บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง วิจารณ์ และข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาความเป็นไปได้ของการเตรียมสารประกอบบางชนิดของโครเมียมจากแร่โครไมต์ซึ่งพบในประเทศไทยนั้น ขั้นแรกจำเป็นจะต้องศึกษาหาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของแร่โครไมต์นี้เสียก่อน เพื่อนำผลที่ได้ไปศึกษาต่อ จากผลการทดลองหาความชื้นของแร่โครไมต์ พบว่ามีปริมาณความชื้นเฉลี่ย 0.58±0.02 เปอร์เซนต์ นับว่ามีความชื้นต่ำ ซึ่งจากลักษณะของแร่โครไมต์ก็น่าจะเป็นเช่นนั้น เพราะแร่นี้มีลักษณะแข็ง สีดำ และประกอบด้วยสารที่ไม่ดูดความชื้น หาความถ่วงจำเพาะได้ค่าเฉลี่ย 3.63±0.00 ซึ่งค่อนข้างต่ำ แสดงว่าแร่นี้มีปริมาณของโครเมียมต่ำด้วย ซึ่งตรงกันกับผลการวิเคราะห์ทางเคมีโดยอาศัยเทคนิคต่าง ๆ วิเคราะห์หาปริมาณของโครมิกออกไซด์ได้ประมาณ 40 เปอร์เซนต์ (จากผลการทดลองซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 3.5 และ 3.10-3.11 ซึ่งจัดว่าแร่โครไมต์นี้เป็นแร่ประเภทเกรดต่ำ[15] แต่ถ้าเป็นแร่เกรดสูง จะต้องมีโครมิกออกไซด์มากกว่า 50 เปอร์เซนต์ขึ้นไป แร่โครไมต์นี้เมื่อนำมาบดให้ละเอียดแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง ๆ (1000 องศาเซลเซียส) จะพบว่าน้ำหนักหายไปโดยเฉลี่ยถึง 3.60±0.03 เปอร์เซนต์ (ดูการทดลองที่ 3.2.2.1 และผลการทดลองตามตารางที่ 3.31 แสดงว่าการสลายตัวด้วยความร้อนของแร่นี้เกิดขึ้นโดยมีสารบางประเภทเช่น ฟอสเฟต หรือน้ำที่จับไว้ (bound water) หรืออาจเป็นสารเจือปนอื่น ๆ สลายตัวออกไป ซึ่งสารเหล่านี้จะไม่ระเหยออกไปเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำ

จากการศึกษาหาคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ของธาตุต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของแร่โครไมต์ ได้ใช้เทคนิคต่าง ๆ กันทำการวิเคราะห์ โดยดูถึงความเหมาะสมเป็นสำคัญ ในการทำคุณภาพวิเคราะห์ ได้ใช้เทคนิคทาง X-ray fluorescence spectrometry ตามการทดลองที่ 3.3.1.1 พบว่าแร่โครไมต์ประกอบด้วยธาตุ Cr, Fe, Si, Mg, Al, Ca, Cu, Zn, Ti และ V ตามผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 3.2 และในการทำปริมาณวิเคราะห์ของธาตุเหล่านี้ ได้ใช้เทคนิคทาง Atomic absorption spectroscopy ตามการทดลองที่ 3.3.2.2 และผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3.9 และ 3.10 ซึ่งพบว่ามีปริมาณของ Cr_2O_3 อยู่ 42.27±0.23 เปอร์เซนต์ และมี FeO อยู่ 15.43±0.42 เปอร์เซนต์ นอกจากนี้ยังมี MgO และ SiO_2 ค่อนข้างสูง

