

บทที่ 4

บทวิจารณ์

4.1 การสังเคราะห์ทับทิม

จากผลการสังเคราะห์ทับทิมด้วยวิธีการนำความร้อนของเปลวพลาสมา (ในหัวข้อ 3.1) พบว่า ทับทิมสังเคราะห์ที่สร้างขึ้นได้ผลการทดลองออกมาดีพอใช้ แต่ผลิตภัณฑ์ยังมีเนื้อค่อนข้างทึบแสงและมีขนาดค่อนข้างเล็ก (ดังภาพประกอบที่ 23-24) คาดว่าสาเหตุที่เนื้อทับทิมมีความทึบแสงอาจเกิดขึ้นจากการหลอมของเนื้อทับทิมที่ยังหลอมไม่เป็นเนื้อเดียวหรืออาจเกิดจากการหลอมตัวที่ยังไม่เป็นผลึกเดี่ยวที่สมบูรณ์ ซึ่งส่วนหนึ่งถูกจำกัดจากความสามารถของเตาเผา อาทิเช่น ปริมาณความร้อนที่ใช้หลอมทับทิมยังให้ได้ไม่เต็มที่ เนื่องจากชิ้นสารได้สัมผัสกับเพียงส่วนปลายของเปลวพลาสมาเท่านั้น (จากโครงสร้างเตาเผา) ดังนั้นชิ้นสารที่ใช้สังเคราะห์จึงมีขนาดไม่ใหญ่ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีขนาดค่อนข้างเล็ก และการให้ความร้อนอาจต้องทำหลายครั้งเพื่อให้สารหลอมได้ทั่วทั้งเม็ด นอกจากนี้การควบคุมปริมาตรก๊าซอาร์กอนหรือไนโตรเจนทำได้ยาก เป็นผลจากการใช้ปริมาณก๊าซในระดับต่ำกว่าขีดบอกปริมาตรมากๆและปริมาณความร้อนไม่มีความสม่ำเสมอ เพราะเกลียวทองแดงที่เจาะรูไว้สำหรับใส่แท่งอิเล็กโทรดมักจะหลอมเมื่อใช้งานหลายครั้งทำให้ขนาดของรูยิ่งกว้างมากขึ้น เมื่อขนาดของรูใหญ่ขึ้นขนาดของเปลวพลาสมาก็มากขึ้นตามทั้งที่ปริมาตรก๊าซยังคงเดิม ทำให้ความร้อนที่ตัวอย่างได้รับในแต่ละครั้งไม่เท่ากัน แต่ถึงอย่างไรก็ตาม เตาเผาเครื่องนี้ก็สามารถทำอุณหภูมิได้เกินกว่า 2050 °C (เกินจุดหลอมเหลวของอลูมินา) และเป็นเครื่องที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะต่อการให้อุณหภูมิสูงซึ่งเตาเผาทั่วไปไม่สามารถให้ความร้อนในระดับนี้ได้ จึงเป็นข้อดีอย่างหนึ่งที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์พลอยที่มีจุดหลอมเหลวสูง อย่างเช่นทับทิม และผลการสังเคราะห์ก็แสดงให้เห็นว่าวิธีการให้ความร้อนแบบอาร์คพลาสมาสามารถทำให้ผงอลูมินาหลอมตัวและผลิตทับทิมสังเคราะห์ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

4.2 การศึกษาคุณภาพวิเคราะห์และปริมาณวิเคราะห์ของโครเมียมในทับทิมสังเคราะห์

4.2.1 การศึกษาด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรเมตรีแบบกระจายพลังงาน (EDXRF)

4.2.1.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง

ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองนี้ (ในหัวข้อ 3.2.1.1) ถูกกำหนดไว้ที่ศักย์ไฟฟ้า 25 mV, กระแสไฟฟ้า 0.25 mA, ใช้แผ่นอะลูมิเนียมเป็นตัวกรองรังสี และตรวจวิเคราะห์เป็นเวลา 200 วินาที รวมถึงใช้ Collimator เพื่อลดขนาดของลำแสงเอกซเรย์ ซึ่งสภาวะดังกล่าวมีข้อได้เปรียบ คือ ให้สัญญาณพื้นหลังต่ำและให้การแยกของเส้น Cr K α และ เส้น Cr K β ในสเปกตรัมดี เหมาะสำหรับการกำหนดบริเวณพื้นที่ที่ตีพิคเพื่ออ่านค่าความเข้ม และที่สำคัญคือให้ค่าสัญญาณการนับของโครเมียมออกมาสูงซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการตรวจวิเคราะห์เชิงปริมาณ รวมถึงการวิเคราะห์เชิงคุณภาพในทับทิมสังเคราะห์ ตรงกับงานวิจัยหลายงานที่เลือกใช้สภาวะเดียวกันนี้ในการตรวจวิเคราะห์พวกคอรัันดัม เช่น งานวิจัยของ Muhlmeister และคณะ ใช้สภาวะดังกล่าวในการแยกความแตกต่างระหว่างทับทิมสังเคราะห์และทับทิมธรรมชาติ (Muhlmeister, *et al.*, 1998) และงานวิจัยของ Elen และ Fritsch ก็ใช้ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าววิเคราะห์พวกแซฟไฟร์ไม่มีสี เพื่อแยกความแตกต่างของพวกที่มาจากธรรมชาติและสังเคราะห์ (Elen and Fritsch, 1999)

4.2.1.2 การเตรียมสารมาตรฐาน

การเตรียมสารมาตรฐานสำหรับใช้วิเคราะห์หาปริมาณของโครเมียมในการทดลองนี้ (ในหัวข้อ 3.2.1.2) ได้ใช้ในรูปของผลสมระหว่างอลูมินากับโครเมียมออกไซด์ซึ่งมีองค์ประกอบเหมือนกับในทับทิมสังเคราะห์ (เว้นแต่สารมาตรฐานไม่ผ่านกระบวนการหลอม) ซึ่งวิธีการเตรียมสารแบบนี้สามารถทำได้ง่ายและสะดวกมากกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ธาตุบริสุทธิ์หรือใช้ฟลอยสังเคราะห์ที่ทราบความเข้มข้นเป็นสารมาตรฐาน โดยเฉพาะการหาปริมาณวิเคราะห์ของธาตุหลายตัวร่วมกันในตัวอย่างซึ่งต้องใช้จำนวนสารมาตรฐานหลายอัน ดังผลการศึกษาทับทิมและแซฟไฟร์จากประเทศ

