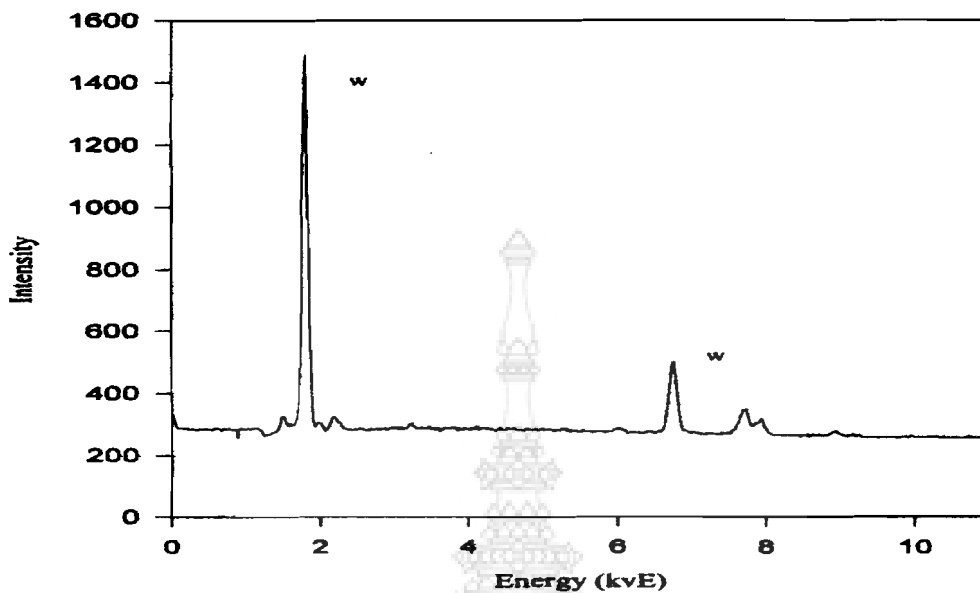
2.6.8 การทำคาร์บูไรซ์เซชันของแร่ซีไลต์ (Direct reduction carburization of scheelite with carbon)



ภาพที่ 2.32 อัตราการรีดักชันของโลหะทั้งสแตนกับคาร์บอน (Rate of reduction of calcium tungstate with carbon and carbon monoxide at 1500K.) [10]

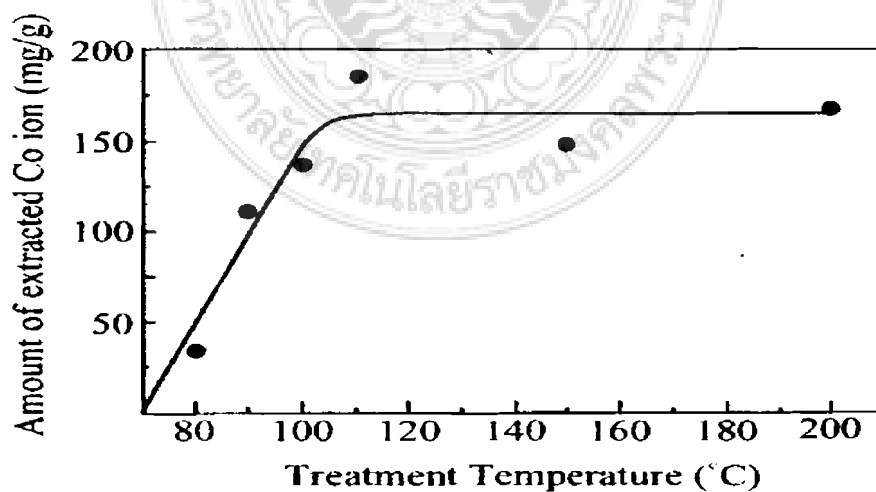


ภาพที่ 2.33 ผลการตรวจสอบ EDX ทั้งสแตน (EDX spectrum of the outer layer of a scheelite particle after reduction for 8 hour at 1500K under an argon atmosphere. Only W Was present in the outer layer.) [10]

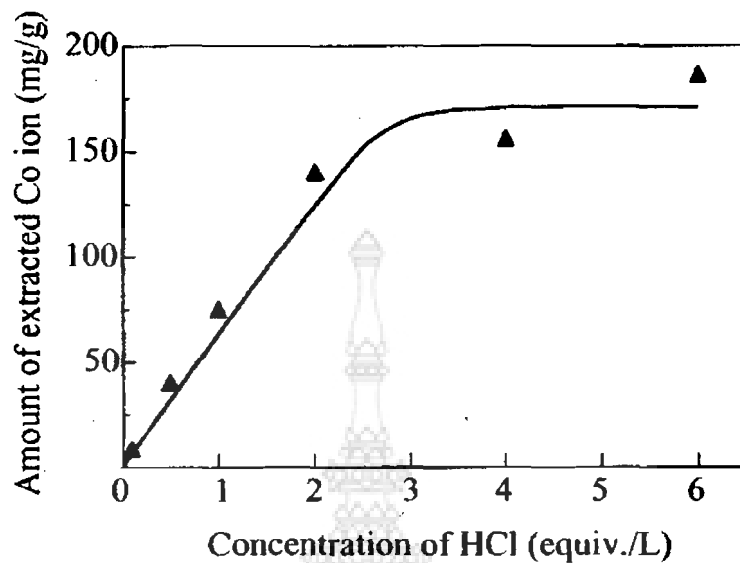


ภาพที่ 2.34 ผลการตรวจสอบ EDX แร่ทั้งสเดนหลังการทำรีดักชันเป็นเวลา 8 ชั่วโมง (EDX spectrum of the edge of the core of a scheelite after reduction for 8 hours at 1500K under an argon atmosphere. Ca is still present.) [10]

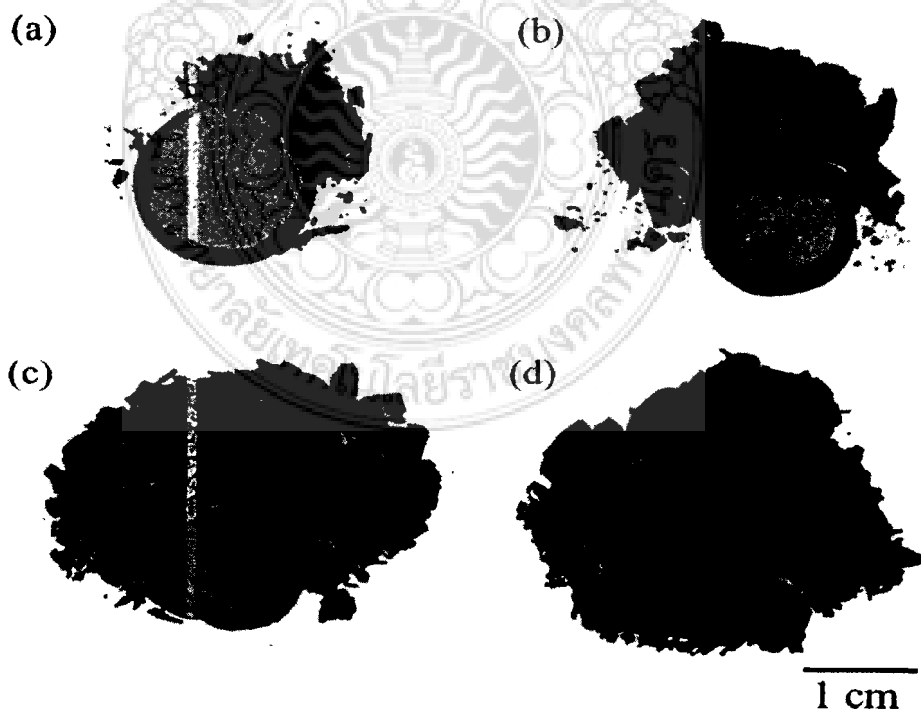
2.6.9 กระบวนการทำ WC-Co กลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล (Recycling process of WC-Co cermets by hydrothermal treatment.)



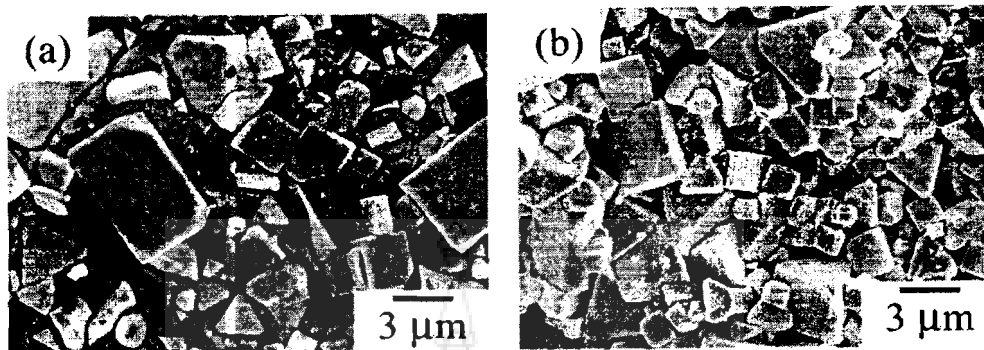
ภาพที่ 2.35 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการย่อยวัสดุและการสกัดโคบอลต์ด้วย 6 N HCl ละลายเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Relation between hydrothermal treatment temperature and amount of extracted Co ion Specimens are treated in 6 N HCl aqueous solutions for 24 h.) [10]



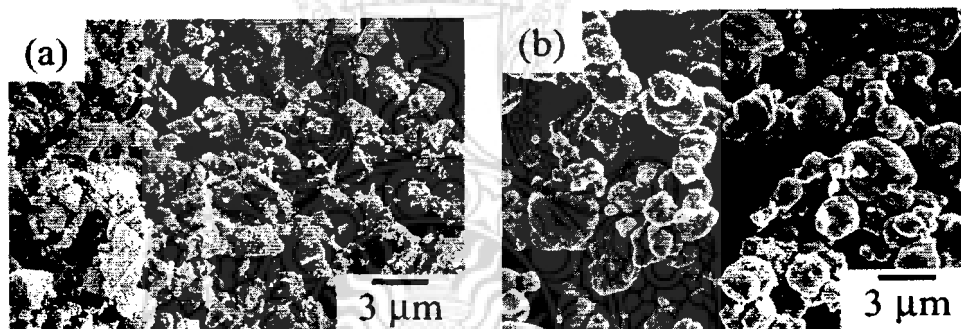
ภาพที่ 2.36 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย HCl ต่ออัตราการแยกโลหะโคบอลต์  
(Relation between concentration of HCL and amount of extracted Co ion. Specimens are treated at 110 °C for 24 H.) [10]



ภาพที่ 2.37 แสดงเศษโลหะทั้งสเดนที่ผ่านการย่อยโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล (Appearances of hydrothermal-treated WC-Co cermets chips hydrothermal treated in various concentrations of HCl aqueous solutions.) [10]



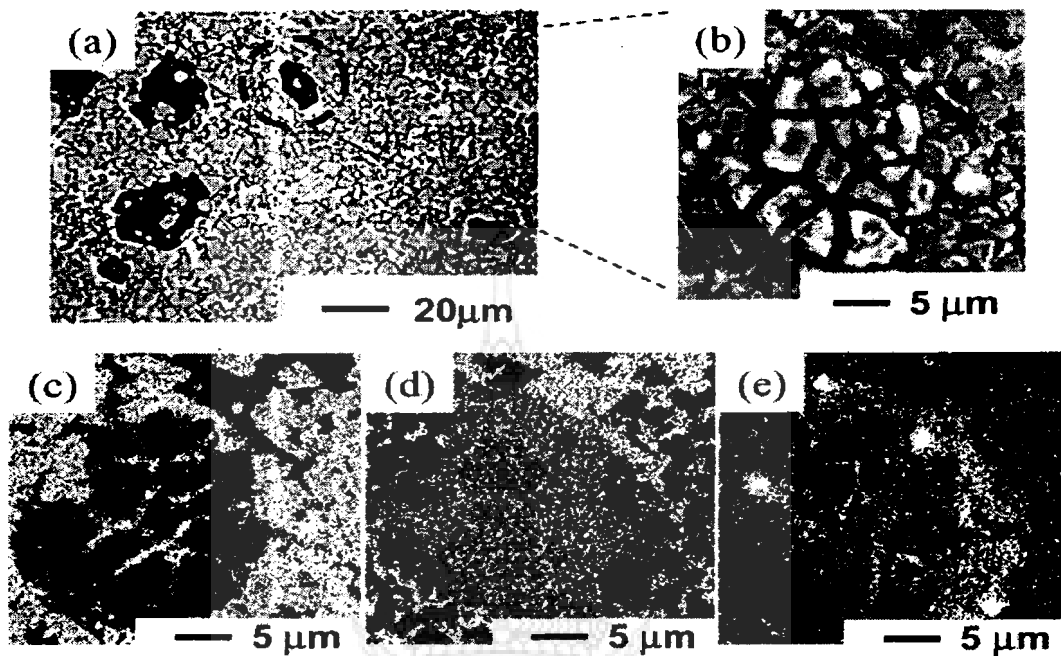
ภาพที่ 2.38 โครงสร้างจุลภาคของ WC-Co (Microstructures of the surfaces of original and hydrothermal treated WC-Co cermetchip. (a)Original WC-Co cermet chip and (b) hydrothermal- treated WC-Co cermet chip.) [10]



ภาพที่ 2.39 ผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการแยกสลายกลับมาใช้ใหม่และผงทังสเตนที่สกัดจากแร่ทังสเตนโดยตรง (Appearances of the recovered and virginal WC powder. (a)Recovered WC powder and (b) virginal WC powder.) [10]

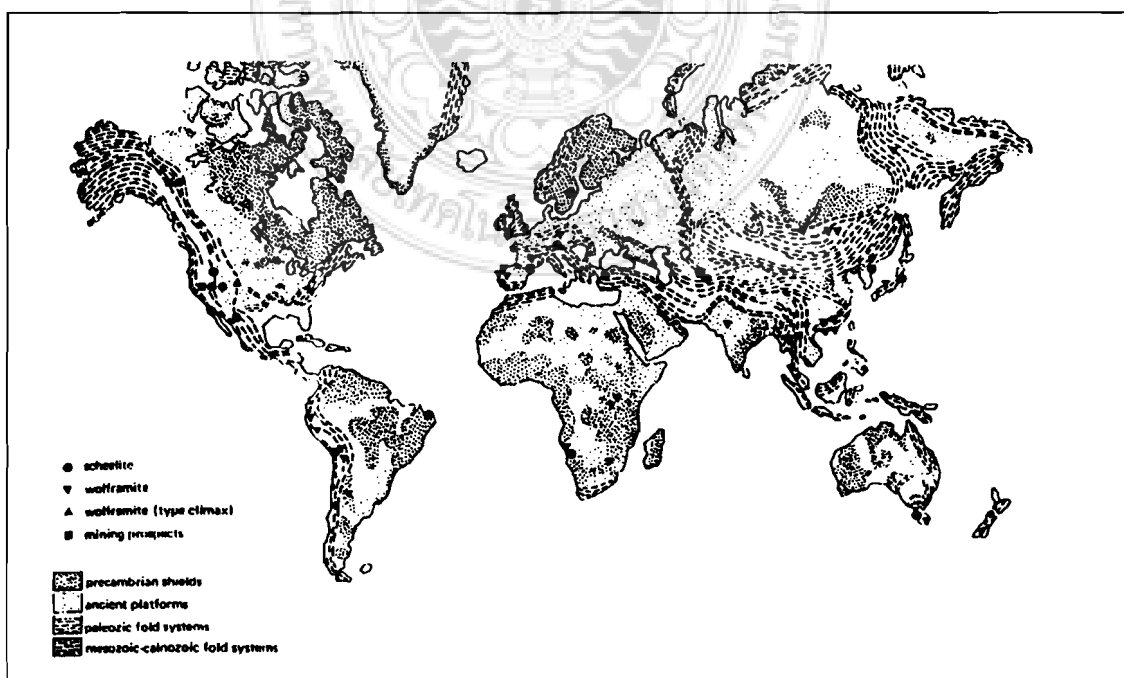
ตารางที่ 2.20 ความหนาแน่นและสมบัติทางกลของชิ้นส่วนทังสเตนคาร์ไบด์ (Density and mecechanical properties of sintered bodies.) [10]

WC powder source	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Rockwell A hardness (HRA)	Transverse rapture strength (kgf/mm <sup>2</sup> )
Virginal WC powder	13.72	84.3	267
Recovered WC powder	13.40	83.1	213
Recovered WC powder	13.35	82.6	267



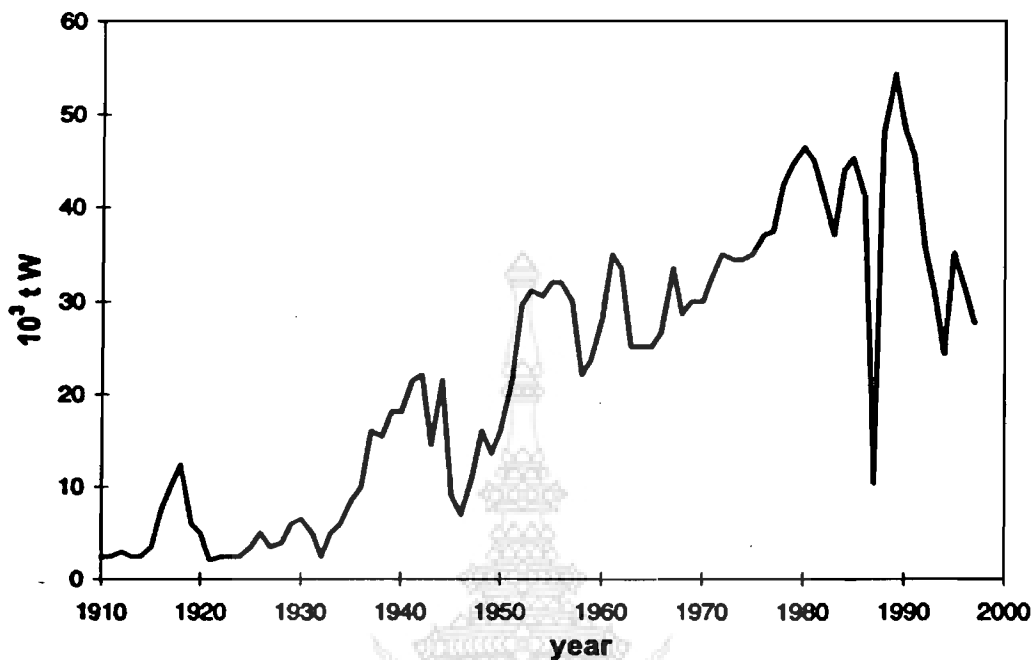
ภาพที่ 2.40 โครงสร้างโลหะทั้งสเดน-โคบอลต์(Optical microscopy and SEM-EDS images of the etched surfaces of the recovered WC-Co cermets chip. (a), (b) optical microscopy of the etched surface, mapping image of Tungsten, (d) mapping images of carbon.) [10]

#### 2.6.10 ทั้งสเดน(Tungsten)

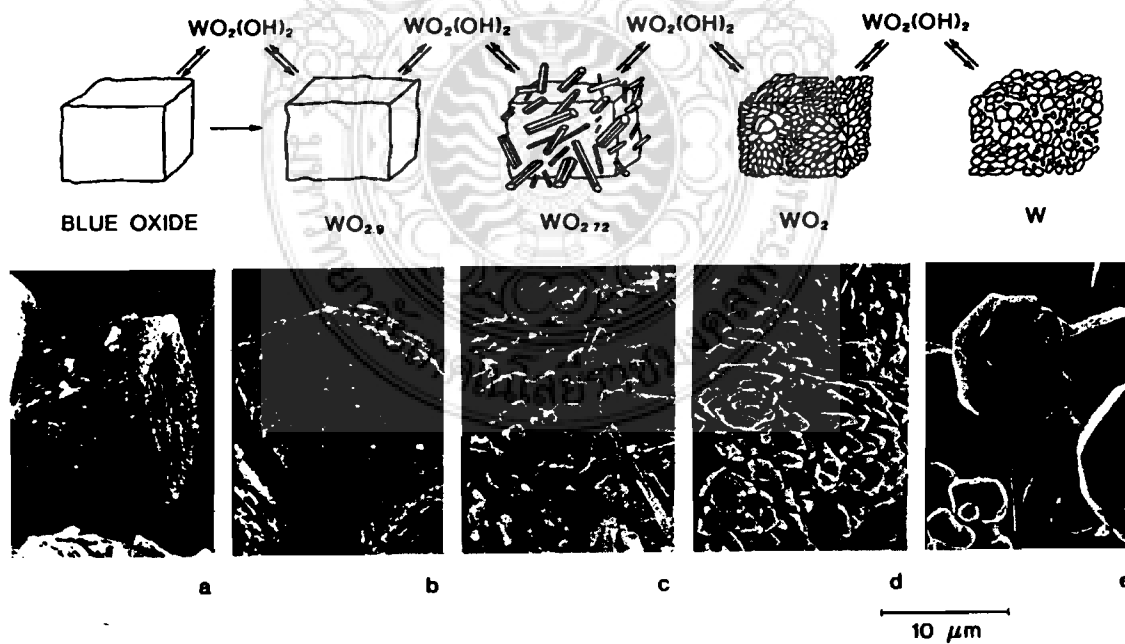


ภาพที่ 2.41 แหล่งแร่ทั้งสเดนในแต่ละภูมิภาค(Principal tungsten deposits and mining districts.) [9]

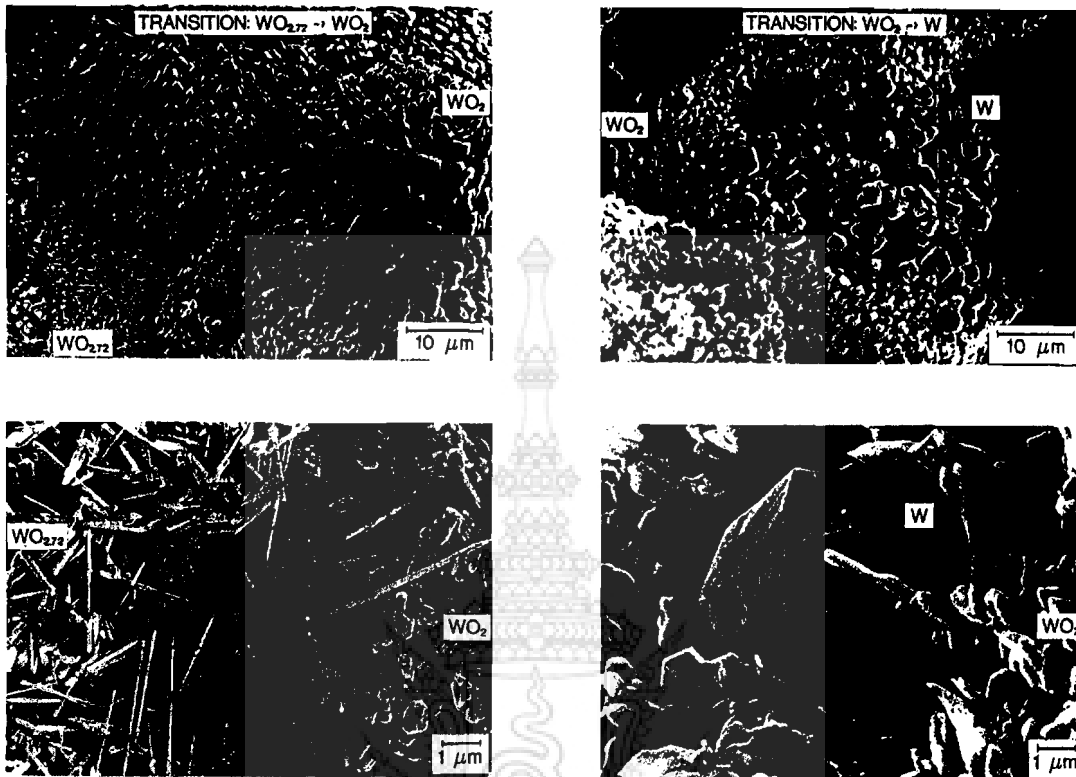




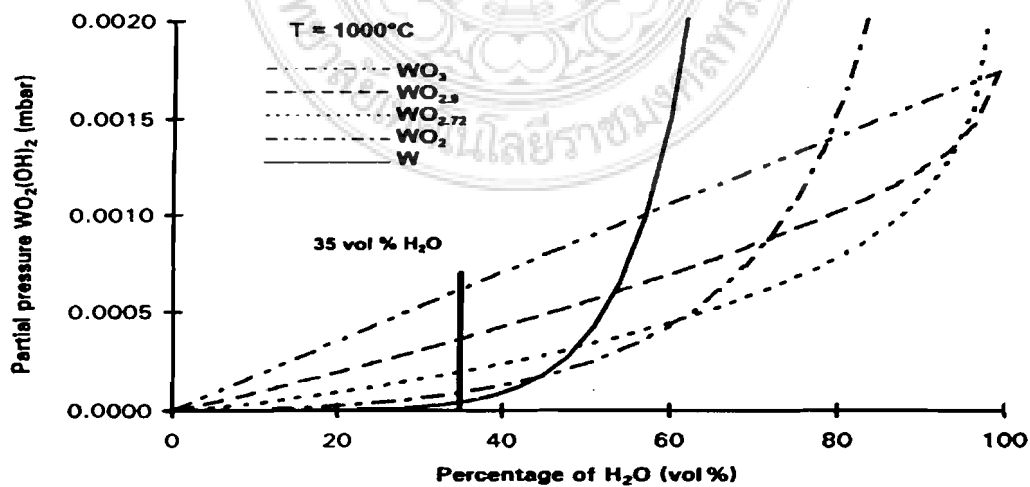
ภาพที่ 2.43 ปริมาณการผลิตทั้งสเดนทั่วโลกในช่วงปี1910 -1996 (Tungsten world production 1910-1996.) [9]



ภาพที่ 2.44 การผลิตผงทั้งสเดนจากการลดออกซิเจนด้วยการอบถึง 1000 องศาเซลเซียสในเตาสัญญากาศ(Morphological changes associated with the hydrogen reduction of tungsten blue oxide under near industrial conditions (1000 °C) by courtesy of wolfram bergbau and huttenes.) [9]

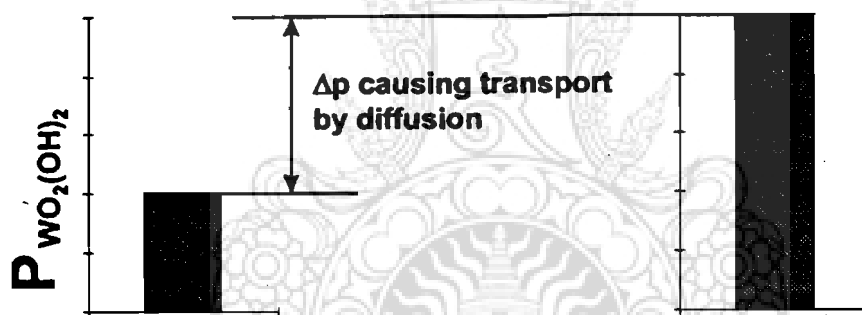
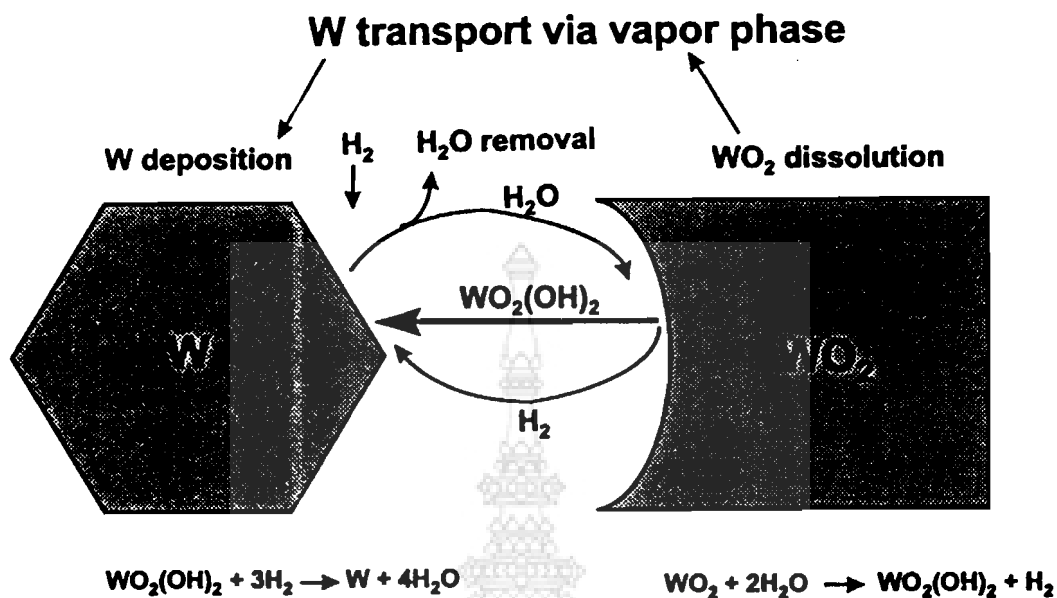


ภาพที่ 2.45 การลดปริมาณออกซิเจนใน ด้วยการอบในเตาสู่สูญากาศ (Transition  $\text{WO}_{2.72} \rightarrow \text{WO}_2$  (left) and  $\text{WO}_2 \rightarrow \text{W}$  (right). Note the gap which forms between the reacting particles. It is characteristic for the CVT growth of the phases in case of tungsten, small single crystals are formed.) [9]

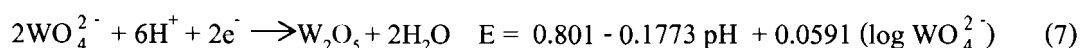
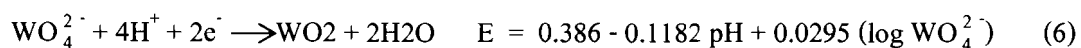
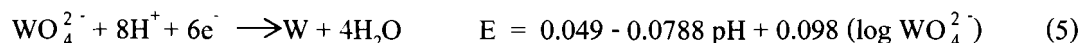
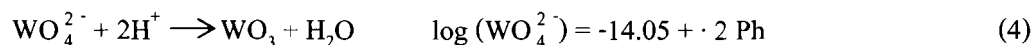
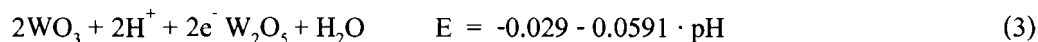
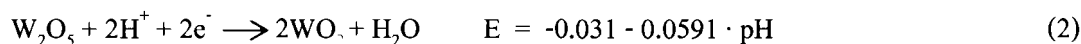
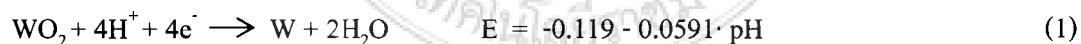


ภาพที่ 2.46 การลดปริมาณทั้งสแตนออกไซด์ที่ 1000 °C (Calculated  $\text{WO}_2(\text{OH})_2$  partial pressure of different tungsten oxides at 1000 °C vs. humidity; at a certain humidity (e.g., 35 vol %  $\text{H}_2\text{O}$ ) the phase with the lowest  $\text{wo}_2(\text{OH})_2$  partial pressure is the stable one (e.g., w).) [9]





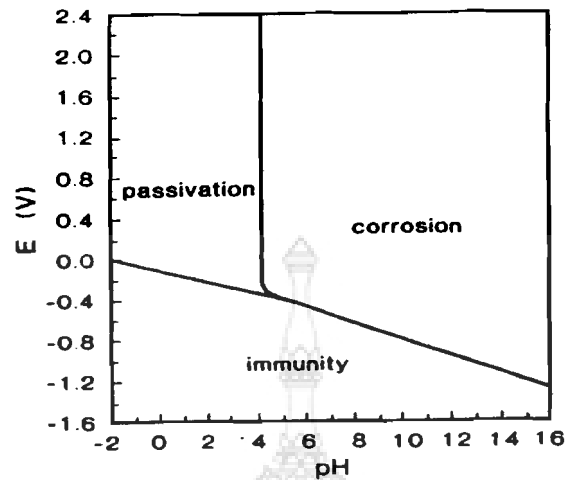
ภาพที่ 2.47 แสดงปฏิกิริยาเคมีระหว่างทั้งสแตนและทั้งสแตนออกไซด์ (Chemical vapor of transport of tungsten via the volatile  $(\text{WO}_2(\text{OH})_2)$ ; schematic presentation.) [9]



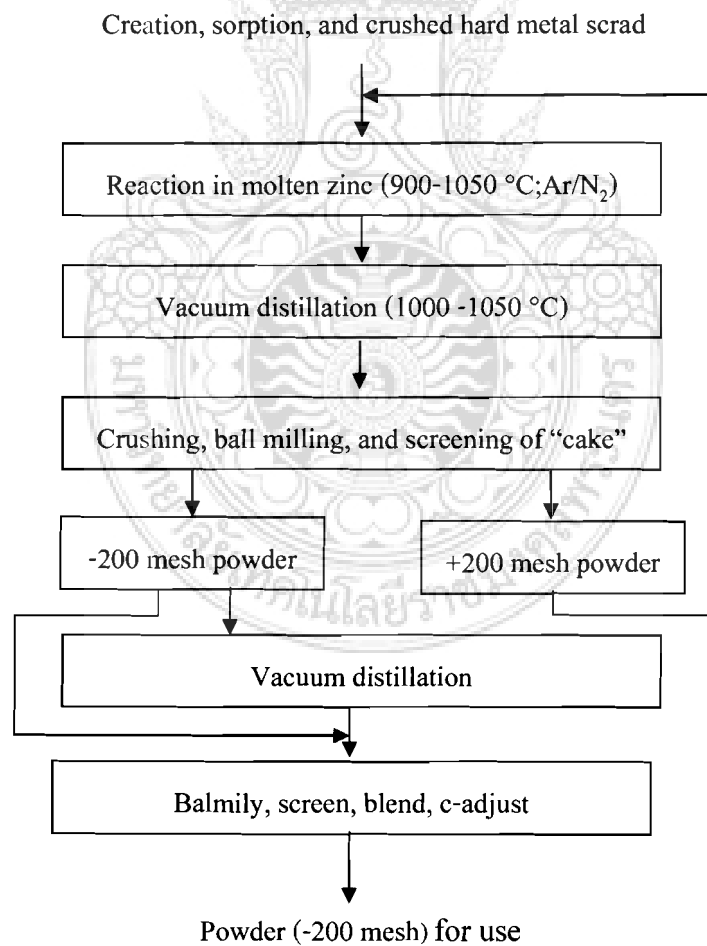
ตารางที่ 2.22 การต้านทานทางเคมีของทังสเตนคาร์ไบด์ต่อการทำปฏิกิริยาในสารละลายแต่ละชนิด

(Resistance to chemical attack of tungsten carbide in various media.) [9]

	Insoluble residue (%)	
	24 h at 20 -25 °C	2 h at boiling of the medium
HCL(density 1.19)	97	48
HCL(1:1)	96	92
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (density 1.84)	91	1
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1.4)	96	95
HNO <sub>3</sub> (density 1.43)	63	1
HNO <sub>3</sub> (1:1)	72	10
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (density 1.7)	91	93
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (1:3)	96	90
HClO <sub>4</sub>	98	40
HClO <sub>4</sub> (1:3)	98	93
H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (saturated solution)	95	95
HCL + HNO <sub>3</sub> (3:1)	28	3
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + HNO <sub>3</sub> (1:1)	92	42
HNO <sub>3</sub> + HF(4:1)	0	0
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (1:1)	95	70
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (1:1)	96	93
20% solution	98	98
10% solution	97	98
20% + bromine water(4:1)	70	60
20% + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (4:1)	88	87
20% + K <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] (solution)	68	68



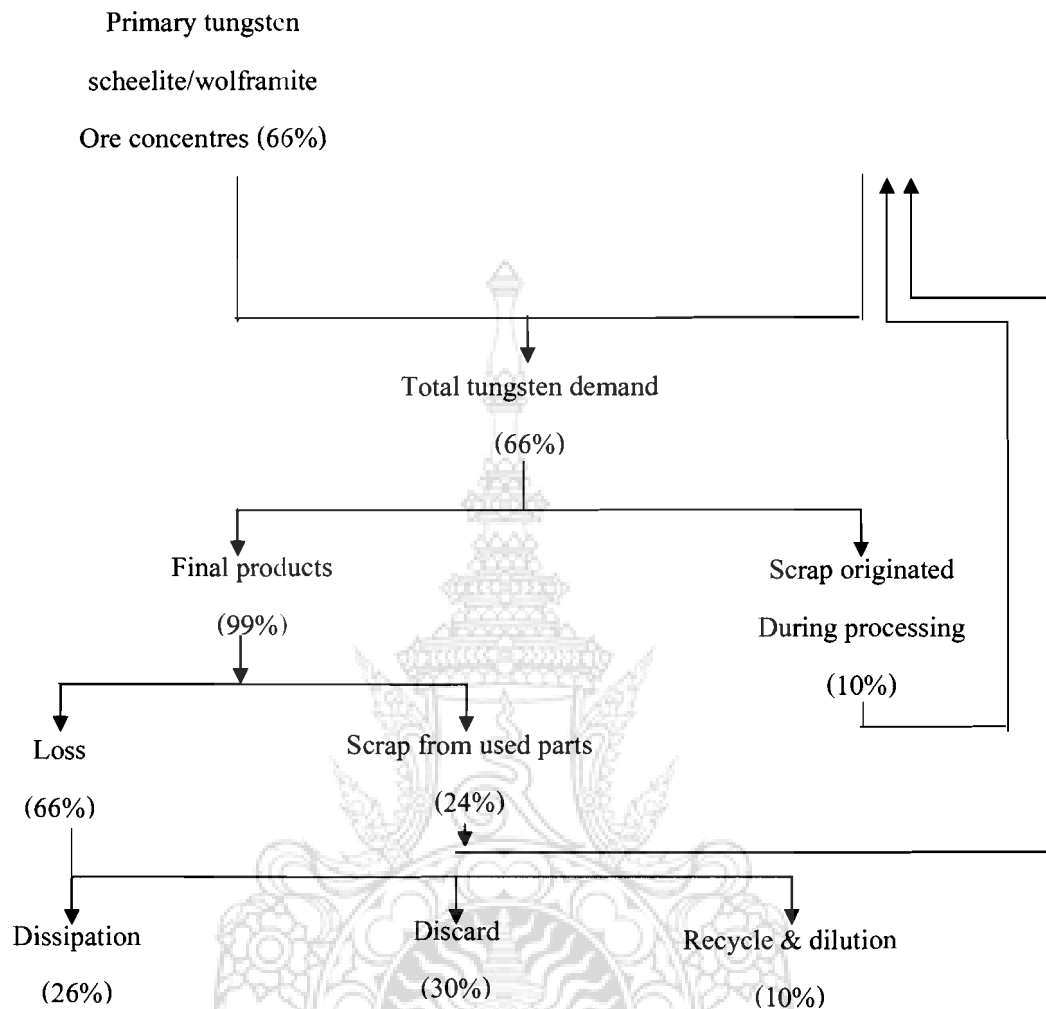
ภาพที่ 2.48 Theoretical regions of aestation, corrosion, and immunity of tungsten at 25 °C. [9]



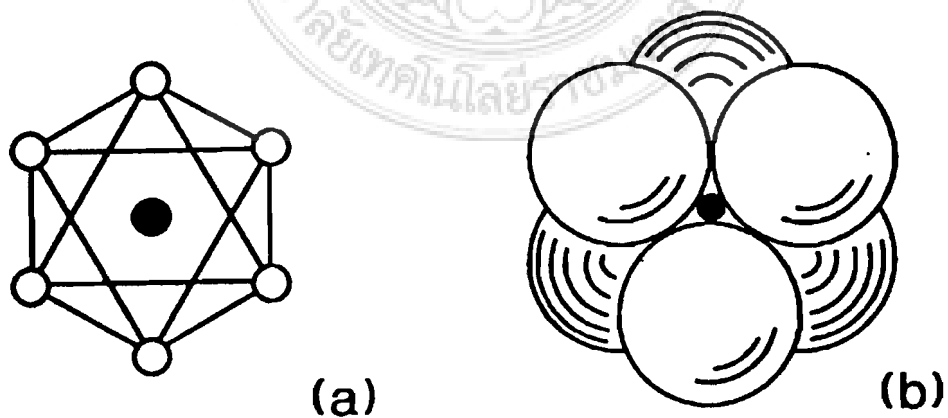
ภาพที่ 2.49 ขั้นตอนการผลิตผงทั้งสแตนด้วยวิธี zinc process จากเศษทั้งสแตนซีเมนต์คาร์ไบด์ (Flow chart of the zinc process for cemented carbide reclamation.) [9]

ตารางที่ 2.23 ชนิดของเศษทั้งสแตน(Typical tungsten scraps materials.) [9]

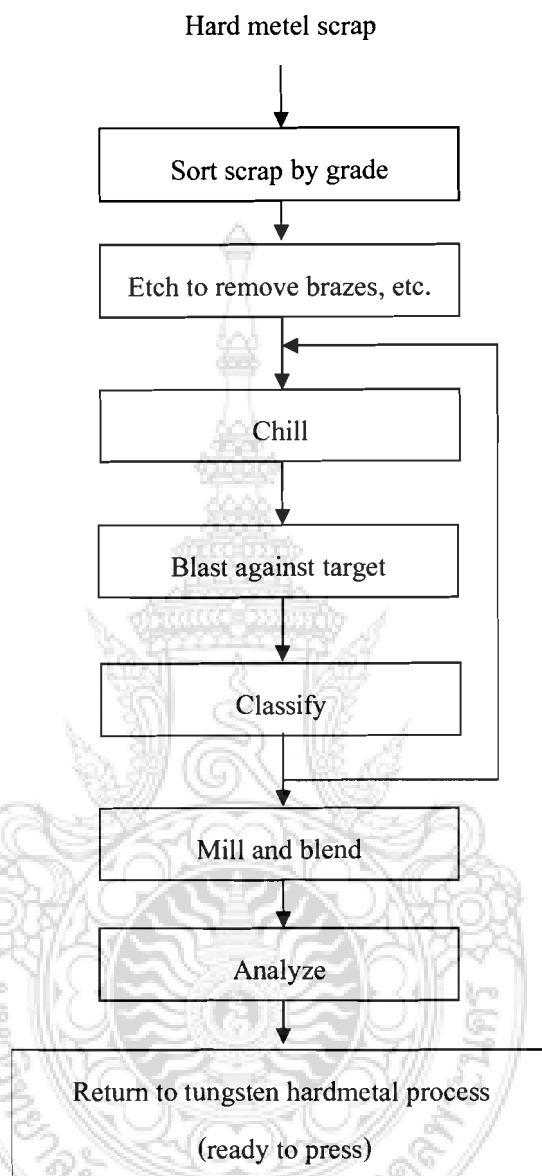
NO.	Scrap type	% W	Group
1	High-purity w	≥ 99	Hard scrap (solid pieces)
2	Oxide dispersed w alloys (tho <sub>2</sub> , zro <sub>2</sub> , CeO <sub>2</sub> , La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	96 - 98	
3	Hard metal pieces (also containing Co, Ta)	60 - 97	
4	Heavy metal w alloys	92 - 94	
5	Tungsten-copper	60 - 90	
6	Pure tungsten powder	98 - ≥ 99	
7	W grinding sludge	30 - 60	
8	W cutting sludge	70 - 80	Soft scrap (fine particles, powder, dust, timings, sludge)
9	Hard metal powder	60 - 95	
10	Heavy metal grinding sludge	15 - 60	
11	Heavy metal powder	92 - 97	
12	Heavy metal turning	92 - 97	
13	W-Cu powder and green compacts	50-90	
14	Floor sweepings (different sources)	40-60	



ภาพที่ 2.50 ผังแสดงขั้นตอนการผลิตทั้งสแตนจากแร่ทั้งสแตน(Tungsten flow chart for primary and secondary raw materials.) [9]



รูปที่ 2.51 ปฏิกริยาระหว่างอะตอมทั้งสแตนและออกซิเจน( $\text{WO}_6$  octahedron;(a) location of the centers of the atoms; the black circle is tungsten, the white circles oxygen. (b) atoms shown in full size; the tungsten atom is the small circle.)



รูปที่ 2.52 ขั้นตอนการผลิตแบบ cold stream process (Flow chart of the cold stream process.) [9]

ตารางที่ 2.24 Direct recycling of Tungsten scrap [9]

process	product	scrap
Zinc	Hard metal powder	Sorted Hard metal pieces
Bloating/crushing		
Cold stream		
Oxidation/reduction	Heavy metal powder thoriated tungsten powder	Heavy metal turnings thoriated tungsten pieces ,turnings ,powder

## 2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน แบบจำแนกทางเดียว (One-way anova) [2]

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมี 1 ตัวประกอบ ใช้สำหรับทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย (Mean) ที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป (ความจริงแล้ว ถึงแม้ว่าจะเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มก็ใช้ วิเคราะห์ความแปรปรวนทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยได้ แต่ถ้าใช้การทดสอบ ค่าที่จะสะดวกกว่า) เพื่อตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระ 1 ตัว ซึ่งแบ่งออกเป็น k ประเภท จะส่งผลแตกต่างกันหรือไม่ โดยจะมีกลุ่มตัวอย่าง k กลุ่ม จำนวนสมาชิก ในแต่ละกลุ่มควรจะเท่ากัน หรือใกล้เคียงกัน ตัวอย่างเช่น ต้องการเปรียบเทียบวิธีการสอน 3 วิธีว่ามีอิทธิพลต่อผลการเรียนรู้ของกลุ่ม ตัวอย่างแต่ละกลุ่มแตกต่างกันหรือไม่ ในตัวอย่างนี้จะมีกลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่มจะมีจำนวนสมาชิกอยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งได้รับวิธีสอนแต่ละวิธี หลังจากสอนแล้วก็จะมีการวัดการเรียนรู้ โดยใช้เครื่องมือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เหมาะสมแล้วนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ เพื่อหาผลสรุปต่อไปในเรื่องของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมี 1 ตัวประกอบ จะเกี่ยวข้องกับ ตัวแปรที่สำคัญ 2 ชนิดคือ ตัวแปรอิสระ 1 ตัว ซึ่งแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ตั้งแต่ 3 ประเภทขึ้นไป (K ประเภท) และมีตัวแปรตาม 1 ตัว ในตัวอย่างข้างต้นนี้มีตัวแปรอิสระ 1 ตัว คือวิธีสอน ซึ่งแบ่งเป็น 3 วิธี และตัวแปรตามมี 1 ตัวคือผลการเรียนรู้

### 2.4.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One – way anova)

ตารางที่ 2.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวน[2]

	Treatment, ประชากร, สิ่งที่น่าสนใจเปรียบเทียบ					
	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	...	กลุ่มที่ k	
	$X_{11}$	$X_{21}$	$X_{31}$	...	$X_{k1}$	
	...	...	...	...	...	
	$X_{1n}$	$X_{2n}$	$X_{3n}$	...	$X_{kn}$	
ขนาดตัวอย่าง	$n_1$	$n_2$	$n_3$	...	$n_k$	T
ผลรวม	$T_1$	$T_2$	$T_3$	...	$T_k$	N
ค่าเฉลี่ย	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_3$	...	$\bar{X}_k$	$\bar{X}$

เนื่องจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกตามสาเหตุที่ทำให้เกิดความแปรปรวน และในทดสอบสมมติฐานจะเปรียบเทียบความแปรปรวนระหว่างกลุ่มกับความแปรปรวนภายในกลุ่ม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนวณหาค่าประมาณความแปรปรวน (Mean-square)

### 2.7.2 ตั้งสมมติฐาน

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$  ประชากรแต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยเท่ากัน

$H_1$ : มีประชากรอย่างน้อยหนึ่งกลุ่มมีค่าเฉลี่ยต่างไปจากกลุ่มอื่น

### 2.7.3 กำหนดระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ )

$$= F_{\alpha(k-1, N-k)}$$

2.7.4 คำนวณหาตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน ได้แก่ SST, SSTr, SSE, MSTr, MSE เพื่อนำไปสร้างตาราง Anova

$$CM = \frac{\left( \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n X_{ij} \right)^2}{N} \quad \text{หรือ} \quad CM = \frac{(\sum T_i)^2}{N}$$

$$SST = \sum \sum X_{ij}^2 - CM$$

$$SST = \sum \sum (x_{ij} - \bar{X})^2$$

SST คือ ความแปรปรวน (ความผันแปร) ทั้งหมดของข้อมูล

### 2.7.5 การสร้างตาราง Anova

ตารางที่ 2.26 ตารางการสร้าง Anova [2]

Source	องศาอิสระ	ผลบวกกำลังสอง	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	F
	Df	SS	MS = SS/df	
Treatment (Between group)	k - 1	SSTr	MSTr	MSTr/MSE
ภายใน Treatment (ความคลาดเคลื่อน : Error)	N - k	SSE	MSE	
รวม(Total)	N - 1	SST		

2.7.6 หาขอบเขตของการยอมรับและปฏิเสธ  $H_0$  โดยเปิดตาราง F เปิดที่  $F_{\alpha, v_1, v_2}$  โดยที่  $\alpha$

คือระดับนัยสำคัญ  $v_1$  คือ df ของ Treatment = k - 1 ส่วน  $v_2$  คือ df ของ Error = N - k



MSE

$$SSTr = \sum \frac{T_i^2}{n} - CM$$

$$SSTr = \sum n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2$$

SSTr ความแปรปรวน (ความผันแปร) ระหว่าง Treatment

$$SSE = SST - SSTr$$

$$SSE = \sum \sum (x_{ij} - \bar{X}_i)^2$$

SSE ความแปรปรวน (ความผันแปร) ภายใน เดียวกัน หรือผลบวกของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง

$$MSE = \frac{SSE}{N - k}$$

$$MSTr = \frac{SSTr}{k - 1}$$

ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ

$$F = \frac{MSTr}{MSE}$$

### 2.7.7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

การทดสอบระหว่างความแตกต่างทรีตเมนต์ที่ศึกษาโดยใช้ค่า F นั้นเป็นการทดสอบความแตกต่างของทรีตเมนต์ทั้งกลุ่มที่ศึกษาว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าทรีตเมนต์ใดแตกต่างกับทรีตเมนต์ใดบ้าง จะทราบก็ต่อเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ทีละคู่ตามที่สนใจ อาจจะเปรียบเทียบอิทธิพลของทรีตเมนต์ที่สนใจ หรือเปรียบเทียบทุกคู่ของทรีตเมนต์ วิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจะมีหลายวิธี ที่นิยมคือ

วิธี Least significant difference (LSD) การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย และสะดวกในการใช้แต่ก็มีข้อจำกัดคือ วิธีการนี้จะใช้กับการเปรียบเทียบในการศึกษาที่ทรีตเมนต์ไม่มาก ถ้าทรีตเมนต์มากจะทำให้จำนวนคู่ของการเปรียบเทียบมีมาก ทำให้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมีโอกาสผิดพลาดได้มากขึ้น

## 2.8 วิเคราะห์ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ที่ผ่านมามีได้กล่าวถึง ความหมายของคำศัพท์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญประกอบการกำหนดการทดลอง โดยเฉพาะเงื่อนไขในการทดลอง ได้แก่ สารละลายกรดชนิดต่างๆ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และอุณหภูมิที่ใช้กับสารละลาย รวมถึง อุปกรณ์การทดลอง การทดสอบผงโลหะ การวิเคราะห์ผงโลหะด้วยวิธี X-Ray Diffractometer (XRD), X-ray fluorescence spectrometry (XRF) และการตรวจสอบขนาดของผงโลหะและการกระจาย เป็นต้น การศึกษาผลงานวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล การวิจัยที่ผ่านมามีได้นำมาประกอบในบทนี้แล้วสามารถนำมาใช้ประโยชน์ ในการดำเนินโครงการให้สำเร็จ

