RMUTP Research Journal Special Issue
The 5th Rajamangala University of Technology National Conference

อิทธิพลของอิเล็กโทรไลซิสต่อการกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์

The effect of electrolysis to recovering tungsten carbide

ปฐมพงษ์ จำนงค์พันธ์[1*] สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ และ ปริญญ์ บุญกนิษฐ

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10800

บทคัดย่อ

การกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) โดยใช้อิเล็กโทรไลซิสในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ด้วยแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0.2-1.0 V อุณหภูมิ 30-80°C สารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1-7 N ภายในเวลา 48 ชั่วโมง ผลปรากฏว่าการสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ที่เหมาะสมขึ้นกับอิทธิพลของแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และความเข้มข้นสารละลาย สามารถกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์บริสุทธิ์กว่า 95.62% ซึ่งมีธาตุอื่นผสมประกอบด้วย ไทเทเนียม 1.74% แทนทาลัม 1.68% และไนโอเบียม 0.42% สรุปได้ว่าการใช้อิเล็กโทรไลซิสกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์มีความเหมาะสมภายใต้แรงดันไฟฟ้า 0.4 V อุณหภูมิ 80°C สารละลายไฮโดรคลอริก 7 N อัตราการกู้คืนผงทังสเตนคาร์ไบด์ประมาณ 91.37% มีอนุภาคขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.0 µm

Abstract

Recovering of tungsten carbide (WC) with the electrolysis solution in the electrolyte to a reaction with cemented carbide scraps 0.2-1.0 V between temperature from 30-80°C concentration 1-7 N hydrochloric acid solution within 48 hours, the results showed the cemented carbide dissolution proper to the influence of voltage, temperature and solution concentration. Can recovering tungsten carbide, purity over 95.62% of which contain other ingredients include titanium, 1.74% tantalum, 1.68%, and niobium, 0.42% concluded that the electrolysis recovering tungsten carbide is appropriate under voltage is 0.4 V, temperature 80°C 7 N solution of hydrochloric acid recovery rate of tungsten carbide powder, about 91.37% with an average particle size of 1.0 µm

คำสำคัญ : การกู้คืน อิเล็กโทรไลซิส ซีเมนต์คาร์ไบด์ ทังสเตนคาร์ไบด์

Keywords : recovering, Electrolysis, Cement carbide, Tungsten carbide

[*] *ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ jumnongphan@gmail.com โทร. 08 5281 4649*

1. บทนำ

ซีเมนต์คาร์ไบด์ (Cemented Carbide) เป็นวัสดุผสมระหว่างทังสเตนคาร์ไบด์และโคบอลต์ประกอบขึ้นโดยอาศัยการเกาะยึดของโลหะ (Metallic binder) สัดส่วนเฟสคาร์ไบด์ 70-97% ผสมด้วยโคบอลต์ 3-30% โดยน้ำหนัก เหมาะสำหรับการใช้งานด้านวิศวกรรมและเครื่องมือ ซีเมนต์คาร์ไบด์มีขนาดเกรน (Grain size) ระหว่าง 0.2-20 μm ทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) นิยมผลิตมากที่สุดโดยส่วนผสมหลักคือ ทังสเตน 93.87% และคาร์บอน 6.13% ซึ่งมีจุดหลอมเหลว (Melting point) 3,410°C และ 4,330 °C ด้วยสมบัติของสารตั้งต้นที่ความแข็งและจุดหลอมเหลวสูงทำให้ซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์มีความแข็ง 1,700-2,400 Hv ความหนาแน่น 15.63 g/cm^3 จุดหลอมเหลว 2,870 °C ทังสเตนคาร์ไบด์และโคบอลต์เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของซีเมนต์คาร์ไบด์ ซึ่งสำคัญต่ออุตสาหกรรมชิ้นส่วนโลหะแข็ง โดยเฉพาะ cutting tool inserts (about 50-60%) นอกจาก WC-Co วัสดุกลุ่มนี้ยังมีการผสม ไทเทเนียม (Ti) แทนทาลัม (Ta) หรือไนโอเบียม (Nb) และอื่นๆ เพื่อเพิ่มสมบัติที่ดีด้านการใช้งาน สารประกอบเหล่านี้มีความสามารถในการละลายและยังสามารถสลายสัดส่วนของทังสเตนคาร์ไบด์ที่สูงเกินไป การแบ่งเกรดซีเมนต์คาร์ไบด์หรือเรียกว่า "straight grades" มีดังนี้ เกรด Nano, Ultrafine and Submicron grades, Fine and Medium grades, Medium Coarse, Coarse grades และ Extra Coarse grades

กระบวนการกู้คืนซีเมนต์คาร์ไบด์ทำได้หลายวิธีเช่น Chemical modification method, thermal modification method, zinc melt method, cold stream method และ electrochemical method การกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์-โคบอลต์ โดยการเปลี่ยนแปลงความร้อน เป็นการใช้ความร้อนสกัดวัสดุประสานโคบอลต์ (Co) จากเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ร่วมกับกรดโฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) ผลปรากฏว่า cermets WC-Co สลายตัวได้ดีที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ความเข้มข้นสารละลาย 1-6 N สามารถกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์ขนาดประมาณ 3 μm เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและประหยัดค่าใช้จ่ายแต่ข้อจำกัดคือการเสื่อมของสมบัติเชิงกลจะเกิดขึ้นมาก สำหรับวิธีสลายโคบอลต์จากเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ในสารละลายกรด โดยใช้ความเข้มข้นสารละลายกรด 1N HCl + 0.1N Citric acid นิยมใช้แรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0.2-0.6 V ใช้เวลาในการทดลอง 24 ชั่วโมง การสลายโคบอลต์สามารถกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์ได้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ การสกัดโคบอลต์อยู่ที่ 80.7% การกู้คืนโดยวิธีการหลอมด้วยเตาอุณหภูมิสูงประสบความสำเร็จด้วยกระบวนการ Menstrum Process สลายโคบอลต์ได้ดีภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 1,550-1,600°C ปัจจุบันสามารถกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์มากกว่า 90% และการขจัดเฟสเหล็ก (Fe) ตกค้างใช้การชะล้างด้วยกรดทำให้ทังสเตนคาร์ไบด์บริสุทธิ์และมีความละเอียดมากขึ้น