อัญมณีสถานที่ใช้ธาตุบริสุทธิ์ (pure elements) หลายตัวเทียบหาปริมาณของ อลูมินา โครเมียมออกไซด์ เหล็กออกไซด์ ไทเทเนียมออกไซด์ เป็นต้น (Bowersox, *et al.*, 2000) หรือใช้พลอยสังเคราะห์ที่ทราบความเข้มข้นแล้วเป็นสารมาตรฐาน ซึ่งวิธีนี้จำเป็นต้องทราบปริมาณของธาตุต่างๆที่เป็นองค์ประกอบในสารมาตรฐานก่อน อาทิเช่น งานวิจัยของ Muhlmeister และคณะ ศึกษาปริมาณวิเคราะห์ของทับทิมธรรมชาติและทับทิมสังเคราะห์ โดยใช้แอฟฟิไรต์สังเคราะห์ที่ปราศสีจากวิธีโครมวลสก็ ในการตรวจสอบธาตุอะลูมิเนียม, อัลมันดินการ์เน็ต (สีส้มอมแดง-แดงอมม่วง) ในการตรวจสอบธาตุอะลูมิเนียม แมงกานีส และเหล็ก เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบของสารมาตรฐานได้ถูกหาความเข้มข้นด้วยเทคนิค Electron microprobe ไว้ก่อนแล้ว (Muhlmeister, *et al.*, 1998)

4.2.1.3 การเตรียมตัวอย่าง

จากการเตรียมตัวอย่างทับทิมสังเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานให้เรียบแบน (ในหัวข้อ 3.2.1.3) พบว่าโดยส่วนใหญ่สามารถแก้ไขการเกิดฟีกเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้ (ดังภาพประกอบที่ 37-40) ส่วนการใช้สารละลายกรดไนตริกเจือจางล้างทำความสะอาดทับทิมสังเคราะห์หลังจากผ่านกระบวนการมาตรฐาน พบว่าสามารถกำจัดธาตุปนเปื้อนบางตัวออกไปได้ (ต้องใช้การพิจารณาจากสเปกตรัมที่ได้จากเทคนิค EPMA เพราะสามารถแสดงธาตุได้ทุกตัว ดังภาพประกอบที่ 49)

4.2.1.4 การวางสารมาตรฐานและตัวอย่าง

การวางตัวอย่างเป็นจุดหนึ่งที่มีความสำคัญ เพราะทับทิมสังเคราะห์ที่นำมาตรวจวัดมีขนาดค่อนข้างเล็ก จากการวางตัวอย่างในการทดลองนี้ (ในหัวข้อ 3.2.1.4) จะใช้วิธีการวาดกรอบพื้นที่ตรวจวัดบนแผ่นพลาสติกใสโดยวางทาบบนแผ่นฟิล์มเอกซ์เรย์ (ดังภาพประกอบที่ 31) ซึ่งสามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนจากการวางตัวอย่างได้และให้ผลการทดลองที่มีความแม่นยำ ส่วนในสารมาตรฐานนั้นไม่มีปัญหาในการจัดวางเพราะสามารถวางได้เต็มบริเวณพื้นที่ตรวจวัด (ดังภาพประกอบที่ 32)

4.2.1.5 การทดสอบความหนา

การทดสอบความหนาเป็นสิ่งจำเป็นต่อการวิเคราะห์เชิงปริมาณ เนื่องจากถ้านำตัวอย่างชนิดเดียวกันแต่มีความหนาต่างกันไปตรวจวัดจะพบว่าสัญญาณการนับที่ได้ไม่เท่ากัน (ความเข้มข้นก็แตกต่างกัน) แต่ถ้าเพิ่มความหนาของตัวอย่างไปเรื่อยๆจนถึงระดับหนึ่งแล้วจะพบว่าสัญญาณการนับจะมีค่าคงที่ (รังสีเอกซ์ไม่สามารถทะลุผ่านเนื้อสารออกมาได้) ความหนาตรงนี้เรียกว่า ความหนาที่สุด ซึ่งก็คือระดับความหนาที่เหมาะสมของตัวอย่าง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทดสอบดูว่าทุกตัวอย่างทับทิมสังเคราะห์มีความหนาเหมาะสมหรือไม่ ซึ่งจากผลการทดลอง (ในหัวข้อ 3.2.1.5) พบว่าทับทิมสังเคราะห์จัดอยู่ในประเภทหนาที่สุด (ดังแสดงในตารางที่ 15) ส่วนผงสารตั้งต้นที่นำมาทดสอบควรจะมีปริมาณมากกว่า 3 กรัม ขึ้นไป จึงมีความหนาพอที่ทำให้รังสีเอกซ์ไม่สามารถผ่านทะลุออกมาได้ (ดังแสดงในตารางที่ 15)

4.2.1.6 การวิเคราะห์ทางคุณภาพ

การตรวจหาองค์ประกอบของอลูมินาและโครเมียมออกไซด์ซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นของทับทิมด้วยเทคนิค EDXRF (ในหัวข้อ 3.2.1.6) พบว่า อลูมินามีการปนเปื้อนจากธาตุเหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) และแกเลียม (Ga) ดังภาพประกอบที่ 33 ส่วนโครเมียมออกไซด์ไม่พบธาตุใดนอกจากธาตุโครเมียม (ดังภาพประกอบที่ 34) ซึ่งผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น (มีข้อจำกัดในการตรวจหาธาตุอะตอมต่ำ) โดยธาตุส่วนใหญ่ที่ตรวจพบสอดคล้องกับธาตุมลทินที่ระบุบนฉลากข้างขวด ส่วนในทับทิมสังเคราะห์ที่สร้างขึ้นแสดงองค์ประกอบตรงตามธาตุที่มีอยู่ในสารตั้งต้น (ดังภาพประกอบที่ 36-40) โดยเฉพาะธาตุทองแดงที่พบว่ามีปริมาณสูงขึ้นจากเดิมเป็นเพราะได้รับการปนเปื้อนจากส่วนของเกลียวทองแดงที่ถูกหลอมขณะสังเคราะห์ และส่วนหนึ่งมีอยู่แล้วในเนื้อทับทิมสังเคราะห์ (จากสารตั้งต้น)

สำหรับทับทิมสังเคราะห์จากวิธีเฟลมพิวชันและทับทิมสังเคราะห์จากวิธีฟลักซ์ของบริษัทซัทัมจะพบแต่โครเมียม (Cr) เพียงธาตุเดียว ส่วนล้าลีที่ได้จากการเข็ดเตาเผาบริเวณที่ทำกรสังเคราะห์ รวมถึง ผิวตัวเบา แทนรองรับและภายใน

ปลอกเหล็ก พบว่า ตรวจพบธาตุทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) และยังพบโครเมียม (Cr) ดังภาพประกอบที่ 35 ซึ่งคาดว่าธาตุโครเมียมนี้อาจมาจากเศษผงที่ปลิวจากชิ้นผงอัดเม็ดเมื่อโดนความร้อนและความแรงของเปลวพลาสมาขณะสังเคราะห์ เพราะจากสเปกตรัมจะเห็นว่ามีปริมาณเพียงเล็กน้อย (ความสูงของพีก)