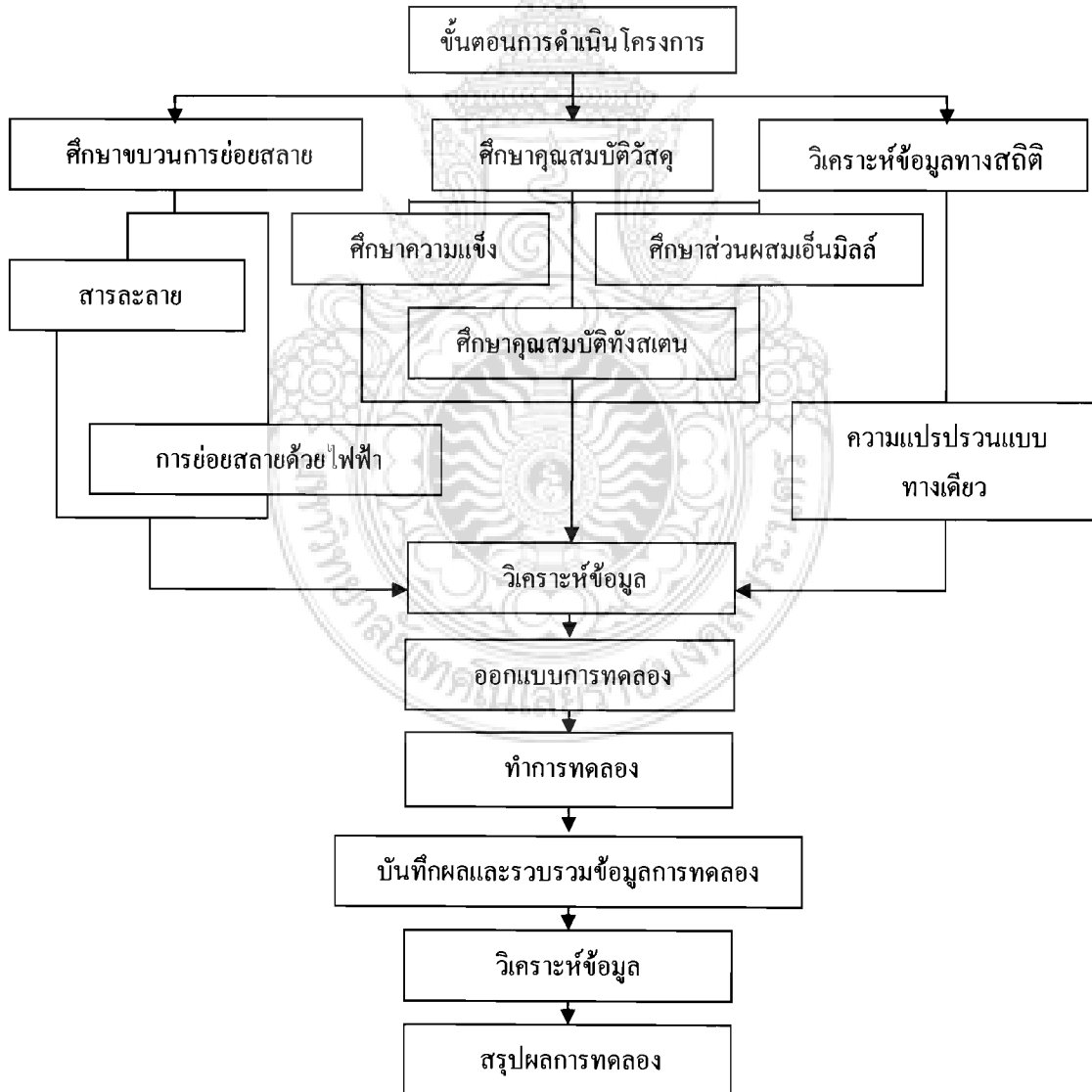


# บทที่ 3

## การดำเนินงานและวิธีการทดลอง

### 3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินงานด้วยวิธีการทดลองต่างๆ รวมถึงกระบวนการทดลอง และศึกษาแนวทางการนำเอาเศษวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide) ผ่านการใช้งานให้ย่อยสลาย และเพื่อศึกษาสมบัติของผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการย่อยต่อการนำกลับมาใช้ใหม่และทำการเสนอแนวทางแก้ไขปัญหา



ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินการหลังจากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับชิ้นงานทั้งสแตนคาร์ไบต์ และ กำหนดการทดลองเพื่อทดสอบในส่วนที่สำคัญเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการสึกกร่อนของ ชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบต์ และเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย โดยสภาพการกัดกร่อนตามลักษณะของ สารละลายที่ใช้ทดสอบ เวลาที่ใช้ในการย่อยสลายชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบต์ จากนั้นวิเคราะห์ผลการ ทดลองทางสถิติ การดำเนินโครงการเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการศึกษาข้อมูลข้างต้น ทำ การออกแบบวิธีการทดลอง รวบรวมผลการทดลองทำการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติด้วยการ วิเคราะห์ความแปรปรวน และสรุปผลการทดลอง ซึ่งการดำเนินการทดลองมีรายละเอียดใน หัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

### 3.2 ศึกษาคุณสมบัติวัสดุ

#### 3.2.1 ความแข็งแรงของการทดสอบชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบต์

ตารางที่ 3.1 แสดงความแข็งแรงของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบต์ชนิดต่างๆ


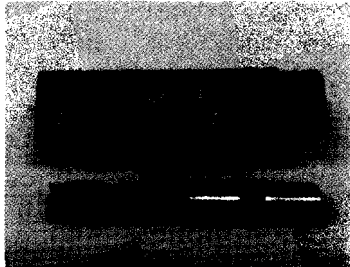
Material/ ISO Code NO.	Density	Hardness HRA	AVE T.R.S. kg/mm <sup>2</sup>	Application
G03K/K03	15.20	93.0	150	TURNG HARDEN STEELS ALLOY STEEL CAST IRON
GX25/PO5	11.80	92.0	175	TURNG ALLOY STEELS.CARBON STEELS
G10KTA/ K10	14.85	92.0	180	TURNG & MILLING. CAST IRON CARBON STEELS ALUMINUM
G6F/K05- K10	14.80	93.0	280	TURNG & MILLING. CAST IRON CARBON STEELS
G15M/M2 0	12.40	91.4	190	TURNG & MILLING. CARBON STEELS.STAINLES STEELS
G20H/K20	14.50	91.5	289	END MILLER.NOSE-END MILLER. CAST IRON CARBON STEELS
G12XF/K1 0-K20	14.10	93.0	317	END MILLER.NOSE-END MILLER. CAST IRON CARBON STEELS HARDEN STEELS DRILLER
GHA/K10	14.80	92.0	220	TURNG AND MILLING. ALUMINUM ALLOYS

### 3.2.1 ความแข็งของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ก่อนอบ

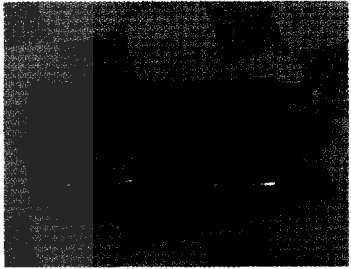



ภาพที่ 3.2 ทดสอบความแข็งของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์


ตารางที่ 3.2 ความแข็งของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์หน่วยที่ใช้ HRA (Hardness Rockwell scale A)

ชิ้นที่	แรงที่กด (kg/f)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	รูปชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์
1	60	90.7	90.4	90.7	90.6	 ยี่ห้อ Kennametal
2	60	90.9	91.0	90.0	90.6	 ยี่ห้อ Dormer

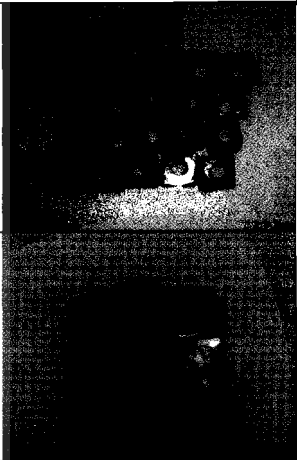
ตารางที่ 3.2 (ต่อ) ความแข็งชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์หน่วยที่ใช้ HRA (Hardness Rockwell scale A)

ชิ้นที่	แรงที่กด (kg/f)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	รูปชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์
3	60	90.9	91.1	91.1	91	 ยี่ห้อ Cut Right
4	60	90.1	90.5	90.9	90.8	 ยี่ห้อ Sandvik

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบความแข็งของแผ่นมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์ (Insert)

แรง กด (kg/f)	ก่อนอบ				หลังอบ				รูปแผ่นมีดตัด ทั้งสแตนคาร์ไบด์
	ครั้งที่			ค่า เฉลี่ย	ครั้งที่ 1			ค่า เฉลี่ย	
	1	2	3		1	2	3		
150	79.2	79.5	79.8	79.5	60.3	52.8	59.8	57.63	

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) ผลการทดสอบความแข็งของแผ่นมีดทั้งสแตนคาร์ไบด์ (Insert)

แรงกด (kg/f)	ก่อนอบ				หลังอบ				รูปแผ่นมีดตัด ทั้งสแตนคาร์ไบด์
	ครั้งที่			ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3		1	2	3		
150	73.5	74.0	74.0	73.83	71.6	72.5	71.9	72.0	
150	77.7	78.0	78.0	77.9	70.1	66.2	68.4	68.23	

### 3.2.3 ศึกษาส่วนผสมที่สำคัญของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ก่อนอบและหลังอบ

ตารางที่ 3.4 ผลทดสอบส่วนผสมของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ก่อนอบและหลังอบ

ส่วนผสมของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ก่อนอบ		ส่วนผสมของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์หลังอบ	
องค์ประกอบ	ร้อยละ	องค์ประกอบ	ร้อยละ
ไทเทเนียม (Ti)	85	ไทเทเนียม (Ti)	91
ทังสเตน (W)	ไม่พบ	ทังสเตน (W)	ไม่พบ
อลูมิเนียม (Al)	ไม่พบ	ซิลิคอน (Si)	ไม่พบ
โคบอลต์ (Co)	12	โคบอลต์ (Co)	7
ซิลิคอน (Si)	ไม่พบ	เหล็ก (Fe)	ไม่พบ
เหล็ก (Fe)	ไม่พบ	อลูมิเนียม (Al)	ไม่พบ

### 3.2.4 ศึกษาคุณสมบัติธาตุทังสเตน

#### 3.2.3.1 คุณสมบัติของธาตุทังสเตน

ตารางที่ 3.5 แสดงคุณสมบัติของทังสเตน (Tungsten) [20]

ชื่อ	Tungsten
สัญลักษณ์	W
หมายเลขอะตอม	74
มวลอะตอม	183.84
จุดหลอมเหลว	3410.0 °C (3683.15 K, 6170.0 °F)
จุดเดือด	5660.0 °C (5933.15 K, 10220.0 °F) Number of protons/Electrons: 74 Number of neutrons: 110 Classification: Transition metal
โครงสร้างผลึก	Cubic
ความหนาแน่น	@ 293 K: 19.3 g/cm <sup>3</sup>
สี	เงิน

#### 3.2.3.2 ศึกษาคุณสมบัติของผงทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide powder)

ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติของผงทังสเตนคาร์ไบด์ของบริษัท Buffalo Tungsten Inc. [22]

Type	Particle Range ( $\mu$ )	Carbon Total (%)	Free Carbon O <sub>2</sub> (%)
WC O	0.80-0.99	6.10-6.18	0.07% Max
WC I	1.00-1.99	6.10-6.18	0.07% Max
WC II	2.00-5.99	6.10-6.18	0.07% Max
WC III	6.00-8.99	6.10-6.18	0.07% Max
WC IV	9.00-13.99	6.10-6.18	0.07% Max
WC V	14.00-24.99	6.10-6.18	0.07% Max
WC VI	25.00-50.00	6.10-6.18	0.07% Max



ตารางที่ 3.7 คุณสมบัติของผงทังสเตนคาร์ไบด์ของบริษัท ATI Alldyne [21]

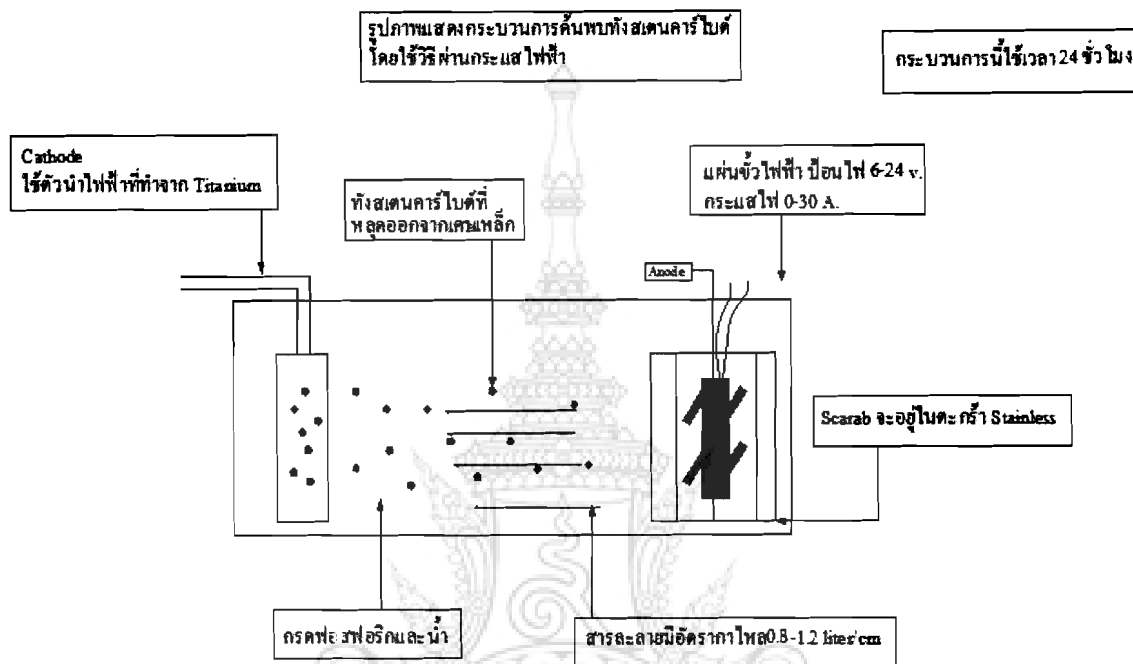
Type	Particle Range ( $\mu$ )	Carbon Total (%)	Oxygen O <sub>2</sub> (%)
O	0.5-0.99	6.10-6.16	<0.28
I	1.00-1.69	6.10-6.16	<0.20
II	1.70-5.99	6.10-6.16	<0.18
III	6.0-8.99	6.10-6.16	<0.01
IV	9.0-15	6.10-6.16	<0.08
V	>15	6.10-6.16	<0.08

ตารางที่ 3.8 คุณสมบัติของผงทังสเตนคาร์ไบด์ของบริษัท CB Carbide [23]

Type	Particle Range ( $\mu$ )	Carbon Total (%)	Free Carbon O <sub>2</sub> (%)	Oxygen O <sub>2</sub> (%)
CB-06	0.5-0.75	6.10-6.20	0.1% Max	≤0.40
CB-08	0.7-0.95	6.10-6.20	0.1% Max	≤0.30
CB-10	0.9-1.3	6.10-6.20	0.1% Max	≤0.20
CB-15	1.3-1.7	6.10-6.20	0.1% Max	≤0.20
CB-20	1.7-2.5	6.10-6.20	0.1% Max	≤0.20
CB-25	2.5-3.0	6.10-6.20	0.1% Max	≤0.20
CB-30	2.9-3.5	6.10-6.20	0.1% Max	≤0.20
CB-50	4.5-5.5	6.10-6.20	0.1% Max	≤0.12
CB-60	5.5-7.5	6.10-6.20	0.1% Max	≤0.15
CB-90	7.6-10.0	6.10-6.20	0.1% Max	≤0.12
CB-120	10.0-14.0	6.10-6.20	0.1% Max	≤0.12

### 3.3 ศึกษากระบวนการย่อยสลาย

#### 3.3.1 การแยกสลายด้วยไฟฟ้า



ภาพที่ 3.3 การแยกสารด้วยไฟฟ้า (Electrolysis) [6]

ปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นบริเวณขั้วไฟฟ้าทั้งสอง สรุปเป็นกรณีทั่วไปได้ดังนี้

- 1) ที่ขั้วบวก ไอออนลบของสารอิเล็กโทรไลต์ จะเสียอิเล็กตรอนให้ขั้วบวกเกิดสารหรือแก๊สของไอออนลบ เรียกขั้วบวกที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้ว่า ขั้วแอโนด
- 2) ที่ขั้วลบ ไอออนลบของสารอิเล็กโทรไลต์ จะเข้ามารับอิเล็กตรอนจากขั้วลบเกิดโลหะของไอออนบวก เรียกขั้วบวกที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันนี้ว่า ขั้วแคโทด

ตารางที่ 3.9 สรุปผลการทดลองแยกสลายชิ้นส่วนเครื่องมือตัดชนิดแผ่นมีดตัด [6]

แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนักที่ลดลง (g)
6	0.11844	36.8186	5.2577
12	1.0943	42.01	11.5395
24	5.8738	79.93	114.8706
	รวม		131.6678

ตารางที่ 3.10 คุณสมบัติของสารละลายกรดแต่ละชนิด

ชื่อ	สูตรเคมี	ความหนาแน่น (g / cm <sup>3</sup> )	จุดเดือด (° C)	มวลโมเลกุล (g/mol)	ลักษณะ
Phosphoric [18]	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1.685	158	98.0	ของเหลวใสไม่มี กลิ่น
Acetic[19]	CH <sub>3</sub> COOH	1.049	118.1	60.05	ของเหลวไม่มีสี หรือผลึก
Hydrochloric[24]	HCl	1.18	110	36.46	ของเหลวใสไม่มีสี ในรูปบริสุทธิ์ ไอ ความเข้มข้นสูง

### 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ [2]

สมมติฐานการทดสอบคือ

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$  ประชากรแต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยเท่ากัน

$H_1$ : มีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ที่ต่างกัน

กำหนด  $\alpha$ , k, n

ค่าวิกฤตคือ ค่า  $f_{0.05(2,12)}$

คำนวณหาค่าต่างๆ ดังนี้

$$CT = \frac{T^2}{n}$$

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{n}$$

$$SSA = \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{n}$$

$$SSW = SST - SSA$$

### 3.5 วิเคราะห์ข้อมูล

จากการที่นำเนื้อหาของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและข้อมูลที่ได้ศึกษามาใช้ประโยชน์ในการทดลอง สำหรับในการอ้างอิงหลักการและวิธีการทำงาน เพื่อที่จะปรับปรุงการทดลองให้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงทำให้ผลการทดลองที่ได้มีเนื้อหาเป็นแนวทางเดียวกับทฤษฎีและจากทฤษฎีจะเห็นว่าสารละลายที่ใช้ในการทดลองนั้นมี 3 ชนิดกรด คือ Phosphoric, Acetic, Hydrochloric จะเห็นความแตกต่างน้ำหนักของชิ้นงาน

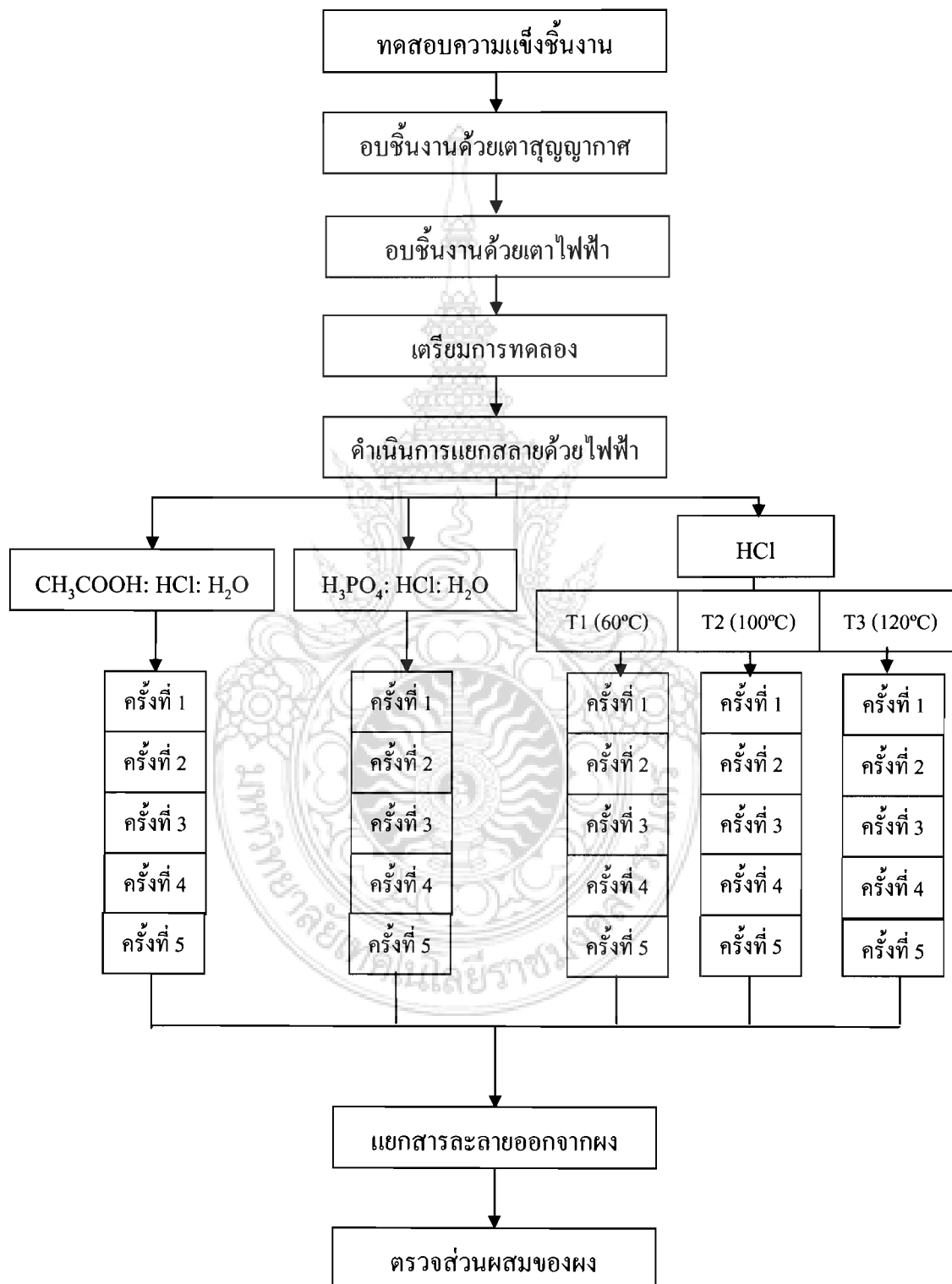
การวิเคราะห์สารละลายจากทฤษฎีของ อาจารย์ ชاعر จารุพิสิฐธร เรื่อง การแยกแอมกานีส และเหล็กจากคลอไรด์ในกรดโดยใช้เมทิลไอโซบูทิลคีโตน (MIBK) ได้บอกไว้ว่าความเข้มข้น HCl ต่ำกว่าโมลาร์ เมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกสูงขึ้นเปอร์เซ็นต์การสกัด  $Fe^{3+}$  จะสูงขึ้น เช่น ที่ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 3.5 โมลาร์จะได้เปอร์เซ็นต์การสกัด 74.16 % ในขณะที่ความเข้มข้น 4.0 โมลาร์ เปอร์เซ็นต์การสกัดเพิ่มขึ้นเป็น 92.88% และที่ความเข้มข้น 5.0-6.0 โมลาร์ เปอร์เซ็นต์การสกัดสูงถึง 96.33 และ 98.88% ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การสกัดที่ได้เพิ่มขึ้นค่อนข้างน้อยในช่วงความเข้มข้นของ HCl ตั้งแต่ 5.0 โมลาร์ขึ้นไปจึงได้เลือกความเข้มข้น 12 โมลาร์มาใช้ในการทดลอง เพราะว่าการกัดกร่อนสูงเพื่อลดเวลาในการย่อยสลายและจากทฤษฎี เรื่อง ศึกษาการแยกสลาย ชิ้นส่วนเครื่องมือตัดชนิด แผ่นมีดด้วยวิธีเคมีไฟฟ้า ผลการทดลองที่ได้ คือ ใช้กรดไฮโดรคลอริก แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์กระแสไฟ 4 แอมป์ น้ำหนักที่ลดลง 1.9377 กรัม ซึ่งเป็นผลที่ดีกว่ากรดอื่น คือ กรด จึงได้เลือกใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เป็นกรดหลักและกรดอื่นเป็นส่วนผสมรองโดยที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบในการทดลอง

การวิเคราะห์กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจากทฤษฎีทั้งสแตนด์และทั้งสแตนด์นิกเกิลคาร์ไบด์ เพื่อการทำอิเล็กโทรไลต์ จากรูปที่ 2.28 จะแสดงแรงดันไฟฟ้าและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการทดลองและรูปที่ 2.30 จะแสดงกระแสไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะสอดคล้องกับวิธีการทดลองที่จะทดลองต่อไป

การวิเคราะห์เวลาในการทดลองจากรูปที่ 2.32 จะแสดงอัตราการรีดักชันของโลหะทั้งสแตนด์กับคาร์บอนซึ่งจะเปรียบเทียบกับการรีดักชันกับเวลาซึ่งอัตราการรีดักชันจะสูงที่สุดเท่ากับ 120 นาที จึงได้เลือกเวลานี้ในการทดลอง

การวิเคราะห์อุณหภูมิจากทฤษฎีกระบวนการทำ WC-Co กลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล รูปที่ 2.35 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการย่อยวัสดุและการสกัดโคบอลต์ด้วย HCl ละลาย เป็นเวลา 24 ชั่วโมงการย่อยที่น้ำหนักสูงสุดเท่ากับ 110 องศาเซลเซียส จึงได้เลือกใช้อุณหภูมิระหว่าง 110 องศาเซลเซียส คือ 60,100,120 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการทดลอง

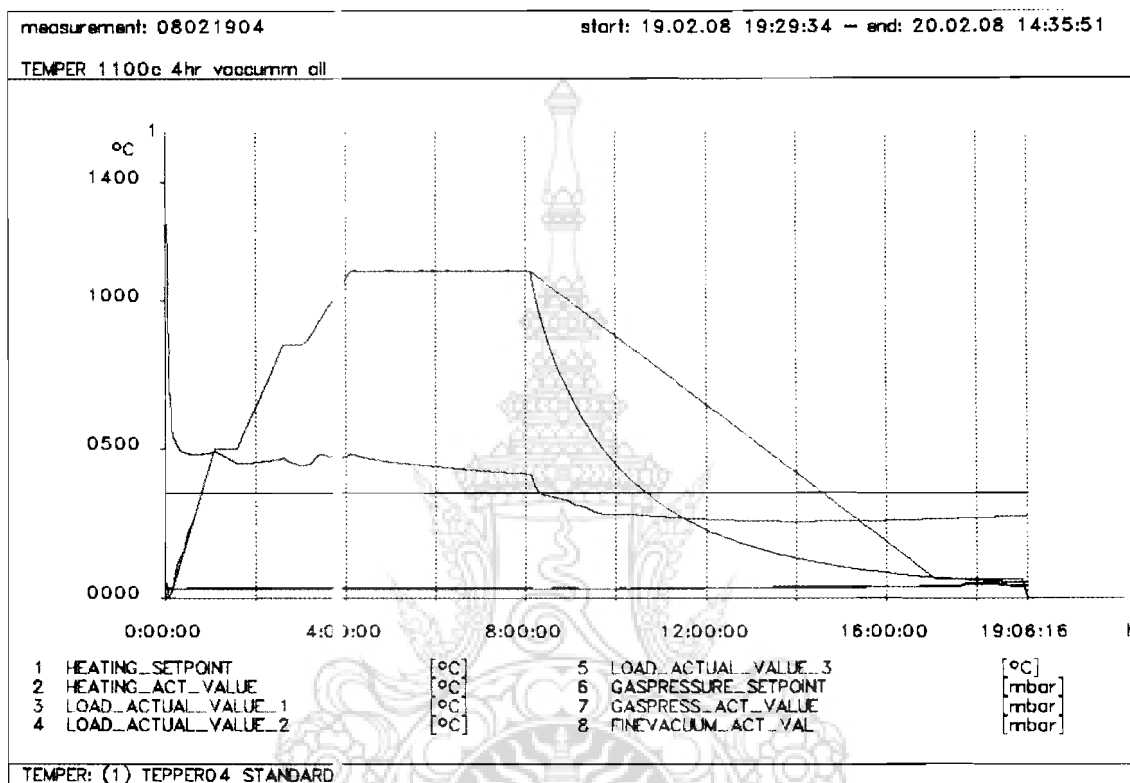
## 3.6 ออกแบบการทดลอง



ภาพที่ 3.4 ออกแบบกำหนดแนวทางในการทดลอง

### 3.7 ทำการทดลอง

#### 3.7.1 ออบชิ้นงานด้วยเตาสู่ญญากาศ



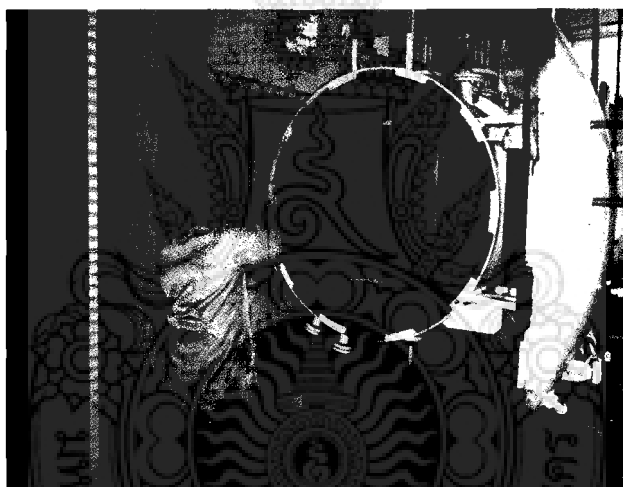
ภาพที่ 3.5 โปรแกรมแสดงการอบชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ ในเตาสู่ญญากาศ



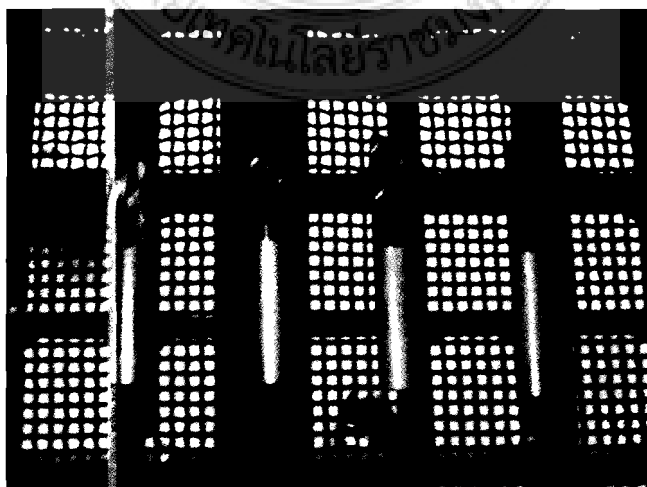
ภาพที่ 3.6 ลักษณะการวางชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ ก่อนนำเข้าเตา



ภาพที่ 3.7 การนำชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ เข้าในเตาอบสุญญากาศ



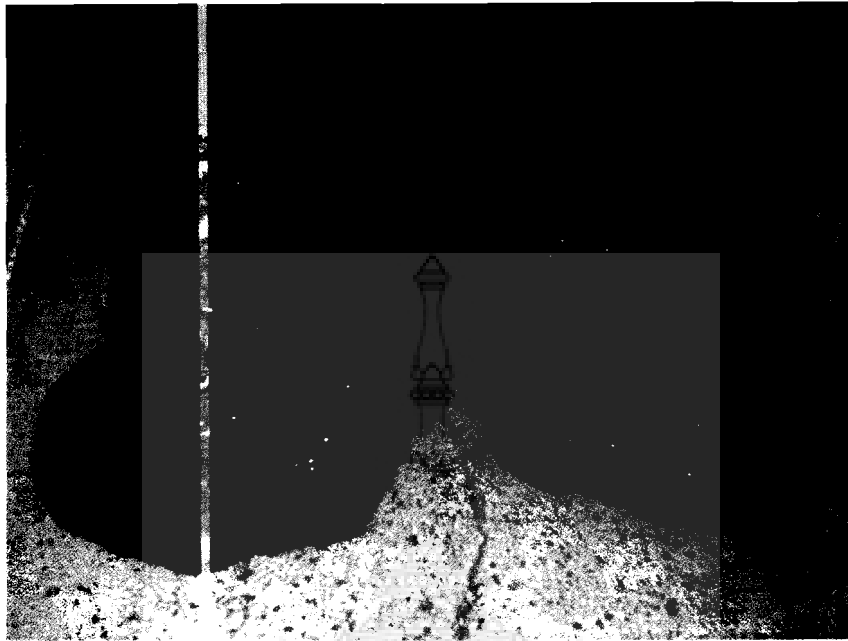
ภาพที่ 3.8 การนำชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ ออกจากเตาอบสุญญากาศ



ภาพที่ 3.9 ลักษณะชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ หลังอบด้วยเตาสุญญากาศ










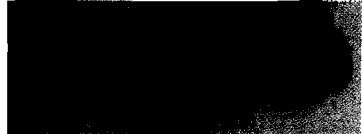
ภาพที่ 3.12 ลักษณะชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ หลังอบด้วยเตาอบไฟฟ้า

### 3.7.3 ทดสอบความแข็งของชิ้นงานหลังอบด้วยเตาไฟฟ้า

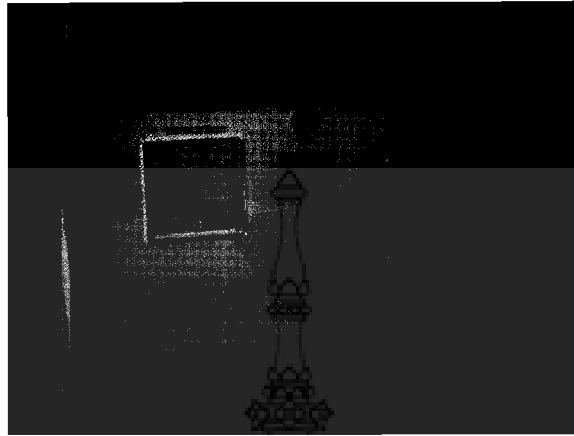


ภาพที่ 3.13 ทดสอบความแข็งของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ หลังอบด้วยเตาไฟฟ้า

ตารางที่ 3.11 ความแข็งของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ หลังอบด้วยเตาไฟฟ้า หน่วยที่ใช้คือ HRA  
(Hardness Rockwell scale A)

ชิ้นที่	แรงที่กด (kg/f)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	รูปชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์
1	60	77.1	78.2	78.3	77.8	 ยี่ห้อ Kennametal
2	60	78.4	78.4	78.3	78.3	 ยี่ห้อ Dormer
3	60	78.8	78.9	78.9	78.8	 ยี่ห้อ Cut Right
4	60	78.4	78.5	78.6	78.5	 ยี่ห้อ Sandvik

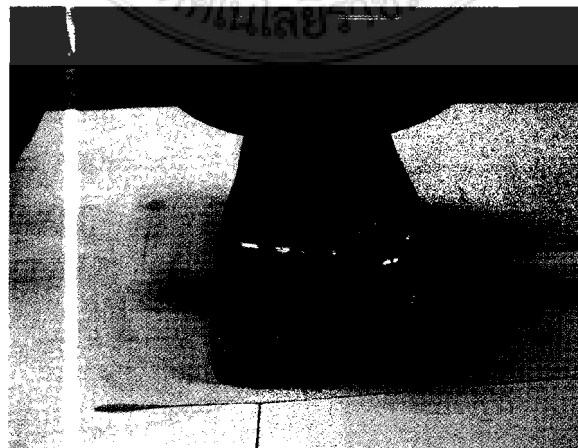
### 3.7.4 ขั้นตอนเตรียมอุปกรณ์



ภาพที่ 3.14 เตรียมเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าขนาด 24 โวลต์ ก่อนการทดลอง

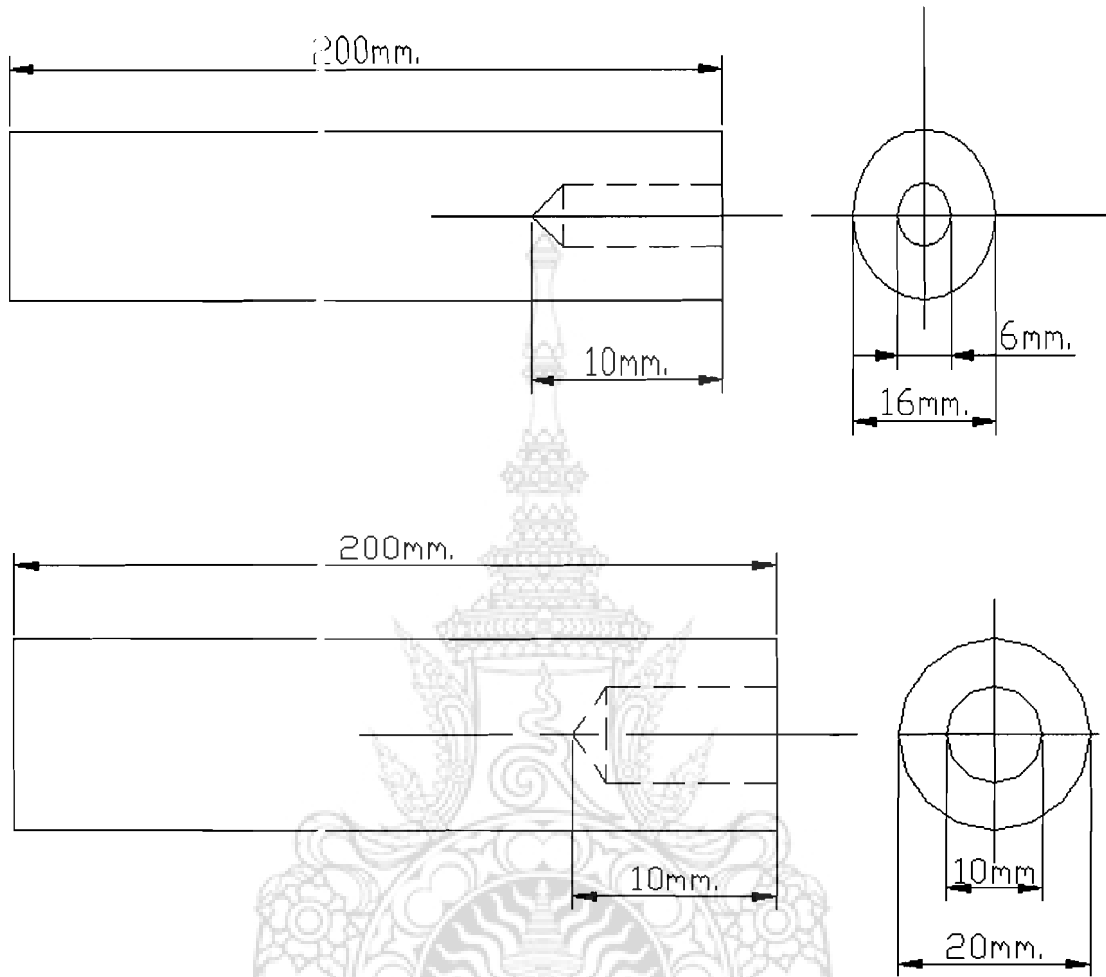


ภาพที่ 3.15 ชั่งน้ำหนักของชิ้นส่วนทั้งสเตนคาร์ไบด์ก่อนทดลอง

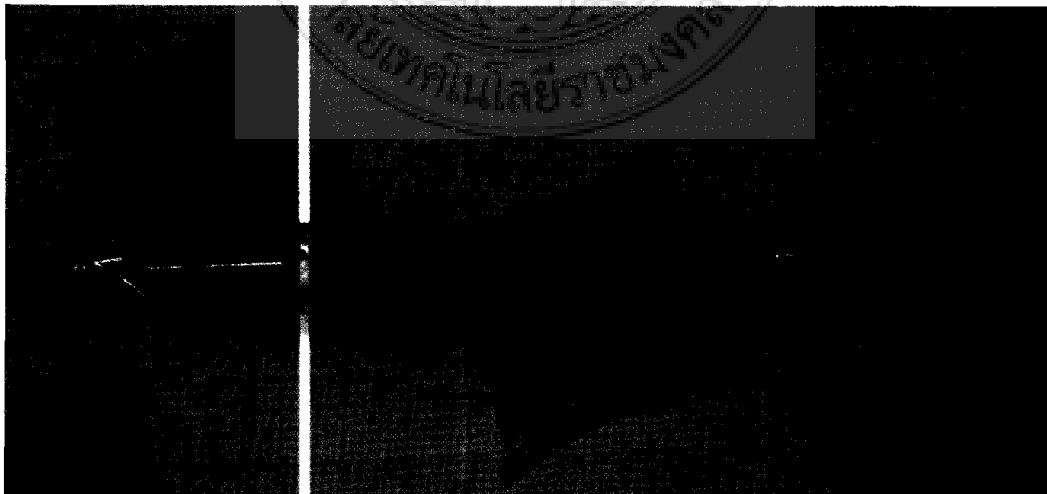


— แท่งทั้งสเตนคาร์ไบด์

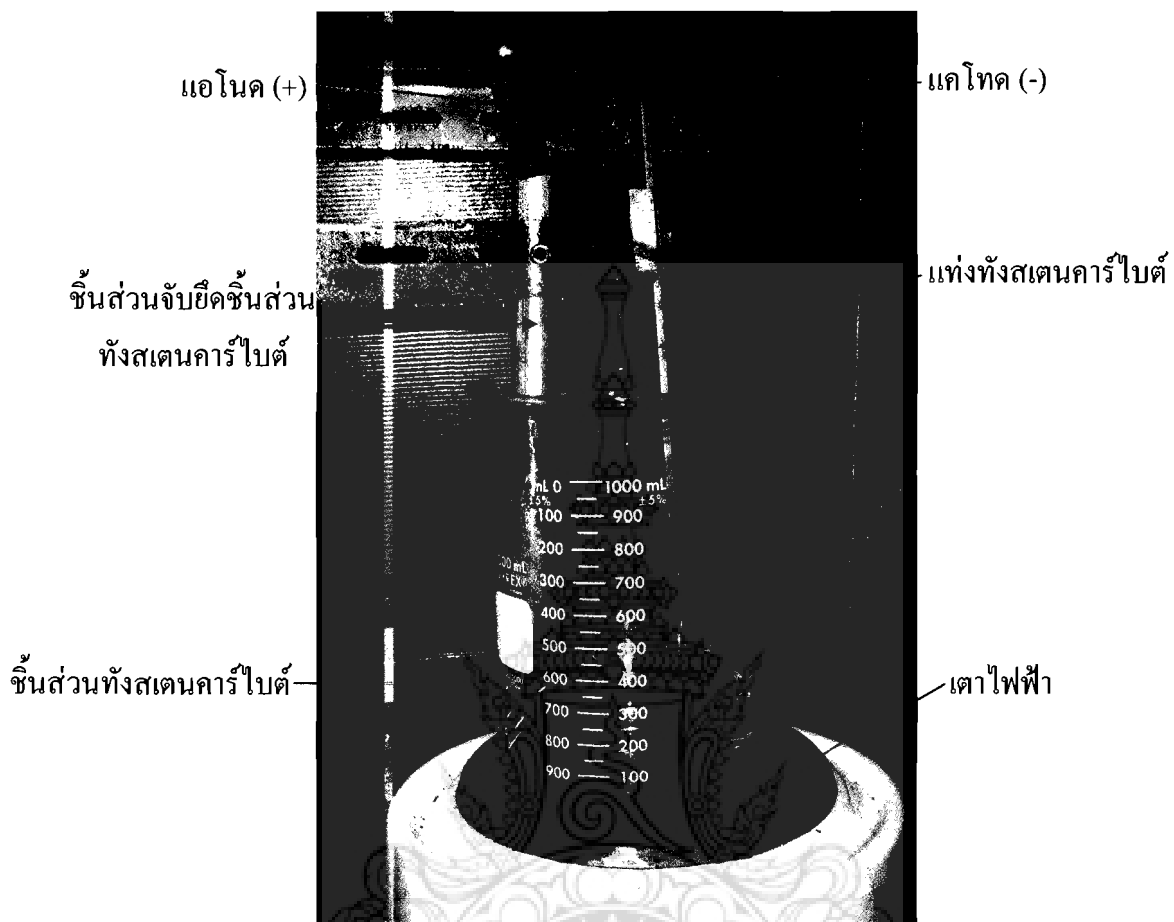
ภาพที่ 3.16 ชั่งน้ำหนักของแท่งทั้งสเตนคาร์ไบด์ก่อนทดลอง



ภาพที่ 3.17 การออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์



ภาพที่ 3.18 การจับยึดชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ก่อนการทดลอง

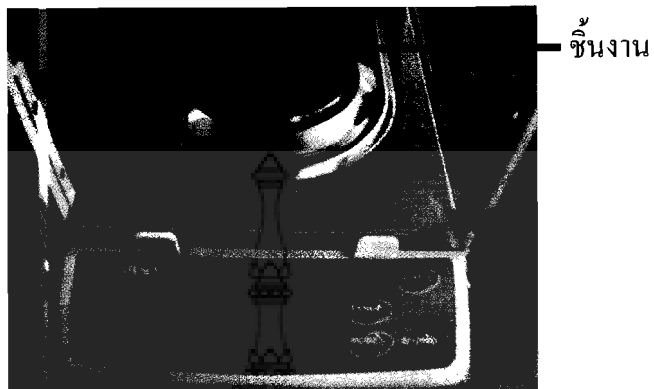


ภาพที่ 3.19 แสดงการจับยึดชิ้นงานในการทดลอง

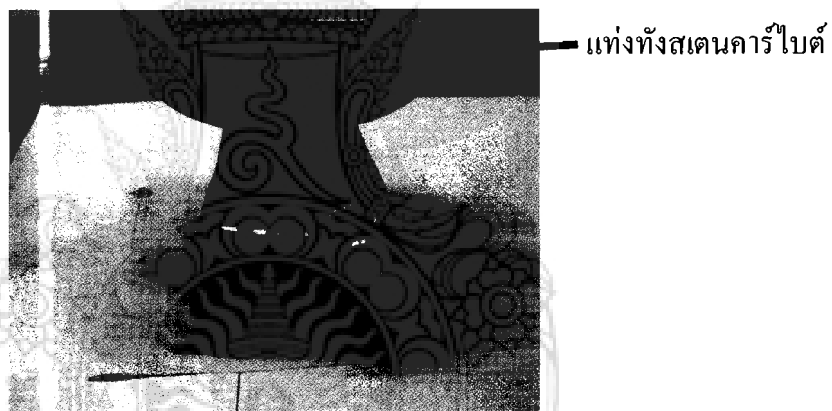


ภาพที่ 3.20 จัดเตรียมพื้นที่ทำการทดลอง

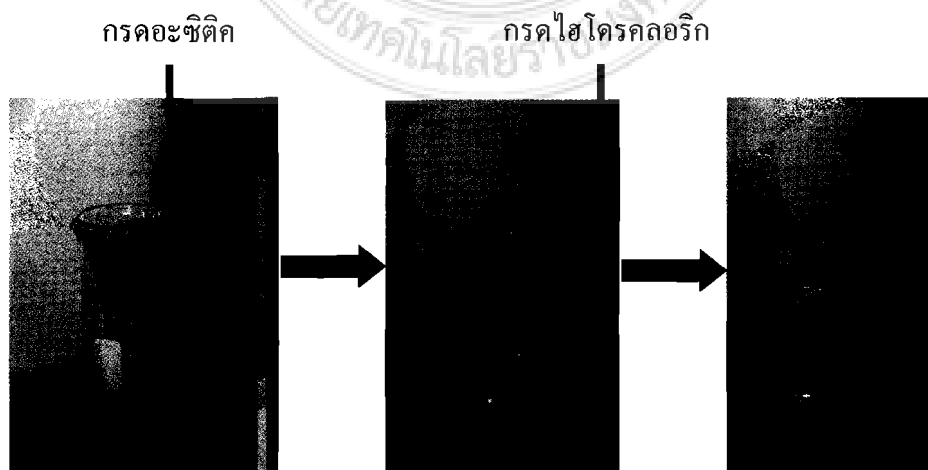
## 3.7.5 ขั้นตอนการทดลอง



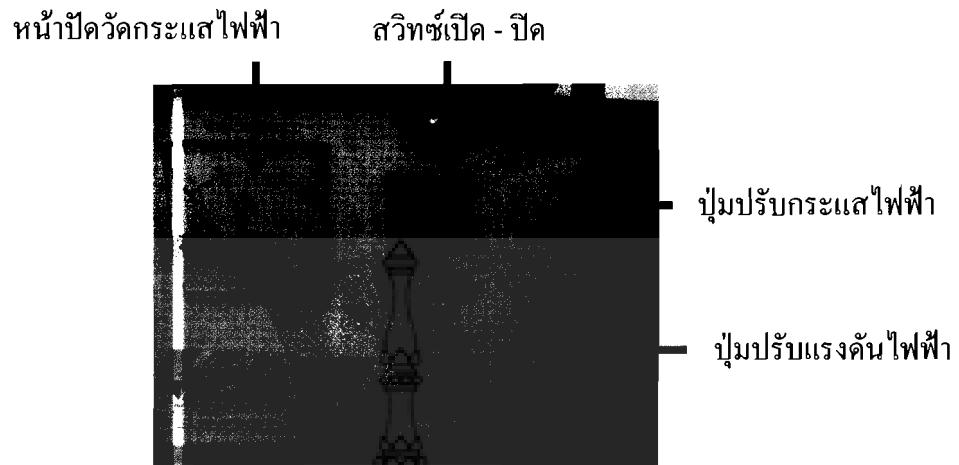
ภาพที่ 3.21 ชั่งน้ำหนักชิ้นงานทั้งสแตนคาร์ไบด์ก่อนทดลอง



ภาพที่ 3.22 ชั่งน้ำหนักแท่งคาร์ไบด์ (ข้าวแคโทด) ก่อนทดลอง



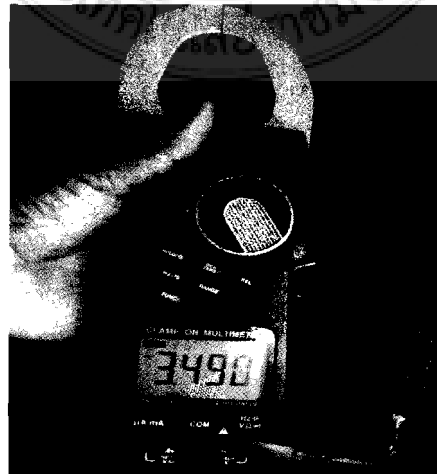
ภาพที่ 3.23 ขั้นตอนผสมสารละลาย



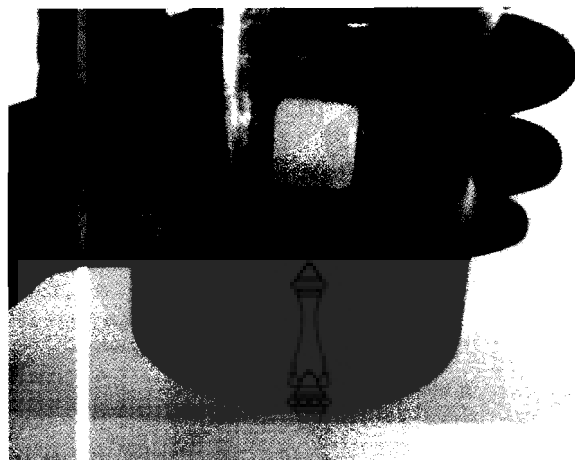
ภาพที่ 3.24 หน้าปิดของเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 3.25 เกิดปฏิกิริยาสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้ม



ภาพที่ 3.26 วัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า

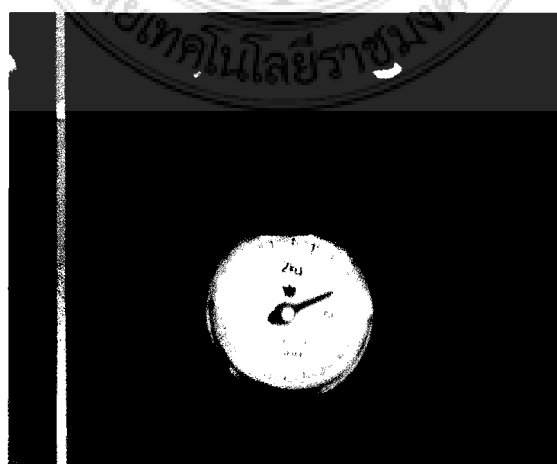


ภาพที่ 3.27 ลักษณะของสารละลายที่ผ่านกระบวนการทดลองครบ 3 ชั่วโมง



ชั้นงาน

ภาพที่ 3.28 ช่างนำหนักชั้นงานทั้งสแตนคาร์ไบต์หลังการทดลอง



แท่งทั้งสแตนคาร์ไบต์

ภาพที่ 3.29 ช่างนำหนักแท่งทั้งสแตนคาร์ไบต์ (ข้าวแคโทค)หลังการทดลอง



### 3.7.6 ขั้นตอนการแยกผงโลหะออกจากสารละลาย



ลักษณะของผงที่ตกตะกอน

ภาพที่ 3.30 แช่วงโลหะในสารละลาย 1-2 วัน ให้ตกตะกอนเพื่อแยกสารละลายออกจากโลหะ



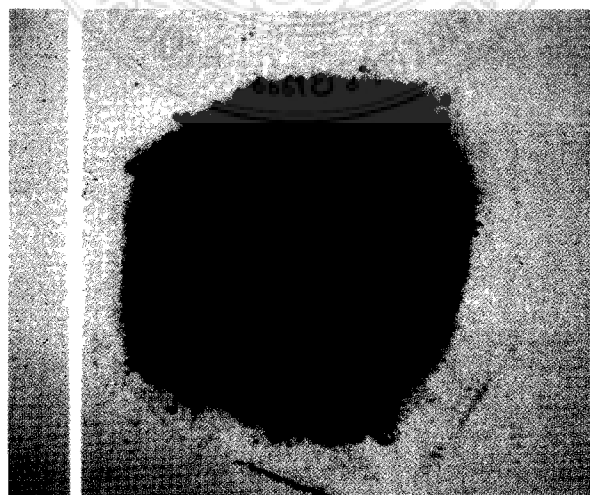
ภาพที่ 3.31 หลังจากการตกตะกอนทำการแยกสารละลายออก