คือ 16.28±0.20 และ 17.51±0.10 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ และยังมี Al_2O_3 ถึง 6.82±0.16 เปอร์เซนต์ จะเห็นว่าเปอร์เซนต์ของ Cr_2O_3 มีน้อยไปหน่อย จึงจัดอยู่ในประเภทแร่เกรดต่ำ อัตราส่วนของ Cr:Fe เป็น 2.5:1 ซึ่งมีค่าต่ำ และไม่เหมาะสำหรับนำมาถลุงเป็นโลหะโครเมียม ในการวิเคราะห์แร่โครไมต์โดยวิธีนี้ ได้ใช้วิธีหลอมละลายแร่กับบอแรกซ์ตามการทดลองที่ 3.3.2 ซึ่งพบว่าแร่โครไมต์หลอมละลายได้ยาก จำเป็นต้องศึกษาอย่างละเอียดจนได้ปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ คือ ใช้แร่ที่บดละเอียด -200 เมช หนัก 0.1000 กรัม หลอมกับบอแรกซ์ 1.0000 กรัม ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2½ ชั่วโมง 2 ครั้ง จึงจะสลายแร่ได้อย่างสมบูรณ์ สำหรับผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของแร่โครไมต์โดยใช้เทคนิค X-ray fluorescence spectroscopy และใช้หลักการวิเคราะห์ตาม ASTM ปรากฏว่าได้ผลใกล้เคียงกัน ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 3.5 และ 3.9-3.11 ปริมาณของธาตุที่มีมาก ๆ นั้น ได้แสดงไว้แล้วข้างบน ส่วนธาตุที่มีปริมาณน้อย ได้แก่ Ca, Zn, Cu, Mn, Ni, V และ Ti

การศึกษาหาวิธีการสกัดโครเมียมออกจากแร่โครไมต์นั้น ใช้แร่โครไมต์ที่บดละเอียดขนาด -200 เมช 5.0000 กรัม นำไปอบกับกรดซัลฟูริก 15 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงนำไปละลายเพื่อสกัดเอาโครเมียมออกมาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่าง ๆ กัน ดังการทดลองที่ 3.4.2.1 ผลการทดลองอยู่ในตารางที่ 3.12 จะพบว่าเวลาที่ใช้สกัดที่เหมาะสมในสภาวะดังกล่าวควรเป็น 6 ชั่วโมง สามารถสกัดโครเมียมออกมาได้ 44.82 เปอร์เซนต์ และได้ทำการทดลองโดยใช้ออกซิแดนท์ คือ แมงกานีส-ไดออกไซด์ผสมลงไป 5.0000 กรัม จะทำให้ประสิทธิภาพของการสกัดดีขึ้นสามารถสกัดโครเมียมออกมาได้ถึง 78.41 เปอร์เซนต์ในเวลาที่เท่ากันและได้ศึกษาโดยการใช้กรดซัลฟูริกในปริมาณต่าง ๆ กัน โดยใส่ออกซิแดนท์ด้วย ดังการทดลองที่ 3.4.2.3 ผลการทดลองอยู่ในตารางที่ 3.13 เมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ 3.13 ควรใช้ปริมาณกรดซัลฟูริก 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือประมาณ 18.4 กรัม ซึ่งสกัดโครเมียมออกมาได้ประมาณ 73 เปอร์เซนต์ ในการศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการสกัดโครเมียมโดยใช้อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ดังการทดลองที่ 3.4.2.4 ผลการทดลองอยู่ในตารางที่ 3.14 ควรจะสกัดที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งจะสกัดโครเมียมออกมาได้ 69.82 เปอร์เซนต์ ถ้าสกัดที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ จะทำให้การสกัดดีขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จากกราฟรูปที่ 3.14 จะเห็นว่าเส้นกราฟเริ่มคงที่ในช่วงอุณหภูมิ 60-112 องศาเซลเซียส การสกัดที่ใช้อุณหภูมิสูง ๆ ทำให้เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก อาจไม่คุ้มกัน และการสกัดโครเมียมจะให้ผลดีจำเป็นต้องมีออกซิแดนท์เพื่อจะออกซิไดซ์ Cr (III) ให้เป็น Cr (VI) ซึ่งควรที่จะใช้ในปริมาณน้อย ๆ หรือใช้พอเหมาะ แต่จะต้องสามารถสกัดได้ดี จึงได้ทดลองใช้ออกซิแดนท์ในปริมาณต่าง ๆ กัน