วิธีการ Electrolysis เป็นการสลายโลหะประสานโคบอลต์ด้วยสารละลาย HCl ร่วมกับไฟฟ้า โดยใช้แรงดันไฟฟ้า 0.4 V สลายโคบอลต์ได้ 14.1 mg/l คิดเป็น 59% เมื่อผสม Citric acid ประสิทธิภาพการสลายโคบอลต์ได้ดีที่แรงดันไฟฟ้า 0.4 V และ 0.6 V โดยสามารถสลายโคบอลต์ 17.1 mg/l และ 19.1 mg/l คิดเป็นร้อยละ79.5 และ 80.7 ส่วนการสลายซีเมนต์คาร์ไบด์โดยใช้แรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0.06-0.15 V สารละลาย 1.2 M H_3PO_4 อุณหภูมิ 50-60°C การสลายตัวของโคบอลต์อยู่ที่ 28.3% ต่อวัน อัตราการกู้คืนเฉลี่ยอยู่ที่ 97% อย่างไรก็ตามการกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์มีหลายวิธีการ เช่น การเปลี่ยนแปลงทางเคมี เป็นวิธีการที่ต้องใช้กับอุปกรณ์ขนาดใหญ่และอาศัยเวลานานในการเกิดปฏิกิริยา กระบวนการเปลี่ยนแปลงความร้อนระหว่างการสลายตัวจะทำให้มีการก่อตัวของ η phase ที่ด้อยลง วิธีการ zinc melt method และ cold stream method จะมีปัญหาเกี่ยวกับสารปนเปื้อน

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการกู้คืนโลหะมีค่าชนิดทังสเตนคาร์ไบด์ด้วยวิธี Electrolysis โดยการหาความเหมาะสมของปัจจัยการทดลองภายใต้อิทธิพลของแรงดันไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความเข้มข้นสารละลาย ศึกษาอัตราส่วนการกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์ วิเคราะห์ลักษณะรูปร่าง ชนิดและปริมาณของธาตุ ความบริสุทธิ์ของโลหะผงเพื่อพัฒนาคุณลักษณะโลหะผงตามมาตรฐานอุตสาหกรรมและประยุกต์ใช้งานในโอกาสต่อไป

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมสารและอุปกรณ์

เตรียมเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ (ขนาด 15x15x6 มม.) จำนวน 2 กิโลกรัม ทำความสะอาดเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ เตรียมเครื่องสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ สารลายลายไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้นระหว่าง 1-7 N

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

2.2.1 ดำเนินการแยกสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์โดยใช้แรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0.2-1.0 V ภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 30-80°C ด้วยเวลา 48 ชั่วโมง

2.2.2 ตรวจสอบน้ำหนักเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ ทำการคัดกรองโลหะผงจากสารละลาย ล้างทำความสะอาดโลหะผงที่ผ่านการกู้คืนด้วยเอทานอลบริสุทธิ์

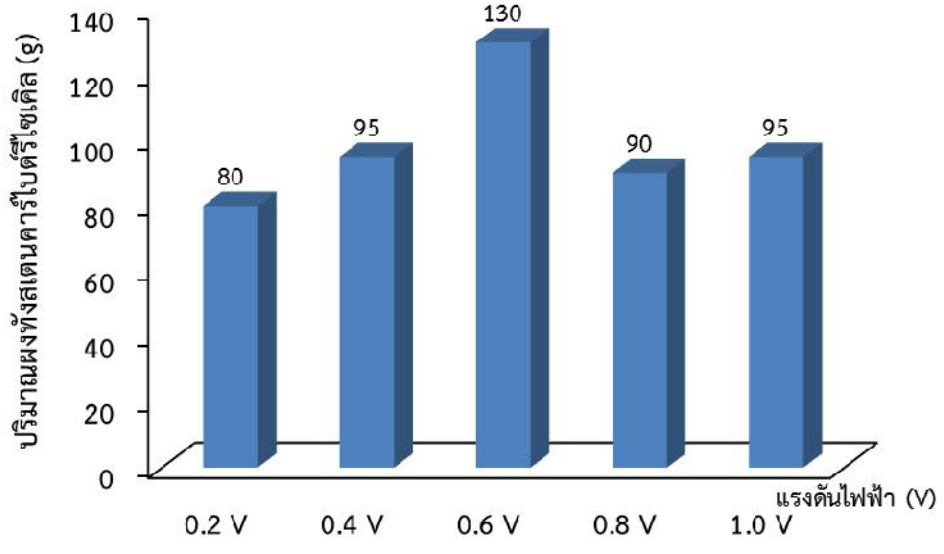
2.2.3 อบด้วยเตาสุญญากาศที่อุณหภูมิ 100-200°C ด้วยเวลา 1 ชั่วโมง ตรวจสอบน้ำหนักโลหะผงที่ผ่านการกู้คืน

2.2.4 วิเคราะห์ลักษณะรูปร่างของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิง (Scanning Electron Microscopy; SEM) วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffraction; XRD) และวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence Spectrometry; XRF

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

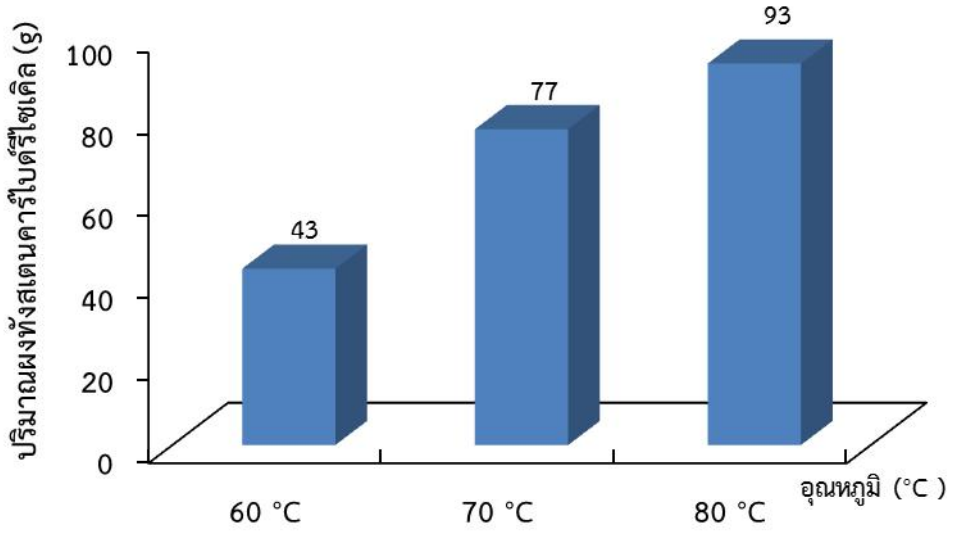
จากการทดลองแยกสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์โดยใช้วิธีอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) ผลการศึกษาสามารถอธิบายได้ดังนี้