4.2.1.7 การวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมโดยใช้การคำนวณ

การหาปริมาณวิเคราะห์ธาตุโครเมียมซึ่งแสดงอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์โครเมียมออกไซด์ (ในหัวข้อ 3.2.1.7) พบว่า ผลการตรวจวัดในผงสารตั้งต้นให้ค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกับความเข้มข้นจริง (ดังแสดงในตารางที่ 17) แต่เมื่อตัวอย่างอยู่ในรูปแท็บเล็ตสังเคราะห์ค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้กลับมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริงมาก (ดังแสดงในตารางที่ 18) ซึ่งผลที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดจากการหายไปของโครเมียมออกไซด์ในขณะสังเคราะห์เพราะสเปกตรัมที่ได้จากการตรวจวัดเชิงคุณภาพของลำลึที่ใช้เขตบริเวณสังเคราะห์และบริเวณเป้าแสดงพีกโครเมียมขนาดเล็ก แต่น่าจะเกิดขึ้นจากความหนาแน่นที่ต่างกันของเนื้อสารกับสารมาตรฐาน จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ตัวอย่างและสารมาตรฐานในรูปผงเหมือนกันผลการทดลองออกมาอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แต่เมื่อใช้กับตัวอย่างที่ผ่านการหลอมค่าที่ได้แสดงความคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริงมาก จึงได้ทำการทดลองในสามหัวข้อย่อยดังที่ปรากฏในส่วนของผลการทดลอง เพื่อยืนยันว่าความหนาแน่นมีผลต่อค่าสัญญาณการนับ ดังต่อไปนี้

1. ดูความแตกต่างระหว่างเนื้อส่วนที่หลอมกับเนื้อส่วนที่ไม่หลอม

พบว่า เนื้อสารทั้งสองหน้าแสดงค่าความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยผิวหน้าส่วนที่หลอมให้ค่าความเข้มข้นของพีกโครเมียมต่ำกว่าด้านที่ไม่หลอม (ให้ผลเหมือนกันในสองตัวอย่าง) ดังแสดงในตารางที่ 19 เมื่อลองให้เครื่องประมาณความเข้มข้นของโครเมียมออกไซด์ปรากฏว่าทั้งสองด้านต่างมีค่าความเข้มข้นน้อยกว่าความเข้มข้นจริง (ถึงแม้จะมีส่วนหนึ่งที่ไม่เกิดการหลอม) อธิบายได้ว่าด้านเนื้อสารส่วนที่ไม่หลอมนั้นเมื่อได้รับความร้อน

แล้วอนุภาคจะเกาะตัวกันแน่นขึ้น (มีความแข็งแรงมากกว่าตอนที่ยังไม่สังเคราะห์) จึงให้ค่าสัญญาณการนับน้อยลง ดังนั้น ความเข้มข้นของโครเมียมก็จะลดลงตามด้วย

2. ดูความแตกต่างของสารอัดเม็ดที่แรงอัดต่างๆกัน พบว่า สารที่บรรจุลงในถ้วยจนเต็มโดยไม่ผ่านการอัดให้ความเข้มข้นของฟีกโครเมียมสูงสุด ตามด้วยสารอัดเม็ดที่แรงอัด 4 , 8 และ 13 ตัน ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ 20) จะเห็นได้ว่า ยิ่งใช้แรงอัดมากค่าความเข้มข้นของโครเมียมก็จะยิ่งลดลง

3. ดูความแตกต่างระหว่างเนื้อหยกที่หลอมกับเนื้อที่อัดเป็นเม็ด พบว่า หยกสังเคราะห์ให้สัญญาณการนับต่ำมากเมื่อเทียบกับผงหยกอัดเม็ด (ดังแสดงในตารางที่ 21) สอดคล้องกับความหนาแน่นของเนื้อหยกสังเคราะห์ที่มีค่ามากกว่าในผงหยกอัดเม็ด

จากผลการทดลองที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่า ความหนาแน่นมีผลอย่างมากต่อการตรวจวัดความเข้มข้น (หรือแสดงในรูปของความเข้มข้น) ยิ่งถ้าสารนั้นถูกหลอมด้วยแล้วค่าความเข้มข้นจะมีค่าต่ำมาก เพราะเนื้อสารจะถูกอัดแน่นจนเกือบไม่มีที่ว่างเห็นได้อย่างชัดเจนในตัวอย่างหยกสังเคราะห์ (มีลูมินาและโครเมียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกัน แต่อยู่คนละประเภทกับทับทิม) และการทดลองในทั้งสามหัวข้อก็ให้ผลในทิศทางเดียวกัน คือ ตัวอย่างในรูปผงให้สัญญาณการนับสูงกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่หลอมหรือถูกอัดเม็ด สอดคล้องกับกรณีของทับทิมสังเคราะห์ที่ให้ค่าความเข้มข้นต่ำมาก ทำให้ความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้มีค่าแตกต่างจากค่าความเข้มข้นจริง (ที่เติมลงไปในสารตั้งต้น)

การปรับผลต่างระหว่างค่าสัญญาณการนับของสารในรูปผงและเม็ดทับทิมสังเคราะห์ โดยใช้วิธีการนำค่าเฉลี่ยของ Correction Factor ในแต่ละชุดตัวอย่างที่มีความเข้มข้นโครเมียมออกไซด์เท่ากันเข้าไปคูณค่าความเข้มข้นในตาราง (เฉพาะกับตัวอย่างเม็ดทับทิมสังเคราะห์เท่านั้น) พบว่า สามารถแก้ไขการลดลงของค่าเข้มข้นได้

ทำให้ความเข้มข้นของโครเมียมออกไซด์ในทับทิมสังเคราะห์มีค่าเพิ่มขึ้นและใกล้เคียงกับความเข้มข้นจริง (ดังแสดงในตารางที่ 25) โดยเหตุผลที่ต้องทำเช่นนี้เป็นเพราะว่าทับทิมสังเคราะห์ที่ผ่านการหลอมแล้วมีอนุภาคอยู่ชิดกันแน่นมากเมื่อเทียบกับอยู่ในรูปผง เมื่อมีความหนาแน่นสูงรังสีเอกซ์ที่ผ่านออกมาก็จะถูกดูดกลืนจากเนื้อสารเพิ่มขึ้นจากเดิม เป็นผลให้สัญญาณการนับต่ำลง (หรือความเข้มลดลง) ดังสมการข้างล่าง (Tertian and Claisse, 1982 : 16-17)

$$I_x = I_0 \exp(-\mu m) \quad , m = \rho x$$

จัดสมการใหม่

$$\ln I_x - \ln I_0 = -\mu m$$

$$\ln I_0 - \ln I_x = \mu m$$

$$\ln\left(\frac{I_0}{I_x}\right) = \mu m$$

หรือ

$$\ln\left(\frac{I_0}{I_x}\right) = \mu \rho x$$

$$\ln\left(\frac{I_0}{I_x}\right) \propto \rho$$

โดยที่ I_0 แทนความเข้มของรังสีเอกซ์จากหลอด

I_x แทนความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ผ่านออกมาหลังจากเกิดการดูดกลืนและการกระเจิง