ภาพที่ 3.32 แยกผงโลหะด้วยการละลายในแอลกอฮอล์



ภาพที่ 3.33 การให้ความร้อนเพื่อไล่ความชื้น



ภาพที่ 3.34 ลักษณะของผงที่ได้จากกระบวนการทดลอง



ภาพที่ 3.35 ภาชนะใส่ผงป้องกันความชื้น

### 3.8 การบันทึกและรวบรวมผลการทดลอง

ทำการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลองขั้นต้น โดยละเอียดแล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบโดยใช้เครื่องมือที่ใช้ในการจดบันทึกและเปรียบเทียบประกอบคือ

3.8.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง โดยการทำการบันทึกผลการทดลองเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากทดลอง เพื่อง่ายต่อการนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบเช่น ตารางบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการสลายของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ในการทดลองแต่ละครั้ง ตารางบันทึกผลการชั่งน้ำหนักเปรียบเทียบน้ำหนักก่อน - หลัง การย่อยสลายชิ้นงาน ตารางบันทึกผลการแยกสลายของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์กับสารละลาย

ตารางที่ 3.12 บันทึกผลการทดลองกรดอะซิติก: กรดไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่น

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้า		กระแสไฟฟ้า		อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนัก		
	(V)		(A)			(g)		
	ปรับ ค่า	วัดได้ เฉลี่ย	ปรับ ค่า	วัดได้ เฉลี่ย		ก่อน	หลัง	ผลต่าง
1	24	18.4925	7	13.419	92	46.4280	30.1817	16.2463
2	24	20.300	7	7.795	92.5	30.1817	16.3775	13.8042
3	24	19.1875	7	11.4481	100	40.6941	18.8248	21.8693
4	24	17.738	7	9.7115	94.8	46.0324	24.8460	21.1864
5	24	19.856	7	10.279	102.5	24.8460	8.3375	16.5085

ตารางที่ 3.13 บันทึกผลการทดลอง กรดฟอสฟอริก: กรดไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่น

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้า (V)		กระแสไฟฟ้า (A)		อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนัก (g)		
	ปรับ ค่า	วัดได้ เฉลี่ย	ปรับ ค่า	วัดได้ เฉลี่ย		ก่อน	หลัง	ผลต่าง
2	24	20.4320	7	15.231	105	24.7949	10.6504	14.1445
3	24	16.7354	7	12.648	95	10.6504	1.5199	9.1305
4	24	19.7980	7	13.784	100	21.8122	7.9939	13.8183
5	24	19.6490	7	12.862	96	25.3881	12.5128	12.8753

อัตราส่วนผสม 1:1:1 ปริมาณสารละลาย 300 ml

แรงดันไฟฟ้า 24 V กระแสไฟฟ้าตำแหน่งหมายเลข 7

เวลาในการทดลอง ครั้งละ 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.14 บันทึกผลการทดลอง กรดไฮโดรคลอริก: T1 (60°C)

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้า (V)		กระแสไฟฟ้า (A)		อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนัก (g)		
	ปรับ ค่า	วัดได้ เฉลี่ย	ปรับ ค่า	วัดได้ เฉลี่ย		ก่อน	หลัง	ผลต่าง
2	24	8.41	1	14.09	91.66	77.2310	64.5074	12.7276
3	24	7.62	1	23.40	97.5	103.8559	91.2171	12.6388
4	24	8.76	1	23.22	97.77	67.0587	56.7920	10.2667
5	24	6.72	1	19.1	93.33	112.7651	100.1538	12.6113

ปริมาณสารละลาย 300 ml

แรงดันไฟฟ้า 24 V กระแสไฟฟ้าตำแหน่งหมายเลข 1

เวลาในการทดลอง ครั้งละ 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.15 บันทึกผลการทดลอง กรดไฮโดรคลอริก: T2 (100°C)

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้า(V)		กระแสไฟฟ้า (A)		อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนัก (g)		
	ปรับ ค่า	วัดได้ เฉลี่ย	ปรับ ค่า	วัดได้ เฉลี่ย		ก่อน	หลัง	ผลต่าง
1	24	7.78	1	17.26	108	75.4832	62.7585	12.7247
2	24	8.366	1	19.58	106	43.4254	30.7630	12.6624
3	24	8.41	1	20.4	105	30.7630	19.2746	11.4884
4	24	8.48	1	17.10	106	19.2746	7.8881	11.3865
5	24	8.27	1	19.88	108	37.5842	28.7877	10.7965

ปริมาณสารละลาย 300 ml

แรงดันไฟฟ้า 24 V

กระแสไฟฟ้าตำแหน่งหมายเลข 1

เวลาในการทดลองครั้งละ 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.16 บันทึกผลการทดลอง กรดไฮโดรคลอริก: T3 (120°C)

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้า (V)		กระแสไฟฟ้า (A)		อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนัก (g)		
	ปรับ ค่า	วัดได้ เฉลี่ย	ปรับ ค่า	วัดได้ เฉลี่ย		ก่อน	หลัง	ผลต่าง
1	24	7.95	1	21.48	106	40	28.4813	11.5187
2	24	8.07	1	18.82	103	28.1887	21.6346	6.5541
3	24	8.35	1	19.25	108	21.6346	14.8380	6.7966
4	24	8.391	1	22.93	108	103.6238	90.0325	13.5886
5	24	8.33	1	20.14	108	90.0325	79.5632	10.4693

ปริมาณสารละลาย 300 ml

แรงดันไฟฟ้า 24 V

กระแสไฟฟ้าตำแหน่งหมายเลข 1

เวลาในการทดลองครั้งละ 3 ชั่วโมง

### 3.9 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากข้อมูลที่ทำกรเก็บบันทึก จะดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล และจัดทำแบบฟอร์มรายงานผลการทดลอง เพื่อใช้ในการนำเสนอผลการทดลอง โดยแบ่งเป็น 4 แบบ คือ

3.9.1 รายงานผลการตรวจสอบน้ำหนัก เพื่อเปรียบเทียบชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์แต่ละครั้ง ในรูปแบบของตารางตรวจสอบน้ำหนัก

3.9.2 รายงานผลของกระแสไฟฟ้าในการทดลองว่ามีผลแตกต่างกันเท่าใดและเปรียบเทียบหาผลของกระแสไฟฟ้าต่อขนาดการกัดกร่อน

3.9.3 รายงานผลของเวลาที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง เพื่อเปรียบเทียบเวลาในการทดลองที่ต่างกัน

3.9.4 รายงานผลของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างในการทดลองแต่ละครั้ง เพื่อเปรียบเทียบขนาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในแต่ละเงื่อนไข

3.9.5 รายงานผลปฏิกิริยาและบันทึกภาพที่เกิดขึ้นระหว่างในการทดลองแต่ละครั้ง เพื่อเปรียบเทียบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแต่ละเงื่อนไข

### 3.10 วิธีสรุปผลการทดลอง

การสรุปผลการทดลองโดยเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนของเศษชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ ภายใต้สารละลายชนิดต่างกัน อุณหภูมิที่ต่างกัน และแรงดันไฟฟ้าที่ 24 โวลต์ ให้อัตราการกัดกร่อนเหมือน หรือแตกต่างกัน ผลการกัดกร่อนด้วยเคมีไฟฟ้าเป็นแนวทางขึ้นต้นต่อการพัฒนาหรือไม่ นอกจากนั้น ทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่ลดลงมีผลจากกระแสไฟฟ้า หรือแรงดันไฟฟ้าหรือไม่อย่างไรซึ่งผลที่ได้แต่ละเงื่อนไขจะนำมาเปรียบเทียบเป็นแผนภูมิเพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบ

## บทที่ 4

### ศึกษาอิทธิพลของการอบและแยกสลายเศษโลหะด้วยเคมีไฟฟ้า

#### 4.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการแสดงผลการดำเนินการที่กระทำตามขั้นตอนดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 โดยแบ่งผลการดำเนินการออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ผลการปฏิบัติงาน และขั้นตอนต่าง โดยจะอธิบายด้วยภาพ มี 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนเตรียมแผ่นมีดตัด ขั้นตอนเตรียมอุปกรณ์ ขั้นตอนการทดลอง และขั้นตอนการแยกผงโลหะจากสารละลาย ผลของการแยกสลายในการทดลองในแต่ละครั้ง สรุปผลการทดลองของแรงดันไฟฟ้าแต่ละระดับ สรุปผลของน้ำหนักที่ได้จากการทดลอง ผลจากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนมาเป็นเครื่องมือในการเปรียบเทียบ ผลการเปรียบเทียบของการทดลองในแต่ละครั้ง การวิเคราะห์หาผลการทดลองที่ดีที่สุด และผลการตรวจสอบคุณสมบัติของผงโลหะที่ได้จากการทดลอง

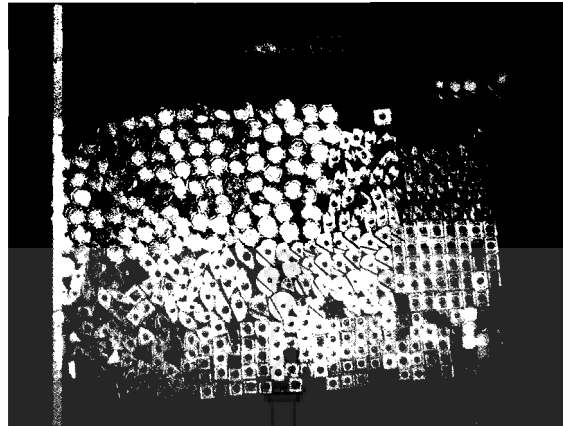
#### 4.2 ผลการปฏิบัติงานและขั้นตอนต่างๆ

ในแต่ละขั้นตอนการปฏิบัติงานนั้น ได้มีการเก็บภาพต่างๆ ตั้งแต่เริ่มต้นการเตรียมอุปกรณ์ในการทดลองการแยกสลาย จนจบกระบวนการทดลองได้ผงโลหะมาบรรยายเป็นรูป ดังนี้

##### 4.2.1 ขั้นตอนเตรียมแผ่นมีดตัด



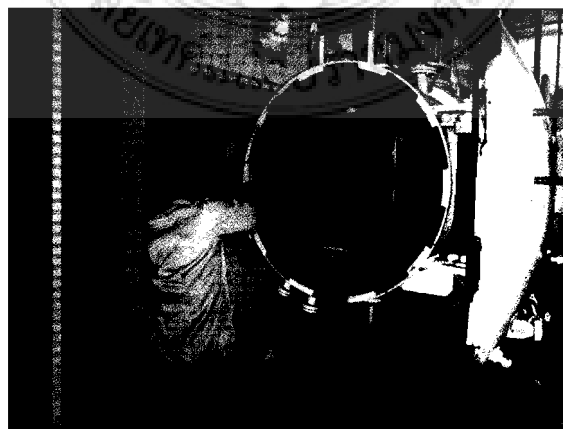
ภาพที่ 4.1 แผ่นมีดตัดก่อนทำการอบในเตาสู่ญญากาศ



ภาพที่ 4.2 การจัดเรียงแผ่นมีดตัดก่อนนำเข้าเตาอบสุญญากาศ

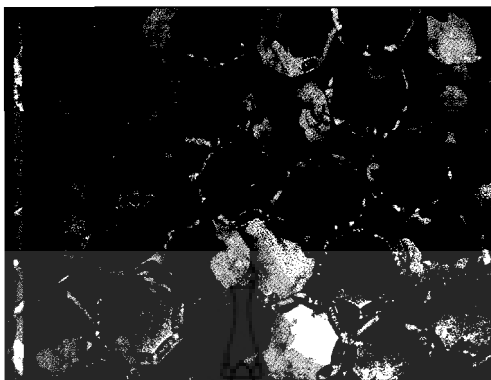


ภาพที่ 4.3 การนำชิ้นงานเข้าในเตาอบสุญญากาศ

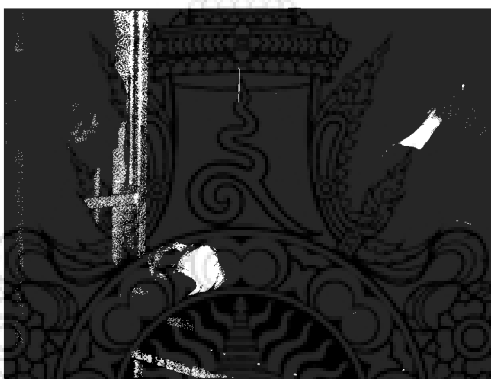


ภาพที่ 4.4 การนำชิ้นงานออกจากเตาอบสุญญากาศ





ภาพที่ 4.5 แผ่นมีดตัดหลังจากผ่านการอบในเตาสู่ญญากาศด้วยอุณหภูมิ 1100°C คงอุณหภูมิ 4 ชม.  
และเย็นตัวในเตา



ภาพที่ 4.6 การจัดเก็บแผ่นมีดตัดหลังจากอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว

#### 4.2.2 ขั้นตอนเตรียมอุปกรณ์



ภาพที่ 4.7 การจัดเตรียมอุปกรณ์ก่อนการทดลอง

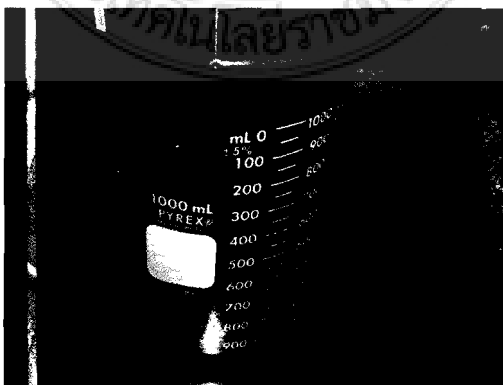


ภาพที่ 4.8 การเตรียมสารละลายสำหรับการทดลอง

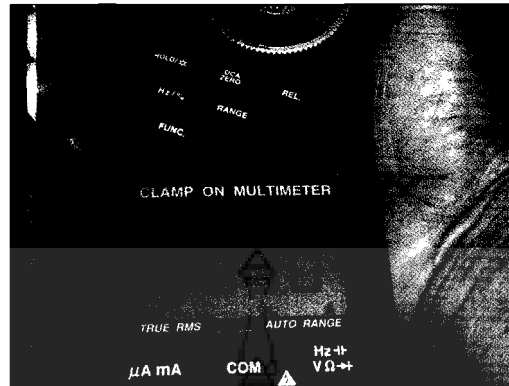


ภาพที่ 4.9 การเตรียมเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าก่อนการทดลอง

#### 4.2.3 ขั้นตอนการทดลอง



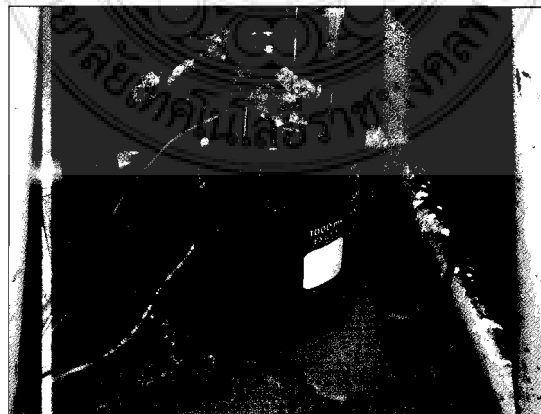
ภาพที่ 4.10 การทดลองการแยกสลายแผ่นมิดิตัด



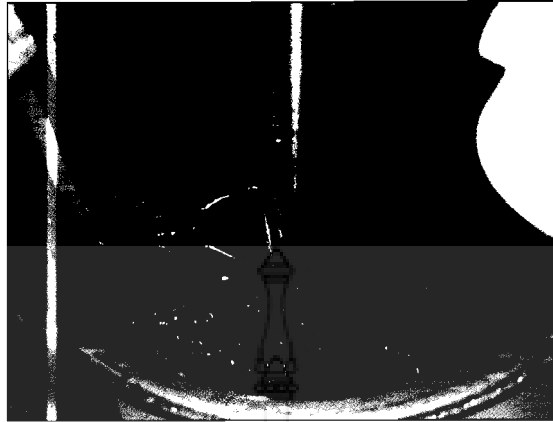
ภาพที่ 4.11 การตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าในขณะที่ทำการทดลอง



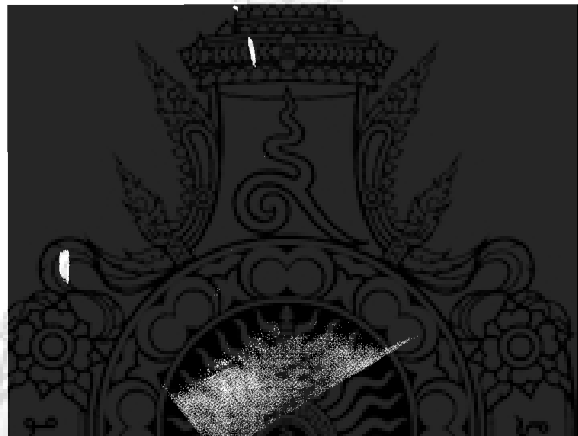
ภาพที่ 4.12 การตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทำการทดลอง



ภาพที่ 4.13 ปฏิกริยาระหว่างการทดลอง



ภาพที่ 4.14 แผ่นมิดตัดก่อนนำออกมาทำความสะอาด

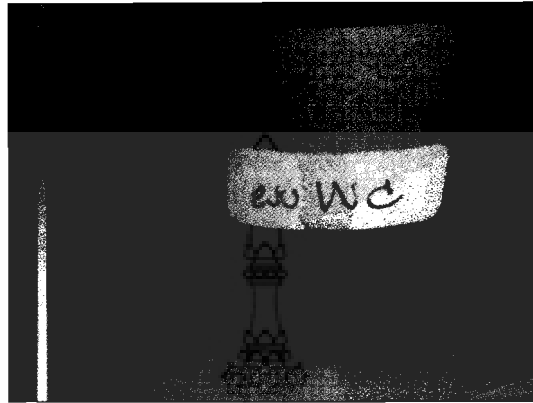


ภาพที่ 4.15 การเป่าแผ่นมิดตัดให้แห้งก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก

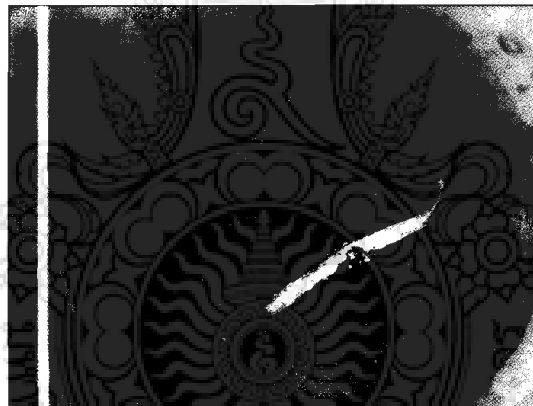


ภาพที่ 4.16 แผ่นมิดตัดก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก

#### 4.2.4 ขั้นตอนการแยกผงโลหะจากสารละลาย



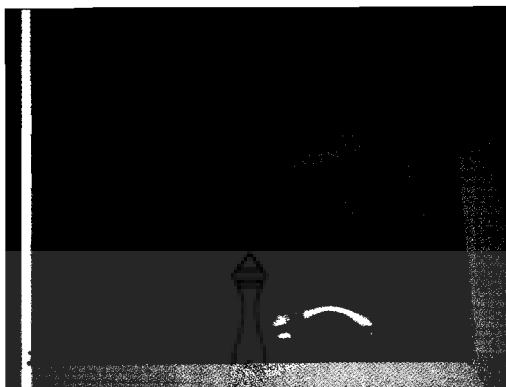
ภาพที่ 4.17 ผงโลหะที่ยังผสมอยู่กับสารละลาย



ภาพที่ 4.18 ผงโลหะก่อนนำไปทำให้แห้งโดยการต้มไล่ความชื้น



ภาพที่ 4.19 ผงโลหะหลังจากจบกระบวนการต่างๆ เรียบร้อยแล้ว



ภาพที่ 4.20 ผงโลหะบรรจุถุงเตรียมส่งไปวิเคราะห์ผล

### 4.3 ผลของการแยกสลายในการทดลองในแต่ละครั้ง

ตารางที่ 4.1 บันทึกผลการทดลอง 6V. ครั้งที่ 1

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
4	6	0.0378	32.875	0.1832
8	6	0.0223	36.50	0.1910
12	6	0.0460	36.50	0.1772
16	6	0.0393	32.375	0.2167
20	6	0.0609	37.25	0.1138
24	6	0.0447	32.625	0.1073
	ค่าเฉลี่ย	0.0418	34.68	(รวม) 0.9849

ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลอง 6V. ครั้งที่ 2

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
4	6	0.2734	38	0.3614
8	6	0.5339	38.25	0.1444
12	6	0.4613	37.75	0.3313
16	6	0.0268	33.125	0.1811
20	6	0.2642	38	0.1344
24	6	0.2371	38	0.1227
	ค่าเฉลี่ย	0.29945	37.19	(รวม) 1.2753

ตารางที่ 4.3 บันทึกผลการทดลอง 6V. ครั้งที่ 3

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
4	6	0.0354	36.66	0.1318
8	6	0.0329	36.22	0.0817
12	6	0.0395	36	0.0954
16	6	0.0349	36.22	0.1272
20	6	0.0210	36	0.2318
24	6	0.0358	36	0.1425
	ค่าเฉลี่ย	0.03325	36.183	(รวม) 0.8167

ตารางที่ 4.4 บันทึกผลการทดลอง 6V. ครั้งที่ 4

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
4	6	0.0790	38.00	0.1331
8	6	0.1009	38.16	0.1636
12	6	0.1068	38.08	0.1356
16	6	0.1500	38.00	0.2631
20	6	0.1125	38.00	0.2351
24	6	0.1144	38.00	0.2656
	ค่าเฉลี่ย	0.1106	38.04	(รวม)1.196

ตารางที่ 4.5 บันทึกผลการทดลอง 6V. ครั้งที่ 5

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
4	6	0.0901	37.65	0.1321
8	6	0.1018	37.35	0.1961
12	6	0.1047	38.00	0.1923
16	6	0.1030	37.00	0.1363
20	6	0.1095	38.00	0.1321
24	6	0.1335	40.00	0.1963
	ค่าเฉลี่ย	0.1071	38.00	(รวม) 0.9848

ตารางที่ 4.6 บันทึกผลการทดลอง 12V. ครั้งที่ 1

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
4	12	0.7709	38.75	0.3022
8	12	0.9534	34.625	0.1492
12	12	0.4898	38.25	0.1317
16	12	0.6886	38.50	0.1131
20	12	0.7101	39.50	0.2725
24	12	0.8397	39.25	0.4131
	ค่าเฉลี่ย	0.7421	38.15	(รวม) 1.3818

ตารางที่ 4.7 บันทึกผลการทดลอง 12V. ครั้งที่ 2

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
4	12	0.8041	38.50	0.1811
8	12	0.5065	38.00	0.0990
12	12	0.6865	38.75	0.1639
16	12	0.7096	39.00	0.2829
20	12	0.9218	40.25	0.3004
24	12	0.6931	38.25	0.2134
	ค่าเฉลี่ย	0.7203	38.79	(รวม) 1.2407

ตารางที่ 4.8 บันทึกผลการทดลอง 12V. ครั้งที่ 3

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
4	12	0.3908	37.33	0.3223
8	12	0.3119	37.55	0.1527
12	12	0.3875	37.11	0.1226
16	12	0.3728	38.00	0.1685
20	12	0.4758	38.00	0.2860
24	12	0.4544	38.22	0.0966
	ค่าเฉลี่ย	0.3988	37.70	(รวม) 1.0487



ตารางที่ 4.9 บันทึกผลการทดลอง 12V. ครั้งที่ 4

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
4	12	1.7964	40.00	0.8400
8	12	1.5948	45.50	0.8402
12	12	2.6083	47.16	0.8446
16	12	2.6692	48.55	0.8422
20	12	2.1313	52.97	0.5700
24	12	1.4874	48.24	0.5748
	ค่าเฉลี่ย	2.0479	47.70	(รวม) 4.5136

ตารางที่ 4.10 บันทึกผลการทดลอง 12V. ครั้งที่ 5

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
4	12	1.3364	44.25	0.6870
8	12	1.6957	49.76	0.4308
12	12	2.9983	55.62	0.6812
16	12	2.6348	50.03	0.4300
20	12	0.5819	46.45	0.6884
24	12	0.1261	39.76	0.4375
	ค่าเฉลี่ย	1.5622	47.69	(รวม) 3.3547

ตารางที่ 4.11 บันทึกผลการทดลอง 24V. ครั้งที่ 1

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
4	24	0.9641	35	0.6209
8	24	1.1384	40	0.6655
12	24	0.6940	40	0.4002
16	24	0.5918	40.75	0.6167
20	24	0.9139	40	0.7171
24	24	1.1646	40	0.7502
	ค่าเฉลี่ย	0.9111	39.2916	(รวม) 3.7705

ตารางที่ 4.12 บันทึกผลการทดลอง 24V. ครั้งที่ 2

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
4	24	1.1898	39.5	2.1910
8	24	0.9281	39	1.4974
12	24	0.8077	38.25	1.0060
16	24	0.6997	38.75	1.2485
20	24	0.9332	39.75	0.5179
24	24	3.5840	54.875	1.4190
	ค่าเฉลี่ย	1.3571	41.6875	(รวม) 7.8798

ตารางที่ 4.13 บันทึกผลการทดลอง 24V. ครั้งที่ 3

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
4	24	16.5560	100	2.2230
8	24	13.6670	91.25	3.0550
12	24	3.9693	68.75	3.9731
16	24	6.5779	72.25	3.6628
20	24	9.8667	106.25	8.0872
24	24	5.2916	82.50	2.9641
	ค่าเฉลี่ย	9.3214	86.83	(รวม) 23.9652

ตารางที่ 4.14 บันทึกผลการทดลอง 24V. ครั้งที่ 4

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
4	24	8.4508	96.08	2.3502
8	24	6.7720	120	2.3453
12	24	8.5308	82.69	2.4222
16	24	7.7506	110.8	9.9600
20	24	9.2510	116.53	10.9090
24	24	10.2502	115	12.0304
	ค่าเฉลี่ย	8.5009	106.85	(รวม) 37.9206

ตารางที่ 4.15 บันทึกผลการทดลอง 24V. ครั้งที่ 5

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
4	24	7.0025	118.665	10.7370
8	24	8.5596	125.370	11.7072
12	24	9.8258	129.290	12.7954
16	24	10.5200	125.390	11.1405
20	24	11.0063	120.720	12.1305
24	24	8.7184	130.640	13.1375
	ค่าเฉลี่ย	9.2721	125.01	(รวม) 71.6481

ตารางที่ 4.16 ผลการทดลอง 6V.

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
24	6	0.0418	34.68	0.9849
24	6	0.29945	37.19	1.2753
24	6	0.03325	36.183	0.8167
24	6	0.1106	38.04	1.1960
24	6	0.1071	38.00	0.9848
	ค่าเฉลี่ย	0.11844	36.8186	(รวม) 5.2577

ตารางที่ 4.17 ผลการทดลอง 12V.

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
24	12	0.7421	38.15	1.3818
24	12	0.7203	38.79	1.2407
24	12	0.3988	37.70	1.0487
24	12	2.0479	47.70	4.5136
24	12	1.5622	47.69	3.3547
	ค่าเฉลี่ย	1.0943	42.01	(รวม) 11.5395

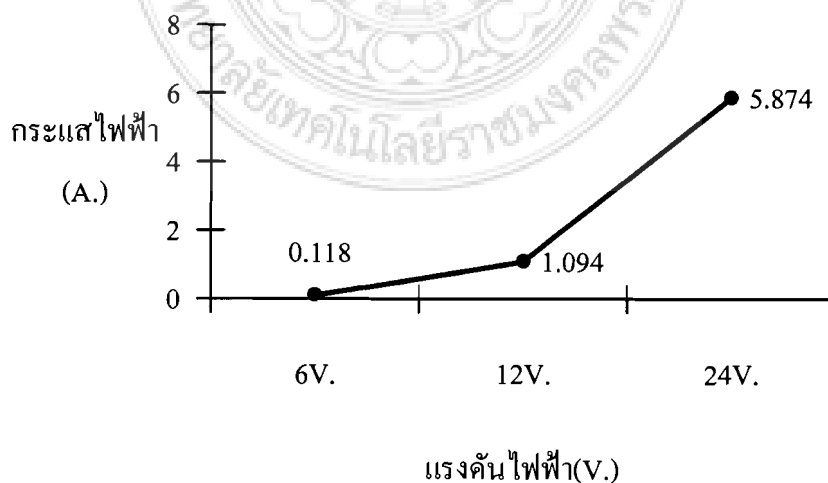
ตารางที่ 4.18 ผลการทดลอง 24V.

เวลา(ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
24	12	0.9111	39.29	3.7705
24	12	1.3571	41.69	7.8798
24	12	9.3214	86.83	23.9652
24	12	8.5009	106.85	37.9206
24	12	9.2721	125.01	71.6481
	ค่าเฉลี่ย	5.8738	79.93	(รวม) 114.8706

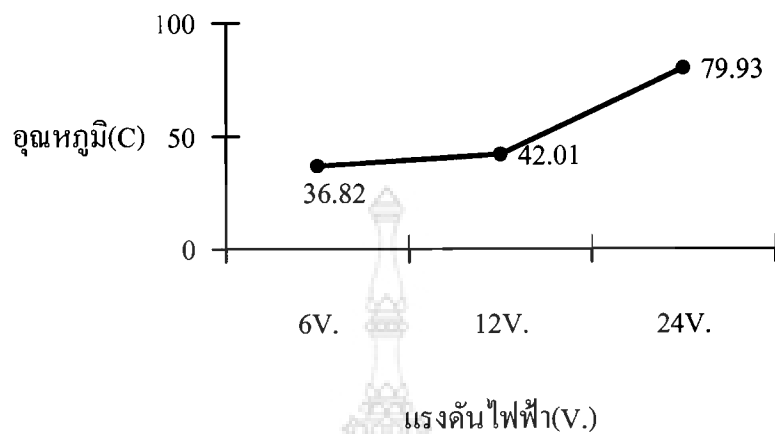
#### 4.4 ผลการเปรียบเทียบของการทดลองในแต่ละครั้งของการทดลอง

ตารางที่ 4.19 สรุปผลการทดลอง

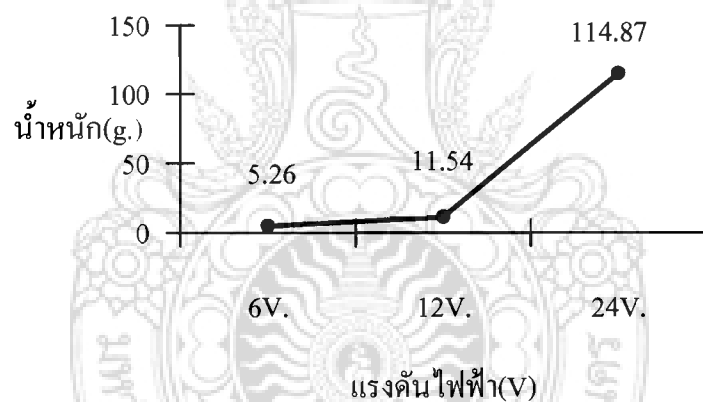
แรงดันไฟฟ้า(V.)	กระแสไฟฟ้า(A.)	อุณหภูมิ(°C)	น้ำหนักที่ลดลง(g.)
6	0.11844	36.8186	5.2577
12	1.0943	42.01	11.5395
24	5.8738	79.93	114.8706
	รวม		131.6678



ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงสรุปผลกระแสไฟฟ้าในการทดลอง



ภาพที่ 4.22 กราฟแสดงสรุปผลอุณหภูมิจึงในการทดลอง



ภาพที่ 4.23 กราฟแสดงสรุปผลน้ำหนักรในการทดลอง

#### 4.5 การวิเคราะห์หาผลการทดลอง

จากการทดลองการแยกสลายแผ่นมีดตัด (Insert tools) ด้วยวิธีการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยใช้กรดฟอสฟอริก ผสมกับน้ำอัตราส่วน 5:1 (500 ml. + 100ml.) ใช้ใบกวนความเร็ว 120 รอบ/นาที เวลา 24 ชั่วโมง ด้วยแรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์ 12 โวลต์ และ 24 โวลต์

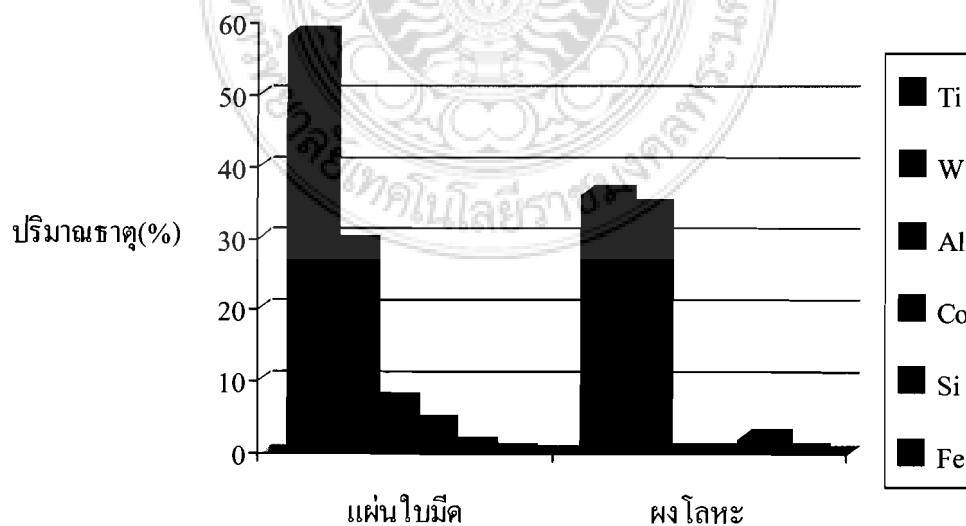
พอจะสรุปได้ว่าการเปรียบเทียบผลทดลองในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.1 โดยการใช้อยู่แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ จะมีอุณหภูมิ และกระแสไฟฟ้า ที่สูงกว่า 6 โวลต์ 12 โวลต์ จึงทำให้ผลของการแยกสลายของแผ่นมีดตัด (Insert tools)

ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบ นำหนักกับแรงดันไฟฟ้า ได้ค่าเนื่องจากเนื่องจากค่า  $F_0$  จากการคำนวณ 1.9798 มีค่าน้อยกว่า  $F_{0.05(2,12)} = 3.48$  ดังนั้นจึงยอมรับ  $H_0$  และสรุปว่าน้ำหนักในการทดลองการย่อยสลายแผ่นมิดคัตไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ภาคผนวกที่ ง)

#### 4.6 เปรียบเทียบผลการตรวจสอบวิเคราะห์องค์ประกอบของผงทั้งสเดนที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 4.20 แสดงผลการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของแผ่นมิดคัตกับผงโลหะที่ได้จากการทดลอง

แผ่นไบมิด		ผงโลหะที่ได้จากการทดลอง	
องค์ประกอบ	ร้อยละ	องค์ประกอบ	ร้อยละ
ไทเทเนียม (Ti)	58	ไทเทเนียม (Ti)	36
ทังสเดน (W)	29	ทังสเดน (W)	34
อลูมิเนียม (Al)	7	ซิลิคอน (Si)	2
โคบอลต์ (Co)	4	โคบอลต์ (Co)	0.2
ซิลิคอน (Si)	1	เหล็ก (Fe)	0.2
เหล็ก (Fe)	-	อลูมิเนียม (Al)	-



ภาพที่ 4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของแผ่นมิดคัตกับผงโลหะที่ได้จากการทดลอง

## 4.7 สรุป

ดังที่กล่าวมาข้างต้น เป็นการสรุปผล การทดลองโดย มี ผลของการทดลองทั้งหมด 9 ชุด แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 6 โวลต์ 12 โวลต์ และ 24 โวลต์ อย่างละ 5 ชุด เพื่อนำผลเปรียบเทียบการทดลอง ในแต่ละครั้งของการทดลอง หรือวิเคราะห์ผลการทดลอง และนอกจากนั้นยังมีการเปรียบเทียบผลขององค์ประกอบของธาตุต่างๆ ระหว่างแผ่นมีดตัด (Insert tools) กับ ผงโลหะที่ได้จากการทดลอง จะเห็นว่าปริมาณของ ทั้งสเดนที่เราต้องการมีปริมาณร้อยละ 34



## บทที่ 5

### ศึกษาอิทธิพลของวัสดุขั้วไฟฟ้าต่อการแยกสลายเศษโลหะทางเคมีไฟฟ้า

สำหรับการทดลองกระบวนการย่อยทั้งสแตนคาร์ไบด์ ได้ผลการดำเนินงานที่ประกอบด้วย

- 5.1 การบันทึกและรวบรวมผล
- 5.2 กราฟแสดงผลการทดลอง
- 5.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางเคมี
- 5.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 5.1 การบันทึกและรวบรวมผล

ตารางที่ 5-1 บันทึกผลการทดสอบอุณหภูมิ ณ จุดเดือดของสารละลายกรด

สารละลายกรด	ปริมาณความเข้มข้น	อุณหภูมิ ณ จุดเดือด (bp)
HCl	12 M	50 °C
HNO <sub>3</sub>	15 M	120 °C
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	85 %	158 °C

ตารางที่ 5-2 บันทึกผลการวัดขนาดและพื้นที่ผิวสัมผัสสารละลายของวัสดุ

ชนิดวัสดุ	Diameter	Length (จุ่มสารละลาย)	-	Area
WC rod	1.5 cm	10.0 (4.0 cm)	-	23.504 cm <sup>2</sup>
Co rod	0.5 cm	15.0 cm (4.5 cm)	-	
ชนิดวัสดุ	width	Length (จุ่มสารละลาย)	Thickness	
WC plate	2.53 cm	31.0 cm (4.0 cm)	0.31 cm	
304 stainless sheet	6.51 cm	33.0 cm (3.4 cm)	0.14 cm	



ตารางที่ 5-3 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 1 (Electrolysis in 12 M HCl (300 ml): Anode; WC rod = 245.244 g and Cathode; WC plate)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด (g)		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะการ เปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
1	11.30 น	243.054	2.190	6	0.86	3	4.76	55	จุ่ม WC plate ลงในสารละลายที่ 4 cm สารละลายเริ่มเป็นสีฟ้าเข้ม, เป็นสีฟ้าอมเขียว, มีสีเข้มขึ้น เกือบดำ, จนมีสีฟ้าเข้มอมดำ และ ต้องคอยเติมสารละลายทุกๆ 10 นาที	
	11.40 น			6	0.81	3	4.98	95		
	11.50 น			6	0.86	3	4.70	96		
	12.00 น			6	0.92	3	4.68	94		
	12.10 น			6	0.94	3	4.65	99		
	12.20 น			6	0.96	3	4.69	99		
2	12.50 น	239.965	3.089	6	1.08	3	4.79	95	สารละลายเป็นสีฟ้าเข้มอมดำ และต้องคอยเติมสารละลายทุกๆ 10 นาที อุณหภูมิและแรงดันเริ่ม สูงขึ้น แต่กระแสน้ำยังคงที่	
	13.00 น			6	1.05	3	4.82	100		
	13.10 น			6	1.12	3	4.67	101		
	13.20 น			6	1.15	3	4.67	100		
	13.30 น			6	1.22	3	4.69	100		
	13.40 น			6	1.13	3	4.70	98		

ตารางที่ 5-3 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 1 (Electrolysis in 12 M HCl (300 ml): Anode; WC rod = 245.244 g and Cathode; WC plate) (ต่อ)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
3	14.00 น	237.119	2.846	6	0.95	3	4.99	95	สารละลายเป็นสีฟ้าเข้มอมดำ และต้องคอยเติมสารละลายทุกๆ 10 นาที เมื่อเวลาผ่านไป พ.ท. ของ WC rod ที่สัมผัสสารละลาย น้อยลงจึงต้องเพิ่มปริมาตรของ สารละลายเป็น 325 ml	
	14.10 น			6	1.22	3	4.29	99		
	14.20 น			6	1.20	3	4.50	100		
	14.30 น			6	1.24	2	4.35	98		
	14.40 น			6	0.92	2	5.09	100		
	14.50 น			6	0.75	2	3.98	99		
4	15.10 น	233.952	3.167	6	0.76	2	4.85	95	สารละลายเป็นสีฟ้าเข้มอมดำ เมื่อความร้อนเพิ่มขึ้น กระแส เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชม. กระแสจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ แรงดันลดลง จึงต้องคอยปรับปุ่ม ค่าที่ตัวชาร์จแบตเตอรี่เสมอ	
	15.20 น			6	0.96	3	5.03	99		
	15.30 น			6	0.99	3	5.05	99		
	15.40 น			6	0.94	3	5.03	100		
	15.50 น			6	0.95	3	5.06	101		
	16.00 น			6	0.98	3	5.33	100		

ตารางที่ 5-3 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 1 (Electrolysis in 12 M HCl (300 ml): Anode; WC rod = 245.244 g and Cathode; WC plate) (ต่อ)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
5	16.20 น	230.794	3.158	6	0.84	2	4.95	96	สารละลายเป็นสีฟ้าเข้มอมดำ และต้องคอยเติมสารละลายทุกๆ 10 นาที	
	16.30 น			6	0.98	3	5.02	98		
	16.40 น			6	0.92	3	5.04	99		
	16.50 น			6	0.94	3	5.02	101		
	17.00 น			6	0.97	3	5.05	100		
	17.10 น			6	0.94	3	5.12	100		

ตารางที่ 5-4 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 2 (Electrolysis in 15 M HNO<sub>3</sub> (500 ml): Anode; WC rod = 221.983 g and Cathode; WC plate)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด (g)		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
1	10.40 น	220.583	1.400	12	2.93	5	4.16	77	จุ่ม WC plate ลงในสารละลายที่ 4 cm สารละลายเริ่มเป็นสีส้มๆ, เป็นสีส้มแก่, จนมีสีแดงเข้ม	
	10.50 น			12	3.81	5	4.41	95		
	11.00 น			12	3.95	5	4.35	97		
	11.10 น			12	3.96	5	4.38	98		
	11.20 น			18	4.61	6	4.24	97		
	11.30 น			18	4.61	6	4.21	110		
2	11.50 น	218.049	2.534	18	4.59	7	4.40	84	สารละลายเป็นสีแดงเข้ม	
	12.00 น			12	4.42	7	4.90	110		
	12.10 น			6	4.66	8	4.66	115		
	12.20 น			6	4.67	8	4.67	116		
	12.30 น			12	4.49	7	4.49	115		
	12.40 น			12	4.40	7	4.40	116		

ตารางที่ 5-4 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 2 (Electrolysis in 15 M HNO<sub>3</sub> (500 ml): Anode; WC rod = 221.983 g and Cathode; WC plate) (ต่อ)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
3	13.05 น	215.711	2.338	12	4.81	7	4.92	85	สารละลายเป็นสีแดงเข้ม และ สารละลายระเหยออกไปเร็วมาก ผงที่ได้คล้ายกับผงปูนคือมีสีขาว ขุ่น	
	13.15 น			6	4.15	8	4.99	112		
	13.25 น			12	4.40	6	4.63	117		
	13.35 น			12	4.79	7	4.69	116		
	13.45 น			12	5.39	8	5.00	116		
	13.55 น			12	5.31	8	4.87	117		
4	14.25 น	213.498	2.213	12	3.66	5	4.68	100	สารละลายเป็นสีแดงเข้มอมดำ และต้องคอยเติมสารละลายทุกๆ 5 ถึง 10 นาที เมื่อเวลาผ่านไป พ.ท. ของ WC rod ที่สัมผัส สารละลายน้อยลงจึงต้องเพิ่ม ปริมาตรสารละลายเป็น 525 ml	
	14.35 น			12	3.72	5	4.88	118		
	14.45 น			12	4.40	6	4.69	115		
	14.55 น			12	4.30	6	4.46	116		
	15.05 น			12	4.24	6	4.52	116		
	15.15 น			12	5.16	7	4.72	116		

ตารางที่ 5-4 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 2 (Electrolysis in 15 M HNO<sub>3</sub> (500 ml): Anode; WC rod = 221.983 g and Cathode; WC plate) (ต่อ)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
5	15.45 น	211.147	2.351	6	4.55	9	4.60	73	สารละลายเป็นสีแดงเข้มอมดำ	
	15.55 น			6	3.56	7	4.54	117		
	16.05 น			6	4.36	7	4.42	114		
	16.15 น			6	4.60	8	4.44	117		
	16.25 น			6	5.32	8	4.61	114		
	16.35 น			6	6.18	9	4.61	116		

ตารางที่ 5-5 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 3 (Electrolysis in 85 %  $H_3PO_4$  (350 ml): Anode; WC rod = 233.952 g and Cathode; WC plate)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
1	16.40 น	230.237	3.715	6	1.30	3	4.10	99	จุ่ม WC plate ลงในสารละลายที่ 4 cm สารละลายเริ่มเป็นสีม่วง, เป็นสีม่วงแก่, จนมีสีม่วงอมดำ เมื่ออุณหภูมิเพิ่ม และสารละลาย มีลักษณะเหนียวหนืด	
	16.50 น			6	1.24	3	4.90	145		
	17.00 น			6	1.61	4	5.03	159		
	17.10 น			6	1.57	4	4.93	175		
	17.20 น			6	1.59	4	5.02	167		
	17.30 น			6	1.57	4	4.96	173		
2	17.50 น	227.537	2.700	6	1.64	4	4.49	157	สารละลายเป็นสีม่วงอมดำและ ผงที่ได้มีเนื้อที่ละเอียด	
	18.00 น			6	1.80	5	4.66	144		
	18.10 น			6	1.74	5	4.65	151		
	18.20 น			6	1.57	4	4.75	163		
	18.30 น			6	1.74	5	4.89	153		
	18.40 น			6	1.79	5	4.76	158		

ตารางที่ 5-5 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 3 (Electrolysis in 85 %  $H_3PO_4$  (350 ml): Anode; WC rod = 233.952 g and Cathode; WC plate) (ต่อ)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
3	19.00 น	225.093	2.444	6	1.84	5	4.71	156	สารละลายเป็นสีม่วงอมดำและ ผงที่ได้มีเนื้อที่ละเอียด	
	19.10 น			6	1.72	5	5.06	154		
	19.20 น			6	1.23	4	4.71	174		
	19.30 น			6	1.29	4	4.27	159		
	19.40 น			6	1.82	5	4.81	154		
	19.50 น			6	1.36	4	4.95	166		
4	20.10 น	222.282	2.811	6	1.36	4	4.62	163	สารละลายเป็นสีม่วงอมดำและ ต้องคอยเติมสารละลายทุกๆ 15 – 20 นาที เมื่อเวลาผ่านไป พ.ท. ของ WC rod ที่สัมผัสสารละลาย น้อยลงจึงต้องเพิ่มปริมาตร สารละลายเป็น 400 ml	
	20.20 น			6	1.35	4	4.50	164		
	20.30 น			6	1.26	3	4.45	172		
	20.40 น			6	1.24	3	4.50	174		
	20.50 น			6	1.85	4	5.03	165		
	21.00 น			6	1.70	5	5.03	167		



ตารางที่ 5-5 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 3 (Electrolysis in 85 %  $H_3PO_4$  (350 ml): Anode; WC rod = 233.952 g and Cathode; WC plate) (ต่อ)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
5	09.10 น	219.485	2.707	6	1.54	4	4.62	167	สารละลายเป็นสีม่วงอมดำและ ผงที่ได้มีเนื้อที่ละเอียด	
	09.20 น			6	1.30	3	4.52	165		
	09.30 น			6	1.74	4	4.45	168		
	09.40 น			6	1.49	4	4.50	172		
	09.50 น			6	1.30	4	5.04	167		
	10.00 น			6	1.69	5	5.06	174		



ตารางที่ 5-6 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 4 (Electrolysis in 12 M HCl (400 ml): Anode; WC rod = 183.449 g and Cathode; Co rod)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
1	16.15 น	180.349	3.100	6	1.82	3	5.04	89	จุ่ม Co rod ลงในสารละลายที่ 4.5 cm สารละลายเป็นสีเขียวอ่อน และเกิดฟองอากาศเล็กน้อย	
	16.25 น			6	1.81	3	4.85	93		
	16.35 น			6	1.79	3	4.79	95		
	16.45 น			6	1.76	4	4.63	95		
	16.55 น			6	1.80	4	4.75	94		
	17.05 น			6	1.83	4	4.57	96		
2	17.20 น	177.953	2.396	6	1.82	4	4.68	95	สารละลายเป็นสีเขียวเข้มขึ้น กว่าเดิม และต้องคอยเติม สารละลายทุกๆ 10 นาที	
	17.30 น			6	1.84	4	4.69	97		
	17.40 น			6	1.88	4	4.66	97		
	17.50 น			6	1.89	4	4.58	96		
	18.00 น			6	1.92	4	4.99	97		
	18.10 น			6	1.91	4	4.49	96		

ตารางที่ 5-6 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 4 (Electrolysis in 12 M HCl (400 ml): Anode; WC rod = 183.449 g and Cathode; Co rod) (ต่อ)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
3	18.25 น	175.774	2.179	6	1.87	4	4.55	97	Co rod ถูกกัดกร่อนเล็กน้อย สารละลายเป็นสีเขียวเข้ม เกิดฟองอากาศเล็กน้อย	
	18.35 น			6	1.82	4	4.61	97		
	18.45 น			6	1.80	4	4.72	96		
	18.55 น			6	1.85	4	4.58	97		
	19.05 น			6	1.82	4	4.53	97		
	19.15 น			6	1.89	4	4.54	96		
4	19.30 น	173.459	2.315	6	1.78	4	4.64	95	Co rod ถูกกัดกร่อนเล็กน้อย สารละลายเป็นสีเขียวเข้ม เกิดฟองอากาศเล็กน้อย	
	19.40 น			6	1.79	4	4.63	95		
	19.50 น			6	1.79	4	4.45	96		
	20.00 น			6	1.83	4	4.43	97		
	20.10 น			6	1.90	4	4.48	98		
	20.20 น			6	1.89	4	4.49	95		

ตารางที่ 5-6 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 4 (Electrolysis in 12 M HCl (400 ml): Anode; WC rod = 183.449 g and Cathode; Co rod) (ต่อ)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
5	20.35 น	171.514	1.945	6	1.74	4	4.92	98	Co rod ถูกกัดกร่อนเล็กน้อย สารละลายเป็นสีเขียวเข้ม เกิดฟองอากาศเล็กน้อย	
	20.45 น			6	1.71	4	4.98	97		
	20.55 น			6	1.75	4	4.93	98		
	21.05 น			6	1.74	4	4.98	97		
	21.15 น			6	1.69	4	4.93	98		
	21.25 น			6	1.70	4	4.95	97		

ตารางที่ 5-7 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 5 (Electrolysis in 15 M HNO<sub>3</sub> (? ml): Anode; WC rod and Cathode; Co rod)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด (g)		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
									ยกเลิกตัวอย่างทดลองนี้เพราะว่า การจุ่ม Co rod ลงในสารละลาย นั้นจะทำให้ปฏิกิริยากับกรดไนตริก จนเกิดเป็นฟองอากาศที่มีการ แตกกระจายไปทั่วและมีควัน สีส้มแกมเหลืองออกมา	



ตารางที่ 5-8 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 6 (Electrolysis in 85 %  $H_3PO_4$  (400 ml): Anode; WC rod = 171.514 g and Cathode; Co rod)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
1	09.00 น	167.378	4.135	ปรับปุ่ม	2.48	ปรับปุ่ม	4.50	135	จุ่ม Co rod ลงในสารละลายที่ 4.5 cm สารละลายเริ่มเป็นสีม่วง, เป็นสีม่วงแก่, จนมีสีม่วงอมดำ และเกิดฟองอากาศเล็กน้อย	
	09.10 น			6	2.07	4	4.23	149		
	09.20 น			6	2.03	4	4.35	155		
	09.30 น			6	2.17	5	4.82	164		
	09.40 น			6	2.07	5	4.86	169		
	09.50 น			6	2.09	5	4.62	163		
2	10.10 น	163.745	3.633	ปรับปุ่ม	2.19	ปรับปุ่ม	4.52	168	สารละลายเป็นสีม่วงอมดำและ ผงที่ได้มีเนื้อที่ละเอียด และต้อง คอยเติมสารละลายทุกๆ 15 – 20 นาที	
	10.20 น			6	2.20	5	4.74	175		
	10.30 น			6	2.20	5	4.57	175		
	10.40 น			6	2.23	5	4.48	167		
	10.50 น			6	2.18	5	4.43	167		
	11.00 น			6	2.30	5	4.40	166		