3.1 ปริมาณโลหะผงที่ผ่านการกู้คืนได้ด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิส (electrolysis)



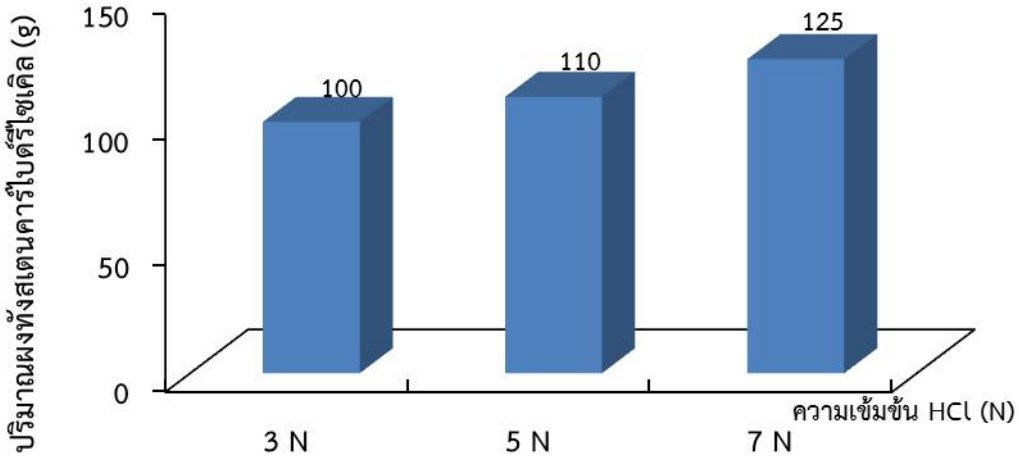
รูปที่ 1 ปริมาณโลหะผงที่ผ่านการกู้คืนโดยใช้แรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0.2-1.0 โวลต์ (V) ภายใต้อุณหภูมิ 30°C

จากรูปที่ 1 แสดงปริมาณโลหะผงที่สามารถกู้คืนได้ด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิส (electrolysis) โดยใช้แรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0.2-1.0 V ความเข้มข้นสารละลาย 1 N ภายใต้อุณหภูมิ 30°C ปรากฏว่า แรงดันไฟฟ้า 0.2 V กู้คืนโลหะผงได้ 80 กรัม แรงดันไฟฟ้า 0.4 V กู้คืนโลหะผง 95 กรัม แรงดันไฟฟ้า 0.6 V กู้คืนโลหะผง 130 g แรงดันไฟฟ้า 0.8 V กู้คืนโลหะผงได้ 90 g และแรงดันไฟฟ้า 1.0 V กู้คืนโลหะผง 95 g

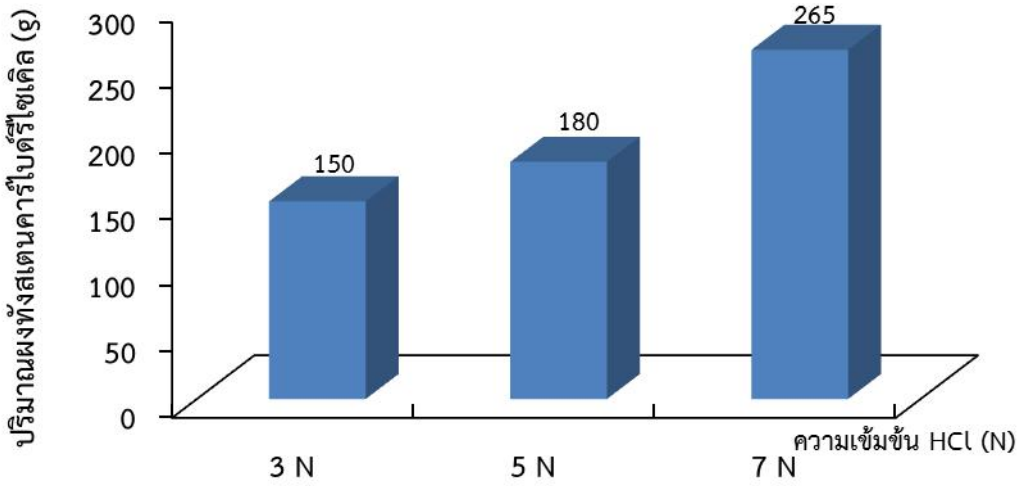


รูปที่ 2 ปริมาณโลหะผงที่ผ่านการกู้คืนโดยใช้แรงดันไฟฟ้า 0.4 V ภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 60-80°C

จากรูปที่ 2 แสดงปริมาณโลหะผงที่สามารถกู้คืนได้ด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิส (electrolysis) โดยใช้แรงดันไฟฟ้า 0.4 V ความเข้มข้นสารละลาย 1 N ภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 60-80°C ปรากฏว่า ที่อุณหภูมิ 60°C กู้คืนโลหะผงได้ 43 g อุณหภูมิ 70°C กู้คืนโลหะผงได้ 77 g และอุณหภูมิ 80°C กู้คืนโลหะผง 93 g