ดังการทดลองที่ 3.4.2.5 ผลการทดลองอยู่ในตารางที่ 3.15 และจากกราฟรูปที่ 3.15 แสดงให้เห็นว่าการใช้ออกซิแดนท์ควรเลือกใช้ออกซิแดนท์จำนวน 5.0000 กรัม ต่อแร่โครไมต์ 5.0000 กรัม (1:1 โดยน้ำหนัก) สามารถสกัดโครเมียมออกมาได้สูงสุดประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าอัตราส่วนของแร่โครไมต์ต่อออกซิแดนท์น้อยกว่า 1:1 จะทำให้การสกัดไม่ค่อยได้ผลและถ้าใช้มากกว่า 1:1 ก็จะเป็นการสิ้นเปลืองเพราะประสิทธิภาพในการสกัดนั้นเริ่มคงที่ ส่วนในการหาเวลาที่ใช้ในการอบแร่โครไมต์กับกรดซัลฟูริกนั้น ได้ทดลองอบในเวลาต่าง ๆ กัน ดังการทดลองที่ 3.4.2.6 ผลการทดลองอยู่ในตารางที่ 3.16 จะพบว่าเป็นกราฟในรูปที่ 3.16 เกือบจะเป็นเส้นตรง การใช้เวลาในการอบ 10 นาที นับว่าเหมาะสมที่สุด ซึ่งให้ประสิทธิภาพของการสกัดถึง 71.36 เปอร์เซ็นต์ ถ้าอบนาน 20 นาที คือใช้เวลาเป็น 2 เท่า แต่ให้เปอร์เซ็นต์การสกัดเพิ่มขึ้นเพียง 2.5 เปอร์-เซ็นต์เท่านั้น คือสกัดได้ 73.80 เปอร์เซ็นต์ นับว่าไม่คุ้มกับเวลาและพลังงานที่เสียไป เมื่อได้ศึกษาโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้อบแร่โครไมต์กับกรดซัลฟูริก ดังการทดลองที่ 3.4.2.7 ผลการทดลองอยู่ในตารางที่ 3.17 จะเห็นว่าช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 150-450 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่การสกัดโครเมียมได้ผลดีใกล้เคียงกัน คือประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นประสิทธิภาพของการสกัดโครเมียมจะลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบให้สูงขึ้นอยู่ในช่วง 550-800 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงมาก ๆ นั้นจะทำให้มีการสูญเสียกรดซัลฟูริก เนื่องจากการสลายตัวของกรดเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไตรออกไซด์มากขึ้น จึงทำให้ปริมาณของกรดซัลฟูริกเหลืออยู่น้อยในขณะที่ทำการสกัด ดังนั้นจึงได้เลือกใช้อุณหภูมิในการอบที่ 150 องศาเซลเซียส และไม่ควรใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป ซึ่งจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงผลของการใช้แร่ที่มีความละเอียดต่าง ๆ กันในการสกัดด้วย ดังการทดลองที่ 3.4.2.8 และผลการทดลองอยู่ในตารางที่ 3.18 ซึ่งจะเห็นว่าขนาดของแร่ยิ่งเล็ก การสกัดโครเมียมก็จะได้ผลดียิ่งขึ้น คือ ถ้าใช้ขนาด -200 เมช จะให้ประสิทธิภาพในการสกัด 70.85 เปอร์เซ็นต์ ฉะนั้น ควรใช้แร่ขนาด -200 เมช ขึ้นไป จึงจะได้ผลดี แต่ทั้งนี้ควรคำนึงถึงค่าใช้จ่ายของการบดแร่ด้วย ตามปกติค่าใช้จ่ายในการบดแร่ให้ละเอียดมาก ๆ จะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงขึ้นด้วย และเพื่อที่จะศึกษาถึงผลดีผลเสียของการอบแร่โครไมต์กับกรดซัลฟูริกก่อนนำไปต้มนั้นว่าจะมีผลมากน้อยเพียงใด จึงได้ทำการทดลองกับแร่ที่มีความละเอียดต่าง ๆ กัน โดยต้มแร่โครไมต์กับกรดซัลฟูริกโดยไม่ผ่านขบวนการอบแร่ก่อน ดังการทดลองที่ 3.4.2.9 และผลการทดลองอยู่ในตารางที่ 3.18 พบว่าประสิทธิภาพของการสกัดโครเมียมจากแร่มีประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น จากการทดลองดังกล่าว แสดงว่าการอบแร่โครไมต์กับกรดซัลฟูริกก่อนนำไปสกัดนั้นมีผลอย่างมากต่อการสกัดโครเมียม ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าในการสกัดโครเมียมออกจากแร่โครไมต์ให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดควรใช้อัตราส่วนของแร่โครไมต์