ตารางที่ 5-8 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 6 (Electrolysis in 85 %  $H_3PO_4$  (400 ml): Anode; WC rod = 171.514 g and Cathode; Co rod) (ต่อ)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ	
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า				
3	11.30 น	159.955	3.790	6	2.66	6	4.68	160	สารละลายเป็นสีม่วงอมดำและ ผงที่ได้มีเนื้อที่ละเอียด Co rod เริ่มที่จะถูกกัดกร่อน		
	11.40 น			6	2.68	6	4.92	158			
	11.50 น			6	3.41	7	4.67	159			
	12.00 น			6	3.51	7	4.42	161			
	12.10 น			6	4.34	8	4.68	161			
	12.20 น			6	4.55	8	4.66	164			
4	12.45 น	159.558	0.397	6	2.68	6	4.64	155	สารละลายเป็นสีม่วงอมดำ เมื่อเวลาผ่านไป Co rod มีพื้นที่ ผิวสัมผัสสารละลายน้อยลงมาก ซึ่งถูกกัดกร่อนไป 50 – 60 % เหลือความยาวที่ 9.27 cm จึงต้อง หยุดการทดลองในตัวอย่างนี้		
	12.55 น			6	2.81	6	4.60	154			

ตารางที่ 5-9 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 7 (Electrolysis in 12 M HCl (300 ml): Anode; WC rod = 211.147 g and Cathode; 304 Stainless steel sheet)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
1	13.37 น	209.999	1.148	6	1.53	4	4.56	85	จุ่ม 304 Stainless steel sheet ลง ในสารละลายที่ 3.4 cm สารละลายเริ่มเป็นสีเขียวและมี ฟองอากาศมากดำ และต้องคอย เติมสารละลายทุกๆ 10 นาที	
	13.47 น			6	1.54	4	4.63	86		
	13.57 น			6	1.53	4	4.45	79		
	14.07 น			6	1.52	4	4.51	75		
	14.17 น			6	1.52	4	4.53	75		
	14.27 น			6	1.53	4	4.50	87		
2	14.54 น	209.559	0.440	6	1.91	4	4.62	85	สารละลายเป็นสีเขียวและมี ฟองอากาศมาก	
	14.55 น			6	2.25	5	4.49	93		
	15.05 น			6	2.27	5	4.38	88		
	15.15 น			6	2.35	5	4.55	97		
	15.25 น			6	2.35	5	4.85	95		
	15.35 น			6	2.83	5	4.57	97		



ตารางที่ 5-9 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 7 (Electrolysis in 12 M HCl (300 ml): Anode; WC rod = 211.147 g and Cathode; 304 Stainless steel sheet) (ต่อ)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
3	16.45 น	208.984	0.575	6	1.90	4	4.86	75	สารละลายเป็นสีเขียวอมดำและมี ฟองอากาศมาก	
	16.55 น			6	1.50	4	4.60	88		
	17.05 น			6	1.73	4	5.06	92		
	17.15 น			6	1.72	4	4.83	72		
	17.25 น			6	1.85	4	5.05	75		
	17.35 น			6	1.95	4	4.70	70		
4	17.50 น	208.585	0.399	6	1.95	4	4.57	77	สารละลายเป็นสีเขียวอมดำและมี ฟองอากาศมาก	
	18.00 น			6	1.87	4	4.87	80		
	18.10 น			6	1.76	4	4.91	85		
	18.20 น			6	1.79	4	4.71	89		
	18.30 น			6	1.84	4	4.98	90		
	18.40 น			6	2.33	4	4.89	97		

ตารางที่ 5-9 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 7 (Electrolysis in 12 M HCl (300 ml): Anode; WC rod = 211.147 g and Cathode; 304 Stainless steel sheet) (ต่อ)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
5	19.00 น	208.141	0.444	6	1.89	4	4.54	75	สารละลายเป็นสีเขียวอมดำและมี ฟองอากาศมาก	
	19.10 น			6	1.85	4	4.98	92		
	19.20 น			6	1.72	4	4.64	92		
	19.30 น			6	1.79	4	4.89	85		
	19.40 น			6	1.87	4	4.74	87		
	19.50 น			6	1.74	4	4.84	90		



ตารางที่ 5-10 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 8 (Electrolysis in 15 M HNO<sub>3</sub>, (500 ml): Anode; WC rod = 192.174 g and Cathode; 304 Stainless steel sheet)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
1	15.25 น	191.915	0.259	6	4.52	5	0.05	105	จุ่ม 304 Stainless steel sheet ลง ในสารละลายที่ 3.4 cm สารละลายเริ่มเป็นสีส้มๆ, จนมีสี แดงอ่อน และต้องคอยเติม สารละลายทุกๆ 5 – 10 นาที	
	15.35 น			6	4.31	5	0.01	111		
	15.45 น			6	3.87	5	0.02	113		
	15.55 น			6	3.22	4	0.04	110		
	16.05 น			24	16.04	9	0.03	100		
	16.15 น			24	16.40	10	0.11	113		
2	16.40 น	189.759	2.156	12	4.03	4	4.08	112	สารละลายเป็นสีแดงอ่อนและมี ฟองเล็กน้อย	
	16.50 น			6	3.22	6	4.92	112		
	17.00 น			6	3.35	6	4.42	110		
	17.10 น			6	3.18	6	4.61	110		
	17.20 น			6	3.29	6	4.78	111		
	17.30 น			6	3.93	6	4.69	112		

ตารางที่ 5-10 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 8 (Electrolysis in 15 M HNO<sub>3</sub> (500 ml): Anode; WC rod = 192.174 g and Cathode; 304 Stainless steel sheet) (ต่อ)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
3	17.50 น	187.621	2.088	6	4.12	7	4.59	105	สารละลายเป็นสีแดงอ่อนและมี ฟองเล็กน้อย	
	18.00 น			6	3.71	6	4.78	110		
	18.10 น			6	3.24	6	4.74	113		
	18.20 น			6	3.34	6	4.43	115		
	18.30 น			6	3.68	7	4.94	115		
	18.40 น			6	3.79	7	4.58	116		
4	19.05 น	185.513	2.158	6	3.29	7	4.80	112	สารละลายเป็นสีแดงอ่อนและมี ฟองเล็กน้อย	
	19.15 น			6	3.25	6	4.84	113		
	19.25 น			6	3.23	6	4.94	112		
	19.35 น			6	3.67	7	4.89	114		
	19.45 น			6	4.48	6	4.64	113		
	19.55 น			6	4.04	7	4.56	113		

ตารางที่ 5-10 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 8 (Electrolysis in 15 M HNO<sub>3</sub> (500 ml): Anode; WC rod = 192.174 g and Cathode; 304 Stainless steel sheet) (ต่อ)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
5	20.10 น	183.449	2.064	6	4.00	7	4.66	115	สารละลายเป็นสีแดงอ่อนและมี ฟองเล็กน้อย	
	20.20 น			6	3.25	6	4.76	114		
	20.30 น			6	3.31	6	5.01	113		
	20.40 น			6	3.42	6	4.95	113		
	20.50 น			6	3.92	7	4.70	113		
	21.00 น			6	4.12	7	4.39	113		



ตารางที่ 5-11 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 9 (Electrolysis in 85 %  $H_3PO_4$  (350 ml): Anode; WC rod = 208.511 g and Cathode; 304 Stainless steel sheet)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
1	08.55 น	204.735	3.776	6	1.77	4	4.57	146	จุ่ม 304 Stainless steel sheet ลง ในสารละลายที่ 3.4 cm สารละลายเริ่มเป็นสีเขียวอ่อน จนมีสีม่วงอมดำ และเกิด ฟองอากาศเล็กน้อย	
	09.05 น			6	1.65	4	4.75	140		
	09.15 น			6	1.59	4	4.81	163		
	09.25 น			6	1.65	4	4.77	166		
	09.35 น			6	1.65	4	4.75	162		
	09.45 น			6	1.67	4	4.82	165		
2	10.05 น	201.065	3.670	6	1.96	4	4.51	154	สารละลายเป็นสีม่วงอมดำและ เกิดฟองอากาศเล็กน้อย	
	10.15 น			6	2.33	5	4.67	174		
	10.25 น			6	2.31	5	4.65	165		
	10.35 น			6	2.32	5	4.52	172		
	10.45 น			6	2.25	5	4.67	165		
	10.55 น			6	2.31	5	4.82	170		

ตารางที่ 5-11 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 9 (Electrolysis in 85 %  $H_3PO_4$  (350 ml): Anode; WC rod = 208.511 g and Cathode; 304 Stainless steel sheet) (ต่อ)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
3	11.20 น	198.837	2.228	6	2.57	5	4.82	159	สารละลายเป็นสีม่วงอมดำและ เกิดฟองอากาศเล็กน้อย	
	11.30 น			6	2.48	6	4.53	157		
	11.40 น			6	2.48	6	4.56	162		
	11.50 น			6	2.48	6	4.58	163		
	12.00 น			6	2.49	6	4.54	165		
	12.10 น			6	2.51	6	4.45	166		
4	12.30 น	195.877	2.960	6	3.75	8	4.95	162	สารละลายเป็นสีม่วงอมดำและ ต้องคอยเติมสารละลายทุกๆ 15 – 20 นาที เมื่อเวลาผ่านไป พ.ท. ของ WC rod ที่สัมผัสสารละลาย น้อยลงจึงต้องเพิ่มปริมาตร สารละลายเป็น 400 ml	
	12.40 น			6	3.42	8	4.94	166		
	12.50 น			6	1.88	5	4.97	167		
	13.00 น			6	1.79	4	4.82	163		
	13.10 น			6	1.76	4	4.57	162		
	13.20 น			6	1.84	4	4.78	160		

ตารางที่ 5-11 ผลการทดลองตัวอย่างที่ 9 (Electrolysis in 85 %  $H_3PO_4$  (350 ml): Anode; WC rod = 208.511 g and Cathode; 304 Stainless steel sheet) (ต่อ)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด		Voltage (V)		Current (A)		อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	ปรับปุ่ม	อ่านค่า	ปรับปุ่ม	อ่านค่า			
5	13.45 น	192.124	3.703	6	1.74	4	4.76	159	สารละลายเป็นสีม่วงอมดำและ เกิดฟองอากาศเล็กน้อย	
	13.55 น			6	1.68	4	4.92	170		
	14.05 น			6	1.68	4	4.88	168		
	14.15 น			6	1.72	4	4.70	164		
	14.25 น			6	1.73	4	4.58	163		
	14.35 น			6	1.72	4	4.59	164		





**ตารางที่ 5-12** ผลการทดลองของการศึกษาการย่อยทั้งสแตนคาร์ไบด์ในกรณีพิเศษจากตัวอย่างการทดลองที่ 4 กรณีที่ควบคุมอุณหภูมิจุดเดือดของสารละลายที่ประมาณ 110 °C (Electrolysis in 12 M HCl (400 ml): Anode; WC rod = 159.565 g and Cathode; Co rod = 13.609 g)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด (g)		น้ำหนัก Co rod ที่ขั้วแคโทด (g)		Voltage (V)		Current (A)	อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	อ่านค่า	สูญเสีย	อ่านค่า	อ่านค่า				
1	13.55 น	157.914	1.651	13.365	0.244	1.39	4.70	104	จุ่ม Co rod ลงในสารละลายที่ 4.5 cm สารละลายเป็นสีเขียวอ่อน และเกิดฟองอากาศมาก		
	14.05 น					1.83	4.62	109			
	14.15 น					1.75	4.73	108			
	14.25 น					1.72	4.99	106			
	14.35 น					1.32	4.25	105			
	14.45 น					1.89	4.74	107			
2	15.05 น	157.523	0.391	12.714	0.651	1.65	4.92	106	สารละลายเป็นสีเขียวเข้มขึ้น กว่าเดิม เกิดฟองอากาศลดลง และต้องคอยเติมสารละลายทุกๆ 10 นาที		
	15.15 น					1.38	4.33	104			
	15.25 น					1.34	4.34	104			
	15.35 น					1.34	4.33	104			
	15.45 น					1.81	4.88	105			
	15.55 น					1.81	4.94	105			

**ตารางที่ 5-12** ผลการทดลองของการศึกษาการย่อยทั้งสแตนครีไบต์ในกรณีพิเศษจากตัวอย่างการทดลองที่ 4 กรณีที่ควบคุมอุณหภูมิจุดเดือดของสารละลายที่ประมาณ 110 °C (Electrolysis in 12 M HCl (400 ml): Anode; WC rod = 159.565 g and Cathode; Co rod = 13.609 g) (ต่อ)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด (g)		น้ำหนัก Co rod ที่ขั้วแคโทด (g)		Voltage (V)		Current (A)	อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	อ่านค่า	สูญเสีย	อ่านค่า	อ่านค่า				
3	16.15 น	156.883	0.640	12.135	0.039	1.80	4.94	104	สารละลายเป็นสีเขียวเข้ม เกิดฟองอากาศน้อย		
	16.25 น					1.89	4.77	105			
	16.35 น					1.84	4.92	105			
	16.45 น					2.01	4.72	105			
	16.55 น					1.98	4.50	104			
	17.05 น					1.96	4.39	105			

**ตารางที่ 5-13** ผลการทดลองของการศึกษาการย่อยทั้งสแตนคาร์ไบด์ในกรณีพิเศษจากตัวอย่างการทดลองที่ 4 กรณีที่ไม่ใช้ความร้อนต้มสารละลาย (Electrolysis in 12 M HCl (400 ml): Anode; WC rod = 156.883 g and Cathode; Co rod = 12.135 g)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด (g)		น้ำหนัก Co rod ที่ขั้วแคโทด (g)		Voltage (V)		Current (A)	อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	อ่านค่า	สูญเสีย	อ่านค่า	อ่านค่า				
1	17.48 น	154.314	2.569	12.120	0.015	4.67	4.55	45	จุ่ม Co rod ลงในสารละลายที่ 4.5 cm สารละลายเป็นสีเขียวอ่อน		
	17.58 น					4.70	4.71	45			
	18.08 น					4.72	4.61	45			
	18.18 น					4.59	4.89	45			
	18.28 น					3.74	5.08	45			
	18.38 น					3.61	4.50	45			
2	18.55 น	151.832	2.482	12.117	0.003	4.83	4.60	45	สารละลายเป็นสีเขียวเข้มขึ้น กว่าเดิม		
	19.05 น					4.64	4.54	45			
	19.15 น					4.54	5.03	45			
	19.25 น					4.05	5.07	45			
	19.35 น					4.06	4.31	45			
	19.45 น					4.50	4.86	45			

**ตารางที่ 5-13** ผลการทดลองของการศึกษาการย่อยทั้งสแตนคาร์ไบด์ในกรณีพิเศษจากตัวอย่างการทดลองที่ 4 กรณีที่ไม่ใช้ความร้อนต้มสารละลาย (Electrolysis in 12 M HCl (400 ml): Anode; WC rod = 156.883 g and Cathode; Co rod = 12.135 g) (ต่อ)

ทดลอง ซ้ำ ครั้งที่	จับเวลา บันทึก (นาฬิกา)	น้ำหนัก WC rod ที่ขั้วแอโนด (g)		น้ำหนัก Co rod ที่ขั้วแคโทด (g)		Voltage (V)		Current (A)	อุณหภูมิ (°C)	การสังเกตลักษณะ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	ภาพประกอบ
		อ่านค่า	สูญเสีย	อ่านค่า	สูญเสีย	อ่านค่า	อ่านค่า				
3	20.00 น	149.228	2.604	12.114	0.003	4.67	4.81	45	สารละลายเป็นสีเขียวเข้ม		
	20.10 น					4.65	4.85	45			
	20.20 น					4.08	4.61	45			
	20.30 น					4.02	4.53	45			
	20.40 น					4.09	4.50	45			
	20.50 น					4.14	4.58	45			

ตารางที่ 5-14 รวบรวมผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่ 1

Electrolysis in 12 M HCl : Anode; WC rod and Cathode; WC plate				
ทดลองซ้ำ ครั้งที่	น้ำหนักสูญเสียของWC rod ที่ ขั้วแอโนด (Loss weight; g)	Voltage (V)	Current (A)	อุณหภูมิ (°C)
1	2.190	0.890	4.74	96.6
2	3.089	1.125	4.72	99
3	2.846	1.047	4.53	98.5
4	3.167	0.930	5.06	99
5	3.158	0.930	5.03	99
ค่าเฉลี่ย( $\bar{X}$ )	3.065	0.98	4.82	98

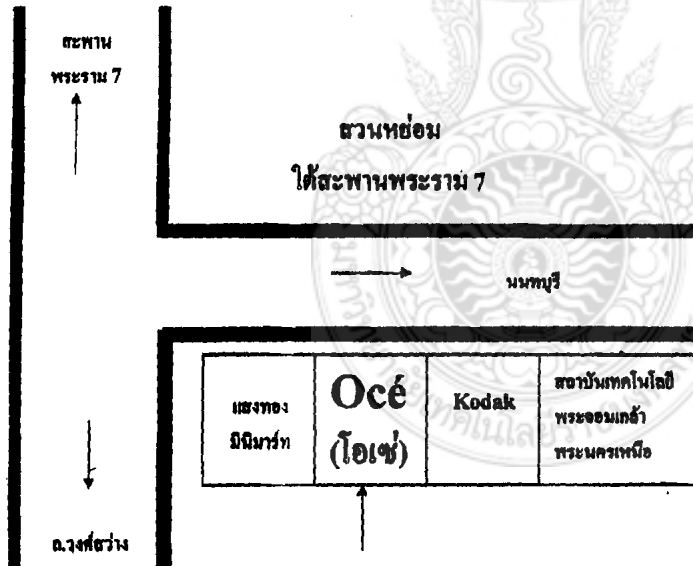
ตารางที่ 5-15 รวบรวมผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่ 2

Electrolysis in 15 M HNO <sub>3</sub> : Anode; WC rod and Cathode; WC plate				
ทดลองซ้ำ ครั้งที่	น้ำหนักสูญเสียของWC rod ที่ ขั้วแอโนด (Loss weight; g)	Voltage (V)	Current (A)	อุณหภูมิ (°C)
1	1.400	4.18	4.29	99.4
2	2.534	4.54	4.587	114.4
3	2.338	4.81	4.85	115.6
4	2.213	4.247	4.66	113.5
5	2.351	4.76	4.537	115.6
ค่าเฉลี่ย( $\bar{X}$ )	2.359	4.51	4.58	112

## ศ. กิจเจริญเกือบี่เซ็นเตอร์ (โอเซ่)

หน้าสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า บริการถ่ายเอกสารระบบดิจิทัล

- \* ถ่ายเอกสาร A4 50 ส.ก.
- \* ถ่าย A4 – A0 ผ่องขยาย
- \* ถ่ายกระดาษไข - ขาว แบบเปลี่ยนขนาดใหญ่
- \* Plot Auto CAD A4 – A0 ( Scan to File )
- \* ถ่ายหนังสือ เช่นเล่มหนังสือ ปกอ่อน ปกแข็ง เหมือนต้นฉบับเดิม
- \* ถ่ายปริญญาบัตร เช่นเล่ม ปริญญาบัตร ( พิมพ์ทอง )
- \* เช่นเล่มทุกชนิด ครบวงจรสำนักงานราชการ กรม ชัด รวดเร็วทันใจ ropic ได้
- \* ปริ๊นท์ - ขาวดำ ด้วยระบบ Laser Scan สี + ปริ๊นท์
- \* บันทึกข้อมูลลงแผ่น ซีดี - ดีวีดี
- \* รับงานเอกสารด้วยระบบ คอมพิวเตอร์ทุกชนิด
- \* โทร ( 02 ) - 5854273 , ( 09 ) - 0574709



ศ. กิจเจริญเกือบี่เซ็นเตอร์ ที่อยู่ : 1510 / 8 ถ.  
ประชากรราษฎร์ 1 แขวง บางซื่อ เขตบางซื่อ

ตารางที่ 5-16 รวบรวมผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่ 3

Electrolysis in 85 % $H_3PO_4$ : Anode; WC rod and Cathode; WC plate				
ทดลองซ้ำ ครั้งที่	น้ำหนักสูญเสียของWC rod ที่ ขั้วแอโนด (Loss weight; g)	Voltage (V)	Current (A)	อุณหภูมิ (°C)
1	3.715	1.48	4.82	163.8
2	2.700	1.71	4.70	154.3
3	2.444	1.54	4.75	160.5
4	2.811	1.46	4.69	167.5
5	2.707	1.51	4.70	168.8
ค่าเฉลี่ย( $\bar{X}$ )	2.666	1.54	4.73	163

ตารางที่ 5-17 รวบรวมผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่ 4

Electrolysis in 12 M HCl : Anode; WC rod and Cathode; Co rod				
ทดลองซ้ำ ครั้งที่	น้ำหนักสูญเสียของWC rod ที่ ขั้วแอโนด (Loss weight; g)	Voltage (V)	Current (A)	อุณหภูมิ (°C)
1	3.100	1.80	4.77	94
2	2.396	1.88	4.68	96
3	2.179	1.84	4.59	97
4	2.315	1.83	4.52	96
5	1.945	1.72	4.95	98
ค่าเฉลี่ย( $\bar{X}$ )	2.387	1.81	4.70	96

ตารางที่ 5-18 รวบรวมผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่ 6

Electrolysis in 85 % H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> : Anode; WC rod and Cathode; Co rod				
ทดลองซ้ำ ครั้งที่	น้ำหนักสูญเสียบาง WC rod ที่ ขั้วแอโนด (Loss weight; g)	Voltage (V)	Current (A)	อุณหภูมิ (°C)
1	4.135	2.15	4.56	156
2	3.633	2.22	4.52	170
3	3.790	3.53	4.67	161
4	0.397	2.75	4.62	155
5	-	-	-	-
ค่าเฉลี่ย( $\bar{X}$ )	3.853	2.66	4.59	161

ตารางที่ 5-19 รวบรวมผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่ 7

Electrolysis in 12 M HCl : Anode; WC rod and Cathode; 304 Stainless steel sheet				
ทดลองซ้ำ ครั้งที่	น้ำหนักสูญเสียบาง WC rod ที่ ขั้วแอโนด (Loss weight; g)	Voltage (V)	Current (A)	อุณหภูมิ (°C)
1	1.148	1.53	4.53	81.1
2	0.440	2.41	4.58	92.5
3	0.575	1.775	4.85	78.7
4	0.399	1.92	4.82	86.3
5	0.444	1.81	4.77	86.8
ค่าเฉลี่ย( $\bar{X}$ )	0.465	1.89	4.71	85



ตารางที่ 5-20 รวบรวมผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่ 8

Electrolysis in 15 M HNO <sub>3</sub> : Anode; WC rod and Cathode; 304 Stainless steel sheet				
ทดลองซ้ำครั้งที่	น้ำหนักสูญเสียบาง WC rod ที่ขั้วแอโนด (Loss weight; g)	Voltage (V)	Current (A)	อุณหภูมิ (°C)
1	0.259	3.98	0.04	108.7
2	2.156	3.5	4.68	111.2
3	2.088	3.65	4.68	112.3
4	2.158	3.66	4.78	112.8
5	2.064	3.67	4.75	113.5
ค่าเฉลี่ย( $\bar{X}$ )	2.117	3.69	4.72	112

ตารางที่ 5-21 รวบรวมผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่ 9

Electrolysis in 85 % H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> : Anode; WC rod and Cathode; 304 Stainless steel sheet				
ทดลองซ้ำครั้งที่	น้ำหนักสูญเสียบาง WC rod ที่ขั้วแอโนด (Loss weight; g)	Voltage (V)	Current (A)	อุณหภูมิ (°C)
1	3.776	1.66	4.75	157
2	3.670	2.25	4.64	166.7
3	2.228	2.5	4.58	162
4	2.960	1.82	4.84	163.3
5	3.703	1.71	4.74	164.7
ค่าเฉลี่ย( $\bar{X}$ )	3.267	1.99	4.71	163

**ตารางที่ 5-22** ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองการย่อยทั้งสแตนคาร์ไบด์ในกรณีพิเศษจากตัวอย่าง การทดลองที่ 4 กรณีที่ควบคุมอุณหภูมิเหนือจุดเดือดสารละลายที่ประมาณ 110 °C

Electrolysis in 12 M HCl : Anode; WC rod and Cathode; Co rod					
ทดลองซ้ำ ครั้งที่	น้ำหนักสูญเสีย (g)		Voltage (V)	Current (A)	อุณหภูมิ (°C)
	WC rod	Co rod			
1	1.651	0.244	1.65	4.67	107
2	0.391	0.651	1.56	4.62	105
3	0.640	0.039	1.91	4.71	105
ค่าเฉลี่ย( $\bar{X}$ )	0.894	0.311	1.71	4.67	106

**ตารางที่ 5-23** ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองการย่อยทั้งสแตนคาร์ไบด์ในกรณีพิเศษจากตัวอย่าง การทดลองที่ 4 กรณีที่ไม่ใช้ความร้อนต้มสารละลาย

Electrolysis in 12 M HCl : Anode; WC rod and Cathode; Co rod					
ทดลองซ้ำ ครั้งที่	น้ำหนักสูญเสีย (g)		Voltage (V)	Current (A)	อุณหภูมิ (°C)
	WC rod	Co rod			
1	2.569	0.015	4.34	4.72	45
2	2.482	0.003	4.44	4.74	45
3	2.604	0.003	4.28	4.65	45
ค่าเฉลี่ย( $\bar{X}$ )	2.552	0.007	4.35	4.70	45

5.1.1 ผลการทดสอบวัสดุ WC rod ที่ใช้เป็นขั้วแอโนดก่อนทดลอง เก็บข้อมูลได้ดังนี้

5.1.1.1 ผลการทดสอบ Scanning Electron Microscope; SEM

5.1.1.2 ผลการทดสอบ X – Ray Fluorescence; XRF

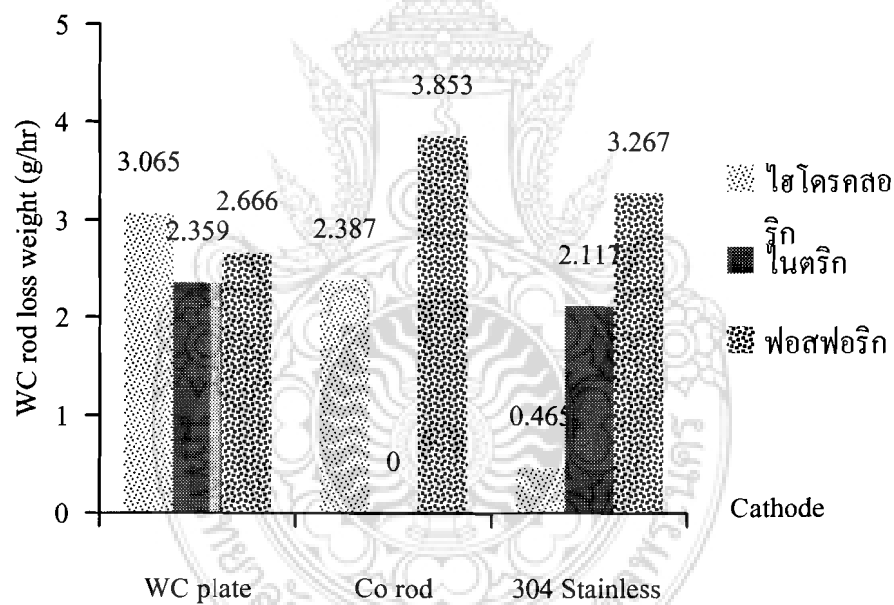
5.1.2 ผลทดสอบผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ เก็บข้อมูลได้ดังนี้

5.1.2.1 ผลการทดสอบหา Particle size

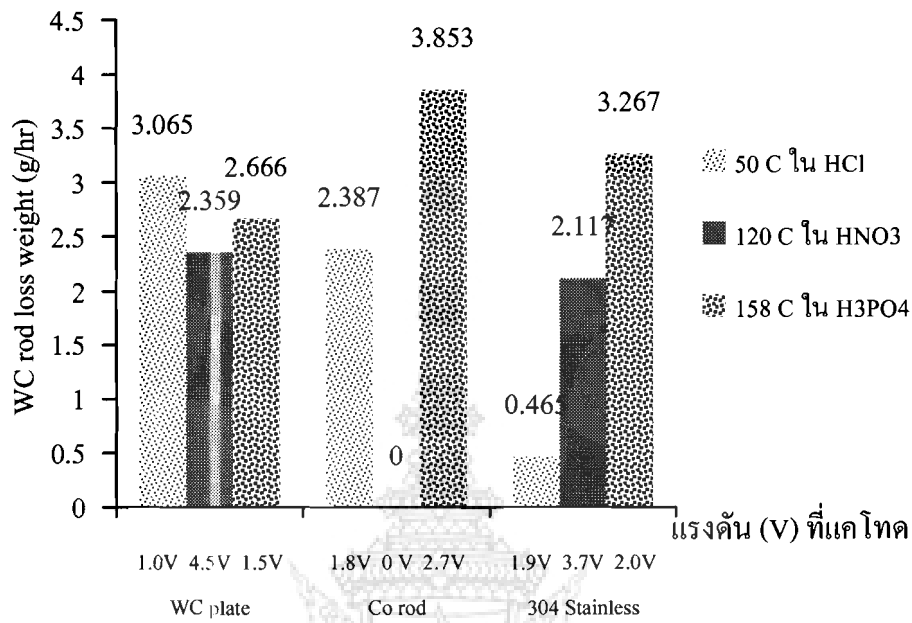
5.1.2.2 ผลการทดสอบ X – Ray Fluorescence; XRF

5.1.2.3 ผลการทดสอบ X – Ray Diffraction; XRD

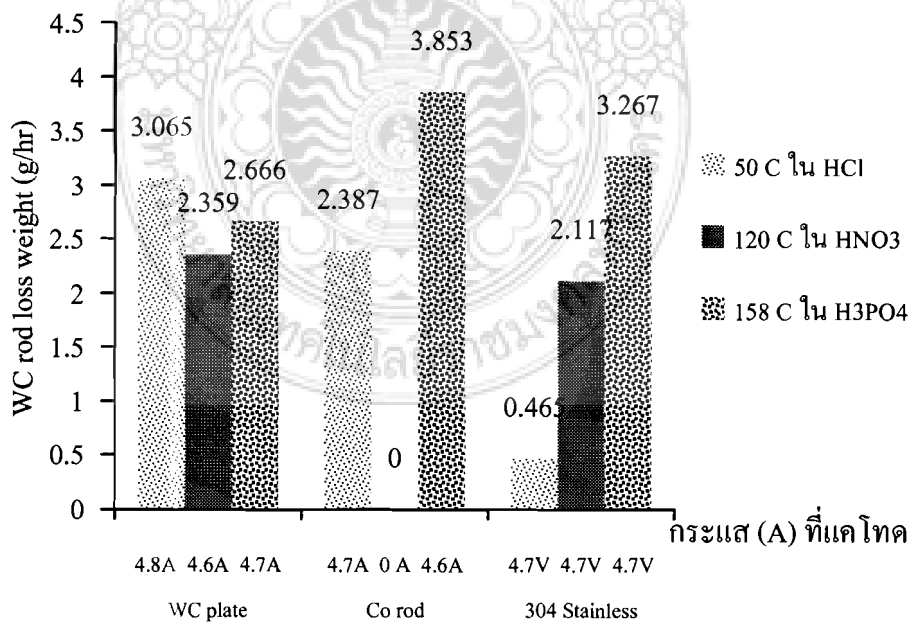
## 5.2 กราฟแสดงผลการทดลอง



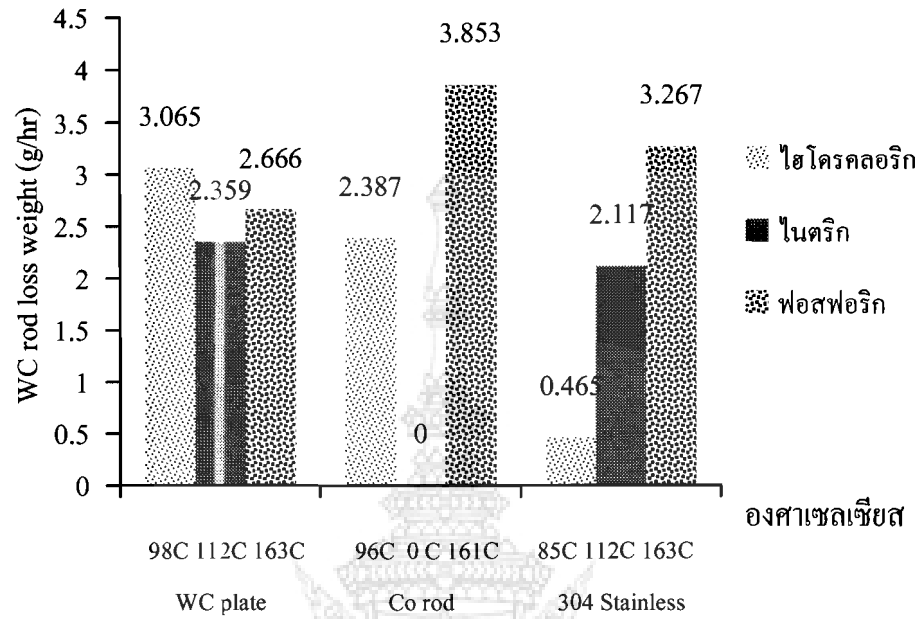
ภาพที่ 5-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียกับชนิดแคโทดในสารละลายที่ต่างกัน



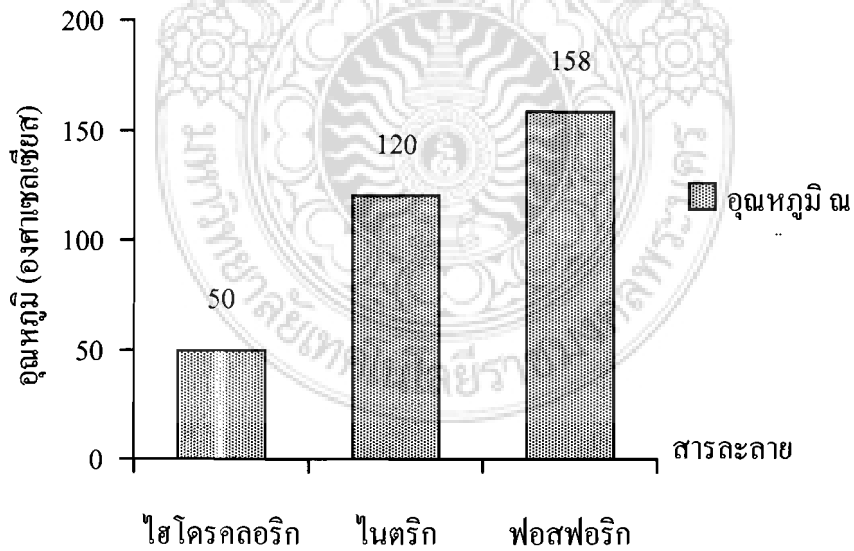
ภาพที่ 5-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียกับแรงดันไฟฟ้า  
ที่แคโทดต่างชนิด ณ อุณหภูมิเหนือดจุด bp



ภาพที่ 5-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียกับกระแสไฟฟ้า  
ที่แคโทดต่างชนิด ณ อุณหภูมิเหนือดจุด bp



ภาพที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียกับอุณหภูมิ  
ในสารละลายที่แคโทดต่างชนิด



ภาพที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจุดเดือดกับชนิดสารละลาย

### 5.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางเคมี

4.3.1 การรวบรวมผลของน้ำหนักที่สูญเสียจากการทดลองหลายๆ ครั้ง โดยการหาค่าเฉลี่ยและการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตามตัวอย่างดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5-24 การรวบรวมผลการทดลองหลายๆ ครั้ง โดยการหาค่าเฉลี่ยและการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ครั้งที่ ตัวอย่างที่	1	2	3	4	5	mean ( $\bar{X}$ )	s
1	-	3.089	2.846	3.167	3.158	3.065	0.039
2	-	2.534	2.338	2.213	2.351	2.359	0.030
3	-	2.700	2.444	2.811	2.707	2.666	0.042
4	3.100	2.396	2.179	2.315	1.945	2.387	0.376
6	4.135	3.633	3.790	-		3.853	0.093
7	-	0.440	0.575	0.399	0.444	0.465	0.009
8	-	2.156	2.088	2.158	2.064	2.117	0.003
9	3.776	3.670	2.228	2.960	3.703	3.267	0.893

5.3.2 ก่อนที่จะนำข้อมูลไปคำนวณหาค่าต่างๆ นั้นจำเป็นต้องทำการตัดข้อมูลของน้ำหนักที่สูญเสียที่สงสัยออกไป (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%; 5% false rejection) ตามทฤษฎีในหัวข้อที่ 2.4.2

5.3.2.1 การวัดปริมาณของน้ำหนักที่สูญเสียไปในตัวอย่างที่ 1 จะได้ว่าค่า 2.190 กรัม ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 เป็นค่าที่ต่ำสุดซึ่งห่างจากข้อมูลอื่น

$$Q = (2.846 - 2.190) \div (3.167 - 2.190)$$

$$Q = 0.67$$

ค่า Q ที่ได้เมื่อเทียบกับค่า Q ในตารางที่ 2.7 จะมีค่าเท่ากันหรือมากกว่า

ดังนั้น ค่า 2.190 สามารถตัดทิ้งออกจากกลุ่มข้อมูลได้

5.3.2.2 การวัดปริมาณของน้ำหนักที่สูญเสียไปในตัวอย่างที่ 2 จะได้ว่าค่า 1.400 กรัม ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 เป็นค่าที่ต่ำสุดซึ่งห่างจากข้อมูลอื่น

$$Q = (2.213 - 1.400) \div (2.534 - 1.400)$$

$$Q = 0.717$$

ค่า  $Q$  ที่ได้เมื่อเทียบกับค่า  $Q$  ในตารางที่ 2.7 จะมีค่าเท่ากันหรือมากกว่า  
ดังนั้น ค่า 1.400 สามารถตัดทิ้งออกจากกลุ่มข้อมูลได้

5.3.2.3 การวัดปริมาณของน้ำหนักที่สูญเสียไปในตัวอย่างที่ 3 จะได้ว่าค่า 3.715 กรัม ที่  
ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 เป็นค่าที่สูงสุดซึ่งห่างจากข้อมูลอื่น

$$Q = (3.715 - 2.811) \div (3.715 - 2.444)$$

$$Q = 0.711$$

ค่า  $Q$  ที่ได้เมื่อเทียบกับค่า  $Q$  ในตารางที่ 2.7 จะมีค่าเท่ากันหรือมากกว่า  
ดังนั้น ค่า 3.715 สามารถตัดทิ้งออกจากกลุ่มข้อมูลได้

5.3.2.4 การวัดปริมาณของน้ำหนักที่สูญเสียไปในตัวอย่างที่ 6 จะได้ว่าค่า 0.397 กรัม ที่  
ได้จากการทดลองครั้งที่ 4 เป็นค่าที่ต่ำสุดซึ่งห่างจากข้อมูลอื่น

$$Q = (3.790 - 0.397) \div (4.135 - 0.397)$$

$$Q = 0.908$$

ค่า  $Q$  ที่ได้เมื่อเทียบกับค่า  $Q$  ในตารางที่ 2.7 จะมีค่าเท่ากันหรือมากกว่า  
ดังนั้น ค่า 0.397 สามารถตัดทิ้งออกจากกลุ่มข้อมูลได้

5.3.2.5 การวัดปริมาณของน้ำหนักที่สูญเสียไปในตัวอย่างที่ 7 จะได้ว่าค่า 1.148 กรัม ที่  
ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 เป็นค่าที่สูงสุดซึ่งห่างจากข้อมูลอื่น

$$Q = (1.148 - 0.575) \div (1.148 - 0.399)$$

$$Q = 0.765$$

ค่า  $Q$  ที่ได้เมื่อเทียบกับค่า  $Q$  ในตารางที่ 2.7 จะมีค่าเท่ากันหรือมากกว่า  
ดังนั้น ค่า 1.148 สามารถตัดทิ้งออกจากกลุ่มข้อมูลได้

5.3.2.6 การวัดปริมาณของน้ำหนักที่สูญเสียไปในตัวอย่างที่ 8 จะได้ว่าค่า 0.259 กรัม ที่  
ได้จากการทดลองครั้งที่ 1 เป็นค่าที่ต่ำสุดซึ่งห่างจากข้อมูลอื่น

$$Q = (2.064 - 0.259) \div (2.158 - 0.259)$$

$$Q = 0.951$$

ค่า  $Q$  ที่ได้เมื่อเทียบกับค่า  $Q$  ในตารางที่ 2.7 จะมีค่าเท่ากันหรือมากกว่า  
ดังนั้น ค่า 0.259 สามารถตัดทิ้งออกจากกลุ่มข้อมูลได้

5.3.3 การคำนวณหาช่วงความเชื่อมั่น จากตารางจะได้ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  
(s) และตั้งความหวังจะให้ได้ลิมิตความเชื่อมั่น 95 % เป็นอย่างน้อย

5.3.3.1 จากตัวอย่างทดลองที่ 1 ค่า  $\bar{X} = 3.065$

$$\text{และ } s = (((3.089 - 3.065)^2 + (2.846 - 3.065)^2 + (3.167 - 3.065)^2 + (3.158 - 3.065)^2) \div (4 - 1))^{1/2} = 0.039$$

เมื่อ  $d_i = X_i - \bar{X}$  และ  $N$  คือจำนวนครั้งที่ทดลอง

ค่า  $t$  จากตารางที่ 2.6 มีค่าเท่ากับ 2.78

$$95 \% \text{ Confidence Interval} = 3.065 \pm ((2.78 \times 0.039) \div 4^{1/2})$$

การคำนวณหาจำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ และเพื่อที่จะให้ค่าเฉลี่ยที่ได้ ห่างจากค่าจริง ในช่วง  $3.065 \pm 0.054$  ถึงจะเป็นค่าที่เชื่อถือได้

$$\text{จาก } \mu - \bar{X} = \pm 0.054 \text{ จะได้ } ts \div N^{1/2} = \pm 0.054$$

ค่า  $t$  สำหรับ 95 % Confidence Limit ใช้ค่า  $z$  แทนคือ 1.96

$$(N^{1/2}) = (1.96 \div 0.054) \times 0.039 = 1.42$$

$N = 1.42^2$  (ต้องทำการวัดซ้ำๆ กันอีก 2 ครั้ง)

5.3.3.2 จากตัวอย่างทดลองที่ 2 ค่า  $\bar{X} = 2.359$

$$\text{และ } s = (((2.534 - 2.359)^2 + (2.338 - 2.359)^2 + (2.213 - 2.359)^2 + (2.351 - 2.359)^2) \div (4 - 1))^{1/2} = 0.030$$

เมื่อ  $d_i = X_i - \bar{X}$  และ  $N$  คือจำนวนครั้งที่ทดลอง

ค่า  $t$  จากตารางที่ 2.6 มีค่าเท่ากับ 2.78

$$95 \% \text{ Confidence Interval} = 2.359 \pm ((2.78 \times 0.030) \div 4^{1/2})$$

การคำนวณหาจำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ และเพื่อที่จะให้ค่าเฉลี่ยที่ได้ ห่างจากค่าจริง ในช่วง  $2.359 \pm 0.042$  ถึงจะเป็นค่าที่เชื่อถือได้

$$\text{จาก } \mu - \bar{X} = \pm 0.042 \text{ จะได้ } ts \div N^{1/2} = \pm 0.042$$

ค่า  $t$  สำหรับ 95 % Confidence Limit ใช้ค่า  $z$  แทนคือ 1.96

$$(N^{1/2}) = (1.96 \div 0.042) \times 0.030 = 1.4$$

$N = 1.4^2$  (ต้องทำการวัดซ้ำๆ กันอีก 2 ครั้ง)

5.3.3.3 จากตัวอย่างทดลองที่ 3 ค่า  $\bar{X} = 2.666$

$$\text{และ } s = (((2.700 - 2.666)^2 + (2.444 - 2.666)^2 + (2.811 - 2.666)^2 + (2.707 - 2.666)^2) \div (4 - 1))^{1/2} = 0.042$$

เมื่อ  $d_i = X_i - \bar{X}$  และ  $N$  คือจำนวนครั้งที่ทดลอง

ค่า  $t$  จากตารางที่ 2.6 มีค่าเท่ากับ 2.78

$$95 \% \text{ Confidence Interval} = 2.666 \pm ((2.78 \times 0.042) \div 4^{1/2})$$



การคำนวณหาจำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ และเพื่อที่จะให้ค่าเฉลี่ยที่ได้ ห่างจากค่าจริง ในช่วง  $2.666 \pm 0.058$  ถึงจะเป็นค่าที่เชื่อถือได้

$$\text{จาก } \mu - \bar{X} = \pm 0.058 \text{ จะได้ } ts \div N^{1/2} = \pm 0.058$$

ค่า t สำหรับ 95 % Confidence Limit ใช้ค่า z แทนคือ 1.96

$$(N^{1/2}) = (1.96 \div 0.058) \times 0.042 = 1.42$$

$N = 1.42^2$  (ต้องทำการวัดซ้ำๆ กันอีก 2 ครั้ง)

5.3.3.4 จากตัวอย่างทดลองที่ 4 ค่า  $\bar{X} = 2.387$

$$\text{และ } s = (((3.100 - 2.387)^2 + (2.396 - 2.387)^2 + (2.179 - 2.387)^2 + (2.315 - 2.387)^2 + (1.945 - 2.387)^2) \div (5 - 1))^{1/2} = 0.376$$

เมื่อ  $d_i = X_i - \bar{X}$  และ N คือจำนวนครั้งที่ทดลอง

ค่า t จากตารางที่ 2.6 มีค่าเท่ากับ 2.78

$$95 \text{ \% Confidence Interval} = 2.387 \pm ((2.78 \times 0.376) \div 5^{1/2})$$

การคำนวณหาจำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ และเพื่อที่จะให้ค่าเฉลี่ยที่ได้ ห่างจากค่าจริง ในช่วง  $2.387 \pm 0.467$  ถึงจะเป็นค่าที่เชื่อถือได้

$$\text{จาก } \mu - \bar{X} = \pm 0.467 \text{ จะได้ } ts \div N^{1/2} = \pm 0.467$$

ค่า t สำหรับ 95 % Confidence Limit ใช้ค่า z แทนคือ 1.96

$$(N^{1/2}) = (1.96 \div 0.467) \times 0.376 = 1.58$$

$N = 1.58^2$  (ต้องทำการวัดซ้ำๆ กันอีก 3 ครั้ง)

5.3.3.5 จากตัวอย่างทดลองที่ 6 ค่า  $\bar{X} = 3.853$

$$\text{และ } s = (((4.135 - 3.853)^2 + (3.633 - 3.853)^2 + (3.79 - 3.853)^2) \div (3 - 1))^{1/2} = 0.093$$

เมื่อ  $d_i = X_i - \bar{X}$  และ N คือจำนวนครั้งที่ทดลอง

ค่า t จากตารางที่ 2.6 มีค่าเท่ากับ 2.78

$$95 \text{ \% Confidence Interval} = 3.853 \pm ((2.78 \times 0.093) \div 3^{1/2})$$

การคำนวณหาจำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ และเพื่อที่จะให้ค่าเฉลี่ยที่ได้ ห่างจากค่าจริง ในช่วง  $3.853 \pm 0.149$  ถึงจะเป็นค่าที่เชื่อถือได้

$$\text{จาก } \mu - \bar{X} = \pm 0.149 \text{ จะได้ } ts \div N^{1/2} = \pm 0.149$$

ค่า t สำหรับ 95 % Confidence Limit ใช้ค่า z แทนคือ 1.96

$$(N^{1/2}) = (1.96 \div 0.149) \times 0.093 = 1.22$$

$N = 1.22^2$  (ต้องทำการวัดซ้ำๆ กันอีก 2 ครั้ง)

5.3.3.6 จากตัวอย่างทดลองที่ 7 ค่า  $\bar{X} = 0.465$

$$\text{และ } s = (((0.440 - 0.465)^2 + (0.575 - 0.465)^2 + (0.399 - 0.465)^2 + (0.444 - 0.465)^2) \div (4 - 1))^{1/2} = 0.010$$

เมื่อ  $d_i = X_i - \bar{X}$  และ  $N$  คือจำนวนครั้งที่ทดลอง

ค่า  $t$  จากตารางที่ 2.6 มีค่าเท่ากับ 2.78

$$95 \% \text{ Confidence Interval} = 0.465 \pm ((2.78 \times 0.010) \div 4^{1/2})$$

การคำนวณหาจำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ และเพื่อที่จะให้ค่าเฉลี่ยที่ได้ ห่างจากค่าจริง ในช่วง  $0.465 \pm 0.014$  ถึงจะเป็นค่าที่เชื่อถือได้

$$\text{จาก } \mu - \bar{X} = \pm 0.014 \text{ จะได้ } ts \div N^{1/2} = \pm 0.014$$

ค่า  $t$  สำหรับ 95 % Confidence Limit ใช้ค่า  $z$  แทนคือ 1.96

$$(N^{1/2}) = (1.96 \div 0.014) \times 0.010 = 1.4$$

$N = 1.4^2$  (ต้องทำการวัดซ้ำๆ กันอีก 2 ครั้ง)

5.3.3.7 จากตัวอย่างทดลองที่ 8 ค่า  $\bar{X} = 2.117$

$$\text{และ } s = (((2.156 - 2.117)^2 + (2.088 - 2.117)^2 + (2.158 - 2.117)^2 + (2.064 - 2.117)^2) \div (4 - 1))^{1/2} = 0.004$$

เมื่อ  $d_i = X_i - \bar{X}$  และ  $N$  คือจำนวนครั้งที่ทดลอง

ค่า  $t$  จากตารางที่ 2.6 มีค่าเท่ากับ 2.78

$$95 \% \text{ Confidence Interval} = 2.117 \pm ((2.78 \times 0.004) \div 4^{1/2})$$

การคำนวณหาจำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ และเพื่อที่จะให้ค่าเฉลี่ยที่ได้ ห่างจากค่าจริง ในช่วง  $2.117 \pm 0.006$  ถึงจะเป็นค่าที่เชื่อถือได้

$$\text{จาก } \mu - \bar{X} = \pm 0.006 \text{ จะได้ } ts \div N^{1/2} = \pm 0.006$$

ค่า  $t$  สำหรับ 95 % Confidence Limit ใช้ค่า  $z$  แทนคือ 1.96

$$(N^{1/2}) = (1.96 \div 0.006) \times 0.004 = 1.31$$

$N = 1.31^2$  (ต้องทำการวัดซ้ำๆ กันอีก 2 ครั้ง)

5.3.3.8 จากตัวอย่างทดลองที่ 9 ค่า  $\bar{X} = 3.267$

$$\text{และ } s = (((3.776 - 3.267)^2 + (3.670 - 3.267)^2 + (2.228 - 3.267)^2 + (2.960 - 3.267)^2 + (3.703 - 3.267)^2) \div (5 - 1))^{1/2} = 0.893$$

เมื่อ  $d_i = X_i - \bar{X}$  และ  $N$  คือจำนวนครั้งที่ทดลอง

ค่า  $t$  จากตารางที่ 2.6 มีค่าเท่ากับ 2.78

$$95 \% \text{ Confidence Interval} = 3.267 \pm ((2.78 \times 0.893) \div 5^{1/2})$$

การคำนวณหาจำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ และเพื่อที่จะให้ค่าเฉลี่ยที่ได้ ห่างจากค่าจริง ในช่วง  $3.267 \pm 1.110$  ถึงจะเป็นค่าที่เชื่อถือได้

$$\text{จาก } \mu - \bar{X} = \pm 1.110 \text{ จะได้ } ts \div N^{1/2} = \pm 1.110$$

ค่า t สำหรับ 95 % Confidence Limit ใช้ค่า z แทนคือ 1.96

$$(N^{1/2}) = (1.96 \div 1.110) \times 0.893 = 1.58$$

$N = 1.58^2$  (ต้องทำการวัดซ้ำๆ กันอีก 3 ครั้ง)

#### 5.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากหัวข้อที่ 4.3 เมื่อได้ช่วงความเชื่อมั่น และการทดลองซ้ำที่เป็นผลแน่นอนแล้ว ก็จะนำข้อมูลที่เชื่อถือได้ของน้ำหนักที่สูญเสียไปประกอบการคำนวณหาอัตราเร็วในการเกิดออกซิเดชันของทั้งสแตนคาร์ไบด์ต่อไปดังนี้