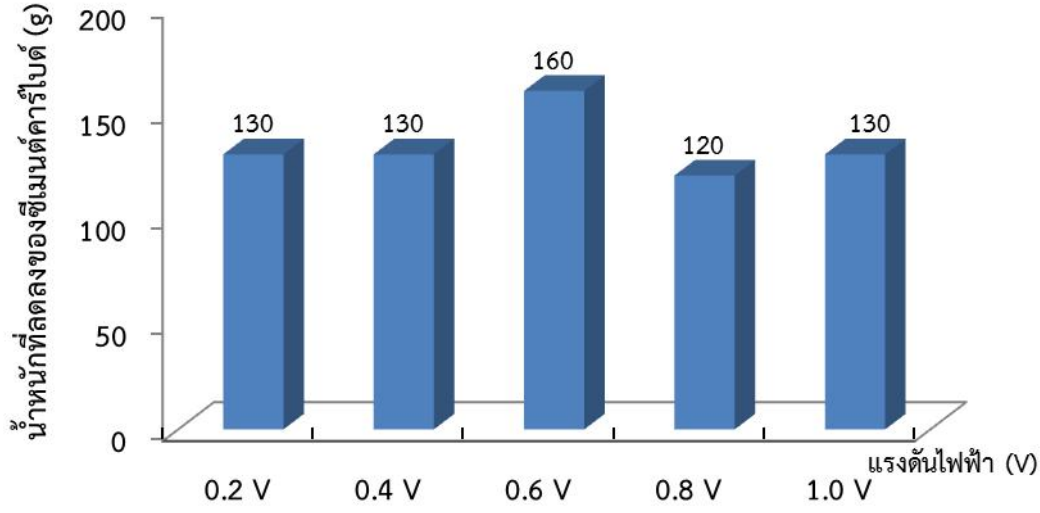
รูปที่ 3 ปริมาณโลหะผงที่ผ่านการกู้คืนโดยใช้แรงดันไฟฟ้า 0.4 V ความเข้มข้นสารละลาย 3-7 N ภายใต้อุณหภูมิ 50°C



รูปที่ 4 แสดงปริมาณโลหะผงที่ผ่านการกู้คืนโดยใช้แรงดันไฟฟ้า 0.4 V ความเข้มข้นสารละลาย 3-7 N ภายใต้อุณหภูมิ 80°C

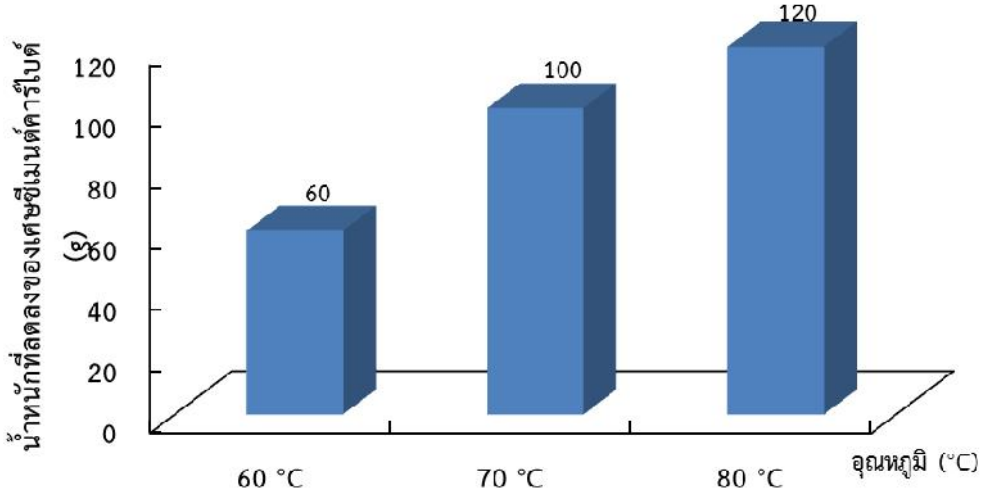
จากรูปที่ 3-4 แสดงปริมาณโลหะผงที่สามารถกู้คืนได้ด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิส (electrolysis) โดยใช้ไฟฟ้า 0.4 V ความเข้มข้นสารละลาย 3-7 N ภายใต้อุณหภูมิ 50 และ 80°C ปรากฏว่า ความเข้มข้นสารละลาย 3 N อุณหภูมิ 50°C กู้คืนโลหะผงได้ 100 g อุณหภูมิ 80°C กู้คืนโลหะผงได้ 150 g ความเข้มข้นสารละลาย 5 N อุณหภูมิ 50°C กู้คืนโลหะผงได้ 110 g อุณหภูมิ 80°C กู้คืนโลหะผงได้ 180 g และความเข้มข้นสารละลาย 7 N อุณหภูมิ 50°C กู้คืนโลหะผงได้ 125 g อุณหภูมิ 80°C กู้คืนโลหะผงได้ 265 g

3.2 น้ำหนักเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ที่ผ่านการกู้คืนด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิส (electrolysis)



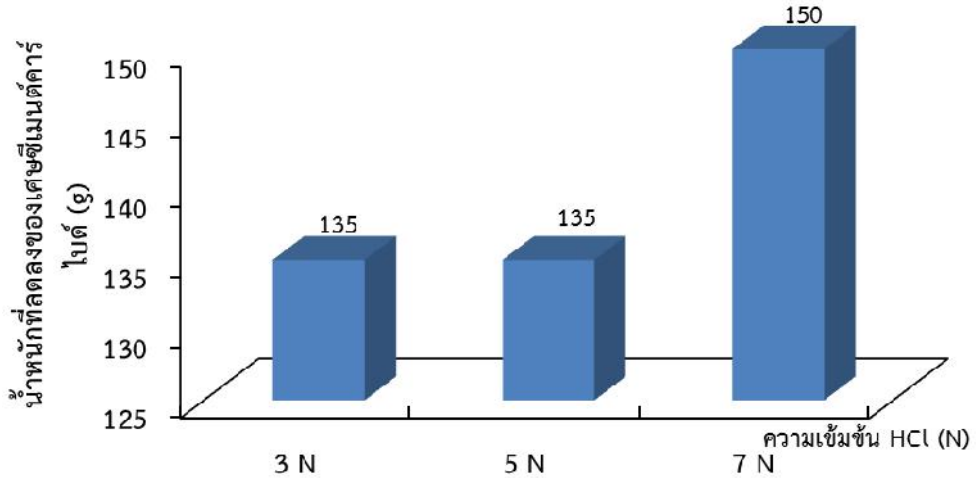
รูปที่ 5 แสดงน้ำหนักเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ผ่านการกู้คืนโดยใช้แรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0.2-1.0 V ความเข้มข้นสารละลาย 1 N ภายใต้อุณหภูมิ 30°C