แมงกานีสไดออกไซด์ และกรดซัลฟูริก เป็น 1:1:3.7 (โดยน้ำหนัก) แล้วอบที่อุณหภูมิ 150 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง

การศึกษาการสกัดโครเมียมออกจากแร่โครไมต์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ทดลองใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 โมล/ลิตร โดยต้มโซเดียมไฮดรอกไซด์กับแร่โครไมต์ที่บดละเอียดขนาด -200 เมช ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ในเวลาต่าง ๆ กัน ดังการทดลองที่ 3.4.3.1 ผลการทดลองอยู่ในตารางที่ 3.19 แสดงถึงประสิทธิภาพของการสกัดโครเมียมได้เพียง 0.06 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 8 ชั่วโมง นับว่าได้ผลไม่ดีเลย จึงได้ศึกษาใหม่โดยใช้ออกซิแดนท์คือ แมงกานีสไดออกไซด์ช่วยในการสกัดด้วย ดังการทดลองที่ 3.4.3.2 และผลการทดลองอยู่ในตารางที่ 3.20 ซึ่งประสิทธิภาพของการสกัดโครเมียมได้ 0.1 เปอร์เซ็นต์ในเวลาที่เท่ากัน แสดงว่าแมงกานีสไดออกไซด์ที่เติมลงไปนั้นไม่ได้ช่วยให้การสกัดดีขึ้นเลย จึงได้เปลี่ยนตัวออกซิแดนท์ใหม่เป็นโพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนต ดังการทดลองที่ 3.4.3.3 ผลการทดลองอยู่ในตารางที่ 3.21 พบว่าการสกัดในช่วงเวลา 2-10 ชั่วโมง สามารถสกัดโครเมียมออกมาได้ประมาณ 14-15 เปอร์-เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการสกัดด้วยกรดซัลฟูริกแล้ว ประสิทธิภาพของการสกัดด้วยกรดซัลฟูริกนั้นดีกว่ามาก และแม้ว่าการใช้โพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนตจะให้การสกัดที่ดีขึ้นกว่าเดิมก็ตาม แต่ก็ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นออกซิแดนท์ ทั้งนี้เนื่องจากราคาแพง และผลที่ได้ไม่คุ้มกับการลงทุน

การสกัดเอาโครเมียมออกจากสารละลายแร่โครไมต์นั้น ได้ทดลองศึกษาการสกัดจากสารละลายมาตรฐานโครเมียมเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมก่อน แล้วจึงนำมาใช้สกัดสารละลายออกจากแร่โครไมต์จริง ๆ โดยขั้นแรกใช้สารละลาย TOA เข้มข้น 2-7 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรในน้ำมันก๊าด สกัดโครเมียมจากสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 10-100 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์-เซนติเมตร โดยใช้อัตราส่วน o:a เท่ากับ 1:1 แล้วสกัดด้วยสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ดังการทดลองที่ 3.5.1 ผลการทดลองแสดงอยู่ในตารางที่ 3.22 ปรากฏว่าจะได้ประสิทธิภาพของการสกัดสารประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ จึงได้ใช้สารละลาย TBP เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์สกัดสารละลายมาตรฐานโครเมียมช่วงความเข้มข้น 10-30 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังการทดลองที่ 3.5.2 และผลการทดลองอยู่ในตารางที่ 3.23 ได้ประสิทธิภาพในการสกัดสูงสุดประมาณ 0.27 เปอร์เซ็นต์ จึงได้ลองศึกษาโดยใช้สารละลายผสมของ TOA และ TBP เข้มข้นอย่างละ 5 เปอร์เซ็นต์ สกัดสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 10-40 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังการทดลองที่ 3.5.3 และผลการทดลองแสดงอยู่ในตารางที่ 3.24 ได้ประสิทธิภาพของการสกัดไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองนี้จึงพอสรุปได้ว่า การสกัดสารละลายโครเมียมโดยใช้สารละลาย TOA นั้น จะได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการสกัดด้วยสารละลาย TBP