ตารางที่ 5.25 ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางเคมีแล้ว

ตัวอย่างที่ \n ครั้งที่	1	2	3	4	5	การทดลองซ้ำครั้งที่			mean \n ( $\bar{X}$ )
						1	2	3	
1	-	3.089	2.846	3.167	3.158	3.105	3.093	-	3.076
2	-	2.534	2.338	2.213	2.351	2.335	2.370	-	2.357
3	-	2.700	2.444	2.811	2.707	2.703	2.684	-	2.675
4	3.100	2.396	2.179	2.315	1.945	2.263	2.641	2.392	2.406
6	4.135	3.633	3.790	-	-	3.766	3.968	-	3.858
7	-	0.440	0.575	0.399	0.444	0.475	0.455	-	0.465
8	-	2.156	2.088	2.158	2.064	2.119	2.114	-	2.117
9	3.776	3.670	2.228	2.960	3.703	4.127	2.622	3.382	3.309

5.4.1 การคำนวณหาอัตราเร็วในการเกิดออกซิเดชัน ทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ถูกกักคร่อนอย่างสม่ำเสมอที่ข้อแวนไดโนสสารละลายช่วงหนึ่งนั้นสามารถคำนวณหาน้ำหนักที่สูญเสียไป หรือเวลาที่ใช้ในการกักคร่อนได้โดยใช้กฎของอัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันที่แสดงในรูปของปฏิกิริยาเชิงเส้นดังนี้

5.4.1.1 การทดลองตัวอย่างที่ 1 จะได้ว่าชิ้นงานถูกกัดกร่อนไปโดยเฉลี่ย 3.076 กรัมต่อ ชั่วโมง ดังนั้นหากต้องการผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งหมด 1 กิโลกรัม จะคำนวณการใช้เวลากัดกร่อน ชิ้นงานดังต่อไปนี้

$$\text{เมื่อ } w = 1000 \text{ กรัม}$$

$$k_L = (\bar{X}) / \text{time} = 3.076 \text{ กรัม} / \text{ชั่วโมง}$$

$$\text{จาก } t = w \div k_L$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } t &= (1000 \text{ กรัม} \times 1 \text{ ชั่วโมง}) \div 3.076 \text{ กรัม} \\ &= 325 \text{ ชั่วโมง} \end{aligned}$$

$$\text{และถ้า } 24 \text{ ชั่วโมง} = (g_{1 \text{ วัน}} \times 1 \text{ ชั่วโมง}) \div 3.076 \text{ กรัม}$$

$$g_{1 \text{ วัน}} = (24 \text{ ชั่วโมง} \times 3.076 \text{ กรัม}) \div 1 \text{ ชั่วโมง}$$

$$g_{1 \text{ วัน}} = 74 \text{ กรัมต่อวัน}$$

ดังนั้นผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งหมด 1 กิโลกรัม จะใช้เวลากัดกร่อนชิ้นงานทั้งหมดในเวลา 325 ชั่วโมง หรือความสามารถในการกัดกร่อนชิ้นงานเท่ากับ 74 กรัมต่อวัน

4.4.1.2 การทดลองตัวอย่างที่ 2 จะได้ว่าชิ้นงานถูกกัดกร่อนไปโดยเฉลี่ย 2.357 กรัมต่อ ชั่วโมง ดังนั้นหากต้องการผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งหมด 1 กิโลกรัม จะคำนวณการใช้เวลากัดกร่อน ชิ้นงานดังต่อไปนี้

$$\text{เมื่อ } w = 1000 \text{ กรัม}$$

$$k_L = (\bar{X}) / \text{time} = 2.357 \text{ กรัม} / \text{ชั่วโมง}$$

$$\text{จาก } t = w \div k_L$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } t &= (1000 \text{ กรัม} \times 1 \text{ ชั่วโมง}) \div 2.357 \text{ กรัม} \\ &= 424 \text{ ชั่วโมง} \end{aligned}$$

$$\text{และถ้า } 24 \text{ ชั่วโมง} = (g_{1 \text{ วัน}} \times 1 \text{ ชั่วโมง}) \div 2.357 \text{ กรัม}$$

$$g_{1 \text{ วัน}} = (24 \text{ ชั่วโมง} \times 2.357 \text{ กรัม}) \div 1 \text{ ชั่วโมง}$$

$$g_{1 \text{ วัน}} = 57 \text{ กรัมต่อวัน}$$

ดังนั้นผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งหมด 1 กิโลกรัม จะใช้เวลากัดกร่อนชิ้นงานทั้งหมดในเวลา 424 ชั่วโมง หรือความสามารถในการกัดกร่อนชิ้นงานเท่ากับ 57 กรัมต่อวัน

5.4.1.3 การทดลองตัวอย่างที่ 3 จะได้ว่าชิ้นงานถูกกัดกร่อนไปโดยเฉลี่ย 2.675 กรัมต่อ ชั่วโมง ดังนั้นหากต้องการผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งหมด 1 กิโลกรัม จะคำนวณการใช้เวลากัดกร่อน ชิ้นงานดังต่อไปนี้

$$\text{เมื่อ } w = 1000 \text{ กรัม}$$

$$k_L = (\bar{X}) / \text{time} = 2.675 \text{ กรัม} / \text{ชั่วโมง}$$

$$\text{จาก } t = w \div k_L$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } t &= (1000 \text{ กรัม} \times 1 \text{ ชั่วโมง}) \div 2.675 \text{ กรัม} \\ &= 374 \text{ ชั่วโมง} \end{aligned}$$

$$\text{และถ้า } 24 \text{ ชั่วโมง} = (g_{1\text{ วัน}} \times 1 \text{ ชั่วโมง}) \div 2.675 \text{ กรัม}$$

$$g_{1\text{ วัน}} = (24 \text{ ชั่วโมง} \times 2.675 \text{ กรัม}) \div 1 \text{ ชั่วโมง}$$

$$g_{1\text{ วัน}} = 64 \text{ กรัมต่อวัน}$$

ดังนั้นผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งหมด 1 กิโลกรัม จะใช้เวลากัดกร่อนชิ้นงานจนหมดในเวลา 374 ชั่วโมง หรือความสามารถในการกัดกร่อนชิ้นงานเท่ากับ 64 กรัมต่อวัน

5.4.1.4 การทดลองตัวอย่างที่ 4 จะได้ว่าชิ้นงานถูกกัดกร่อนไปโดยเฉลี่ย 2.406 กรัมต่อชั่วโมง ดังนั้นหากต้องการผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งหมด 1 กิโลกรัม จะคำนวณการใช้เวลากัดกร่อนชิ้นงานดังต่อไปนี้

$$\text{เมื่อ } w = 1000 \text{ กรัม}$$

$$k_L = (\bar{X}) / \text{time} = 2.406 \text{ กรัม} / \text{ชั่วโมง}$$

$$\text{จาก } t = w \div k_L$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } t &= (1000 \text{ กรัม} \times 1 \text{ ชั่วโมง}) \div 2.406 \text{ กรัม} \\ &= 416 \text{ ชั่วโมง} \end{aligned}$$

$$\text{และถ้า } 24 \text{ ชั่วโมง} = (g_{1\text{ วัน}} \times 1 \text{ ชั่วโมง}) \div 2.406 \text{ กรัม}$$

$$g_{1\text{ วัน}} = (24 \text{ ชั่วโมง} \times 2.406 \text{ กรัม}) \div 1 \text{ ชั่วโมง}$$

$$g_{1\text{ วัน}} = 58 \text{ กรัมต่อวัน}$$

ดังนั้นผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งหมด 1 กิโลกรัม จะใช้เวลากัดกร่อนชิ้นงานจนหมดในเวลา 416 ชั่วโมง หรือความสามารถในการกัดกร่อนชิ้นงานเท่ากับ 58 กรัมต่อวัน

5.4.1.5 การทดลองตัวอย่างที่ 6 จะได้ว่าชิ้นงานถูกกัดกร่อนไปโดยเฉลี่ย 3.858 กรัมต่อชั่วโมง ดังนั้นหากต้องการผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งหมด 1 กิโลกรัม จะคำนวณการใช้เวลากัดกร่อนชิ้นงานดังต่อไปนี้

$$\text{เมื่อ } w = 1000 \text{ กรัม}$$

$$k_L = (\bar{X}) / \text{time} = 3.858 \text{ กรัม} / \text{ชั่วโมง}$$

$$\text{จาก } t = w \div k_L$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } t &= (1000 \text{ กรัม} \times 1 \text{ ชั่วโมง}) \div 3.858 \text{ กรัม} \\ &= 259 \text{ ชั่วโมง} \end{aligned}$$

$$\text{และถ้า } 24 \text{ ชั่วโมง} = (g_{1 \text{ วัน}} \times 1 \text{ ชั่วโมง}) \div 3.858 \text{ กรัม}$$

$$g_{1 \text{ วัน}} = (24 \text{ ชั่วโมง} \times 3.858 \text{ กรัม}) \div 1 \text{ ชั่วโมง}$$

$$g_{1 \text{ วัน}} = 93 \text{ กรัมต่อวัน}$$

ดังนั้นผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งหมด 1 กิโลกรัม จะใช้เวลากัดกร่อนชิ้นงานจนหมดในเวลา 259 ชั่วโมง หรือความสามารถในการกัดกร่อนชิ้นงานเท่ากับ 93 กรัมต่อวัน

5.4.1.6 การทดลองตัวอย่างที่ 7 จะได้ว่าชิ้นงานถูกกัดกร่อนไปโดยเฉลี่ย 0.465 กรัมต่อชั่วโมง ดังนั้นหากต้องการผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งหมด 1 กิโลกรัม จะคำนวณการใช้เวลากัดกร่อนชิ้นงานดังต่อไปนี้

$$\text{เมื่อ } w = 1000 \text{ กรัม}$$

$$k_L = (\bar{X}) / \text{time} = 0.465 \text{ กรัม / ชั่วโมง}$$

$$\text{จาก } t = w \div k_L$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } t &= (1000 \text{ กรัม} \times 1 \text{ ชั่วโมง}) \div 0.465 \text{ กรัม} \\ &= 2,151 \text{ ชั่วโมง} \end{aligned}$$

$$\text{และถ้า } 24 \text{ ชั่วโมง} = (g_{1 \text{ วัน}} \times 1 \text{ ชั่วโมง}) \div 0.465 \text{ กรัม}$$

$$g_{1 \text{ วัน}} = (24 \text{ ชั่วโมง} \times 0.465 \text{ กรัม}) \div 1 \text{ ชั่วโมง}$$

$$g_{1 \text{ วัน}} = 11 \text{ กรัมต่อวัน}$$

ดังนั้นผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งหมด 1 กิโลกรัม จะใช้เวลากัดกร่อนชิ้นงานจนหมดในเวลา 2,151 ชั่วโมง หรือความสามารถในการกัดกร่อนชิ้นงานเท่ากับ 11 กรัมต่อวัน

5.4.1.7 การทดลองตัวอย่างที่ 8 จะได้ว่าชิ้นงานถูกกัดกร่อนไปโดยเฉลี่ย 2.117 กรัมต่อชั่วโมง ดังนั้นหากต้องการผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งหมด 1 กิโลกรัม จะคำนวณการใช้เวลากัดกร่อนชิ้นงานดังต่อไปนี้

$$\text{เมื่อ } w = 1000 \text{ กรัม}$$

$$k_L = (\bar{X}) / \text{time} = 2.117 \text{ กรัม / ชั่วโมง}$$

$$\text{จาก } t = w \div k_L$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } t &= (1000 \text{ กรัม} \times 1 \text{ ชั่วโมง}) \div 2.117 \text{ กรัม} \\ &= 472 \text{ ชั่วโมง} \end{aligned}$$

$$\text{และถ้า } 24 \text{ ชั่วโมง} = (g_{1 \text{ วัน}} \times 1 \text{ ชั่วโมง}) \div 2.117 \text{ กรัม}$$

$$g_{1 \text{ วัน}} = (24 \text{ ชั่วโมง} \times 2.117 \text{ กรัม}) \div 1 \text{ ชั่วโมง}$$

$$g_{1 \text{ วัน}} = 51 \text{ กรัมต่อวัน}$$

ดังนั้นผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งหมด 1 กิโลกรัม จะใช้เวลากัดกร่อนชิ้นงานจนหมดในเวลา 472 ชั่วโมง หรือความสามารถในการกัดกร่อนชิ้นงานเท่ากับ 51 กรัมต่อวัน

5.4.1.8 การทดลองตัวอย่างที่ 9 จะได้ว่าชิ้นงานถูกกัดกร่อนไปโดยเฉลี่ย 3.309 กรัมต่อชั่วโมง ดังนั้นหากต้องการผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งหมด 1 กิโลกรัม จะคำนวณการใช้เวลากัดกร่อนชิ้นงานดังต่อไปนี้

เมื่อ  $w = 1000$  กรัม

$$k_L = (\bar{X}) / \text{time} = 3.309 \text{ กรัม} / \text{ชั่วโมง}$$

$$\text{จาก } t = w \div k_L$$

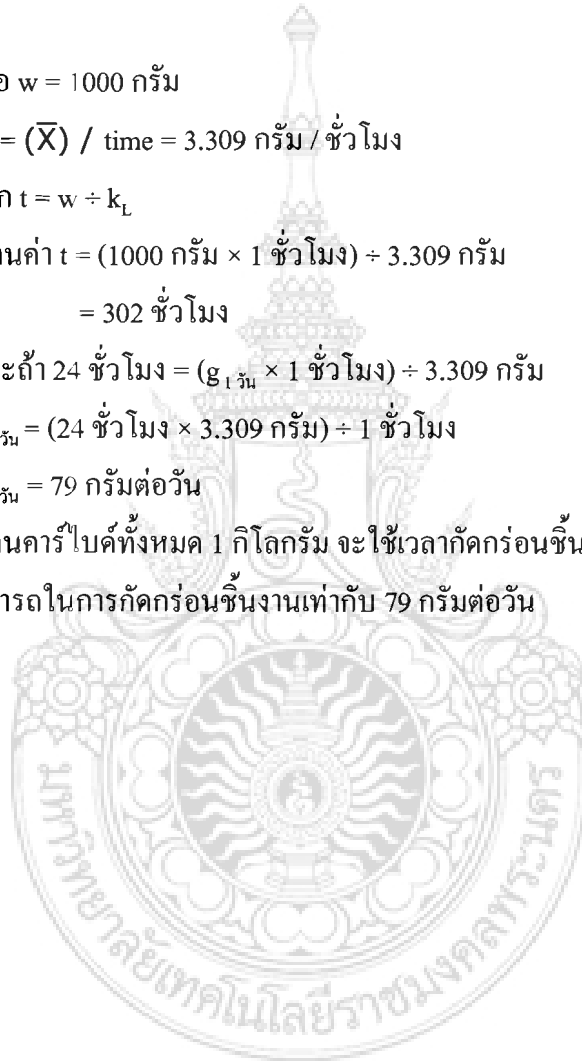
$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } t &= (1000 \text{ กรัม} \times 1 \text{ ชั่วโมง}) \div 3.309 \text{ กรัม} \\ &= 302 \text{ ชั่วโมง} \end{aligned}$$

$$\text{และถ้า } 24 \text{ ชั่วโมง} = (g_{1 \text{ วัน}} \times 1 \text{ ชั่วโมง}) \div 3.309 \text{ กรัม}$$

$$g_{1 \text{ วัน}} = (24 \text{ ชั่วโมง} \times 3.309 \text{ กรัม}) \div 1 \text{ ชั่วโมง}$$

$$g_{1 \text{ วัน}} = 79 \text{ กรัมต่อวัน}$$

ดังนั้นผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั้งหมด 1 กิโลกรัม จะใช้เวลากัดกร่อนชิ้นงานจนหมดในเวลา 302 ชั่วโมง หรือความสามารถในการกัดกร่อนชิ้นงานเท่ากับ 79 กรัมต่อวัน



## บทที่ 6

### อิทธิพลของกระแสไฟฟ้าต่อการแยกสลายเศษโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์

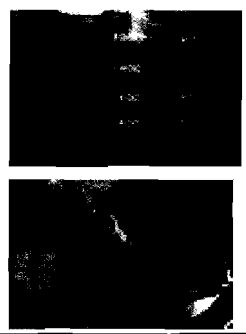
จากการดำเนินงานเพื่อศึกษาการย่อยสลายแผ่นมีด ตามขั้นตอน และเงื่อนไขในการแยกสลาย จนครบทุกเงื่อนไขที่ได้ศึกษา จึงสามารถแสดงผลการทดลองการแยกสลายแผ่นมีด ดังต่อไปนี้

#### 6.1 การทดลองการแยกสลายเม็ดยัด

##### 6.1.1 ผลการทดลองการแยกสลายแผ่นมีด


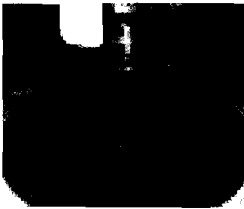
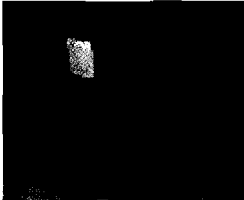

ผลการทดลองที่ได้จากการแยกสลายด้วยวิธีการกัดกร่อนใช้สารละลายไฮโดรคลอริก (Hydrochloric) 630 มิลลิลิตร และ ซิตริก (Citric) 240 กรัม โดยใช้กระแสไฟฟ้าแตกต่างกัน คือ 1.59 แอมแปร์ 3.38 แอมแปร์ และ 5.59 แอมแปร์

ตารางที่ 6.1 บันทึกผลการทดลองที่ใช้กระแสไฟฟ้า 1.59 แอมแปร์


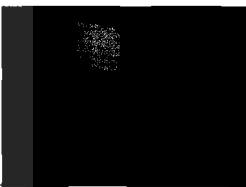
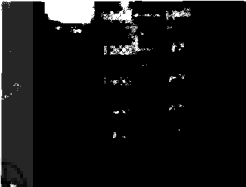

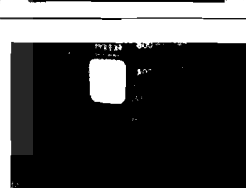

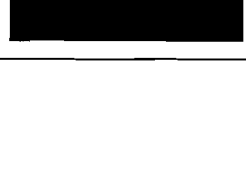

เวลา (h)	แรงเคลื่อนเฉลี่ย (V)	กระแสเฉลี่ย (A)	น้ำหนักที่ลดลง (g)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (°C)	ลักษณะสารละลาย
0	0	0	0	0	
1	0.84	1.35		48	
2	0.98	1.66		80	
3	1.01	1.65	0.542	81	
4	1.03	1.63		87	




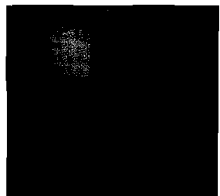

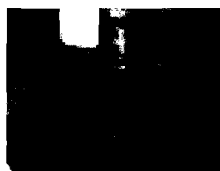


ตารางที่ 6.1 บันทึกผลการทดลองที่ใช้กระแสไฟฟ้า 1.59 แอมแปร์ (ต่อ)

เวลา (h)	แรงเคลื่อนเฉลี่ย (V)	กระแสเฉลี่ย (A)	น้ำหนักที่ลดลง (g)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (°C)	ลักษณะสารละลาย
5	1.05	1.51		87	
6	1.05	1.59	0.930	88	
7	1.07	1.57		88	
8	1.08	1.77		89	
9	1.08	1.46	1.150	89	
10	1.10	1.69		90	
11	1.10	1.52		92	
12	1.12	1.53	1.308	93	
13	1.27	1.71		94	
14	1.34	1.60		97	
15	1.34	1.75	1.718	97	

ตารางที่ 6.2 บันทึกผลการทดลองที่ใช้กระแสไฟฟ้า 3.38 แอมแปร์

เวลา (h)	แรงเคลื่อน เฉลี่ย (V)	กระแส เฉลี่ย (A)	น้ำหนักที่ ลดลง (g)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (°C)	ลักษณะสารละลาย
0	0	0	0	0	
1	2.33	3.02		85	
2	2.64	3.05		85	
3	2.77	3.06	0.704	94	
4	2.89	3.23		94	
5	2.89	3.25		94	
6	3.19	3.31	1.125	95	
7	3.21	3.37		95	
8	3.44	3.39		95	
9	4.19	3.42	1.327	96	
10	4.58	3.43		96	
11	5.12	3.45		96	
12	5.66	3.49	1.464	97	
13	5.99	3.51		97	
14	7.87	3.53		97	
15	9.35	3.58	1.707	100	

ตาราง 6.3 บันทึกผลการทดลองที่ใช้กระแสไฟฟ้า 5.59 แอมแปร์

เวลา (h)	แรงเคลื่อนเฉลี่ย (V)	กระแสเฉลี่ย (A)	น้ำหนักที่ลดลง (g)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (°C)	ลักษณะสารละลาย
0	0	0	0	0	
1	2.85	4.79		66	
2	2.93	5.06		73	
3	3.91	5.08	1.362	77	
4	5.58	5.14		80	
5	6.55	5.25		83	
6	7.82	5.26	2.075	85	
7	8.21	5.27		87	
8	8.39	5.56		87	
9	8.72	5.57	3.017	88	
10	9.15	5.59		88	
11	9.16	5.62		90	
12	9.23	5.62	4.093	90	
13	9.36	5.66		90	
14	9.95	5.75		91	
15	11.70	5.79	4.476	96	

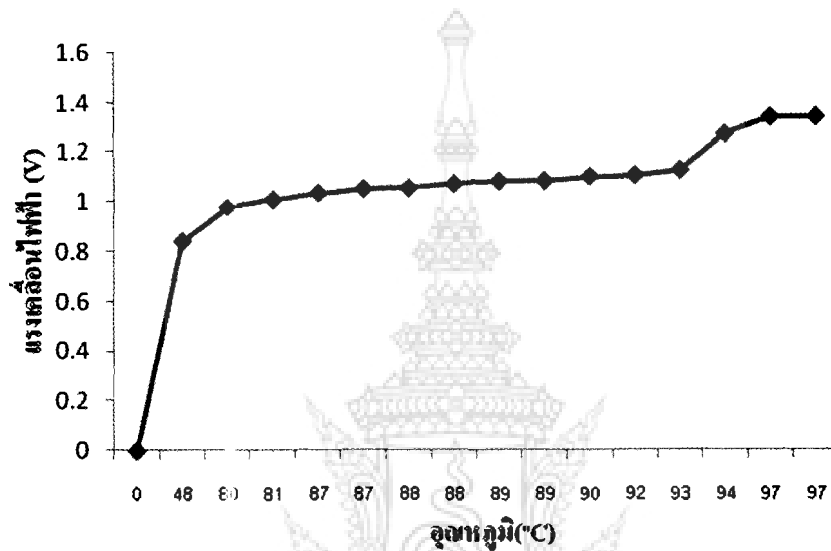
ตารางที่ 6.4 แสดงน้ำหนักที่ลดลงของกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 1.59, 3.38, และ 5.59

เวลา	ทำการทดลองที่กระแสไฟฟ้าของแต่ละช่วงการทดลอง		
	น้ำหนักที่ลดลง (1.59A)	น้ำหนักที่ลดลง (3.38A)	น้ำหนักที่ลดลง (5.59 A)
(h)	(g)	(g)	(g)
0	0	0	0
1			
2			
3	0.542	0.704	1.362
4			
5			
6	0.93	1.125	2.075
7			
8			
9	1.15	1.327	3.017
10			
11			
12	1.308	1.464	4.093
13			
14			
15	1.718	1.707	4.476

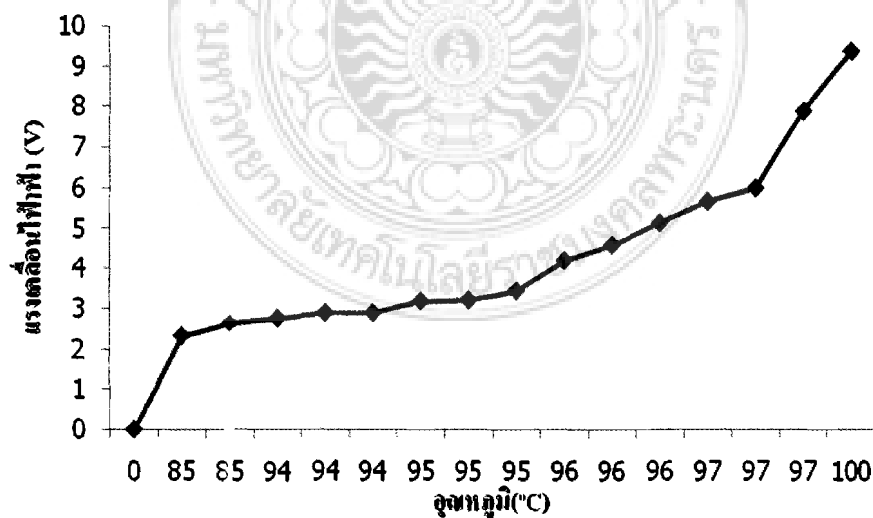
จากตารางที่ 6-4 แสดงให้เห็นว่าในการทดลองนั้น เมื่อกระแสไฟฟ้ามากขึ้นจะทำให้การกัดกร่อนเพิ่มมากขึ้น

### 6.1.2 กราฟที่ได้จากการทดลอง

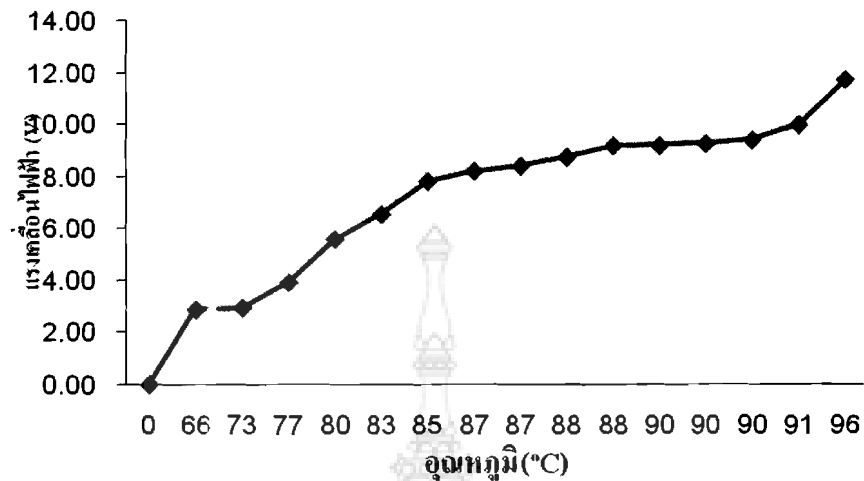
กราฟที่ได้จากผลการทดลองโดยใช้กระแสไฟฟ้า 1.59 แอมแปร์, 3.38 แอมแปร์ และ 5.59 แอมแปร์



ภาพที่ 6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสารละลายและแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยใช้กระแสที่ 1.59 แอมแปร์

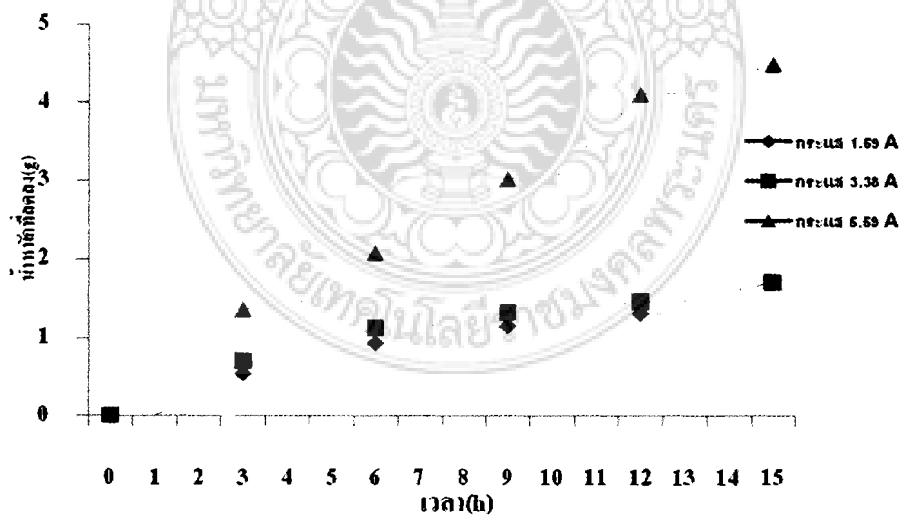


ภาพที่ 6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสารละลายและแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยใช้กระแส 3.38 แอมแปร์



ภาพที่ 6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสารละลายและแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยใช้กระแส 5.59 แอมแปร์

จากภาพที่ 4-1, 4-2 และ 4-3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสารละลายและแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากการอ่านค่าจากมัลติมิเตอร์ เมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและน้ำหนักที่ลดลงของแผ่นมีด ณ กระแสไฟฟ้าต่างๆ ที่ (1.59 A, 3.38 A, และ 5.59 A)

จากภาพที่ 6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและน้ำหนักที่ลดลงของแผ่นมิดไบด์ที่กระแสไฟฟ้าต่างกัน จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 1.59 แอมแปร์ 3.38 แอมแปร์ และ 5.59 แอมแปร์ จะพบว่าน้ำหนักที่ลดลงของแผ่นมิด จะอยู่ในระดับกระแสไฟฟ้าที่สูงคือ 5.59 แอมแปร์

## 6.2 วิเคราะห์ข้อมูลของผลการทดลอง

### 6.2.1 การคำนวณ

#### 1) การคำนวณความแข็งแผ่นมิด

### ตารางที่ 6.5 ผลการทดสอบแผ่นมิด

ชิ้นงาน	จำนวนครั้ง (HV)		
	1	2	3
AC 500G	1564	1551	1587
AC 300G	1550	1545	1550

$$\text{ค่าเฉลี่ย} = 1564 + 1551 + 1587 + 1550 + 1545 + 1550 / 6$$

$$= 1557.83$$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{(n - 1)}}$$

$$= (1564 - 1557)^2 + (1551 - 1557)^2 + (1587 - 1557)^2 + (1550 - 1557)^2 + (1545 - 1557)^2 + (1550 - 1557)^2 / (6 - 1)$$

$$= 1223.65 / 5$$

$$= 15.64 \text{ HV}$$

#### 2) การคำนวณสาร

วิธีการคำนวณ

จำนวน โมล = มวลของสาร / มวลโมเลกุลของสาร

มวลของ HCl = น้ำหนักอะตอมของธาตุ + น้ำหนักอะตอมของธาตุ

H = 1.007947

Cl = 35.4532

มวลโมเลกุล HCl = 0.365 kg / mol

HCl MW ; 36.5 g/mol

$$\begin{aligned} \text{HCl} &= 53\% = 35\text{g} / 100\text{ml} = \{(35\text{g}) / 0.365 \text{ kg /mol}\} / 100\text{ml} \\ &= 0.95\text{mol} / 100\text{ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น HCl 100 ml เท่ากับ 0.95 mol

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น HCl } 630 \text{ ml} &= 630 \text{ ml} \times 0.95 \text{ mol} \\ &= 5.985 \text{ mol} \end{aligned}$$

3) การคำนวณค่าความแปรปรวนของผลการทดลอง

ตารางที่ 6.6 ผลการทดลองเพื่อคำนวณ ANOVA

กระแสไฟฟ้า (A)	น้ำหนักที่ลดลงของเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ (g)					รวม
	1	2	3	4	5	
1.59	0.542	0.388	0.220	0.158	0.410	1.718
3.38	0.740	0.421	0.202	0.137	0.243	1.707
5.59	1.361	0.714	0.942	1.076	0.383	4.476
	รวม					7.901

$\mu$  = จำนวนน้ำหนักที่ลดลงของเศษซีเมนต์คาร์ไบด์

$\alpha = 0.05$

วิธีคำนวณ 1. สมมติฐานการทดสอบ คือ

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

2. กำหนด  $\alpha = 0.05$



## 3. จำนวน SST

$$\begin{aligned}
 SST &= \sum X^2 - \frac{T^2}{K} \\
 &= (0.542)^2 + (0.388)^2 + (0.220)^2 + (0.158)^2 + \dots + (0.383)^2 - \frac{(7.901)^2}{15} \\
 &= 6.0311 - \frac{(7.901)^2}{15} \\
 &= 1.8964
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SSA &= \frac{\sum T^2}{n} - \frac{T^2}{K} \\
 &= \frac{(1.718)^2}{5} + \frac{(1.707)^2}{5} + \frac{(4.476)^2}{5} - \frac{(7.901)^2}{15} \\
 &= 5.1799 - 4.1617 \\
 &= 1.0182
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SSR &= SST - SSA \\
 &= 1.8694 - 1.0182 \\
 &= 0.8512
 \end{aligned}$$

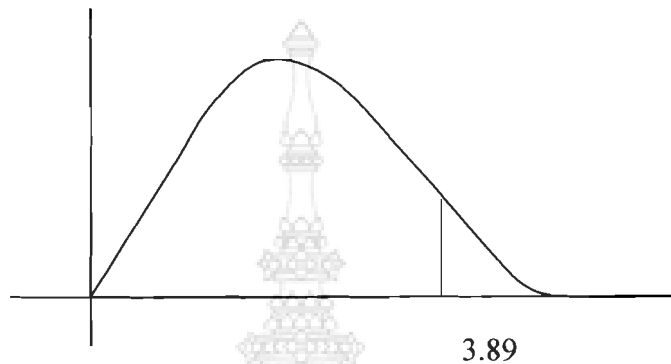
แทนค่าลงในตาราง ANOVA จะได้

ตารางที่ 6.7 วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

แหล่งของการแปรผัน	ผลบวกกำลังสอง	ระดับชั้นความเสรี	ค่ากำลังสองเฉลี่ย	ตั้งสถิติทดสอบ F
ความต่างกระแสน้ำ	1.0182	$a-1 = 3-1 = 2$	$MSA = SSA/a-1$ $= 0.5091$	$MSA/MsR =$ $7.1805$
เศษตกค้าง	0.8512	$k-a = 15-3 = 12$	$MSR = SSR/k-a$ $= 0.0709$	
รวม	1.8694			

4. ขอบเขตวิกฤตของการทดสอบ คือ

ปฏิเสธ  $H_0$  ถ้า  $F > F [0.05, 2, 12]$  เปิดตารางแจกแจง  $F$  จะได้  $F [0.05, 2, 12] = 3.89$  และสามารถเขียนขอบเขตวิกฤตได้ดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5 กราฟแสดงค่าขอบเขตวิกฤต

5. สรุปผล

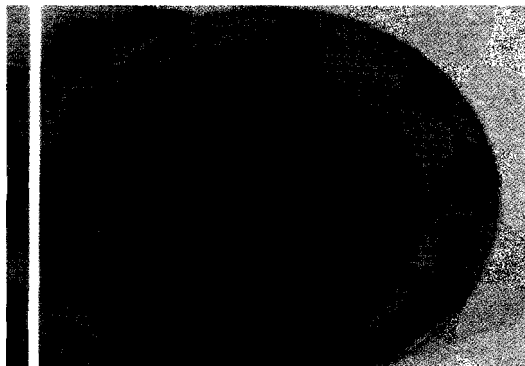
เพราะว่า  $7.18 > 3.89$  ดังนั้นจึงตัดสินใจว่าปฏิเสธ  $H_0$  แสดงว่า ผลการทดสอบมีนัยสำคัญที่  $\alpha = 0.05$  นั่นคือสรุปได้ว่า ด้วยความเชื่อมั่น 95% ว่า การทดลองการแยกสลายแผ่นมีดโดยใช้กระแสดังกล่าว จะทำให้น้ำหนักที่ลดลงแตกต่างกันด้วย

### 6.3 ผลทดสอบผงทั้งสแตนคาร์ไบด์นำเข้า และผงที่ได้จากการทดลอง

#### 6.3.1 ผลทดสอบผงทั้งสแตนคาร์ไบด์นำเข้า

##### 1) ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์นำเข้า

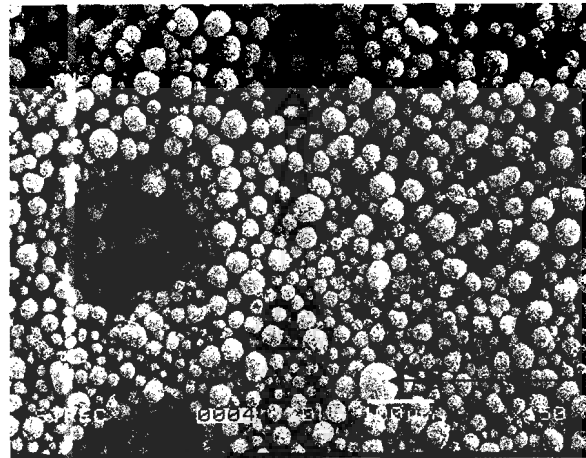
ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์นำเข้าจากต่างประเทศ มีลักษณะเป็นผงขนาดเล็กมีความละเอียด มีสีเทาเหมือนผงโลหะทั่วไป



ภาพที่ 6.6 ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์นำเข้า

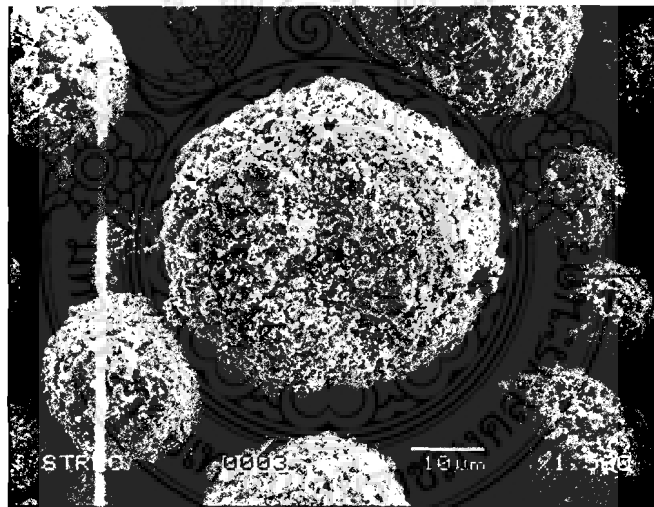
## 2) ผลทดสอบด้วยเครื่อง SEM

### ก. ขนาดเม็ดเกรน



ขนาดเม็ด  
เกรนขยาย150  
เท่า

ภาพที่ 6.7 ขนาดเม็ดเกรนของผงสังสตนคาร์ไบด์นำเข้า ขยาย 150 เท่า

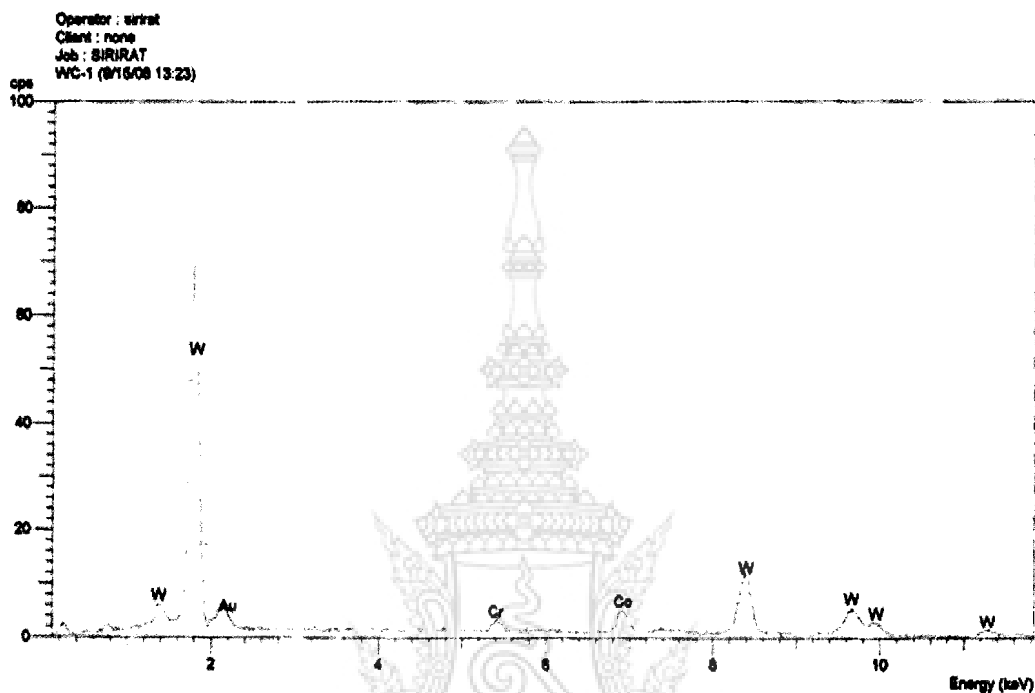


ขนาดเม็ด  
เกรนขยาย  
1500 เท่า

ภาพที่ 6.8 ขนาดเม็ดเกรนของผงสังสตนคาร์ไบด์นำเข้า ขยาย 1500 เท่า

จากภาพที่ 6-7 และ 6-8 แสดงถึงขนาดของเม็ดเกรนที่กำลังขยาย 150 เท่าและ 1500 เท่า ขนาดเม็ดเกรนเมื่อขยาย 1500 เท่ามีขนาด 10  $\mu\text{m}$  จากภาพที่เห็นผงสังสตนคาร์ไบด์จะมีสีขาวลักษณะคล้ายฟองน้ำ

ข. ข้อมูลผลการทดสอบ



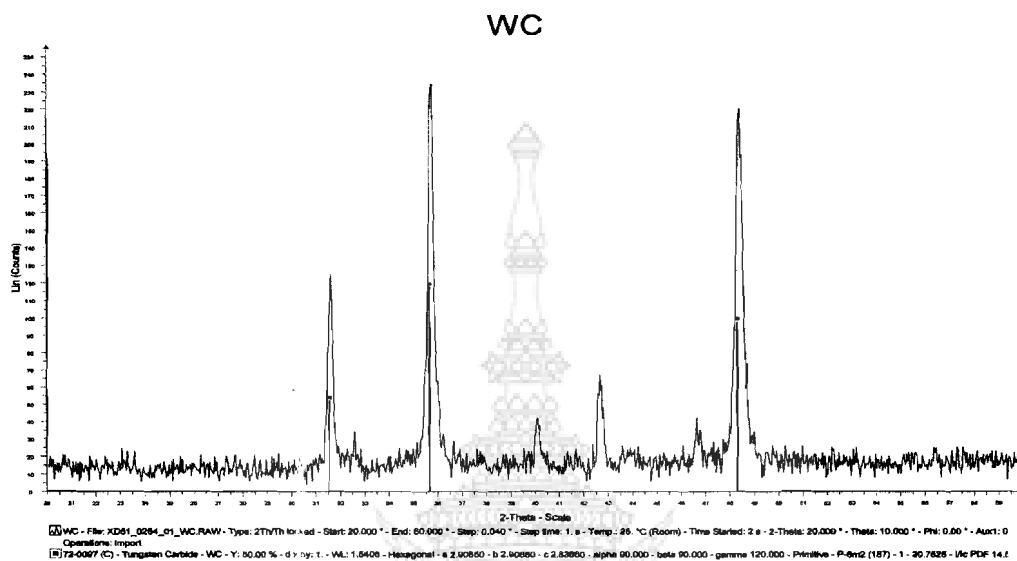
ภาพที่ 6.9 กราฟแสดงผลการทดสอบผงทังสเตนคาร์ไบด์นำเข้ามาด้วยเครื่อง SEM

จากภาพที่ 6-9 แสดงให้เห็นถึงปริมาณส่วนผสมของทังสเตนคาร์ไบด์ซึ่งแกนตั้งคือเปอร์เซ็นต์ของทังสเตนที่พบ และแกนนอนบอกถึงระดับพลังงาน ประกอบไปด้วยทังสเตนทั้งหมดประมาณ 89% โคบอลต์ประมาณ 8% และ โคเมียมประมาณ 3% ดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 6.8 ผลการทดสอบผงทังสเตนคาร์ไบด์นำเข้านำเข้ามาด้วยเครื่อง SEM

Elmt	Spect.Type	Element	Atomic
Cr	ED	2.60	7.40
Co	ED	8.42	21.10
W	ED	88.98	71.50
Total		100.00	100.00

### 3) ผลทดสอบด้วยเครื่อง XRD



ภาพที่ 6.10 กราฟแสดงผลการทดสอบผงทั้งสแตนคาร์ไบด์นำเข้าด้วยเครื่อง XRD

#### 6.3.2 ผลทดสอบผงที่ได้จากการทดลอง

##### 1) ผงที่ได้จากการทดลอง

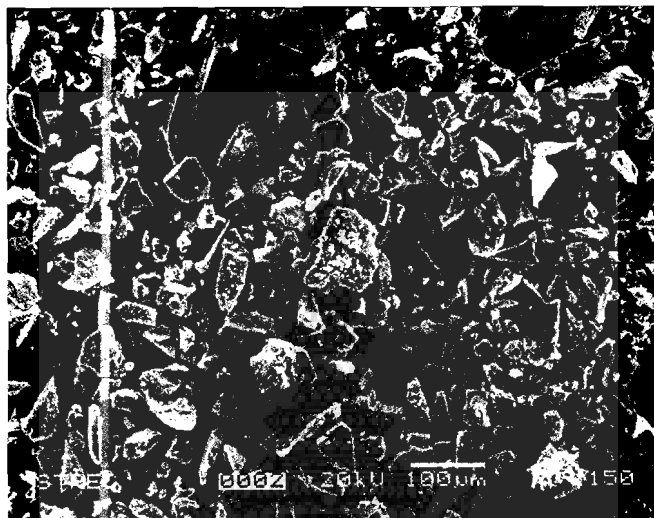
ผงที่ได้จากการทดลองมีลักษณะเป็นผงหยาบกว่าผงทั้งสแตนคาร์ไบด์นำเข้า มีสีเทา



ภาพที่ 6.11 ผงโลหะที่ได้จากการทดลอง

## 2) ผลทดสอบด้วยเครื่อง SEM

### ก. ขนาดเม็ดเกรน



ขนาดเม็ดเกรน  
ขยาย 150 เท่า

ภาพที่ 6.12 ขนาดเม็ดเกรนของผงโลหะที่ได้จากการทดลอง ขยาย 150 เท่า

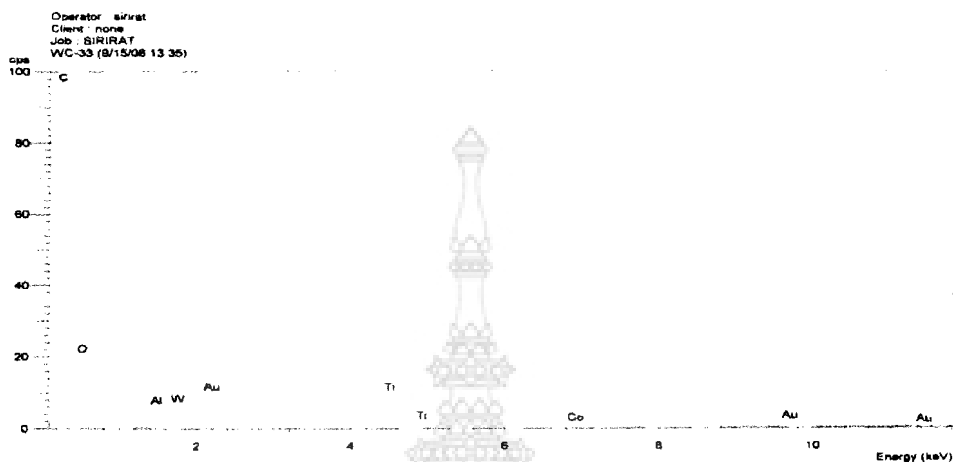


ขนาดเม็ดเกรน  
ขยาย 1500 เท่า

ภาพที่ 6.13 ขนาดเม็ดเกรนของผงโลหะที่ได้จากการทดลอง ขยาย 1500 เท่า

ภาพที่ 6-12 และภาพที่ 6-13 แสดงถึงขนาดของเม็ดเกรนซึ่งไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่า ส่วนใดคือผงทั้งสแตนคาร์ไบด์เนื่องจากการยังมีการยึดเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน เป็นผงทั้งสแตนที่ยังมีธาตุอื่นเจือปนอยู่สูง

### ข. ข้อมูลผลการทดสอบ



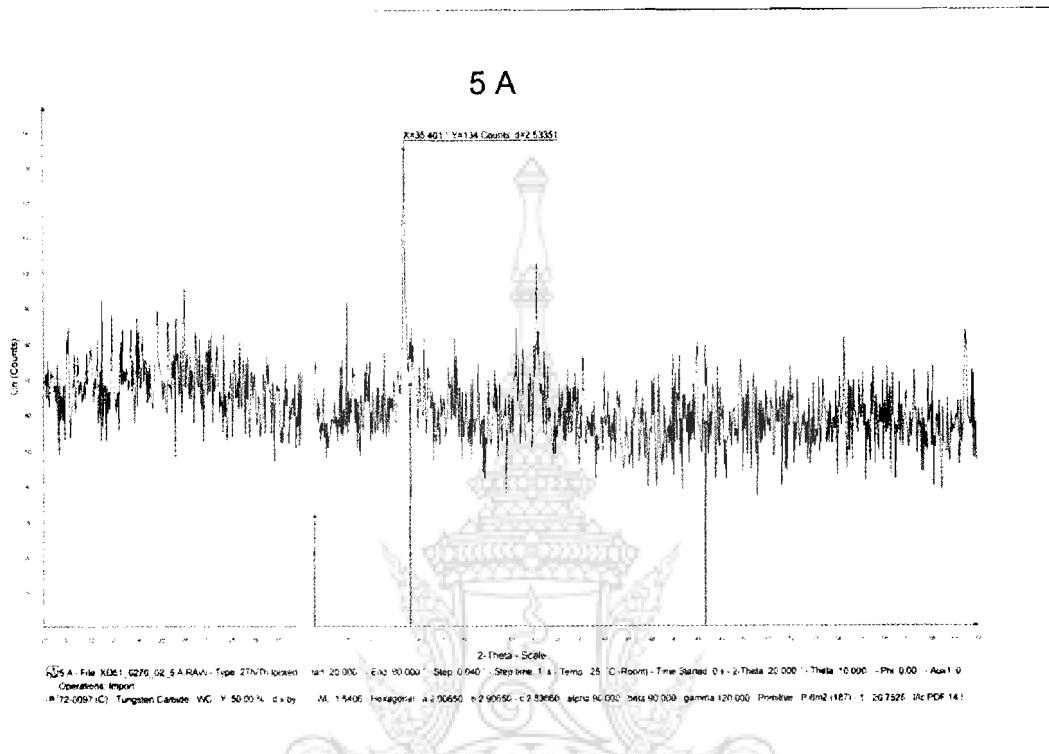
ภาพที่ 6.14 กราฟแสดงผลการทดสอบผงที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่อง SEM

จากภาพที่ 6.14 แสดงถึงปริมาณของทั้งสแตนคาร์ไบด์และธาตุอื่นที่ได้จากการทดลองซึ่งจากกราฟจะมีทั้งสแตนคาร์ไบด์อยู่ประมาณ 2% และมีคาร์บอน 56% ออกซิเจน 36% ไทเทเนียม 3% ที่เหลือเป็นอลูมิเนียม ดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 6.9 ผลการทดสอบผงที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่อง SEM

Elmt	Spect.Type	Element	Atomic
C	ED	56.33	65.91
O	ED	36.97	32.47
Al	ED	0.52	0.27
Ti	ED	3.54	1.04
Co	ED	0.69	0.16
W	ED	1.95	0.15
Total		100.00	100.00

### 3) ผลทดสอบด้วยเครื่อง XRD



ภาพที่ 6.15 กราฟแสดงผลการทดสอบผงที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่อง XRD

#### 6.4 วิเคราะห์ข้อมูลของผลทดสอบ

เมื่อวิเคราะห์ผลจากการทดสอบผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ได้จากการนำเข้า และผงโลหะที่ได้จากการทดลองพบว่าผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ได้จากการนำเข้านั้นมี โครเมียม (Cr) 2.60% โคบอลต์ (Co) 8.42% และทั้งสแตน (W) 88.98% ซึ่งจะมี ทั้งสแตนอยู่มากเพราะทั้งสแตนเป็นส่วนผสมหลัก โครเมียม และ โคบอลต์ จะเป็นตัวประสานเพื่อทำให้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์แข็งมากขึ้นเมื่อนำไปผลิตเป็นแผ่นมิล

ส่วนผลการทดสอบของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ได้จากการทดลองพบว่ามี คาร์บอน (C) 56.33% ออกซิเจน (O) 36.97% อะลูมิเนียม (Al) 0.52% ไททาเนียม (Ti) 3.54% โคบอลต์ (Co) 0.69% และทั้งสแตน (W) 1.95% ซึ่งมี ทั้งสแตนอยู่น้อยมากเนื่องจากการทดลองที่ได้นั้นมีธาตุต่างๆ เข้ามารวมในหลายๆ ด้านคือ สารละลายได้ระเหยขึ้นไปจับอุปกรณ์ที่จับยึดแท่งเทอร์โมมิเตอร์ทำให้อุปกรณ์นั้นละลายซึ่งอุปกรณ์นี้จะเป็นอะลูมิเนียมทำให้ปะปนมาด้วย รวมถึงตะแกรงที่ใช้ใส่แผ่นมิลนั้นเป็นไทเทเนียมทำให้ละลายและปะปนเช่นเดียวกัน ส่วนออกซิเจน และคาร์บอนนั้นได้เกิดจากในช่วงแยกสารละลายออกจากตะกอนที่ได้จากการทดลอง ซึ่งออกซิเจนนั้นจะเกิดในช่วงที่