μ แทนสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล มีหน่วยเป็น $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$

m แทนมวลของวัตถุต่อหน่วยพื้นที่ในส่วนที่ลำแสงเอกซ์ส่องผ่าน มีหน่วยเป็น g cm^{-2}

x แทนความหนาของวัตถุ มีหน่วยเป็น cm

ρ แทนความหนาแน่นของวัตถุ มีหน่วยเป็น g cm^{-3}

จากสมการจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของรังสีเอกซ์ที่ผ่านออกมาแปรผกผันกับสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (รวมถึงความหนาแน่นและความหนาของวัตถุ) ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวจะช่วยสนับสนุนผลการทดลองที่พบว่า ตัวอย่างที่มีความหนาแน่นสูง เช่น กระจกของทับทิมสังเคราะห์จะให้ค่าสัญญาณการนับ (หรือความเข้ม) ที่ผ่านออกมา น้อยลง

4.2.1.8 การหาค่าขีดจำกัดการตรวจหาและสภาพไวของโครเมียม

เมื่อนำผงสารตั้งต้นและทับทิมสังเคราะห์ไปตรวจวัดเพื่อเปรียบเทียบขีดจำกัดการตรวจหาและสภาพไว (ในหัวข้อ 3.2.1.8) พบว่า ทับทิมสังเคราะห์ให้ค่าขีดจำกัดการตรวจหาสูงกว่าผงสารตั้งต้น (ดังแสดงในตารางที่ 26-27) แต่สภาพไวของทับทิมสังเคราะห์มีค่าต่ำกว่าผงสารตั้งต้น (ดังแสดงในตารางที่ 28) นั่นก็หมายความว่า เครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์นี้สามารถตรวจวัดความเข้มข้นของธาตุโครเมียมในผงสารตั้งต้นได้ในระดับต่ำกว่ารูปเม็ดทับทิมสังเคราะห์ เป็นผลจากการมีค่าสภาพไวในการวิเคราะห์มากกว่านั่นเอง

4.2.2 การศึกษาด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรเมตรีแบบกระจายคลื่น (WDXRF)

4.2.2.1 การวิเคราะห์ทางคุณภาพ

การตรวจหาองค์ประกอบของสารตั้งต้นในหัวข้อ 3.2.2.1 จะเห็นได้ว่า ทั้งอลูมินาและโครเมียมออกไซด์ประกอบด้วยธาตุหลักและมีธาตุมลทิน (Impurity) ปนอยู่เล็กน้อย (มีปริมาณแตกต่างกัน โดยดูจากความสูงของพีค) โดยอลูมินามีการปนเปื้อนจากธาตุซิลิคอน (Si) แคลเซียม (Ca) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) และแกลเลียม (Ga) ดังภาพประกอบที่ 41-43 ส่วนโครเมียมออกไซด์มีการปนเปื้อนจากธาตุซิลิคอน (Si) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และเหล็ก (Fe) ดังภาพประกอบที่ 44-45 ซึ่งในที่นี้ได้แสดงสเปกตรัมของธาตุปนเปื้อนไว้เพียงบางส่วนเท่านั้น โดยธาตุส่วนใหญ่ที่ตรวจ

พบสอดคล้องกับธาตุมลทินที่ระบุบนฉลากข้างขวด สำหรับธาตุบางส่วนที่ตรวจพบแต่ไม่ได้แสดงอยู่บนฉลาก คาดว่าน่าจะเป็นธาตุมลทินในสารตั้งต้นเช่นกันแต่มีปริมาณต่ำมาก (ดูจากความสูงของพีกในสเปกตรัม) จึงไม่ได้แสดงไว้บนฉลากข้างขวด

4.2.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม

จากการหาปริมาณวิเคราะห์ของธาตุโครเมียมด้วยเทคนิค WDXRF ในหัวข้อ 3.2.2.2 พบว่า ผงสารตั้งต้นของทับทิมแสดงค่าความเข้มข้นของโครเมียมที่ตรวจวัดได้สูงกว่าความเข้มข้นจริงมาก (ที่เติมลงไป) ดังแสดงในตารางที่ 29 คาดว่าอาจเป็นผลจากการวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยวิธีเติมสารมาตรฐาน (Standard addition) ที่ต้องเติมผงโลหะโครเมียมผสมลงไปในตัวอย่างด้วย ซึ่งพวกโลหะนี้จะให้ค่าความเข้มข้นสูงมาก (แม้เติมลงไปเล็กน้อย ก็ปรากฏเห็นพีกอย่างชัดเจน) เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของโครเมียมที่มีอยู่น้อยในตัวอย่าง ดังนั้น รังสีเอกซ์เฉพาะของโครเมียมที่ออกมาส่วนใหญ่จึงน่าจะเป็นของโลหะโครเมียม ซึ่งส่งผลให้ความเข้มข้นของโครเมียมในตัวอย่างมีปริมาณเพิ่มขึ้น

เทคนิคนี้ถูกเลือกมาวิเคราะห์เพียงกับตัวอย่างผงสารตั้งต้นเท่านั้น ไม่ได้นำไปศึกษาในเม็ดทับทิมสังเคราะห์ เพราะว่าการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (จากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์) ใช้วิธีเติมสารมาตรฐาน (Standard addition) ตัวอย่างจึงต้องอยู่ในรูปผงและใช้ปริมาณสารในการวิเคราะห์มากพอสมควร (ประมาณครึ่งช้อนชา) ซึ่งไม่เหมาะต่อการตรวจวิเคราะห์พวกพลอย อีกทั้งเคยมีการรายงานว่า เทคนิคนี้อาจทำให้ทับทิมเกิดการเปลี่ยนสีได้อย่างชั่วคราวหรือถาวร เนื่องจากต้องใช้พลังงานกระตุ้นสูง (ศักย์ไฟฟ้า 30-60 kV และกระแสไฟฟ้า 40-50 mA) (Stern and Hänni, 1982)

4.2.3 การศึกษาด้วยเทคนิคอิเล็กตรอนโพรบไมโครแอนาไลซิส (EPMA)