จากรูปที่ 5 แสดงน้ำหนักของชิ้นงานซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์ที่ลดลงโดยใช้แรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0.2-1.0 V ความเข้มข้นสารละลาย 1 N ภายใต้อุณหภูมิ 30°C แรงดันไฟฟ้า 0.2 V น้ำหนักชิ้นงานลดลง 130 g แรงดันไฟฟ้า 0.4 น้ำหนักชิ้นงานลดลง 130 g แรงดันไฟฟ้า 0.6 V น้ำหนักชิ้นงานลดลง 160 g แรงดันไฟฟ้า 0.8 V น้ำหนักชิ้นงานลดลง 120 g และแรงดันไฟฟ้า 1.0 V น้ำหนักชิ้นงานลดลง 130 g

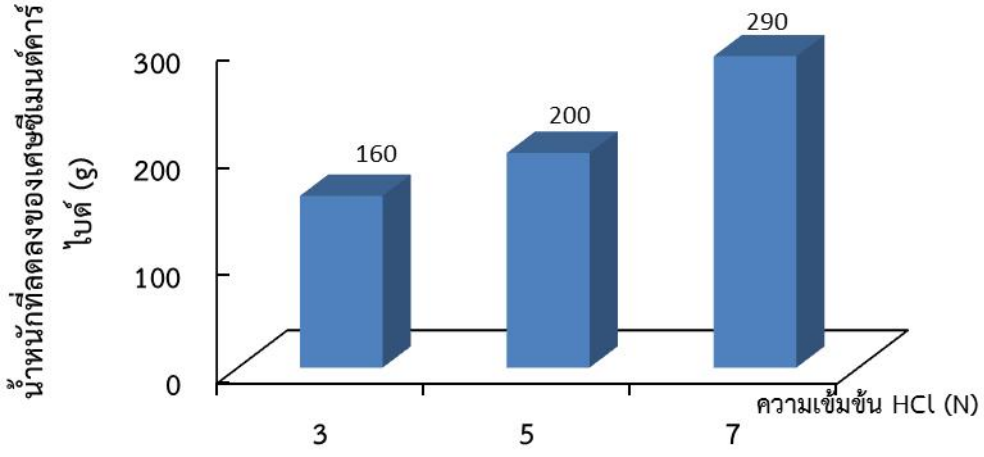


รูปที่ 6 แสดงน้ำหนักเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ที่ผ่านการกู้คืนโดยใช้แรงดันไฟฟ้า 0.4 V ความเข้มข้นสารละลาย 1 N ภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 60-80°C

จากรูปที่ 6 แสดงน้ำหนักของชิ้นงานซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์ที่ลดลงโดยใช้แรงดันไฟฟ้าที่ 0.4 V ความเข้มข้นสารละลาย 1 N ภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 60-80°C ผลปรากฏว่าอุณหภูมิ 60°C น้ำหนักซีเมนต์คาร์ไบด์ลดลง 60 g อุณหภูมิ 70°C น้ำหนักซีเมนต์คาร์ไบด์ลดลง 100 g อุณหภูมิ 80°C น้ำหนักซีเมนต์คาร์ไบด์ลดลง 120 g



รูปที่ 7 แสดงน้ำหนักเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ที่ผ่านการกู้คืนโดยใช้แรงดันไฟฟ้า 0.4 V ความเข้มข้นสารละลาย 3-7 N ภายใต้อุณหภูมิ 50°C

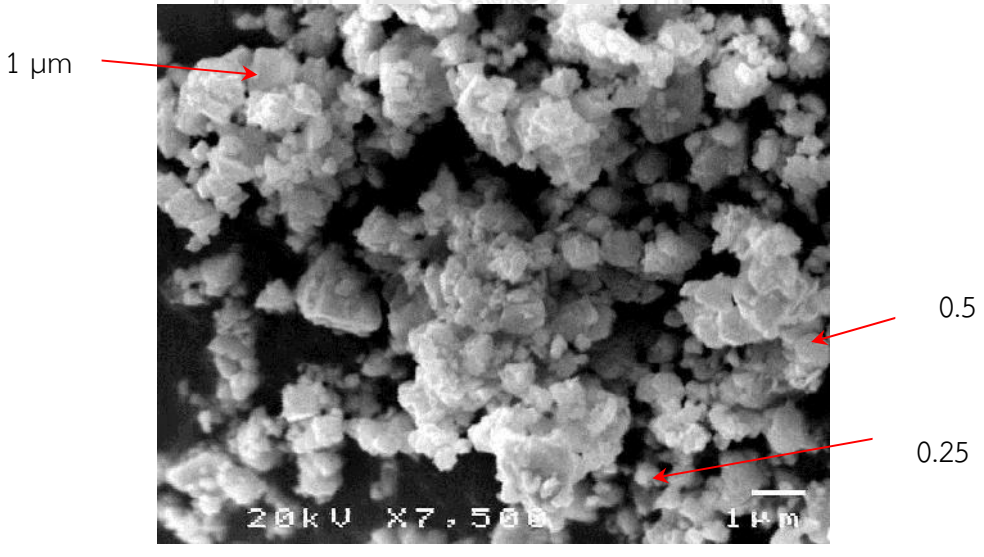


รูปที่ 8 แสดงน้ำหนักเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ที่ผ่านการกู้คืนโดยใช้แรงดันไฟฟ้า 0.4 V ความเข้มข้นสารละลาย 3-7 N ภายใต้อุณหภูมิ 80°C

จากรูปที่ 7-8 แสดงน้ำหนักที่ลดลงของชิ้นงานซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์โดยใช้แรงดันไฟฟ้า 0.4 V ความเข้มข้นสารละลาย 3-7N ภายใต้อุณหภูมิ 50 และ 80°C ผลปรากฏว่าความเข้มข้นสารละลาย 3 N อุณหภูมิ 50°C น้ำหนักซีเมนต์คาร์ไบด์ลดลง 135 g อุณหภูมิ 80°C น้ำหนักซีเมนต์คาร์ไบด์ลดลง 160 g ความเข้มข้นสารละลาย 5N อุณหภูมิ 50°C น้ำหนักซีเมนต์คาร์ไบด์ลดลง 135 g อุณหภูมิ 80°C น้ำหนักซีเมนต์คาร์ไบด์ลดลง 200 g ความเข้มข้นสารละลาย 7N อุณหภูมิ 50°C น้ำหนักซีเมนต์คาร์ไบด์ลดลง 150 g อุณหภูมิ 80°C น้ำหนักซีเมนต์คาร์ไบด์ลดลง 290 g

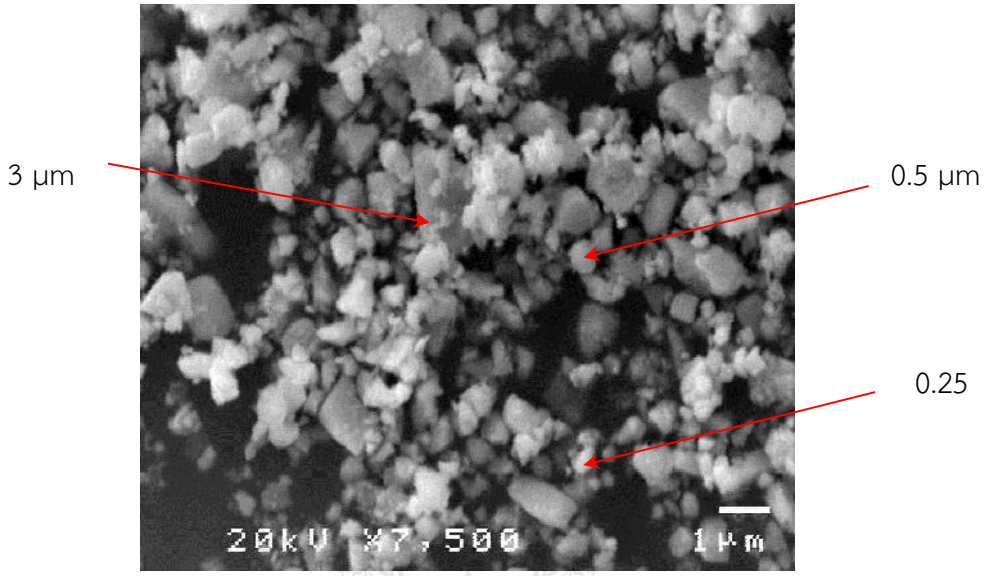
3.3 การศึกษาลักษณะรูปร่าง (Scanning Electron Microscope: SEM)

การวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างด้วยเทคนิค SEM ใช้ในการศึกษารูปร่างและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิว ซึ่งผลจากการศึกษาโลหะผงที่ผ่านการกู้คืนมีดังนี้



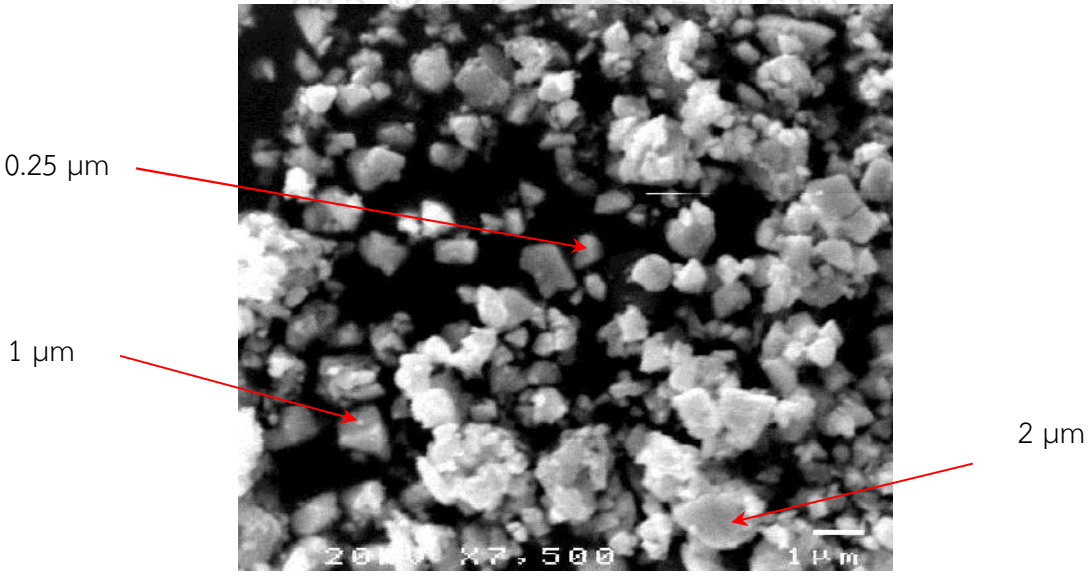
รูปที่ 9 แสดงผล SEM ของโลหะผงที่ผ่านการกู้คืนด้วยแรงดันไฟฟ้า 0.4 V อุณหภูมิ 60 °C ความเข้มข้นสารละลาย 1 N ที่กำลังขยาย 7,500 เท่า

จากรูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์ด้วย SEM ที่กำลังขยาย 7,500 เท่า ปรากฏว่า อนุภาคโลหะผงมีขนาดระหว่าง 0.5-1.0 μm ขนาดเล็กสุดประมาณ 0.25 μm ใหญ่สุดประมาณ 1 μm เฉลี่ยอยู่ที่ 0.5 μm



รูปที่ 10 แสดงผล SEM ของโลหะผงที่ผ่านการกู้คืนด้วยแรงดันไฟฟ้า 0.4 V อุณหภูมิ 70 °C ความเข้มข้นสารละลาย 1 N ที่กำลังขยาย 7,500 เท่า

จากรูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 7,500 เท่า ปรากฏว่า อนุภาคโลหะผงมีขนาดระหว่าง 0.5-3.0 μm ขนาดเล็กสุดประมาณ 0.25 μm ใหญ่สุดประมาณ 3 μm เฉลี่ยอยู่ที่ 1 μm



รูปที่ 11 แสดงผล SEM ของโลหะผงที่ผ่านการกู้คืนด้วยแรงดันไฟฟ้า 0.4 V อุณหภูมิ 80 °C ความเข้มข้นสารละลาย 1N ที่กำลังขยาย 7,500 เท่า

จากรูปที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์ SEM ที่กำลังขยาย 7,500 เท่า ปรากฏว่า อนุภาคโลหะผงมีขนาดระหว่าง 0.25-2.0 μm ขนาดเล็กสุดประมาณ 0.25 μm ใหญ่สุดประมาณ 2 μm เฉลี่ยอยู่ที่ 1 μm

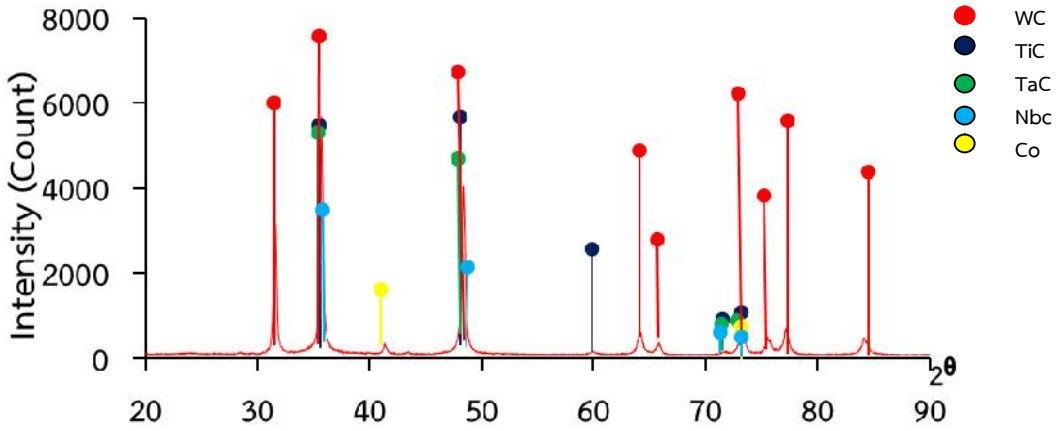
3.4 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุในสารตัวอย่าง (X-Ray Fluorescence Spectrometry: XRF)

เทคนิค X-Ray Fluorescence Spectrometry หรือ เทคนิค XRF เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาชนิดและปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลวและสารแขวนลอยได้ ผลการวิเคราะห์โลหะผงที่ผ่านการกู้คืนสามารถแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีทางเคมีของโลหะผงที่ผ่านการกู้คืน

W	Ti	Ta	Nb	Co	Fe	Cr	S	Al
95.62%	1.74	1.68	0.42	0.35	0.04	0.03	0.08	0.04

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุในสารตัวอย่าง ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence: XRF จากการวิเคราะห์ปรากฏว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นทังสเตน 95.62% นอกนั้นเป็นธาตุอื่นๆ ประมาณ 4.38 % เช่น แทนทาลัม (Ta) ไทเทเนียม (Ti) ไนโอเบียม (Nb) โคบอลต์ (Co) เป็นต้น



รูปที่ 12 แสดงการวิเคาะห์ X-Ray Diffraction โลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการกู้คืน

จากรูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction: XRD ปรากฏว่า โครงสร้างผลึกของโลหะผงพบว่าเอกลักษณ์ของธาตุคือ ทังสเตนคาร์ไบด์ แต่ยังมีสารอื่นประกอบด้วยเช่น ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (Tic) แทนทาลัมคาร์ไบด์ (Tac) และไนโอเบียมคาร์ไบด์ (NBC)

4. สรุป

การกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์ด้วยวิธีการ Electrolysis โดยใช้แรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0.2-1.0 V ความเข้มข้นสารละลายไฮโดรคลอริก 1-7 N ที่อุณหภูมิ 30-80°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้

การกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์ด้วยวิธี Electrolysis โดยใช้แรงดันไฟฟ้า 0.6 V ความเข้มข้นสารละลาย HCl 1 N โดยสามารถกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์ได้ 130 g เป็นผลการกู้คืนที่สามารถอธิบายถึงประสิทธิภาพสูงที่สุดในกระบวนการกู้คืนทังสเตนคร์ไบด์จากเศษซีเมนต์คาร์ไบด์โดยใช้ความเข้มข้นสารละลาย 1 N น้ำหนักของชิ้นงานลดลง 160 g ในเวลา 48 ชั่วโมง กระบวนการนี้สามารถกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์ได้เช่นเดียวกับงานวิจัย และจากงานวิจัย พบว่าการกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์จากเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ด้วยวิธีการ Electrolysis ปริมาณกู้คืนสูงสุดอยู่ที่แรงดันไฟฟ้า 0.4 V ซึ่งเมื่อมี

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความเข้มข้นสารละลายปรากฏว่า ที่อุณหภูมิ 80°C สามารถกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์ได้ 93 g ถ้าความเข้มข้นสารละลาย HCl เพิ่มขึ้นจะทำให้สามารถสลายชิ้นงานได้ดีขึ้นซึ่งน้ำหนักที่ลดลงของชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์จะแปรผันไปตามความเข้มข้นของสารละลายสอดคล้องกับงานวิจัย อย่างไรก็ตามการสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Hydrothermal treatment) อัตราการสกัดโคบอลต์จากเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ได้ดีที่อุณหภูมิ 110 °C และการใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่า 4 N ขึ้นไปมีแนวโน้มการสลายโคบอลต์ได้สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่สามารถสลายโลหะประสานโคบอลต์ได้ดีที่ความเข้มข้นสารละลาย 7 N และสามารถกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์กว่า 265 g โดยน้ำหนักของเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ลดลงมากที่สุดคือ 290 g ในเวลา 48 ชั่วโมง

จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการกู้คืนปรากฏว่า มีอนุภาคขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ 0.5-1.0 μm ใหญ่สุดไม่เกิน 3 μm ซึ่งมีสมบัติเหมาะสมใกล้เคียงกับกระบวนการพัฒนาเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ด้วยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สามารถกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์ขนาดอนุภาคใหญ่สุดไม่เกิน 3 μm

จากการวิเคราะห์สารประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน หรือ เทคนิค XRD เพื่อศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างพบว่าองค์ประกอบหลักคือเฟสทังสเตนคาร์ไบด์ แต่ยังมีสารอื่นประกอบ เช่น ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (Tic) แทนทาลัมคาร์ไบด์ (Tac) และไนโอเบียมคาร์ไบด์ (NBC) ซึ่งเป็นสารประกอบตั้งต้นของการผลิตชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ ส่วนการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุในสารตัวอย่าง (X-Ray Fluorescence Spectrometry: XRF) ปรากฏว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นทังสเตน 95.62% นอกนั้นเป็นธาตุอื่นๆ ประมาณ 4.38 % เช่น แทนทาลัม (Ta) ไทเทเนียม (Ti) ไนโอเบียม (Nb) โคบอลต์ (Co)

การกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์โดยอิเล็กใช้อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) ที่แรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0.2-1.2 V อุณหภูมิ 30°C ปรากฏว่า มีอัตราการกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์อยู่ระหว่าง 61.53-81.25% น้ำหนักชิ้นงานลดลง 120-160 g ในเวลา 48 ชั่วโมง

การกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์ด้วยอิเล็กใช้อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) ที่แรงดันไฟฟ้า 0.4 V อุณหภูมิ 60-80°C ความเข้มข้นสารละลาย HCl 1 N ใช้เวลา 48 ชั่วโมง อัตราการกู้คืนทังสเตนคาร์ไบด์อยู่ระหว่าง 72-91.37% ซึ่งแปรผันตามความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายโดยที่ความเข้มข้นระหว่าง 3-7 N ที่อุณหภูมิ 50-70°C มีอัตราการกู้คืนอยู่ระหว่าง 74-91.30% (น้ำหนักที่ลดลงเทียบกับผงที่ผลิตได้ของการสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์) ทำให้น้ำหนักชิ้นงานลดลงระหว่าง 135-290 g ภายในเวลา 48 ชั่วโมง (คิดเป็น 67.5-145 g ต่อวัน)

การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคปรากฏว่ามีขนาดอนุภาคระหว่าง 0.25-3 μm เฉลี่ยอยู่ที่ 1 μm เมื่อผ่านการตรวจสอบชนิดและปริมาณของธาตุด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence: XRF ปรากฏว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นทังสเตน 95.62% นอกนั้นเป็นธาตุอื่นๆ ประมาณ 4.38 % เช่น แทนทาลัม (Ta) ไทเทเนียม (Ti) ไนโอเบียม (Nb) โคบอลต์ (Co) เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สำหรับการใช้สถานที่เพื่อการดำเนินงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

X.Q. Ou, D.H. Xiao, T.T. Shen, M. Song, Y.H. He, Characterization and preparation of ultra-fine grained WC–Co alloys with minor La-additions, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials 31 (2012) 266–273.

M. Mohammadpour a,, P. Abachi a, N. Parvin b, K. Pourazrang a, Study of cemented carbonitrides with nickel as binder: Experimental investigations and computer calculations Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials 31 (2012) 164–170.

Wolf-W.Albrecht, Hard Metal (WC-Co), retired Director of H.C. Starck, Germany, and November 2008.

Savvatimskiy, A (2005). "Measurements of the melting point of graphite and the properties of liquid carbon (a review for 1963–2003)". Carbon 43 (6): 1115.

Pohanish, Richard P. (2012). Sittig's Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens. Sixth Edition.Kidlington, UK: Elsevier, Inc. p. 2670. ISBN 978-1-4377-7869-4.

Ulrich Schlottmann, SIDS Initial Assessment Report, Washington, DC, 18-20 October 2005.

CRC Materials Science and Engineering Handbook (2001).

Gerald R. Smith, Materials Flow of Tungsten in the United State. Bureau of mines information circular, 1994.

Mitsuru Sasaki a, Wahyudiono a, Asli Yuksel a, Motonobu Goto, Applications of hydrothermal electrolysis for conversion of 1-butanol in wastewater treatment, Fuel Processing Technology 91 (2010) 1125–1132.

Sebahattin Gürmen1; Bernd Friedrich2, Recovery of Cobalt Powder and Tungsten Carbide from Cemented Carbide Scrap - Part I: Kinetics of Cobalt Acid Leaching, 1Istanbul Technical University, Metallurgical & Materials Eng. Dept., Istanbul, Türkei, 2IME Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen University, Germany,2000.

Kang, Y. K., Roemer, G. J., Ghosh, D., (2000), Microstructural characterization of cemented carbide samples by image analysis techniques, Powder Technology, Volume 108, Issues 2-3: 130-136.

Engqvist, H., Uhrenius, B., (2003), Determination of the average grain size of cemented carbides, Int. J. of Refractory Metals & Hard Materials 21, 31-35.

Andren, O. H., (2001), Microstructure development during sintering and heat-treatment of cemented carbides and cermets, Materials Chemistry and Physics 67, 209-213.

Sandvik hard Materials, Ref.no.H-9116 ENG, (Edited 2005).

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, 464-8603, Japan.

Jing-Chie Lin, Jain-Yuan Lin, Shie-Peir Jou, Selective dissolution of the cobalt binder from scraps of cemented tungsten carbide in acids, Hydrometallurgy 43 (1996) 47-61.

Jing-Chie Lin, Jain-Yuan Lin, Process for Recovering Tungsten Carbide from Cemented Tungsten Carbide Scraps by selective electrolysis,Jun. 24,1995.

Sankaran Venkateswaran, Wolf-Dieter Schubert & Benno Lux, W-Scrap Recycling by the Melt Bath Technique International,Journal of Refractory Metals and Hard Materials Volume 14, 1996, Pages 263–270.

Mohammad H, Ghandehari, Salt lake City, Utah; Mortimer Schussler, Buffalo Grove, III, Process for Recovering metal Carbide powder form Cemented carbide, Nov.18, 1980.