เดิมแอลกอฮอล์เข้าไปในการแยกเนื่องจากแอลกอฮอล์จะดูดซับน้ำทำให้เกิดออกซิเจนขึ้น และคาร์บอนได้เกิดจากการเผาไหม้ของซิทริกในสารละลาย กับแอลกอฮอล์ในขณะที่ต้มจนสารละลายระเหยหมดกลายเป็นผง



## บทที่ 7

### อิทธิพลของสารละลาย แรงดันไฟฟ้าและความร้อน

#### 7.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการแสดงผลการดำเนินการที่กระทำตามขั้นตอนดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 โดยแบ่งผลการดำเนินการออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ผลการทดสอบความแข็งก่อนอบและหลังอบ การทดลองย่อยสลายด้วยไฟฟ้าและการทดสอบคุณสมบัติด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD), X-ray fluorescence spectrometry (XRF) และวัดขนาดอนุภาคด้วยวิธี Laser Diffraction Technique ขั้นตอนต่างโดยจะอธิบายด้วยภาพและแผนภูมิ ผลของการย่อยสลายในการทดลองในแต่ละครั้ง จะสรุปผลและนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองแต่ละรูปแบบ สรุปผลของน้ำหนักที่ได้จากการทดลอง ผลจากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนมาเป็นเครื่องมือในการเปรียบเทียบ ผลการเปรียบเทียบของการทดลองในแต่ละครั้ง การวิเคราะห์หาผลการทดลองที่ดีที่สุด และผลการตรวจสอบคุณสมบัติของผงโลหะที่ได้จากการทดลอง

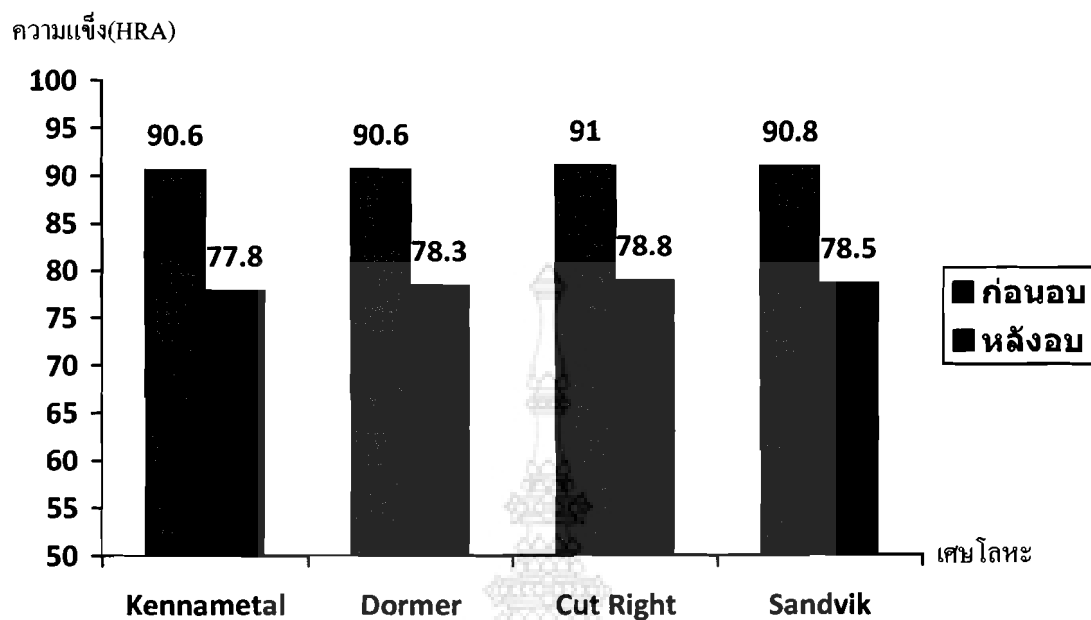
#### 7.2 ผลการทดสอบความแข็งของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์

ตารางที่ 7.1 ความแข็งของชิ้นงานก่อนอบ หน่วยที่ใช้คือ HRA (Hardness Rockwell scale A)

ชิ้นที่	ยี่ห้อ	แรงที่ใช้กด (kg/f)	ค่าเฉลี่ย
1	Kennametal	60	90.6
2	Dormer	60	90.6
3	Cut Right	60	91
4	Sandvik	60	90.8

ตารางที่ 7.2 ความแข็งของชิ้นงานหลังอบ หน่วยที่ใช้คือ HRA (Hardness Rockwell scale A)

ชิ้นที่	ยี่ห้อ	แรงที่ใช้กด (kg/f)	ค่าเฉลี่ย
1	Kennametal	60	77.8
2	Dormer	60	78.3
3	Cut Right	60	78.8
4	Sandvik	60	78.5



ภาพที่ 7.1 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความแข็งระหว่างชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ก่อนและหลังการอบให้ความร้อน

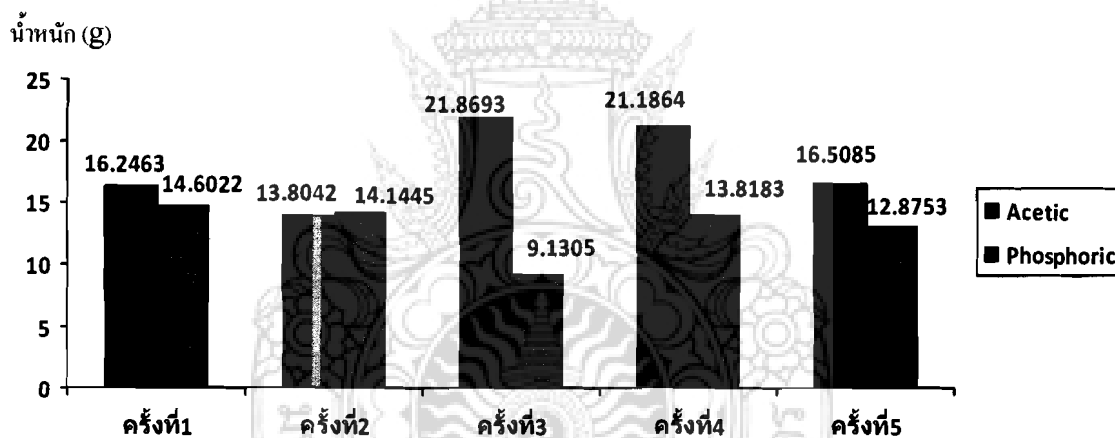
### 7.3 ผลการทดลองย่อยสลายด้วยไฟฟ้า

ตารางที่ 7.3 สรุปผลการทดลองกรดอะซิติก: กรดไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่น

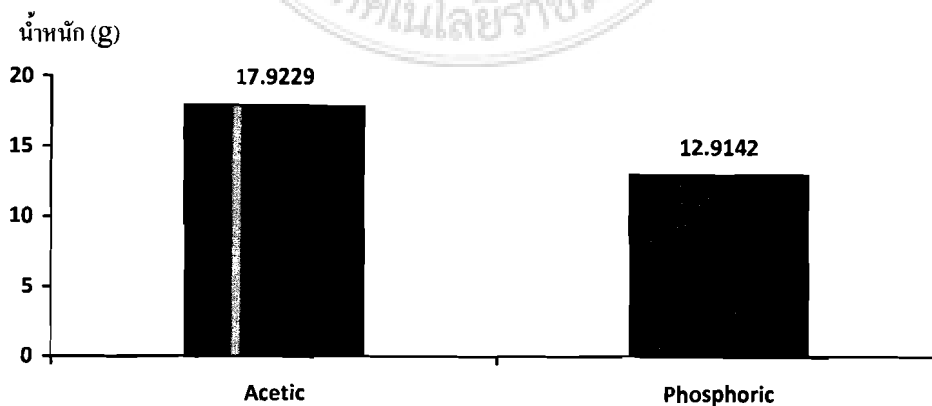
ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้า (V)		กระแสไฟฟ้า (A)		อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนัก (g)
	ปรับค่า	วัดได้เฉลี่ย	ปรับค่า	วัดได้เฉลี่ย		
1	24	18.4925	7	13.419	92	16.2463
2	24	20.300	7	7.7952	92.5	13.8042
3	24	19.1875	7	11.4481	100	21.8693
4	24	17.738	7	9.7115	94.8	21.1864
5	24	19.856	7	10.2793	102.5	16.5085
ค่าเฉลี่ย		19.1148		10.53062	96.36	17.9229

ตารางที่ 7.4 สรุปผลการทดลองกรดฟอสฟอริก: กรดไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่น

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้า (V)		กระแสไฟฟ้า (A)		อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนัก(g)
	ปรับค่า	วัดได้เฉลี่ย	ปรับค่า	วัดได้เฉลี่ย		
1	24	18.4750	7	14.684	101.25	14.6022
2	24	20.4320	7	15.231	105	14.1445
3	24	16.7354	7	12.648	95	9.1305
4	24	19.7980	7	13.784	100	13.8183
5	24	19.6490	7	12.862	96	12.8753
ค่าเฉลี่ย		19.0179		13.8418	100.65	12.9142



ภาพที่ 7.2 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักที่ลดลงระหว่างกรดอะซิติก: กรดไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่นและกรดฟอสฟอริก: กรดไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่น



ภาพที่ 7.3 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักลดลงเฉลี่ยระหว่างกรดอะซิติก: กรดไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่นและกรดฟอสฟอริก: กรดไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่น

ตารางที่ 7.5 ผลการทดลอง กรดไฮโดรคลอริก : T1 (60°C)

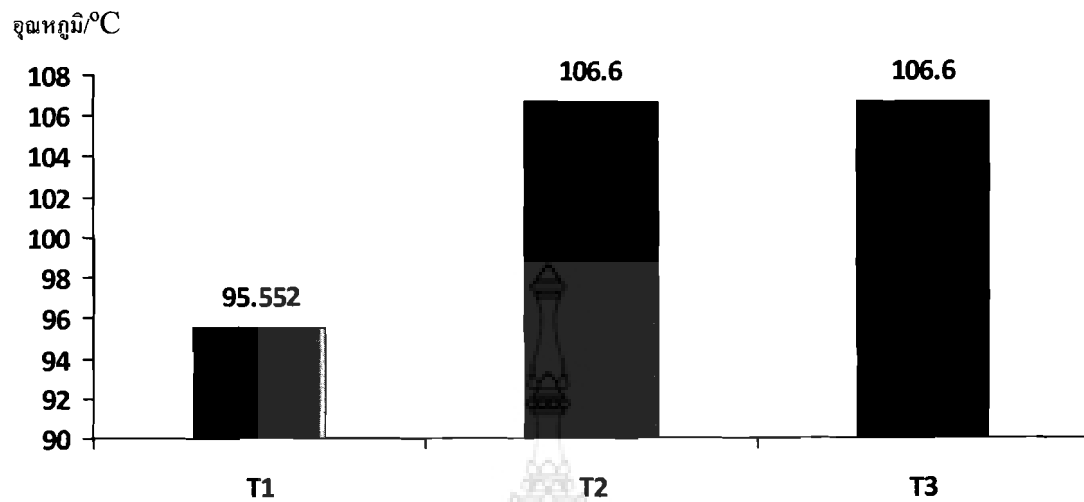
ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้า (V)		กระแสไฟฟ้า (A)		อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนัก (g)
	ปรับค่า	วัดได้เฉลี่ย	ปรับค่า	วัดได้เฉลี่ย		
1	24	8.25	1	14.40	97.5	9.1632
2	24	8.41	1	14.09	91.66	12.7276
3	24	7.62	1	23.40	97.5	12.6388
4	24	8.76	1	23.22	97.77	10.2667
5	24	6.72	1	19.1	93.33	12.6113
ค่าเฉลี่ย		6.2		18.842	95.552	11.4815

ตารางที่ 7.6 ผลการทดลอง กรดไฮโดรคลอริก : T2 (100°C)

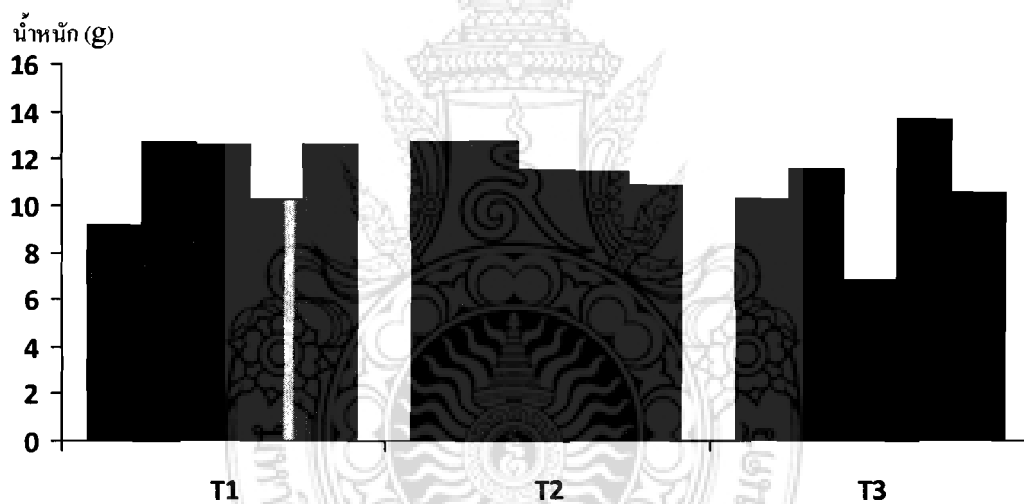
ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้า (V)		กระแสไฟฟ้า (A)		อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนัก (g)
	ปรับค่า	วัดได้เฉลี่ย	ปรับค่า	วัดได้เฉลี่ย		
1	24	7.78	1	17.26	108	12.7247
2	24	8.366	1	19.58	106	12.6624
3	24	8.41	1	20.4	105	11.4884
4	24	8.48	1	17.10	106	11.3865
5	24	8.27	1	19.88	108	10.7965
ค่าเฉลี่ย		8.2612		18.844	106.6	12.6117

ตารางที่ 7.7 ผลการทดลอง กรดไฮโดรคลอริก : T3 (120°C)

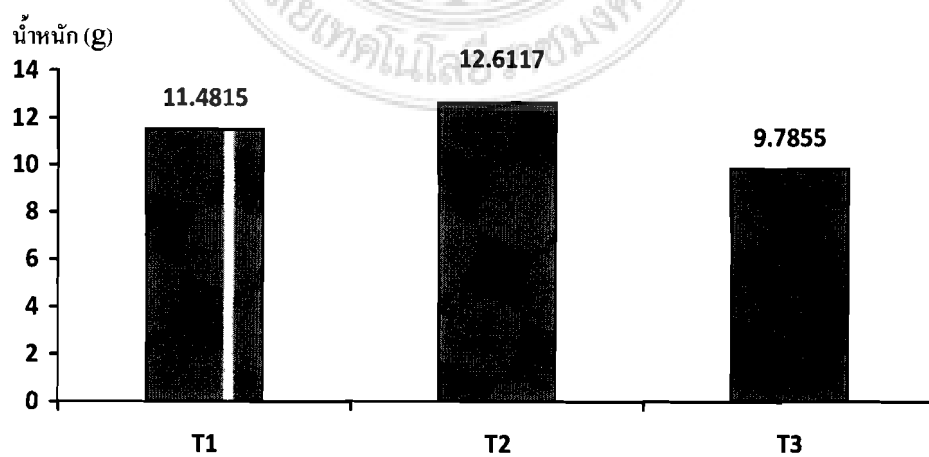
ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้า (V)		กระแสไฟฟ้า (A)		อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนัก (g)
	ปรับค่า	วัดได้เฉลี่ย	ปรับค่า	วัดได้เฉลี่ย		
1	24	7.95	1	21.48	106	11.5187
2	24	8.07	1	18.82	103	6.5541
3	24	8.35	1	19.25	108	6.7966
4	24	8.391	1	22.93	108	13.5886
5	24	8.33	1	20.14	108	10.4693
ค่าเฉลี่ย		8.2182		20.524	106.6	9.7855



ภาพที่ 7.4 แผนภูมิแสดงผลต่างของอุณหภูมิในการทดลองแต่ละครั้ง



ภาพที่ 7.5 แผนภูมิแสดงผลต่างของน้ำหนักในการทดลองแต่ละครั้ง



ภาพที่ 7.6 แผนภูมิแสดงผลต่างของน้ำหนักในการทดลองแต่ละครั้ง

#### 7.4 ผลการทดสอบผงโลหะที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 7.8 การวิเคราะห์ปริมาณของธาตุด้วยเทคนิค X-ray fluorescence (XRF)

ธาตุ	ปริมาณธาตุในตัวอย่าง (wt %)
O	28.91
Si	0.08
S	0.06
Cl	11.92
Ca	<0.01
Cr	0.58
Mn	<0.01
Fe	2.09
Co	2.10
Ni	0.20
Mo	<0.01
W	54.04
Total	100.00

ตารางที่ 7.9 การวิเคราะห์ปริมาณของธาตุด้วยเทคนิค X-ray fluorescence (XRF)

ธาตุ	ปริมาณธาตุในตัวอย่าง (wt %)
W	99
Ti	0.49
Co	ไม่พบ
Fe	ไม่พบ

ตารางที่ 7.10 ผลการวิเคราะห์เพื่อศึกษาองค์ประกอบด้วย X-Ray Diffractometer (XRD)

องค์ประกอบที่มีความเป็นไปได้	
ผงโลหะจากกระบวนการทดลอง	Tungstite - $WO_3 \cdot H_2O$ Tungsten Oxide - $WO_3$

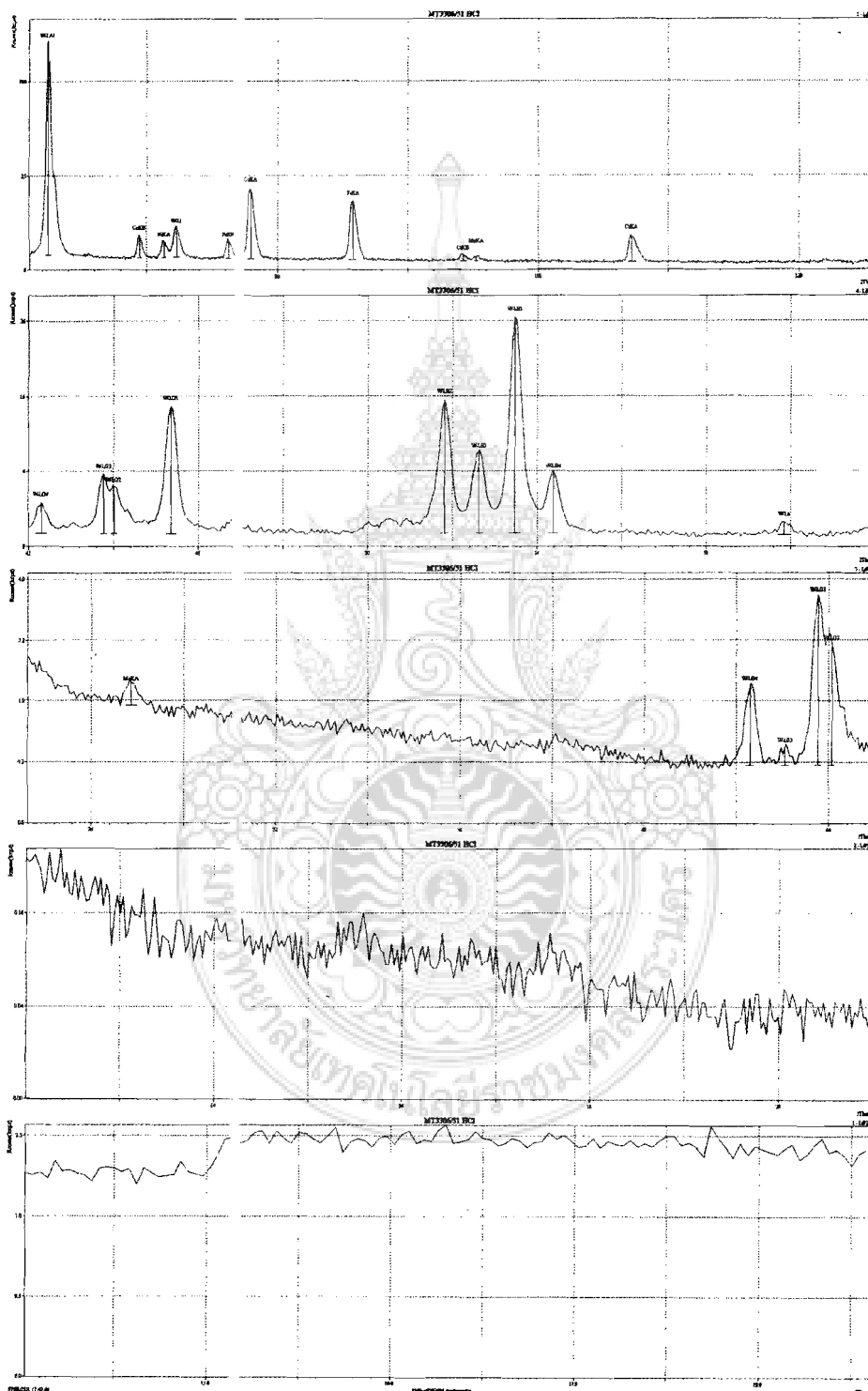
ตารางที่ 7.11 การวิเคราะห์ขนาดและการกระจายของอนุภาคผงโลหะ

	ขนาดอนุภาคผงโลหะจากการทดลอง			ขนาดอนุภาคเฉลี่ย
	1	2	3	
Volume mean diameter	76.05	75.76	73.95	75.25 ± 1.14
10 Volume % less than or equal	5.03	4.93	4.85	4.94 ± 0.09
50 Volume % less than or equal	51.16	51.16	50.21	50.89 ± 0.59
90 Volume % less than or equal	194.24	193.57	186.95	191.59 ± 4.03

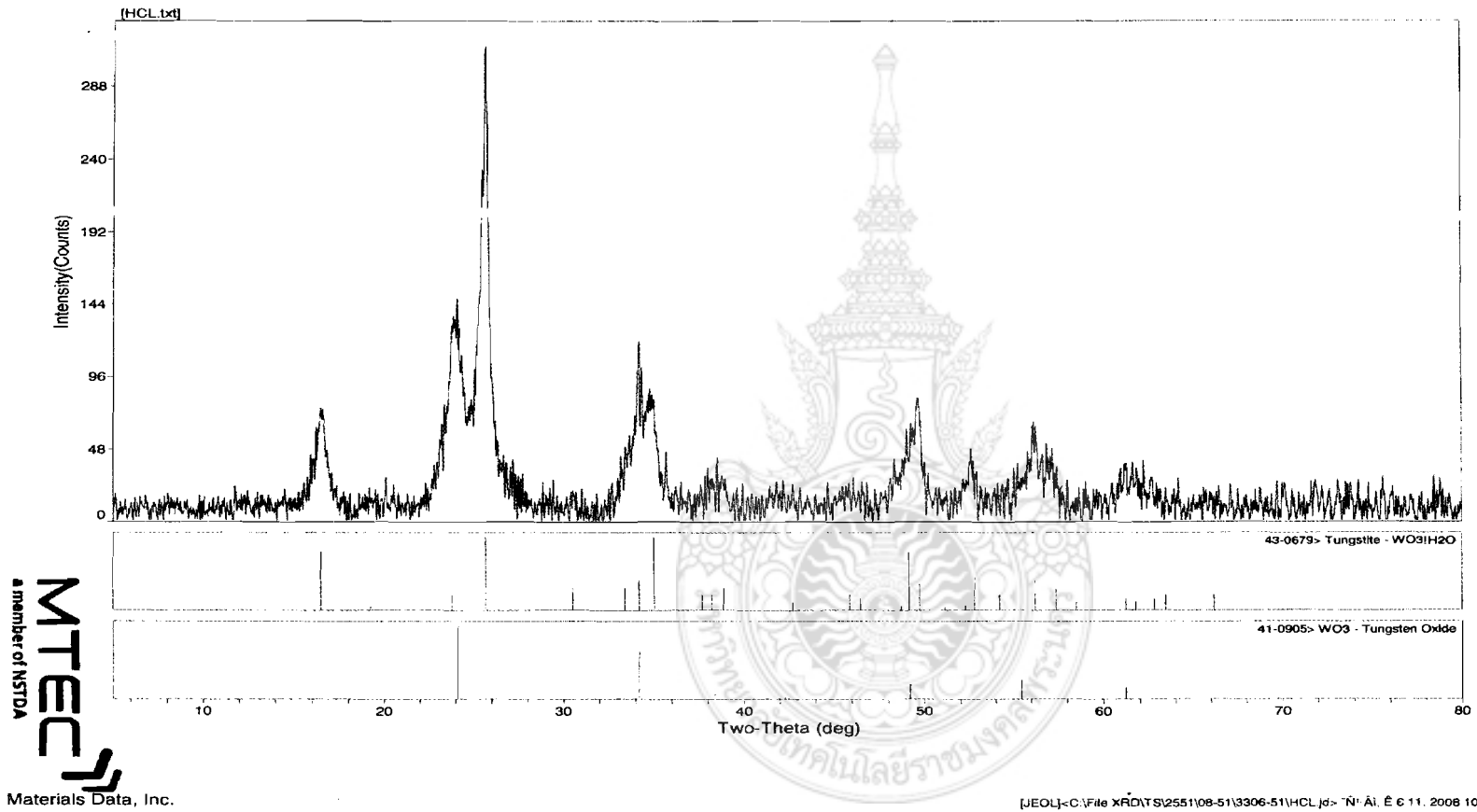
- หมายเหตุ 1) มีอนุภาคบางส่วนของตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกว่าขีดความสามารถของเครื่องมือที่จะทำการวัดได้ (0.5 – 900 ไมครอน)
- 2) ตัวอย่างผงโลหะนำมาร่อนผ่าน Sieve mesh no. 35 (500 ไมครอน)
- 3) 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่เล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์ได้  
50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่เล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์ได้  
90 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่เล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์ได้
- 4) เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ Laser diffraction technique จำนวนครั้งทดลอง 3 ครั้ง



เอกสารแนบที่ 2.1



ภาพที่ 7.7 ผลการตรวจสอบผงโลหะด้วย X-ray fluorescence



**MTEC**  
a member of NSTDA  
Materials Data, Inc.

เอกสารแนบที่ 1.1

[JEOL]-C:\File XRD\TS\2551\08-51\3306-51\HCL jd- 'N': Ai. E 6 11. 2008 10:16a (MDI/JADE8)

ภาพที่ 7.8 ผลการตรวจสอบผงโลหะด้วยวิธี X-Ray Diffract meter



เอกสารแนบที่ 1

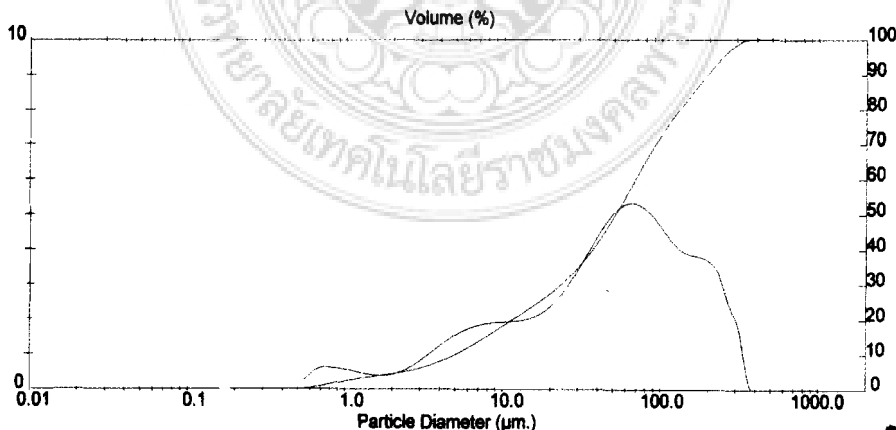
Result: Analysis Report

**Sample Details**  
 Sample ID: End mill Run Number: 2 Measured: Mon Jun 30 2008 1:32PM  
 Sample File: TS2971 Record Number: 2 Analysed: Mon Jun 30 2008 1:32PM  
 Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI-1\TECH\_51\ Result Source: Analysed  
 Sample Notes: Medium : Air  
 Feed rate : medium  
 Note : Sample was dried at 50 C, overnight  
 : End mill with HCl+H2O (not dried with oven)

**System Details**  
 Range Lens: 300 mm Beam Length: 2.40 mm Sampler: MS84 Obscuration: 29.5 %  
 Presentation: 3RHA [Particle R.I. = ( 1.4500, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.0000] Residual: 3.015 %  
 Analysis Model: Polydisperse  
 Modifications: None

**Result Statistics**  
 Distribution Type: Volume Concentration = 0.0403 %Vol Density = 1.000 g / cub. cm Specific S.A. = 0.5672 sq. m / g  
 Mean Diameters: D (v, 0.1) = 5.03 um D (v, 0.5) = 51.29 um D (v, 0.9) = 194.24 um  
 D [4, 3] = 76.05 um D [3, 2] = 10.58 um Span = 3.689E+00 Uniformity = 1.066E+00

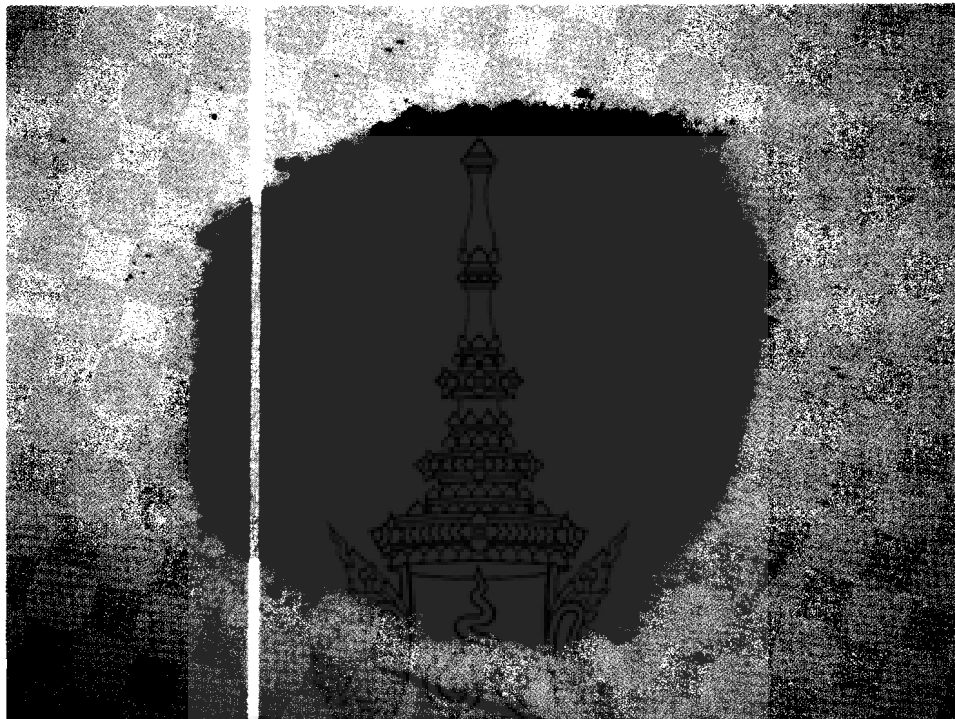
Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.49	0.28	0.58	0.28	22.49	2.78	26.20	32.04
0.58	0.50	0.67	0.78	26.20	3.23	30.53	35.27
0.67	0.64	0.78	1.42	30.53	3.74	35.56	39.00
0.78	0.81	0.91	2.03	35.56	4.26	41.43	43.26
0.91	0.57	1.06	2.60	41.43	4.74	48.27	48.00
1.06	0.51	1.24	3.12	48.27	5.10	56.23	53.11
1.24	0.45	1.44	3.57	56.23	5.30	65.51	58.40
1.44	0.40	1.68	3.97	65.51	5.29	76.32	63.69
1.68	0.40	1.95	4.38	76.32	5.10	88.91	68.79
1.95	0.45	2.28	4.83	88.91	4.77	103.58	73.56
2.28	0.57	2.65	5.40	103.58	4.36	120.67	77.91
2.65	0.74	3.09	8.14	120.67	4.02	140.58	81.93
3.09	0.96	3.60	7.10	140.58	3.85	163.77	85.78
3.60	1.19	4.19	8.29	163.77	3.78	190.80	89.56
4.19	1.41	4.88	9.71	190.80	3.63	222.28	93.19
4.88	1.60	5.69	11.31	222.28	3.17	258.95	96.37
5.69	1.74	6.63	13.05	258.95	2.27	301.68	98.64
6.63	1.64	7.72	14.89	301.68	1.36	351.48	100.00
7.72	1.89	9.00	18.78	351.48	0.00	409.45	100.00
9.00	1.91	10.48	18.69	409.45	0.00	477.01	100.00
10.48	1.93	12.21	20.62	477.01	0.00	555.71	100.00
12.21	1.96	14.22	22.59	555.71	0.00	647.41	100.00
14.22	2.04	16.57	24.63	647.41	0.00	754.23	100.00
16.57	2.19	19.31	26.82	754.23	0.00	876.67	100.00
19.31	2.44	22.49	29.26				



Malvern Instruments Ltd. Masterizer S Ver. 2.19  
 Malvern, UK  
 Tel: +44 (0)1684-892456 Fax: +44 (0)1684-892799  
 ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ National Science and Technology Development Agency  
 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง 114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand.  
 จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0-2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5 Tel. +66 2564 6500 Fax. +66 2564 6501-5 http://www.mtec.or.th

ภาพที่ 7.9 ผลการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายของอนุภาคผงโลหะ

### 7.5 ลักษณะของผงโลหะที่ได้จากการทดลอง



ภาพที่ 7.10 ลักษณะของผงโลหะที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย



ภาพที่ 7.11 บรรจุผงลงในภาชนะป้องกันความชื้น

## 7.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองการย่อยสลายชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ ด้วยวิธีการย่อยสลายด้วยไฟฟ้า โดยใช้กรดอะซิติกและกรดฟอสฟอริกผสมกรดไฮโดรคลอริกกับน้ำในอัตราส่วน 1: 1: 1 (100 ml. + 100ml. +100ml.) และใช้กรดไฮโดรคลอริกปริมาณ 300 ml โดยเพิ่มอุณหภูมิในการย่อยสลาย 3 ระดับคือ 60, 100, 120 องศาเซลเซียส ด้วยแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์

พอจะสรุปได้ว่าการเปรียบเทียบผลทดลองในรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 โดยการใช้กรดอะซิติกแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ จะมีการย่อยสลายได้ดีกว่ากรดฟอสฟอริกโดยจะดูที่น้ำหนักเฉลี่ยที่ย่อยสลายได้ จึงทำให้ผลของการแยกสลายของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ ได้ดีที่สุด

และการทดลองย่อยสลายโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเพิ่มอุณหภูมิในการย่อยสลาย 3 ระดับคือ 60, 100, 120 องศาเซลเซียส ด้วยแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ซึ่งจะดูได้จากรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ซึ่งการทดลองโดยใช้อุณหภูมิสูงสุดที่ 120 องศาเซลเซียสนั้นมีน้ำหนักน้อยกว่าการทดลองด้วย 60, 100, องศาเซลเซียส ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิในการย่อยสลายสูงไม่ทำให้การย่อยสลายดีขึ้นด้วย

ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบ น้ำหนักกับอุณหภูมิ ของการทดลองกรดอะซิติก: กรดไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่นกับกรดฟอสฟอริก: กรดไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่นและกรดไฮโดรคลอริก: 60, 100, 120°C ได้ค่า  $F_0$  จากการคำนวณ -5.42 มีค่าน้อยกว่า  $F_{0.05(4,20)} = 2.87$  ดังนั้นจึงยอมรับ  $H_0$  และสรุปว่าน้ำหนักในการทดลองการย่อยสลายชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ภาคผนวกที่ ง)

ดังที่กล่าวมาข้างต้นนั้นจะเป็นการสรุปผลต่างๆ ที่ได้จากการทดลองโดยจะมี ผลของการทดลองในแต่ละครั้งทั้งหมดแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มคือ กรดอะซิติกและกรดฟอสฟอริกผสมกรดไฮโดรคลอริกกับน้ำเป็น 2 กลุ่ม และกรดไฮโดรคลอริก โดยเพิ่มอุณหภูมิในการย่อยสลาย 3 ระดับคือ 60, 100, 120 องศาเซลเซียสอีก 3 กลุ่ม รวมเป็น 5 กลุ่ม อย่างละ 5 ชุด แต่ละชุดทดลอง 3 ชั่วโมงเพื่อที่จะนำมาหาผลการเปรียบเทียบของการทดลองในแต่ละครั้งของการทดลอง หรือการวิเคราะห์หาผลการทดลองที่ดีที่สุด และนอกจากนั้นยังมีการเปรียบเทียบผลความแข็งของชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ ก่อนอบและหลังอบทั้ง 2 เตา คือเตาสู่ญญากาศและเตาอบไฟฟ้า จากรูปที่ 4.1 ผลที่ได้จะเห็นว่าความแข็งจะลดลง

## บทที่ 8

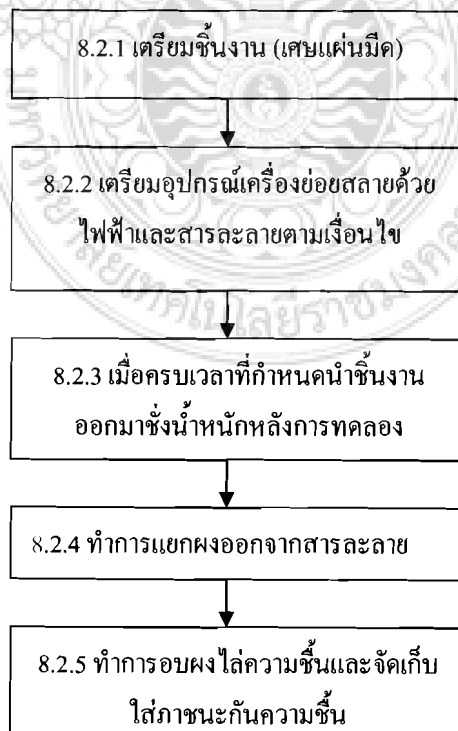
### การผลิตโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์

#### 8.1 การอภิปรายผลการทดลอง

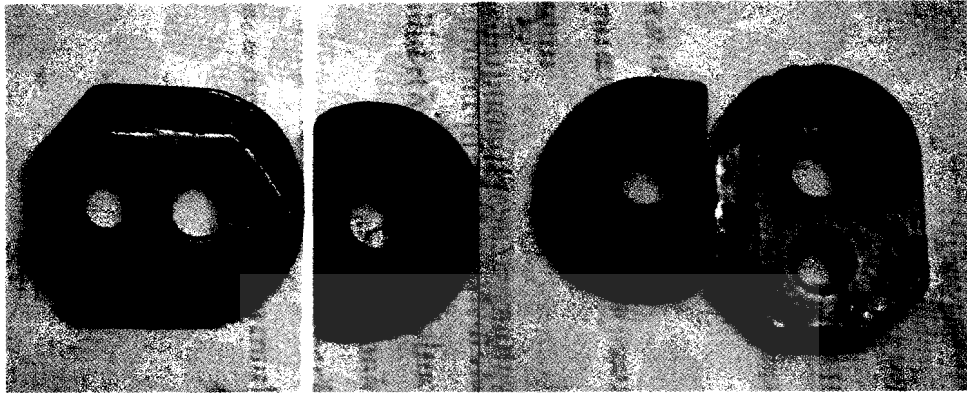
ในบทนี้จะเป็นการแสดงผลการดำเนินการที่กระทำตามขั้นตอนดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 โดยแบ่งผลการดำเนินการออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ผลการทดสอบ การทดลองย่อยสลายด้วยไฟฟ้า และการทดสอบคุณสมบัติด้วยเครื่อง X-Ray Diffract meter (XRD), X-ray fluorescence spectrometry (XRF), Scanning Electron Microscope : SEM และวัดขนาดอนุภาคด้วยวิธี Laser Diffraction Technique ขั้นตอนต่าง โดยจะอธิบายด้วยภาพและแผนภูมิ ผลของการย่อยสลายในการทดลองในแต่ละครั้ง จะสรุปผลและนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองแต่ละรูปแบบ สรุปผลของน้ำหนักที่ได้จากการทดลอง ผลจากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนมาเป็นเครื่องมือในการเปรียบเทียบ ผลการเปรียบเทียบของการทดลองในแต่ละครั้ง การวิเคราะห์หาผลการทดลองที่ดีที่สุด และผลการตรวจสอบคุณสมบัติของผงโลหะที่ได้จากการทดลอง

#### 8.2 ผลการปฏิบัติงานและขั้นตอนการทำงาน

ในแต่ละขั้นตอนการทำงานได้มีการเก็บภาพต่างๆตั้งแต่เริ่มการเตรียมอุปกรณ์จนถึงขั้นตอนการแยกสลายด้วยไฟฟ้าและการแยกผงออกจากสารละลายจนจบการทำงานได้ผงโลหะดังต่อไปนี้



### 8.2.1 การเตรียมชิ้นงานการทดลอง



ก่อนล้าง

หลังล้าง

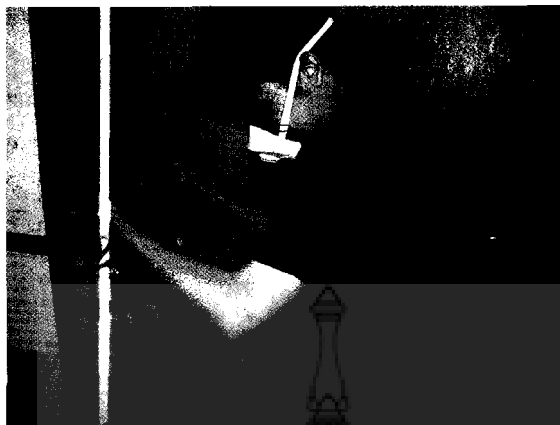
ภาพที่ 8.1 ล้างชิ้นงานในแอลกอฮอล์อุณหภูมิเย็น



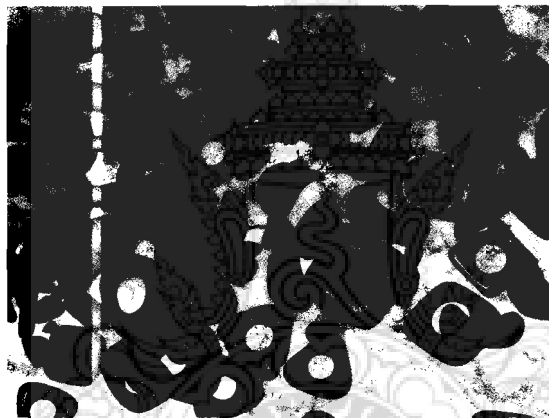
ภาพที่ 8.2 ชั่งน้ำหนักชิ้นงาน



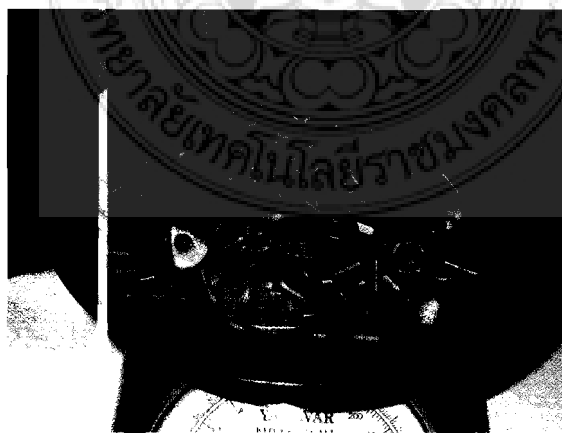
ภาพที่ 8.3 นำชิ้นงานใส่ใน Barrel



ภาพที่ 8.4 นำ Barrel และอุปกรณ์ทั้งหมดออกจากถัง



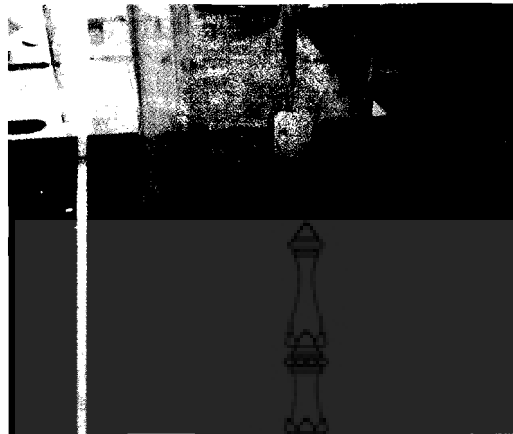
ภาพที่ 8.5 นำชิ้นงานมาเป่าให้แห้ง



ภาพที่ 8.6 นำชิ้นงานมาล้างหน้าหนักที่หายไป



## 8.2.2 ทำการแยกผงออกจากสารละลาย



ภาพที่ 8.7 แยกผงโลหะด้วยการล้างในแอลกอฮอล์และรองนตตะกอน

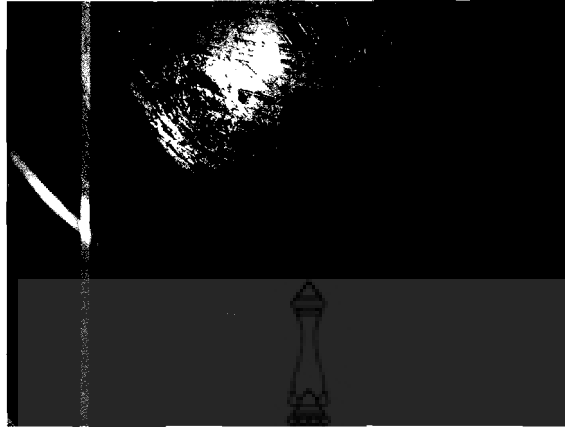
## 8.2.3 ทำการอบผงไล่ความชื้นและจัดเก็บด้วยภาชนะกันความชื้น



ภาพที่ 8.8 ผงที่ได้เมื่อยังไม่โดนความร้อน



ภาพที่ 8.9 การคนผงเมื่อโดนความร้อนไม่ให้เกิดการปะทุ



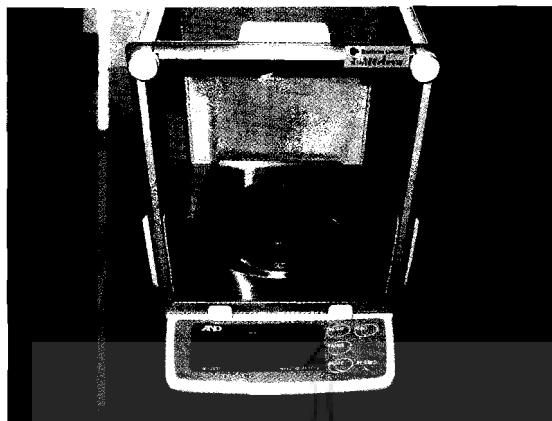
ภาพที่ 8.10 ผงที่ได้เมื่อ โคนความร้อนเพื่อไล่ความชื้น



ภาพที่ 8.11 เมื่อผงเริ่มแห้งจึงนำมาใส่ถ้วยทำการอบให้ความร้อนเพื่อไล่ความชื้น



ภาพที่ 8.12 ลักษณะของผงที่ได้จากการให้ความร้อนเพื่อไล่ความชื้น



ภาพที่ 8.13 ชั่งน้ำหนักถุงบรรจุผง



ภาพที่ 8.14 ชั่งน้ำหนักผงที่ได้จากการทดลอง



ภาพที่ 8.15 บรรจุผงในภาชนะป้องกันความชื้น

### 8.3 ผลของการแยกสลาย

ตารางที่ 8.1 บันทึกผลการทดลอง: กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 N / 0.4 v / 50°C

ครั้งที่	เวลา (ชม.)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรอบ/นาที (rpm)	น้ำหนัก ก่อน (g)	น้ำหนัก หลัง (g)	น้ำหนัก ลดลง (g)
			วัดค่าเฉลี่ย	วัดค่าเฉลี่ย				
1	12	0.4	0.5923	50	16	1500	1440	60
2	24	0.4	0.5213	50	16	1440	1370	130
3	36	0.4	0.5312	50	16	1370	1300	200
4	48	0.4	0.5518	50	16	1300	1235	265
ค่าเฉลี่ย		0.4	0.5491	50	16	1235		265

สรุปผลตาราง น้ำหนักที่หายไป 265 กรัม ได้ผงทั้งสเดน 135.14 กรัม สูญหาย 129.86 กรัม

ตารางที่ 8.2 บันทึกผลการทดลอง: กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 N / 0.4 v / 60°C

ครั้งที่	เวลา (ชม.)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรอบ/นาที (rpm)	น้ำหนัก ก่อน (g)	น้ำหนัก หลัง (g)	น้ำหนัก ลดลง (g)
			วัดค่าเฉลี่ย	วัดค่าเฉลี่ย				
1	12	0.4	0.7981	60	16	1500	1460	40
2	24	0.4	0.7564	60	16	1460	1410	90
3	32	0.4	0.7859	60	16	1410	1380	120
ค่าเฉลี่ย			0.7662	60	16	1380		120

สรุปผลตาราง น้ำหนักที่หายไป 130 กรัม ได้ผงทั้งสเดน 112.99 กรัม สูญหาย 17.01 กรัม

ตารางที่ 8.3 บันทึกผลการทดลอง: กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 N / 0.4v / 70°C

ครั้งที่	เวลา (ชม.)	แรงดัน ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า	อุณหภูมิ	ความเร็ว รอบ/ นาที (rpm)	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก
			(A)	(°C)		ก่อน	หลัง	ลดลง
			วัด ค่าเฉลี่ย	วัด ค่าเฉลี่ย		(g)	(g)	(g)
1	12	0.4	0.4531	70	16	1500	1460	40
2	24	0.4	0.4432	70	16	1460	1430	70
3	36	0.4	0.4214	70	16	1430	1400	100
4	48	0.4	0.4310	70	16	1400	1370	130
ค่าเฉลี่ย			0.4371	70	16	1370		130



**การวิเคราะห์ XRD:**

จากการวิเคราะห์เพื่อ ศึกษารายละเอียดของตัวอย่างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบที่มีความเป็นไปได้ แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบที่มีความเป็นไปได้ในตัวอย่าง

ตัวอย่าง	องค์ประกอบที่ตรวจพบได้ในตัวอย่าง (CPDS No.)
1A	Tungsten Carbide – WC, [73-0471] Lonsdaleite – C, [74-1602] Silicon Carbon – SiC, [08-1655]
2B	Tungsten Carbide – WC, [73-0471] Lonsdaleite – C, [74-1602]
3C	Tungsten Carbide – WC, [73-0471]
4D	Tungsten Carbide – WC, [73-0471]
5E	Tungsten Carbide – WC, [73-0471] Lonsdaleite – C, [74-1602] Aluminum Nitride – AlN, [80-0010]

ข้อคิดเห็น: -

**เอกสารแนบ:**

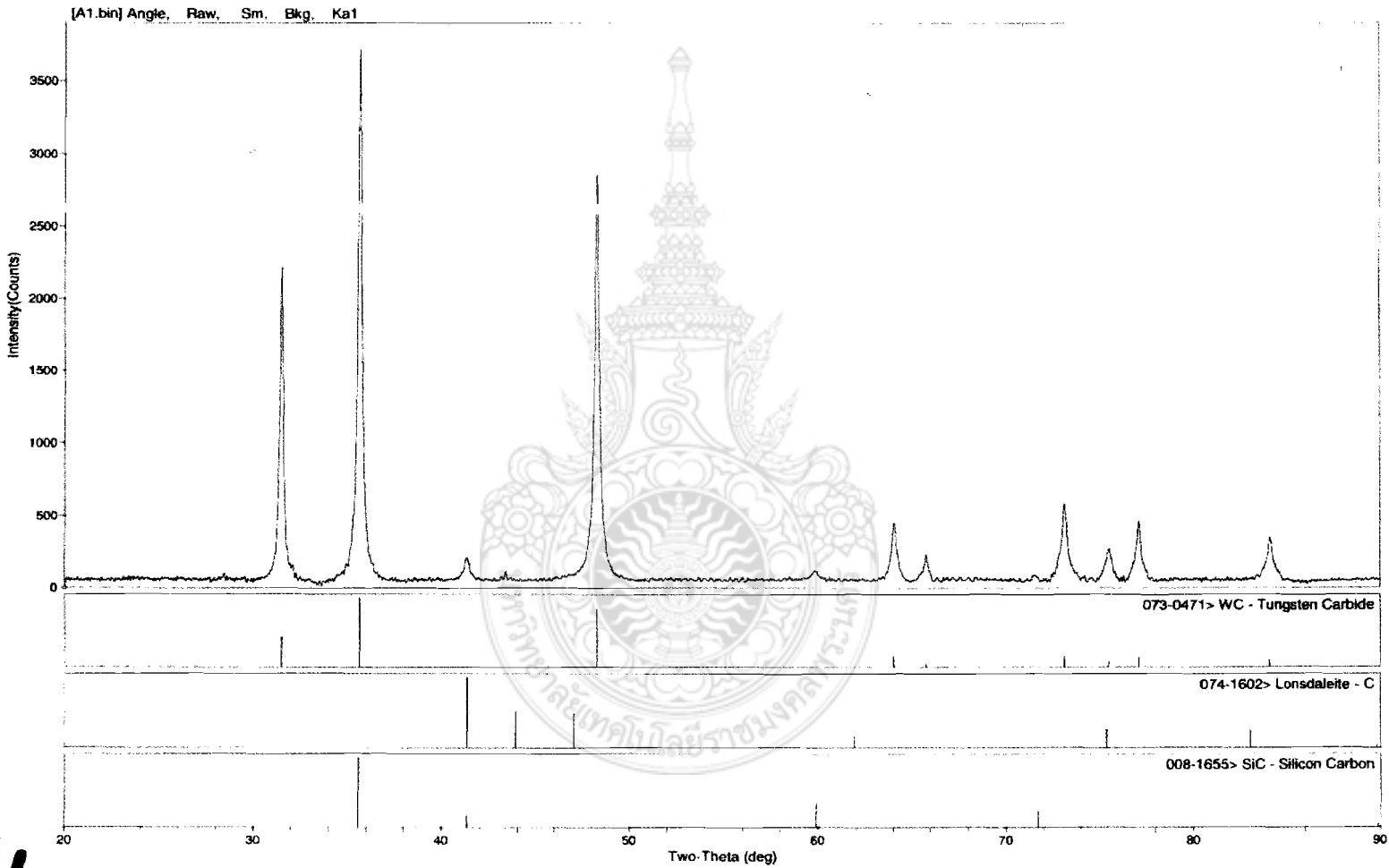
- เอกสารแนบที่ 1.1: Phase Identification Report ของ ตัวอย่าง 1A
- เอกสารแนบที่ 1.2: Peak Identification Report ของ ตัวอย่าง 1A
- เอกสารแนบที่ 2.1: Phase Identification Report ของ ตัวอย่าง 2B
- เอกสารแนบที่ 2.2: Peak Identification Report ของ ตัวอย่าง 2B
- เอกสารแนบที่ 3.1: Phase Identification Report ของ ตัวอย่าง 3C
- เอกสารแนบที่ 3.2: Peak Identification Report ของ ตัวอย่าง 3C
- เอกสารแนบที่ 4.1: Phase Identification Report ของ ตัวอย่าง 4D
- เอกสารแนบที่ 4.2: Peak Identification Report ของ ตัวอย่าง 4D
- เอกสารแนบที่ 5.1: Phase Identification Report ของ ตัวอย่าง 5E
- เอกสารแนบที่ 5.2: Peak Identification Report ของ ตัวอย่าง 5E

ภาพที่ 8.16 ผลการวิเคราะห์ด้วย XRD ปรากฏว่าโลหะที่ผลิตเป็นทั้งสแตนคาร์ไบด์(WC)

ภาพที่ 8.17 XRD ร้อยละกว่า ๑๑ โดหะเป็นทั้งสแตนคาร์ไบด์ มีคาร์บอนและ SiC ผสมเล็กน้อย

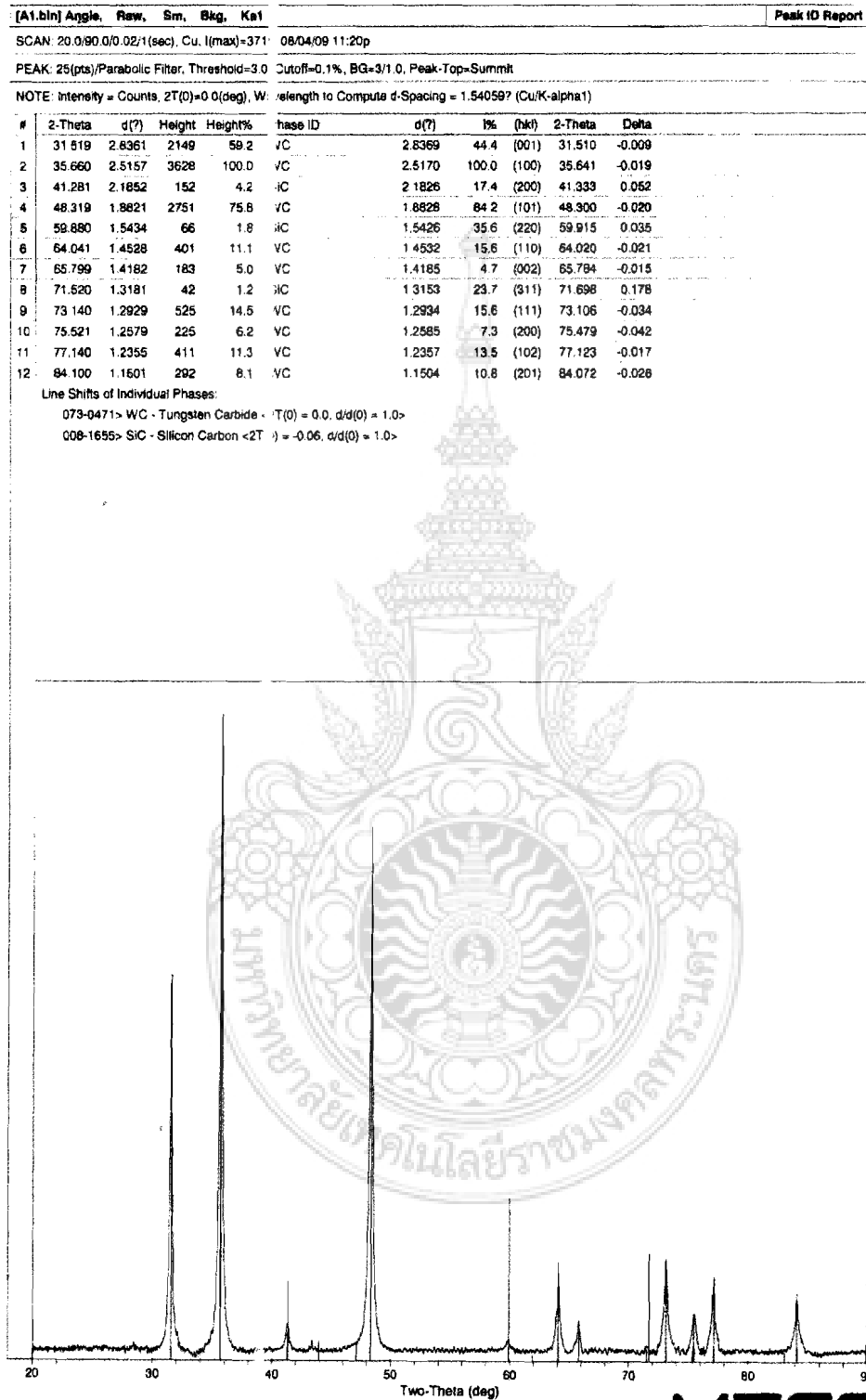


National Metal and Materials technology Center



[RIGAKU]Administrator<E:\File XRD-Ts\08-52\3125-52\A1.jd> Monday, August 17, 2009 09:35a (MD\JADE7)

## เอกสารแนบที่ 1.2



National Metal and Materials technology Center

[RIGAKU]Administrator\c:\e:\file\XRD-Te\08-52\3125-52\A1.d member of NSRF No.36a (MOJADE7)

ภาพที่ 8.18 XRD ผง โลหะชนิดทังสเตนคาร์ไบด์ (WC)



#### 8.4 ผลการทดสอบขนาดและการกระจายตัวของผงโลหะที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 8.4 ผลการทดสอบขนาดและการกระจายตัวของผงโลหะของตัวอย่าง 1 A

จำนวนครั้ง ในการวิเคราะห์	จำนวนการ วิเคราะห์ซ้ำ	D (4.3) ไมครอน	D (๖,๐.1) ไมครอน	D (๖,๐.5) ไมครอน	D (๖,๐.9) ไมครอน	Span
1	1	2.23	0.38	1.33	4.04	2.74
	2	2.02	0.34	1.31	3.59	2.49
	3	1.98	0.33	1.30	3.55	2.48
2	1	1.93	0.33	1.29	3.43	2.40
	2	2.14	0.16	1.27	4.11	3.11
	3	1.๙4	0.29	1.27	3.23	2.31
3	1	1.89	0.29	1.27	3.23	2.33
	2	1.84	0.27	1.25	3.13	2.28
	3	1.88	0.16	1.22	3.47	2.73
ค่าเฉลี่ย		1.97	0.28	1.28	3.53	2.54
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.14	0.08	0.03	0.34	0.27
% ค่าความผิดพลาด		6.94	27.06	2.67	9.75	10.68





**Result : Analysis Report**

เลขที่รายงานที่ 10

**Sample Details**

Sample ID : Sample 1A\_1      Measured : Friday, August 07, 2009 2:50:18 PM  
 Sample File : D:\Data Mastersizer2000\Technical service\TS\_52\TS3227\_52.mea      Analysed : Friday, August 07, 2009 2:50:20 PM  
 Sample Notes : Dispersion medium : De-ionized water  
 Additive : 0.1 %w/w Nonidet P40  
 Treatment : Stirring at 1500 rpm

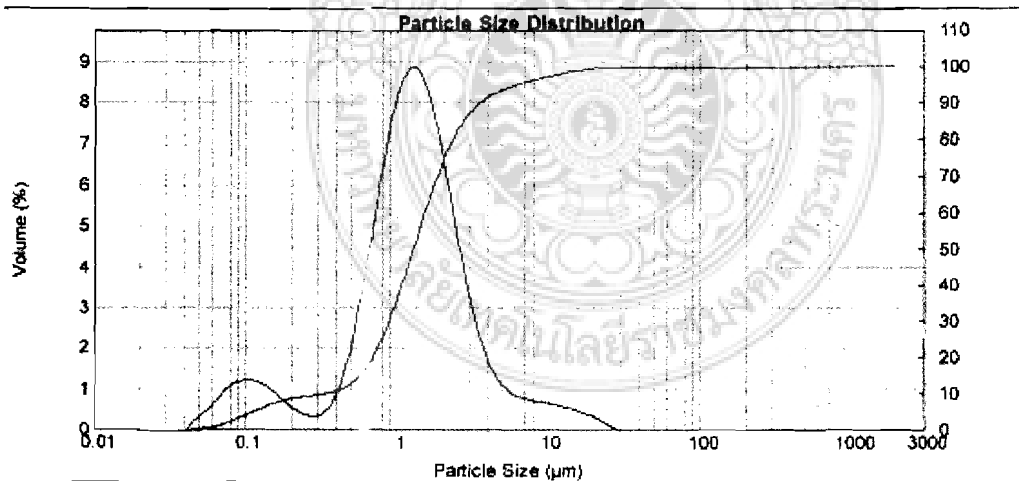
**System Details**

Accessory Name : Hydro 2000S (A)      Beam Length (mm) : 2.35      Obscuration (%) : 8.07      Residual (%) : 0.998  
 Particle RI : 2.194      Absorption : 0.1      Dispersant Name : Water      Dispersant RI : 1.330

**Result Statistics**

Distribution Type : Volume      Concentration : 0.0011 %Vol      Specific Surface Area : 10.2 m<sup>2</sup>/g  
 Mean Diameter :      D (0.1) : 0.34      μm      D (0.5) : 1.31      μm      D (0.9) : 3.59      μm  
 D [4,3] : 2.02      μm      D [3,2] : 0.59      μm      Span : 2.491      Uniformity : 0.976

Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
0.010	0.00	0.080	0.90	0.634	3.69	0.753	0.81	40.244	0.00	320.535	0.00
0.015	0.00	0.090	0.88	0.777	4.30	0.799	0.69	45.469	0.00	362.148	0.00
0.020	0.00	0.102	0.90	0.870	5.46	0.850	0.62	51.371	0.00	409.153	0.00
0.025	0.00	0.115	0.90	0.970	6.22	0.970	0.59	58.341	0.00	462.261	0.00
0.030	0.00	0.130	0.95	1.034	8.22	1.233	0.59	65.575	0.00	522.296	0.00
0.035	0.00	0.147	0.87	1.168	6.76	1.392	0.56	74.089	0.00	590.132	0.00
0.040	0.00	0.155	0.75	1.320	7.04	1.610	0.63	83.707	0.00	665.711	0.00
0.045	0.00	0.167	0.82	1.491	7.02	1.874	0.50	94.574	0.00	753.265	0.00
0.050	0.00	0.211	0.48	1.884	6.72	2.145	0.45	106.852	0.00	851.956	0.00
0.055	0.00	0.239	0.37	1.903	8.17	2.157	0.42	120.724	0.00	951.942	0.00
0.060	0.00	0.273	0.29	2.150	5.45	2.175	0.37	136.397	0.00	1066.372	0.00
0.065	0.00	0.305	0.27	2.429	4.62	2.429	0.31	154.104	0.00	1227.405	0.00
0.070	0.00	0.345	0.31	2.740	3.77	2.740	0.28	174.110	0.00	1386.753	0.00
0.075	0.16	0.389	0.48	2.977	2.97	2.977	0.17	196.714	0.00	1566.795	0.00
0.080	0.30	0.440	0.70	3.107	2.20	3.107	0.07	222.251	0.00	1770.189	0.00
0.085	0.43	0.487	1.21	3.603	1.72	3.603	0.01	251.105	0.00	2000.890	0.00
0.090	0.60	0.561	1.88	4.472	1.29	4.472	0.00	282.794	0.00		
0.095	0.77	0.634	2.87	5.059	1.00	5.059	0.00	320.535	0.00		



Mastersizer 2000 Ltd  
 Malvern, UK  
 Tel : +44 (0) 1684 852458 Fax +44 (0) 1684 852789

Mastersizer 2000 SW 3.14  
 Serial Number: MP41021434

File name: I52027\_52  
 Record Number: 311  
 07 Aug 2009 10:42:48 AM

ภาพที่ 8.19 ผลการตรวจสอบขนาดการกระจาย ของผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ RECYCLING

## 8.5 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการย่อยสลายชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์ ด้วยวิธีการย่อยสลายด้วยไฟฟ้า โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก 1 N และใช้กรดไฮโดรคลอริกปริมาณ 80 ลิตร โดยเพิ่มอุณหภูมิในการย่อยสลาย 3 ระดับคือ 50, 60, 70 องศาเซลเซียส ด้วยแรงดันไฟฟ้า 0.2, 0.4, 0.6 โวลต์

สรุปได้ว่าผลทดลองที่ได้จากการตรวจสอบสารประกอบ XRD แรงดันไฟฟ้า 0.4 โวลต์ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส สามารถผลิตโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์มีความบริสุทธิ์มากขึ้นเกือบ 100%



## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

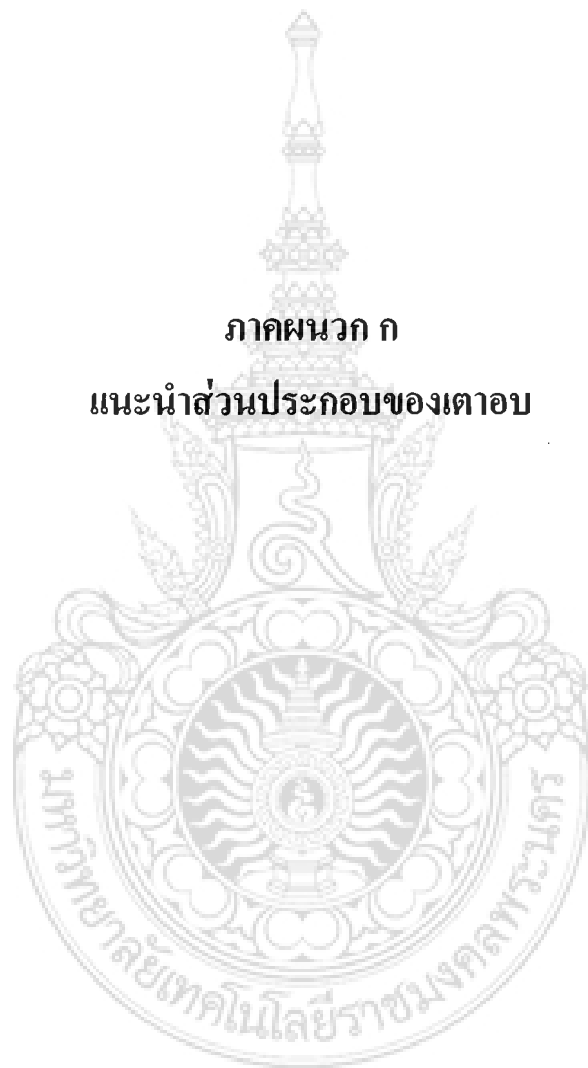
- [1] บุญจง ขาวสิทธิวงษ์. 2535, การวิเคราะห์ปัญหาอนามัยสิ่งแวดล้อมจากสารเคมีอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร: กองควบคุมวัตถุมีพิษและเคมีภัณฑ์ กรมโรงงานอุตสาหกรรม, หน้า 29-35.
- [2] บุญชม ศรีสะอาด, 2541, วิธีการทางสถิติสำหรับการวิจัย เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 2, มหาสารคาม: ภาควิชาพื้นฐานของการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [3] ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์, กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงสาธารณสุข.
- [4] สุธา สุทธิเรืองวงศ์, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ.
- [5] สุชาติา ชินะจิตร, 2525, อันตรายจากสารเคมี. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), หน้า 30.
- [6] อนุเชษฐ์ เพชรรัตน์ และ นพดล นาคสุทธิ, 2550, ศึกษาการแยกสลายชิ้นส่วนเครื่องมือตัดชนิดแผ่นมีดตัดด้วยวิธีเคมีไฟฟ้า, ปรินูญานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม การ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

### ภาษาอังกฤษ

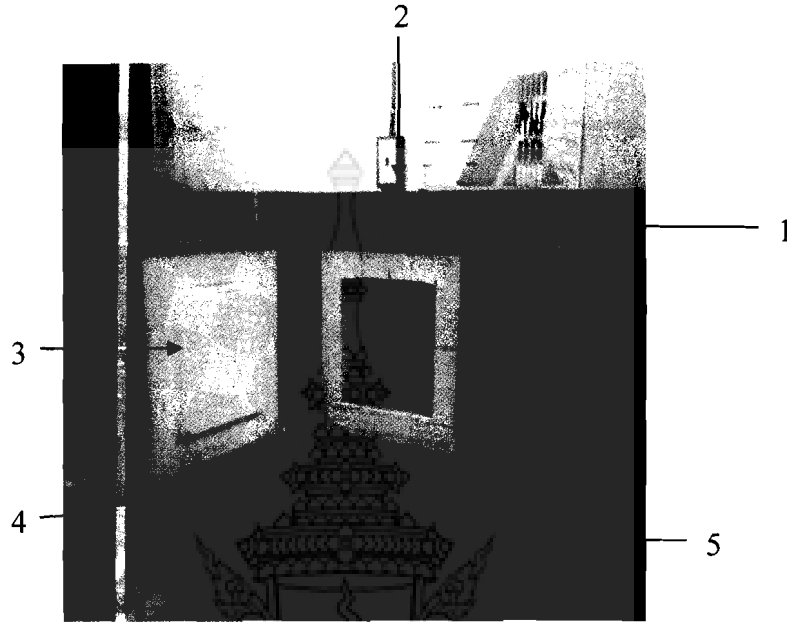
- [9] Erik Lassner, Wolf-Dieter Schubert, 1999, **Tungsten**, Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York
- [10] T. Kojima, T. Shimizu, R. Sasai, H. Itoh, **Recycling process of WC-Co cermets by hydrothermal treatment**, Ecotopia Science Institute, Division of Environmental Research, Nagoya University.
- [11] David L. Jones, 1995, **Chloride Assisted Hydrometallurgical Copper Extraction**, Delta, Canada US patent 5431788.
- [12] Erik Lassner, 1999, **From Tungsten Concentrates and Scrap to Highly Pure Ammonium Paratungstate**, Graz, Austria.

- [13] Jing-Chie Lin Jain-Yuan Lin and Shie-Peir Jou, 1996, **Selective dissolution of the cobalt binder from scraps of cemented tungsten carbide in acids**, Taiwan
- [14] John D. Voorhies, **Elerctrochemical and Chemical Corrosion of Tungsten Carbide (WC)**, Chemical Engineering Department, Stanford University, Stanford, California 94305
- [15] Masatoshi Nagai Michiko Yoshida and Hiroyuki Tominaga, **Tungsten and nickel tungsten carbides as anode Electrocatyldtd**, Graduate School of Bio-applications and Sysems Engineering, Tokyo University of Agriculture and technology, Tokyo, Japan
- [16] Sankaran Venkateswaran Wolf-Dieter Schubert & Benno Lux, 1995, **W-Scrap Recycling by the Melt Bath Technique**, Intitute for Chemical Technology of Inorganic Materials, Vienna University of Technology, A-1060 Vienna, Austria
- [17] T.Madhavi Latha and S. Venkatachalam, **Electrolytic Recovery of Tungsten and Cobalt from Tungsten Carbide Scrap**, Department of Metallurgical Engineering, Indian Institute of Technology, Bombay (India)
- [18] [http://en.wikipedia.org/wiki/Phosphoric\\_acid](http://en.wikipedia.org/wiki/Phosphoric_acid)
- [19] <http://en.wikipedia.org/wiki/Acetic>
- [20] <http://th.wikipedia.org/wiki/ทังสแตน>
- [21] <http://www.alldyne.com/Catalog/TungstenCarbidePowder.asp>
- [22] [http://www.buffalotungsten.com/html/tungsten\\_carbide.html](http://www.buffalotungsten.com/html/tungsten_carbide.html)
- [23] [http://www.cbcarbide.com/en/products\\_3.asp](http://www.cbcarbide.com/en/products_3.asp)
- [24] <http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrochloric>
- [25] <http://www.create-tool.com/english/products.html>
- [26] <http://www.questmetals.com/resources.aspx>
- [27] <http://www.tiwmo.com/tungsten.htm>
- [28] <http://www.amazon.com/Golfsmith-Tungsten-Powder-2-Pound/dp/B0000BYNW7>

ภาคผนวก ก  
แนะนำส่วนประกอบของเตาอบ

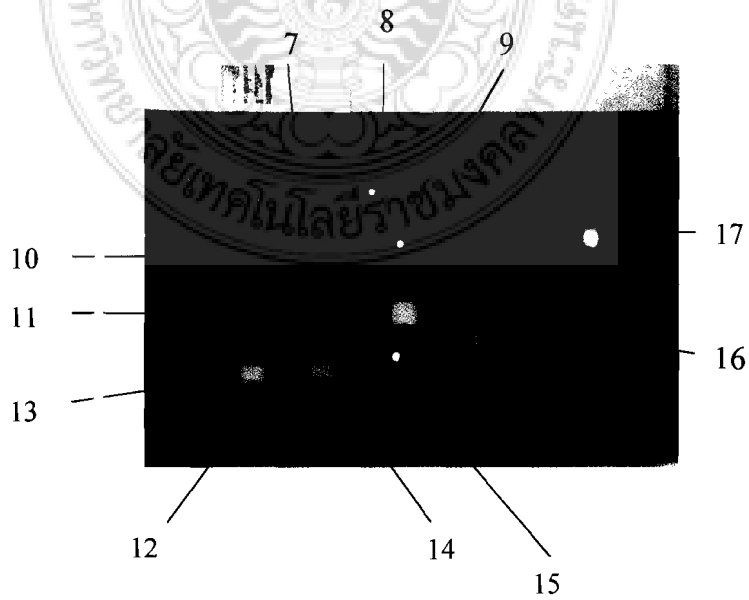


ก.1 แนะนำส่วนประกอบของเตา



รูปที่ ก.1 ภาพแสดงส่วนประกอบของเตา

ก.2 ส่วนประกอบชุดควบคุม MPR 2



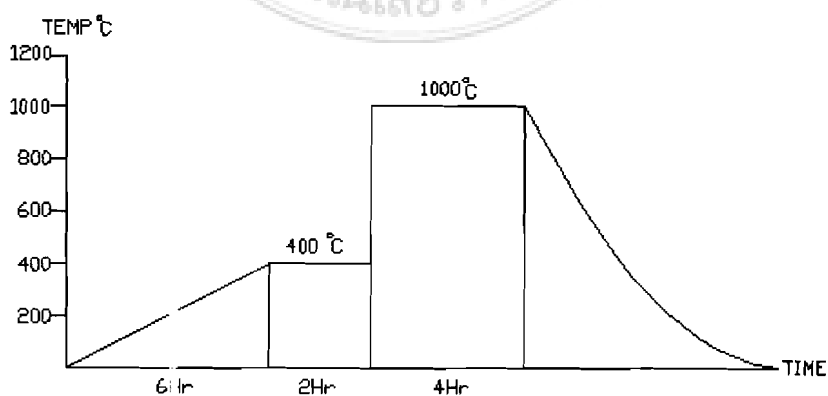
รูปที่ ก.2 ชุดควบคุม MPR 2 ของเตาอบไฟฟ้า

### ส่วนประกอบของเตา

1. ชุดควบคุม
2. ปล่องระบายอากาศ
3. ประตูเตา
4. สวิตช์ตัดไฟอัตโนมัติ
5. ขาดังเตา
6. ถาดความร้อน

### ส่วนประกอบของชุดควบคุม

7. จอภาพแสดงอุณหภูมิ
8. หลอดไฟฟ้าแสดงหมายเลขโปรแกรม
9. หลอดไฟฟ้าแสดงหมายเลขสวิตช์รีเลย์
10. หลอดไฟแสดงขั้นตอนการทำงาน
11. ล้อตั้งข้อมูลเพื่อโปรแกรม
12. ล้อตั้งเลือกการโปรแกรม
13. ปุ่มโปรแกรมเวลา
14. ปุ่มโปรแกรมอุณหภูมิ
15. ปุ่มเริ่ม/หยุด โปรแกรม
16. ปุ่มช่วยเหลือโปรแกรม
17. ปุ่ม เปิด-ปิด เครื่อง



รูปที่ ก.3 ตั้งโปรแกรมการอบ



### ก.3 ตั้งโปรแกรมเตาให้ทำงานดังนี้

เมื่อเตาผ่านการอุ่นครั้งแรกแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้น2ประการใหญ่ๆคือ

2.1 ความชื้นและสารอินทรีย์ในอิฐทนไฟและซีเมนต์ทนไฟจะลดลง

2.2 จะมีชั้นออกไซด์เกิดขึ้นรอบขดลวดความร้อนถ้าผิวออกไซด์ส่วนใดหลุดหายไปก็จะเกิดผิวใหม่ขึ้นมาแทน

ชุดควบคุมแบบMPR2 (ตามรูปที่ ก.2) สามารถทำงานได้ทั้งแบบแมนนวล และแบบอัตโนมัติ การติดตั้งค่าต่างๆที่จำเป็นมีรายละเอียดดังนี้

ตัวเลือกโปรแกรมหมายเลข 12 จะเป็นตัวชี้ว่าข้อมูลที่จะ โปรแกรมเข้าไปทางลือ 11 คือค่าอะไร โดยลือนี้จะตั้งค่าได้0-9และA-Fโดย

ตารางที่ ก.1 การตั้งค่าต่างๆของเตาอบไฟฟ้า

0	ใช้ควบคุมแบบแมนนวล
1-7	ใช้โปรแกรมค่าอุณหภูมิและเวลาในขั้นตอน1-7
8	ใช้ตรวจสอบค่าที่ตั้งไว้ทั้งหมด
9	ใช้โปรแกรมการควบคุมรีเลย์1-4
D-F	ใช้โปรแกรมค่าสำหรับPIDและเลือกหมายเลข โปรแกรม

### ก.4 การตั้งเวลา

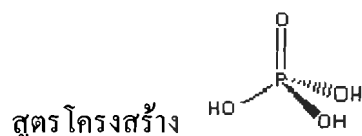
การตั้งเวลาสำหรับขั้นตอนที่ 1-7 ตั้งได้ละเอียดถึง 1 นาที โดยแบ่งตามเลขออกเป็น 2 ส่วน โดย 2 หลักซ้ายมีหน่วยเป็นชั่วโมง และ 2 หลักขวามีหน่วยเป็นนาที

ภาคผนวก ข  
สมบัติของกรณีที่ใช้ในการทดลอง



## 1. กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid)

ชื่อเคมีทั่วไป	Phosphoric acid
ชื่อพ้องอื่นๆ	White phosphoric acid; Orthophosphoric acid; Sonac; Phosphoric acid
สูตรโมเลกุล	$H_3PO_4$ in $H_2O$



ชื่อผู้ผลิต/นำเข้า JT Baker

การใช้ประโยชน์ (Uses) สารนี้นำไปใช้ในห้องปฏิบัติการ (Laboratory reagent)

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and chemical properties)

สถานะ	ของเหลว
สี	ใส ไม่มีสี
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
น้ำหนักโมเลกุล	98.00
จุดเดือด ( $^{\circ}C$ )	158

กรดฟอสฟอริก เป็นกรดชนิดหนึ่งที่ใช้กันในอุตสาหกรรมหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นผงซักฟอก สบู่ หรือแม้แต่ในน้ำอัดลม ฯลฯ กรดฟอสฟอริกมีสูตรโมเลกุล  $H_3PO_4$  น้ำหนักโมเลกุล 98.0 ความถ่วงจำเพาะ 1.834 ที่อุณหภูมิ  $18^{\circ}C$  จุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ  $42.35^{\circ}C$  เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ละลายได้ในน้ำและแอลกอฮอล์ หรือเป็นผลึกใสขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและอุณหภูมิ กรดฟอสฟอริก ร้อยเปอร์เซ็นต์ จะอยู่ในรูปผลึกใส กระบวนการผลิตเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดซัลฟิวริกหรือกรดเกลือ กับหินฟอสเฟต เราใช้กรดฟอสฟอริกในอุตสาหกรรมหลายประเภท ที่สำคัญ ได้แก่

- 1) ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสารพวกฟอสเฟต เช่น ที่ใช้ในผงซักฟอก สบู่ ปุ๋ย ใช้ผสมเป็นวัสดุอุดฟัน
- 2) ใช้ในอุตสาหกรรมโลหะ สำหรับขัดผิวโลหะ ชุบโลหะ กัดเงาชิ้นงานอะลูมิเนียม
- 3) เป็นส่วนผสมชนิดหนึ่งในน้ำอัดลม
- 4) ใช้เป็น Electrolyte สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid fuel cells หรือ PAFC) เซลล์เชื้อเพลิงนี้มักใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้าบางประเภทและในอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งบางชนิด

5) สารที่ใช้ในการทำความสะอาด (Cleaning agents) ในกระบวนการแปรรูป ผลิตภัณฑ์ สัตว์น้ำ

- 6) ใช้แก๊สค่า pH ของน้ำที่ใช้รดกล้วยไม้ (ในกรณีค่า pH สูง)
- 7) เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิวประเภทกรด
- 8) ใช้ในอุตสาหกรรมยา อาหาร

ถึงแม้ว่ากรดฟอสฟอริกจะมีประโยชน์หลายอย่างแต่ถ้าได้กรดชนิดนี้โดยตรงในปริมาณที่ มากพอ ก็สามารถจะก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้ อันตรายต่อผู้ที่สัมผัสอาจเกิดขึ้นได้โดย ทางการหายใจ การสัมผัสทางผิวหนังเป็นสำคัญ หากกินเข้าไปด้วยความตั้งใจหรือไม่ตั้งใจก็ตามจะ ทำให้ปวดท้องอย่างรุนแรงและรู้สึกคลื่นไส้ด้วย กรดฟอสฟอริกนอกจากจะเป็นอันตรายต่อระบบ ร่างกายต่าง ๆ ข้างต้นแล้ว ยังเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศน์ โดยถ้ามีกรดฟอสฟอริก ในแหล่งน้ำจะทำให้เกิดพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำโดยสารประกอบพวกฟอสเฟอรัสในแหล่งน้ำ จะทำให้ พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและทำให้ออกซิเจนไม่สามารถละลายในน้ำได้ หากมีการรั่วไหล ของกรดฟอสฟอริก ควรปฏิบัติดังนี้

- 1) ใช้เครื่องช่วยหายใจชนิดแบบเต็มหน้า แนะนำให้สวมแว่นตานิรภัย ถุงมือยาง เครื่องแบบ ผ้ากันเปื้อน ทำการดูดไอควันหรือฝุ่นออกให้เหลือน้อยที่สุด
- 2) กรณีระบายอากาศออกไปไม่ได้ถ้าความเข้มข้นสูงเกิน 12 ppm ให้ใช้เครื่องช่วยหายใจ หรือใส่ หน้ากากกันฝุ่นเพื่อไม่เสี่ยงที่จะได้รับอันตราย
- 3) ทำการระบายอากาศบริเวณที่เกิดเหตุทำให้สารที่หกเป็นกลาง ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางหรือ โซดาแอช หรือปูนขาว
- 4) สำหรับการปฐมพยาบาลผู้ที่ได้รับกรดฟอสฟอริกสามารถทำได้โดย  
กรณีเมื่อสูดดม ให้รับอากาศบริสุทธิ์ และนำส่งแพทย์  
กรณีเมื่อสัมผัสที่ดวงตา ให้ชะล้างออกด้วยน้ำที่ไหลผ่านอย่างน้อย 15 นาที โดยลืมตา กว้าง และนำส่งพบจักษุแพทย์ทันที

กรณีเมื่อสัมผัสสารที่ผิวหนังให้ชะล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก ทาด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอล 400 จากนั้นถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออกทันที

กรณีที่กลืนกินเข้าไป ถ้าผู้ป่วยยังมีสติให้ดื่มน้ำปริมาณมาก ๆ (หลายลิตรถ้าจำเป็น) ไม่ ควรทำให้อาเจียน (อาจทำให้เกิดการกัดทะเล) นำส่งแพทย์ทันที

จะเห็นได้ว่ากรดฟอสฟอริกมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ แต่ควรมีการใช้ในปริมาณที่ พอเหมาะและปฏิบัติตามคำแนะนำของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยต่อตัวเราเอง และสิ่งแวดล้อม

## 2. ไฮโดรคลอริก (Hydrochloric)

ชื่อเรียกอื่น	Muriatic acid; hydrogen chloride; Spirits of salts.
CAS No.	7647-01-0
สูตร โมเลกุล	HCl
น้ำหนักโมเลกุล	36.46
คุณสมบัติ	เป็นของเหลวใส มีไอสีเหลืองอ่อนหรือไม่มีสี มีกลิ่นฉุน

### 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and chemical properties)

สถานะ	ของเหลว, ก๊าซ
สี	ไม่มีสี
กลิ่น	ฉุน
นน.โมเลกุล	36.46
จุดเดือด	53°C
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง	-74°C
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1)	1.18
ความหนาแน่นไอ(อากาศ=1)	1.3
ความหนืด (mPa.sec)	0.0148
ความดันไอ(มม.ปรอท)	190ที่ 25°C
แฟกเตอร์แปลงหน่วย	1 ppm = 1.49มก./ม <sup>3</sup> หรือ 1 มก. /ม <sup>3</sup> =0.67 ppm ที่ 25°C

ข้อมูลทางกายภาพและเคมีอื่น ๆ สารนี้สามารถละลายได้ในเอทานอล

### ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and reaction)

ความคงตัวทางเคมี สารนี้มีความเสถียรภายใต้สภาวะปกติของการใช้และการเก็บ  
ภาชนะบรรจุของสารอาจเกิดการแตกออกและระเบิดได้เมื่อสัมผัสกับความร้อน

สารที่เข้ากันไม่ได้ โลหะ โลหะออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ เอมีน คาร์บอนเนต สารที่เป็นเบส  
และสารอื่น ๆ เช่น โซดาไฟ โซลไฟด์ และฟอสฟอไรต์

สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยงความร้อน และการสัมผัสโดยตรงกับแสง

สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว เมื่อสารนี้สัมผัสกับความร้อน จะเกิดการ  
สลายตัวและปล่อยฟลูม/ควันของไฮโดรเจนคลอไรด์ที่เป็นพิษและจะเกิดปฏิกิริยากับน้ำหรือไอน้ำ  
ทำให้เกิดความร้อน และเกิดฟลูมหรือควันของสารที่เป็นพิษและมีฤทธิ์การสลายตัวของสารจาก  
ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากความร้อนจะทำให้เกิดฟลูม/ควันของก๊าซไฮโดรเจนซึ่งสามารถระเบิด  
ได้

การใช้ที่ถูกกฎหมาย ใช้ในการผลิต Chloride และ Hydrochloride เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีและตัวทำละลายในการสังเคราะห์อินทรีย์สาร ฯลฯ กฎหมายควบคุม จัดเป็น วัตถุอันตราย ชนิดที่ 3 ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ.2535

#### 4. กรดอะซิติก (Acetic)

กรดน้ำส้ม หรือที่เรียกกันตามระบบว่า กรดอะซิติก เป็นสารประกอบเคมีอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ที่มีอยู่ในน้ำส้มสายชู คือให้รสเปรี้ยวและกลิ่นฉุน กรดอะซิติกแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 16.7°C มีลักษณะเป็นผลึกใส กรดชนิดนี้มีฤทธิ์กัดกร่อน ไอของกรดสามารถทำให้ตาและจมูกระคายเคือง แต่ก็ยังมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนหากละลายน้ำ ซึ่งมีประโยชน์มากในการขจัดตะกรันในท่อน้ำ ในด้าน

อุตสาหกรรมอาหาร กรดอะซิติกใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหารเพื่อควบคุม

ชื่อตามระบบ	กรดอะซิติกกรดเอทานอิก
สูตรโมเลกุล	CH <sub>3</sub> COOH
สูตร โครงสร้างแบบ	SMILES CC(=O)O
มวล โมเลกุล	60.05 g/mol
ลักษณะภายนอก	ของเหลวไม่มีสีหรือผลึก
ความหนาแน่นและสถานะ	1.049 g/cm <sup>3</sup> เมื่ออยู่ในสถานะของเหลว 1.266 g/cm <sup>3</sup> เมื่ออยู่ในสถานะของแข็ง
จุดหลอมเหลว	16.7? C (289.9 K)(62.1 °F)
จุดเดือด	118.1 °C (391.2 K)(244.6 °F)
ความหนืด	1.22 mPa s at 25 °C

#### 5. คำแนะนำในการใช้สารเคมี

เนื่องจากการทดลองทางเคมีต้องเกี่ยวข้องกับสารเคมีเป็นส่วนใหญ่ นักศึกษาจึงควรทราบคำแนะนำต่างๆ ในการใช้สารเคมี เพื่อยึดเป็นหลักปฏิบัติดังนี้

5.1 ให้ปิดป้ายชื่อสารเคมีที่ภาชนะบรรจุสาร เพื่อจะได้ทราบว่าภายในภาชนะดังนี้อย่างกล่าว ในการนั้น บรรจุสารเคมีชนิดใดไว้

5.2 ก่อนใช้สารเคมีใดๆ ควรอ่านชื่อบนฉลากให้แน่ใจว่าเป็นสารเคมีที่ต้องการใช้ในการทดลองหรือไม่ พร้อมทั้งอ่านข้อความหรือเครื่องหมายเกี่ยวกับข้อควรระวังต่างๆ ด้วย และเมื่อต้องการจะปิดฝาก็ควรอ่านฉลากอีกครั้งหนึ่ง

5.3 อย่าใช้สารเคมีที่บรรจุอยู่ในภาชนะที่ปิดฉลากป้ายชื่อไม่ชัดเจนเพราะหากหยิบไปใช้ผิดอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุได้

5.4 อย่าใช้สารเคมีมากกว่าเกินปริมาณที่กำหนดไว้ในการทดลองเพราะอาจทำให้ผลการทดลองนั้นมีความผิดพลาดและเกิดอันตรายได้ รวมทั้งห้ามเทสารส่วนที่เกินมากกลับคืนลงในภาชนะอันเดิม เนื่องจากสารดังกล่าวอาจถูกเปลี่ยนสภาพไปจากเดิมเมื่อสัมผัสอากาศหรือความชื้น

5.5 อย่าแตะต้องสารเคมีโดยไม่จำเป็น เพราะสารเคมีแต่ละชนิดล้วนมีอันตรายทั้งสิ้นไม่มากก็น้อย

5.6 หากมีสารเคมีหรือสิ่งอื่นใดหกเลอะเทอะ ให้รีบทำความสะอาดโดยทันที

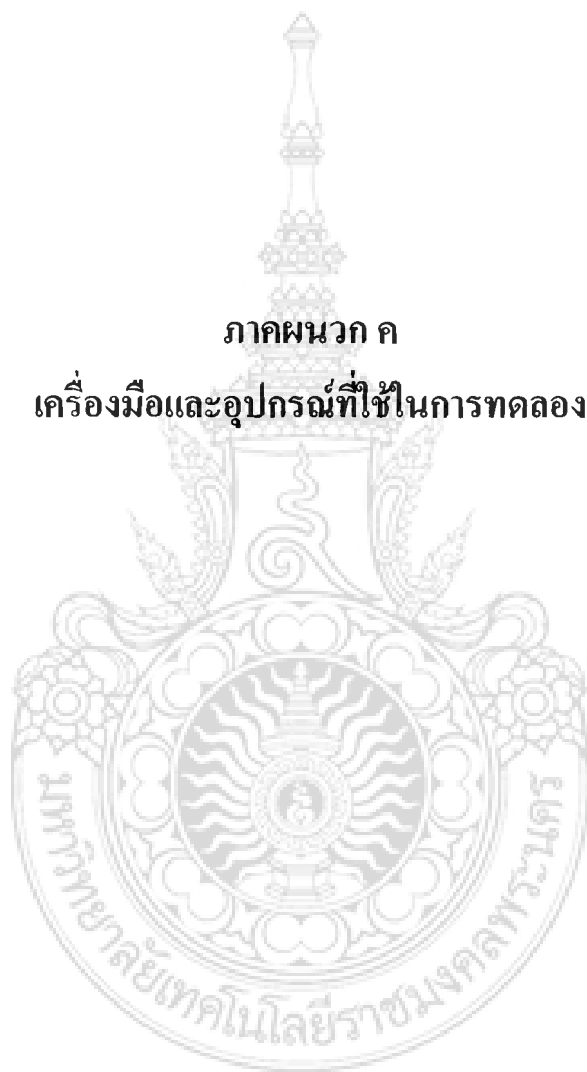
5.7 หลังจากใช้สารเคมีแล้วให้รีบปิดฝาขวดโดยทันที เพื่อป้องกันความชื้นและการระเหยออกไปของสาร (หากเป็นของเหลว) รวมทั้งเป็นการป้องกันไม่ให้ผงฝุ่นและสิ่งเจือปนต่างๆตกลงมาในขวดสารเคมีได้

5.8 อย่าใช้ช้อนตักสารหรือหลอดหยด ที่ใช้กับสารเคมีชนิดหนึ่งไปใช้ร่วมกับสารเคมีอีกชนิดหนึ่ง เพราะจะทำให้สารเคมีชนิดหลังไม่บริสุทธิ์ (เกิดการปนเปื้อน) และอาจก่อให้เกิดแก๊สพิษหรือปฏิกิริยาที่รุนแรงขึ้นมาได้

5.9 เมื่อต้องการถ่ายเทปริมาณสารเคมีต่างๆ ด้วยปิเปตต์ ควรใช้ลูกยางดูดสาร ห้ามใช้ปากดูดปิเปตต์โดยเด็ดขาด

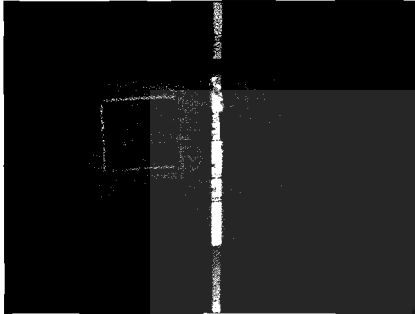
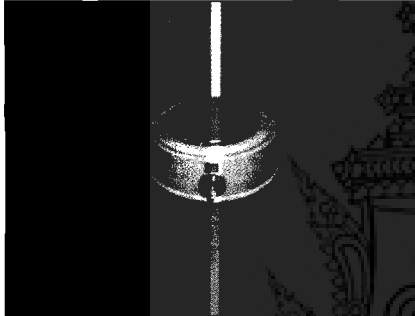
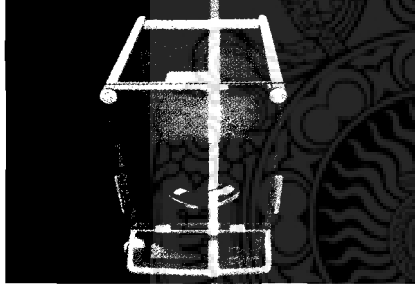

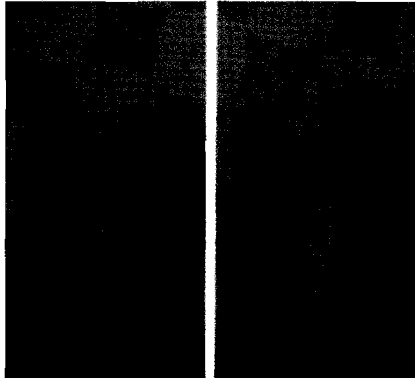
5.10 การถ่ายเทสารชนิดหนึ่งลงสู่สารอีกชนิดหนึ่งนั้น ควรเทสารผสมกันทีละน้อยในครั้งแรก เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ ละหากไม่มีอันตรายเกิดขึ้นให้เทสารต่อไปได้เรื่อยๆทีละน้อย แต่หากมีอะไรผิดปกติหรือเกรงว่าจะมีอันตรายเกิดขึ้นให้ปรึกษาอาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการก่อนที่จะเติมสารจำนวนต่อไป

ภาคผนวก ค  
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

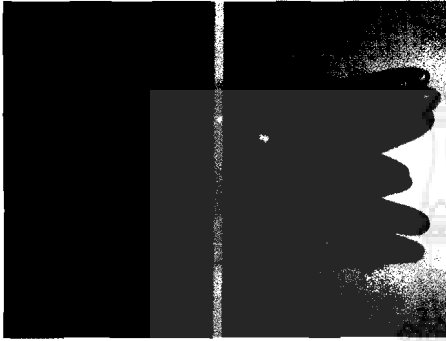
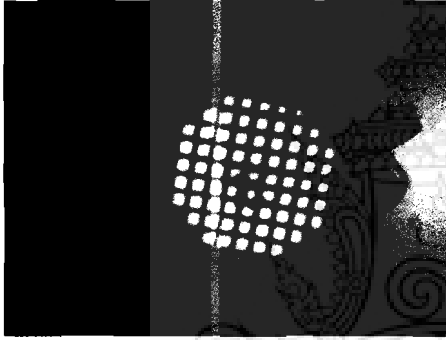
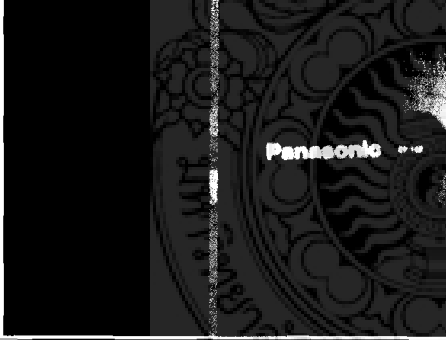
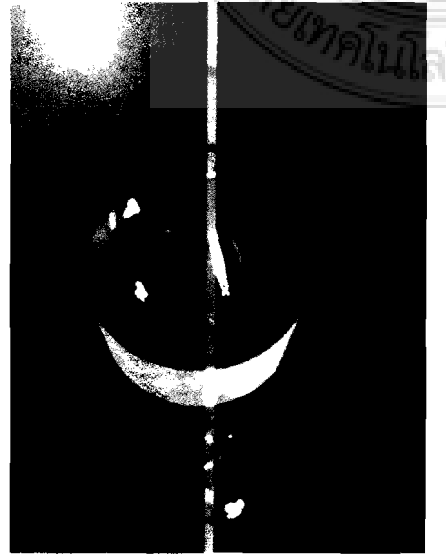




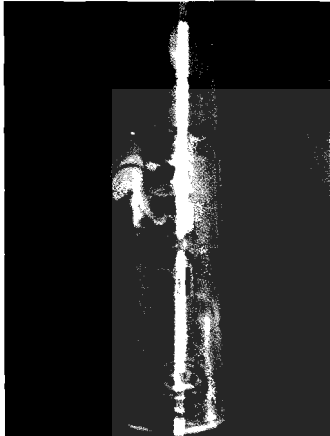
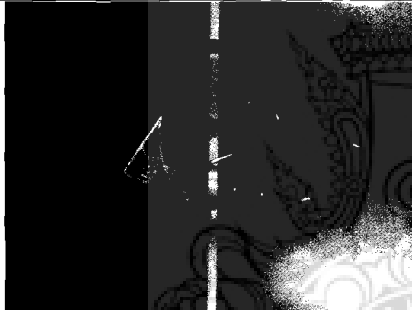
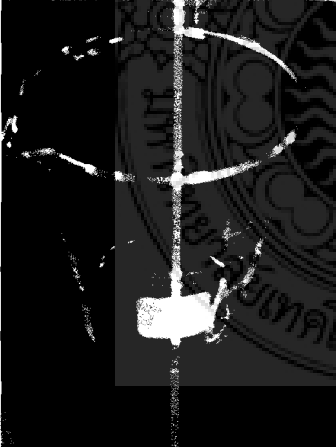

ตารางที่ ค.1 แสดงอุปกรณ์ในการทดลอง

ลำดับ	รูปภาพ	คำอธิบาย
1		<p>เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าขนาด 24 V. 30 A.</p>
2		<p>เตาไฟฟ้า</p>
3		<p>เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.0001 กรัม</p>
4		<p>แว่นตาค้นสารเคมี</p>
5		<p>ชิ้นส่วนทั้งสแตนคาร์ไบด์</p>

ตารางที่ ค.1 แสดงอุปกรณ์ในการทดลอง(ต่อ)

ลำดับ	รูปภาพ	คำอธิบาย
6		<p>ถุงมือกันกรด</p>
7		<p>หน้ากากกันไอระเหยสารเคมี</p>
8		<p>ไฟฉาย</p>
9		<p>ขวดแก้วใส่สารละลายในการทดลอง</p>



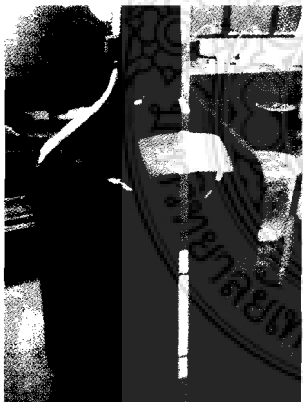
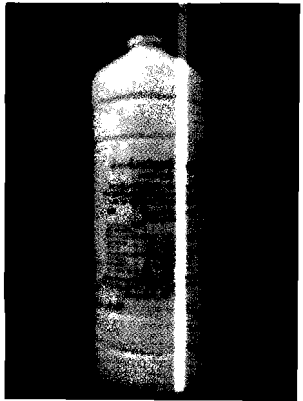
ตารางที่ ค.1 แสดงอุปกรณ์ในการทดลอง(ต่อ)

ลำดับ	รูปภาพ	คำอธิบาย
10		น้ำมันกันสนิม
11		สำหรับเป่าชิ้นงานให้แห้ง
12		บีกเกอร์ที่ใช้ในการทดลอง
13		ขวดพลาสติก (ชนิด PP) 1000 ml. 500 ml.