4.2.3.1 การวิเคราะห์ทางคุณภาพ

การตรวจหาองค์ประกอบด้วยเทคนิค EPMA ในหัวข้อ 3.2.3.1 พบว่า อลูมินามีการปนเปื้อนจากธาตุโซเดียม (Na) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ดังภาพประกอบที่ 46 ส่วนโครเมียมออกไซด์มีการปนเปื้อนจากธาตุซิลิคอน (Si) และแคลเซียม (Ca) ดังภาพประกอบที่ 47 ซึ่งธาตุปนเปื้อนที่ตรวจพบในทั้งสองสารต่างสอดคล้องกับธาตุมลทินที่ระบุบนฉลากข้างขวด เว้นแต่ ธาตุซิลิคอน แต่ก็คาดว่าน่าจะเป็นธาตุมลทินในสารตั้งต้นเช่นกันแต่มีปริมาณต่ำมากๆ (ดูจากความสูงของพีกในสเปกตรัม) จึงไม่ได้แสดงไว้บนฉลากข้างขวด สำหรับทับทิมสังเคราะห์ที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกบนผิวหน้าออกไปแล้วจะปรากฏแต่เพียงธาตุหลัก อย่างเช่น อะลูมิเนียม (Al) โครเมียม (Cr) ออกซิเจน (O) ซึ่งเป็นธาตุองค์ประกอบของทับทิม (ดังภาพประกอบที่ 50-52) ส่วนธาตุอื่นที่ปรากฏร่วมอยู่ด้วย อย่าง ธาตุซิลิคอน (มาจากสารตั้งต้น) อาจพบได้ในบางตัวอย่างเพราะส่วนหนึ่งถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนการแช่ด้วยสารละลายกรดไนตริกทำให้ส่วนที่เหลือมีอยู่ในปริมาณน้อย (ดังภาพประกอบที่ 50-51) นอกจากนี้ในบางเม็ดทับทิมสังเคราะห์ยังตรวจพบธาตุคาร์บอน ซึ่งมาจากกระบวนการผลิตที่ใช้แกรไฟต์เป็นไส้สังเคราะห์ (ดังภาพประกอบที่ 50-51) จากผลวิเคราะห์เชิงคุณภาพจะเห็นได้ว่า องค์ประกอบของทับทิมสังเคราะห์ที่ทำขึ้นกับทับทิมสังเคราะห์จากวิธีเฟลมฟิวชันมีความคล้ายกัน ยกเว้น ตัวอย่าง R13 ถึง R15 เท่านั้นที่ปรากฏเฉพาะธาตุอะลูมิเนียมและออกซิเจน (ดังภาพประกอบที่ 53) คาดว่าเป็นเพราะตัวอย่างมีปริมาณธาตุโครเมียมต่ำกว่าขีดความสามารถของเครื่องที่จะวิเคราะห์ได้

ส่วนในทับทิมธรรมชาติจะแสดงธาตุองค์ประกอบมากกว่าในทับทิมสังเคราะห์ โดยทับทิมธรรมชาติที่ผ่านการล้างทำความสะอาดผิวด้วยสารละลายกรดไนตริกเจือจางสามารถกำจัดธาตุบางตัวออกได้หมด อาทิเช่น ธาตุโซเดียม (Na) ฟอสฟอรัส (P) ซัลเฟอร์ (S) คลอไรด์ (Cl) และโพแทสเซียม (K) เป็นต้นและยังมีธาตุบางส่วนที่คงเหลืออยู่แต่มีปริมาณลดลงจากเดิม (พิจารณาจากสเปกตรัม) คือ ธาตุคาร์บอน (C) แมกนีเซียม (Mg) และซิลิคอน (Si) ดังภาพประกอบที่ 54 นอกจากนี้ยัง

ได้วิเคราะห์ครุฑิเบิลที่ทำจากแกรไฟต์เพื่อใช้เป็นเป้าสังเคราะห์ทับทิม พบว่าไม่มีการปนเปื้อนจากธาตุใดแต่ที่ตรวจพบธาตุออกซิเจนด้วยนั้นก็เพราะว่าที่ผิวของแกรไฟต์ถูกออกซิเจนในอากาศมาเคลือบเกาะเป็นฟิล์มบาง (ดังภาพประกอบที่ 56) ส่วนเศษผงของเตาหลอมที่ชุดด้านในบริเวณปลอกเหล็ก (ภายในเป็นปูนทนไฟ) จะช่วยยืนยันว่าธาตุบางส่วนที่ปนเปื้อนในทับทิมสังเคราะห์ส่วนหนึ่งมาจากส่วนของเตาเผา อย่างเช่นธาตุแมกนีเซียม (Mg) และซิลิคอน (Si) เป็นต้น

4.2.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม

จากการหาปริมาณวิเคราะห์ของธาตุโครเมียมด้วยเทคนิค EPMA ในหัวข้อ 3.2.3.2 พบว่า ผงสารตั้งต้นของทับทิมให้ค่าความเข้มข้นของโครเมียมที่ตรวจวัดได้ต่ำกว่าความเข้มข้นจริง (ดังแสดงในตารางที่ 30) ยิ่งผลการตรวจวิเคราะห์ในรูปเม็ดทับทิมสังเคราะห์แล้วค่าความเข้มข้นของโครเมียมก็ยังมีค่าต่ำ (ดังแสดงในตารางที่ 31) คาดว่าผลการวิเคราะห์ที่คลาดเคลื่อนในผงสารตั้งต้นน่าจะเกิดจากการใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยเกินไป เพราะการเตรียมสารตัวอย่างด้วยวิธีนี้จะใช้ผงตัวอย่างติดลงบนผิวเทปกาวคาร์บอนสองหน้า (เป็นแบบฟิล์มบาง) ซึ่งตัวอย่างอาจยังมีความหนาไม่เหมาะสมทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์เฉพาะของโครเมียมออกมาต่ำกว่าความเป็นจริง ยืนยันได้จากสเปกตรัมองค์ประกอบของอลูมินาและโครเมียมออกไซด์ (จากขวด) ที่แสดงฟีกของคาร์บอน (มาจากเทปกาวคาร์บอนสองหน้าที่ใช้สำหรับติดตัวอย่าง) รวมอยู่ด้วยทั้งที่ความจริงแล้วในสารไม่มีธาตุนี้อยู่เลย (ดังภาพประกอบที่ 46-47) ส่วนผลการวิเคราะห์ในทับทิมสังเคราะห์แสดงความเข้มข้นผิดพลาดไปจากค่าจริงสูง (ช่วยยืนยันได้ว่าตัวอย่างที่ผ่านการหลอมให้สัญญาณต่ำกว่าเมื่อเทียบกับในรูปผงสารตั้งต้น) อาจเนื่องจากการไม่ได้ปรับผลต่างของค่าสัญญาณการนับที่เกิดขึ้นระหว่างตัวอย่างและสารมาตรฐานที่ใช้ ซึ่งเกิดจากความหนาแน่นที่แตกต่างของทั้งสองสาร (เหมือนที่เกิดขึ้นในเทคนิค EDXRF) รวมถึงการเลือกใช้สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ด้วย จึงให้ค่าสัญญาณของโครเมียมออกมาต่ำมาก จะเห็นได้จากสเปกตรัมของเม็ดทับทิมสังเคราะห์ที่แทบจะไม่เห็นฟีกของโครเมียม (ดังภาพประกอบที่ 50-53) และค่าความเข้มข้นของ

โครเมียมโดยเฉพาะในตัวอย่าง R13 , R14 และ R15 ยังมีค่าต่ำกว่าขีดความสามารถของเครื่อง ทั้งที่ในตัวอย่างมีปริมาณโครเมียมในระดับที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ (พิจารณาจากสเปกตรัมที่ศึกษาทับทิมสังเคราะห์ด้วยเทคนิค EDXRF ปรากฏฟีกของโครเมียมอยู่อย่างชัดเจน)

4.3 การศึกษาคุณลักษณะของทับทิม

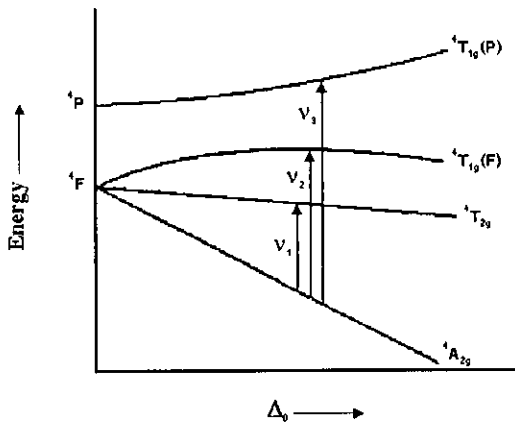
4.3.1 การศึกษาด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD)

จากการศึกษาทับทิมสังเคราะห์ที่สร้างขึ้นด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันในหัวข้อ 3.3.1 เมื่อตรวจวัดโดยใช้เครื่องดิฟแฟรกโทมิเตอร์ พบว่าให้ฟีกการเลี้ยวเบนที่ตำแหน่งมุม 2θ เท่ากับ 25.540 , 35.125 , 37.745 , 43.345 , 52.530 และ 57.505 ที่ระนาบผลึก 012 , 104 , 110 , 113 , 024 และ 116 ตามลำดับ ตรงกับชุดและหมายเลขไฟล์ 10-0173 แสดงระบบผลึกแบบเฮกซะโกนอล (ดังภาพประกอบที่ 61) ซึ่งเป็นของอลูมินา (คอรัันดัม) ที่เป็นองค์ประกอบหลักในทับทิม แต่ไม่ปรากฏฟีกการเลี้ยวเบนในตำแหน่งเดียวกับโครเมียมออกไซด์เป็นผลมาจากทับทิมสังเคราะห์มีปริมาณโครเมียมออกไซด์ต่ำ (ประมาณ 0.3%) เกินกว่าขีดความสามารถของเครื่องที่จะตรวจวิเคราะห์ได้ สามารถยืนยันได้จากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในผงสารตั้งต้นที่มีปริมาณโครเมียมออกไซด์ 5.0011% พบว่าปรากฏเป็นฟีกรวมของอลูมินาและโครเมียมออกไซด์ (ดังภาพประกอบที่ 60) แต่เมื่อตรวจวัดในสารตั้งต้นที่มีปริมาณโครเมียมออกไซด์ 0.3007% กลับให้ผลเหมือนกับทับทิมสังเคราะห์ที่สร้างขึ้น (ดังภาพประกอบที่ 61) นั่นก็แสดงว่าเทคนิคนี้สามารถตรวจวิเคราะห์ได้เมื่อสารมีความเข้มข้นประมาณ 5% ขึ้นไป ดังนั้นทับทิมสังเคราะห์ที่สร้างขึ้นจึงปรากฏเฉพาะฟีกการเลี้ยวเบนของอลูมินา (คอรัันดัม) เพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับผลการศึกษาโดยใช้การถ่ายภาพสำหรับผงด้วยกล้องเดอบาย-เชอร์เรอร์ (จากฟิล์มเอกซเรย์) พบว่าฟีกการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ปรากฏที่ตำแหน่งมุม 2θ เท่ากับ 25.45 , 35.00 , 37.65 , 43.35 , และ 52.55 ตรงกับชุดและหมายเลขไฟล์ 10-0173 เช่นเดียวกัน (ภาพประกอบที่ 62 (a))

นอกจากนี้ทับทิมสังเคราะห์จากวิธีเฟลมพิวชันที่ตรวจวิเคราะห์โดยใช้กล้องเดอบาย-เซอร์เวอร์ ยังแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เหมือนกันกับทับทิมสังเคราะห์ที่ทำขึ้น ซึ่งให้พีคในตำแหน่งมุม 2θ เท่ากับ 25.70, 35.15, 37.80, 43.40, และ 52.65 (อาจสังเกตได้จากตำแหน่งเส้นบนฟิล์มเอกซ์เรย์และลำดับความเข้มของเส้นตรงกัน) ดังภาพประกอบที่ 62 (b) สอดคล้องกับการศึกษาผลึกเดี่ยวของทับทิมสังเคราะห์จากวิธีเฟลมพิวชันในงานวิจัยของ Rinaudo and Oriane พบว่าให้รูปแบบการเลี้ยวเบนตรงกับชุดและหมายเลขไฟล์มาตรฐาน 10-0173 (Rinaudo and Oriane, 2000) รวมไปถึงพวกแซฟไฟร์สีน้ำเงินและแซฟไฟร์สีเหลืองก็ให้ผลตรงกับชุดและหมายเลขไฟล์มาตรฐานอันนี้ (ทวี, 1985) ทำให้สามารถสรุปได้ว่าพลอยในกลุ่มคอร์ันดัมแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนเหมือนกัน คือ ปรากฏเฉพาะพีคการเลี้ยวเบนของอลูมินาเท่านั้น เพราะสารประกอบอื่นที่เติมลงไปเพื่อทำให้เกิดสีต่างๆจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยซึ่งเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้

4.3.2 การศึกษาด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเลตและวิซิเบิลสเปกโทรสโกปี (UV-Vis)

ผลการศึกษาดูดกลืนแสงในหัวข้อ 3.3.2 พบว่าทับทิมสังเคราะห์ที่ทำขึ้นให้แถบการดูดกลืนในช่วงแสงสีเขียว (ที่ความยาวคลื่น 534.77 นาโนเมตร) เพียงแถบเดียว (ดังภาพประกอบที่ 64) ซึ่งแตกต่างจากทับทิมทั่วไปที่ปรากฏแถบการดูดกลืน 2 ตำแหน่งด้วยกัน (ดังภาพประกอบที่ 11) คาดว่าอาจเป็นผลจากเนื้อของทับทิมสังเคราะห์ที่ทำขึ้นยังหลอมได้ไม่เป็นเนื้อเดียวและไม่สม่ำเสมอ เพราะส่วนของตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์เป็นเนื้อที่อยู่ตรงกลางของเม็ดทับทิมที่สังเคราะห์ (ผ่านการขัดให้เรียบแบนและเป็นมันวาว) ซึ่งได้รับความร้อนของเปลวพลาสมาไม่เต็มที่ อีกทั้งเนื้อทับทิมเองก็ค่อนข้างทึบแสง ทำให้โอกาสที่รังสียูวีในส่วนที่ไม่ถูกดูดกลืนที่ต้องผ่านทะลุออกมา อาจถูกปิดกั้นจากเนื้อทับทิมเองจึงไม่สามารถทะลุผ่านออกมาได้ ต่างกับของทับทิมสังเคราะห์จากวิธีเฟลมพิวชันที่เนื้อทับทิมมีความโปร่งใส (คล้ายกับเนื้อแก้ว) เห็นได้ชัดเจนจากลักษณะของเส้นสเปกตรัมที่ไม่มีความเรียบ



ภาพประกอบที่ 66 แสดงแผนภาพระดับพลังงานของไอออน Cr^{3+} (แผนภาพออร์บิทัล) เฉพาะส่วนที่สำคัญต่อการดูดกลืนแสง

ส่วนทับทิมสังเคราะห์จากวิธีเฟลมพิวซ์ พบว่ามีการดูดกลืนในช่วงแสงสีม่วงและสีเขียว (ที่ความยาวคลื่น 404.61 และ 549.89 นาโนเมตร ตามลำดับ) ดังภาพประกอบที่ 63 ซึ่งผลที่ตรวจวัดได้ตรงกับผลการศึกษาของ Loeffler และ Burns ที่รายงานว่าทับทิมมีการดูดกลืนช่วงแสงสีม่วงและสีเขียวเหลือง แต่ปล่อยผ่านช่วงแสงสีน้ำเงินและสีส้ม-แดง โดยเฉพาะสีส้ม-แดงจะถูกปล่อยผ่านออกมามาก จึงเห็นทับทิมเป็นสีส้มแดง (Loeffler and Burns, 1976) ซึ่งสามารถอธิบายการเกิดสีในทับทิมได้โดยใช้แผนภาพออร์บิทัล (ดังภาพประกอบที่ 66) ดังนี้ จากแผนภาพจะเห็นว่า Cr^{3+} มีการดูดกลืนพลังงานได้สามช่วง (v_1 , v_2 , v_3) แต่ช่วง v_3 มีพลังงานสูงเกินขอบเขตของเครื่องมือจึงไม่ปรากฏสเปกตรัม เหลือเพียงช่วง v_1 และ v_2 เท่านั้นที่อยู่ในช่วงแสงที่มองเห็น ทำให้แถบการดูดกลืนของ Cr^{3+} ปรากฏเป็นสองแถบ โดยการดูดกลืนช่วง v_1 เกิดจากการแทนที่ชั้นของอิเล็กตรอน จาก ${}^4A_{2g} \longrightarrow {}^4T_{2g}$ และ v_2 เกิดจากการแทนที่ชั้นของอิเล็กตรอนจาก ${}^4A_{2g} \longrightarrow {}^4T_{1g}(F)$ (Nassau, 1980) ในกรณีของทับทิมให้แถบการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 549.89 และ 404.61 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งตำแหน่งที่ปรากฏในทับทิมจะมีพลังงานสูงกว่าในสารละลายเล็กน้อย (อย่างเช่น สารละลายโครเมียมออกซาลेटให้แถบการดูดกลืนปรากฏที่ความยาวคลื่น 572.90 และ 420.39 นาโนเมตร

ตามลำดับ) เหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า ในโครงผลึกของคอร์ันดัมจะมี Cr^{3+} ปริมาณเล็กน้อยเข้าไปแทรกตัวอยู่ในช่องออกตะฮีดรอลเช่นเดียวกับไอออนของ Al^{3+} แต่ Cr^{3+} ที่เข้าไปแทรกจะอยู่ในสภาพของ distorted O_h เพราะขนาดไอออนของโครเมียม (0.65 Å) ใหญ่กว่าขนาดไอออนของอะลูมิเนียม (0.50 Å) เล็กน้อย ตามปกติระยะห่างระหว่าง Cr-O มีค่า 2.05 Å แต่ในทับทิมมีค่า 1.91 Å การลดลงของความยาวพันธะนี้ทำให้ Cr^{3+} ได้รับผลจากสนามลิแกนด์ O^{2-} มากขึ้น เป็นผลให้ค่า crystal field parameter, Δ_0 , ในทับทิมมีค่าเพิ่มขึ้น 20% (Orgel, 1957) เมื่อค่า Δ_0 เพิ่มขึ้น ช่วงแยกระหว่างชั้นพลังงานของ ${}^4\text{A}_{2g}$ กับ ${}^4\text{T}_{2g}$, ${}^4\text{T}_{1g}(\text{F})$ และ ${}^4\text{T}_{1g}(\text{P})$ ก็จะกว้างขึ้นเล็กน้อยทำให้การดูดกลืนช่วง ν_1 และ ν_2 เกิดขึ้นที่พลังงานสูงขึ้น (เมื่อเทียบกับในสารละลาย)

นอกจากนี้แล้วตำแหน่งของแถบการดูดกลืนในทับทิมสังเคราะห์จากวิธีเฟลมพิวชันยังใกล้เคียงกับในทับทิมสังเคราะห์จากวิธีฟลักซ์ของชริษัทรามูราซึ่งปรากฏที่ความยาวคลื่น 405 และ 550 นาโนเมตร (Kane, 1983) รวมถึงทับทิมสังเคราะห์จากวิธีฟลักซ์ของชริษัทดุรอต ปรากฏที่ความยาวคลื่น 400 และ 545 นาโนเมตร (Hänni ; Schmetzer and Bernhardt, 1994)

ตามที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าผลการแทนที่ชั้นของ Cr^{3+} ภายในออร์บิทัล d ของทับทิมทำให้เกิดสีแดงซึ่งแตกต่างจากในรูปของสารละลายที่มีสีเขียว เพื่อสนับสนุนสิ่งที่อธิบายไว้เบื้องต้น จึงได้ทำการศึกษาการดูดกลืนแสงของโครเมียมในรูปของสารละลาย โดยเลือกทำการทดลองกับสารประกอบเชิงซ้อนของโครเมียมออกซาลेट ($\text{K}_3[\text{Cr}(\text{C}_2\text{O}_4)_3] \cdot 3\text{H}_2\text{O}_{\text{aq}}$) ซึ่งมีโครเมียมและออกซิเจน (เป็นส่วนของลิแกนด์ออกซาลेट) คล้ายกับโครเมียมออกไซด์ (สารสี) ในทับทิม พบว่าสารละลายของโครเมียมออกซาลेटให้แถบการดูดกลืน 2 ตำแหน่ง (เกิดในช่วง ν_1 และ ν_2) ดังภาพประกอบที่ 65 โดยช่วง ν_1 ให้แถบการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 572.90 นาโนเมตร ซึ่งเป็นยอดเนินแต่เนินนี้จะครอบคลุมบริเวณกว้างตั้งแต่สีเหลืองไปถึงสีแดง และช่วง ν_2 ให้แถบการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 420.39 นาโนเมตร ซึ่งเป็นยอดเนินเช่นกันแต่เนินนี้จะครอบคลุมบริเวณสีม่วงและสีน้ำเงิน ดังนั้น ช่วงแสงที่ไม่ถูกดูดกลืน ก็คือ บริเวณแองกลีระหว่างยอดเนินสีม่วงและสีน้ำเงิน ดังนั้น ช่วงแสงที่ไม่ถูกดูดกลืน ก็คือ บริเวณแองกลีระหว่างยอดเนิน

ทั้งสองและมีจุดต่ำสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 500 นาโนเมตร ตรงกับช่วงสีเขียวซึ่งก็คือสีของสารละลาย ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากในสภาพสารละลาย Cr^{3+} จะอยู่อย่างอิสระมากกว่าในสภาพของแข็ง (ซึ่งถูกบีบอัดจากโครงสร้างผลึก) ความแรงของสนามลิแกนด์จึงมีค่าน้อยกว่า เป็นผลให้มีการดูดกลืนแสงที่พลังงานต่ำกว่าหรือที่ความยาวคลื่นยาวกว่านั่นเอง ซึ่งในสภาพของสารละลายผลการดูดกลืนแสงจะเป็นเช่นเดียวกัน ดังงานวิจัยของ Orgel ที่ศึกษาการดูดกลืนแสงของสารละลายของ $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ให้แถบการดูดกลืนที่เลขคลื่น $24,700 \text{ cm}^{-1}$ และ $17,400 \text{ cm}^{-1}$ (หรือที่ความยาวคลื่น 405 และ 575 นาโนเมตร ตามลำดับ) (Orgel, 1957)

4.3.3 การหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

จากผลการหาค่าความถ่วงจำเพาะในหัวข้อ 3.3.3 พบว่าทับทิมสังเคราะห์ที่ทำขึ้นมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 3.54-3.84 (ดังแสดงในตารางที่ 32) หรือมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 3.654 (จากการวัด 11 ตัวอย่าง) ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงความถ่วงจำเพาะมาตรฐานของทับทิม คือ 3.49-4.06 (ทรัพยากรธรณี, กรม. ม.ป.ป. : 6) แต่ถ้าเทียบกับค่าความถ่วงจำเพาะมาตรฐานของคอรัันดัมส่วนใหญ่แล้ว คือ 4.00 ± 0.03 (Liddicoat, 1989 : 16) ก็ถือว่าค่าความถ่วงจำเพาะของทับทิมสังเคราะห์ที่ทำขึ้นค่อนข้างต่ำไปเล็กน้อย ซึ่งผลที่เกิดขึ้นคาดว่าประเด็นหลักเกิดจากเนื้อของทับทิมสังเคราะห์ยังหลอมได้ไม่ดีเท่าที่ควร (ยังทึบแสง) และส่วนองค์ประกอบของธาตุต่างๆก็อาจมีผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะด้วย เพราะในงานวิจัยนี้ได้ใช้สารตั้งต้นเพียงสองสารเท่านั้น คือ อลูมินา (Al_2O_3) และโครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) โดยให้ธาตุอะลูมิเนียม (Al) กับโครเมียม (Cr) ตามลำดับ เป็นธาตุองค์ประกอบหลักของทับทิม แต่ในความเป็นจริงแล้วทับทิมสังเคราะห์ส่วนใหญ่จะมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบอยู่หลายธาตุ เช่น แกลเลียม (Ga), วานาเดียม (V), ไทเทเนียม (Ti) และเหล็ก (Fe) ที่พบได้ในตัวอย่างทับทิมสังเคราะห์จากทุกวิธีการผลิตในเชิงพาณิชย์ รวมถึงธาตุที่เป็นส่วนผสมของฟลักซ์ เช่น ตะกั่ว (Pb) พบในทับทิมสังเคราะห์แบบฟลักซ์ของบริษัทดูรอส หรือ แลนทานัม (La)

พบในทับทิมสังเคราะห์แบบฟลักซ์ของบริษัทรามุรา (Muhlmeister, *et al.*, 1998) ให้ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.993-4.010 (Hänni ; Schmetzer and Bernhardt, 1994) และ 3.96-4.00 (Kane, 1983) ตามลำดับ หรือในทับทิมธรรมชาติก็เป็นเช่นเดียวกัน ดังการศึกษาทับทิมและแซฟไฟร์จากประเทศอัฟกานิสถานของ Bowersox และคณะ พบว่าทับทิมส่วนใหญ่แสดงค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วงความถ่วงจำเพาะมาตรฐานของคอรัันดัม แต่มีอยู่กลุ่มตัวอย่างหนึ่งแสดงค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 3.73-3.96 ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานเป็นผลจากการมีพวกคาร์บอนเนตรวมอยู่ในเนื้อพลอย (มาจากแหล่งแร่) ดังนั้น จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า องค์ประกอบของธาตุที่มีอยู่ในเนื้อทับทิมน่าจะมีความสัมพันธ์กับค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างด้วย

ส่วนทับทิมสังเคราะห์จากวิธีเฟลมฟิวชัน (จากการวัด 6 ตัวอย่าง) แสดงค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 3.98-4.00 (ดังแสดงในตารางที่ 33) หรือมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.996 ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Alexander ที่รายงานว่ามีค่าเท่ากับ 3.99 (Alexander, 1946) สำหรับผงสารตั้งต้นอัดเม็ดมีความหนาแน่นประมาณ 0.96 g/cm^3 (ดังแสดงในตารางที่ 34) ถ้าจัดให้อยู่ในรูปของความถ่วงจำเพาะ (โดยหารด้วยความหนาแน่นของน้ำ ซึ่งมีค่าประมาณ 1 g/cm^3) แล้วนำไปเทียบกับค่าความถ่วงจำเพาะของทับทิมสังเคราะห์ที่ทำขึ้นจะเห็นว่าค่าทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งผลต่างอันนี้สามารถยืนยันได้ว่าอนุภาคของทับทิมสังเคราะห์ (ผ่านการหลอม) จะอยู่กันอย่างหนาแน่นกว่าอนุภาคของผงสารตั้งต้น (ไม่ผ่านการหลอม) และยิ่งช่วยสนับสนุนผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่พบว่าทับทิมสังเคราะห์จะให้ค่าความเข้มรังสีเอกซ์เฉพาะของโครเมียมน้อยกว่าในผงสารตั้งต้น

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการหาค่าความถ่วงจำเพาะจะใช้กับกรณีของทับทิมสังเคราะห์ ซึ่งค่านี้แสดงอยู่ในรูปอัตราส่วนของความหนาแน่นของสารต่อความหนาแน่นของน้ำในปริมาตรและอุณหภูมิเดียวกัน (Kirk-Othmer, 1965 : 756) ดังนั้น ความถ่วงจำเพาะจึงไม่มีหน่วย ส่วนความหนาแน่นจะใช้กับกรณีของผงสารตั้งต้นอัดเม็ด ซึ่งอยู่ในรูปของมวลต่อปริมาตร มีหน่วยเป็น g/cm^3