และการสกัดด้วยสารละลายผสมของ TOA และ TBP นั้น จะให้ผลดีกว่าเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการสกัดด้วย TOA อย่างเดียว แต่การสกัดนั้นได้ผลไม่ดีเท่าที่ควร จึงได้ศึกษาโดยใช้สารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ละลายในกรดซัลฟูริกช่วงความเข้มข้น 0.1-0.5 โมล/ลิตร สกัดด้วยสารละลาย TOA เข้มข้น 2-7 เปอร์เซนต์ ดังการทดลองที่ 3.5.4 ผลการทดลองอยู่ในตารางที่ 3.25 พบว่า ได้ประสิทธิภาพของการสกัดสูงประมาณ 83 เปอร์เซนต์ แล้วจึงได้ศึกษาโดยใช้สารละลายผสมของ TOA และ TBP เข้มข้นต่าง ๆ กัน ดังการทดลองที่ 3.5.5 ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.26 ปรากฏว่าได้ประสิทธิภาพของการสกัดสูงสุด 92.68 เปอร์เซนต์ โดยใช้สารละลายผสมของ TOA เข้มข้น 5 เปอร์เซนต์ และ TBP เข้มข้น 5 เปอร์เซนต์ สกัดโครเมียมออกจากสารละลายโครเมียมในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.3 โมล/ลิตร และได้ศึกษาเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลาย TOA ที่เหมาะสมในการสกัด ดังการทดลองที่ 3.5.6 ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.2.7 พบว่า เมื่อสกัดด้วยสารละลายผสมของ TOA เข้มข้น 4 เปอร์เซนต์ และ TBP เข้มข้น 5 เปอร์เซนต์ จะให้ประสิทธิภาพของการสกัดสูงถึง 88.58 เปอร์เซนต์ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียว่ามีผลต่อการสกัดเอาโครเมียมกลับไปอยู่ในชั้นน้ำหรือไม่นั้น ตามการทดลองที่ 3.5.7 และผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.28 พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียที่เหมาะสม เป็น 15 เปอร์เซนต์ สามารถสกัดโครเมียมออกมาได้ 89.80 เปอร์เซนต์ และยังได้หาอัตราส่วนของ o:a เพื่อสกัดโครเมียมออกมาให้มากที่สุด ดังการทดลองที่ 3.5.8 ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.29 และ รูปที่ 3.19 จะได้ค่า o:a เท่ากับ 1:2 และสามารถสกัดโครเมียมออกมาได้ 87.62 เปอร์เซนต์ ซึ่งจะให้ค่า Kd สูงสุดเท่ากับ 36.87 จึงได้นำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ในการสกัดโครเมียมจากสารละลายแร่ ซึ่งจะได้ประสิทธิภาพของการสกัดเฉลี่ยถึง 89.54 เปอร์เซนต์ ค่า Kd เฉลี่ย 32.40 เปอร์เซนต์ เมื่อได้สกัดโดยใช้แร่จำนวน 250 กรัม สามารถสกัดโครเมียมออกมาในรูปของแอมโมเนียมโครเมตที่มีความบริสุทธิ์ 95.18 เปอร์เซนต์ ได้จำนวน 100 กรัม ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นแอมเนียมไดโครเมตที่ให้ความบริสุทธิ์ 98.00 เปอร์เซนต์ ดังการทดลองที่ 3.9.2 โดยผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.39 โดยจะได้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นผลพลอยได้ และได้ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารประกอบที่เตรียมได้นี้กับสารที่บริสุทธิ์ โดยเทคนิคทาง X-ray diffraction ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.26

การเตรียมสารประกอบโซเดียมโครเมตโดยการสกัดโครเมียมจากแร่โครไมต์ด้วยการเผาแร่โครไมต์กับโซเดียมคาร์บอเนต ได้ศึกษาโดยใช้แร่โครไมต์ขนาด -200 เมช จำนวน 2.0000 กรัม ผสมกับโซเดียมคาร์บอเนต จำนวน 1.5000 กรัม และแคลเซียมออกไซด์จำนวน 1.0000 กรัม แล้วเผาที่

อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ดังการทดลองที่ 3.7.1 ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.31 และรูปที่ 3.20 จะเห็นว่าถ้าเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ประสิทธิภาพของการสกัดสูงถึง 81.75 เปอร์เซ็นต์ และยังได้ศึกษาดูผลของการเปลี่ยนแปลงจากการใช้อัตราส่วนของสารตัวอย่างต่าง ๆ กัน ดังการทดลองที่ 3.7.2 ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.32 และรูปที่ 3.21 ซึ่งจะเห็นว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้สกัดควรเป็น 2:1.5:1 ซึ่งสกัดโครเมียมออกมาได้ถึง 84.24 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาโดยใช้เวลาเผาของผสมที่เวลาต่าง ๆ กัน ดังการทดลองที่ 3.7.3 ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.33 และรูปที่ 3.22 ปรากฏว่าถ้าใช้เวลาเผา 1.5 ชั่วโมง สามารถสกัดโครเมียมออกมาได้ถึง 87.37 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาเกี่ยวกับขนาดเม็ดของแร่โดยใช้แร่ที่มีขนาดต่าง ๆ กัน ดังการทดลองที่ 3.7.4 ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.34 นอกจากนี้ถ้าใช้แร่มีขนาดเล็กมากเท่าใด การสกัดก็จะให้ผลมากขึ้นตามไปด้วย ถ้าใช้ขนาด -200 เมช จะสามารถสกัดโครเมียมออกมาได้ 86.68 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังได้ใช้เทคนิคทางฟลูอิดไดเซชันทดลองในการเตรียมอีกด้วย โดยใช้แร่ขนาด -60 เมช ใช้ของผสมอัตราส่วนเท่าเดิม คือ 2:1.5:1 เผาที่อุณหภูมิช่วง 600-800 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเผา 15 นาที ดังการทดลองที่ 3.8.1 ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.35 จะเห็นว่าประสิทธิภาพของการสกัดต่ำมาก คือไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้เพิ่มเวลาในการเผาให้มากขึ้นเป็น 1-4 ชั่วโมง ดังการทดลองที่ 3.8.2 ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.36 ประสิทธิภาพของการสกัดที่ 800 องศาเซลเซียส เผานาน 4 ชั่วโมง ได้เท่ากับ 28.41 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น และยังได้ศึกษาดูผลของขนาดของเม็ดแร่ในช่วง -40 ถึง -80 เมช ผลปรากฏว่า สามารถสกัดโครเมียมออกมาได้สูงสุดเพียง 23.88 เปอร์เซ็นต์ การใช้แร่ที่มีความละเอียดมากเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียของสารตัวอย่างมาก เพราะจะหลุดลอยไปกับอากาศที่ผ่านเข้าไปในเตามาก และการสัมผัสกันของสารตัวอย่างน้อยลง จึงทำให้การสกัดได้ผลไม่ดีเท่าที่ควร

จากการศึกษาดังกล่าวข้างต้น จึงได้ตกลงทดลองใช้สกัดแร่โครไมต์จำนวน 500 กรัม เผากับโซเดียมคาร์บอเนต และแคลเซียมออกไซด์ ดังการทดลองที่ 3.9.3 หลังจากแยกสิ่งเจือปนออกจากสารละลายโครเมียมที่ได้แล้วนำมาตกผลึกโซเดียมโครเมตและได้ผลึกที่บริสุทธิ์ 98.11 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 270 กรัม และได้ตรวจสอบโซเดียมโครเมตที่ได้กับสารบริสุทธิ์โดยใช้เทคนิคทาง X-ray diffraction ดังแสดงในรูปที่ 3.28 โซเดียมโครเมตที่ได้สามารถเปลี่ยนเป็นโซเดียมไดโครเมตได้ดังการทดลองที่ 3.9.4 ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.41 ซึ่งจะได้โซเดียมไดโครเมตที่มีความบริสุทธิ์ 99.48 เปอร์เซ็นต์ และได้โซเดียมซัลเฟตเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาอีกด้วย ซึ่งได้ตรวจสอบสารที่เตรียมได้กับสารบริสุทธิ์ โดยวิธีดังกล่าวข้างต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.31-3.32 ส่วน