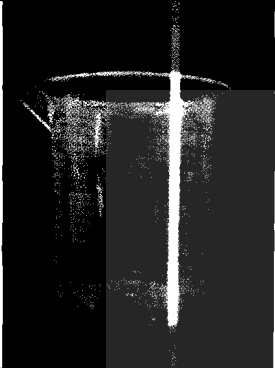

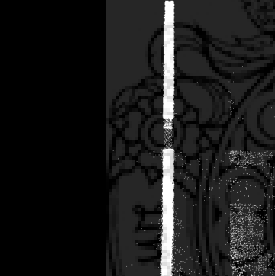
ตารางที่ ค.1 แสดงอุปกรณ์ในการทดลอง(ต่อ)

ลำดับ	รูปภาพ	คำอธิบาย
14		<p>ปรอทวัดอุณหภูมิ 0 ถึง 200°C 0 ถึง 300 °C</p>
15		<p>จุดสำหรับเก็บบีกเกอร์และสารละลาย</p>
16		<p>กรวดฟอสฟอริก</p>
17		<p>แคลมป์มิเตอร์/คิจิตอล</p>

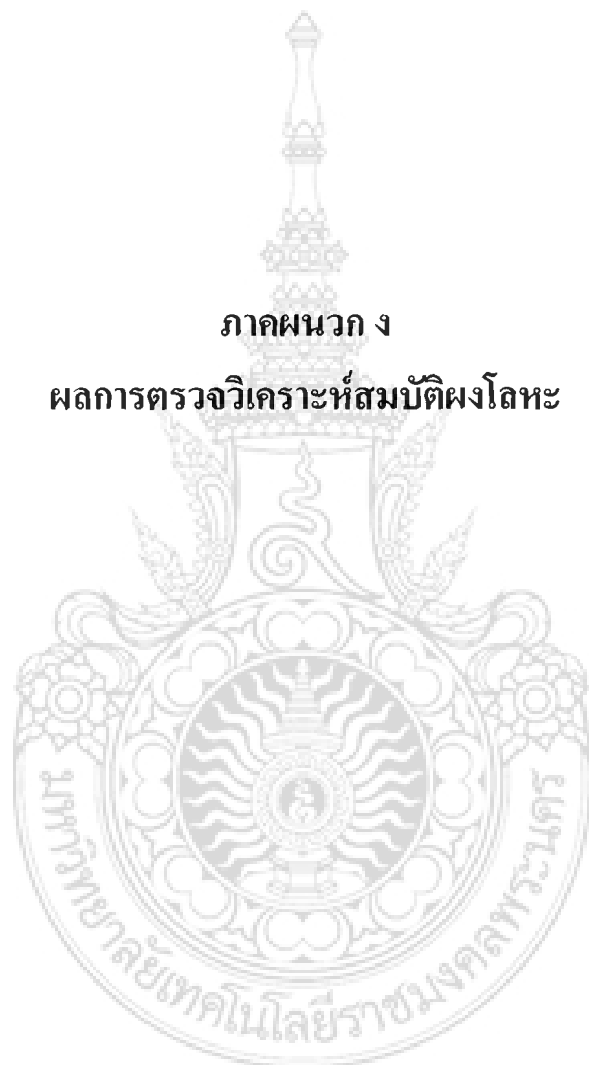
ตารางที่ ค.1 แสดงอุปกรณ์ในการทดลอง(ต่อ)

ลำดับ	รูปภาพ	คำอธิบาย
18		<p>โครงงานชิ้นงานในการทดลอง</p>
19		<p>เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 2 กิโลกรัม</p>
20		<p>แฮตทอชอกล์</p>
21		<p>น้ำกลั่น</p>

ตารางที่ ค.1 แสดงอุปกรณ์ในการทดลอง(ต่อ)

ลำดับ	รูปภาพ	คำอธิบาย
22		<p>บีกเกอร์พลาสติกชนิด PP</p>
23		<p>ห้องสำหรับทำการทดลอง</p>
24		<p>แท่งคาร์ไบด์ที่นำมาใช้เป็นแคโทด</p>

ภาคผนวก ง  
ผลการตรวจวิเคราะห์สมบัติผงโลหะ



## ง.1 ผลการตรวจขนาดอนุภาคของผง



MTEC No. 2971/51

### รายงานผลการวิเคราะห์

วันที่รายงาน	:	1 กรกฎาคม 2551
ตัวอย่างจาก	:	คุณสหรัตน์ วงษ์ศรีษะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถ.พินุลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ : 08 1889 1409 โทรสาร : 0 2913 2424 ต่อ 175
ทดสอบโดย	:	ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของผง งานห้องปฏิบัติการเครื่องมือทดสอบทั่วไป ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
วันที่รับตัวอย่าง	:	27 มิถุนายน 2551
วันที่วิเคราะห์	:	30 มิถุนายน 2551
ตัวอย่างที่วิเคราะห์	:	ผงโลหะ จำนวน 1 ตัวอย่าง
การบ่งชี้ตัวอย่าง	:	End mill คิวยสาร HCl + H <sub>2</sub> O (ไม่อบ)
เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์	:	Mastersizer-S, Malvern Instruments Limited.
เทคนิคในการวิเคราะห์	:	Laser diffraction Technique
สถานะที่ใช้ในการวิเคราะห์	:	He-Ne laser source, $\lambda$ : 633 nm, Beam Length : 2.40 mm. Particle size range analysis : 0.5 – 900 $\mu$ m. Dry powder feeder unit (MS64) Dispersing medium : Air Feed rate : medium ค่าดัชนีหักเหของตัวอย่าง : 1.5295 (as default) จำนวนครั้งในการทดลอง 3 ครั้ง Laser power : 66.5
การเตรียมตัวอย่าง	:	1. นำตัวอย่างมาร่อนผ่าน Sieve ขนาด 500 ไมครอน เพื่อคัดส่วนที่มีขนาดใหญ่เกินขีดจำกัดของเครื่องมือที่จะวัดได้ออกก่อน 2. นำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ไปอบไล่ความชื้นที่ 50 °C นาน 1 คืน 3. จากนั้นนำตัวอย่างออกมาเก็บไว้ใน Desiccator แล้วจึงนำตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Mastersizer S

MTEC No. 2971/51

1/4



ศูนย์: ศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ  
สำนักงานส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ  
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง  
จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ : 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5

National Metal and Materials Technology Center of NSTDA  
National Science and Technology Development Agency  
114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand.  
Tel. +66 2564 6500 Fax. +66 2564 6501-5 http://www.mtec.or.th



**ผลการวิเคราะห์ :**

ผลการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Mastersizer-S แสดงดังตารางที่ 1 และ เอกสารแนบที่ 1-3

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของตัวอย่าง End mill ด้วยสาร HCl + H<sub>2</sub>O (ไม่อบ)

ตัวอย่าง	ขนาดอนุภาค (D), ไมครอน จากการทดสอบครั้งที่			ขนาดอนุภาคเฉลี่ย, ไมครอน
	1	2	3	
End Mill				
Volume mean diameter	76.05	75.76	73.95	75.25±1.14
10 volume % less than or equal to D	5.03	4.93	4.85	4.94±0.09
50 volume % less than or equal to D	51.29	51.16	50.21	50.89±0.59
90 volume % less than or equal to D	194.24	193.57	186.95	191.59±4.03

หมายเหตุ : 1. ความหนาแน่นและพื้นที่ผิวจำเพาะที่แสดงไว้ในเอกสารแนบเป็นค่าที่ตั้งไว้ในเครื่อง ไม่เกี่ยวข้องกับ

สมบัติของสารตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

2. มีอนุภาคบางส่วนของตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกว่าขีดความสามารถของเครื่องมือที่จะทำการวัดได้ (0.5 – 900 ไมครอน)

3. ตัวอย่างผงโลหะ End mill ด้วยสาร HCl + H<sub>2</sub>O (ไม่อบ) ถูกนำมาร่อนผ่าน Sieve mesh no.35 (500 ไมครอน)

ก่อนนำตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์ โดยน้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด = 57.2627 กรัม

- ส่วนที่นำมาวิเคราะห์คิดเป็น 61.31% ของผงตัวอย่างทั้งหมด

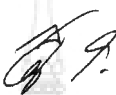
- ส่วนที่ไม่ได้นำมาวิเคราะห์คิดเป็น 38.69 % ของผงตัวอย่างทั้งหมด

การแปลผล/ความคิดเห็น : ไม่มี

เอกสารแนบ :

เอกสารแนบหน้าที่	รายละเอียด
1-3	ผลการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดอนุภาคของตัวอย่าง End mill ด้วยสาร HCl + H <sub>2</sub> O (ไม่อบ)

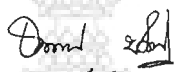
ทดสอบโดย :



(นายสามารถ นุชสาย)

เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ

ตรวจสอบโดย :



(ดร.ชรรมรัตน์ ปิยะอุธรรมาภรณ์)

หัวหน้าห้องปฏิบัติการ

หมายเหตุ

1. ศูนย์ฯ ไม่อนุญาตให้มีการแก้ไข เพิ่มเติม หรือเปลี่ยนแปลงรายงาน หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของรายงาน เว้นแต่จะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร จากศูนย์ฯ
2. ทางศูนย์ฯ ไม่สามารถรับผิดชอบต่อความเสียหายใด ๆ ที่จะเกิดขึ้น ไม่ว่าโดยทางตรงหรือทางอ้อม ในกรณีที่น่าข้อมูล ผลการวิเคราะห์ ข้อเสนอหรือคำแนะนำฉบับนี้ไปใช้ในกรนอกแบบ การผลิต หรือเพื่อจุดประสงค์ใดก็ตาม
3. ผลการทดลองเป็นจริงเฉพาะตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น



เอกสารแนบที่ 1

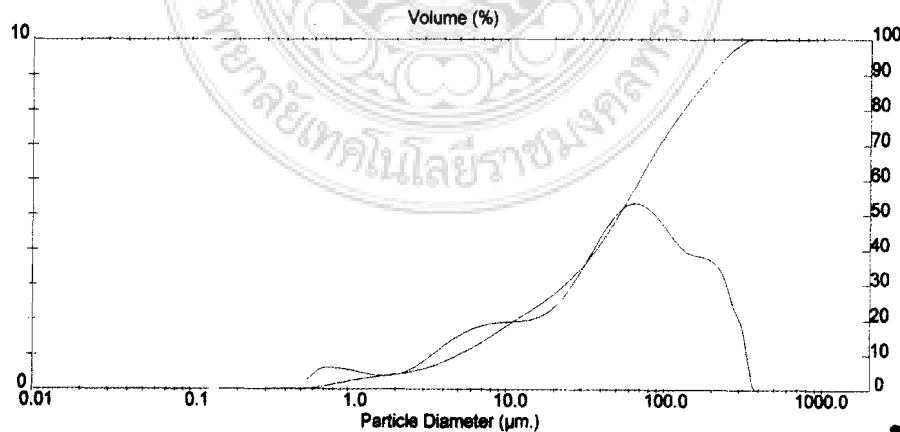
Result: Analysis Report

**Sample Details**  
 Sample ID: End mill Run Number: 2 Measured: Mon Jun 30 2008 1:32PM  
 Sample File: TS2971 Record Number: 2 Analysed: Mon Jun 30 2008 1:32PM  
 Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI-1\TECH\_51\ Result Source: Analysed  
 Sample Notes: Medium : Air  
 Feed rate : medium  
 Note : Sample was dried at 50 C, overnight  
 : End mill with HCl+H2O (not dried with oven)

**System Details**  
 Range Lens: 300 mm Beam Length: 2.40 mm Sampler: MS64 Obscuration: 29.5 %  
 Presentation: 3RHA [Particle R.I. = ( 1.4500, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.0000] Residual: 3.015 %  
 Analysis Model: Polydisperse  
 Modifications: None

**Result Statistics**  
 Distribution Type: Volume Concentration = 0.0403 %Vol Density = 1.000 g / cub. cm Specific S.A. = 0.5672 sq. m / g  
 Mean Diameters: D (v, 0.1) = 5.03 um D (v, 0.5) = 51.29 um D (v, 0.9) = 194.24 um  
 D [4, 3] = 76.05 um D [3, 2] = 10.58 um Span = 3.689E+00 Uniformity = 1.066E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.49	0.28	0.58	0.28	22.49	2.78	26.20	32.04
0.58	0.50	0.67	0.78	26.20	3.23	30.53	35.27
0.67	0.64	0.78	1.42	30.53	3.74	35.56	39.00
0.78	0.61	0.91	2.03	35.56	4.28	41.43	43.26
0.91	0.57	1.06	2.60	41.43	4.74	48.27	48.00
1.06	0.51	1.24	3.12	48.27	5.10	56.23	53.11
1.24	0.45	1.44	3.57	56.23	5.30	65.51	58.40
1.44	0.40	1.68	3.97	65.51	5.29	76.32	63.89
1.68	0.40	1.95	4.38	76.32	5.10	88.91	68.79
1.95	0.45	2.28	4.63	88.91	4.77	103.58	73.56
2.28	0.57	2.65	5.40	103.58	4.36	120.67	77.91
2.65	0.74	3.09	6.14	120.67	4.02	140.58	81.93
3.09	0.96	3.60	7.10	140.58	3.85	163.77	85.78
3.60	1.19	4.19	8.29	163.77	3.78	190.80	89.56
4.19	1.41	4.88	9.71	190.80	3.63	222.28	93.19
4.88	1.60	5.69	11.31	222.28	3.17	258.95	96.37
5.69	1.74	6.63	13.05	258.95	2.27	301.68	96.64
6.63	1.84	7.72	14.89	301.68	1.36	351.48	100.00
7.72	1.89	9.00	16.78	351.48	0.00	409.45	100.00
9.00	1.91	10.48	18.69	409.45	0.00	477.01	100.00
10.48	1.93	12.21	20.62	477.01	0.00	555.71	100.00
12.21	1.96	14.22	22.59	555.71	0.00	647.41	100.00
14.22	2.04	16.57	24.63	647.41	0.00	754.23	100.00
16.57	2.19	19.31	26.82	754.23	0.00	878.67	100.00
19.31	2.44	22.49	29.28				



Malvern Instruments Ltd. Masterizer S Ver. 2.19  
 Malvern, UK  
 Tel: +44 (0)1684-892456 Fax: +44 (0)1684-492789  
 ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ National Science and Technology Development Agency  
 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง  
 จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์: 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5  
 National Science and Technology Development Agency  
 114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand.  
 Tel: +66 2564 6500 Fax: +66 2564 6501-5 http://www.mtec.or.th

รูปที่ ง.4 รายงานผลวิเคราะห์เอกสารแนบที่ 1



เอกสารแนบที่ 2

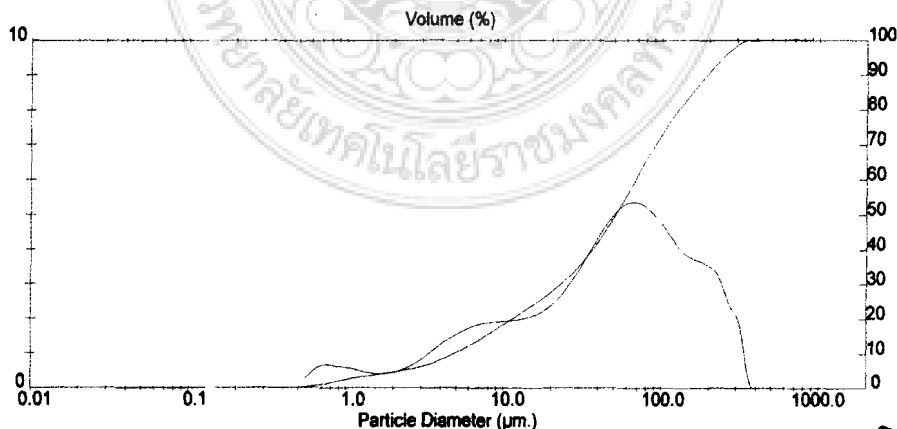
Result: Analysis Report

**Sample Details**  
 Sample ID: End mill Run Number: 3 Measured: Mon Jun 30 2008 1:32PM  
 Sample File: TS2971 Record Number: 3 Analysed: Mon Jun 30 2008 1:32PM  
 Sample Path: D:\DATA\SIZE\TECHNI-1\TECH\_51\ Result Source: Analysed  
 Sample Notes: Medium : Air  
 Feed rate : medium  
 Note : Sample was dried at 50 C, overnight  
 : End mill with HCl+H2O (not dried with oven)

**System Details**  
 Range Lens: 300 mm Beam Length: 2.40 mm Sampler: MS64 Obscuration: 27.7 %  
 Presentation: 3RHA [Particle R.I. = ( 1.4500, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.0000] Residual: 2.948 %  
 Analysis Model: Polydisperse  
 Modifications: None

**Result Statistics**  
 Distribution Type: Volume Concentration = 0.0387 %Vol Density = 1.000 g / cub. cm Specific S.A. = 0.5771 sq. m / g  
 Mean Diameters: D (v, 0.1) = 4.93 um D (v, 0.5) = 51.16 um D (v, 0.9) = 193.57 um  
 D [4, 3] = 75.76 um D [3, 2] = 10.40 um Span = 3.687E+00 Uniformity = 1.087E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.49	0.28	0.58	0.28	22.49	2.78	26.20	32.29
0.58	0.51	0.67	0.80	26.20	3.20	30.53	35.49
0.67	0.66	0.78	1.46	30.53	3.70	35.56	39.19
0.78	0.83	0.91	2.09	35.56	4.21	41.43	43.40
0.91	0.59	1.06	2.68	41.43	4.70	48.27	48.10
1.08	0.53	1.24	3.21	48.27	5.08	56.23	53.18
1.24	0.47	1.44	3.67	56.23	5.30	65.51	58.48
1.44	0.42	1.68	4.09	65.51	5.33	76.32	63.81
1.68	0.42	1.95	4.51	76.32	5.16	88.91	68.98
1.95	0.47	2.28	4.98	88.91	4.85	103.58	73.82
2.28	0.58	2.65	5.56	103.58	4.44	120.67	78.27
2.65	0.76	3.09	6.32	120.67	4.02	140.58	82.29
3.09	0.97	3.60	7.29	140.58	3.76	163.77	86.04
3.60	1.20	4.19	8.49	163.77	3.62	190.80	89.67
4.19	1.42	4.88	9.91	190.80	3.47	222.28	93.13
4.88	1.60	5.69	11.52	222.28	3.08	258.95	98.22
5.69	1.74	6.63	13.26	258.95	2.29	301.68	98.51
6.63	1.83	7.72	15.09	301.68	1.49	351.46	100.00
7.72	1.89	9.00	16.98	351.46	0.00	409.45	100.00
9.00	1.91	10.48	18.89	409.45	0.00	477.01	100.00
10.48	1.94	12.21	20.83	477.01	0.00	555.71	100.00
12.21	1.98	14.22	22.80	555.71	0.00	647.41	100.00
14.22	2.06	16.57	24.86	647.41	0.00	754.23	100.00
16.57	2.21	19.31	27.07	754.23	0.00	878.67	100.00
19.31	2.44	22.49	29.51				



Malvern Instruments Ltd. Malvern, UK Tel: +44 (0)1684 892456 Fax: +44 (0)1684 892700  
 ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ National Science and Technology Development Agency  
 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์: 0 2564 6500 โทรสาร: 0 2564 6501-5  
 MTEC logo  
 30 Jun 08 13:35  
 National Science and Technology Development Agency  
 114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand.  
 Tel: +66 2564 6500 Fax: +66 2564 6501-5 http://www.mtec.or.th

รูปที่ ง.5 รายงานผลวิเคราะห์เอกสารแนบที่ 2



เอกสารแนบที่ 3

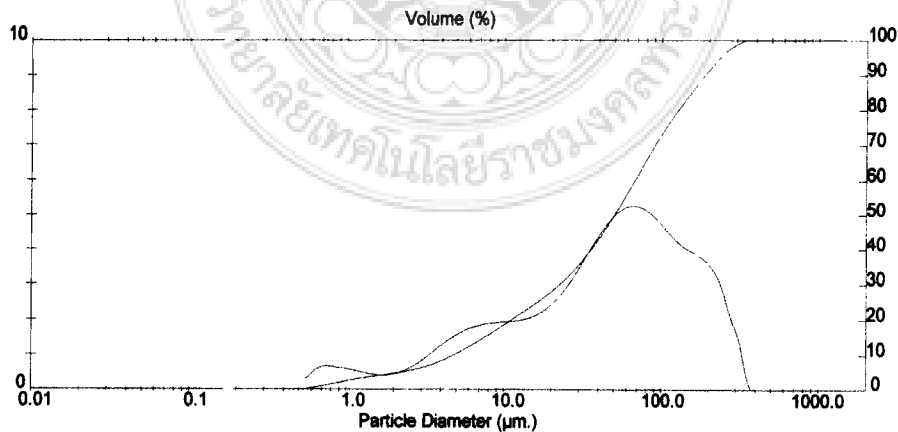
Result: Analysis Report

**Sample Details**  
 Sample ID: End mill Run Number: 4 Measured: Mon Jun 30 2008 1:32PM  
 Sample File: TS2071 Record Number: 4 Analysed: Mon Jun 30 2008 1:32PM  
 Sample Path: D:\DATASIZE\TECHNI-1\TECH\_51\ Result Source: Analysed  
 Sample Notes: Medium : Air  
 Feed rate : medium  
 Note : Sample was dried at 50 C, overnight  
 : End mill with HCH+H2O (not dried with oven)

**System Details**  
 Range Lens: 300 mm Beam Length: 2.40 mm Sampler: MS64 Obscuration: 29.4 %  
 Presentation: 3RHA [Particle R.I. = (1.4500, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.0000] Residual: 2.963 %  
 Analysis Model: Polydisperse  
 Modifications: None

**Result Statistics**  
 Distribution Type: Volume Concentration = 0.0388 %Vol Density = 1.000 g / cub. cm Specific S.A. = 0.5864 sq. m / g  
 Mean Diameters: D (v, 0.1) = 4.85 um D (v, 0.5) = 50.21 um D (v, 0.9) = 186.95 um  
 D [4, 3] = 73.95 um D [3, 2] = 10.23 um Span = 3.627E+00 Uniformity = 1.080E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.49	0.29	0.58	0.29	22.49	2.84	26.20	32.77
0.58	0.53	0.67	0.82	26.20	3.27	30.53	36.04
0.67	0.67	0.78	1.49	30.53	3.75	35.56	39.79
0.78	0.65	0.91	2.14	35.56	4.25	41.43	44.03
0.91	0.60	1.06	2.74	41.43	4.69	48.27	48.73
1.06	0.54	1.24	3.28	48.27	5.04	56.23	53.76
1.24	0.47	1.44	3.75	56.23	5.23	65.51	58.99
1.44	0.43	1.68	4.18	65.51	5.24	76.32	64.23
1.68	0.42	1.95	4.60	76.32	5.09	88.91	69.32
1.95	0.47	2.28	5.08	88.91	4.82	103.58	74.14
2.28	0.59	2.65	5.67	103.58	4.47	120.67	78.81
2.65	0.77	3.09	6.43	120.67	4.16	140.58	82.77
3.09	0.99	3.60	7.42	140.58	3.95	163.77	86.72
3.60	1.22	4.19	6.64	163.77	3.78	190.80	90.49
4.19	1.44	4.88	10.08	190.80	3.49	222.28	93.99
4.88	1.62	5.69	11.70	222.28	2.94	258.95	96.92
5.69	1.76	6.63	13.46	258.95	2.00	301.68	98.93
6.63	1.65	7.72	15.31	301.68	1.07	351.46	100.00
7.72	1.90	9.00	17.22	351.46	0.00	409.45	100.00
9.00	1.93	10.48	19.15	409.45	0.00	477.01	100.00
10.48	1.85	12.21	21.10	477.01	0.00	555.71	100.00
12.21	2.00	14.22	23.10	555.71	0.00	647.41	100.00
14.22	2.09	16.57	25.18	647.41	0.00	754.23	100.00
16.57	2.25	19.31	27.43	754.23	0.00	876.67	100.00
19.31	2.50	22.49	28.93				



Malvern Instruments Ltd. Masterizer S Ver. 2.19  
 Malvern, UK  
 Tel: +44 (0)1684-892456 Fax: +44 (0)1684-892999  
 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ : 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5  
 National Science and Technology Development Agency  
 114 Thailand Science Park, Pahonyothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand.  
 Tel. +66 2564 6500 Fax. +66 2564 6501-5 http://www.mtec.or.th  
 MTEC a member of NSTDA

รูปที่ ง.6 รายงานผลวิเคราะห์เอกสารแนบที่ 3

- ความหมายทางเทคนิค :**
- ค่า **Obscuration** คือ ค่าที่อนุภาคมาบีดบัง (บดบัง) ล้าแสงเลเซอร์ที่ยิงออกมา (เปอร์เซ็นต์) ซึ่งช่วงที่ใช้ในการพิจารณาจะอยู่ในช่วง 10 – 30% ในกรณี
    1. ค่า Obscuration ต่ำกว่า 10% การหักเหของล้าแสงเลเซอร์ต่ำ
    2. ค่า Obscuration มากกว่า 30% จะส่งผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ Multi scattering (การกระเจิงแสงแบบหลายชั้น)
  - ค่า **Residual** คือ ค่าความผิดพลาดในการวิเคราะห์อันอาจเกิดจากผลทางอิเล็กทรอนิกส์ในขณะที่อนุภาคไหลเข้าสู่เซลล์ขณะที่ทำการตรวจวัด ซึ่งค่านี้ไม่ควรจะเกิน 5%
  - ค่า **D [4, 3]** คือ ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคในเชิงปริมาตร
  - ค่า **D [3, 2]** คือ ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคในเชิงพื้นที่ผิว
  - ค่า **D [v, 0.1]** คือ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาดที่วิเคราะห์ได้เป็นไมครอน
  - ค่า **D [v, 0.5]** คือ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาด ที่วิเคราะห์ได้เป็นไมครอน
  - ค่า **D [v, 0.9]** คือ 90 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรที่พบอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับขนาด ที่วิเคราะห์ได้เป็นไมครอน
  - ค่า **Span** คือ ค่าความกว้างในการกระจายตัวของอนุภาคที่ไม่ขึ้นกับค่ามัธยฐาน (D [v, 0.5])
  - ค่า **Uniformity** คือ ค่าการวัดความเบี่ยงเบนสมบูรณ์จากค่ามัธยฐาน (D [v, 0.5])
  - ค่า **Specific S.A.** คือ ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งคำนวณจากค่าความหนาแน่นของอนุภาคที่วิเคราะห์ และค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคในเชิงพื้นที่ผิว

## ง.2 ผลการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence (XRF) และ X-Ray Diffract meter (XRD)

**MTEC**<sup>TM</sup>  
a member of NSTDA

MTEC NO.3306/51

### รายงานผลการวิเคราะห์

วันที่รายงาน	:	11 สิงหาคม 2551
ตัวอย่างจาก	:	นายสหรัตน์ วงษ์ศรีษะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ 1381 ถ.พหลุสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ โทรศัพท์: 08 1889 1409 โทรสาร: 0 2913 2424 ต่อ 175
ทดสอบโดย	:	ห้องปฏิบัติการเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันและเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ งานห้องปฏิบัติการเครื่องมือทดสอบทั่วไป ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
วันที่รับตัวอย่าง	:	30 กรกฎาคม 2551
วันที่วิเคราะห์	:	30 กรกฎาคม - 11 สิงหาคม 2551
ขอบเขตการวิเคราะห์	:	วิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบในตัวอย่าง
ตัวอย่างที่วิเคราะห์	:	ผงโลหะ 1 ตัวอย่าง
การบ่งชี้ตัวอย่าง	:	ผงโลหะจากกระบวนการ HCl
เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์	:	1) X-ray diffractometer, JEOL JDX 3530 2) X-ray fluorescence spectrometer, Philips PW-2404
เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์	:	1) X-ray diffraction 2) Semi-quantitative X-ray fluorescence spectrometry analysis
สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์:		Step angle = 0.02°; Count time = 1 sec; D-, R- and S-slits 1°, 0.2 mm and 1°, respectively; Target type: Cu; Tube voltage = 30 kV; current = 40mA.
สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์:		Temperature 25 ± 5 °C, Relative humidity 60 ± 10 % R.H.
การเตรียมตัวอย่าง	:	1) XRD: อัดตัวอย่างลงใน sample holder แล้วนำไปวิเคราะห์ 2) XRF: อัดตัวอย่างให้เป็นเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 cm แล้วนำไปวิเคราะห์

MTEC NO.3306/51

1/4

**MTEC**<sup>TM</sup>  
a member of NSTDA

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ  
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ  
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง  
จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5  
National Metal and Materials Technology Center  
National Science and Technology Development Agency  
114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand.  
Tel. +66 2564 6500 Fax. +66 2564 6501-5 http://www.mtec.or.th

รูปที่ ง.8 ใบรายงานผลการตรวจสอบและวิเคราะห์ผงโลหะ

**การวิเคราะห์ XRD:**

จากการวิเคราะห์เพื่อศึกษาองค์ประกอบของตัวอย่างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ องค์ประกอบที่มีความเป็นไปได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

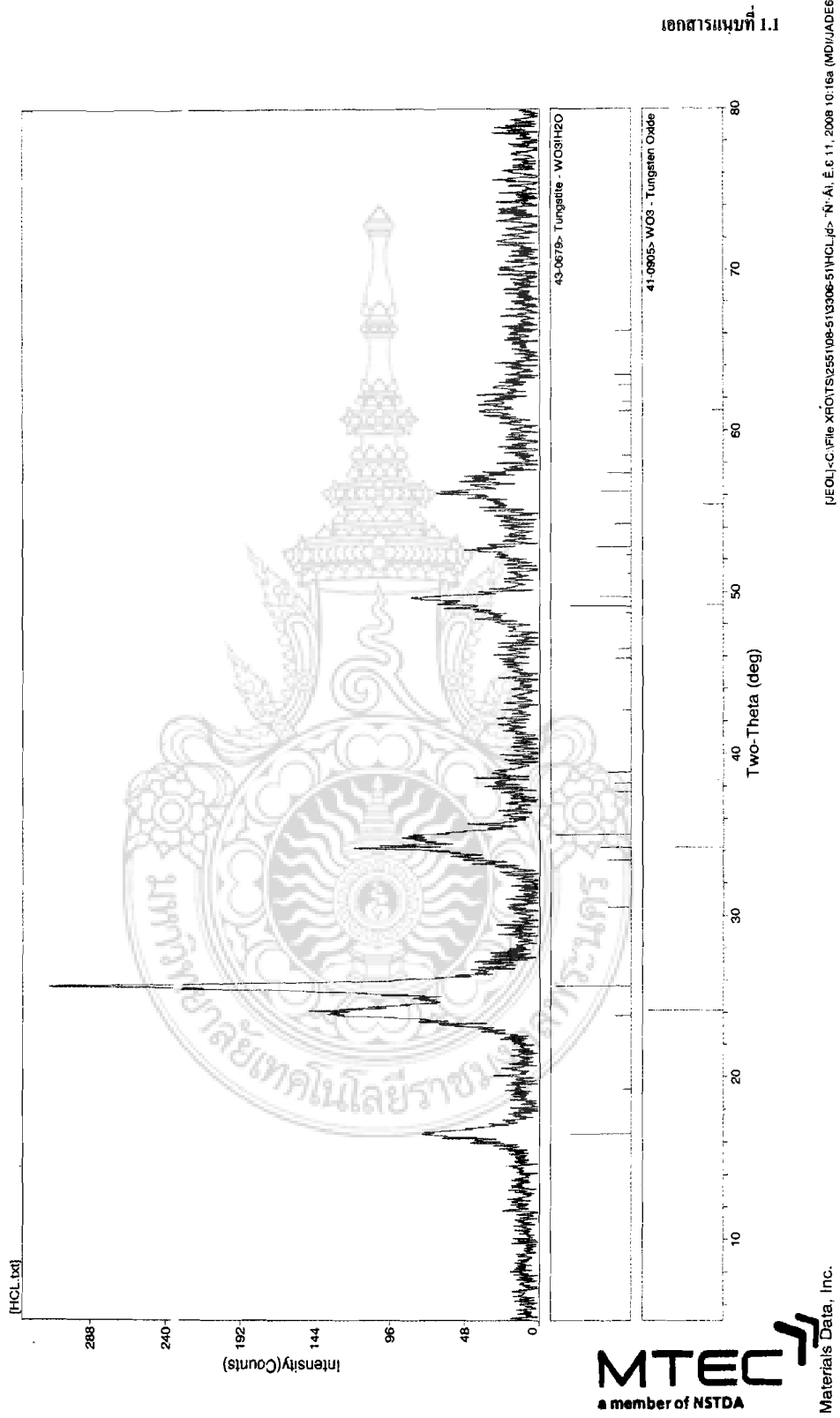
ตารางที่ 1 องค์ประกอบที่มีความเป็นไปได้ในตัวอย่าง

หมายเลขสาร	ชื่อสาร	เลขอะตอม
ผงโลหะจาก กระบวนการ HCl	Tungstite – $WO_3 \cdot H_2O$ , [43-0679] Tungsten Oxide – $WO_3$ , [20-1323]	

ข้อคิดเห็น:-







รูปที่ ง.10 ใบรายงานผลการตรวจสอบผงโลหะด้วย X-Ray Diffract meter (XRD) เอกสารแนบที่ 1.1

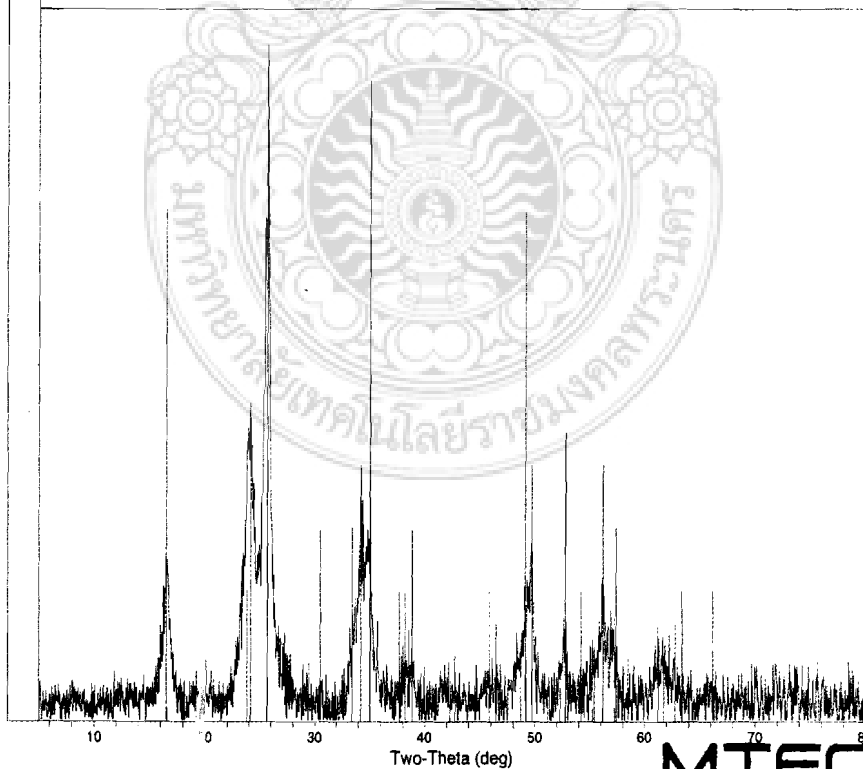
## เอกสารแนบที่ 1.2

[HCL.bin] Angle, Raw, Sm, Bkg, Ka1	Peak ID Report									
SCAN: 5.0/80.0/0.02/1(sec) Cu, I(max)=315, 08/11/08 10:16										
PEAK: 33-pts/Parabolic Filter, Threshold=3.0, Cutoff=0.1%, BG=3/1.0, Peak-Top=Summit										
NOTE: Intensity = Counts, 2T(0)=0.0(deg), Wavelength to Compute d-Spacing = 1.54056Å (Cu/K-alpha1)										
#	2-Theta	d(Å)	Height	Height%	Phase ID	d(Å)	I%	(h k l)	2-Theta	Delta
1	16.580	5.3423	60	21.7	WO3H2O	5.3736	80.0	(0 2 0)	16.483	-0.097
2	24.118	3.6870	84	30.4	WO3	3.6853	100.0	(1 0 0)	24.129	0.012
3	25.660	3.4688	276	100.0	WO3H2O	3.4686	100.0	(1 1 1)	25.662	0.002
4	34.219	2.6183	80	29.0	WO3	2.6188	65.0	(1 1 0)	34.211	-0.008
5	35.058	2.5575	69	25.0	WO3H2O	2.5590	100.0	(0 0 2)	35.037	-0.021
6	42.754	2.1132	17	6.2	WO3H2O	2.1150	10.0	(1 2 2)	42.717	-0.037
7	49.737	1.8317	62	22.5	WO3H2O	1.8324	40.0	(2 0 2)	49.714	-0.023
8	52.779	1.7330	28	10.1	WO3H2O	1.7323	45.0	(2 2 2)	52.804	0.024
9	55.278	1.6605	28	10.1	WO3	1.6565	25.0	(2 1 0)	55.421	0.143
10	56.157	1.6365	46	16.7	WO3H2O	1.6351	40.0	(3 1 1)	56.209	0.052
11	57.250	1.6078	28	10.1	WO3H2O	1.6041	30.0	(1 1 3)	57.397	0.147
12	61.203	1.5131	25	9.1	WO3H2O	1.5129	15.0	(2 4 2)	61.212	0.008

Line Shifts of Individual Phases:

PDF#43-0679 - Tungstite &lt;2T(0) = -0.042, d/d(0) = 1.0&gt;

PDF#41-0905 - Tungsten Oxide &lt;2T(0) = 0.163, d/d(0) = 1.0&gt;



Materials Data, Inc.

(JEOL)C:\File XRD\TS\2551\08-51\3306-51\0811081016\11.01a (MD\JADE6)

รูปที่ ง.11 ใบรายงานผลการตรวจสอบผงโลหะด้วย X-Ray Diffract meter (XRD) เอกสารแนบที่ 1.2

### ผลการวิเคราะห์ XRF:

จากการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุในตัวอย่างเป็นด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ปริมาณของธาตุที่พบในตัวอย่างเป็นแสดงไว้ในตารางที่ 2

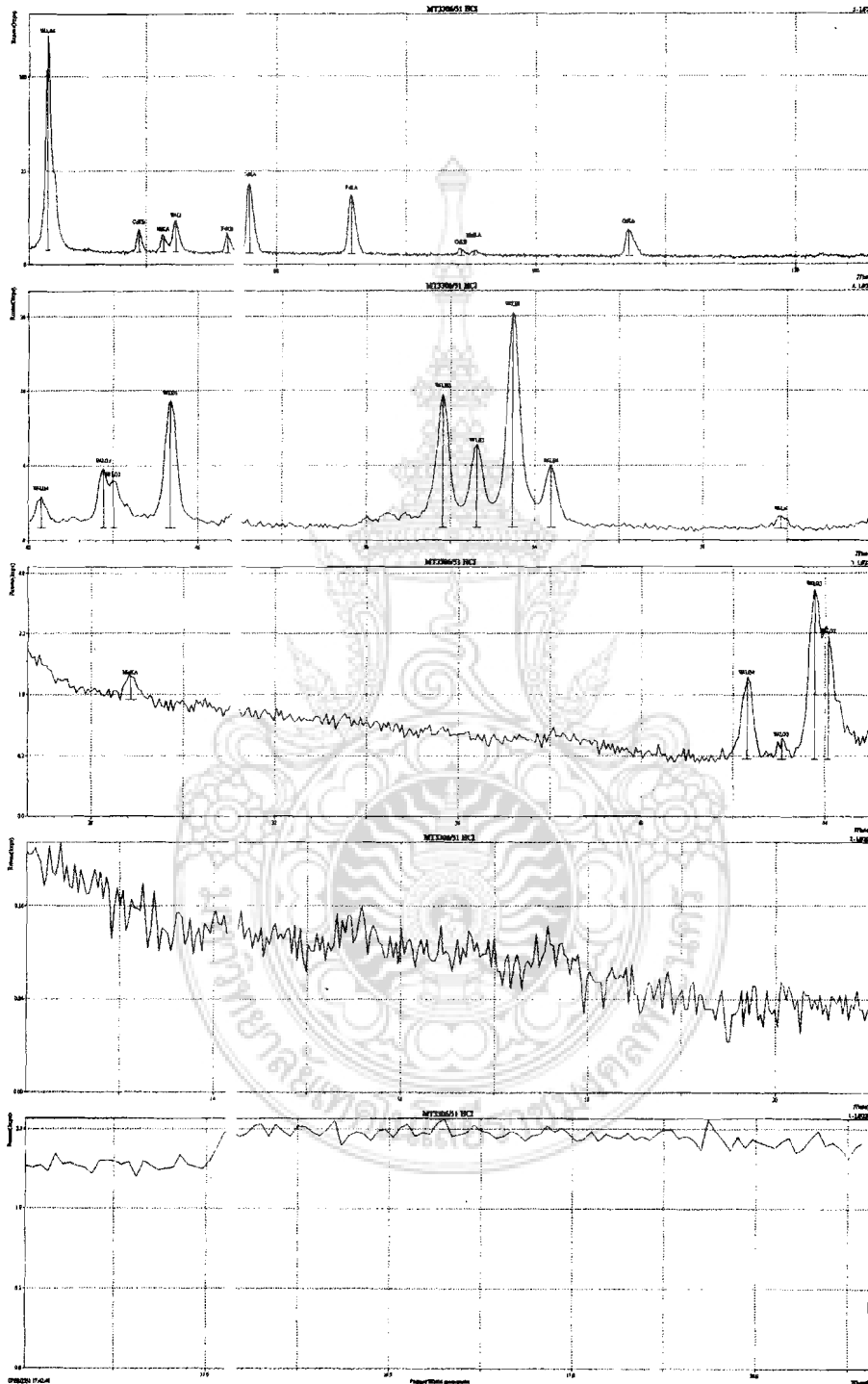
ตารางที่ 2 แสดงปริมาณของธาตุในตัวอย่างเป็น

ธาตุ	ปริมาณธาตุในตัวอย่างเป็น (%พท)
	หลังจากการกระบวนกร HCl
O	28.91
Si	0.08
S	0.06
Cl	11.92
Ca	<0.01
Cr	0.58
Mn	<0.01
Fe	2.09
Co	2.10
Ni	0.20
Mo	<0.01
W	54.04
<b>Total</b>	<b>100.00</b>

- Notes:**
1. ปริมาณของแต่ละธาตุที่รายงานข้างต้นได้เทียบจากปริมาณรวมของธาตุที่พบด้วยเทคนิค XRF ทั้งหมดให้เป็น 100%
  2. ปริมาณของธาตุที่เครื่องมือสามารถวัดได้ต่ำสุดคือ 0.01 wt% นอกจากนี้จะแจ้งไว้ในนอกเหนือจากนั้น
  3. ข้อจำกัดทางเทคนิค XRF คือไม่สามารถวัดส่วนประกอบที่เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าเลขอะตอมของออกซิเจน (8) และที่มีเลขอะตอมสูงกว่าเลขอะตอมของยูเรเนียม (92)

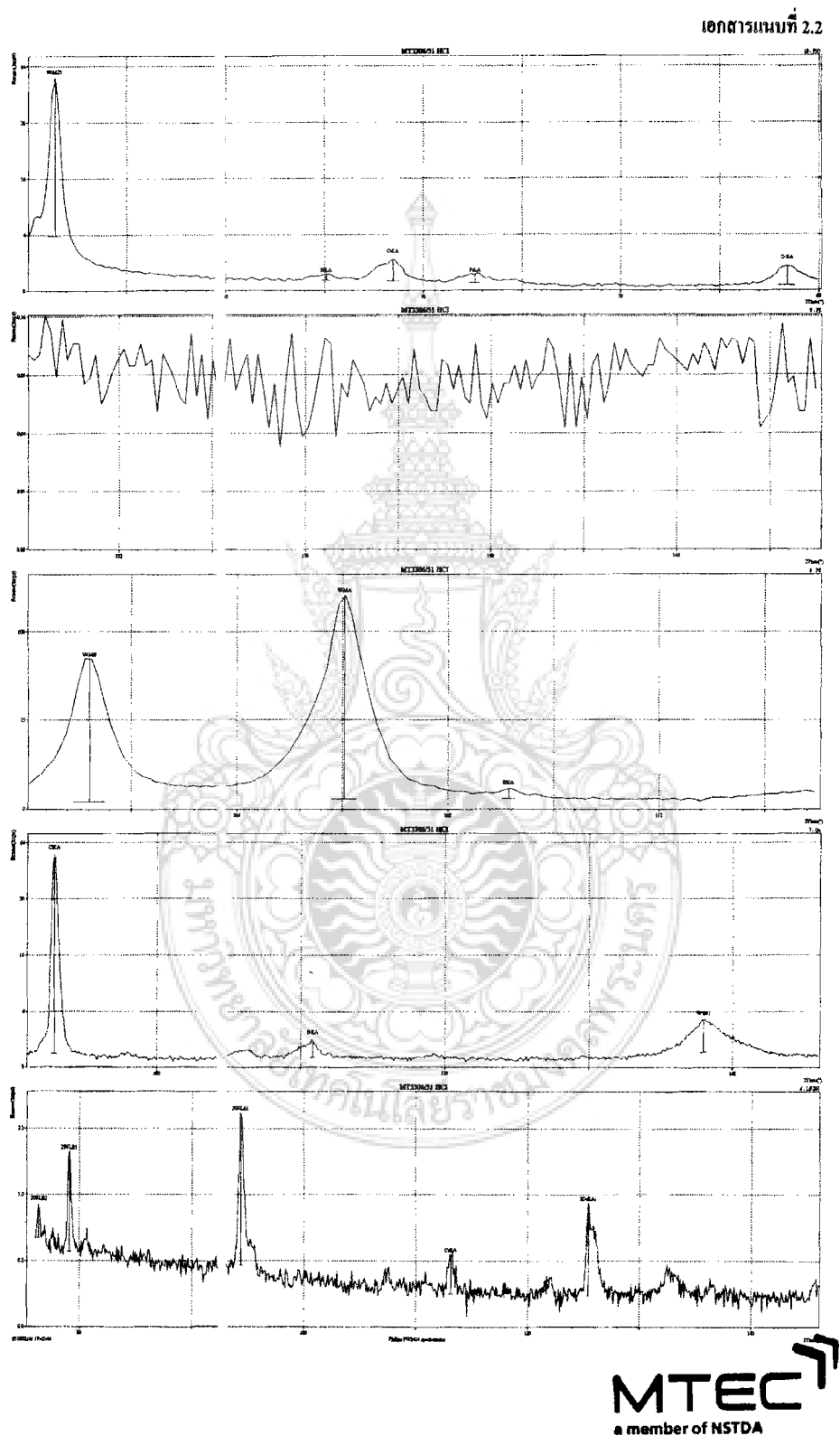
ข้อคิดเห็น:

## เอกสารแนบที่ 2.1



**MTEC**  
a member of NSTDA

รูปที่ ง.13 ใบรายงานผลการตรวจด้วย X-ray fluorescence (XRF) เอกสารแนบที่ 2.1



รูปที่ ง.14 ใบรายงานผลการตรวจด้วย X-ray fluorescence (XRF) เอกสารแนบที่ 2.2

### ง.3 ผลการวิเคราะห์ทดสอบ (กรมวิทยาศาสตร์บริการ)

ที่ วท 0306/ 6095



ถึง ผศ.สพรัตน์ วงษ์ศรีษะ (คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร)

กรมวิทยาศาสตร์บริการขอส่งรายงานผลการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบตัวอย่าง ผงวัสดุ  
หมายเลขปฏิบัติการ I 51/02324.1 จำนวน 1 ตัวอย่าง ตามคำร้องเลขรับ L51/02324 วันที่ 14 มีนาคม 2551

พร้อมนี้ได้แนบผลการตรวจวิเคราะห์ ทดสอบ มาเพื่อทราบ



โครงการเคมี  
โทรศัพท์ 0 2201 7211-2  
โทรสาร 0 2201 7213  
E-mail : chemistry@iiss.go.th

แบบ วศ. 1



## รายงานการทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย / ครา	หมายเลขปฏิบัติการ
ผงวัสดุ	-	L51/02324.1

### ผลการทดสอบ

ทังสเตม (W)	ร้อยละ (โดยประมาณ)	99
ไทเทเนียม (Ti)	ร้อยละ	0.49
เหล็ก (Fe)	ร้อยละ	ไม่พบ
โคบอลต์ (Co)	ร้อยละ	ไม่พบ

ชื่อผู้ให้บริการ ผศ.ศหรัตน์ วงษ์ศรีระ (คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร)

ที่อยู่ให้บริการ 1381 ถนนพิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

ลักษณะตัวอย่าง ผงละเอียดสีขาว

วันที่ทดสอบ 2 เมษายน 2551

วิธีทดสอบ วิธี X-ray Microanalysis, standardless mode

ผู้รับรอง

*ดวงฉน. ปรินิโณ*  
(นางวรรณภา คันทื่นขงก์)

นักวิทยาศาสตร์ 8ว

ผู้รายงาน

*ดาว... ไร่ภรณ์*  
(นางสาวดวงกมล เซาวนศรีหมุด)

นักวิทยาศาสตร์ 7ว

ค่าธรรมเนียมการทดสอบ 2,800.00 บาท (สองพันแปดร้อยบาทถ้วน)

รายงานนี้รับรองเฉพาะวัตถุ อย่างที่ได้ทดสอบ/สอบเทียบเท่านั้น ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง  
ห้ามคัดถ่ายไปรับรองหรือ รายงานผลแต่เพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมวิทยาศาสตร์บริการเป็นลายลักษณ์อักษร  
กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
ถนนพระรามที่ 6 ราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 ประเทศไทย

หน้า 2/2

รูปที่ ง.16 ผลการตรวจและวิเคราะห์ด้วย X-ray fluorescence (XRF)

แบบ วศ.1



### รายงานการทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย / ครา	หมายเลขปฏิบัติการ
แท่งโลหะ ชั้น B	-	L51/02566.2

### ผลการทดสอบ

ทังสเตน (W)	ร้อยละ (โดยประมาณ)	85
โคบอลต์ (Co)	ร้อยละ (โดยประมาณ)	12
ซิลิคอน (Si)	ร้อยละ	ไม่พบ
ไทเทเนียม (Ti)	ร้อยละ	ไม่พบ
เหล็ก (Fe)	ร้อยละ	ไม่พบ

ชื่อผู้ให้บริการ ผศ. สหรัตน์ วงษ์ศรีชนะ (คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร)

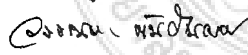
ที่อยู่ผู้ให้บริการ 1381 ถนนพหลุสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

ลักษณะตัวอย่าง แท่งโลหะสีดำ

วันที่ทดสอบ 2 เมษายน 2551

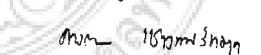
วิธีทดสอบ วิธี X-ray Microanalysis, standardless mode

ผู้รับรอง

  
(นางวรรณมา ดันอินขงค์)

นักวิทยาศาสตร์ 8ว

ผู้รายงาน

  
(นางสาวดวงกมล เขาวนศรีหนุ่ม)

นักวิทยาศาสตร์ 7ว

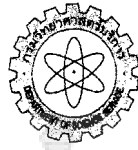
ค่าธรรมเนียมการทดสอบ 3,300.00 บาท (สามพันสามร้อยบาทถ้วน)

รายงานนี้รับรองเฉพาะวัตถุ อย่างที่ได้ทดสอบ/สอบเทียบเท่านั้น ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง  
ห้ามคัดถ่ายใบรับรองหรือ รายงานผลแต่เพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมวิทยาศาสตร์บริการเป็นลายลักษณ์อักษร  
กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
ถนนพระรามที่ 6 ราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 ประเทศไทย

หน้า 2/2



แบบ วค.1



## รายงานการทดสอบ

ชื่อวัสดุตัวอย่าง	เครื่องหมาย / ครา	หมายเลขปฏิบัติการ
คอก End mill (เอ็นเอมิล) ชั้น A	-	LS1/02566.1

### ผลการทดสอบ

ทังสเตน (W)	ร้อยละ (โดยประมาณ)	91
โคบอลต์ (Co)	ร้อยละ (โดยประมาณ)	7
ซิลิกอน (Si)	ร้อยละ	ไม่พบ
ไทเทเนียม (Ti)	ร้อยละ	ไม่พบ
เหล็ก (Fe)	ร้อยละ	ไม่พบ

ชื่อผู้ให้บริการ ผศ.สหรัตน์ วงษ์ศรีนะ (คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร)

ที่อยู่ผู้ให้บริการ 1381 ถนนพหลโยธิน แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

ลักษณะตัวอย่าง แท่งโลหะสีดํา

วันที่ทดสอบ 2 เมษายน 2551

วิธีทดสอบ วิธี X-ray Microanalysis, standardless mode

ผู้รับรอง

*Dr. S. S. S.*  
(นางวรรณภา ตันยีนยงค์)

นักวิทยาศาสตร์ 8ว

ผู้รายงาน

*Dr. S. S. S.*  
(นางสาวดวงกมล เขาวนัศรีหมุด)

นักวิทยาศาสตร์ 7ว

ค่าธรรมเนียมการทดสอบ 3,300.00 บาท (สามพันสามร้อยบาทถ้วน)

รายงานนี้รับรองเฉพาะวัด ตัวอย่างที่ได้ทดสอบเทียบเท่านั้น ไม่รับรองวัสดุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง ห้ามคัดลอกไปรับรองหรือรายงานผลแต่เพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมวิทยาศาสตร์บริการเป็นลายลักษณ์อักษร

กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

หน้า 2/2

ถนนพระรามที่ 6 ราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 ประเทศไทย

รูปที่ ง.18 ผลการตรวจและวิเคราะห์ส่วนผสมของชิ้นงานทังสเตนคาร์ไบด์หลังอบ