โซเดียมไดโครเมตที่ได้สามารถใช้เป็นสารเริ่มต้นในการเตรียมโครเมียมไตรออกไซด์ ดังการทดลองที่ 3.9.5 ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.42 ซึ่งจะได้โครเมียมไตรออกไซด์ที่มีความบริสุทธิ์ถึง 97.89 เปอร์เซ็นต์ และได้โซเดียมไบซัลเฟตเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาอีกด้วย และได้ตรวจสอบโซเดียมไบซัลเฟตที่ได้เทียบกับสารบริสุทธิ์เช่นเดียวกับวิธีข้างต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.33 นอกจากนี้โซเดียมไดโครเมตยังใช้เป็นสารเริ่มต้นเพื่อเตรียมโครมิกออกไซด์ โดยนำไปเผากับกำมะถันผงเมื่อใช้โซเดียมไดโครเมต 2.0000 กรัม และกำมะถันผง 1.0000 กรัม เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ดังการทดลองที่ 3.9.6.1 ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.43 ปรากฏว่าเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จะได้ผลผลิตสูงถึง 84.20 เปอร์เซ็นต์ และได้ศึกษาโดยใช้กำมะถันผงผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ดังการทดลองที่ 3.9.6.2 ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.44 และรูปที่ 3.34 จะเห็นว่าได้ผลผลิตถึง 85.71 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้อัตราส่วนของโซเดียมไดโครเมตกับกำมะถันผงเป็น 2:1 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังได้ศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการเผาอีกด้วย ดังการทดลองที่ 3.9.6.3 ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.45 และรูปที่ 3.35 ปรากฏว่าการใช้อัตราส่วนของโซเดียมไดโครเมตกับกำมะถันผงเป็น 2:1 เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที จะให้ผลผลิตของโครมิกออกไซด์ดีที่สุดถึง 86.53 เปอร์เซ็นต์ และมีความบริสุทธิ์ 99.76 เปอร์เซ็นต์ และได้ตรวจสอบโดยเทียบกับสารบริสุทธิ์ตามวิธีดังกล่าวข้างต้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.36 ซึ่งจะเห็นว่าสารประกอบโครเมียมที่เตรียมได้มีความบริสุทธิ์สูงเป็นที่น่าพอใจ

สรุปแล้ว จากการศึกษานี้ทำให้ผู้วิจัยได้ทราบข้อมูลที่จำเป็นอย่างมากเกี่ยวกับการเตรียมสารประกอบบางชนิดของโครเมียมจากแร่โครไมต์ของประเทศไทย หรือแม้จากแหล่งอื่น ๆ ซึ่งเป็นการสกัดจากแร่ด้วยกรด การสกัดโครเมียมออกมาให้บริสุทธิ์จากสารละลายซึ่งมีสารเจือปนอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้ทราบถึงวิธีการต่าง ๆ ในการทำให้สารที่เตรียมได้บริสุทธิ์ขึ้น และได้ทราบถึงวิธีการเปลี่ยนสารประกอบอย่างหนึ่งให้เป็นอีกอย่างหนึ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพได้ด้วย ซึ่งวิธีการต่าง ๆ เหล่านี้ถือว่าเป็น technical know how ที่เก็บเป็นความลับ และต้องหาซื้อกันด้วยราคาแพง ซึ่งผู้วิจัยคิดว่าการศึกษานี้ให้ประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้ที่จะนำไปใช้ในการศึกษาระดับ pilot plant หรืออุตสาหกรรมต่อไป

<u>ข้อเสนอแนะ</u>

จากผลการทดลองการเตรียมสารประกอบของโครเมียมโดยวิธีต่าง ๆ กันนั้น ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่ก็ยังมีสิ่งที่ต้องแก้ไขและปรับปรุง เช่น สารตัวอย่างที่ใช้ทดลองนั้นถ้าเป็นแร่ที่เกรดสูง

กว่านี้ ก็จะทำให้ได้ผลที่ดียิ่ง ซึ่งคุ้มค่ากับการลงทุน และเครื่องมือที่ใช้สกัดแยกโครเมียม ตลอดจนเตาเผา ซึ่งจะต้องมีขนาดใหญ่ และออกแบบให้เหมาะสมกับงาน เตาเผาควรจะเป็นชนิดหมุน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาได้ดี และจะทำให้อุณหภูมิเท่ากันทุก ๆ จุด เมื่อใช้ปริมาณสารตัวอย่างมาก ๆ ในระดับอุตสาหกรรม และควรที่จะทำการทดลองในระดับใหญ่กว่านี้ ซึ่งจะต้องหาอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ให้เหมาะสม เพื่อจะได้เป็นข้อมูลในการทำในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย