



รายงานฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอร์รันดัมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
Improvement of detection technique
for low-temperature heat treated corundum

โดย นายทัศนรา ศรีปุ่นจั่น และคณะ
ฝ่ายวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับ
สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

เดือน ธันวาคม ปี พ.ศ. 2562

รายงานฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอรัันดัมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

Improvement of detection technique

for low-temperature heat treated corundum

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. นายทัศนรา ศรีปุ่นจั่น	สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)
2. ดร.ภูวดล วรรณชะชัยแสง	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
3. นายธนพงษ์ เหลืออัมพร	สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)
4. ดร.มณฑิรา เสนีวงศ์ ณ อยุธยา	สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)
5. นายจิตชน ชิตพยัคฆ์	นักวิจัยอิสระ
6. นางสาวธัญพร เต็งชัยศรี	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
7. นางสาววรัตน์ชนก สุวรรณมณี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดโครงการ “การพัฒนาอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม” ปีงบประมาณ 2562

สนับสนุนโดย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย วช. - สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สัญญาเลขที่ RDG62TO113

การพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอรันดัมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิตำสรุปร่างรายงานฉบับสมบูรณ์

ส่วนที่ 1 ข้อมูลโครงการ

ชื่อผู้รับทุน : นางสาวกมล เจริญบุตร

โครงการเริ่มเมื่อ

วันที่ 1 มกราคม 2562 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2562

รวมเวลาที่ทำวิจัยทั้งสิ้น 12 เดือน

รายงานฉบับสมบูรณ์ ในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2562 – 31 ธันวาคม 2562

บทสรุปผู้บริหาร

การศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคาร์บอนดำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคดั้งเดิมที่ใช้ในการตรวจสอบพลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนอุณหภูมิต่ำ (พลอยเผาต่ำ หรือ พลอยเผาอบ) ให้มีประสิทธิภาพที่ดีมากขึ้น โดยมุ่งเน้นการศึกษาหาข้อบ่งชี้และหลักฐานใหม่ ๆ ร่วมกับการประยุกต์ใช้เครื่องมือขั้นสูงที่มีอยู่แล้วในห้องปฏิบัติการ เพื่อกำหนดหลักเกณฑ์และแนวทางที่ชัดเจนในการรับรองคุณภาพอัญมณีให้กับภาคอุตสาหกรรม ในฐานะหน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่หลักในการผลักดันและสร้างความเชื่อมั่นให้ผู้ประกอบการ ผู้บริโภคในภาค SMEs ของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับในวงกว้าง ตลอดจนจนถึงในระดับสากล

อนึ่ง ในโครงการวิจัยนี้ได้ทำการทดลองปรับปรุงคุณภาพพลอยทับทิมและแซปไฟร์สีชมพูจากแหล่งมอนเตปุยซ์ (Montepuez) ประเทศโมซัมบิกและแหล่งวาตูมันดรี (Vatomandry) ประเทศมาดากัสการ์ โดยเฉพาะพลอยทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก ซึ่งเป็นแหล่งที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน ทั้งในแง่การค้าขายและการนำมาเผาปรับปรุงคุณภาพที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากมีโทนสีที่หลากหลายและยังมีผลการวิจัยที่รอบรับว่าการเผาด้วยอุณหภูมิต่ำสามารถพัฒนาคุณภาพของสีให้ดีขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยด้านการตรวจสอบพลอยเผาต่ำที่ผ่านมา ยังคงดำเนินการได้ยาก และยังไม่มีความไม่แน่นอนอยู่มาก เนื่องจากการเป็นการศึกษาที่เน้นดูและสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของมลทินภายในพลอยภายใต้กำลังขยายเป็นหลัก แต่ในงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่การศึกษาเอกลักษณ์ของสเปกตรัมที่ได้จากเทคนิค Raman และ FTIR ในมลทินแร่ที่มักพบในพลอย เมื่อผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ โดยอ้างอิงทฤษฎีจากงานวิจัยด้านอื่น ๆ ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (thermal transformation) และเฟสของแร่ (mineral phases) เมื่อผ่านความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ ไม่เกิน 900 องศาเซลเซียส ซึ่งพอจะสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

พลอยทับทิมและแซปไฟร์สีชมพูจากแหล่งโมซัมบิกมักพบมลทินแร่ที่สำคัญ แบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก เป็นกลุ่มที่พบการเปลี่ยนแปลงของเฟสแร่ สามารถตรวจวัดและบ่งชี้ได้ชัดเจนได้จากรูปแบบของสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงไป จากวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Raman และ FTIR เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ 500 องศาเซลเซียส คือ แร่ไมก้า (mica) แร่ไพไรไทต์ (pyrrhotite) และมลทินที่เกิดบริเวณรอยแตกโพลีผิว ประกอบด้วย แร่ไดแอสปอร์ (diaspore) และมลทินเหล็กออกไซด์ในรูปของแร่เกอไทต์ (goethite) และกลุ่มที่สอง คือมลทินที่ถูกตรวจจับได้เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส คือ แร่แอมฟิโบล (amphibole) และกลุ่มสุดท้าย คือ แร่ที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมที่ชัดเจนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ข้างต้น เมื่อผ่านการเผา ที่อุณหภูมิสูงสุด 900 องศาเซลเซียส ได้แก่ แร่ไพโรฟิลไลต์ (pyrophyllite)

พลอยทับทิมและแซปไฟร์สีชมพูจากแหล่งมาดากัสการ์มีกพบมลทินแร่ที่สำคัญ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก เป็นกลุ่มที่พบการเปลี่ยนแปลงของเฟสแร่ สามารถตรวจวัดและบ่งชี้ได้ชัดเจนได้จาก รูปแบบของสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงไป จากวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Raman และ FTIR เมื่อผ่านการเผาที่ อุณหภูมิตั้งแต่ 500 องศาเซลเซียส คือ แร่อะพาไทต์ (apatite) และมลทินที่เกิดตามรอยแตก ซึ่ง ประกอบด้วยแร่โกไทต์ (goethite) และแร่แอนาเทส (anatase) และกลุ่มที่สองคือ แร่ที่ไม่พบการ เปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมที่ชัดเจนด้วยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคข้างต้น เมื่อผ่านการเผาไปที่อุณหภูมิ สูงสุด 900 องศาเซลเซียส ได้แก่ แร่รูไทล์ (rutile) และแร่เซอร์คอน (zircon)

อย่างไรก็ตาม โครงการวิจัยนี้ได้ลองศึกษามลทินแร่ด้วยเทคนิคการเรืองแสงด้วยการกระตุ้นของ เลเซอร์ (PL: photoluminescence) แต่พบอุปสรรคในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ และกำลังส่งของต้น กำเนิดเลเซอร์ ทำให้เกิดการดูดกลืนแสงที่มากเกินไปจากธาตุให้สีหลักในพลอยทับทิมและแซปไฟร์สี ชมพู (Cr^{3+}) ซึ่งเป็นข้อจำกัดของเครื่องมือที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการอัญมณีในปัจจุบัน โดยหากในอนาคต เครื่องมือดังกล่าวได้รับการพัฒนาชุดอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทางผู้วิจัยเห็นว่าเรื่องนี้เป็นเรื่อง ที่น่าสนใจ และเห็นควรศึกษาเพิ่มเติม พร้อมทั้งมีการต่อยอดงานวิจัยในอนาคต

บทคัดย่อ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา แนวโน้มการเผาปรับปรุงคุณภาพทับทิมจากประเทศโมซัมบิกที่อุณหภูมิต่ำยังคงได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากให้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างดีในแง่ของการพัฒนาคุณภาพสี ทำให้เทคนิคดังกล่าวถูกนำไปประยุกต์ใช้กับพลอยแหล่งอื่น ๆ เช่น แหล่งประเทศแทนซาเนีย ประเทศมาดากัสการ์ และ ประเทศพม่า อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบพลอยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำยังกระทำได้ค่อนข้างยาก และมีความซับซ้อน ส่งผลให้ผลการรับรองอัญมณีเกิดความไม่แน่นอน งานวิจัยนี้ได้ค้นพบ หลักฐานและข้อบ่งชี้ใหม่ ๆ ที่สามารถช่วยพัฒนาเทคนิคที่ใช้ในการตรวจสอบแบบเดิมให้มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำมากขึ้น จากผลการทดลอง ดังแสดงในสเปกตรัมที่ได้จากเทคนิค Raman ซึ่งสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเฟสของมลทินแร่ในพลอยทับทิมและแซปไฟร์สีชมพูจากโมซัมบิก ได้แก่ ไมก้า พิโรไทต์ ไดเอสเปอร์ และเกอไทต์ ส่วนมลทินที่พบในพลอยทับทิมและแซปไฟร์จากมาดากัสการ์ ได้แก่ อะพาไทต์ และ แอนาเทส สามารถตรวจวัดได้เช่นเดียวกัน เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ 500 องศาเซลเซียส และการประยุกต์ใช้เทคนิค FTIR โดยการวิเคราะห์ผ่านจุดที่เป็นคราบเหล็กออกไซด์ พบสเปกตรัมที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลกลุ่ม ไฮดรอกซิล เมื่อผ่านการเผาในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ

Abstract

Over the past few years, the tendency of heat treatment at relatively low temperatures to improve the quality of rubies from Mozambique continues to become more popular. As it provides a somewhat good outcome in terms of color quality which leads to being applied in ruby and sapphire from the other sources, such as Tanzania, Madagascar, and Myanmar. However, the examination and detection of the aforementioned matter remain slightly problematic and complicated resulting inconsistency in gem-quality certification. This research has discovered new evidence and indication that can help to develop the conventional inspection to be more efficient and more accurate. As shown in the spectrum obtained from Raman spectroscopy, which can detect the phases transformation of mineral inclusions in rubies and pink sapphires from Mozambique, including mica, pyrrhotite, diaspore, and goethite, while the inclusions found in such gem materials from Madagascar consisting of apatite and anatase, can also be detected once heat-treating at temperatures of up to 500 degrees Celsius onwards. The application of FTIR spectroscopy by relying on infrared beam passes through the area of iron oxide stains yielded transformed hydroxyl group patterns involved dehydroxylation process after heating.

สารบัญ

บทที่	หัวข้อ	หน้า
บทที่ 1	บทนำ	
	1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา	1-2
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1-5
	1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1-5
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	1-5
	1.5 กรอบแนวความคิดของการวิจัยและขั้นตอนการวิจัยในภาพรวม	1-6
	1.6 แผนงานโครงการ	1-7
บทที่ 2	การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	
	2.1 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยความร้อน (Heat Treatment)	2-2
	2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการเผาพลอย	2-3
	2.3 การเผาปรับปรุงคุณภาพสีแดงในทับทิมแบบดั้งเดิมของทับทิมและแซปไฟร์สีชมพู	2-4
	2.4 การเผาปรับปรุงคุณภาพพลอยแบบอุณหภูมิต่ำ	2-6
	2.5 แหล่งกำเนิดทางธรณีวิทยาของทับทิมจากแหล่งประเทศโมซัมบิกที่ใช้ในงานวิจัย	2-6
	2.6 ทบทวนวรรณกรรม	2-9
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย	
	3.1 ตัวอย่าง	3-2
	3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย	3-22
	3.3 กระบวนการวิจัย	3-27
บทที่ 4	ผลการทดลอง	
	4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐาน	4-2
	4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดย LA-ICP-MS	4-5
	4.3 มลทินภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์อัญมณี	4-8
	4.4 ผลการวิเคราะห์ Raman Spectroscopy	4-12
	4.5 ผลการวิเคราะห์ PL spectrophotometer	4-15
	4.6 ผลการวิเคราะห์ UV-VIS-NIR Spectrophotometer	4-17
	4.7 ผลการวิเคราะห์ FTIR Spectrometer	4-19
	4.8 ผลการวิเคราะห์ Laser-Tomography	4-25
	4.9 ผลการวิเคราะห์ DiamondView™	4-25
	4.10 ผลจากการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน	4-26
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
	5.1 สรุปผลการทดลอง	5-2
รายการเอกสารอ้างอิง		อ-1
ภาคผนวก ก-ญ		
แบบฟอร์ม ตาราง Output		
แบบฟอร์ม ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ ต่อ สกว.		

สารบัญตาราง

บทที่	หัวข้อ	หน้า
บทที่ 2	การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	
ตารางที่	2-1 เตาเผาฟลอยแต่ละชนิดที่นิยมใช้ในปัจจุบัน	2-3
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย	
ตารางที่	3-1 ตัวอย่างทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก	3-1
ตารางที่	3-2 ตัวอย่างทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์	3-6
ตารางที่	3-3 Parameter ในการวิเคราะห์ของเครื่อง FTIR Spectrometer	3-11
ตารางที่	3-4 Parameter ในการวิเคราะห์ของเครื่อง UV-Vis-NIR Spectrophotometer	3-12
ตารางที่	3-5 Parameter ในการวิเคราะห์ของเครื่อง Raman Spectroscope	3-13
ตารางที่	3-6 Parameter ในการวิเคราะห์ของเครื่อง LA-ICP-MS	3-15
ตารางที่	3-7 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูง	3-16
ตารางที่	3-8 อุณหภูมิและเวลาในการเผาตัวอย่าง	3-17
บทที่ 4	ผลการทดลอง	
ตารางที่	4-1 สมบัติพื้นฐานของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก	4-2
ตารางที่	4-2 สมบัติพื้นฐานของทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์	4-3
ตารางที่	4-3 ตารางแสดงผลทางเคมีจากตัวอย่างโมซัมบิก โดยเครื่อง LA-ICP-MS	4-5
ตารางที่	4-4 ตารางแสดงผลทางเคมีจากตัวอย่างมาดากัสการ์ โดยเครื่อง LA-ICP-MS	4-6
ตารางที่	4-5 ชนิดแร่มลทินที่สามารถพบได้ในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก	4-7
ตารางที่	4-6 ชนิดแร่มลทินที่สามารถพบได้ในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์	4-10
ตารางที่	4-7 อุณหภูมิที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ	4-26
ตารางที่	4-8 มลทินภายในของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกหลังการปรับปรุงด้วยความความร้อน	4-31
ตารางที่	4-9 มลทินภายในของทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์หลังการปรับปรุงด้วยความร้อน	4-38
ตารางที่	4-10 แสดงกลุ่มตัวอย่างที่เงื่อนไขต่าง ๆ	4-58
ภาคผนวก	ค่า Detection limits ของตัวอย่างทับทิม โดยเครื่อง LA-ICP-MS	
ตารางที่	ซ-1 ค่า Detection limits ผลทางเคมีตัวอย่างทับทิมโมซัมบิก โดยเครื่อง LA-ICP-MS	ซ-1
ตารางที่	ซ-2 ค่า Detection limits ผลทางเคมีตัวอย่างทับทิมมาดากัสการ์ โดยเครื่อง LA-ICP-MS	ซ-2
ภาคผนวก	ฉ. เปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ	
ตารางที่	ฉ-1 ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ	ฉ-1

สารบัญภาพ

บทที่	หัวข้อ	หน้า
บทที่ 2	การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	
ภาพที่	2-1 กลไกของการเผาพัฒนาสีทับทิม	2-5
ภาพที่	2-2 แผนที่ธรณีวิทยาประเทศโมซัมบิกที่สัมพันธ์กับทับทิมโมซัมบิก	2-8
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย	
ภาพที่	3-1 เครื่อง FTIR spectrometer รุ่น Nicolet iS50	3-11
ภาพที่	3-2 เครื่อง UV-Vis-NIR spectrophotometer รุ่น LAMBDA 1050	3-12
ภาพที่	3-3 เครื่อง Raman spectroscopy รุ่น InVia Raman Microscope	3-13
ภาพที่	3-4 เครื่อง DiamondView™	3-14
ภาพที่	3-5 เครื่อง Laser-Tomography	3-14
ภาพที่	3-6 เครื่อง LA-ICP-MS	3-16
บทที่ 4	ผลการทดลอง	
ภาพที่	4-1 มลทินภายในที่พบในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก	4-8
ภาพที่	4-2 มลทินภายในที่พบในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์	4-10
ภาพที่	4-3 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ amphibole	4-12
ภาพที่	4-4 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ rutile	4-12
ภาพที่	4-5 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ diaspore	4-12
ภาพที่	4-6 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ mica	4-13
ภาพที่	4-7 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ pyrophyllite	4-13
ภาพที่	4-8 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ Iron oxide (goethite)	4-13
ภาพที่	4-9 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ hematite	4-14
ภาพที่	4-10 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ sillimanite	4-14
ภาพที่	4-11 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ anatase	4-14
ภาพที่	4-12 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ chromite (spinel group)	4-14
ภาพที่	4-13 มลทินและสเปกตรัมการเปล่งแสงมลทินของแร่ ไมก้า	4-15
ภาพที่	4-14 มลทินและสเปกตรัมการเปล่งแสงมลทินของแร่ เซอร์คอน	4-15
ภาพที่	4-15 มลทินและสเปกตรัมการเปล่งแสงมลทินของแร่ อะพาไทต์	4-16
ภาพที่	4-16 มลทินและสเปกตรัมการเปล่งแสงมลทินของแร่ รูไทล์	4-16
ภาพที่	4-17 มลทินและสเปกตรัมการเปล่งแสงมลทินของแร่ เซอร์คอน	4-16
ภาพที่	4-18 มลทินและสเปกตรัมการเปล่งแสงมลทินของแร่ อะพาไทต์	4-17
ภาพที่	4-19 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง ของตัวอย่างทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก	4-18
ภาพที่	4-20 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง ของตัวอย่างทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์	4-19
ภาพที่	4-21 FTIR สเปกตรัม ของตัวอย่างทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก	4-20
ภาพที่	4-22 FTIR สเปกตรัม ของตัวอย่างทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก	4-20
ภาพที่	4-23 FTIR สเปกตรัม บริเวณ Iron stain ของทับทิมรหัส MZUNK0121-003	4-21
ภาพที่	4-24 FTIR สเปกตรัม บริเวณ Iron stain ของทับทิมรหัส MZUNK0121-028	4-21

บทที่	หัวข้อ	หน้า
ภาพที่	4-25 FTIR สเปกตรัม บริเวณ Iron stain ของทับทิมรหัส MZUNK0121-010	4-22
ภาพที่	4-26 FTIR สเปกตรัม บริเวณ Iron stain ของทับทิมรหัส MZUNK0121-004	4-22
ภาพที่	4-27 FTIR สเปกตรัม ของตัวอย่างทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์	4-23
ภาพที่	4-28 FTIR สเปกตรัม บริเวณ Iron stain ของทับทิมรหัส MGVAT0121-003	4-23
ภาพที่	4-29 FTIR สเปกตรัม บริเวณ Iron stain ของทับทิมรหัส MGVAT0121-001	4-24
ภาพที่	4-30 FTIR สเปกตรัม บริเวณ Iron stain ของทับทิมรหัส MGVAT0121-030	4-24
ภาพที่	4-31 ผลการวิเคราะห์ Laser-Tomography ของทับทิม จากแหล่งโมซัมบิก	4-25
ภาพที่	4-32 ผลการวิเคราะห์ Laser-Tomography ของทับทิม จากแหล่งมาดากัสการ์	4-25
ภาพที่	4-33 การเรืองแสง ของทับทิมโดยเครื่อง DiamondView™ จากแหล่งโมซัมบิก	4-26
ภาพที่	4-34 การเรืองแสงบริเวณ zoning ของตัวอย่างทับทิมโดยเครื่อง DiamondView™ จากแหล่งมาดากัสการ์	4-26
ภาพที่	4-35 ทับทิมก่อน-หลังเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	4-27
ภาพที่	4-36 ทับทิมก่อน-หลังเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 3 และ 10 ชั่วโมง	4-27
ภาพที่	4-37 ทับทิมแหล่งโมซัมบิกก่อน-หลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ	4-28
ภาพที่	4-38 ทับทิมก่อน-หลังเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	4-29
ภาพที่	4-39 ทับทิมก่อน-หลังเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	4-29
ภาพที่	4-40 ทับทิมก่อน-หลังเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 3 และ 10 ชั่วโมง	4-29
ภาพที่	4-41 ทับทิมแหล่งมาดากัสการ์ก่อน-หลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ	4-30
ภาพที่	4-42 แสดงสเปกตรัมรามานของมัลทินแร่ไมก้าในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน	4-44
ภาพที่	4-43 แสดงสเปกตรัมรามานของมัลทินแร่ไมก้าในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน	4-44
ภาพที่	4-44 แสดงสเปกตรัมรามานของมัลทินแร่ไมก้าในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน	4-45
ภาพที่	4-45 แสดงสเปกตรัมรามานของมัลทินแร่ไดแอสปอร์ในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน	4-45
ภาพที่	4-46 แสดงสเปกตรัมรามานของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน	4-46
ภาพที่	4-47 แสดงสเปกตรัมรามานของมัลทินเหล็กออกไซด์ในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน	4-46
ภาพที่	4-48 แสดงสเปกตรัมรามานของมัลทินเหล็กออกไซด์ในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน	4-47
ภาพที่	4-49 แสดงสเปกตรัมรามานของมัลทินเหล็กออกไซด์ในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน	4-47
ภาพที่	4-50 แสดงสเปกตรัมรามานของมัลทินแร่แอมฟิโบลทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน	4-48

บทที่	หัวข้อ	หน้า
ภาพที่	4-69 สเปกตรัมการเปล่งแสงของมลทินแร่รูไทล์ภายในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ ก่อนและหลังผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อน	4-57
ภาพที่	4-70 แสดงการดูดของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน	4-59
ภาพที่	4-71 แสดงการดูดของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก ในแกนo-ray (สีแดง) และe-ray(สีน้ำเงิน)	4-59
ภาพที่	4-72 แสดงการดูดของทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์หลังการปรับปรุงด้วยความร้อน	4-60
ภาพที่	4-73 FTIR สเปกตรัมของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก	4-61
ภาพที่	4-74 FTIR สเปกตรัมของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก บริเวณIron stain	4-61
ภาพที่	4-75 FTIR สเปกตรัมของทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์	4-62
ภาพที่	4-76 FTIR สเปกตรัมของทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ บริเวณIron stain	4-63
ภาพที่	4-77 Laser-Tomography ของทับทิมแหล่งมาดากัสการ์หลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ	4-64
ภาพที่	4-78 DiamondView™ ของทับทิมแหล่งโมซัมบิกหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ	4-65
ภาพที่	4-79 DiamondView™ ของทับทิมแหล่งมาดากัสการ์หลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ	4-66
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ		
ภาพที่	5-1 มลทินภายในที่พบในแหล่งโมซัมบิกและแหล่งมาดากัสการ์	5-3
ภาพที่	5-2 ผลการเปลี่ยนแปลงรามานสเปกตรัมของมลทินในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกที่อุณหภูมิต่างๆ	5-3
ภาพที่	5-3 ผลการเปลี่ยนแปลงรามานสเปกตรัมของมลทินในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ที่อุณหภูมิต่างๆ	5-4
ภาพที่	5-4 สรุปผลการเปลี่ยนแปลง PLสเปกตรัมของมลทินในทับทิมที่อุณหภูมิต่างๆ	5-4
ภาพที่	5-5 ชาร์ตสรุปการวิเคราะห์ตรวจสอบทับทิมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนโดยเทคนิคต่างๆ	5-6
ภาคผนวก ก.ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Raman spectroscope		
ผลวิเคราะห์มลทินผลึกแหล่งโมซัมบิก		
ภาพที่	ก-1 รามานสเปกตรัมแร่ Mica	ก-1
ภาพที่	ก-2 รามานสเปกตรัมแร่ Amphibole	ก-3
ภาพที่	ก-3 รามานสเปกตรัมแร่ Goethite	ก-4
ภาพที่	ก-4 รามานสเปกตรัมแร่ Rutile	ก-5
ภาพที่	ก-5 รามานสเปกตรัมแร่ Pyrrhotite	ก-6
ภาพที่	ก-6 รามานสเปกตรัมแร่ Pyrophyllite	ก-6
ภาพที่	ก-7 รามานสเปกตรัมแร่ Chalcopyrite	ก-6
ภาพที่	ก-8 รามานสเปกตรัมแร่ Anatase	ก-7
ภาพที่	ก-9 รามานสเปกตรัมแร่ Diaspore	ก-7
ภาพที่	ก-10 รามานสเปกตรัมแร่ Goethite	ก-7
ภาพที่	ก-11 รามานสเปกตรัมแร่ Talc	ก-8
ภาพที่	ก-12 รามานสเปกตรัมแร่ Quartz	ก-8

บทที่	หัวข้อ	หน้า
ภาพที่	ก-13 รามานสเปกตรัมแร่ Magnetite	ก-8
ภาพที่	ก-14 รามานสเปกตรัมแร่ Hematite	ก-9
ภาพที่	ก-15 รามานสเปกตรัมแร่ Silimanite	ก-9
ภาพที่	ก-16 รามานสเปกตรัมแร่ Chromite	ก-10
ภาพที่	ผลวิเคราะห์ห่มลทินผลึกแหล่งมาดากัสการ์	
ภาพที่	ก-17 รามานสเปกตรัมแร่ Mica	ก-11
ภาพที่	ก-18 รามานสเปกตรัมแร่ Rutile	ก-11
ภาพที่	ก-19 รามานสเปกตรัมแร่ Apatite	ก-14
ภาพที่	ก-20 รามานสเปกตรัมแร่ Anatase	ก-15
ภาพที่	ก-21 รามานสเปกตรัมแร่ Goethite	ก-16
ภาพที่	ก-22 รามานสเปกตรัมแร่ Zircon	ก-18
ภาพที่	ก-23 รามานสเปกตรัมแร่ Monazite	ก-19
ภาพที่	ก-24 รามานสเปกตรัมแร่ Pyrophyllite	ก-20
ภาพที่	ก-25 รามานสเปกตรัมแร่ Biotite	ก-20
ภาคผนวก	ข.ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Vis-NIR spectrophotometer	
ภาพที่	ข-1 ผลวิเคราะห์ห่มลทินแหล่งโมซัมบิก	ข-1
ภาพที่	ข-2 ผลวิเคราะห์ห่มลทินแหล่งมาดากัสการ์	ข-13
ภาคผนวก	ค.ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR spectrometer	
ภาพที่	ค-1 ผลวิเคราะห์ห่มลทินแหล่งโมซัมบิก	ค-1
ภาพที่	ค-2 ผลวิเคราะห์ห่มลทินแหล่งมาดากัสการ์	ค-13
ภาคผนวก	ง.ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Photoluminescence	
	ผลการวิเคราะห์ห่มลทินผลึกแหล่งโมซัมบิกด้วยเลเซอร์ 325	
ภาพที่	ง-1 PLสเปกตรัมของแร่ Mica	ง-1
ภาพที่	ผลการวิเคราะห์ห่มลทินผลึกแหล่งมาดากัสการ์ด้วยเลเซอร์ 325	
ภาพที่	ง-2 PLสเปกตรัมของแร่ Apatite	ง-2
ภาพที่	ง-3 PLสเปกตรัมของแร่ Fuchsite	ง-2
ภาพที่	ง-4 PLสเปกตรัมของแร่ Zircon	ง-3
ภาพที่	ง-5 PLสเปกตรัมของแร่ Silimanite	ง-3
	ผลการวิเคราะห์ห่มลทินผลึกแหล่งมาดากัสการ์ด้วยเลเซอร์ 785	
ภาพที่	ง-6 PLสเปกตรัมของแร่ Apatite	ง-4
ภาพที่	ง-7 PLสเปกตรัมของแร่ Zircon	ง-4
ภาพที่	ง-8 PLสเปกตรัมของแร่ Rutile	ง-4
ภาคผนวก	จ.ผลการวิเคราะห์ห่มลทินภายในด้วยกล้อง Microscope	
ภาพที่	จ-1 ผลการวิเคราะห์ห่มลทินภายในห่มลทินแหล่งโมซัมบิก	จ-1
ภาพที่	จ-2 ผลการวิเคราะห์ห่มลทินภายในห่มลทินแหล่งมาดากัสการ์	จ-20
ภาคผนวก	ฉ.ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DiamondView™	
ภาพที่	ฉ-1 ผลการวิเคราะห์ห่มลทินแหล่งโมซัมบิก	ฉ-1

บทที่	หัวข้อ	หน้า
ภาพที่	จ-2 ผลการวิเคราะห์หัตถ์พิมพ์แหล่งมาดากัสการ์	จ-7
ภาคผนวก	ข.ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DiamondView™	
ภาพที่	ข-1 ผลการวิเคราะห์หัตถ์พิมพ์แหล่งโมซัมบิก	ข-1
ภาพที่	ข-2 ผลการวิเคราะห์หัตถ์พิมพ์แหล่งมาดากัสการ์	ข-6

บทที่ 1

บทนำ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

คอรันดัม (Corundum) เป็นแร่อัญมณีที่ได้รับความนิยมอย่างสูง มีสูตรเคมีคือ Al_2O_3 อยู่ในกลุ่มของแร่ออกไซด์และจัดอยู่ในกลุ่มแร่ฮีมาไทต์ (hematite group) มีโครงสร้างภายในชนิดที่สลับแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal closest packing) มีระบบผลึกแบบ Trigonal มีความใสตั้งแต่โปร่งใสถึงทึบแสง มีความแข็งตาม Mohr's scale เท่ากับ 9 ซึ่งถือว่ามีความแข็งอันดับต้นๆของอัญมณี มีประกาย (Luster) แบบแก้วถึงกึ่งเพชร (Vitreous to sub-adamantine) มีจุดหลอมเหลวที่ประมาณ $2,050^\circ\text{C}$ และพบเป็นแร่ประกอบหินในหินอัคนีและหินแปรที่มีปริมาณของซิลิกาต่ำ (Klein and Hurlbut, Jr, 1977; Read, 2005 and O'Donoghue, 2006)

การที่คอรันดัมบริสุทธิ์จะใสไร้สี แต่เมื่อมีธาตุร่อนรอยมาปะปน ทำให้มีสีสันทันเกิดขึ้นหลากหลายสี นอกจากนี้ยังมีความแข็งที่สูงกว่าอัญมณีชนิดอื่น จึงมีการนำคอรันดัมมาใช้เป็นอัญมณีอย่างแพร่หลาย และได้รับความนิยมอย่างมาก สีที่ได้รับความนิยมสูงสุดคือสีแดง เรียกว่า ทับทิม (Ruby) มีธาตุโครเมียม (Cr^{3+}) เป็นธาตุร่อนรอย ส่วนสีที่ได้รับความนิยมอื่นๆคือสีน้ำเงิน เรียกว่า ไพลิน (Blue sapphire) โดยสีเกิดจากธาตุเหล็ก (Fe^{2+} และ Fe^{3+}) และไทเทเนียม (Ti^{4+}) ที่จับตัวกันเป็นคู่จนเกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (Intervalence charge transfer) และสีเหลือง ซึ่งเรียกว่า บุษราคัม (yellow sapphire) โดยมีธาตุเหล็ก (Fe^{3+}) และ/หรือ การบกพร่องของโครงสร้างบางส่วน (defect) เป็นสาเหตุการเกิดสี นอกจากนี้สามารถมีสีอื่นๆซึ่งได้จากการที่มีธาตุให้สีหลายธาตุปะปนกัน ทำให้เกิดการผสมสีเป็นสีต่างๆ เป็นผลให้พลอยคอรันดัมมีสีสันทันที่หลากหลายและสวยงาม การเผาหรือหุงพลอยซึ่งเป็นภูมิปัญญาของคนไทยสามารถทำให้สีของคอรันดัมมีการเปลี่ยนแปลงให้มีมูลค่าที่เพิ่มขึ้นได้โดยใช้ความร้อนช่วยในการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งมักจะนำพลอยไปเผาที่อุณหภูมิสูง แต่ในปัจจุบันพบว่า มีการนำคอรันดัม ทั้งทับทิม ไพลิน และแซฟไฟร์สีอื่นๆไปปรับปรุงคุณภาพด้วยอุณหภูมิต่ำ โดยเฉพาะทับทิมจากประเทศโมซัมบิก และไพลินจากประเทศศรีลังกา โดยมีการเปลี่ยนแปลงของสีไปจากธรรมชาติทำให้มีมูลค่าที่สูงขึ้นได้และมักไม่มีการเปิดเผย และการตรวจสอบทำได้ยากและยังไม่มีข้อพิสูจน์ที่ชัดเจน ทำให้เกิดปัญหาการซื้อขายขึ้นในตลาดอัญมณี เนื่องจากพลอยที่มีสีที่ได้จากธรรมชาติ ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพจะมีมูลค่าสูงกว่าพลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีใดๆ

การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาอิทธิพลของความร้อนต่อมลทินภายในคอรันดัม ทั้งมลทินปฐมภูมิ (syngenetic) และทุติยภูมิ (epigenetic) เช่น มลทินแร่ มลทินของเหลว มลทินเส้นไหม มลทินในรอยแตก และมลทินอื่นๆ

ในปัจจุบันทับทิมได้รับความนิยมอย่างสูงในตลาดอัญมณีและเครื่องประดับเนื่องจากมีสีแดงที่สดใสน่าดึงดูดตา โดยเฉพาะสีแดงเลือดนกพิราบ (Pigeon blood red) ได้ชื่อว่าเป็นสีที่สวยงามและได้รับการยอมรับที่สุด ทำให้การนำทับทิมมาประดับบนตัวเรือนเครื่องประดับมีความโดดเด่น รวมถึงความแข็งที่

สูงกว่าพลอยชนิดอื่น จึงเป็นที่ต้องการของตลาดอัญมณีและเครื่องประดับอย่างมาก ประกอบกับความหายากซึ่งทับทิมที่มีสีสวยและมีความสะอาดมีปริมาณน้อยมาก ส่งผลให้มีราคาแพงกว่าพลอยชนิดอื่นๆ

ประเทศที่เป็นแหล่งทับทิมที่สำคัญของโลก คือ ประเทศเมียนมาร์ เวียดนาม ไทย แทนซาเนีย ปากีสถาน อัฟกานิสถาน เคนยา มาดากัสการ์ และโมซัมบิก โดยประเทศที่ได้ชื่อว่าเป็นแหล่งทับทิมที่สวยงามที่สุดในโลกคือประเทศเมียนมาร์แต่เนื่องจากยังคงมีปัญหาทางการเมือง ทำให้มีปริมาณของทับทิมออกสู่ตลาดโลกยังคงจำกัด ส่งผลให้ราคาทับทิมจากประเทศพม่ามีราคาแพงมากจึงมีการนำทับทิมจากแหล่งอื่นมาทดแทน ปัจจุบันปริมาณทับทิมในตลาดอัญมณีส่วนใหญ่ได้จากแอฟริกา โดยมีแหล่งสำคัญคือ ประเทศโมซัมบิก และ ประเทศมาดากัสการ์ซึ่งมีคุณภาพสีที่ไม่ด้อยไปกว่าทับทิมจากประเทศเมียนมาร์และได้รับการยอมรับในตลาดอัญมณี

ทับทิมจากโมซัมบิกในอดีตพบบริเวณตอนเหนือ บริเวณจังหวัดนิแอสซา (Niassa Province) มักมีคุณภาพต่ำ ต้องนำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนก่อนทำการเจียรไน ปัจจุบันมีการพบแหล่งทับทิมคุณภาพสูงบริเวณเมืองมอนเตปวยซ์ จังหวัดคาโบ เดลกาโด (Cabo Degado Province) ซึ่งในบางเหมืองพบทับทิมที่มีสีแดงสดส่วนหนึ่งโดยไม่ต้องทำการปรับปรุงคุณภาพแต่อย่างใด เป็นที่ต้องการของตลาดโลกอย่างมาก (GIT gem testing laboratory, 2010; Hsu, T., et al., 2014) ทำให้แหล่งทับทิมในโมซัมบิกมีชื่อเสียงและเป็นที่ต้องการของตลาดอัญมณี ส่งผลให้มีการเข้าสำรวจ ทำเหมือง และซื้อขายทับทิมในประเทศโมซัมบิกจากหลากหลายผู้ประกอบการ โดยเฉพาะบริษัทเจมส์ฟีลด์ส (Gemfields) ได้เข้าขอสัมปทานในการทำเหมืองทับทิมในประเทศโมซัมบิกครอบคลุมพื้นที่ 340 ตารางกิโลเมตร (Gemfields annual report 2013)

ส่วนในประเทศมาดากัสการ์จัดว่าเป็นแหล่งทับทิมที่เข้าสู่ตลาดมานานโดยพบแหล่งพลอยได้ในตอนกลางของประเทศ เช่นแหล่งดีดี (Didy) แหล่งแอนดิลามินา (Andilamina) และแหล่งอัมบาตอนดราซากา (Ambatondrazaka)

นอกจากนี้ยังมีแหล่งทับทิมในประเทศแทนซาเนีย (Tanzania) ซึ่งสามารถพบได้หลายแหล่งกระจายตัวอยู่ทั่วประเทศ เช่นทางตอนเหนือของประเทศในแหล่งลองกิโด (Longido) แหล่งคิรินดี (Kirindi) และแหล่งทังก้า (Tanga) ทางตอนกลางของประเทศ ในแหล่งวินซ่า (Winza) และแหล่งโมร็อกโกโร (Morogoro) และทางตอนใต้ในแหล่งซงเจีย แต่เนื่องจากปริมาณการผลิตที่ไม่แน่นอนและผลผลิตส่วนมากมีคุณภาพต่ำทำให้ทับทิมจากแทนซาเนียมีไม่เป็นที่นิยมมากนักในตลาด

ส่วนแซปไฟร์สีต่างๆในปัจจุบันเริ่มมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำอย่างแพร่หลายเช่นเดียวกัน

ดังนั้นแม้ว่าแร่ที่อยู่ในกลุ่มคอร์ันดัม มีสูตรเคมีที่แน่นอน เปลี่ยนแปลงได้ในวงจำกัด และมีโครงสร้างที่เป็นผลึกที่มีระเบียบ แต่ด้วยปริมาณของธาตุรองรอยที่แตกต่างกันทำให้พลอยที่สวยงามตามธรรมชาตินั้นหาได้ยาก และพลอยส่วนใหญ่มักผ่านการปรับปรุงคุณภาพซึ่งทั้งสองกลุ่มได้รับความนิยมและยอมรับจากผู้บริโภคแตกต่างกันส่งผลกับราคาของคอร์ันดัมเม็ดนั้นๆ การศึกษาข้อบ่งชี้การปรับปรุงคุณภาพของคอร์ันดัมแต่ละแหล่งจึงได้รับความสนใจจากนักวิชาการอัญมณีทั่วโลก โดยเฉพาะการศึกษา

การเปลี่ยนแปลงมลทินภายในของคอร์นดัมซึ่งมีความสัมพันธ์กับธรณีวิทยาและสภาพการกำเนิด ทำให้สามารถนำมาใช้ในการบ่งชี้ในการตรวจสอบการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนได้อีกด้วย

ส่วนใหญ่สีของทับทิมที่พบตามธรรมชาติมักมีสีแดงอมม่วง เกิดจากการที่มีธาตุร่องรอยในกลุ่มของโครเมียมซึ่งให้สีแดง และธาตุร่องรอยอื่นๆ เช่น เหล็กและไทเทเนียมที่เป็นสาเหตุของการเกิดสีน้ำเงินปะปนอยู่ในพลอยคอร์นดัม ทำให้สีของทับทิมสีแดงอมม่วงมีราคาต่ำกว่าทับทิมสีแดงสด จึงมักนำทับทิมดังกล่าวมาทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน เช่นเดียวกับแซฟไฟร์สีต่างๆ ที่มักต้องปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน เทคนิคดังกล่าวเป็นภูมิปัญญาชาวบ้านของจังหวัดจันทบุรีที่มีประวัติการปรับปรุงคุณภาพ อัญมณีมายาวนาน การปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนสามารถทำได้หลายเทคนิค ขึ้นอยู่กับความรู้ความสามารถและประสบการณ์ของนักเผาพลอย มีวิธีตั้งแต่การปรับปรุงคุณภาพความร้อนด้วยอุณหภูมิต่ำกว่า 1000 °C และการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 1000 °C (Nassau, 1981; Roskin, 2006) และการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงพร้อมใส่สารเคมีต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นแก้ว บอแรกซ์ แก้วตะกั่ว จนถึงแก้วตะกั่วใส่สีด้วยธาตุให้สีต่างๆ ซึ่งเทคนิคดังกล่าวมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มมูลค่าของอัญมณีในตลาดโลก

ราคาของอัญมณีที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้สวยงามขึ้นจะมีราคาที่ต่ำกว่าราคาอัญมณีที่สวยงามตามธรรมชาติโดยไม่มีการปรับปรุงคุณภาพใดๆ ในปัจจุบันการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนได้รับการยอมรับจากทั่วโลก เนื่องจากสีที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนมีความเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงในสภาวะการใช้งานแบบปกติ แต่ด้วยราคาที่แตกต่างกันทำให้การซื้อขายอัญมณีระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายต้องมีความซื่อสัตย์และจริงใจในการเปิดเผยข้อมูลการปรับปรุงคุณภาพของอัญมณีที่จำหน่าย แต่เพื่อความน่าเชื่อถือที่เพิ่มมากขึ้น จึงต้องมีการออกใบรับรองจากสถาบันอัญมณีต่างๆ ที่เป็นกลาง เพื่อประโยชน์แก่ผู้ซื้อและผู้ขายเพื่อให้ราคาของ อัญมณีมีราคาที่ยุติธรรม ดังนั้น การศึกษาข้อบ่งชี้ในการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งของนักวิชาการอัญมณี การวิจัยหาข้อบ่งชี้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อัญมณีเพื่อกำหนดใบรับรองจึงมีการศึกษาและตีพิมพ์ตามวารสารอัญมณีต่างๆ อย่างแพร่หลาย ซึ่งมีวิเคราะห์จากแร่มลทินที่อยู่ภายในอัญมณีที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิสูง

ในปัจจุบันการปรับปรุงคุณภาพทับทิมสามารถทำได้ในอุณหภูมิที่ไม่สูงมากนัก โดยมักนำทับทิมที่มีสีแดงอมม่วงไปทำการอบที่อุณหภูมิไม่เกิน 1000 °C ในสภาวะบรรยากาศ เพื่อกำจัดสีน้ำเงินออกจากทับทิม (Krzemnicki, 2010; Pardieu, et al., 2015; Sripoonjan, et al., 2016) ส่งผลให้ราคาของทับทิมดังกล่าวมีค่าสูงขึ้นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม ราคาของทับทิมดังกล่าวควรจะถูกกำหนดราคาให้เป็นทับทิมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ แต่เนื่องจากการเผาอบที่อุณหภูมิต่ำนั้น นักอัญมณีศาสตร์ และห้องปฏิบัติการยังไม่สามารถบ่งชี้ได้อย่างแน่ชัด ทำการศึกษาอย่างเป็นระบบและต่อเนื่องถึงผลกระทบของความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ อันจะมีผลต่อทับทิมจากแหล่งต่างๆ เพื่อหาข้อบ่งชี้ของทับทิมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษามลทินที่สำคัญของคอร์นดัมจากแหล่งในแอฟริกาจะพบแร่ไดอัสปอร์ (Diaspore) ไมกา (Mica) เกอไทต์ (Goethite) เฟลสปาร์ (Feldspar) เซอร์คอน (Zircon) และ แอมฟิโบล (Amphibole) ซึ่งแร่มลทินเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการศึกษา

อิทธิพลของความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆของมลทินได้ โดยสามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพของแร่มลทินด้วยความร้อน โดยเฉพาะแร่ที่มีองค์ประกอบของน้ำในโครงสร้าง เช่น ไดโอสเปอร์และเกอไทต์ เป็นต้น โดยเมื่อผ่านความร้อนจะมีการสูญเสียน้ำในโครงสร้างและมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของแร่ไปอีกรูปแบบหนึ่ง (Wanthanachaisaeng, 2007; Canimoglu, et al., 2014; Sripoonjan, et al., 2016) นอกจากนี้ยังสามารถใช้การเปลี่ยนแปลงของความดันกักเก็บระหว่างมลทินและคอร์นัม โดยใช้การคำนวณความดันระหว่างแร่ที่ได้จากการวิเคราะห์ตำแหน่ง R1 ของการเรืองแสงของโครเมียมในคอร์นัมด้วยเทคนิคโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (photoluminescence) ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของความดันระหว่างแร่เมื่อมีการให้ความร้อน (Wang, et al., 2006; Wanthanachaisaeng, 2007; Lenz and Nasdala, 2015) ทำให้สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของความดันที่เกิดขึ้นจากการขยายตัวของแร่ต่างชนิดกันเมื่อได้รับความร้อนและการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีเมื่อถูกกระทำด้วยความร้อน เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคนิคเฉพาะสำหรับใช้ในการตรวจสอบรวมถึงการค้นคว้าหาตัวบ่งชี้ของอัญมณีคอร์นัมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ โดยข้อมูลและองค์ความรู้จากงานวิจัยนี้เป็นต้นแบบ ในการต่อยอดไปสู่นวัตกรรมใหม่ๆ ในการตรวจสอบอัญมณีชนิดๆอื่น และเป็นการเสริมสร้างความเข้มแข็งและสร้างความน่าเชื่อถือของการออกไปรับรองของสถาบันในระดับนานาชาติได้เป็นอย่างดี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ใช้ตัวอย่างคอร์นัมจากแหล่งแอฟริกาตะวันออก อย่างน้อย 2 แหล่ง แหล่งละ 30 ตัวอย่าง
- 1.3.2 ใช้เตาเผาชนิดไฟฟ้าเพื่อการปรับปรุงคุณภาพพลอย ในสภาวะบรรยากาศ โดยไม่เติมสารเคมีใดๆ
- 1.3.3 ศึกษาลักษณะเฉพาะทางสเปกโตรสโกปีด้วยเครื่องมือขั้นสูง เช่น FTIR spectrometer, Raman spectrometer, Photoluminescence spectrometer, UV-Vis-NIR Spectrophotometer, Laser tomography และ DiamondView™
- 1.3.4 เผยแพร่งานวิจัยในระดับชาติหรือระดับนานาชาติ อย่างน้อย 1 ครั้ง
- 1.3.5 เอกสารสรุปองค์ความรู้ห้องปฏิบัติการภาษาอังกฤษ และรายงานฉบับสมบูรณ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1.4.1 เทคนิคและนวัตกรรมในการตรวจสอบพลอยเผาอุณหภูมิต่ำที่เป็นประโยชน์ต่อห้องปฏิบัติการและผู้ประกอบการในอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดได้

- 1.4.2 ผลงานทางวิชาการในรูปแบบการพิมพ์เอกสารเผยแพร่ หรือประชุมวิชาการ ทั้งในระดับชาติ และนานาชาติอย่างน้อย 1 เรื่อง
- 1.4.3 บุคลากรของสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นักวิชาการ ได้รับประสบการณ์ และสามารถเพิ่มพูนทักษะความสามารถ ความเป็นมืออาชีพ ในการตรวจสอบอัญมณี สามารถส่งผ่านความเชื่อมั่นสู่ผู้ค้า-ผู้ประกอบการ
- 1.4.4 สร้างความเชื่อมั่น สามารถปกป้องผู้ซื้อ-ขาย ผู้บริโภค ตลอดทั้งห่วงโซ่อุปทานใน อุตสาหกรรม อัญมณีและเครื่องประดับ
- 1.4.5 สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่ด้านอัญมณีและเครื่องประดับ

1.5 กรอบแนวความคิดของการวิจัยและขั้นตอนการวิจัยในภาพรวม

การออกใบรับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์อัญมณีถือเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากสามารถสร้างความเชื่อมั่น ความมั่นใจในการซื้อ-ขายสินค้าให้มีเสถียรภาพ ห่วงปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีของประเทศไทยซึ่งเป็นหน่วยงานหลัก จึงต้องมีบทบาทสำคัญในการวิจัยและพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงในอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

การวิเคราะห์อัญมณีที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพที่อุณหภูมิต่ำเป็นสิ่งที่ท้าทายมาก เนื่องจากการวิเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบัน เป็นแค่การสังเกตการเปลี่ยนแปลงของมลทินภายในอัญมณีด้วยสายตาเป็นหลัก ซึ่งยังไม่ใช่วิธีที่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ผลการตรวจสอบมีความขัดแย้งบ่อยครั้ง ห่วงปฏิบัติการต่างๆ ให้ใบรับรองที่ไม่เหมือนกัน โดยเฉพาะในกรณีที่มีการจ้องไปปิดข้อเท็จจริงเกี่ยวกับการเผา ด้วยเหตุนี้ เพื่อเป็นการแก้ปัญหาที่ตรงจุดและการสร้างต้นแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ตรวจสอบอัญมณีที่ปรับปรุงคุณภาพที่อุณหภูมิต่ำ โครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการพัฒนาเทคนิคเฉพาะใหม่ๆ เพื่อให้สามารถตอบ โจทย์การใช้งานจริงและได้ประสิทธิผลที่แน่นอนด้วยการทดลองเชิงนวัตกรรม โดยการประยุกต์ใช้ เทคนิคเครื่องมือขั้นสูงต่างๆ ที่มีการควบคุมข้อมูลทางสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์ไม่ให้เกิดความผิดพลาด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องและแม่นยำ โดยโครงการวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้วิธีทางสเปกโตรสโกปี และการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในแต่ละขั้นตอนของการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน อุณหภูมิต่ำอย่างเป็นระบบ ซึ่งบทสรุปจะนำไปสู่องค์ความรู้เชิงประจักษ์ในการตรวจสอบคอรันดัมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนอุณหภูมิต่ำที่มีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง

ตัวแปรต้น :

การรวบรวม วิเคราะห์ข้อมูล
เพื่อสร้างองค์ความรู้และพัฒนา
เทคนิคในการตรวจสอบ
คอร์รัปชันที่ผ่านการปรับปรุง
คุณภาพด้วยความร้อนอุณหภูมิ
ต่ำ



ตัวแปรตาม :

- ตัวบ่งชี้และนวัตกรรมใหม่ในการตรวจสอบ
คอร์รัปชันที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วย
ความร้อนอุณหภูมิต่ำสำหรับห้องปฏิบัติการ
ตรวจสอบอัญมณีของชาติ
- ความน่าเชื่อถือในการออกไปรับรอง
คุณภาพอัญมณีของห้องปฏิบัติการ
ตรวจสอบอัญมณีของประเทศไทย

1.6 แผนงานโครงการ

ปี	กิจกรรม	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ร้อยละของ กิจกรรมใน ปีงบประมาณ
2562	ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลจาก เอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง	X	X	X										5
2562	จัดเตรียมคอร์รัปชันสำหรับการวิจัย		X	X										10
2562	ตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นของคอร์รัปชัน			X										10
2562	ตรวจวัดคอร์รัปชันด้วยเครื่องมือขั้นสูง <u>ก่อน</u> การปรับปรุงคุณภาพ				X	X								15
2562	ดำเนินการปรับปรุงคุณภาพคอร์รัปชัน						X	X	X					15
2562	ตรวจวัดคอร์รัปชันด้วยเครื่องมือขั้นสูง <u>หลัง</u> การปรับปรุงคุณภาพ							X	X	X				15
2562	ตรวจสอบมลทินต่างๆที่เกิดการ เปลี่ยนแปลงหลังการปรับปรุงคุณภาพ ด้วยความร้อน								X	X	X			10
2562	วิเคราะห์ สรุปผล นำเสนอผลงาน และ เผยแพร่ผลงาน										X	X	X	20
	รวม													100

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม /สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยความร้อน (Heat Treatment)

การเพิ่มคุณภาพอัญมณีโดยใช้ความร้อนที่เรียกว่า “การหุงพลอย” หรือ “การเผาพลอย” เป็นวิธีการเพิ่มคุณภาพที่เป็นที่ยอมรับกันมากกว่าวิธีอื่น เนื่องจากสีและความใสที่เกิดจากการหุงพลอยเป็นสีที่คงทนถาวรเหมือนสีธรรมชาติไม่ซีดจางหายไปเหมือนบางวิธี การเผาพลอยที่เป็นที่ยอมรับกันต้องไม่ใส่สารที่ทำให้เกิดสี หรือสารเคมีชนิดใด ๆ ลงไปร่วมกับการเผา แต่จะปล่อยให้ความร้อนและสภาวะแวดล้อมธรรมชาติเป็นตัวทำให้ธาตุให้สีที่มีอยู่แล้วในพลอย เกิดการเปลี่ยนแปลงจนได้สีที่สวยงามขึ้น และ/หรือ ได้พลอยที่ใสสะอาดขึ้น

อัญมณีที่นิยมนำมาเผามากที่สุด คือทับทิมและแซปไฟร์ โดยเฉพาะแซปไฟร์สีน้ำเงินและสีเหลือง เชื่อว่ากว่า 95% ของทับทิมและแซปไฟร์ที่ขายกันอยู่ทั่วโลก ผ่านการเผามาแล้ว ชนิดที่มีสีสวยอยู่แล้วตามธรรมชาติโดยไม่ผ่านการเผา จะเรียกชนิดนี้ว่า “พลอยดิบ” หรือ “พลอยสด” ซึ่งมีราคาสูงกว่ามาก อัญมณีอื่นที่นิยมนำมาหุง ได้แก่ อกควารีน มอแกนไนต์ ซิทริน อเมทิส แทนซาไนต์ ทัวร์มาลีน และเพทาย (Nassau, 1984)

ในอดีตได้มีการนำสารเคมีบางชนิดมาใช้ร่วมในการเผา สามารถทำให้พลอยมีความใส สะอาดขึ้น เริ่มแรกโดยการใส่สารเคมีแก๊วร่วมกับบอแรกซ์ มีชื่อทางเคมีว่าโซเดียมเตตระโบเรต ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) ซึ่งการเผาด้วยกระบวนการนี้ พลอยที่ได้จะมีความคงทนถาวรและมีความสวยงามขึ้น เนื่องจากการเผาด้วยวิธีนี้ทำให้อย่างไรก็ตามมีการสลายตัวของธาตุที่ก่อให้เกิดการดูดซับไว้ทำให้พลอยไม่เกิดการแตกร้าวระหว่างเผา เป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับ ซึ่งจะเรียกกันติดปากในตลาดว่า “พลอยเผาเก่า” ภายหลังได้มีการใส่สารเคมีที่มีค่าดัชนีหักเหสูง ๆ ลงไปในพลอย เพื่อให้ดัชนีหักเหสูงได้มากขึ้น อย่างเช่นตะกั่ว (Pb) เรียกว่า “พลอยเผาใหม่” พลอยที่ได้จากการเผาวิธีนี้จะสวยวกว่าก่อนเผา แต่เป็นวิธีที่ไม่ค่อยได้รับการยอมรับ เนื่องจากผู้ประกอบการมักจะนำพลอยที่คุณภาพต่ำมาเผาด้วยวิธีนี้ และมักเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าบอแรกซ์ ดังนั้นรอยแตกจะไม่เกิดการหลอมและเชื่อมประสาน ทำให้พลอยไม่คงทนต่อสารเคมีที่อาจสัมผัสในกระบวนการชุบเคลือบและเกิดการแตกร้าวในภายหลังได้ และนอกจากนี้ ล่าสุดได้มีการใช้สารเคมีที่มีผลต่อสีของพลอย (light-element) อย่าง ธาตุเบริลเลียม (Be) เติมนลงไปในกระบวนการเผา และทำให้พลอยได้สีเหลืองอย่างน่าอัศจรรย์ โดยเฉพาะกับพลอยแซปไฟร์สีชมพูที่เผาพร้อมกับ Be แล้วได้สีชมพูอมส้ม (Padparadscha) ภายหลังการเผา พลอยที่ได้มีสีสวยที่คงทนถาวรไม่เกิดการซีดจางใดๆ และไม่ทำให้คุณสมบัติของพลอยเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งปัจจุบันพบว่า พลอยบุษราคัมในตลาดปริมาณร้อยละ 99 ผ่านการเผาด้วยวิธีนี้ ซึ่งทั้งนี้เบริลเลียมเองไม่ได้เป็นสารที่ให้สีในพลอยแต่อย่างใด แต่เชื่อกันว่าเบริลเลียมนั้นสามารถช่วยให้โครงสร้างพลอยเกิดศูนย์กลางสีเหลืองที่เสถียรได้ โดยต้องเผาในสภาวะที่มีออกซิเจนพอเพียง (Pisutha-arnond, 2004 และ 2006)

การเผาพโลยไม่ได้ทำให้ประสบความสำเร็จได้ทุกเม็ด ด้วยธรรมชาติของการเกิดพลอย ธาตุมลทินที่ทำให้เกิดสีไม่ได้มีเท่ากันทุกเม็ด ศักยภาพในการเปลี่ยนแปลงสีหลังการเผา จึงขึ้นอยู่กับพลอยมีธาตุให้สีที่ยังไม่แสดงสีก่อนเผามากแค่ไหน และต้องใช้บรรยากาศให้ถูกต้องเหมาะสมกับวัตถุดิบประสงค์

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการเผาพลอย (Themelis, 1992)

2.2.1 เตาเผาพลอย (Furnace)

เตาที่ใช้เผาพลอยส่วนใหญ่ จัดแปลงมาจากเตาเผาที่ใช้ในอุตสาหกรรมและในห้องปฏิบัติการ แต่ละชนิดสามารถสร้างสภาวะบรรยากาศและความร้อนสูงสุดได้แตกต่างกันไป (ตารางที่ 2.1) โดยนักเผาพลอยแต่ละคนมีรูปแบบของเตาแตกต่างกันไป ซึ่งมักปิดเป็นความลับ ไม่มีการเปิดเผย แต่โดยทั่วไปเตามีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนแยกจากกัน แต่การทำงานเชื่อมโยงกันได้แก่

- ส่วนของห้องเผา (Furnace module) เป็นส่วนที่ให้ความร้อนและรักษาอุณหภูมิไว้ตามที่ต้องการ มีลักษณะเป็นช่องทนความร้อนที่สามารถทนความร้อนสูงเป็นระยะเวลานานๆ ได้

- ส่วนจ่ายความร้อน (Heat supply module) มีลักษณะแตกต่างกันในเตาแต่ละชนิด โดยในเตาไฟฟ้า ส่วนนี้ต้องใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ผ่านขดลวด molybdenum (ทนความร้อนได้ถึง 1700 °C) หรือขดลวด graphite (ทนความร้อนได้ถึง 2550 °C) ส่วนเตาแบบ open - flame ได้รับพลังงานความร้อนมาจากการเผาไหม้ของอากาศ (หรือออกซิเจน) และน้ำมัน, แก๊ส หรือเชื้อเพลิงแข็ง

ตารางที่ 2-1 เตาเผาพลอยแต่ละชนิดที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

	Type of furnace	Source of thermal energy	Max. Temp. (°C)
Open - flame	GAS	Gas + air Oxygen + gas Oxygen + gas + air Acetylene + oxygen	1600 – 1700 1700 - 1750 + 1800 - 1850 + 2800 +
	SOLID	Coke + air Lignite + air Charcoal + air	1000 – 1200 1400 – 1600 900 - 1000
	LIQUID	Diesel + air Diesel + air + oxygen	1500 – 1600 1750 – 1800+
Electric resistance		Molybdenum disilicide Graphite	1700 2550
Specialty		RF - induction	1900

2.2.2 ภาชนะบรรจุตัวอย่างในการเผา

ถ้วยใส่ตัวอย่างในการเผา (Crucible) มีหลายขนาดและทนอุณหภูมิได้หลายระดับแตกต่างกันไป โดยเราจะเลือกขนาดของถ้วยเผาให้เหมาะสมกับปริมาณพลอยที่จะทำการเผา และจะเลือกความสามารถในการทนอุณหภูมิตามอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ถ้วยเผาที่นิยมใช้ได้แก่

- Graphite Crucible มีราคาถูก สามารถทนอุณหภูมิได้สูงสุด 1480 องศาเซลเซียส แต่มีข้อเสียตรงที่ช่วงโม่การใช้งานต่ำมาก ซึ่งข้อมูลที่ได้จากผู้ใช้งานระบุว่า หากเผาที่อุณหภูมิสูงสุด 800 องศาเซลเซียสจะสามารถเผาได้ประมาณ 10 ถึง 12 ครั้ง

- Alumina Ceramic Crucible ทำจากอลูมินาความบริสุทธิ์สูง มีราคาแพงกว่าแบบ Graphite เพราะสามารถทนอุณหภูมิสูงสุดได้สูงกว่า คือประมาณ 1825 องศาเซลเซียส มีความคงทนและอายุการใช้งานสูงกว่ามาก ซึ่งถ้วยเผานี้เป็นที่นิยมและเหมาะสมต่อการเผาพลอยในตระกูลคอรันดัมที่สุด สามารถทนต่อสารเคมีได้พอสมควร

- Iridium Crucible สามารถทนอุณหภูมิได้สูงสุด 2400 องศาเซลเซียส ทนอุณหภูมิได้ดีมาก ทนทานต่อการผุกร่อน แต่มีราคาสูงกว่า Graphite Crucible และ Alumina Ceramic Crucible มาก จึงไม่เป็นที่นิยมใช้กันในการเผาพลอย

2.2.3 ปัจจัยในการหุงพลอย

ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับสภาวะของการเผาพลอย ได้แก่

- (1) อุณหภูมิสูงสุดในการเผาพลอย
- (2) ระยะเวลาในการคงช่วงอุณหภูมิสูงสุดไว้
- (3) อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิสูงสุด
- (4) อัตราการลดลงของอุณหภูมิจากอุณหภูมิสูงสุดขณะเย็นตัว
- (5) สภาวะทางเคมีของสิ่งแวดล้อมในเตาเผา ได้แก่ สภาวะออกซิเดชัน (มีออกซิเจนพอเพียง) และรีดักชัน (ขาดออกซิเจน)
- (6) ความดันบรรยากาศ
- (7) ธรรมชาติของสารที่สัมผัสกับพลอยขณะเผา

2.3 การเผาปรับปรุงคุณภาพสีแดงแบบดั้งเดิมในทับทิมและแซปไฟร์สีชมพู (Themelis, 1992)

พลอยทับทิมมีสีแดงที่เกิดมาจากการแทนที่ของธาตุโครเมียมบางส่วนในโครงสร้าง (ประมาณ 0.1%) และในทางเดียวกัน หากในโครงสร้างมีความเข้มข้นของโครเมียมที่น้อยลงมา สีแดงที่เกิดจะน้อยลงกลายเป็นแซปไฟร์สีชมพู ซึ่งโครเมียมแสดงสีปฐมภูมิ ทั้งนี้โครเมียมที่มีมากหรือน้อยไม่ได้เป็นตัวการสำคัญในการกำหนดโทนสีที่เกิดขึ้น ตัวที่ทำหน้าที่กำหนดโทนสีเข้มหรืออ่อนคือ เหล็ก (Fe^{2+} หรือ Fe^{3+}) และไททาเนียม (Ti^{4+}) เป็นลักษณะของสีน้ำเงิน (สีทุติยภูมิ) หรือสีที่ปนเอง ฉะนั้นการพัฒนาให้สี

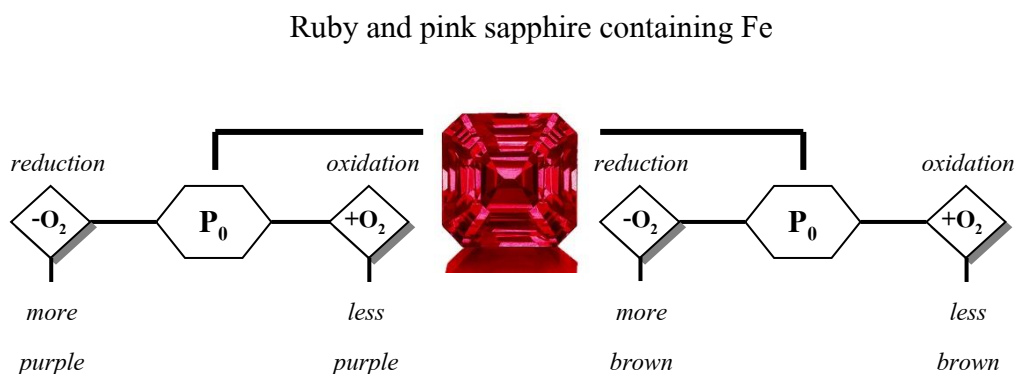
แดงที่สวยงาม จึงนิยมเผาเพื่อเปลี่ยนสถานะของเหล็กที่มีอยู่ในโครงสร้าง ให้มีแนวโน้มสีอ่อนลงหรือเข้มขึ้นมากกว่า

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพของทับทิมและแซฟไฟร์ การเผาแบบนี้เป็นการยกระดับการขายทับทิมไทย/กัมพูชาได้อย่างมากในช่วงปี ค.ศ.1970 ถึง 1980 และในขณะที่พม่ามีปัญหาเรื่องการเมือง นักลงทุนไทยได้รับอนุญาตให้เข้าไปทำเหมืองได้โดยมีข้อจำกัดเรื่องปริมาณการส่งวัตถุดิบออกนอกประเทศ ก่อนหน้านั้นทับทิมไทยถูกนำมาใช้จนหมดเหมือง เหลือน้อยมาก โดยข้อเท็จจริงแล้วการผลิตที่ทำโดยการเผาวิธีนี้ ทำให้มีคุณภาพที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับพลอยที่ไม่ได้ผ่านการเผาที่เราเห็นกันในอดีต

การลดความเข้มของสีน้ำเงินหรือสีทึบเป็นกระบวนการย้อนกลับของการเกิดสีน้ำเงิน โดยใช้อุณหภูมิต่ำที่ 800-1300 องศาเซลเซียส แต่ถ้าต้องการจะกำจัดเส้นเข็มในเวลาเดียวกัน ทับทิมพม่าและศรีลังกาก็อาจจะต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 1900 องศาเซลเซียส

สภาวะออกซิเดชัน ถูกใช้ดังนี้ : Fe^{2+} (เฟอร์รัส, สีน้ำเงิน) ได้ Fe^{3+} (เฟอร์ริก, สีเหลือง)

ผลที่ได้ คือ การลดสีน้ำเงินกับสีเหลืองจางๆ ในทับทิม ทำให้ได้ทับทิมที่มีสีแดงใสมากขึ้น สังเกตได้จากภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2-1 กลไกของการเผาพัฒนาสีทับทิม

จึงได้สรุปผลการเผาบางประการดังต่อไปนี้

- (1) การลด (การกำจัด) การให้สัตุติยภูมิ : วิธีนี้ใช้กับทับทิมและแซฟไฟร์สีชมพูที่มีสีอมน้ำตาลหรือม่วงทั้งหมดเป็นหลัก การเผาภายใต้สภาวะออกซิเดชันทำให้ได้สีแดงหรือสีชมพูที่ใสขึ้น
- (2) การกำจัดหย่อมสีน้ำเงิน เช่น ทับทิมจากเวียดนาม ทับทิมจากเหมืองมองซูที่มีแกนสีน้ำเงินตรงกลาง พลอยเหล่านี้มีหย่อมสีน้ำเงินจำนวนมาก ซึ่งสามารถทำให้ลดลงได้โดยการเผา ผลที่จากการเผาในทับทิมมองซูคือจะเกิดลักษณะคล้ายหมอกอยู่ภายใน สีเข้มตรงแกนกลางลดลง

- (3) ทับทิมที่มีสีติดน้ำตาลอ่อน จากประเทศแทนซาเนีย ทำการเผาสภาวะออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิ 1800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะทำให้ได้สีแดงที่บริสุทธิ์ขึ้น
- (4) ทับทิมสีอมน้ำตาล จากประเทศไทย ทำการเผาสภาวะออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิ 1700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ลักษณะของสีน้ำตาลจะลดลง
- (5) ทับทิมสีที่บอมน้ำตาล จากอูมบา ประเทศแทนซาเนีย ทำการเผาสภาวะออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที ลักษณะของสีน้ำตาลลดลง
- (6) แชลไฟร์ชมพูอ่อนมีสีติดน้ำเงิน จากประเทศศรีลังกา ทำการเผาสภาวะออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ได้สีชมพูที่บริสุทธิ์ขึ้น
- (7) แชลไฟร์สีชมพูอ่อนจากประเทศอินเดีย ทำการเผาสภาวะรีดักชัน ที่อุณหภูมิ 1800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ได้สีดำที่ทึบ

2.4 การเผาปรับปรุงคุณภาพพลอยแบบอุณหภูมิต่ำ

กระบวนการนี้มีการกล่าวอ้างว่ากำเนิดขึ้นครั้งแรกในประเทศศรีลังกา เมื่อประมาณ 100 ปีที่แล้ว ซึ่งในระยะแรกเริ่ม กระบวนการนี้ใช้คนเป่าท่อลม (blow pipe) เพื่อให้เกิดการติดเปลวไฟ โดยมีถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง และใช้ระยะเวลาในการเผาขั้นต่ำ 1 ชั่วโมง ไปจนถึง 20 วัน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถพัฒนาสีของ แชลไฟร์ให้เข้มขึ้น และสามารถลดสีม่วงที่ปนอยู่ในเนื้อของทับทิมได้ ต่อมาในปี 2557 การเผาปรับปรุงคุณภาพพลอยแบบอุณหภูมิต่ำได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับทับทิมจากประเทศโมซัมบิก โดยใช้เตาไฟฟ้าที่มีอยู่ในอุตสาหกรรมปัจจุบันเป็นตัวให้ความร้อน โดยเผาในสภาวะบรรยากาศที่มีออกซิเจนล้อมรอบ (ambient air) มีการประมาณการใช้อุณหภูมิจากที่วัดได้คืออยู่ในช่วง 500-1000 องศาเซลเซียส กระบวนการดังกล่าวสามารถให้ผลที่ดี ในแง่ของการลดหรือขจัดสีที่ปนในเนื้อพลอยที่ไม่ต้องการได้ และใช้เวลาไม่นาน ซึ่งต่างจากการเผาแบบอุณหภูมิสูงที่มีการบริโภคพลังงานไฟฟ้าที่มาก

2.5 แหล่งกำเนิดทางธรณีวิทยาของทับทิมจากแหล่งประเทศโมซัมบิกที่ใช้ในงานวิจัย

ลักษณะทางธรณีวิทยาของประเทศโมซัมบิกสรุปจากการศึกษาของ Pekkala et al. (2008) หินฐานในประเทศแบ่งออกเป็น 3 บริเวณ คือ ตะวันออก ตะวันตก และใต้ ซึ่งเคยเป็นส่วนหนึ่งของมหาทวีปกอนด์วานา (Gondwana Supercontinent) โดยส่วนของหินฐานเหล่านี้ได้มีการเคลื่อนตัวเข้าหากันในระหว่างเหตุการณ์เกิดแนวเทือกเขาแอฟริกา-แอฟริกา Pan-African ต่อมากลายเป็นส่วนหนึ่งของมหาทวีปกอนด์วานา โดยก่อนที่จะเกิดแนวเทือกเขาแอฟริกา-แอฟริกา Pan-African แต่ละบริเวณได้รับผลกระทบและมีการพัฒนารูปร่างจากธรณีพลศาสตร์ (geodynamic) ในแต่ละพื้นที่นั้นๆ หินในพื้นที่ส่วนใหญ่แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ หินฐานแปรสภาพและหินอัคนีในยุคอาร์เคียน-แคมเบรียน (Archaean-Cambrian) ปิดทับด้วยหินอายุพานิโรโซอิก (Phanerozoic) หินฐานเหล่านี้มีองค์ประกอบหลากหลาย เช่น พาราไนส์ (paragneiss), แกรนูไลต์ (granulite), มิกมาไทต์ (migmatite), ออร์โธไนส์ (orthogneiss) และหินอัคนีแปรสภาพก็พบบ่อย ส่วนหินปิดทับอายุพานิโรโซอิกนั้น ประกอบด้วยหินที่สะสมตัวในกลุ่มคารู (Karoo Group) ยุคเพอร์

เมียนจูแรสซิก (Permian-Jurassic) ยุคครีเตเชียส (Cretaceous) และเหตุการณ์การหุบเขายุบตัวแอฟริกาตะวันออก (East Africa Rift) ในช่วงเวลาเทอร์เชียรี (Tertiary) ถึงปัจจุบัน โดยมีลำดับชั้นหินดังนี้

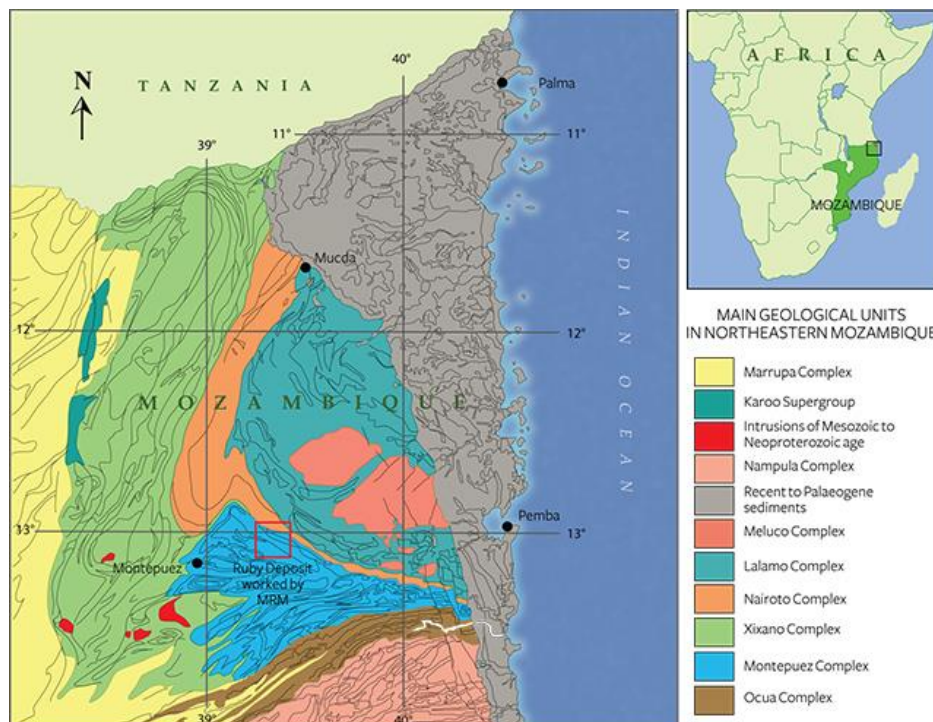
บริเวณพื้นที่อาร์เคียน (Archaean Terrane) กระจายตัวอยู่ในประเทศที่มีความกว้างประมาณ 10 กิโลเมตร ยาวประมาณ 300 กิโลเมตร พื้นที่บางส่วนติดกับชายแดนของประเทศซิมบับเว โดยเฉพาะตอนเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของหินฐานธรณีซิมบับเว (Zimbabwe Craton) นอกจากจะประกอบด้วยหินไนส์ผสม TTG (Trondhjemite-Tonalite-Granodiorite) เป็นส่วนใหญ่ และพบหินอาร์เคียนของโมแซมบิก (Archaean Mozambique) รวมอยู่บริเวณตะวันออกของแนวหินเขียวอดชี-มูทาเร-มานิกา (Odzi-Mutare-Manica Greenstone Belt) รอบๆ มานิกา (Manica) และแนวหินเขียวครอนเลย์-มันฮิงกา (Cronley-Munhinga Greenstone Belt) ประมาณ 50 กิโลเมตร ทางตอนใต้ของมานิกา หน่วยหินด้านตะวันตกตามการลำดับชั้นหินหรือธรณีแปรสัณฐาน แสดงการดันขึ้นมาทับหรือตกตะกอนบริเวณด้านบนของขอบหินฐานธรณี (craton) ซึ่งหน่วยหินส่วนใหญ่เป็นหินที่เกิดบนเปลือกโลกโบราณขนาดใหญ่มหายุคพาลีโอโปรทีโรโซอิก (Palaeoproterozoic Supracrustal rocks) ของกลุ่มหินรัสซิงกา (Rushinga Group) และไกริซี (Gairezi Group)

หินที่เกิดบนเปลือกโลกโบราณขนาดใหญ่ มหายุคเมโซโปรทีโรโซอิก (Mesoproterozoic supracrustal rocks) ครอบคลุมเนื้อที่กว้างขวาง โดยเฉพาะพื้นที่จังหวัดเตเต (Tete Province) ทางตอนเหนือของแนวแรงเฉือนเซเนงโก (Sânangoè Shear Zone) ส่วนใหญ่ประกอบด้วย หินทรายแปรสภาพ หินควอร์ตซ์-เฟลด์สปาร์ไนส์ และหินภูเขาไฟแปรสภาพ มีองค์ประกอบตั้งแต่เฟลสิกถึงเมฟิก หินเหล่านี้ทั้งหมดมีระดับการแปรสภาพตั้งแต่ชุดหินแปรแอมฟิโบลิต์ตอนล่างถึงชุดหินแปรแกรนูลิต์ (lower amphibolite to granulite facies) มักถูกแทรกตัดด้วยหินอัคนีบาดาลเฟลสิกในช่วงการเกิดแนวเทือกเขาเกรนวิลล์เลียน (Grenvillian Orogeny) เมื่อประมาณ 900-1100 ล้านปีมาแล้ว โดยมีชุดหินซับซ้อนบาร์ (Baruè Complex) ที่ประกอบด้วยหินตะกอนโบราณขนาดใหญ่ มหายุคเมโซโปรทีโรโซอิกกับหินอัคนีบาดาลที่มีลักษณะทางธรณีแปรสัณฐานเชื่อมต่อกับหินฐานธรณีอาร์เคียน (Archaean Craton) ด้านตะวันตกและหินเมโซโซอิก (Mesozoic) ด้านตะวันออก ชุดหินซับซ้อนนามปูลา (Nampula Complex) ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของแนวหุบเขายุบตัวเมโซโซอิก (Mesozoic rifting) สามารถเปรียบเทียบกับชุดหินซับซ้อนบาร์ (Baruè Complex) นอกจากนี้ในบริเวณทางตอนเหนือและรอบๆ เมืองเตเต (Tete) พบการกระจายตัวของหินอัคนี แกบโบร-อะนอร์โทไซด์มหายุคเมโซโปรทีโรโซอิก (Mesoproterozoic gabbro-anorthosite) ซึ่งจัดอยู่ในชุดหินเตเต (Tete Suite) โดยด้านล่างของชุดหินเตเตที่พบลักษณะหินไมโลไนต์ (Mylonite) ซึ่งบ่งชี้ลักษณะธรรมชาติที่หลากหลาย และโครงสร้างที่บ่งชี้กำเนิดของชุดหินทางตอนเหนือ

หินอายุเนโอโปรทีโรโซอิก (Neoproterozoic) พบไม่มากนักในพื้นที่ ประกอบด้วยชุดหินกูโร (Guro Suite) ช่วงอายุประมาณ 860 ล้านปี กระจายตัวอยู่ทางตอนใต้ของพื้นที่จังหวัดเตเต (Tete province) บริเวณด้านใต้ของแนวแรงเฉือนเซเนงโก (Sânangoè Shear Zone) ประกอบด้วยหินอัคนีบาดาลผสมชนิดเฟลสิกและเมฟิก ชุดหินแอทชิซา (Atchiza Suite) ซึ่งเป็นหินอัคนีชนิดองค์ประกอบร่วมตั้งแต่เมฟิกถึงอัลตราเม-ฟิกพบอยู่ทางด้านตะวันตกของจังหวัดเตเต

ตอนเหนือของแนวเจ็อนเซเนโกช่วงนีโอโปรทีโรโซอิก (Late Neoproterozoic) ถึงยุคแคมเบรียน (Cambrian) ของเหตุการณ์แพน-แอฟริกัน (Pan-African) พบหินแกรนิตซึ่งยังไม่มี การเปลี่ยนแปลงแทรกดันตัวเป็นกระเปาะๆ กระจายอยู่ในบริเวณตอนเหนือของพื้นที่ ในขณะที่ด้านตะวันออกพบการแทรกดันของชุดหินซับซ้อนนามปูลา (Nampula Complex)

หินมหายุคพาลีโอโซอิก (Phanerozoic) ที่ปิดทับอยู่สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มหินคารู (Karoo Supergroup) ประกอบด้วย หินตะกอนเนื้อแตกหลุดบนทวีปยุคครีเตเชียส (Cretaceous) หมาดหินอัคนีภูเขาไฟและกึ่งภูเขาไฟที่อายุน้อยกว่า เกิดจากแนวหุบเขายุบตัวแอฟริกาตะวันออก (East Africa Rift) หินเหล่านี้ไม่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงหรือถูกหินอัคนีแทรกดัน โดยกลุ่มหินคารูมีการสะสมตัวภายในโครงสร้างยุบตัวแบบกราเบน (graben type rift) โดยตอนล่างของกลุ่มหินคารู ประกอบด้วยชั้นหินหนาของหินทรายและตะกอนละเอียด มีชั้นถ่านหินแทรกอยู่ตอนล่าง พบหินภูเขาไฟสององค์ประกอบ (bimodal) ตอนบนของกลุ่มหินคารูในช่วงครีเตเชียส (Cretaceous) เป็นลักษณะของหินตะกอนภูเขาไฟของกลุ่มหินลูพาตา (Lupata) ของหมาดหินซีนา (Sena) ซึ่งเป็นการสะสมตัวของตะกอนบก มักพบหินคาร์บอนีไต์และหินอัคนีชนิดอัลคาลีนปิดทับบนคารูกราเบน (Karoo graben) และสุดท้ายเป็นการสะสมตัวของลำดับชั้นหินแนวหุบเขายุบตัวแอฟริกาตะวันออก (East Africa Rift Sequence) ซึ่งเริ่มจากการสะสมตัวของตะกอนบกยุคเทอร์เชียรี (Tertiary) และตามด้วยการปะทุของภูเขาไฟในสมัยนีโอจีน (Neogene) และด้านบนสุดปิดทับด้วยตะกอนเชิงเขา (colluvial) และตะกอนน้ำพา (alluvial) สมัยควอเทอร์นารี (Quaternary)



ภาพที่ 2-2 แผนที่ธรณวิทยาประเทศโมซัมบิกที่สมพันธ์กับทบทมโมซัมบิก (Chapin et al., 2015)

2.6 ทบทวนวรรณกรรม

GIT-GTL (2009 และ 2010) และ Pardieu et al. (2009a, 2009b, 2009c และ 2010) ได้รายงานว่าการพบทับทิมแหล่งใหม่ที่บริเวณทางตอนเหนือของประเทศโมซัมบิกในจังหวัด Cabo Delgado ทับทิมดังกล่าวมีคุณภาพที่หลากหลาย แต่พบว่าวัตถุดิบส่วนใหญ่มีคุณภาพต่ำถึงปานกลาง รอยแตกมาก ซึ่งต้องนำไปเผาปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนร่วมกับการใส่สาร borax หรือแก้วตะกั่วเพื่อสมานรอยแตกให้เนื้อพลอยดูใสสะอาดขึ้น

Fanka and Sutthirat (2013) ได้ทำการศึกษาธรณีวิทยาแหล่งทับทิมทางตะวันออกของเมือง Montepuez ในจังหวัด Cabo Delgado ทับทิมจากบริเวณนี้มีการเกิดที่สัมพันธ์กับหินแปรชนิด amphibolite ซึ่งมีแร่ที่เกิดสัมพันธ์กันได้แก่ mica, amphibole และ clay minerals บางส่วนสามารถพบในแหล่งทุติยภูมิ ซึ่งเป็นพื้นที่ๆพบทับทิมคุณภาพดี ขนาดไม่เล็กจนเกินไป

Pardieu et al. (2013) ได้รายงานถึงการพบตัวอย่างทับทิมในพื้นที่ของบริษัท Gemfields PLC ซึ่งคุณภาพดี มาก มีเนื้อค่อนข้างสะอาด บางส่วนคล้ายทับทิมไทย และบางส่วนคล้ายทับทิมพม่า และได้ทำการศึกษาลักษณะมลทินภายในที่สำคัญที่พบในทับทิมบริเวณนี้ พบ amphibole, mica มลทินแผ่นฟิล์มบาง เส้นเข็มรูไทล์ มลทินคล้ายฝุ่นที่หนาแน่น และอื่นๆ อีกทั้งลักษณะทางสเปกโตรสโกปี ซึ่งพบว่า เป็นทับทิมกลุ่มที่มีธาตุหลักประกอบสูง

Pardieu et al. (2015) ได้ทดลองเผาพลอยทับทิมจากโมซัมบิกที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ 550, 650 และ 750 °C พบว่าพลอยหลังเผามีจ้ำสีน้ำเงินปน (bluish overtones) ลดลง มีมลทินที่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากการเผา ได้แก่ mica และ มลทินแผ่นฟิล์มบาง แต่ไม่มีรายงานแน่ชัดว่ามลทินเกิดการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิเท่าใด

ภูวดล วรรณชะชัยแสง และคณะ (2558) ได้ทดลองเผาพลอยทับทิมจากโมซัมบิกที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ 700, 1000 และ 1650 °C พบว่ามลทินของพลอย ได้แก่ mica (แตกออก) มลทินแผ่นฟิล์มบาง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มลทิน iron oxide มีสีเข้มขึ้น (เหลือง > ส้ม,แดง) ซึ่งเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่อุณหภูมิ 700 °C สามารถลดสีน้ำเงินที่เจือปนในพลอย ทำให้ได้สีที่สดขึ้น และเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น มลทิน iron oxide ได้หายไปเกือบหมดเมื่อเผาที่ 1650 °C

Sripoonjan et al. (2016) พบว่าทับทิมจากโมซัมบิกส่วนใหญ่มักประกอบด้วยมลทิน iron oxide ที่เกิดตามรอยแตก จึงได้ทดลองเผาพลอยที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ 500 และ 600 °C เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงและตรวจวัดด้วยเทคนิค Raman และ FTIR พบการเปลี่ยนแปลงเฟสแร่ จาก goethite ไปเป็น hematite เมื่อทำการเผาตั้งแต่ 500 °C และเปลี่ยนแปลงชัดเจนเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 600 °C ในขณะที่แร่อื่นๆ อย่าง diaspore และ amphibole ไม่พบการเปลี่ยนแปลง

CGL, Japan. (2018) ได้ทดลองเผาพลอยทับทิมจากโมซัมบิกที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 และ 1000 °C และตรวจวัดด้วย FTIR พบการดูดกลืนช่วงประมาณ 3200-3700

cm^{-1} (AlOOH) ค่อยๆ ลดลง จนหายไปในที่สุดที่อุณหภูมิ $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ และพบการเปลี่ยนแปลงเฟสแร่จาก goethite ไปเป็น hematite เมื่อตรวจวัดด้วย Raman หลังการเผาที่อุณหภูมิ 700 ตามด้วย $800\text{ }^{\circ}\text{C}$

Saeseaw et al. (2018) ได้ทำการทดลองเผาทับทิมโมซัมบิกที่อุณหภูมิ $600, 700, 800$ และ $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ด้วยเวลาที่แตกต่างกัน พบการจางลงของสีอมน้ำเงิน เมื่อเผาที่ 700 และ $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีการเปลี่ยนแปลงของมลทินแผ่นฟิล์มในบางตัวอย่าง และชัดเจนเมื่อถูกเผาเป็นเวลานาน (24 ชม.) และได้ตรวจวัดด้วย FTIR ซึ่งพบว่าพีคตำแหน่ง 3232 cm^{-1} สามารถใช้ในการบ่งชี้การถูกเผาตั้งแต่ $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นต้นไป โดยมีเงื่อนไขว่าตัวอย่างก่อนถูกเผาต้องแสดงพีคที่ตำแหน่ง 3309 cm^{-1} ที่มีความเข้มไม่ต่ำกว่า 0.04

SSEF Laboratory (2018) ได้ทำการทดลองกับทับทิมโมซัมบิกเพื่อหากฎเกณฑ์ในการบ่งชี้พลอยเผา อุณหภูมิต่ำ โดยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงมลทินภายใน ประกอบกับการตรวจพบพีคที่ตำแหน่ง 3231 cm^{-1} ด้วยเทคนิค FTIR ในการวินิจฉัย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

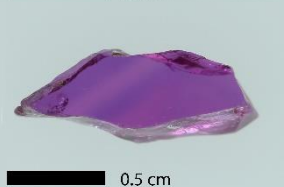
3.1 ตัวอย่าง

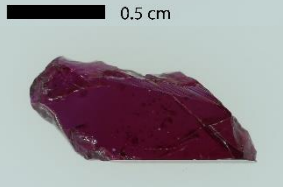
3.1.1 ตัวอย่างทับทิมจากประเทศโมซัมบิก

ตัวอย่างทับทิมจากประเทศโมซัมบิก จำนวน 36 ตัวอย่าง เป็นชุดตัวอย่างของสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ มีการเก็บและจัดซื้อในพื้นที่เมืองมอนเตปุยซ์ (Montepuez) ประเทศโมซัมบิก ตัวอย่างโดยส่วนใหญ่ (30 ตัวอย่าง) ถูกนำมาเข้าสู่กระบวนการเตรียมตัวอย่างโดยการขัดหน้าเรียบและปิดเงาเพื่อนำมาตรวจสอบลักษณะเฉพาะ ในขณะที่ตัวอย่างที่เหลือจำนวน 6 ตัวอย่าง (ตัวอย่าง MZUNK0121-003, 005, 010, 011, 022 และ 029) ซึ่งภายในประกอบด้วยมลทินแร่ที่สำคัญ ได้ถูกเก็บไว้เพื่อใช้เป็นวัตถุบ่งชี้ของห้องปฏิบัติการ อันจะเป็นประโยชน์ต่องานด้านอื่น ๆ ในอนาคต โดยตัวอย่างทั้งหมด แสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ตัวอย่างทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก

ชื่อตัวอย่าง	รูปภาพตัวอย่าง	น้ำหนัก (ct.)	ความหนาตัวอย่าง (cm.)	การตั้งหน้า window
MZUNK0121-001		1.66	0.202	//c-axis
MZUNK0121-002		2.55	0.186	//c-axis
MZUNK0121-003		1.46	0.218	//c-axis
MZUNK0121-004		1.71	0.268	⊥c-axis
MZUNK0121-005		1.59	0.183	⊥c-axis

ชื่อตัวอย่าง	รูปภาพตัวอย่าง	น้ำหนัก (ct.)	ความหนาตัวอย่าง (cm.)	การตั้งหน้า window
MZUNK0121-006		1.80	0.228	⊥c-axis
MZUNK0121-007		2.31	0.385	⊥c-axis
MZUNK0121-008		1.34	0.22	//c-axis
MZUNK0121-009		1.95	0.193	//c-axis
MZUNK0121-010		1.63	0.165	⊥c-axis
MZUNK0121-011		1.62	0.184	⊥c-axis
MZUNK0121-012		2.10	0.328	⊥c-axis
MZUNK0121-013		2.04	0.274	⊥c-axis
MZUNK0121-014		1.91	0.318	⊥c-axis

ชื่อตัวอย่าง	รูปภาพตัวอย่าง	น้ำหนัก (ct.)	ความหนาตัวอย่าง (cm.)	การตั้งหน้า window
MZUNK0121-015		2.42	0.372	//c-axis
MZUNK0121-016		0.53	0.26	⊥c-axis
MZUNK0121-017		2.35	0.21	⊥c-axis
MZUNK0121-018		2.40	0.272	⊥c-axis
MZUNK0121-019		1.56	0.175	⊥c-axis
MZUNK0121-020		2.01	0.173	⊥c-axis
MZUNK0121-021		1.05	0.229	⊥c-axis
MZUNK0121-022		1.73	0.202	⊥c-axis
MZUNK0121-023		1.72	0.250	⊥c-axis

ชื่อตัวอย่าง	รูปภาพตัวอย่าง	น้ำหนัก (ct.)	ความหนาตัวอย่าง (cm.)	การตั้งหน้า window
MZUNK0121-024		1.37	0.325	//c-axis
MZUNK0121-025		1.43	0.111	⊥c-axis
MZUNK0121-026		1.52	0.217	⊥c-axis
MZUNK0121-027		1.11	0.315	//c-axis
MZUNK0121-028		1.54	0.207	⊥c-axis
MZUNK0121-029		1.85	0.270	⊥c-axis
MZUNK0121-030		1.59	0.325	⊥c-axis
MZUNK0121-031		0.83	0.183	⊥c-axis
MZUNK0121-032		1.28	0.252	⊥c-axis

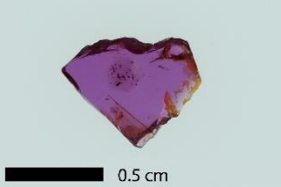
ชื่อตัวอย่าง	รูปภาพตัวอย่าง	น้ำหนัก (ct.)	ความหนาตัวอย่าง (cm.)	การตั้งหน้า window
MZUNK0121-033		1.31	0.332	⊥c-axis
MZUNK0121-034		1.28	0.325	⊥c-axis
MZUNK0121-035		1.43	0.253	⊥c-axis
MZUNK0121-036		1.57	0.245	//c-axis

3.1.2 ตัวอย่างทับทิมจากประเทศมาดากัสการ์

ตัวอย่างทับทิมจากแหล่งวาตูมันดรี (Vatomandry) ประเทศมาดากัสการ์ จำนวน 36 ตัวอย่าง เป็นชุดตัวอย่างที่จัดซื้อจากผู้ประกอบการที่สามารถนำเชื่อถือได้ ตัวอย่างโดยส่วนใหญ่ (30 ตัวอย่าง) ถูกนำมาเข้าสู่กระบวนการเตรียมตัวอย่างโดยการขัดหน้าเรียบและปิดเงาเพื่อนำมาตรวจสอบลักษณะเฉพาะ ในขณะที่ตัวอย่างที่เหลือจำนวน 6 ตัวอย่าง (ตัวอย่าง MGVAT0121-009, 012, 017, 019, 022 และ 026) ซึ่งภายในประกอบด้วยมลทินแร่ที่สำคัญ ได้ถูกเก็บไว้เพื่อใช้เป็นวัตถุบัพอ้างอิงของห้องปฏิบัติการ อันจะเป็นประโยชน์ต่องานด้านอื่น ๆ ในอนาคต โดยตัวอย่างทั้งหมด แสดงในตารางที่

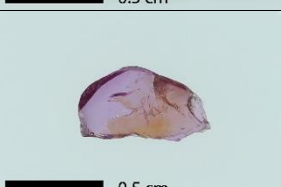
3-2

ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์

ชื่อตัวอย่าง	รูปภาพตัวอย่าง	น้ำหนัก (ct.)	ความหนาตัวอย่าง (cm.)	การตั้งหน้า window
MGVAT0121-001		0.92	0.220	⊥c-axis
MGVAT0121-002		0.75	0.232	⊥c-axis
MGVAT0121-003		0.47	0.099	⊥c-axis
MGVAT0121-004		0.25	0.054	⊥c-axis
MGVAT0121-005		0.47	0.126	⊥c-axis
MGVAT0121-006		1.19	0.222	⊥c-axis
MGVAT0121-007		1.50	0.212	⊥c-axis
MGVAT0121-008		0.90	0.243	⊥c-axis

ชื่อตัวอย่าง	รูปภาพตัวอย่าง	น้ำหนัก (ct.)	ความหนาตัวอย่าง (cm.)	การตั้งหน้า window
MGVAT0121-009		1.09	0.346	⊥c-axis
MGVAT0121-010		1.26	0.292	⊥c-axis
MGVAT0121-011		1.11	0.275	⊥c-axis
MGVAT0121-012		1.37	0.322	⊥c-axis
MGVAT0121-013		1.09	0.243	⊥c-axis
MGVAT0121-014		1.09	0.309	⊥c-axis
MGVAT0121-015		0.90	0.244	⊥c-axis
MGVAT0121-016		1.41	0.196	⊥c-axis
MGVAT0121-017		1.11	0.255	⊥c-axis

ชื่อตัวอย่าง	รูปภาพตัวอย่าง	น้ำหนัก (ct.)	ความหนาตัวอย่าง (cm.)	การตั้งหน้า window
MGVAT0121-018		0.76	0.157	⊥c-axis
MGVAT0121-019		0.55	0.130	⊥c-axis
MGVAT0121-020		0.73	0.210	⊥c-axis
MGVAT0121-021		0.80	0.195	⊥c-axis
MGVAT0121-022		1.36	0.233	⊥c-axis
MGVAT0121-023		1.03	0.257	⊥c-axis
MGVAT0121-024		0.87	0.232	⊥c-axis
MGVAT0121-025		0.92	0.198	⊥c-axis
MGVAT0121-026		1.00	0.267	⊥c-axis

ชื่อตัวอย่าง	รูปภาพตัวอย่าง	น้ำหนัก (ct.)	ความหนาตัวอย่าง (cm.)	การตั้งหน้า window
MGVAT0121-027		0.28	0.080	⊥c-axis
MGVAT0121-028		0.32	0.135	//c-axis
MGVAT0121-029		3.48	0.485	⊥c-axis
MGVAT0121-030		0.44	0.065	⊥c-axis
MGVAT0121-031		1.20	0.238	⊥c-axis
MGVAT0121-032		0.88	0.215	⊥c-axis
MGVAT0121-033		1.08	0.182	⊥c-axis
MGVAT0121-034		0.60	0.183	⊥c-axis
MGVAT0121-035		1.36	0.216	//c-axis

ชื่อตัวอย่าง	รูปภาพตัวอย่าง	น้ำหนัก (ct.)	ความหนาตัวอย่าง (cm.)	การตั้งหน้า window
MGVAT0121-036		0.64	0.190	//c-axis

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 เครื่องมือพื้นฐาน

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ของคอร์นดัม ได้แก่ เครื่องวัดค่าดัชนีหักเห (refractometer) เครื่องชั่งน้ำหนักวัดค่าความถ่วงจำเพาะ (hydrostatic balance) เครื่องโพลาลิสโคป (polariscope) กล้องจุลทรรศน์ทางอัญมณี (gemological microscope)

3.2.2 เครื่องมือขั้นสูง

3.2.2.1 Fourier Transformed Infrared (FTIR) Spectrometer

เครื่อง FTIR Spectrometer ที่ใช้ในการวิจัย รุ่น Nicolet iS50 ของบริษัท Thermo Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา งานวิจัยนี้ใช้วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบและตรวจจับการเปลี่ยนแปลงก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ โดยเครื่องมือดังกล่าวตั้งอยู่ที่สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) มีการกำหนดค่า parameter ในการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 parameter ในการวิเคราะห์ของเครื่อง FTIR spectrometer

Mode	Absorbance
Wavenumber	4000 – 400 cm ⁻¹
Number of scans	64
Detector type	DTGS Kbr



ภาพที่ 3-1 เครื่อง FTIR Spectrometer รุ่น Nicolet iS50

3.2.2.2 UV-Vis-NIR Spectrophotometer

เครื่อง UV-Vis-NIR Spectrophotometer รุ่น Lambda 1050 ของบริษัท PerkinElmer ประเทศสหรัฐอเมริกา งานวิจัยนี้ใช้วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบและตรวจจับการเปลี่ยนแปลงก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ โดยเครื่องมือดังกล่าวตั้งอยู่ที่สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ในการวิจัยนี้มีการกำหนดค่า parameter ในการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 parameter ในการวิเคราะห์ของเครื่อง UV-Vis-NIR Spectrophotometer

Source	Deuterium และ Halogen
Mode	Absorbance
Wavelength range	250 – 1500 nm
Data interval	1 nm
Scan speed	144.52 nm/min



ภาพที่ 3-2 เครื่อง UV-Vis-NIR spectrophotometer รุ่น LAMBDA 1050

3.2.2.4 Laser Raman Spectroscopy (RAMAN)

เครื่อง Raman spectroscopy รุ่น inVia Raman Microscope ของบริษัท Renishaw ประเทศอังกฤษ มีการตรวจวัดสเปกตรัมทั้งในโหมดปกติ (Raman Shift) และโหมดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ในช่วงความยาวคลื่นแบบนาโนเมตร (nm) งานวิจัยนี้ใช้วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบและตรวจจับการเปลี่ยนแปลงก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ โดยเครื่องมือดังกล่าวตั้งอยู่ที่สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) มีการกำหนดค่า parameter ในการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 parameter ในการวิเคราะห์ของเครื่อง Raman spectroscope

	Raman	PL	
Grating scan type	Extended (Synchroscan)	Extended (Synchroscan)	Extended (Synchroscan)
Spectrum range	150-1500 cm^{-1}	300-750 nm	785-1250 nm
Measurement type	Raman shift (cm^{-1})	Wavelength (nm)	Wavelength (nm)
Laser	532 nm	325 nm	785 nm
Grating	1800 l/nm	2400 l/nm	1200 l/nm
Exposure time/s	10.00	10.00	10.00
Accumulation	5-10 times (mineral Inclusions), 10-20 times (surface-reaching fractures)	1	1



ภาพที่ 3-5 เครื่อง Raman spectroscope รุ่น InVia Raman

3.2.2.5 DiamondView™

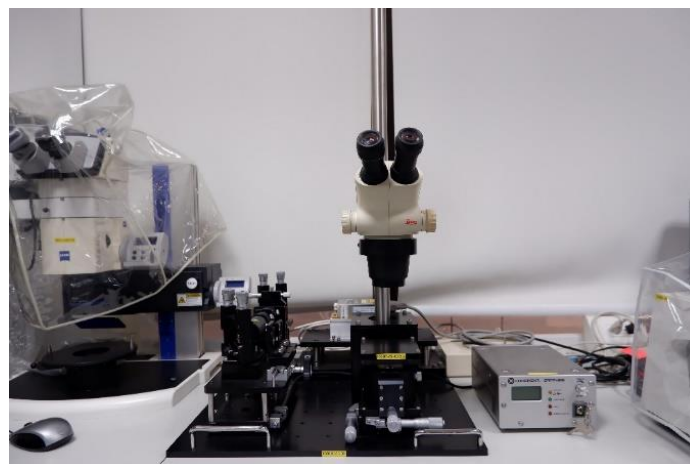
เครื่อง DiamondView™ ที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้ ผลิตโดยบริษัท De Beers Group ประเทศสหราชอาณาจักร โดยงานวิจัยนี้ใช้วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบและตรวจจับการเปลี่ยนแปลงก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ เครื่องมีตั้งอยู่ที่สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)



ภาพที่ 3-4 เครื่อง DiamondView™

3.2.2.6 Laser-Tomography

เครื่อง Laser-Tomography ที่ใช้ในการวิเคราะห์ถูกประกอบขึ้นในประเทศญี่ปุ่น โดยใช้ อุปกรณ์และชิ้นส่วนเกี่ยวกับแสง นำเข้าจากประเทศสหรัฐอเมริกา งานวิจัยนี้ใช้วิเคราะห์เพื่อ เปรียบเทียบและตรวจจับการเปลี่ยนแปลงก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ เครื่องมือนีตั้งอยู่ที่ สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ดำเนินการที่ สถาบันวิจัย และพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)



ภาพที่ 3-5 เครื่อง Laser-Tomography

3.2.2.7 Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (LA-ICP-MS)

เครื่อง LA-ICP-MS ที่ใช้ในการวิจัย รุ่น 7500 cs ของบริษัท Agilent ประเทศ สหรัฐอเมริกา งานวิจัยนี้ใช้วิเคราะห์วิเคราะห์ธาตุร่องรอยของคอร์ันดัมโดยเครื่องมือนีตั้งอยู่ที่ สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) มีการกำหนดค่า parameter ในการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 Parameter ในการวิเคราะห์ของเครื่อง LA-ICP-MS

Carrier gas flow	0.8 L/min
Plasma gas flow	15.0 L/min argon
Radio frequency power	1200 w
Radio frequency matching	1.74 V
Laser ablation unit: New wave UP-213	
Output energy	$\approx 10 \text{ J/cm}^2$
Laser energy	60%
Repetition frequency	10 Hz
Crater size	55 μm
Repetition per sample	3
Dwell time	Al 5 ms, Fe 10 ms, other element 55 μm
External standard	NIST 612, NIST 610
Reference standard material	BBM, BNV
Acquisition time	Laser warm up (30 sec.) + ablation time (60 sec.) + wash out (30 sec) = 120 sec.
Integration time	0.03 sec.



ภาพที่ 3-6 เครื่อง LA-ICP-MS

3.3 กระบวนการวิจัย

3.3.1 จัดหาตัวอย่างอัญมณีชนิดคอร์นดัม (ทับทิมและแซปไฟร์สีชมพู) ซึ่งได้แก่ ตัวอย่างจาก แอฟริกาตะวันออก (ประเทศโมซัมบิกและประเทศมาดากัสการ์)

3.3.2 ศึกษาสมบัติพื้นฐานต่างๆ ของคอร์นดัม ด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์พื้นฐานด้านตรวจสอบอัญมณี ได้แก่ refractometer (RI), dichroscope (pleochroism), hydrostatic balance (SG), polariscope (optic character), ultra-violet (fluorescence), gemological microscope (inclusions)

3.3.3 ศึกษาสมบัติด้านสเปกโตรสโกปีด้วยเครื่องมือระดับสูง เพื่อวิเคราะห์เชิงลึกและหาข้อบ่งชี้การปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนอุณหภูมิต่ำในตัวอย่างคอร์นดัม โดยใช้เครื่องมือดัง ตารางที่ 3-7 ต่อไปนี้

ตารางที่ 3-7 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูง

เครื่องมือ	การวิเคราะห์
1. Fourier Transform Infra-Red spectrometer (FTIR)	เพื่อวิเคราะห์การดูดกลืนของแร่มลทินในคอร์นดัมที่สัมพันธ์ กับ hydroxyl group ในช่วงอินฟราเรด
2. Raman spectroscopy (RAMAN)	เพื่อวิเคราะห์ชนิดของมลทินแร่ในตัวอย่างคอร์นดัม และการเปลี่ยนแปลงของเฟสแร่หลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนอุณหภูมิต่ำ
3. Photoluminescence Spectroscopy (PL)	เพื่อวิเคราะห์สเปกตรัมการเรืองแสงของมลทินแร่ เมื่อเกิดการกระตุ้นด้วยแสงเลเซอร์ช่วงต่าง ๆ เช่น 325, 532 หรือ 785 นาโนเมตร ซึ่งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของสเปกตรัมเมื่อผ่านความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ
4. Ultra-violet Visible Near Infrared spectrophotometer (UV-Vis-NIR)	เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีในตัวอย่างคอร์นดัมในช่วง UV-Vis-NIR

เครื่องมือ	การวิเคราะห์
5. Laser Tomography	เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของมลทินแร่ขนาดเล็กในตัวอย่างคอร์นดัม จากการกระเจิงแสงแบบ tyndall ด้วยการกระตุ้นด้วยเลเซอร์คลื่นเฉพาะเจาะจง (488 nm sapphire laser)
6. DiamondView™	เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลึกคอร์นดัมเมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนอุณหภูมิต่ำ จากการเรืองแสงภายใต้แสงอัลตราไวโอเลตคลื่นสั้น (wavelength <230 nm)
7. Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (LA-ICP-MS)	เพื่อวิเคราะห์ธาตุร่องรอยของคอร์นดัมที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพความร้อนอุณหภูมิต่ำ

3.3.4 ปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยความร้อนในช่วงอุณหภูมิต่าง ได้แก่ 500, 700 และ 900 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะบรรยากาศ (oxidation) ซึ่งมีการขึ้นอุณหภูมิ โดยอ้างอิงตามข้อมูลในอุตสาหกรรมปัจจุบัน จากการสำรวจในช่วงวันที่ 19-22 มิถุนายน 2562 ณ จังหวัดจันทบุรี ดังสรุปในตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-8 อุณหภูมิและเวลาในการเผาตัวอย่าง

อุณหภูมิที่ใช้ (°C)	ระยะเวลาขึ้นอุณหภูมิ (ชั่วโมง)
500	48
700	2 และ 10
900	10

3.3.5 รวบรวมข้อมูลผลการวิเคราะห์และค่าพารามิเตอร์ที่ได้เครื่องมือขั้นสูงของตัวอย่างคอร์นดัมก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500, 700 และ 900 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาเปรียบเทียบและคำนวณเชิงสถิติ และสรุปผลการทดลองเพื่อจะนำมาใช้เป็น criteria ในการบ่งชี้ว่าพลอยผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน

3.3.6 จัดทำรายงานความก้าวหน้าของโครงการ สรุปปัญหา อุปสรรค รวมถึงการเสนอแนวทางการแก้ไขในเรื่องดังกล่าว และจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

3.3.7 จัดประชุมกลุ่มย่อยเพื่อถ่ายทอดข้อมูลสาระสำคัญและแลกเปลี่ยนองค์ความรู้

3.3.8 เผยแพร่ผลงานวิชาการในวารสารทางวิชาการระดับชาติ/นานาชาติ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐาน

ผลจากการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก และแหล่งมาดากัสการ์ พบว่าตัวอย่างทับทิมทั้งสองแหล่ง มีค่าดัชนีหักเหอยู่ระหว่าง 1.760 - 1.775 และค่า Birefringence (Δn) อยู่ระหว่าง 0.005 - 0.010 แหล่งโมซัมบิกมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 3.90 - 3.99 แหล่งมาดากัสการ์มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 3.81 - 4.08 การเรืองแสงภายใต้แสงยูวี (Fluorescence) ทั้งสองแหล่ง พบว่าไม่เรืองแสง (inert) ในช่วงคลื่นสั้น (short wave UV: SWUV) ส่วนในช่วงคลื่นยาว (long wave UV: LWUV) จะแสดงการเรืองแสงสีแดงเล็กน้อยถึงปานกลาง (weak-moderate Red) โดยแสดงข้อมูลดังตารางที่ 4-1 และ 4-2

ตารางที่ 4-1 สมบัติพื้นฐานของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก

รหัสตัวอย่าง	ค่าความถ่วงจำเพาะ	ลักษณะทางแสง	ค่าดัชนีหักเหแสง			การเรืองแสง	
			n_o	n_e	Δn	SWUV	LWUV
MZUNK0121-001	3.98	DR	1.771	1.761	0.01	Inert	Mod.R
MZUNK0121-002	3.99	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Mod.R
MZUNK0121-003	3.93	DR	1.770	1.760	0.01	Inert	Mod.R
MZUNK0121-004	3.95	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Mod.R
MZUNK0121-005	3.99	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Mod.R
MZUNK0121-006	3.98	DR	1.775	1.766	0.009	Inert	Mod.R
MZUNK0121-007	3.99	DR	1.770	1.761	0.009	Inert	Mod.R
MZUNK0121-008	3.97	DR	1.771	1.761	0.01	Inert	Mod.R
MZUNK0121-009	3.97	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Mod.R
MZUNK0121-010	3.93	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Mod.R
MZUNK0121-011	3.99	DR	1.772	1.765	0.007	Inert	Wk.R
MZUNK0121-012	3.99	DR	1.771	1.762	0.009	Inert	Mod.R
MZUNK0121-013	3.94	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Mod.R
MZUNK0121-014	3.96	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Mod.R
MZUNK0121-015	3.96	DR	1.771	1.761	0.01	Inert	Mod.R
MZUNK0121-016	3.90	DR	1.772	1.764	0.008	Inert	Mod.R
MZUNK0121-017	3.97	DR	1.770	1.761	0.009	Inert	Mod.R

รหัสตัวอย่าง	ค่าความ ถ่วงจำเพาะ	ลักษณะ ทางแสง	ค่าดัชนีหักเหแสง			การเรืองแสง	
			n_o	n_e	Δn	SWUV	LWUV
MZUNK0121-018	3.98	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Mod.R
MZUNK0121-019	3.93	DR	1.770	1.761	0.009	Inert	Mod.R
MZUNK0121-020	3.99	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Mod.R
MZUNK0121-021	3.92	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Mod.R
MZUNK0121-022	3.96	DR	1.773	1.764	0.009	Inert	Wk.R
MZUNK0121-023	3.98	DR	1.771	1.762	0.009	Inert	Mod.R
MZUNK0121-024	3.97	DR	1.773	1.765	0.008	Inert	Mod.R
MZUNK0121-025	3.97	DR	1.774	1.767	0.007	Inert	Wk.R
MZUNK0121-026	3.98	DR	1.774	1.766	0.008	Inert	Wk.R
MZUNK0121-027	3.96	DR	1.775	1.769	0.006	Inert	Wk.R
MZUNK0121-028	3.98	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Mod.R
MZUNK0121-029	3.97	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Mod.R
MZUNK0121-030	3.97	DR	1.771	1.763	0.008	Inert	Mod.R
MZUNK0121-031	3.98	DR	1.771	1.762	0.009	Inert	Wk.R
MZUNK0121-032	3.99	DR	1.771	1.763	0.008	Inert	Wk.R
MZUNK0121-033	3.95	DR	1.774	1.765	0.009	Inert	Wk.R
MZUNK0121-034	3.98	DR	1.775	1.765	0.01	Inert	Mod.R
MZUNK0121-035	3.96	DR	1.772	1.763	0.009	Inert	Wk.R
MZUNK0121-036	3.94	DR	1.773	1.765	0.008	Inert	Wk.R

ตารางที่ 4-2 สมบัติพื้นฐานของทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์

รหัสตัวอย่าง	ค่าความ ถ่วงจำเพาะ	ลักษณะ ทางแสง	ค่าดัชนีหักเหแสง			การเรืองแสง	
			n_o	n_e	Δn	SWUV	LWUV
MGVAT0121-001	3.98	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Mod.R
MGVAT0121-002	3.99	DR	1.771	1.762	0.009	Inert	Mod.R
MGVAT0121-003	4.08	DR	1.771	1.763	0.008	Inert	Mod.R
MGVAT0121-004	4.07	DR	1.771	1.763	0.008	Inert	Mod.R
MGVAT0121-005	3.95	DR	1.772	1.764	0.008	Inert	Mod.R
MGVAT0121-006	4.03	DR	1.772	1.764	0.008	Inert	Mod.R
MGVAT0121-007	3.97	DR	1.771	1.762	0.009	Inert	Mod.R
MGVAT0121-008	3.99	DR	1.771	1.762	0.009	Inert	Mod.R

รหัสตัวอย่าง	ค่าความ ถ่วงจำเพาะ	ลักษณะ ทางแสง	ค่าดัชนีหักเหแสง			การเรืองแสง	
			n_o	n_e	Δn	SWUV	LWUV
MGVAT0121-009	3.95	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Mod.R
MGVAT0121-010	3.99	DR	1.771	1.762	0.009	Inert	Mod.R
MGVAT0121-011	3.95	DR	1.772	1.764	0.008	Inert	Wk.R
MGVAT0121-012	4.03	DR	1.770	1.763	0.007	Inert	Mod.R
MGVAT0121-013	4.03	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Mod.R
MGVAT0121-014	3.96	DR	1.771	1.762	0.009	Inert	Mod.R
MGVAT0121-015	4.00	DR	1.772	1.765	0.007	Inert	Wk.R
MGVAT0121-016	3.99	DR	1.772	1.764	0.008	Inert	Mod.R
MGVAT0121-017	4.01	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Mod.R
MGVAT0121-018	3.99	DR	1.770	1.761	0.009	Inert	Wk.R
MGVAT0121-019	3.98	DR	1.771	1.762	0.009	Inert	Mod.R
MGVAT0121-020	3.81	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Wk.R
MGVAT0121-021	4.07	DR	1.771	1.762	0.009	Inert	Wk.R
MGVAT0121-022	3.97	DR	1.772	1.765	0.007	Inert	Wk.R
MGVAT0121-023	3.98	DR	1.773	1.765	0.008	Inert	Wk.R
MGVAT0121-024	3.99	DR	1.772	1.763	0.009	Inert	Wk.R
MGVAT0121-025	3.97	DR	1.771	1.762	0.009	Inert	Mod.R
MGVAT0121-026	3.96	DR	1.771	1.762	0.009	Inert	Wk.R
MGVAT0121-027	3.96	DR	1.772	1.765	0.007	Inert	Mod.R
MGVAT0121-028	3.99	DR	1.770	1.762	0.008	Inert	Mod.R
MGVAT0121-029	3.96	DR	1.772	1.763	0.009	Inert	Wk.R
MGVAT0121-030	4.02	DR	1.770	1.761	0.009	Inert	Mod.R
MGVAT0121-031	4.00	DR	1.771	1.763	0.008	Inert	Wk.R
MGVAT0121-032	3.96	DR	1.772	1.765	0.007	Inert	Mod.R
MGVAT0121-033	3.96	DR	1.771	1.762	0.009	Inert	Mod.R
MGVAT0121-034	4.00	DR	1.771	1.763	0.008	Inert	Wk.R
MGVAT0121-035	3.95	DR	1.772	1.767	0.005	Inert	Mod.R
MGVAT0121-036	4.00	DR	1.772	1.763	0.009	Inert	Mod.R

4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดย LA-ICP-MS

ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก และแหล่งมาดากัสการ์ พบว่าทับทิมทั้งสองแหล่งมีธาตุร่องรอย ประกอบด้วย Mg, Ti, V, Cr, Fe และ Ga โดยพบว่า ทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกมีปริมาณสัดส่วนของ Ti, V และ Ga น้อยกว่าทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ เช่น Ti (Mozambique): 137.69

ppm (Max) ขณะที่ Ti (Madagascar): 238.55 ppm (Max), V (Mozambique): 17.26 ppm (Max) ขณะที่ V (Madagascar): 419.52ppm (Max), Ga (Mozambique): 58.68 ppm (Max) ขณะที่ Ga (Madagascar): 165.77 ppm (Max) แสดงข้อมูลทางเคมีของทั้งสองแหล่งดังตารางที่ 4-3 และ 4-4 โดยค่า detection limits แสดงถึง ภาคนวทที่ ซ

ตารางที่ 4-3 ตารางแสดงผลทางเคมีจากตัวอย่างโมซัมบิก โดยเครื่อง LA-ICP-MS

Sample	Concentration (ppm)						
	Be	Mg	Ti	V	Cr	Fe	Ga
MZ01	BDL	126.74	73.19	6.87	3304.65	2742.64	36.37
MZ02	BDL	BDL	70.43	8.42	4724.52	1661.46	34.49
MZ04	BDL	55.50	90.33	9.98	4,151.95	1,261.35	51.80
MZ06	BDL	123.50	112.12	11.62	8649.34	1578.54	39.58
MZ07	BDL	83.71	36.01	4.01	1164.97	1004.64	28.27
MZ08	BDL	BDL	46.18	5.48	4567.54	1196.17	34.02
MZ09	BDL	89.48	67.61	8.85	2240.91	1312.16	42.65
MZ12	BDL	BDL	51.34	6.33	2043.74	2080.38	33.10
MZ13	BDL	53.76	41.65	6.69	7482.11	1351.13	27.59
MZ14	BDL	136.46	68.64	6.52	3816.14	1455.93	32.99
MZ15	BDL	58.72	98.05	7.27	3766.07	1335.59	31.42
MZ16	BDL	BDL	36.48	5.82	3636.69	1239.49	31.13
MZ17	BDL	57.74	53.65	5.26	2622.64	1229.96	31.09
MZ18	BDL	71.92	73.29	7.64	3200.59	2193.57	38.45
MZ19	BDL	105.38	95.28	11.26	4564.47	1802.12	34.84
MZ20	BDL	87.70	76.51	10.74	2241.62	2035.37	38.11
MZ21	BDL	220.71	50.38	6.36	4398.60	1349.47	38.73
MZ23	BDL	BDL	67.92	7.39	4221.12	1494.57	40.68
MZ24	BDL	195.77	117.97	14.86	8270.16	1464.56	41.39
MZ25	BDL	BDL	89.54	16.24	8996.02	4344.90	58.68
MZ26	BDL	52.10	91.83	11.8	10919.99	1621.17	37.25
MZ27	BDL	BDL	36.39	12.96	5244.40	6147.50	51.58
MZ30	BDL	BDL	137.69	13.21	12366.34	1529.90	42.51
MZ31	BDL	BDL	52.32	15.51	5073.05	5952.97	49.84
MZ32	BDL	BDL	55.99	14.97	4030.15	5509.42	50.76
MZ33	BDL	BDL	75.49	13.93	6290.69	5185.55	55.46
MZ34	BDL	BDL	103.96	13.38	10409.36	1499.59	44.70
MZ36	BDL	56.66	62.10	17.26	5030.77	4878.77	51.58

Sample	Concentration (ppm)						
	Be	Mg	Ti	V	Cr	Fe	Ga
MAX	BDL	220.71	137.69	17.26	12366.33	6147.50	58.68
MIN	BDL	BDL	36.01	4.01	1164.97	1004.64	27.59
AVERAGE	BDL	N/A	71.93	10.02	5306.54	2414.72	39.90

ตารางที่ 4-4 ตารางแสดงผลทางเคมีจากตัวอย่างมาดากัสการ์ โดยเครื่อง LA-ICP-MS

Sample	Concentration (ppm)						
	Be	Mg	Ti	V	Cr	Fe	Ga
MG01	BDL	179.83	129.95	58.58	3435.22	2594.75	78.20
MG02	BDL	BDL	219.90	128.68	2890.96	1241.90	81.18
MG04	BDL	238.60	146.26	46.65	8303.68	2405.41	83.10
MG05	BDL	75.08	97.67	56.29	3616.39	3214.11	59.17
MG06	BDL	BDL	116.41	140.38	3400.19	3098.18	87.30
MG07	BDL	123.68	158.48	83.48	4161.44	3168.52	59.88
MG08	BDL	BDL	140.14	39.92	2629.41	2747.35	68.23
MG10	BDL	BDL	122.93	60.34	2828.81	2580.30	65.58
MG11	BDL	94.62	166.44	76.03	4773.89	2919.09	68.00
MG13	BDL	122.85	119.07	49.99	2353.01	2851.06	60.35
MG14	BDL	167.62	132.43	79.61	5039.47	2889.31	47.00
MG15	BDL	BDL	174.95	88.51	7780.15	3863.19	53.72
MG16	BDL	139.74	118.69	215.25	5012.89	2219.78	114.07
MG18	BDL	47.52	85.81	157.36	2712.90	1910.36	87.02
MG20	BDL	BDL	99.24	60.22	2074.65	3336.67	73.99
MG21	BDL	BDL	238.55	419.52	3640.82	4576.37	135.65
MG23	BDL	107.51	152.52	64.57	7260.71	3736.70	65.72
MG24	BDL	84.83	132.93	64.80	3991.33	2817.75	62.99
MG25	BDL	BDL	97.59	120.51	3189.92	1451.07	94.32
MG27	BDL	208.94	150.29	64.89	4890.13	3748.22	165.77
MG28	BDL	BDL	64.37	151.38	2373.72	1325.65	80.06
MG29	BDL	51.04	127.15	54.41	4300.74	4173.06	79.10
MG30	BDL	72.37	79.29	129.46	2329.92	1795.75	79.85
MG31	BDL	77.51	148.67	73.93	3718.41	2942.96	67.38
MG32	BDL	82.76	108.38	47.04	3452.65	3563.94	72.61
MG33	BDL	BDL	122.63	119.49	3925.21	3045.51	78.79
MG34	BDL	83.53	182.75	58.42	6155.04	4108.53	124.27
MG35	BDL	82.01	124.51	56.06	2244.37	2964.05	65.65

Sample	Concentration (ppm)						
	Be	Mg	Ti	V	Cr	Fe	Ga
MAX	BDL	238.60	238.55	419.52	8303.68	4576.37	165.77
MIN	BDL	BDL	64.37	39.92	2074.65	1241.90	47.00
AVERAGE	BDL	N/A	134.21	98.78	4017.36	2903.20	80.68

4.3 มลทินภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์อัญมณี

ทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก

ผลจากการศึกษามลทินภายในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก โดยกล้องไมโครสโคปโดยดูจากลักษณะของผลึกและยืนยันชนิดของแร่มลทินด้วยเครื่องรามาน พบตำหนิภายในหลายชนิด โดยส่วนใหญ่สามารถเชื่อมโยงไปถึงความสัมพันธ์กับการกำเนิดในหินแอมฟิโบไลต์ มลทินที่พบได้แก่ mica, amphibole, secondary iron oxide, minute particle, tube, reflective platelets, secondary diaspore, color banding, pyrophyllite, rutile needle, chromite, sillimanite, quartz, negative crystals, chalcopyrite, hematite ความพบบ่อยของมลทินแร่ในทับทิมของแหล่งโมซัมบิก สรุปดังตารางที่ 4-5 และภาพถ่ายมลทินต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4-1

ตารางที่ 4-5 ชนิดแร่มลทินที่สามารถพบได้ในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก

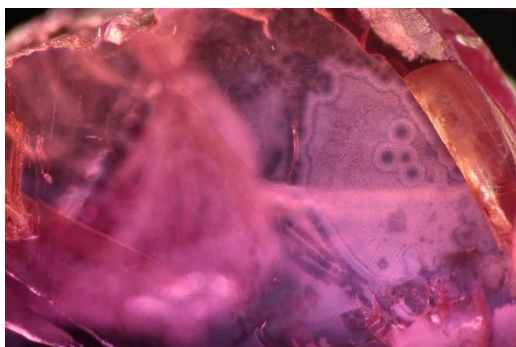
ชนิดแร่	chromite	rutile	amphibole	diaspore	mica	quartz	pyrophyllite	sillimanite	hematite	anatase
พบเจอ	xx	xx	xxxx	xxxx	xxxx	x	xx	xxx	xx	xx
xxxx: พบเจอได้บ่อย					xx: พบเจอได้น้อย					
xxx: พบเจอได้ปานกลาง					x: แทบจะไม่พบ					



(A) มลทินแร่ไมก้า (mica)



(B) มลทินแร่แอมฟิโบล (amphibole)



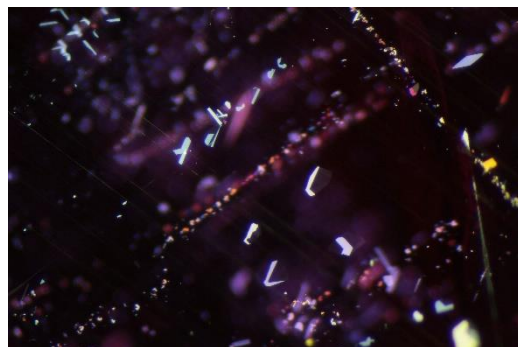
(C) มลทินเหล็กออกไซด์ในรอยแตก



(D) มลทิน minute particles



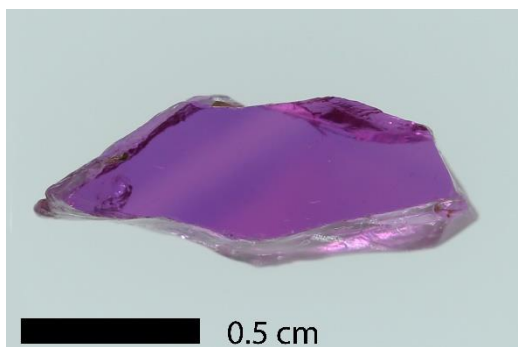
(E) มลทินท่อสีส้ม



(F) มลทินแผ่นฟิล์มบางสะท้อน (reflective thin-film platelets)

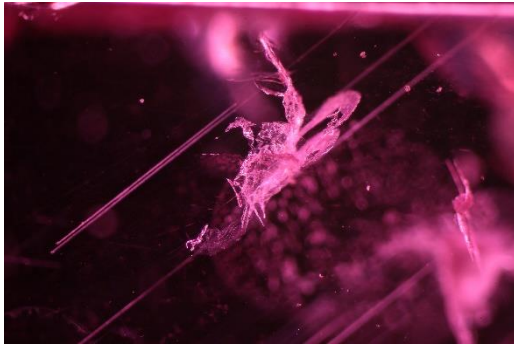


(G) มลทินแร่ไดแอสปอร์ (diaspore)

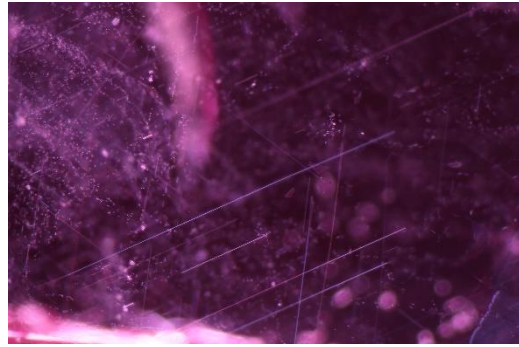


(H) มลทินแถบสี (color banding)

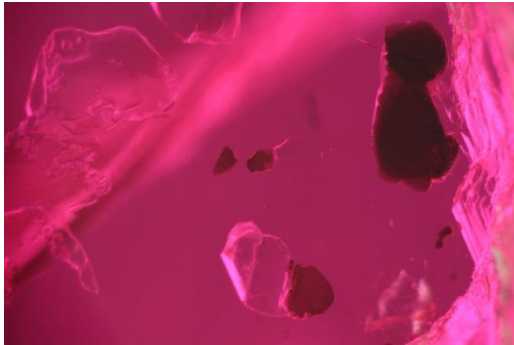
ภาพที่ 4-1 (A) – (H) มลทินภายในที่พบในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก (ภาพถ่ายโดยทัศนรา ศรีปุ่นจัน)



(I) มลทินแร่ไฟโรฟิลไลต์ (pyrophyllite)



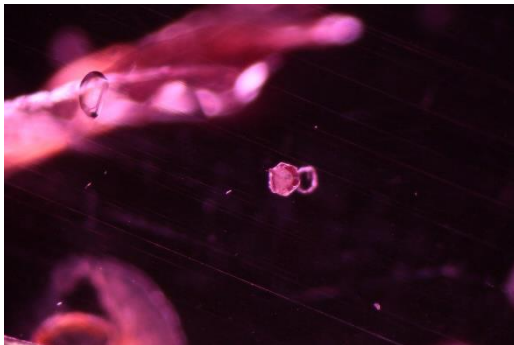
(J) มลทินเส้นเข็มรูไทล์



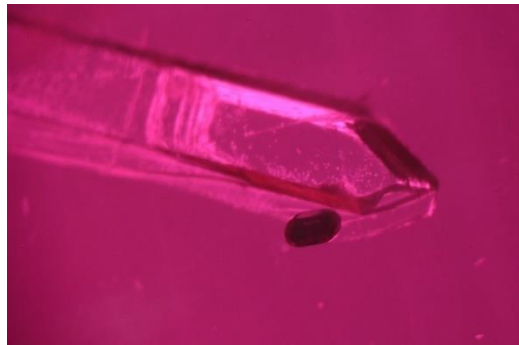
(K) มลทินแร่โครไมต์ (chromite)



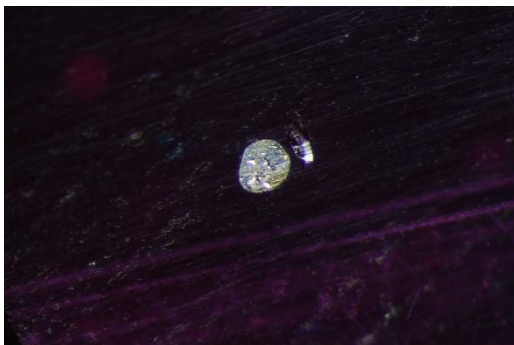
(L) มลทินแร่ซิลิมาไนต์ (sillimanite)



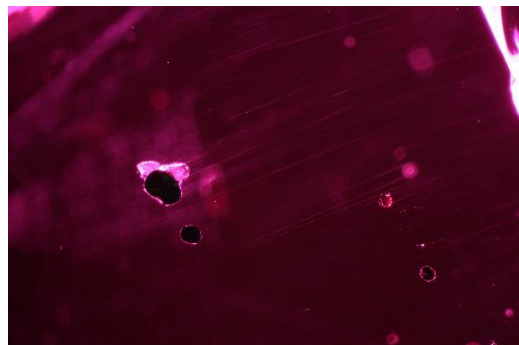
(M) มลทินแร่ควอตซ์ (quartz)



(N) มลทินผลึกกลวง



(O) มลทินแร่ซัลโคไพไรต์ (chalcopyrite)



(P) มลทินแร่ฮีมาไทต์ (hematite)

ภาพที่ 4-1 (I) – (P) มลทินภายในที่พบในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก (ภาพถ่ายโดยทัศนรา ศรีบุญจัน)

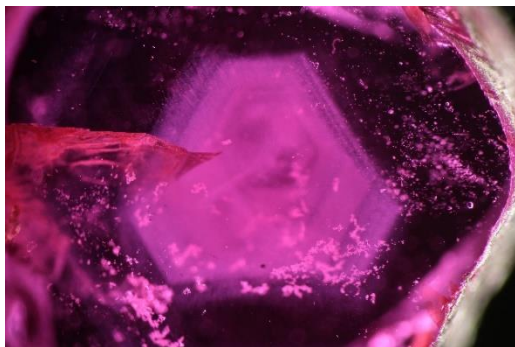
ทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์

ผลจากการศึกษามลทินภายในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ โดยกล้องไมโครสโคปโดยดูจากลักษณะของผลึกและยืนยันชนิดของแร่มลทินด้วยเครื่องรามาน พบตำหนิภายในหลายชนิด มลทินที่พบได้แก่ zircon

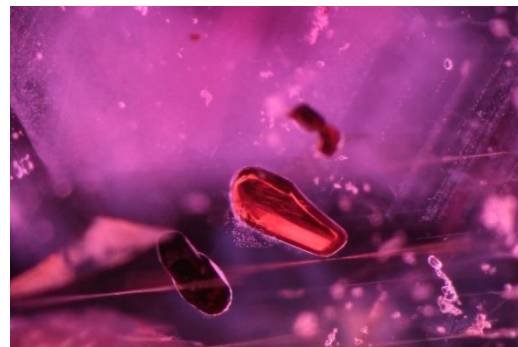
cluster, rutile crystal, reflective platelet, hematite silk, healed fissure, rutile needle, secondary iron oxide, tube และแร่อื่น ๆ ที่ไม่ทราบ ภาพถ่ายมลทินต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4-2 และตารางที่ 4-5 ชนิดแร่มลทินที่สามารถพบได้ในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก

ตารางที่ 4-6 ชนิดแร่มลทินที่สามารถพบได้ในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์

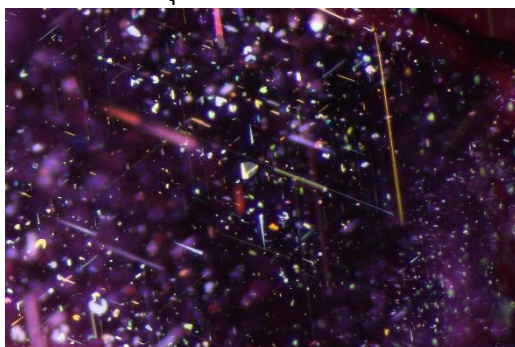
ชนิดแร่	rutile	apatite	zircon	diaspore	pyrophyllite	silimanite
พบเจอ	xxxx	xxxx	xxxx	xxx	xx	x
xxxx: พบเจอได้บ่อย xxx: พบเจอได้ปานกลาง					xx: พบเจอได้น้อย x: แทบจะไม่พบ	



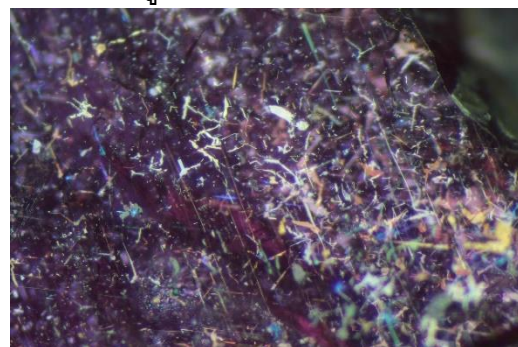
(A) มลทินกระจุกแร่เซอร์คอน (zircon)



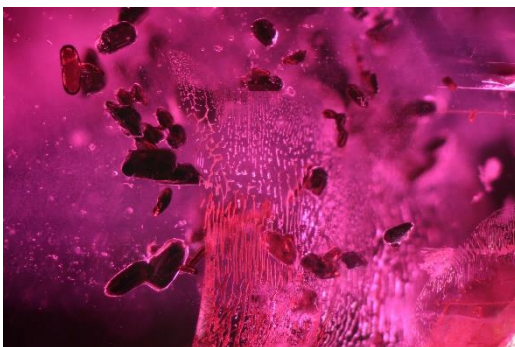
(B) มลทินแร่รูไทล์ (rutile needles)



(C) มลทินแผ่นฟิล์มบางสะท้อน (Reflective thin- film platelets)



(D) มลทินเส้นไหม

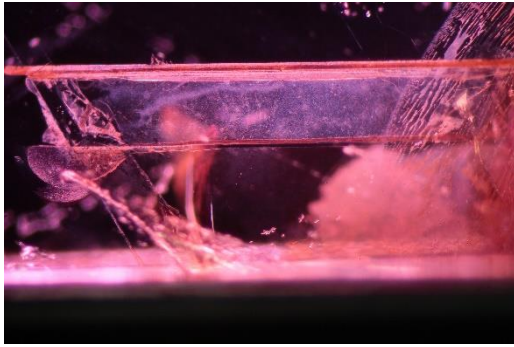


(E) มลทินรอยแตกเชื่อมประสาน

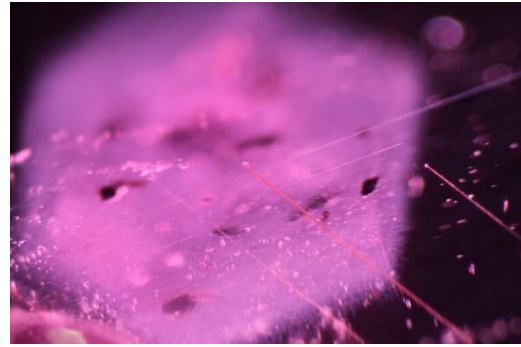


(F) มลทินเส้นเข็มรูไทล์ (rutile needles)

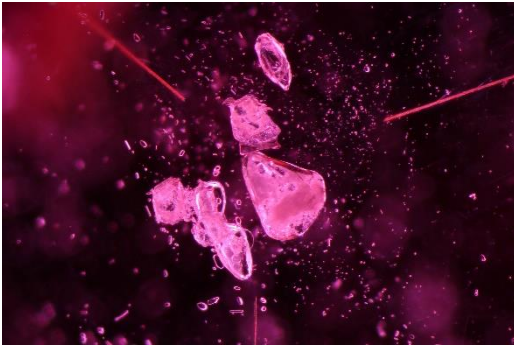
ภาพที่ 4-2 (A) – (F) มลทินภายในที่พบในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์(ภาพถ่ายโดยทัศนรา ศรีบุญจัน)



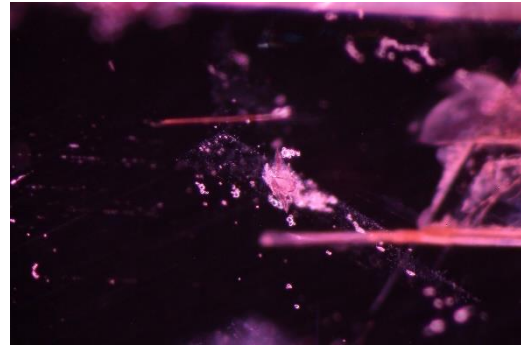
(G) มลทินเหล็กออกไซด์ในรอยแตก



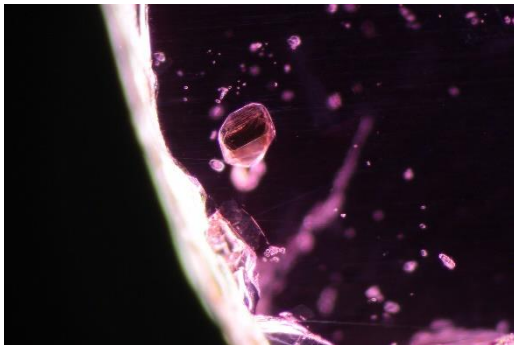
(H) มลทินท่อ



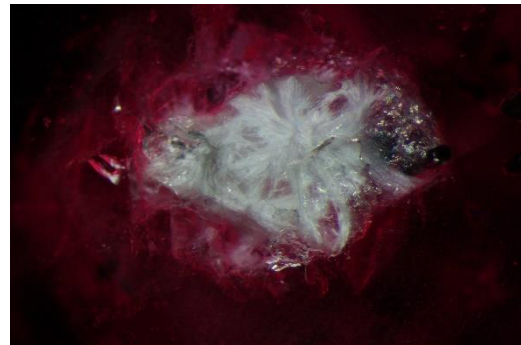
(I) มลทินแร่ไม่ทราบชนิด



(J) มลทินแร่ไม่ทราบชนิด



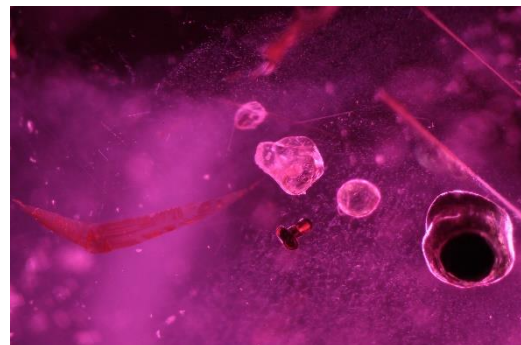
(K) มลทินแร่อะพาไทต์ (apatite)



(L) มลทินแร่ซิลิมาไนต์ (sillimanite)



(M) มลทินแร่ไม่ทราบชนิด

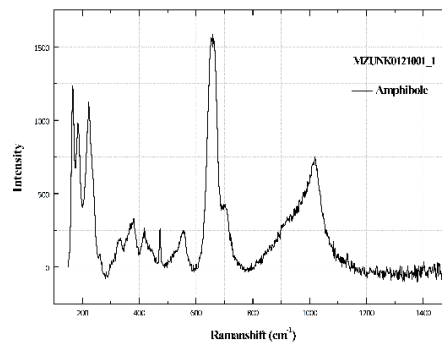
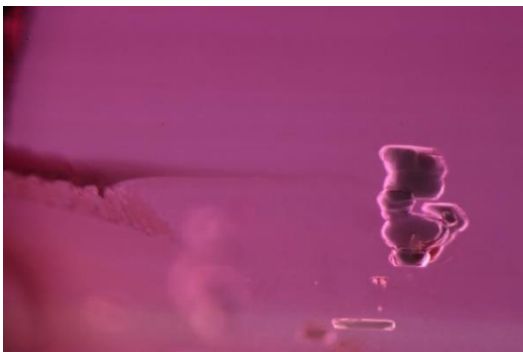


(N) มลทินแร่ไม่ทราบชนิด

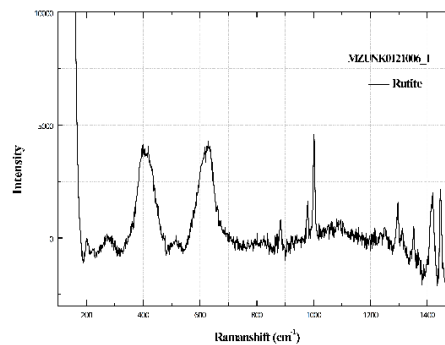
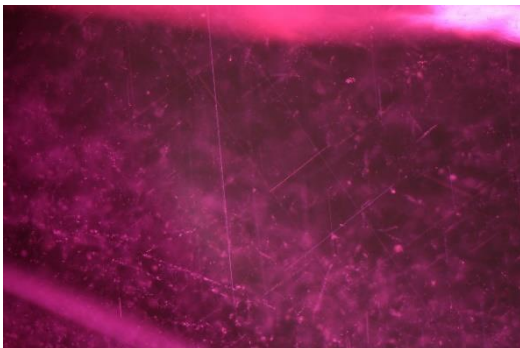
ภาพที่ 4-2 (G) – (N) มลทินภายในที่พบในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์(ภาพถ่ายโดยทัศนรา ศรีปุ่นจัน)

4.4 ผลการวิเคราะห์มลทินด้วย Raman Spectroscopy

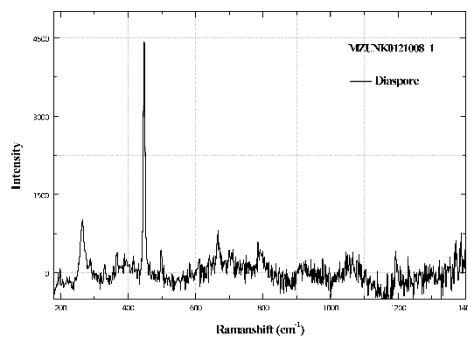
ผลการใช้เทคนิครามานในการวิเคราะห์มลทินภายในทำให้ทราบถึงชนิดของมลทินซึ่งมีความสัมพันธ์กับแหล่งกำเนิดของทับทิม มลทินภายในที่พบเช่น mica, amphibole, diaspore, sillimanite และ rutile (ภาพที่ 4-3 – 4-12) โดยมลทินอื่นๆจะอยู่ในภาคผนวก ก นอกจากนี้เทคนิครามานยังสามารถใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของมลทินภายใน (iron oxide) ซึ่งสนับสนุนผลการวิจัยของโครงการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบและอัญมณีปรับปรุงคุณภาพจากแหล่งโมซัมบิกและบริเวณใกล้เคียง โดย ดร.ภูวดล วรธนะชัยแสง สนับสนุนงานวิจัยโดยสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ในปี 2559 ซึ่งเกิดขึ้นได้เมื่อโดนความร้อนสูง สามารถใช้เป็นข้อบ่งชี้ในทับทิมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนได้



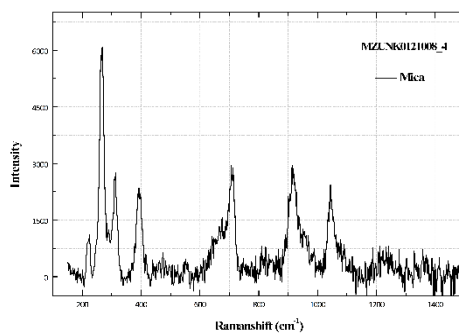
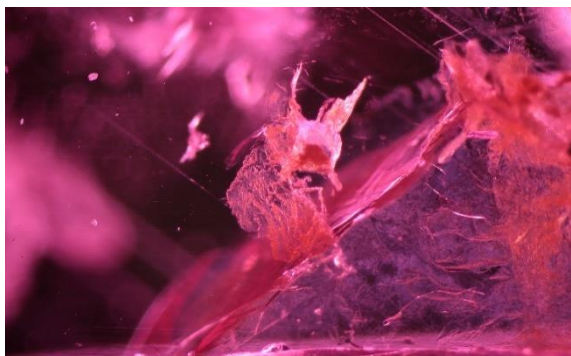
ภาพที่ 4-3 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ amphibole



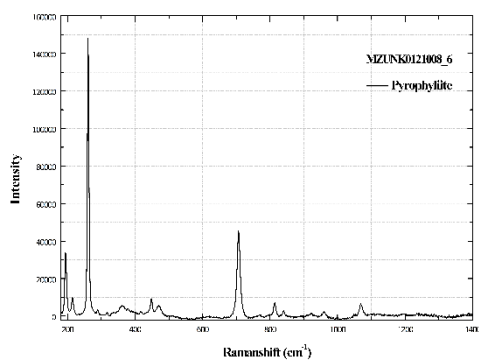
ภาพที่ 4-4 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ rutile



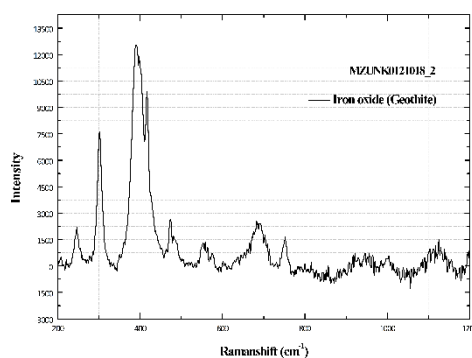
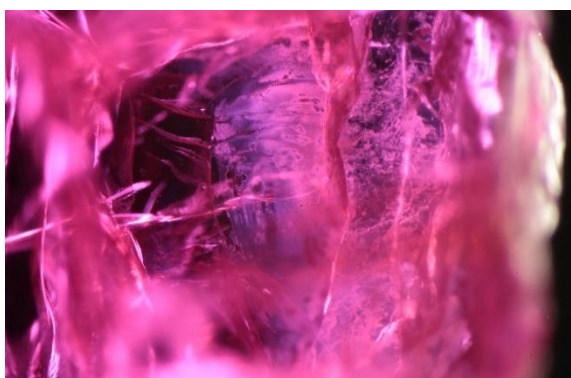
ภาพที่ 4-5 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ diaspore



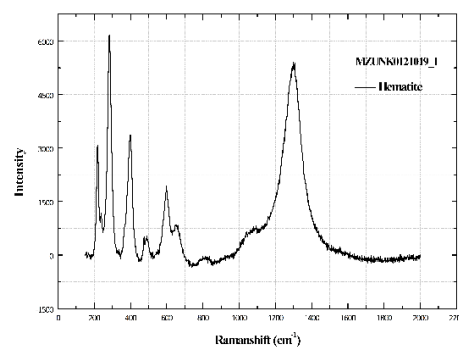
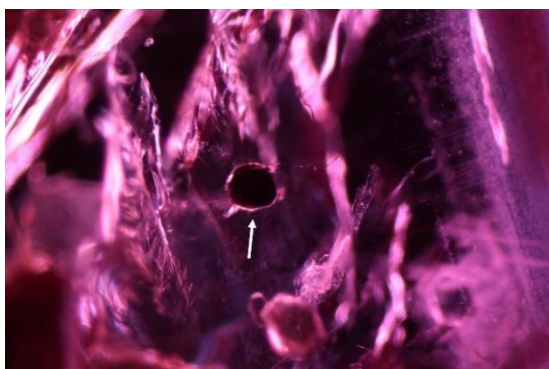
ภาพที่ 4-6 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ mica



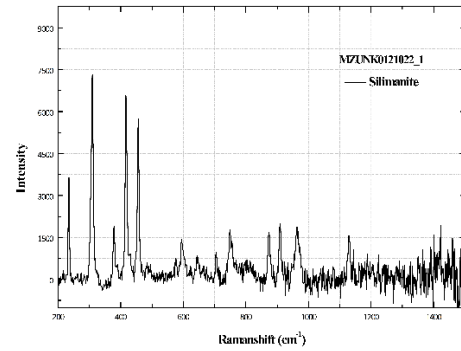
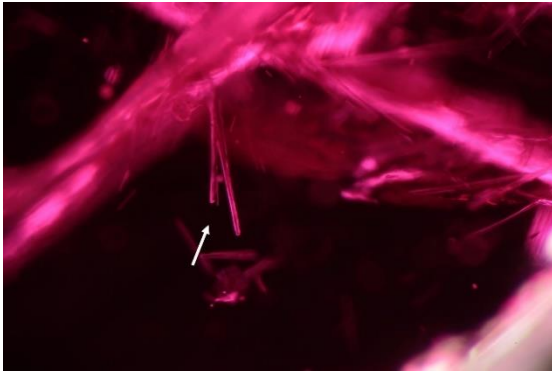
ภาพที่ 4-7 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ pyrophyllite



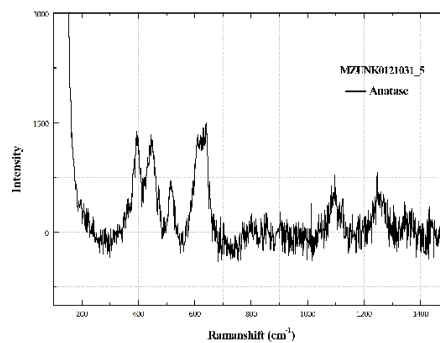
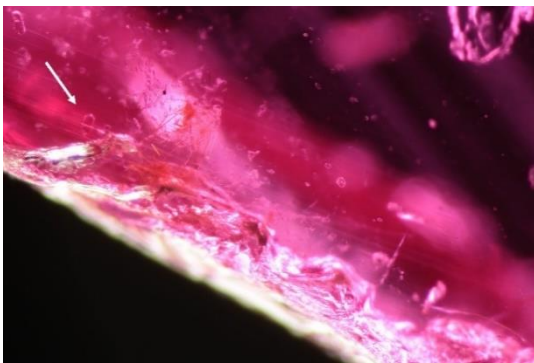
ภาพที่ 4-8 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ Iron oxide (goethite)



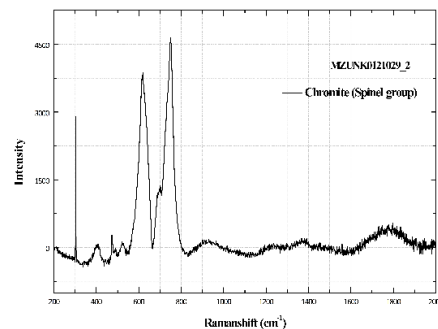
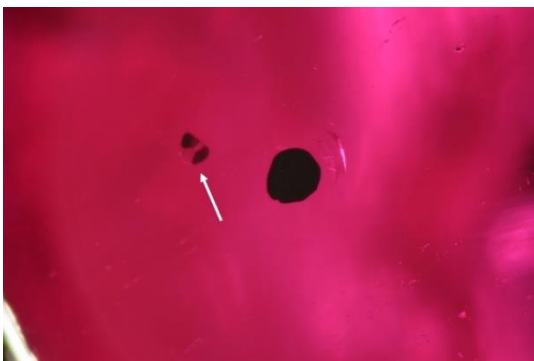
ภาพที่ 4-9 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ hematite



ภาพที่ 4-10 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ sillimanite



ภาพที่ 4-11 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ anatase

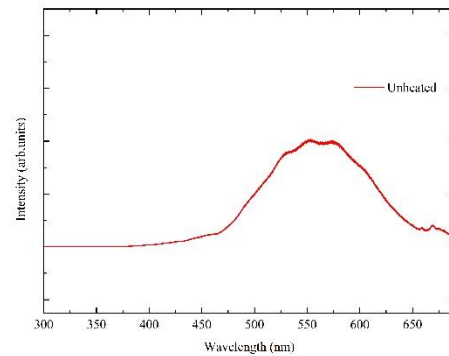
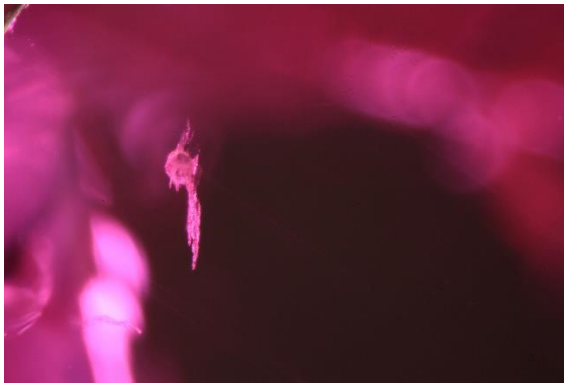


ภาพที่ 4-12 มลทินและสเปกตรัมมลทินของแร่ chromite (spinel group)

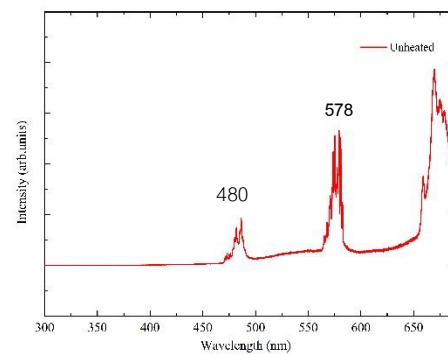
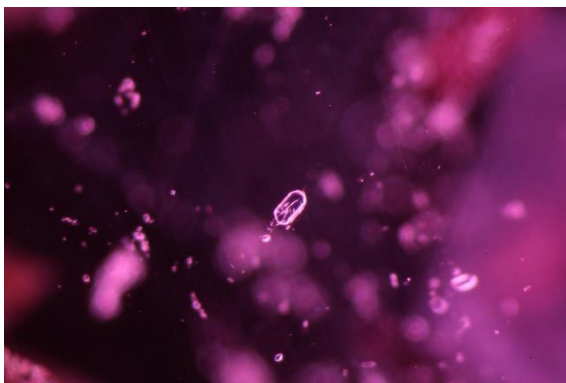
4.5 ผลการวิเคราะห์ PL spectrophotometer

ผลการศึกษาด้วยเทคนิค โฟโตลูมิเนสเซนส์ พบว่าปกติในทับทิมจะมีรูปแบบการเรืองแสงที่ตำแหน่ง 694.3, 692.9 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการที่มีโครเมียมอยู่ภายในโครงสร้าง แต่ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้วิธีการศึกษาการเปล่งแสงของมลทินที่อยู่ในภายใน เมื่อได้รับการกระตุ้น (เลเซอร์ 375 และ เลเซอร์ 785 นาโนเมตร) โดยมลทินที่พบว่ามี การเปล่งแสงได้แก่ แร่ไมก้า แร่อะพาไทต์ แร่รูไทล์ และแร่เซอร์คอน และเมื่อมลทินเหล่านี้ได้รับความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเรืองแสง ทำให้สามารถใช้ในการบ่งชี้พลอยที่ผ่านความร้อน โดยในส่วนนี้จะแสดงสเปกตรัมการเปล่งแสงของมลทินก่อนการเผา ดังภาพที่ 4-13 -4-18

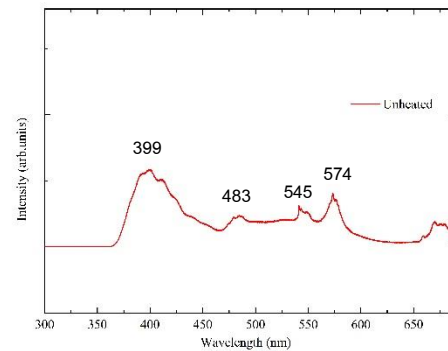
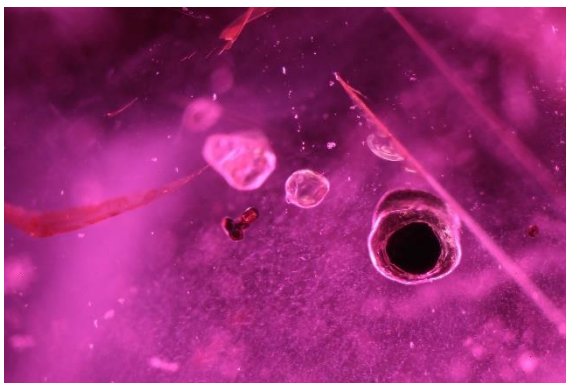
เลเซอร์ 325 นาโนเมตร



ภาพที่ 4-13 มลทินและสเปกตรัมการเปล่งแสงมลทินของแร่ไมก้า แสดงช่วงการเปล่งแสงตั้งแต่
ช่วง 450 ถึง 650 นาโนเมตร

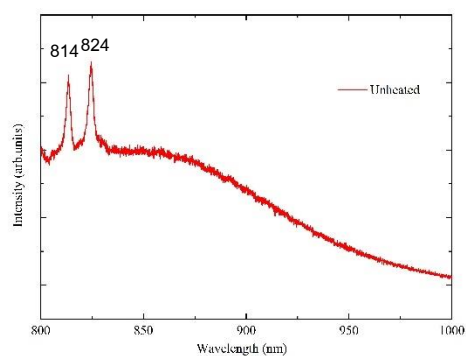
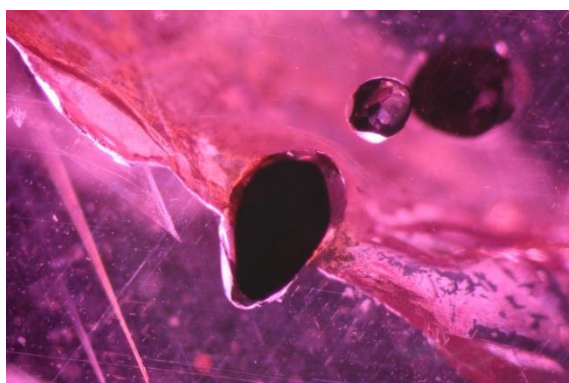


ภาพที่ 4-14 มลทินและสเปกตรัมการเปล่งแสงมลทินของแร่เซอร์คอน แสดงพีคการเปล่งแสงเด่นที่ตำแหน่ง 480
และ 578 นาโนเมตร

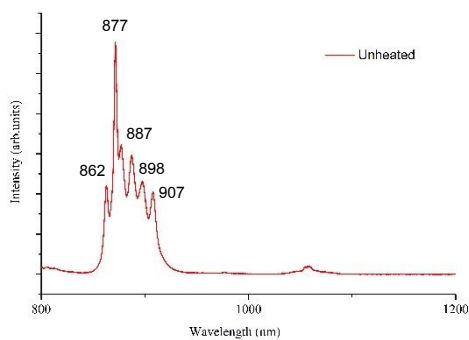
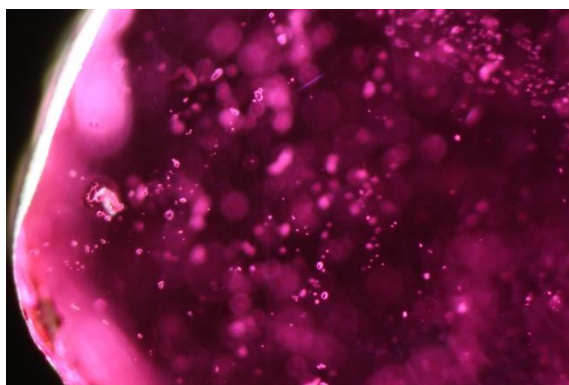


ภาพที่ 4-15 มลทินและสเปกตรัมการเปล่งแสงมลทินของแร่อะพาไทต์ แสดงพีคการเปล่งแสงเด่นที่ตำแหน่ง
399, 483, 545 และ 574 นาโนเมตร

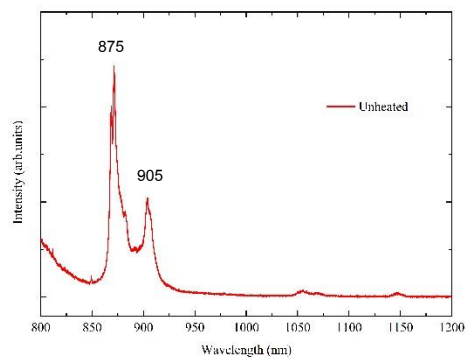
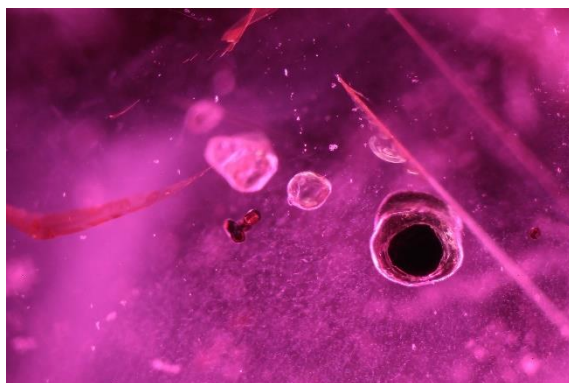
เลเซอร์ 785 นาโนเมตร



ภาพที่ 4-16 มลทินและสเปกตรัมการเปล่งแสงมลทินของแร่รูไทล์ แสดงพีคการเปล่งแสงเด่นที่ตำแหน่ง 814 และ 824 นาโนเมตร



ภาพที่ 4-17 มลทินและสเปกตรัมการเปล่งแสงมลทินของแร่เซอร์คอน แสดงพีคการเปล่งแสงเด่นที่ตำแหน่ง 862, 877, 887, 898 และ 907 นาโนเมตร



ภาพที่ 4-18 มลทินและสเปกตรัมการเปล่งแสงมลทินของแร่อะพาไทต์ แสดงพีคการเปล่งแสงเด่นที่ตำแหน่ง 875 และ 905 นาโนเมตร

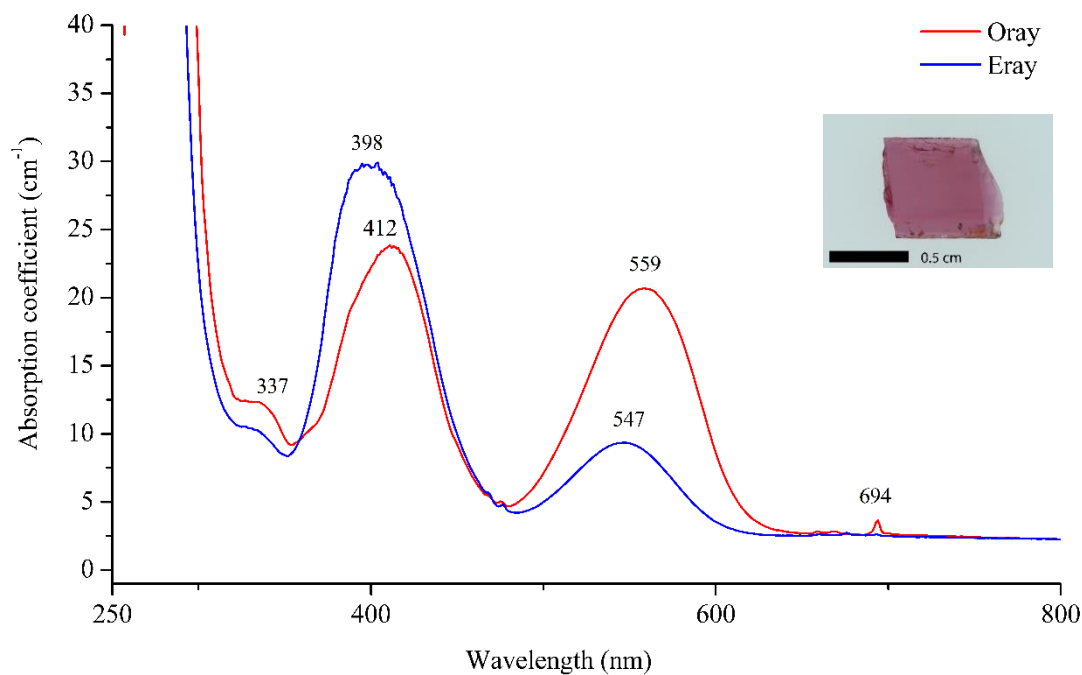
4.6 ผลการวิเคราะห์ UV-VIS-NIR Spectrophotometer

ผลการศึกษาการดูดกลืนแสงของทับทิมโดยใช้เครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer พบว่าสาเหตุการเกิดสีของทับทิมมีความสัมพันธ์กับธาตุทรานซิชัน เช่น โครเมียม (Cr) และเหล็ก (Fe) โดย Cr^{3+} แสดงการดูดกลืนที่ตำแหน่งประมาณ 694 nm (R-line) 547-560nm (U-band) และ 397-412nm (Y-band) (Powell, 1998 and Hughes, 2017; chapter 4) Fe^{3+} - Fe^{3+} แสดงการดูดกลืนที่ประมาณ 330, 377, 450 และ 540 nm Fe^{3+} ที่ตำแหน่ง 388 nm Fe^{2+} - Ti^{4+} (O-ray) ที่ตำแหน่ง 580 nm (Powell, 1998; Ferguson, 1971)

4.6.1 สเปกตรัมของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก

ผลจากการวิเคราะห์ทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกรหัส MZUNK0121-001พบว่าแสดงการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 337 nm ในแกน o-ray และ 336 nm ในแกน e-ray ซึ่งเป็นตำแหน่งของ Fe^{3+} ในขณะที่แสดงการดูดกลืนแสงตำแหน่ง Cr^{3+} ในแกน o-ray ที่ 412, 559 และ 694 nm ในแกน e-ray ที่ 398 และ 547 nm แสดงดังภาพที่

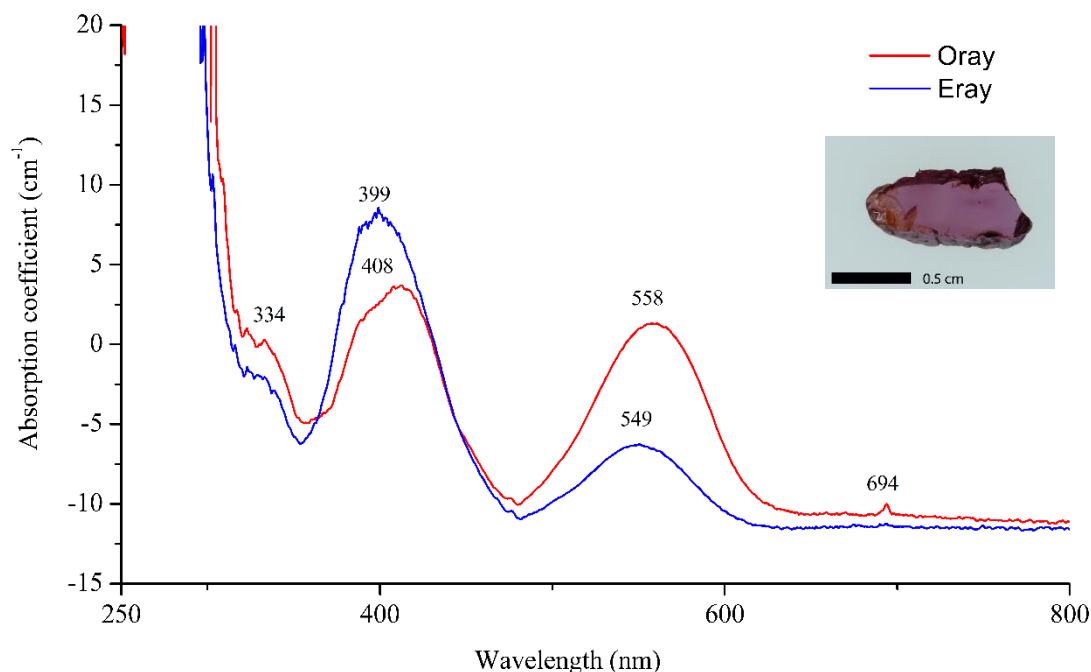
4-19



ภาพที่ 4-19 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง ของตัวอย่างทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก

4.6.2 สเปกตรัมของทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์

ตัวอย่างทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์พบว่าการมีลักษณะการดูดกลืนแสงลักษณะคล้ายคลึงกัน โดย ตัวอย่างทับทิมรหัส MG VAT0121-035 แสดงการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 334 nm ในแกน o-ray และ e-ray ซึ่งเป็นตำแหน่งของ Fe^{3+} ในขณะที่แสดงการดูดกลืนแสงตำแหน่ง Cr^{3+} ในแกน o-ray ที่ 408, 558 และ 694 nm ในแกน e-ray ที่ 399 และ 549 nm แสดงดังภาพที่ 4-20



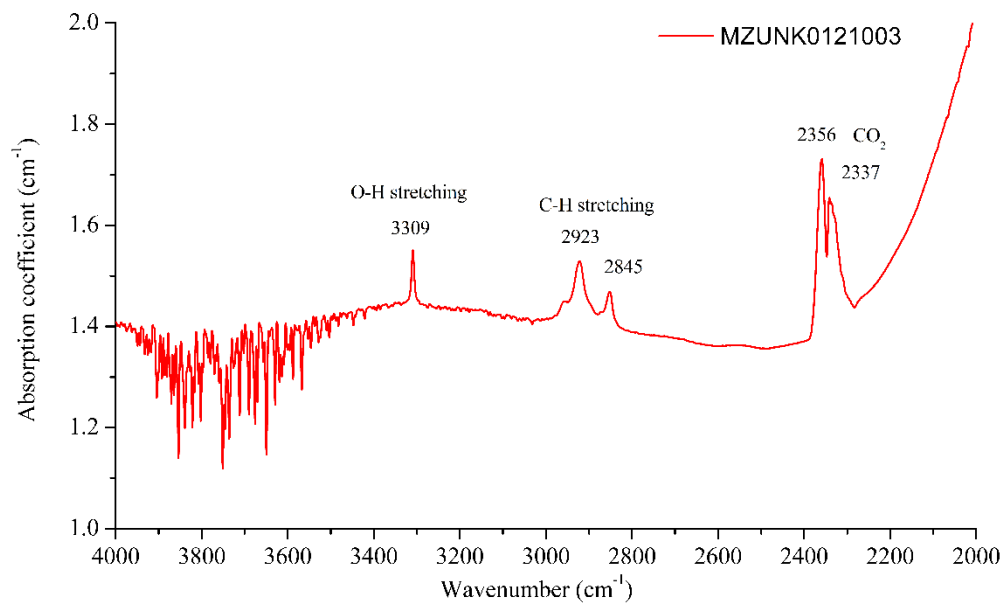
ภาพที่ 4-20 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง ของตัวอย่างทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์

4.7 ผลการวิเคราะห์ FTIR Spectrometer

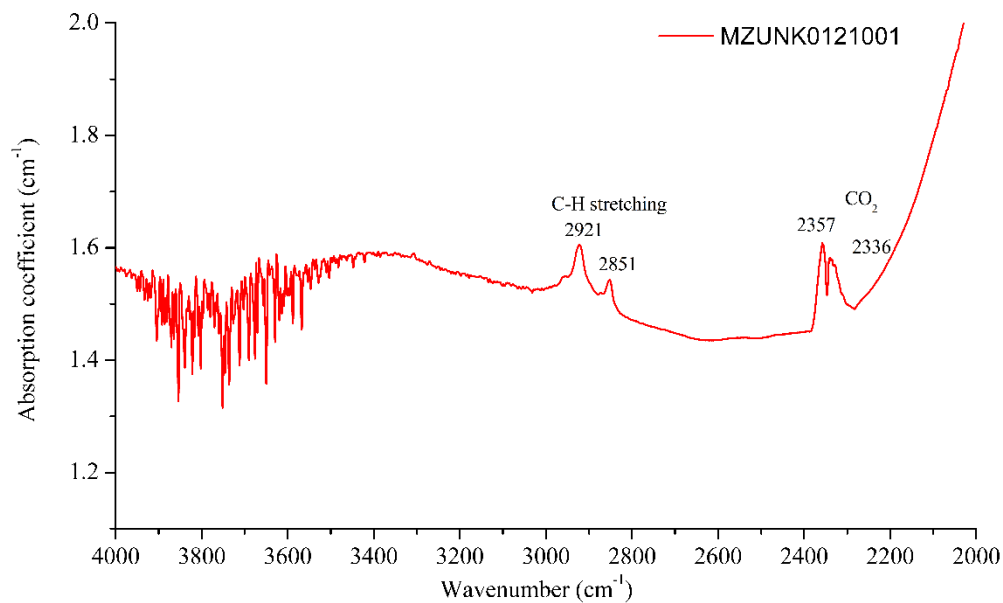
ผลการศึกษาด้วยเทคนิค FTIR ของทับทิมแหล่งโมซัมบิกและมาดากัสการ์ จะพบการดูดกลืนของ H_2O ในช่วง $3700 - 4000\text{ cm}^{-1}$ C-H Stretching บริเวณ $2800-3000\text{ cm}^{-1}$ CO_2 บริเวณ $2300-2400\text{ cm}^{-1}$ $AlOOH$ ในช่วง 3045 และ 3500 และ $1839-2152\text{ cm}^{-1}$ นอกจากนี้ยังอาจจะพบการดูดกลืนที่ตำแหน่ง 3309 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของ OH-stretching

4.7.1 FTIR สเปกตรัมของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก

จากภาพที่ 4-21 แสดงการดูดกลืนของตัวอย่างจากแหล่งโมซัมบิก โดยตัวอย่างรหัส MZUNK0121-003 จะพบการดูดกลืนเด่นชัดที่ตำแหน่ง 3309 cm^{-1} (O-H stretching) ในขณะที่พบการดูดกลืนที่น้อยมากในตัวอย่างรหัส MZUNK0121-001 (ภาพที่ 4-22)

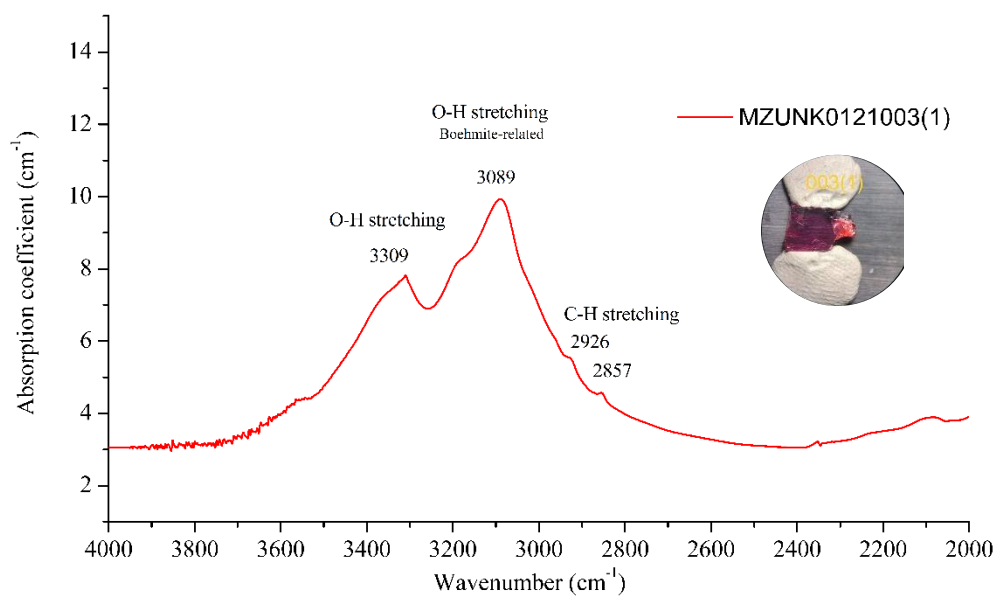


ภาพที่ 4-21 FTIR สเปกตรัม ของตัวอย่างทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก

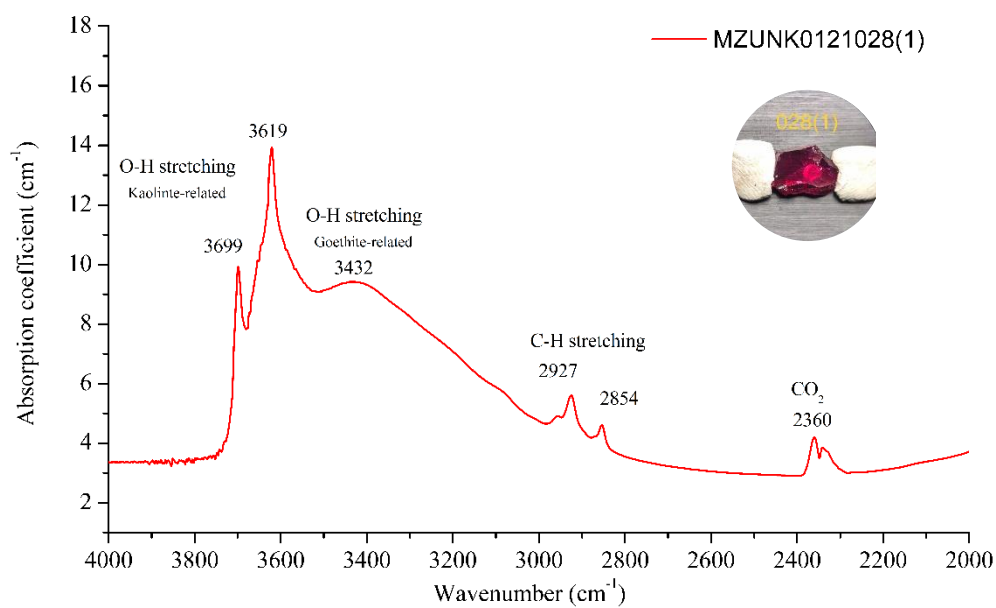


ภาพที่ 4-22 FTIR สเปกตรัม ของตัวอย่างทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก

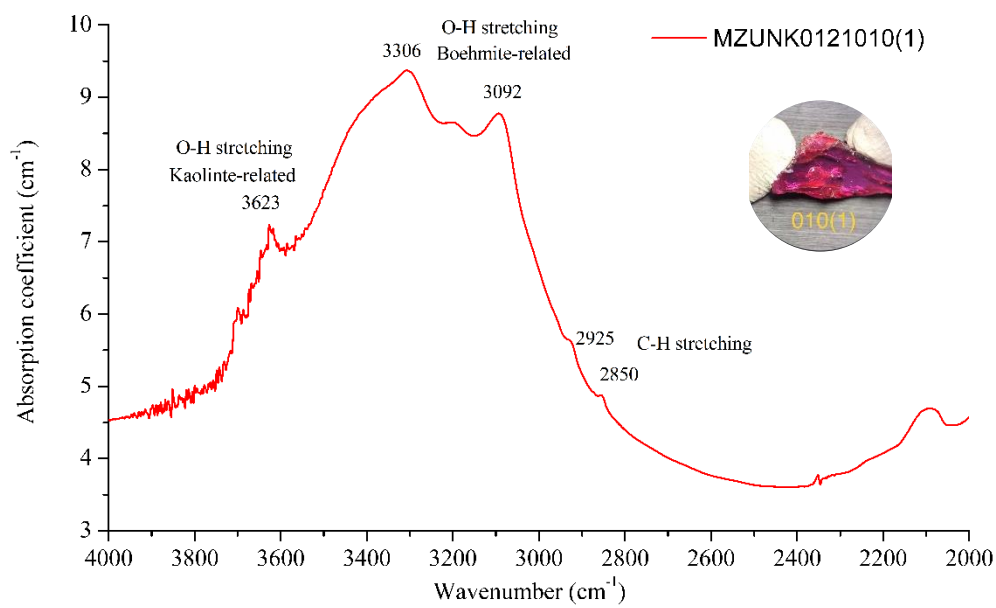
นอกจากนี้บริเวณตำแหน่ง Iron stain ยังแสดงการดูดกลืนที่แสดงลักษณะเฉพาะซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบทับทิมที่ผ่านการปรับปรุงมาได้ โดยแสดงดังนี้



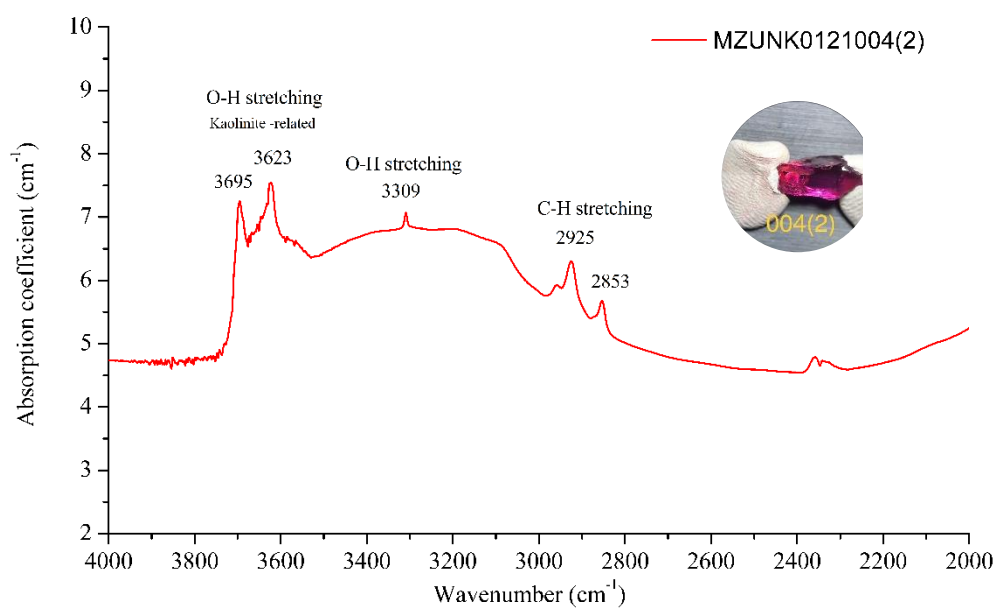
ภาพที่ 4-23 FTIR สเปกตรัม บริเวณ Iron stain ของทับทิมรหัส MZUNK0121-003



ภาพที่ 4-24 FTIR สเปกตรัม บริเวณ Iron stain ของทับทิมรหัส MZUNK0121-028



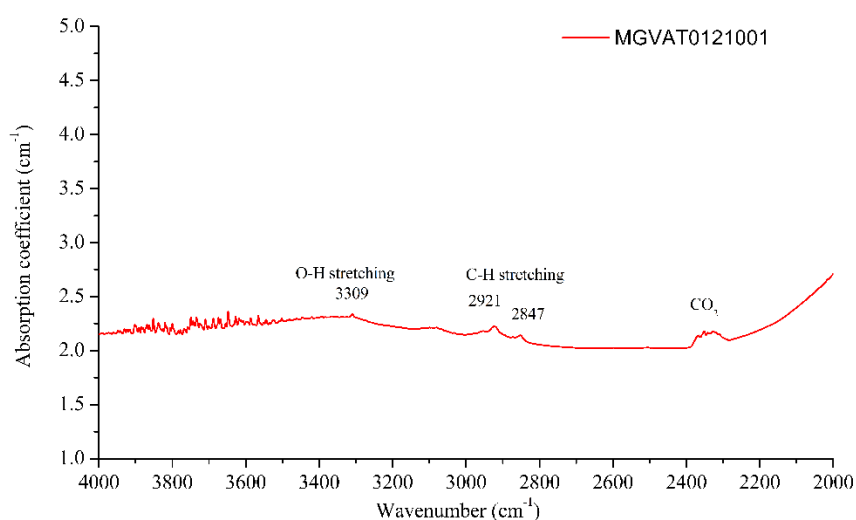
ภาพที่ 4-25 FTIR สเปกตรัม บริเวณ Iron stain ของทับทิมรหัส MZUNK0121-010



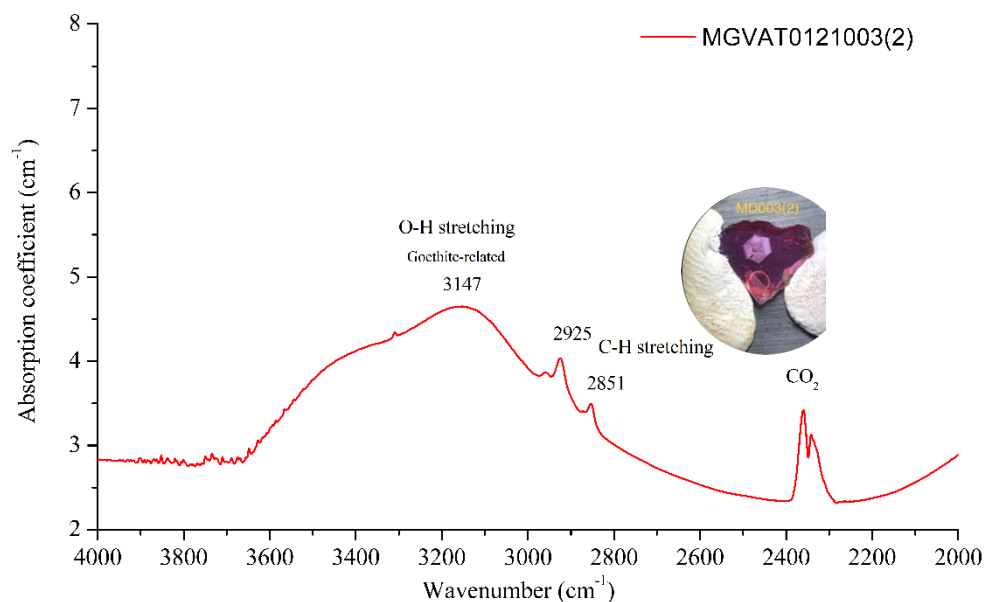
ภาพที่ 4-26 FTIR สเปกตรัม บริเวณ Iron stain ของทับทิมรหัส MZUNK0121-004

4.7.2 FTIR สเปกตรัมของทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์

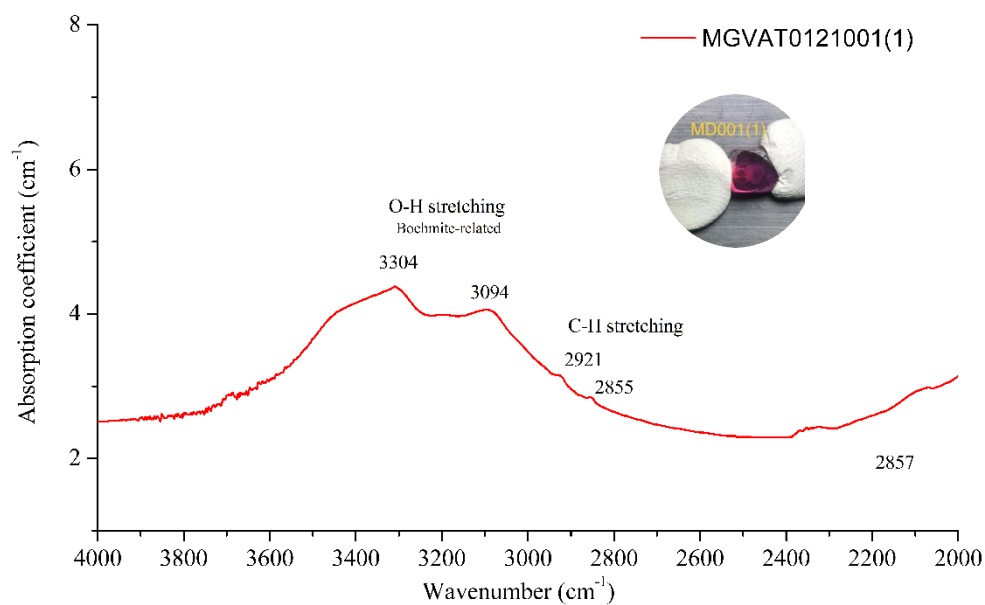
ผลของ FTIR สเปกตรัมจากแหล่งมาดากัสการ์ตัวอย่าง MG VAT0121-001 พบการดูดกลืน C-H Stretching บริเวณ 2847 และ 2921 cm^{-1} CO_2 บริเวณ 2300 cm^{-1} O-H stretching ที่ 3309 cm^{-1} (ภาพที่ 4-27) นอกจากนี้ยังพบการดูดกลืนบริเวณ Iron stain เช่นเดียวกับในแหล่งโมซัมบิก แสดงดังภาพที่ 4-28 ถึง 4-30



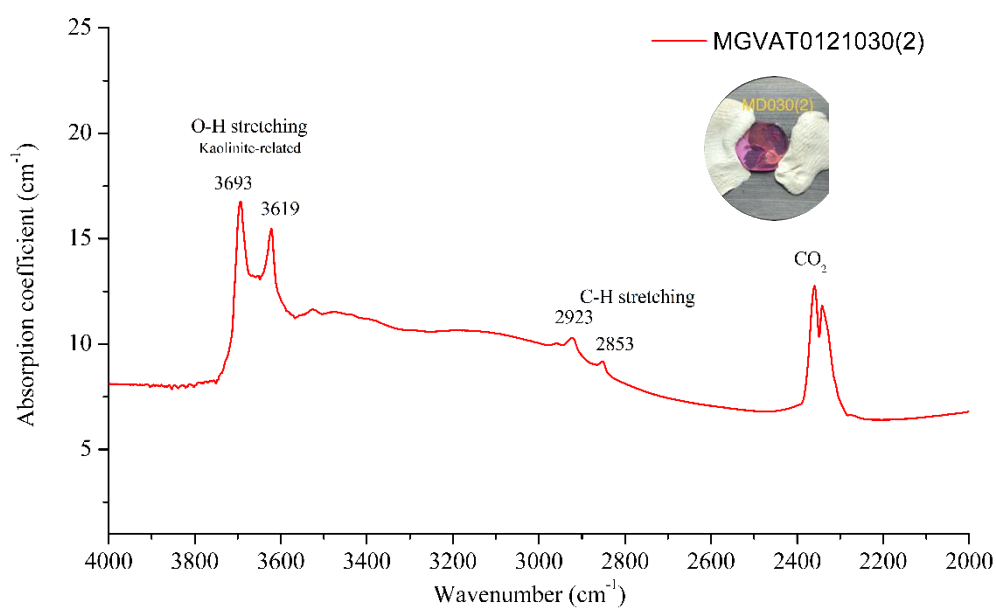
ภาพที่ 4-27 FTIR สเปกตรัม ของตัวอย่างทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์



ภาพที่ 4-28 FTIR สเปกตรัม บริเวณ Iron stain ของทับทิมรหัส MG VAT0121-003



ภาพที่ 4-29 FTIR สเปกตรัม บริเวณ Iron stain ของทับทิมรหัส MG VAT0121-001



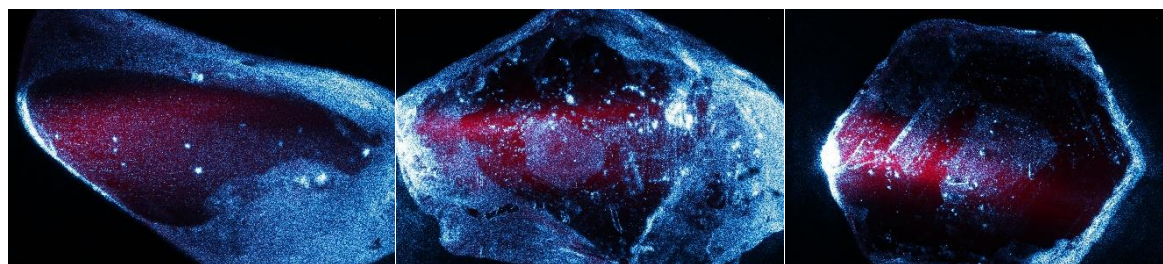
ภาพที่ 4-30 FTIR สเปกตรัม บริเวณ Iron stain ของทับทิมรหัส MG VAT0121-030

4.8 ผลการวิเคราะห์ Laser-Tomography

ผลการศึกษาโดยใช้เลเซอร์ 488 nm (สีน้ำเงิน) เป็นตัวกระตุ้น พบว่าตัวอย่างทับทิมทั้งแหล่งโมซัมบิก และ มาดากัสการ์มีการเรืองแสงของตัวทับทิม (สีแดง) และมลทินภายในบางชนิด โดยแสดงผลการเรืองแสงก่อนการปรับปรุงด้วยความร้อน ดังภาพที่ 4-31 และ 4-32



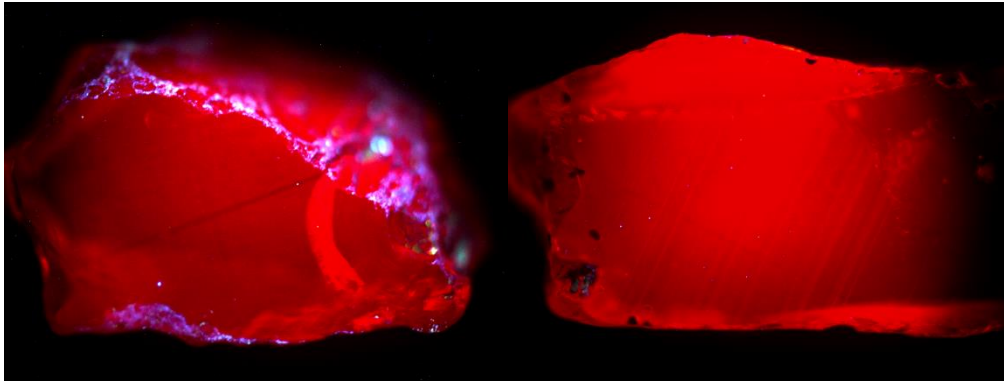
ภาพที่ 4-31 ผลการวิเคราะห์ Laser-Tomography ของทับทิม จากแหล่งโมซัมบิก



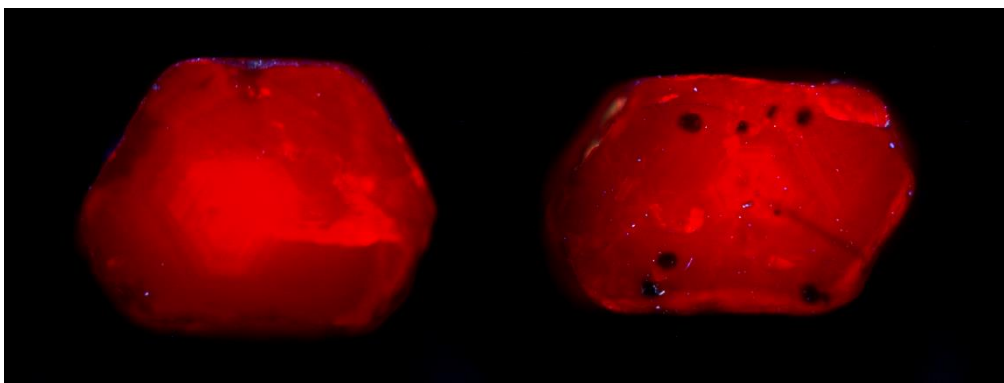
ภาพที่ 4-32 ผลการวิเคราะห์ Laser-Tomography ของทับทิม จากแหล่งมาดากัสการ์

4.9 ผลการวิเคราะห์ DiamondView™

ผลการวิเคราะห์การเรืองแสงของทับทิมโดยเครื่อง DiamondView™ ซึ่งเป็นการใช้ความยาวคลื่นยูวีต่ำกว่า 255 นาโนเมตรมากระตุ้น ทำให้เกิดการเรืองแสงส่วนมากจะเป็นการเรืองแสงของ color banding โดยความหนา-บาง ของ แถบสีส่งผลให้พลอยเกิดการเรืองแสงที่ไม่สม่ำเสมอ สามารถใช้ผลการเรืองแสงนี้ศึกษาในเรื่องของโครงสร้างการเติบโตของผลึก โดยผลการเรืองแสงของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก ดังภาพที่ 4-33 และ แหล่งมาดากัสการ์ แสดงดังภาพที่ 4-34



ภาพที่ 4-33 การเรืองแสง ของทับทิมโดยเครื่อง DiamondView™ จากแหล่งโมซัมบิก



ภาพที่ 4-34 การเรืองแสงบริเวณ zoning ของตัวอย่างทับทิมโดยเครื่อง DiamondView™ จากแหล่งมาดากัสการ์

4.10 ผลจากการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน

จากการปรับปรุงคุณภาพทับทิมโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยแบ่งการทดลองดังตารางที่ 4-6 พบว่าในการเผาแต่ละอุณหภูมิทับทิมแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลง ที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นข้อบ่งชี้ว่าทับทิมผ่านความร้อนหรือไม่ โดยแสดงข้อมูลตามเทคนิคที่ใช้ ดังนี้

ตารางที่4-7 อุณหภูมิที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ

อุณหภูมิที่ใช้ (องศาเซลเซียส)	เวลายีนอุณหภูมิ (ชั่วโมง)
500	48
700	3
700	10
900	10

4.10.1 ลักษณะภายนอกโดยทั่วไปทับทิมก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน

จากการศึกษาลักษณะภายนอกของทับทิมหลังผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อน พบว่าทั้งทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก และแหล่งมาดากัสการ์ ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 48 ชั่วโมง มีการเปลี่ยนแปลงไม่เด่นชัด (ภาพที่ 4.35 และ 4.38) บางตัวอย่างจากแหล่งโมซัมบิก พบว่า สามารถลดสีน้ำเงินและมีสีที่ สด ชื่น น (ภาพที่ 4.36) ที่อุณหภูมิ 700 ระยะเวลา 3 ชั่วโมง และ 10 ชั่วโมง พบว่าทับทิม มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามลำดับ และพบว่าทับทิม มีสีที่สดขึ้น ลดสีน้ำเงินภายใน และมีการเปลี่ยนแปลงชัดเจนที่สุดที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 ชั่วโมง (ภาพที่ 4.37) ทั้งนี้สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของแหล่งมาดากัสการ์จะมีปริมาณตัวอย่างน้อยกว่า

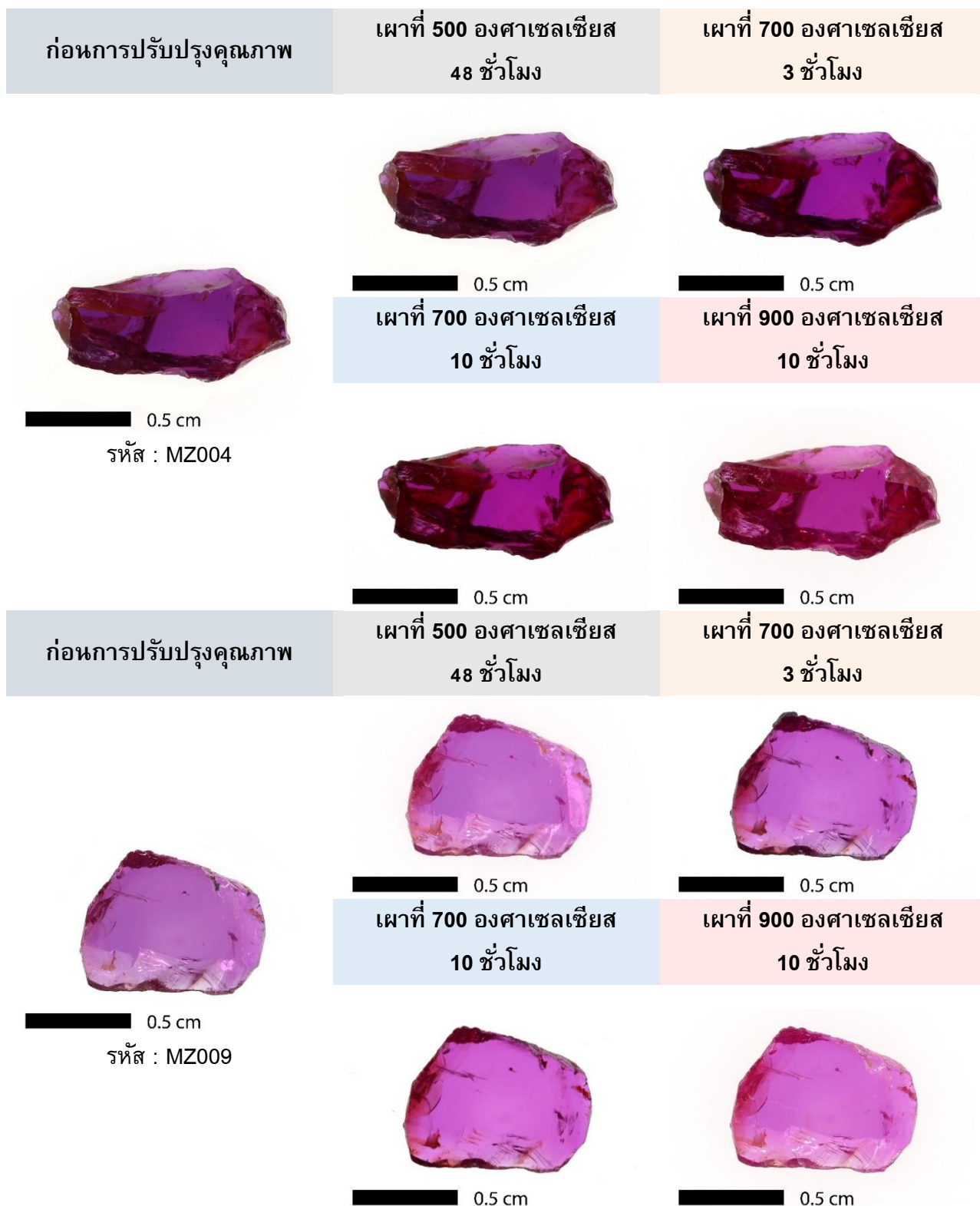
ทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกหลังผ่านปรับปรุงความร้อน



ภาพที่ 4-35 ทับทิมก่อน-หลังเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง พบว่ามีการลดลงของจำสีน้ำเงินเล็กน้อย



ภาพที่ 4-36 ทับทิมก่อน-หลังเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 3 และ 10 ชั่วโมง พบว่าจำสีน้ำเงินลดลงหลังการเผาตามลำดับ



ภาพที่ 4-37 ทับทิมแหล่งโมซัมบิกก่อน-หลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าจำสีน้ำเงินในทับทิมเริ่มลดลงตั้งแต่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่มีการลดของจำสีน้ำเงินลงเรื่อย ๆ โดยเมื่อเผาถึงอุณหภูมิที่ 900 องศาเซลเซียส จะเห็นผลชัดเจนที่สุด โดยทับทิมมีสีที่สดขึ้น จำสีน้ำเงินลดลงจนเห็นได้ชัด

ทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ หลังผ่านปรับปรุงความร้อน

ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง



0.5 cm



0.5 cm

รหัส : MD031

ภาพที่ 4-38 ทับทิมก่อน-หลังเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง
พบว่าตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงไม่เด่นชัด

ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง



0.5 cm



0.5 cm

รหัส : MZ035

ภาพที่ 4-39 ทับทิมก่อน-หลังเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง
พบว่าตำหนิภายในมีสีเข้มขึ้นหลังการเผา

ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

เผาที่ 700 องศาเซลเซียส
3 ชั่วโมง

เผาที่ 700 องศาเซลเซียส
10 ชั่วโมง



0.5 cm



0.5 cm



0.5 cm

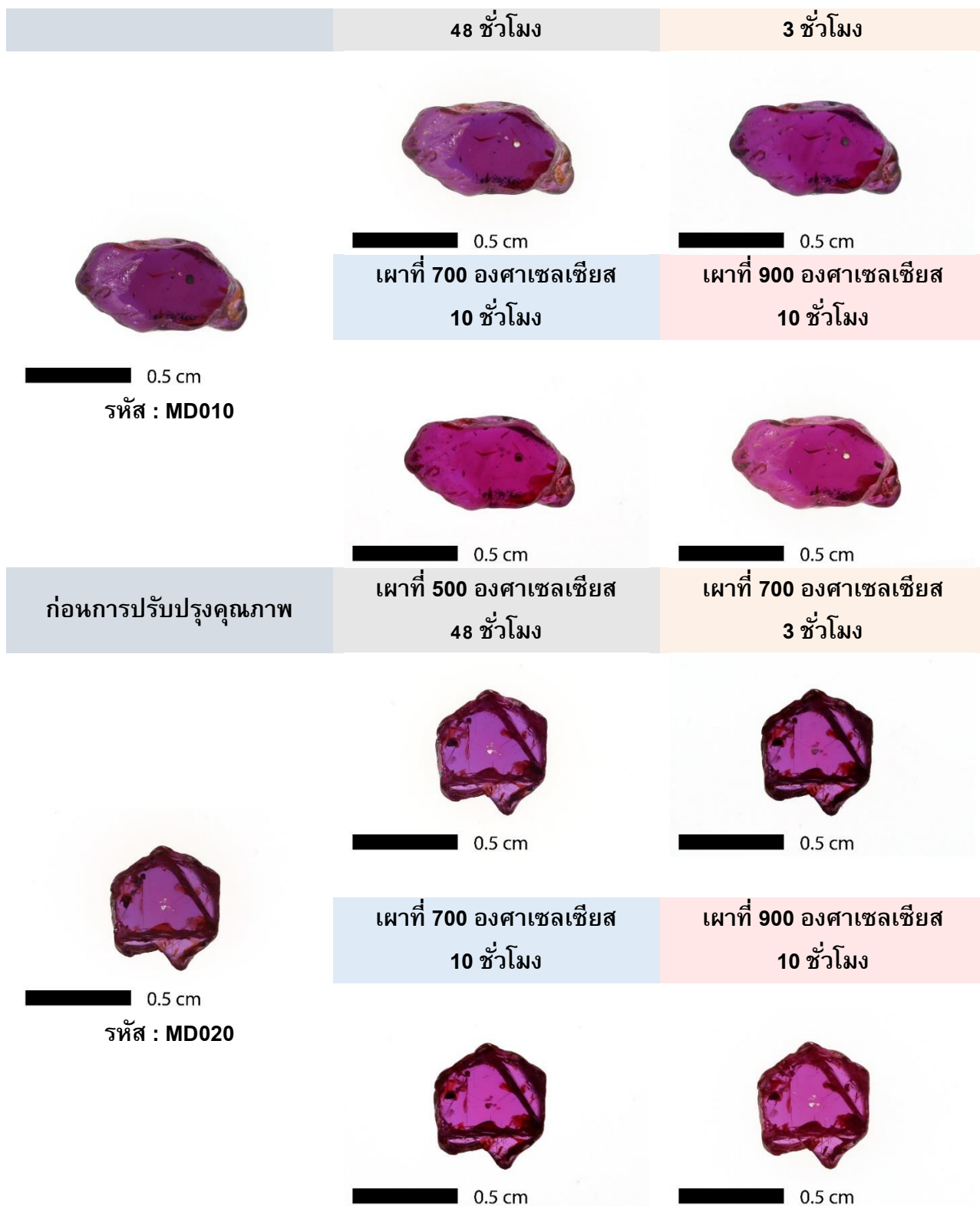
รหัส : MD014

ภาพที่ 4-40 ทับทิมก่อน-หลังเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 3 และ 10 ชั่วโมง
ไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน

ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

เผาที่ 500 องศาเซลเซียส

เผาที่ 700 องศาเซลเซียส



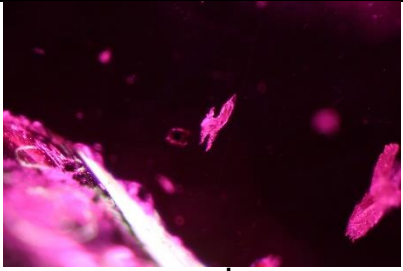
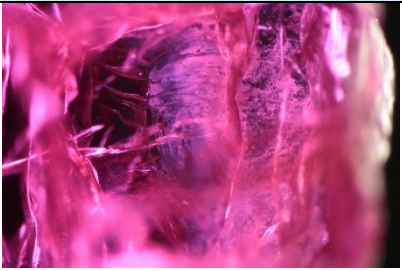
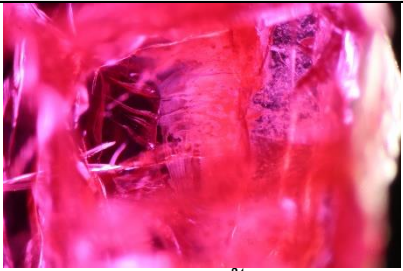
ภาพที่ 4-41 ทับทิมแหล่งมาดากัสการ์ก่อน-หลังเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสมีการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน แต่ที่อุณหภูมิ 700 ที่ 3 และ 10 ชั่วโมง พบว่า สีเงินภายในค่อยๆ ลดลงตามลำดับ และเปลี่ยนแปลงชัดเจนที่สุดที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ที่ทับทิมมีสีที่สดขึ้น สีน้ำเงินลดลง

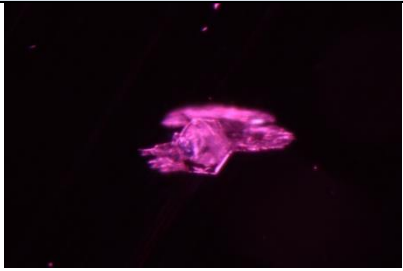
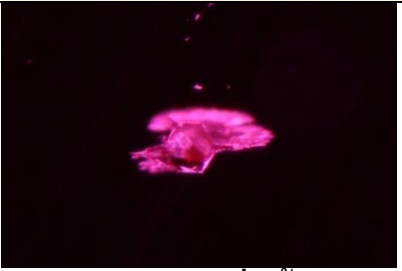
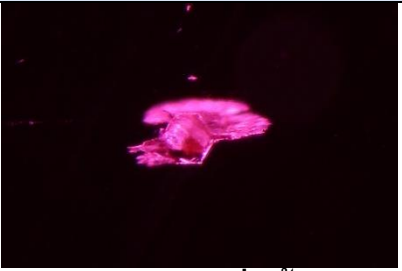
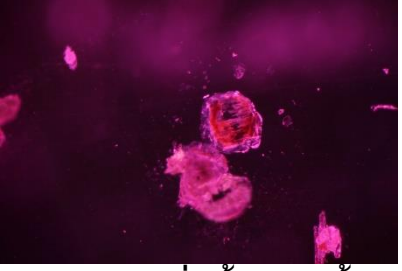
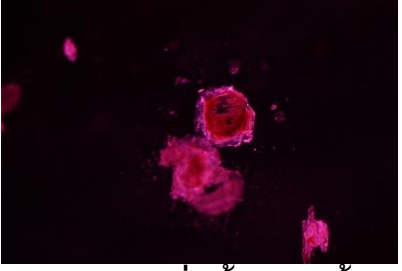
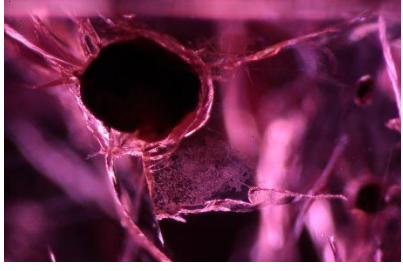
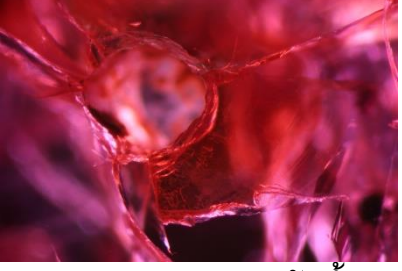
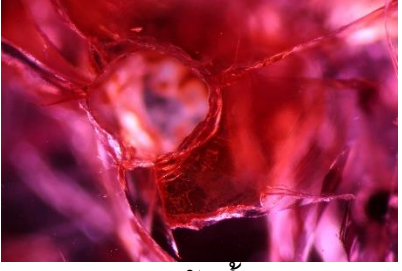
4.10.2 ลักษณะมลทินภายในของทับทิมก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน

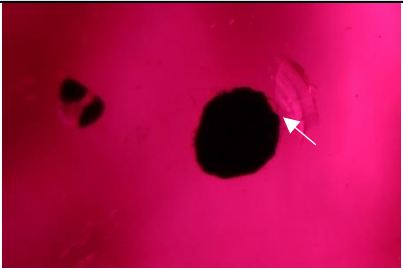
ผลการศึกษาพบว่านอกจากมลทินสามารถช่วยในการระบุแหล่งของทับทิม ยังสามารถใช้ในการสังเกตลักษณะของมลทินบางชนิดซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อน โดยทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกพบว่า ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 48 ชั่วโมง ยังไม่พบการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง ขึ้นไป พบว่า มลทินบางชนิดมีสีที่เข้มขึ้น บางชนิดมีการแตกจากแรงเค้นขณะเผา โดยมลทินที่เกิดการเปลี่ยนแปลงได้แก่ ไมก้า แอมฟิโบล ไดโอสเปอร์ ขณะที่ทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์พบว่า มลทินบางส่วนมีสีเข้มขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง เช่น รูไทล์ มลทินบางชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลง เช่น มลทินแร่เซอร์คอน อะพาไทต์ โดยแสดงภาพของมลทินแร่ที่พบทั้งหมดดังภาคผนวก จ.

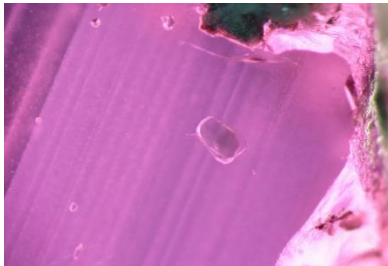
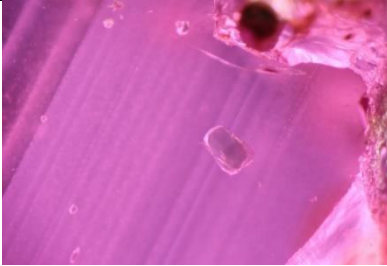
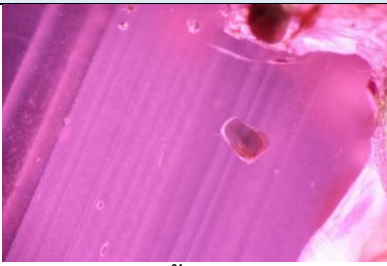
มลทินภายในของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก

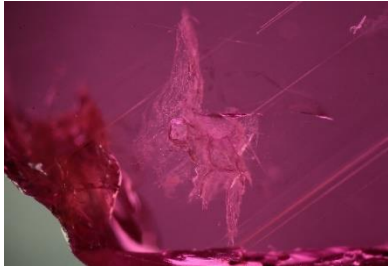
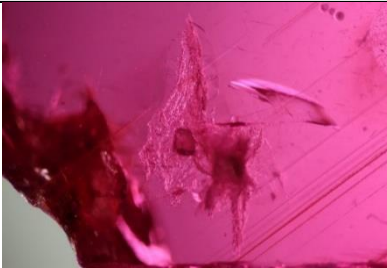
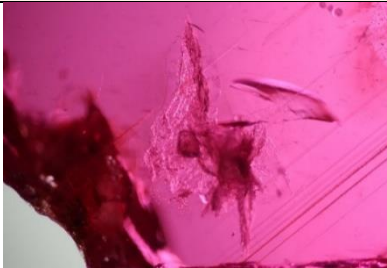
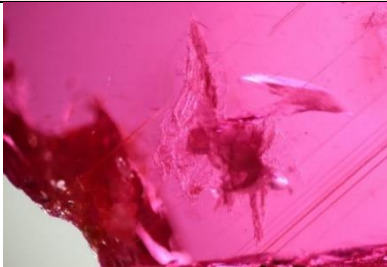
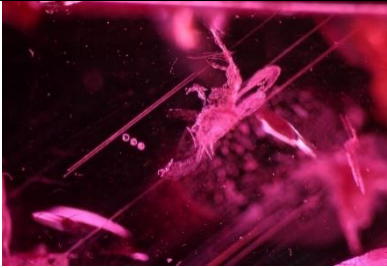
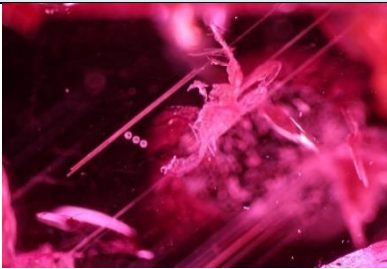
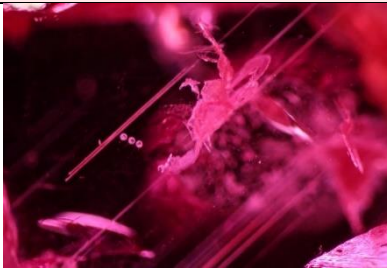
ตารางที่ 4-8 มลทินภายในของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน

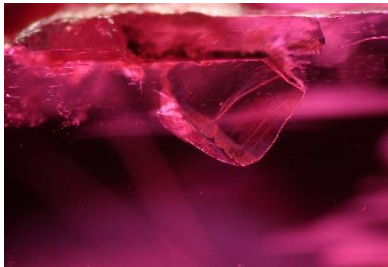
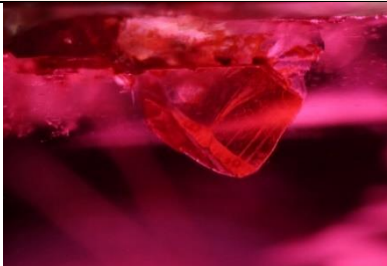
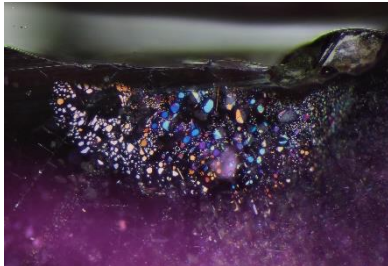
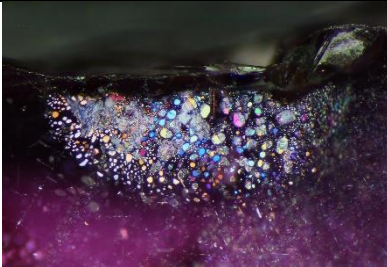
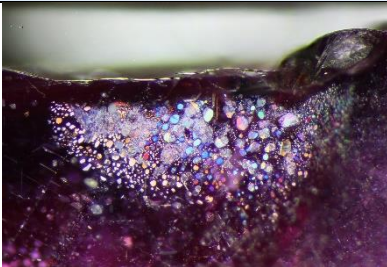
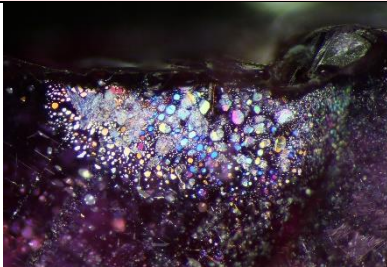
มลทินแร่ไมก้า	
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง
	
รหัสMZ013	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง
มลทินเหล็กออกไซด์ ตามรอยแตก (Goethite)	
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง
	
รหัสMZ018	มีสีเข้มขึ้น

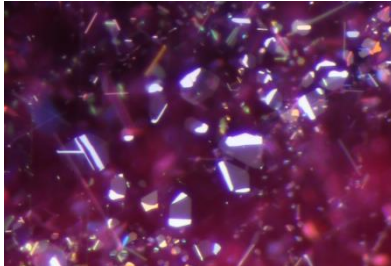
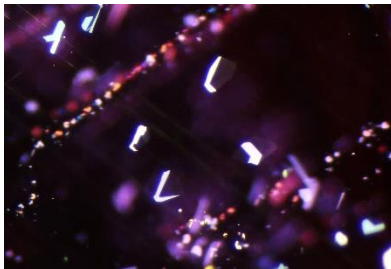
มลทินแร่ไมก้า		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
		
รหัสMZ021	มีการแตกเพิ่มขึ้น	มีการแตกเพิ่มขึ้น
มลทินแร่แอมฟิโบล		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
		
รหัสMZ023	มีการแตกเพิ่มขึ้น สีเข้มขึ้น	มีการแตกเพิ่มขึ้น สีเข้มขึ้น
มลทินเหล็กออกไซด์ ตามรอยแตก (Goethite)		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
		
รหัสMZ019	มลทินหลุดออก มีสีส้มขึ้น	มีสีส้มขึ้น

มลทินแร่ไพไรไทต์ (Pyrrhotite)		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
 รหัสMZ034	 ไม่พบการเปลี่ยนแปลง	 บริเวณขอบมีการหลุดออก
มลทินแร่โครไมต์ (Chromite)		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
 รหัสMZ034	 มีสีเข้มขึ้น	 ไม่พบการเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติม
มลทินแร่แอมฟิโบล		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง	
 รหัสMZ001	 มีสีที่เข้มขึ้น	

มลทินแร่ไมก้า		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
 รหัส : MZ017	 มีสีที่เข้มขึ้น	 มีสีที่เข้มขึ้น
	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
	 มีสีที่เข้มขึ้น มีการแตกเพิ่ม	 มีการแตกเพิ่ม
มลทินแร่แอมฟิโบล		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
 รหัส : MZ017	 ไม่พบการเปลี่ยนแปลง	 มีสีเข้มขึ้นเล็กน้อย
	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
	 มีสีเข้มขึ้นเล็กน้อย	 มีสีเข้มขึ้นชัดเจน

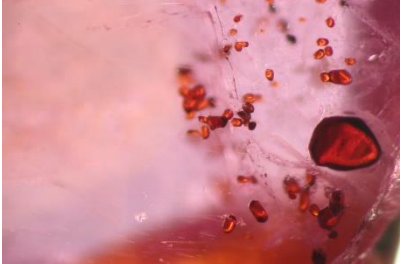
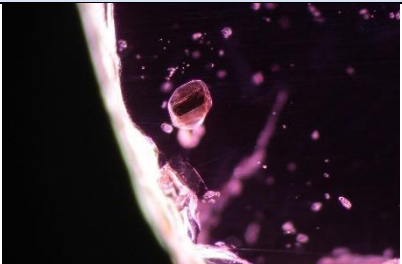
มลทินทุติยภูมิไดแอสปอร์		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
 รหัส : MZ017	 มีการแตกเพิ่มขึ้น	 มีการแตกเพิ่มขึ้น
	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
	 มีการแตกเพิ่มขึ้น	 มีการแตกเพิ่มขึ้น
มลทินทุติยภูมิไพโรไฟไลต์ (Pyrrhotite)		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
 รหัส : MZ008	 มีการแตกเพิ่มขึ้น	 มีการแตกเพิ่มขึ้น
	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
	 มีการแตกเพิ่มขึ้น	 มีการแตกเพิ่มขึ้น

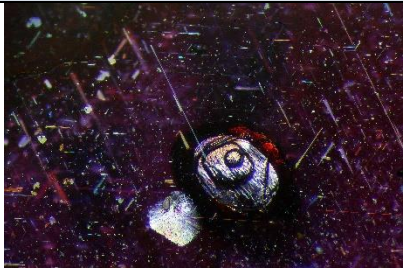
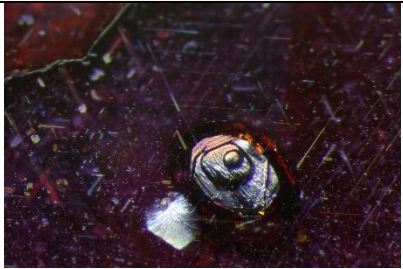
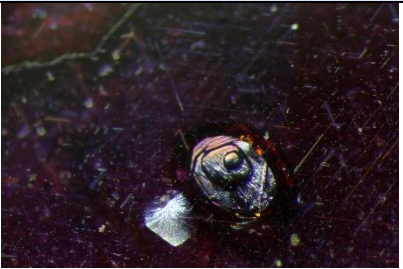
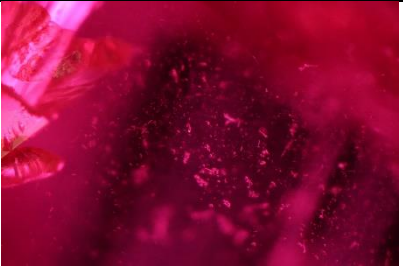
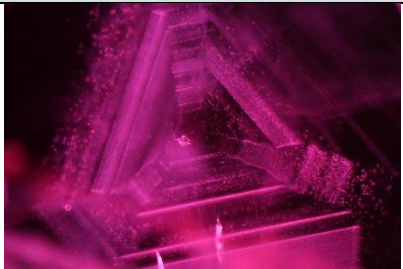
มลทินทุติยภูมิเหล็กออกไซด์ (Goethite)		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
 รหัส : MZ015	 มีสีที่เข้มขึ้น	 มีสีที่เข้มขึ้น
	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
	 มีสีที่เข้มขึ้น	 มีสีที่เข้มขึ้น
มลทินของไหลสะท้อนแสง		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
 รหัส : MZ017	 ดำหนิที่อยู่บริเวณผิวถูกทำลาย	 ดำหนิที่อยู่บริเวณผิวถูกทำลาย
	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
	 ดำหนิที่อยู่บริเวณผิวถูกทำลาย	 ดำหนิที่อยู่บริเวณผิวถูกทำลาย

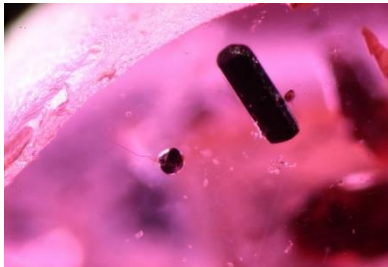
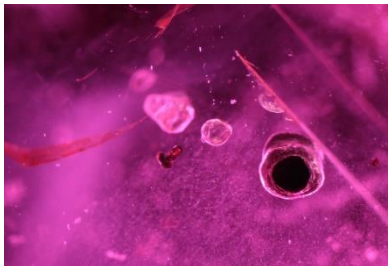
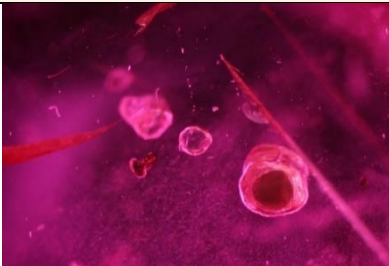
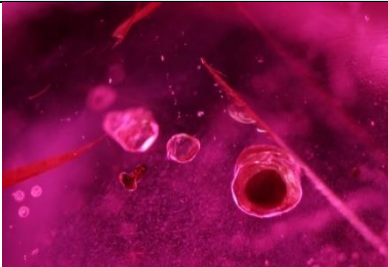
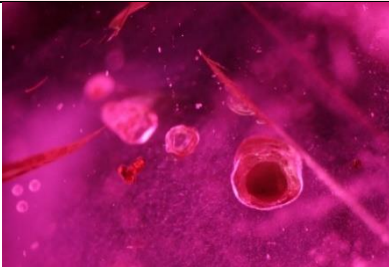
มลทินแผ่นฟิล์มบางสะท้อนแสง		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
 รหัส : MZ017	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง
	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง
มลทินแผ่นฟิล์มบางสะท้อนแสง		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
 รหัส : MZ017	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง
	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
	มีการแตกเพิ่ม	มีการแตกเพิ่ม

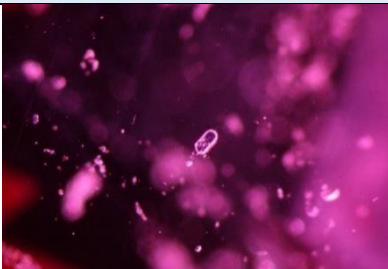
มลทินภายในของทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์

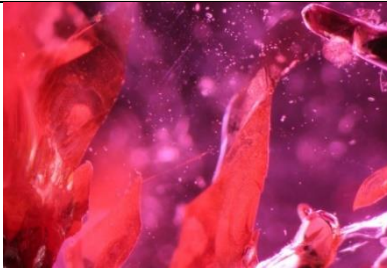
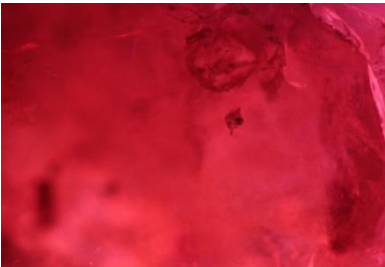
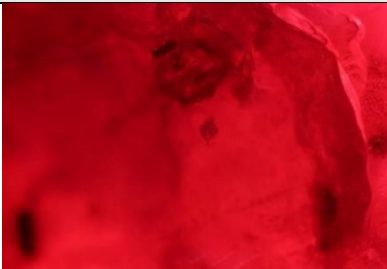
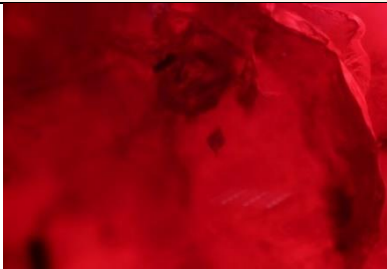
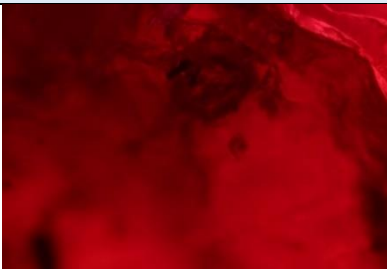
ตารางที่ 4-9 มลทินภายในของทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์หลังการปรับปรุงด้วยความความร้อน

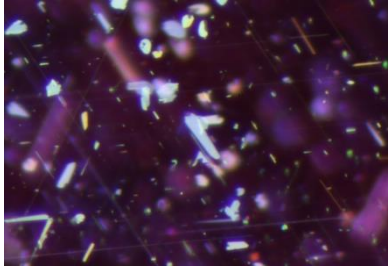
มลทินแร่รูไทล์	
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง
	
รหัสMD028	เปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน
มลทินทุติยภูมิเหล็กออกไซด์ ตามรอยแตก (Goethite)	
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง
	
รหัสMD028	มีสีที่เข้มขึ้น
มลทินแร่ไบโอไทต์	
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง
	
รหัสMD004	มีการแตกเพิ่ม

มลทินแร่รูไทล์		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
		
รหัสMD016	เปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน	เปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน
มลทินแร่เซอร์คอน		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
		
รหัสMD014	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง
มลทินของแร่ไมก้า		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง	
		
รหัสMD032	มีการแตกเพิ่ม	

มลทินแร่รูไทล์		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
 รหัส : MZD013	 บางส่วนมีการหลุดออกไป	 บางส่วนมีการหลุดออกไป
	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
	 บางส่วนมีการหลุดออกไป	 บางส่วนมีการหลุดออกไป
มลทินแร่อะพาไทต์		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
 รหัส : MD010	 ไม่เปลี่ยนแปลง	 ไม่เปลี่ยนแปลง
	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
	 ไม่เปลี่ยนแปลง	 ไม่เปลี่ยนแปลง

มลทินแร่แอนาเทส		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
 รหัส : MD010		
	มีสีที่เข้มขึ้น	มีสีที่เข้มขึ้น
	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
		
	มีสีที่เข้มขึ้น	มีสีที่เข้มขึ้น
มลทินแร่เซอร์คอน		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
 รหัส : MD013		
	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
		
	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง

มลทินทุติยภูมิเหล็กออกไซด์ ตามรอยแตก (Goethite)		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
 รหัส : MD013	 มีสีที่เข้มขึ้น	 มีสีที่เข้มขึ้น
	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
	 มีสีที่เข้มขึ้น	 มีสีที่เข้มขึ้น
มลทินแร่ไพโรฟิลไลต์ (Pyrophyllite)		
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
 รหัส : MD010	 มีการแตกเพิ่ม	 มีการแตกเพิ่ม
	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
	 มีการแตกเพิ่ม	 มีการแตกเพิ่ม
มลทินแผ่นฟิล์มบางสะท้อนแสง		

ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	เผาที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
 รหัส : MD013	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง ชัดเจน	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง ชัดเจน
	เผาที่ 700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง
	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง ชัดเจน	ไม่พบการเปลี่ยนแปลง ชัดเจน

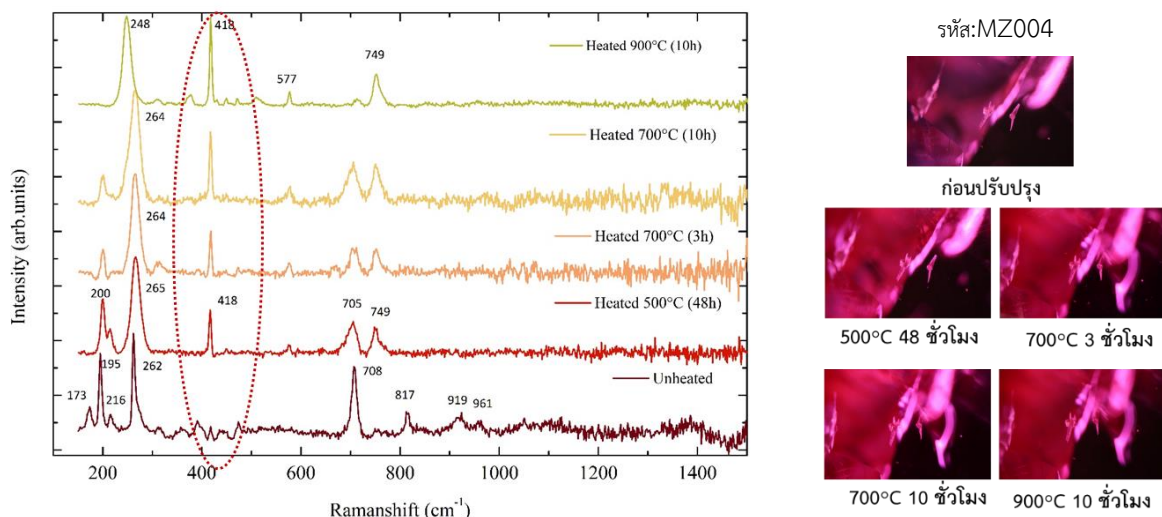
4.10.3 ผลการวิเคราะห์ผลหินด้วย Raman Spectroscopy

ผลจากการใช้เทคนิครามานในการวิเคราะห์ผลหินภายในนอกจากจะทำให้ทราบถึงชนิดของผลหินซึ่งมีความสัมพันธ์กับแหล่งกำเนิดของทับทิมแล้ว ยังสามารถใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลหินเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งผลหินบางชนิดมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 500 องศาเซลเซียสขึ้นไป บางชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเราสามารถนำผลจากข้อนี้มาใช้ในการจำแนกทับทิมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนได้ โดยแสดงข้อมูลที่ได้ดังนี้

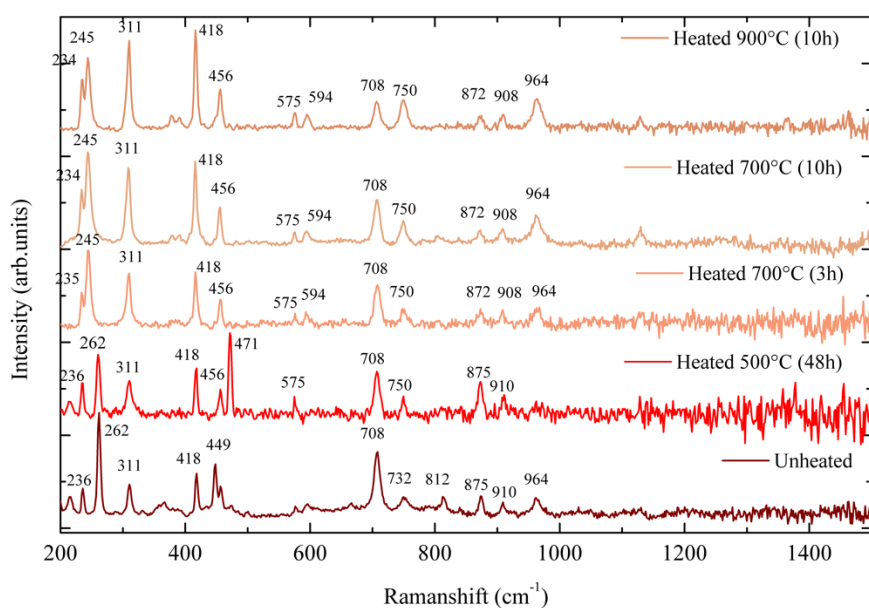
สเปกตรัมของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก

ผลหินของกลุ่มแร่ไมก้า

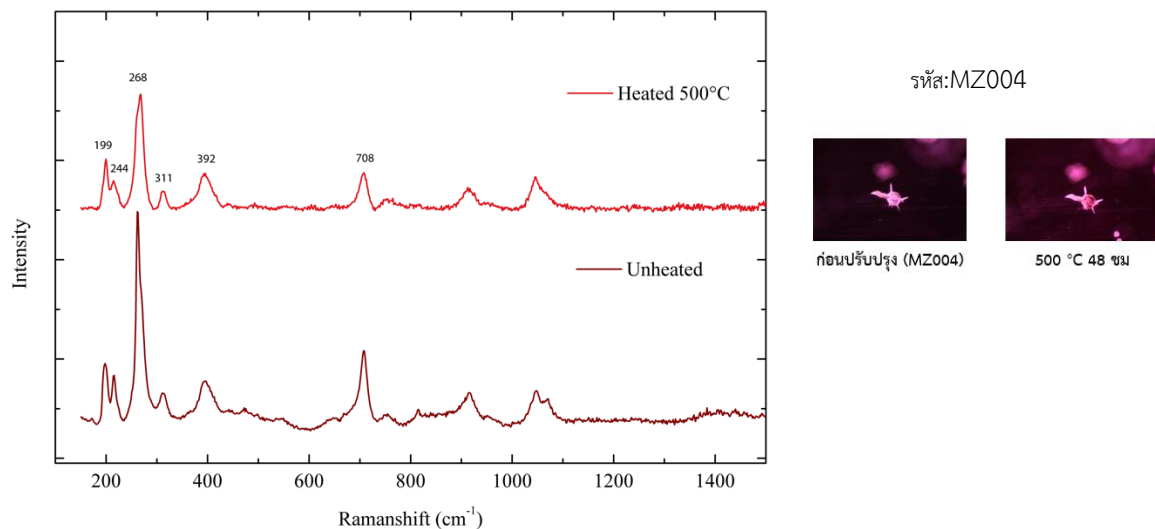
ผลการศึกษาพบว่าสเปกตรัมบางตัวอย่างของผลหินไมก้ามีการเปลี่ยนแปลง ดังภาพที่ 4-42 และ 4-43 โดยมีพีคเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่งประมาณ 418 cm^{-1} ซึ่งการที่สเปกตรัมของผลหินไมก้าเกิดการเปลี่ยนแปลงนั้น อาจมีสาเหตุมาจากแร่ไมก้าจะเกิดการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการสูญเสียจากโมเลกุล (dehydroxylation) ตั้งแต่อุณหภูมิ 500 -1000 องศาเซลเซียส (Schomburg et al., 1997) ซึ่งอาจส่งผลต่อสเปกตรัมรามานทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบางส่วน แต่ก็พบว่าบางตัวอย่างของผลหินแร่ไมก้าก็ไม่พบการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน (ภาพที่ 4-44)



ภาพที่ 4-42 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินแร่ไมก้าในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน ซึ่งพบการเปลี่ยนแปลง



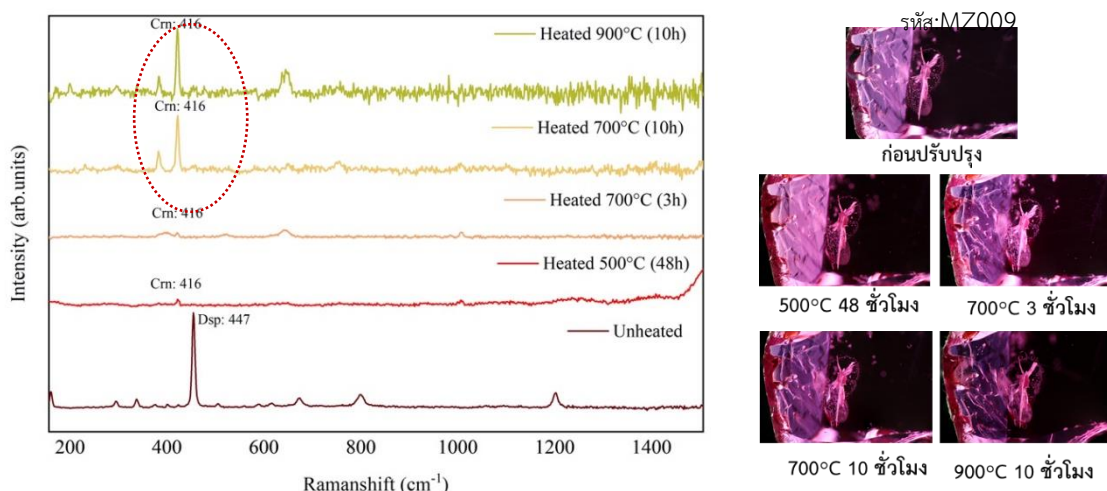
ภาพที่ 4-43 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินแร่ไมก้าในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน ซึ่งพบการเปลี่ยนแปลง



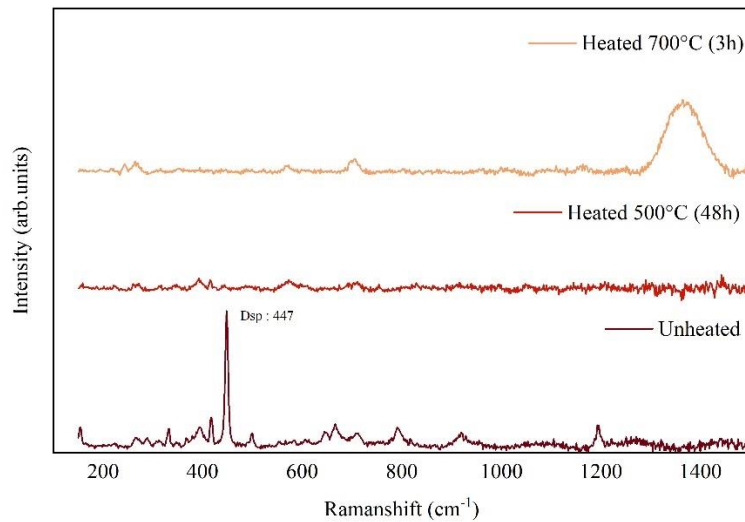
ภาพที่ 4-44 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินแร่ไมก้าในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อนซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลง

มลทินของแร่ไดแอสปอร์

ผลการศึกษาพบว่าหลังจากทำการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 48 ชั่วโมง ไม่พบสเปกตรัมของมลทินแร่ไดแอสปอร์ (ภาพที่4-45) แต่พบรามานสเปกตรัมของคอร์ันดัมแทน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าไดแอสปอร์ (α -AlOOH) เมื่อโดนความร้อนตั้งแต่ 500 องศาเซลเซียสขึ้นไป จะสลายและเปลี่ยนเป็นอัลฟราเฟส ซึ่งคือคอร์ันดัม (α -Al₂O₃) (Yang et al., 2004) ทั้งนี้จะเห็นว่าคอร์ันดัมเป็นเนื้อหลักของพลอยตัวอย่าง ซึ่งพิจารณาว่าการวิเคราะห์ด้วยรามาน หากวิเคราะห์โดนเนื้อหลัก จะถูกกระตุ้นง่ายและสามารถให้พีคที่สูงได้ชัดเจน แต่ในการวิเคราะห์นี้ต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์นานและมีการสแกนซ้ำหลายรอบ ถึงจะให้ผลลัพธ์ของพีคที่ชัดเจนขึ้น อย่างไรก็ตาม สามารถใช้การมีอยู่ของไดแอสปอร์นี้ในการบ่งชี้ว่าตัวอย่างผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนหรือไม่



ภาพที่4-45 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินแร่ไดแอสปอร์ในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน

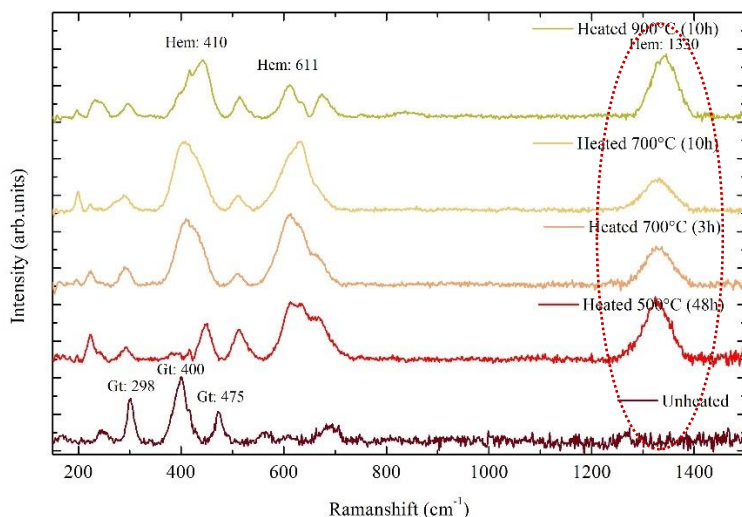


รหัส: MZ015

ภาพที่ 4-46 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินแร่ไดเอสเปอร์ไรต์ในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน

มลทินเหล็กออกไซด์ (Goethite)

ผลการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนพบว่าที่อุณหภูมิตั้งแต่ 500 องศาเซลเซียสขึ้นไป มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะสเปกตรัมดังภาพที่ 4-47 -4-48 ซึ่งเกิดจากมลทิน goethite ได้เปลี่ยนเป็น Hematite โดยแสดงตำแหน่งสเปกตรัมที่ 227, 246, 293, 412, 498, 610 และ 1322 cm^{-1} (de Faria et al., 2007) โดยจากการศึกษาพบว่ามลทิน goethite สามารถเปลี่ยนเฟสเป็น hematite ได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสขึ้นไป (Gualtieri et al., 1999) สามารถใช้มลทินนี้ในการบ่งชี้พลอยที่เฝ้าอุณหภูมิทำได้ นอกจากนี้ยังสามารถพบมลทิน Hematite ในรูปของผลึกแร่ (mineral inclusion) ในตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเผาได้ดังภาพที่ 4-49



รหัส : MZ014



ก่อนปรับปรุง



500°C 48 ชั่วโมง



700°C 3 ชั่วโมง

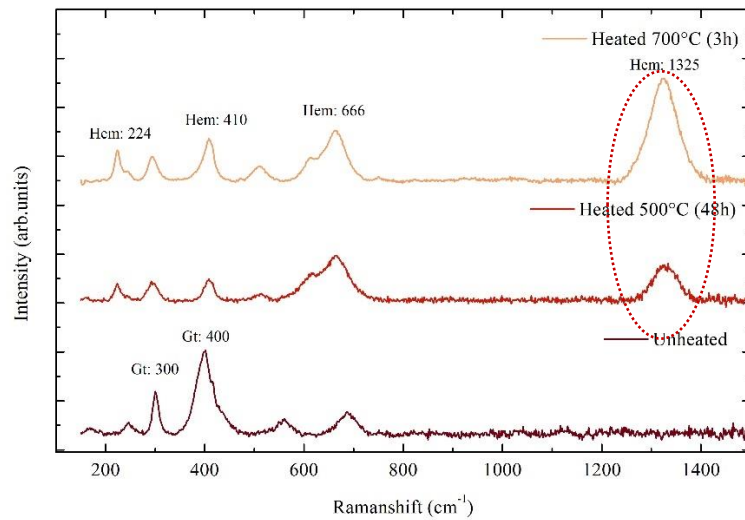


700°C 10 ชั่วโมง

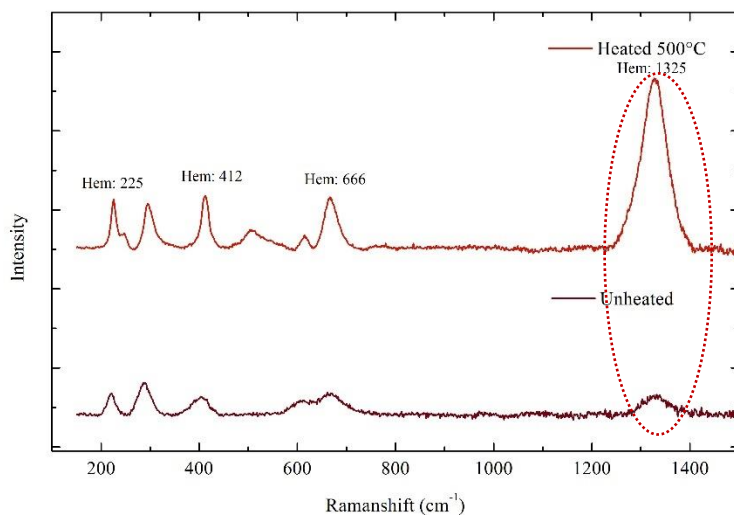


900°C 10 ชั่วโมง

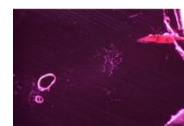
ภาพที่ 4-47 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินเหล็กออกไซด์ในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน



ภาพที่ 4-48 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินเหล็กออกไซด์ในขั้วลบจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน



รหัส : MZ013



ก่อนปรับปรุง

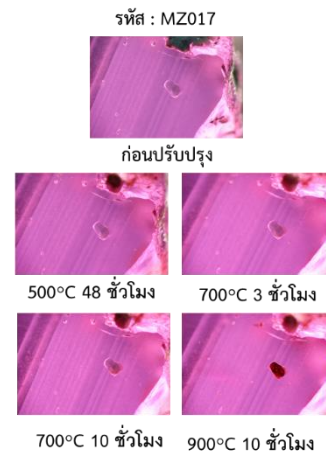
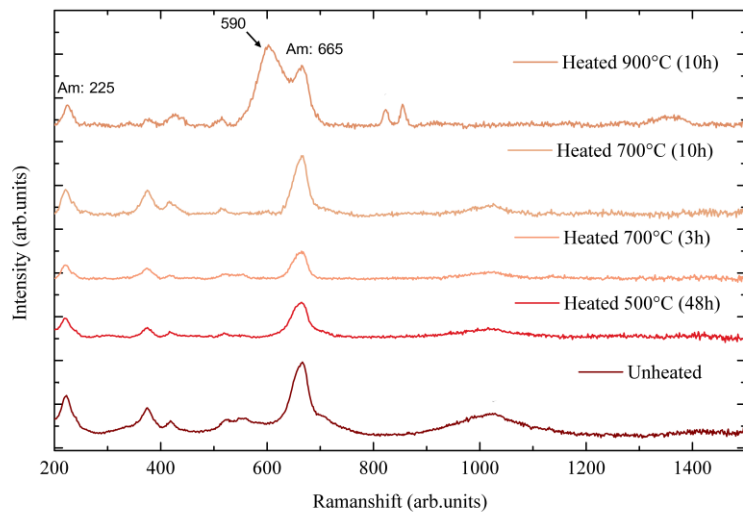


500°C 48 ชั่วโมง

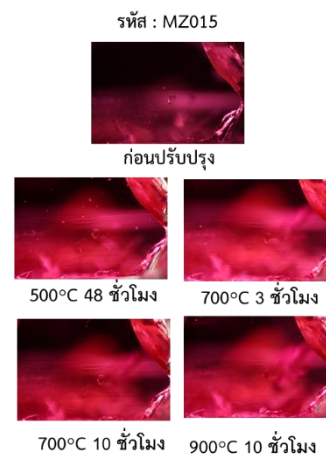
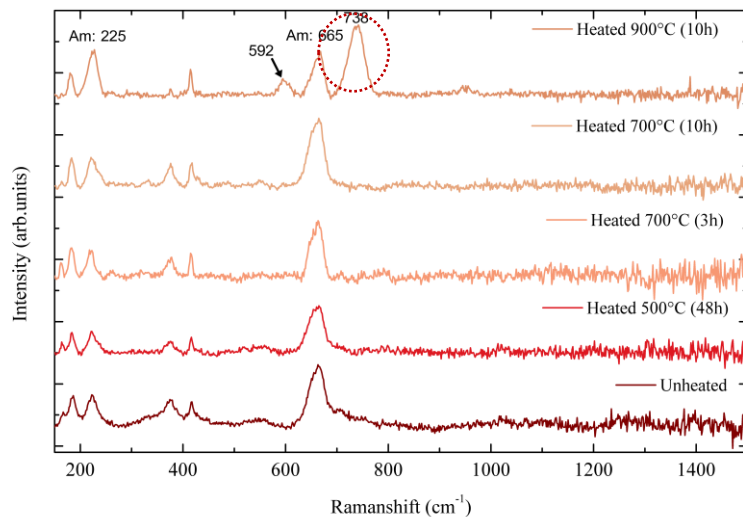
ภาพที่ 4-49 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินเหล็กออกไซด์ในขั้วลบจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน

มลทินของแร่แอมฟิโบล

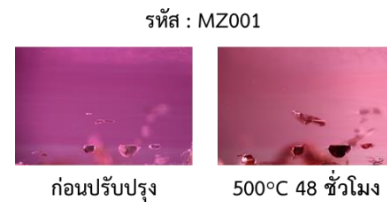
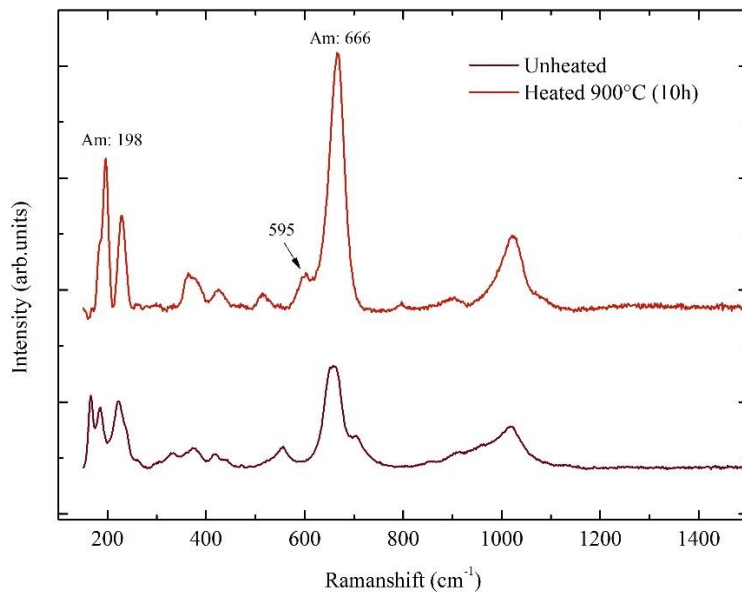
ผลการศึกษาพบว่าเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง 700 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมงและ 10 ชั่วโมง สเปกตรัมของมลทินแร่แอมฟิโบลไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส พบว่ามีการเพิ่ม intensity ของพีคประมาณ 590 cm^{-1} ซึ่งยังไม่ทราบสาเหตุการเปลี่ยนแปลงที่แน่นอน แสดงดังภาพที่ 4-50- 4-52



ภาพที่ 4-50 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินแร่แอมฟิโบลที่พบจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน



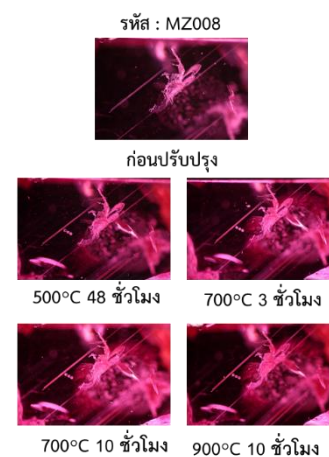
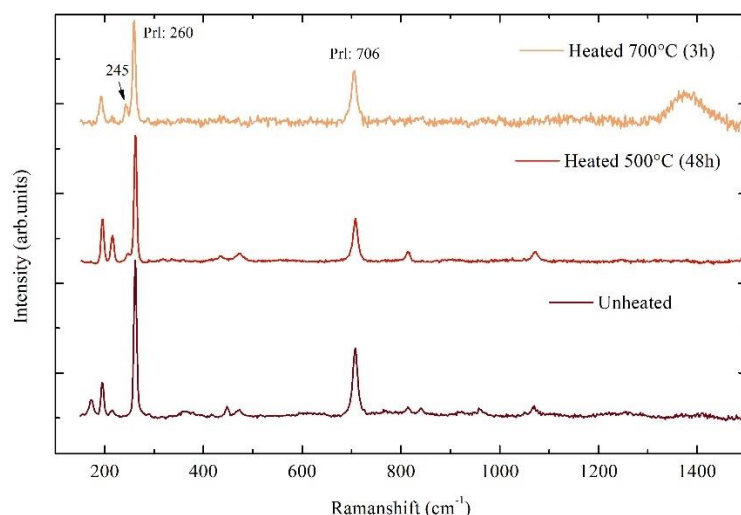
ภาพที่ 4-51 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินแร่แอมฟิโบลที่พบจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน



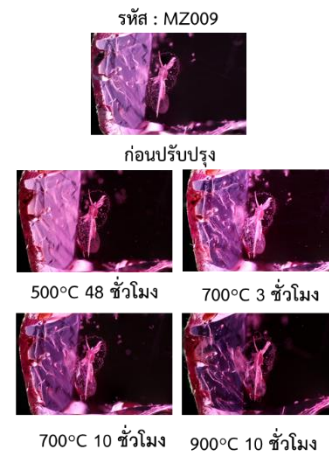
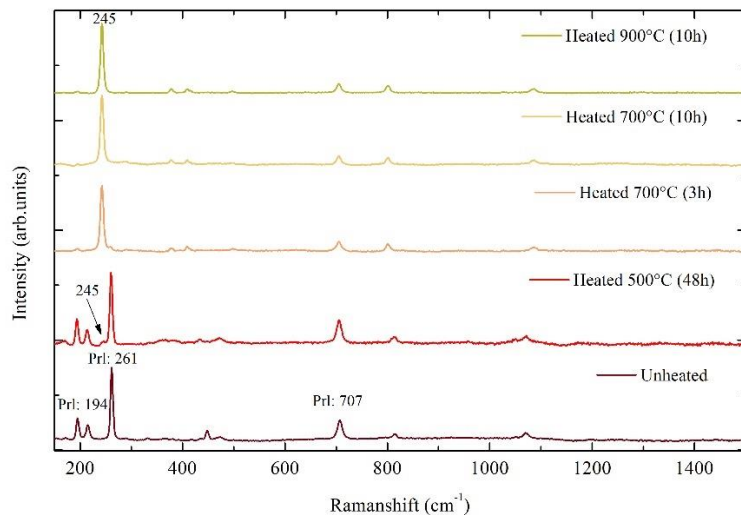
ภาพที่ 4-52 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินแร่แอมฟีโบลที่บดจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน

มลทินแร่ Pyrophyllite

ผลการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของรามานสเปกตรัมที่อุณหภูมิตั้งแต่ 500 องศาเซลเซียส โดยพบพีคที่ตำแหน่งประมาณ 245 cm^{-1} และจะค่อย ๆ เด่นชัดเมื่อมีการผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุจากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างบางส่วนและสูญเสียน้ำออกจากโมเลกุล (dehydroxylation) (Wang et al., 2002) แสดงดังภาพที่ 4-53 – 4-54



ภาพที่ 4-53 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินแร่ไพโรฟิลไลต์ในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน

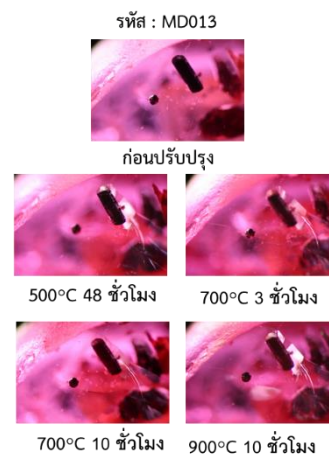
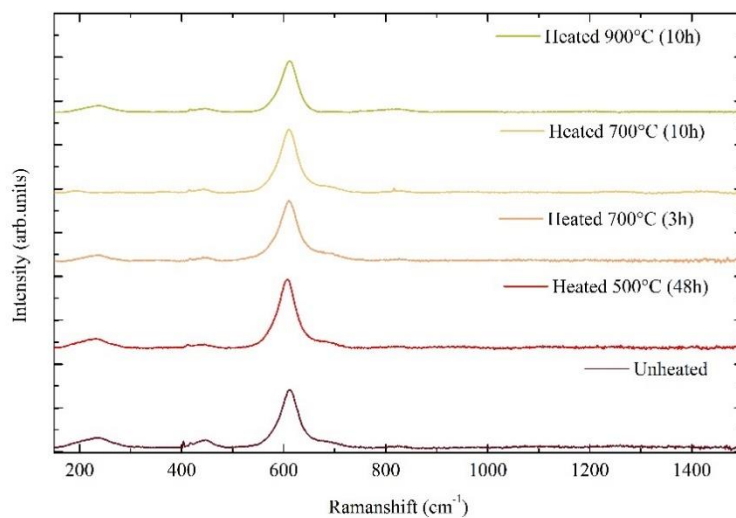


ภาพที่ 4-54 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินแร่ไพโรฟิลไลต์ในท่อน้ำจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน

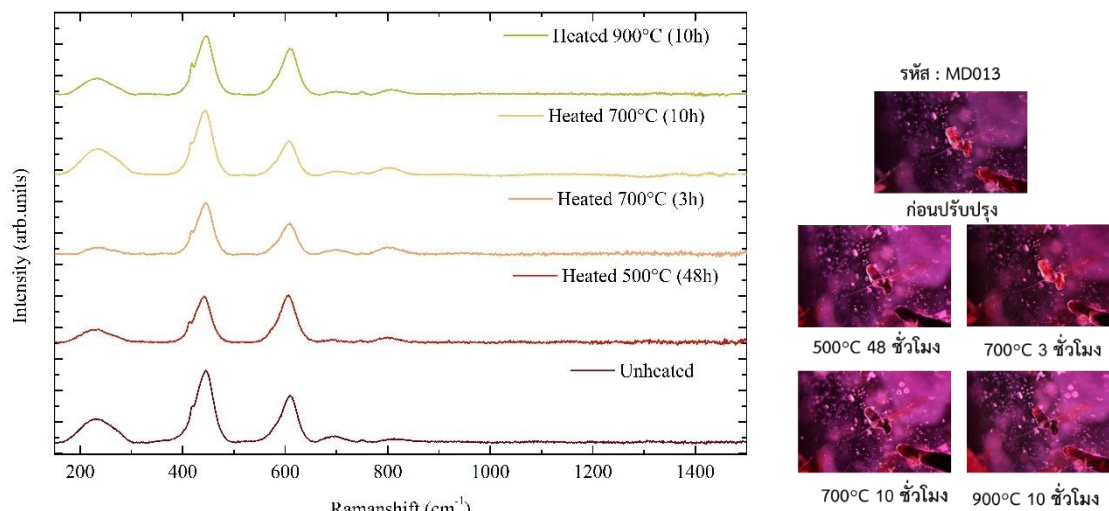
สเปกตรัมของท่อน้ำจากแหล่งมาดากัสการ์

มลทินของแร่รูไทล์

ผลการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมมลทินแร่รูไทล์ แสดงดังภาพที่ 4-55 -4-56



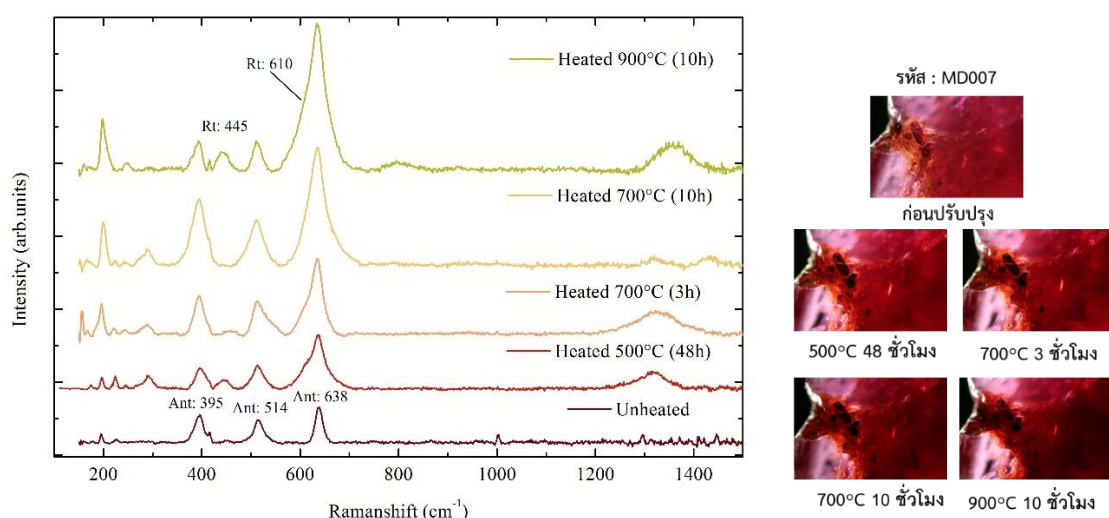
ภาพที่ 4-55 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินแร่รูไทล์ในท่อน้ำจากแหล่งมาดากัสการ์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน



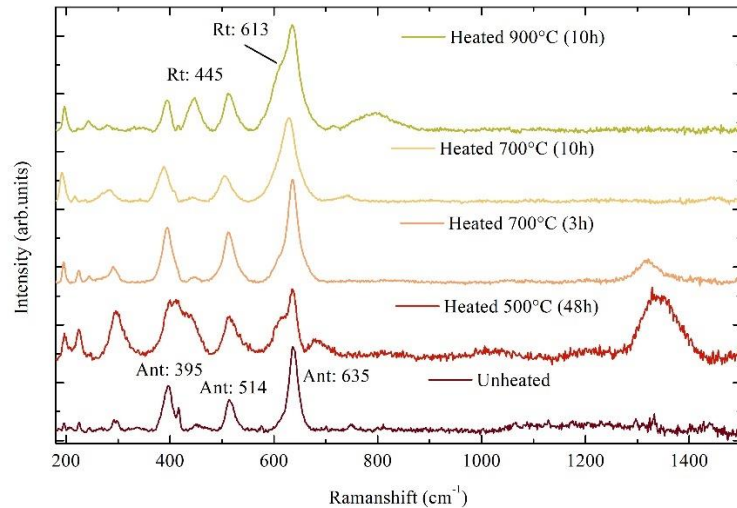
ภาพที่ 4-56 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินเรซินุ์ไธลีนในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน

มลทินของแร่แอนาเทส

ผลการปรับปรุงด้วยความร้อนพบว่าที่อุณหภูมิ 700 และ 900 องศาเซลเซียส พิกัดตำแหน่งบริเวณ 445 และ 610 cm⁻¹ มีความเข้มแสงและช่วงความกว้างของพีกที่มากขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุงด้วยความร้อน โดยจากการศึกษาพบว่าแร่แอนาเทสเมื่อได้รับความร้อนประมาณ 600 องศาเซลเซียสขึ้นไปจะสามารถเปลี่ยนเป็นรูไทล์ (Hanaor et al., 2010) แต่ผลจากรามานสเปกตรัม อาจจะยังไม่มีเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัด แต่แสดงแนวโน้มที่ถูกทำให้เปลี่ยนแปลงสภาพไป โดยแสดงสเปกตรัมรามานดังภาพที่ 4-57- 4-58



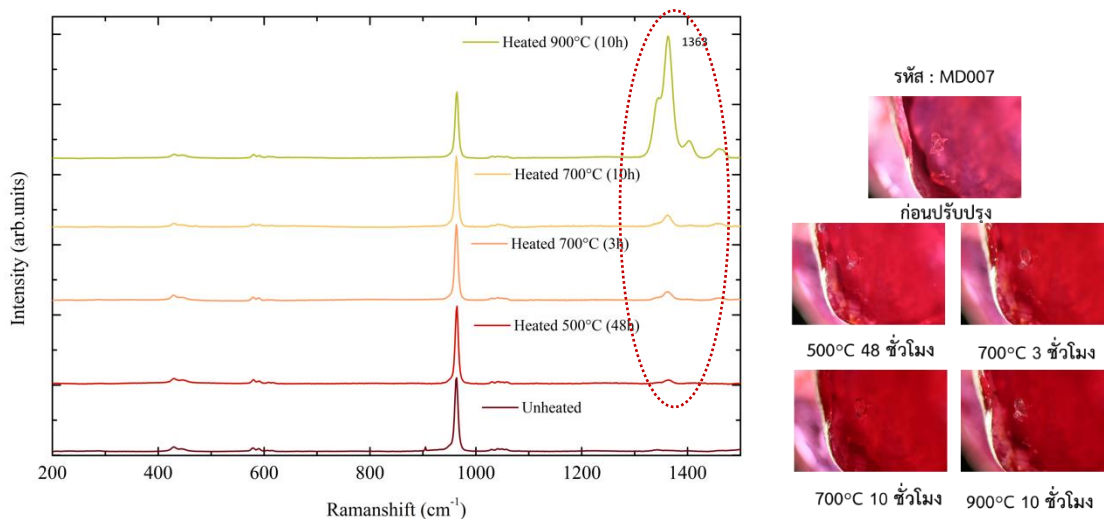
ภาพที่ 4-57 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินแร่แอนาเทสในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน



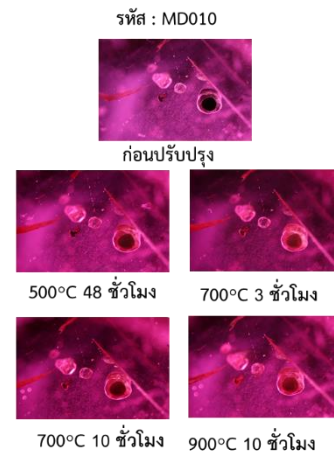
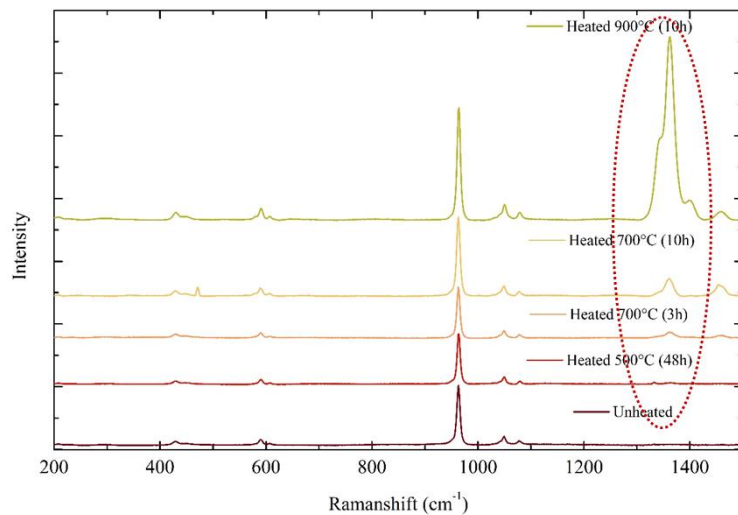
ภาพที่ 4-58 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินแร่อะพาไทด์ในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน

มลทินของแร่อะพาไทด์

ผลการปรับปรุงด้วยความร้อนพบว่าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง 700 องศาเซลเซียส 3 และ 10 ชั่วโมง สเปกตรัมรามานของมลทินอะพาไทด์เริ่มปรากฏพีกที่ตำแหน่งประมาณ 1360 cm^{-1} แต่เมื่อทำการปรับปรุงที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง ปรากฏพีกที่ตำแหน่งประมาณ 1360 cm^{-1} เด่นชัด แสดงดังภาพที่ 4-59 - 4-60



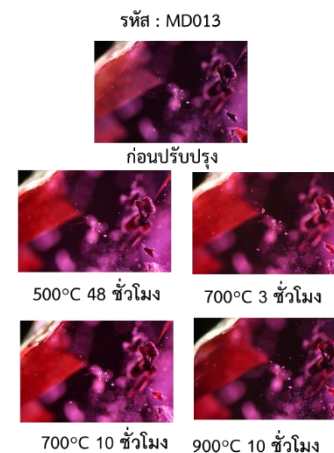
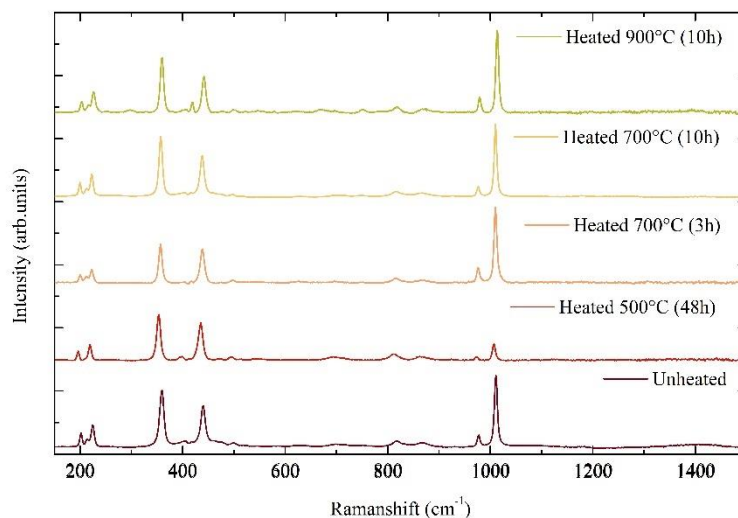
ภาพที่ 4-59 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินแร่อะพาไทด์ในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน



ภาพที่ 4-60 แสดงสเปกตรัมรามานของมัลทินแร่อะพาไทต์ในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน

มัลทินของแร่เซอร์คอน

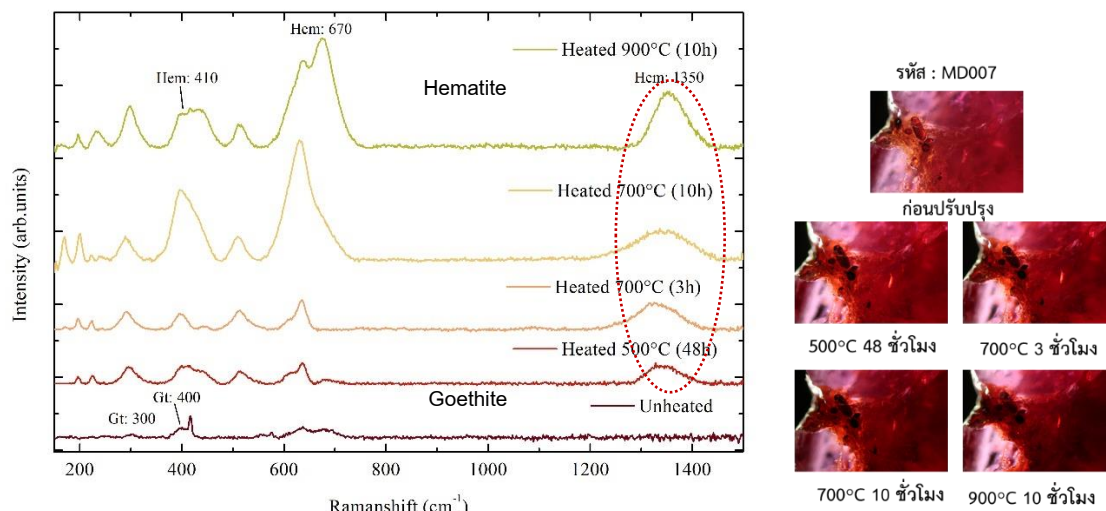
ผลการปรับปรุงด้วยความร้อนทุกช่วงอุณหภูมิไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัด แสดงดังภาพที่ 4-61



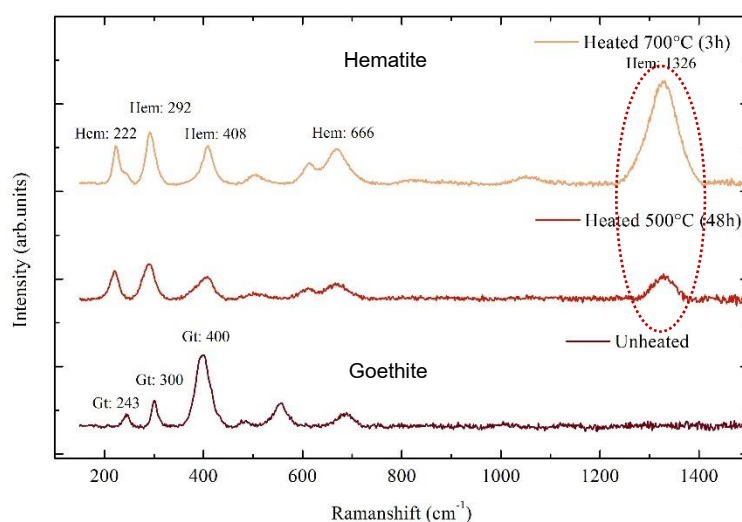
ภาพที่ 4-61 แสดงสเปกตรัมรามานของมัลทินแร่เซอร์คอนในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน

มัลทินเหล็กออกไซด์

ผลการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนพบว่าที่อุณหภูมิตั้งแต่ 500 องศาเซลเซียสขึ้นไป มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะสเปกตรัมดังภาพที่ 4-62 – 4-63 ซึ่งเกิดจากมัลทิน goethite ได้เปลี่ยนเป็น hematite สามารถใช้มัลทินนี้ในการบ่งชี้พลอยที่เฝ้าอุณหภูมิต่ำได้



ภาพที่ 4-62 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินเหล็กออกไซด์ในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน



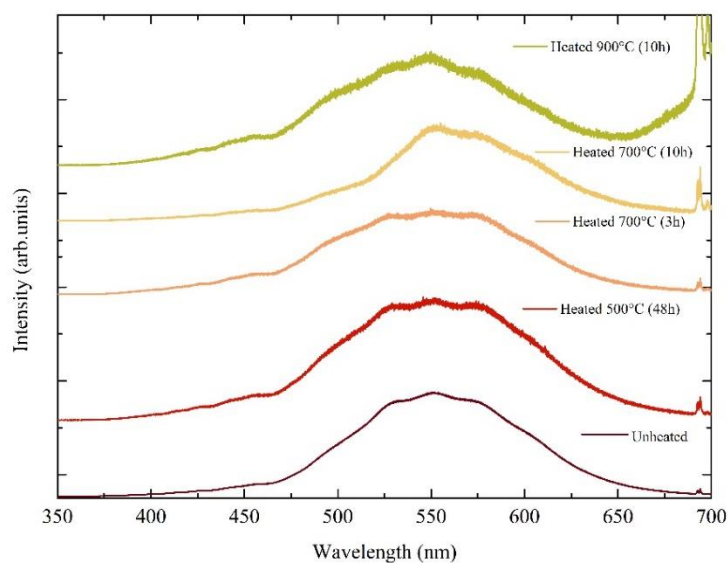
ภาพที่ 4-63 แสดงสเปกตรัมรามานของมลทินเหล็กออกไซด์ในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน

4.10.4 ผลการวิเคราะห์ PL spectrophotometer

ผลการวิเคราะห์การเปล่งแสงของมลทินภายในทับทิม จากการใช้เลเซอร์ 325 และ 785 นาโนเมตร ในการกระตุ้น พบว่า หลังการปรับปรุงด้วยความร้อนมลทินบางชนิด มีการแสดงลักษณะที่เปลี่ยนไปจากเดิม โดยแสดงผลดังนี้

สเปกตรัมการเปล่งแสงของมลทินภายในทับทิมแหล่งโมซัมบิก

ผลการกระตุ้นด้วยเลเซอร์ 325 นาโนเมตร พบว่า สเปกตรัมของมลทินแร่ไม่กำมีการเปล่งแสงลดลง และมีการเลื่อนขยับของพีค แต่ยังไม่สามารถระบุสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงได้ (ภาพที่4-64)



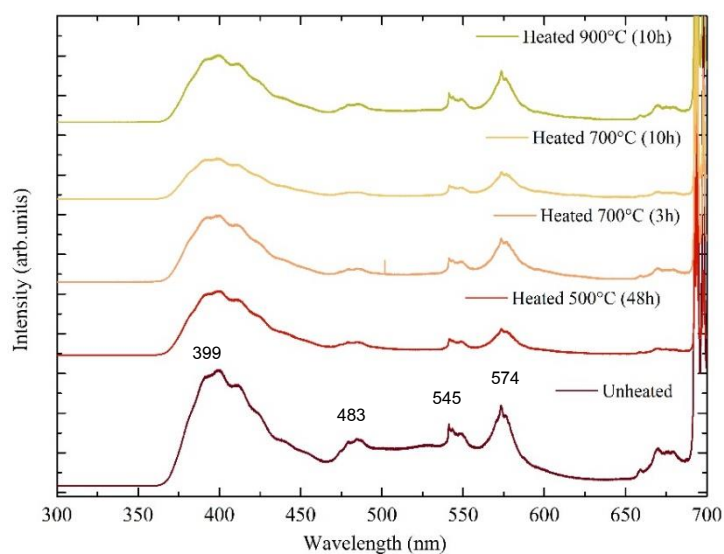
รหัส: MZ008

เลเซอร์ 325 nm

ภาพที่ 4-64 สเปกตรัมการเปล่งแสงของมัลทินแร่ไม่ก้ำภายในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก ก่อนและหลังผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อน

สเปกตรัมการเปล่งแสงของมัลทินภายในทับทิมแหล่งมาดากัสการ์

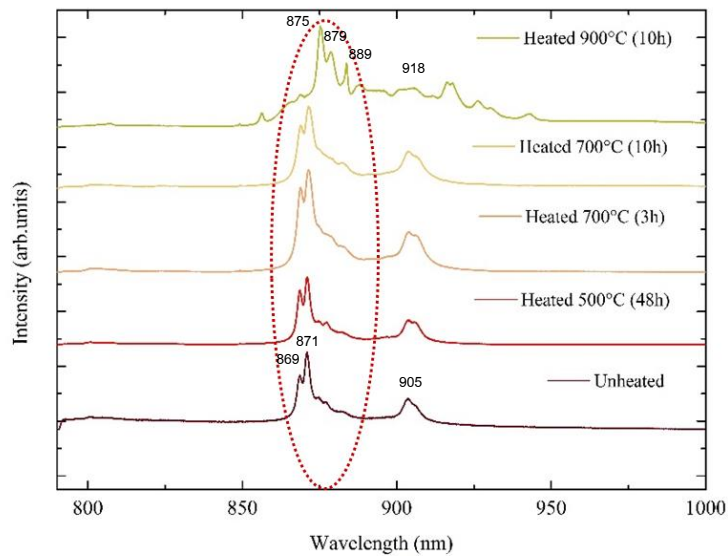
ผลการกระตุ้นด้วยเลเซอร์ 325 และ 785 นาโนเมตร พบว่า สเปกตรัมของมัลทินแร่อะพาไทต์เมื่อกระตุ้นด้วยเลเซอร์ 325 นาโนเมตร ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (ภาพที่ 4-65) แต่เมื่อกระตุ้นด้วยเลเซอร์ 785 พบว่า มีการเปล่งแสงที่ต่างจากเดิมที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง (ภาพที่ 4-66) ซึ่งสอดคล้องกับรามานสเปกตรัมที่มีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิเดียวกัน และมีการเลื่อนขยับของพีค แต่ยังไม่สามารถระบุสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงได้



รหัส: MD010

เลเซอร์ 325 nm

ภาพที่ 4-65 สเปกตรัมการเปล่งแสงของมัลทินแร่อะพาไทต์ภายในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ ก่อนและหลังผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อน

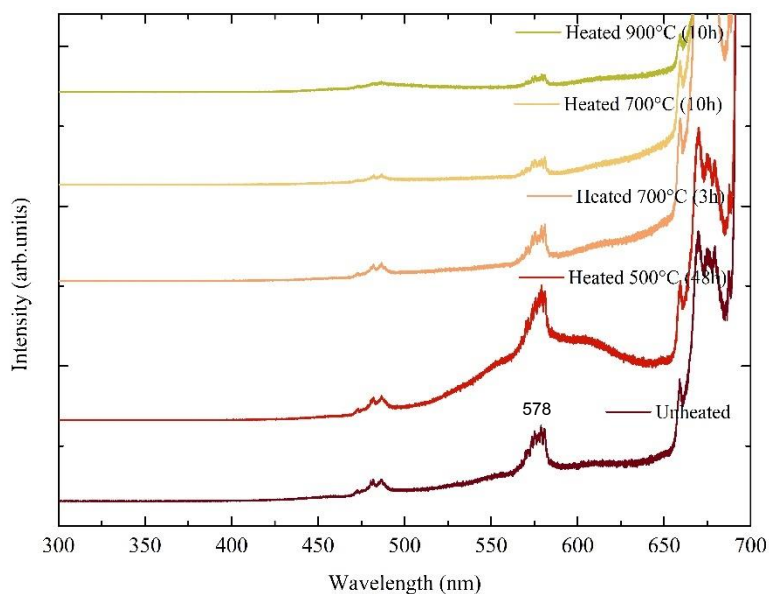


รหัส:MD010

เลเซอร์ 785 nm

ภาพที่ 4-66 สเปกตรัมการเปล่งแสงของมลทินแร่อะพาไทต์ภายในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก ก่อนและหลังผ่าน การปรับปรุงด้วยความร้อน

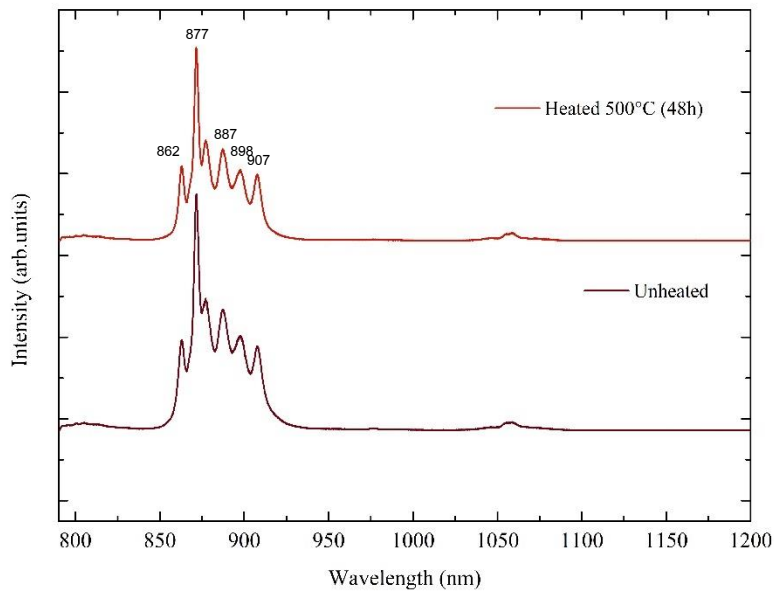
นอกจากนี้ยังพบว่ามลทินแร่เซอร์คอน และมลทินแร่รูไทล์ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัด เมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยเลเซอร์ 325 และ 785 นาโนเมตร ดังภาพที่ 4-67 – 4-69



รหัส:MD020

เลเซอร์ 325 nm

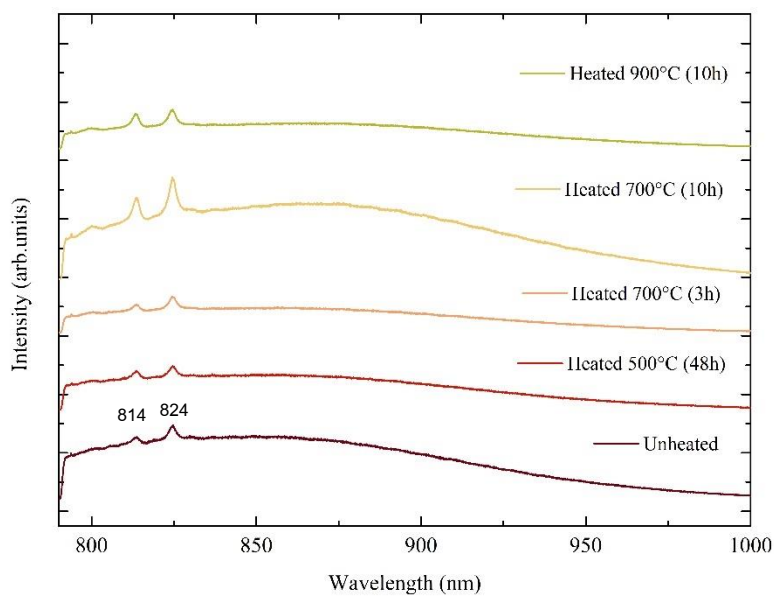
ภาพที่ 4-67 สเปกตรัมการเปล่งแสงของมลทินแร่เซอร์คอนภายในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ ก่อนและหลัง ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อน



รหัส:MD034

เลเซอร์ 785 nm

ภาพที่ 4-68 สเปกตรัมการเปล่งแสงของมลทินแร่เซอร์คอนภายในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ ก่อนและหลัง
ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อน



รหัส:MD013

เลเซอร์ 785 nm

ภาพที่ 4-69 สเปกตรัมการเปล่งแสงของมลทินแร่รูไทล์ภายในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ ก่อนและหลังผ่าน
การปรับปรุงด้วยความร้อน

4.10.5 ผลการวิเคราะห์ UV-VIS-NIR Spectrophotometer

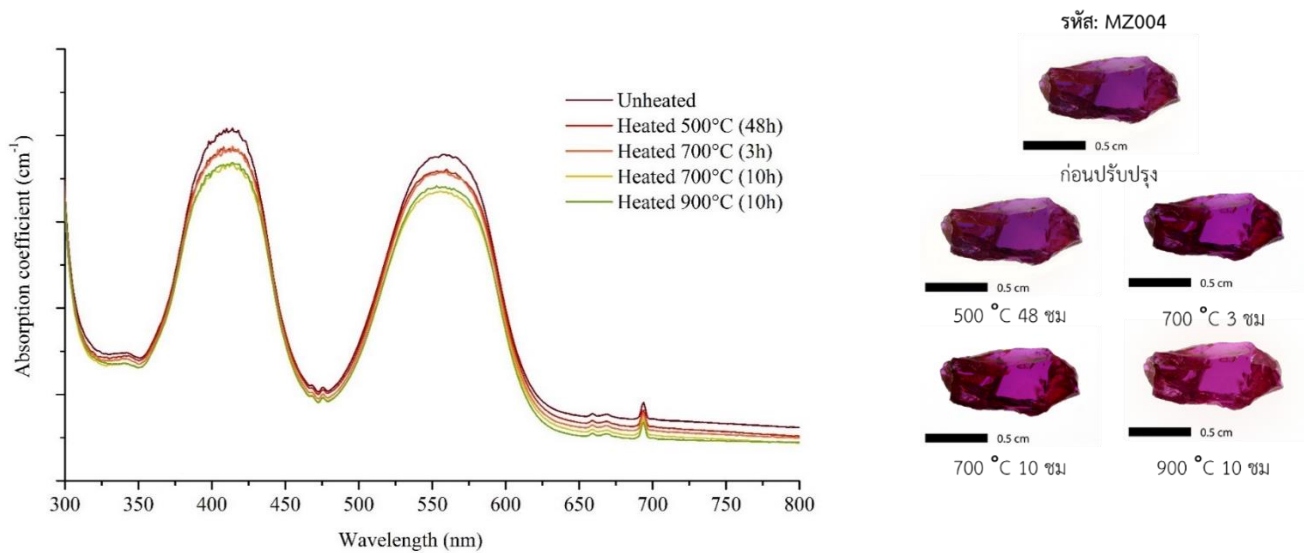
ผลการศึกษาการดูดกลืนแสงของทับทิมหลังการปรับปรุงด้วยความร้อนพบว่า ทั้งทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกและจากแหล่งมาดากัสการ์ ที่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง มีการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงไม่เด่นชัด เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น (700 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง และ 900 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง) มีการดูดกลืนแสงที่ลดลง ซึ่งส่งผลให้ทับทิมมีสีที่อ่อนลงสอดคล้องกับสีทับทิมที่ได้จากการเปรียบเทียบ โดยจากการศึกษาได้แบ่งกลุ่มการเผาโดยมีเงื่อนไขต่าง ๆ ดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 แสดงกลุ่มตัวอย่างที่เงื่อนไขต่าง ๆ

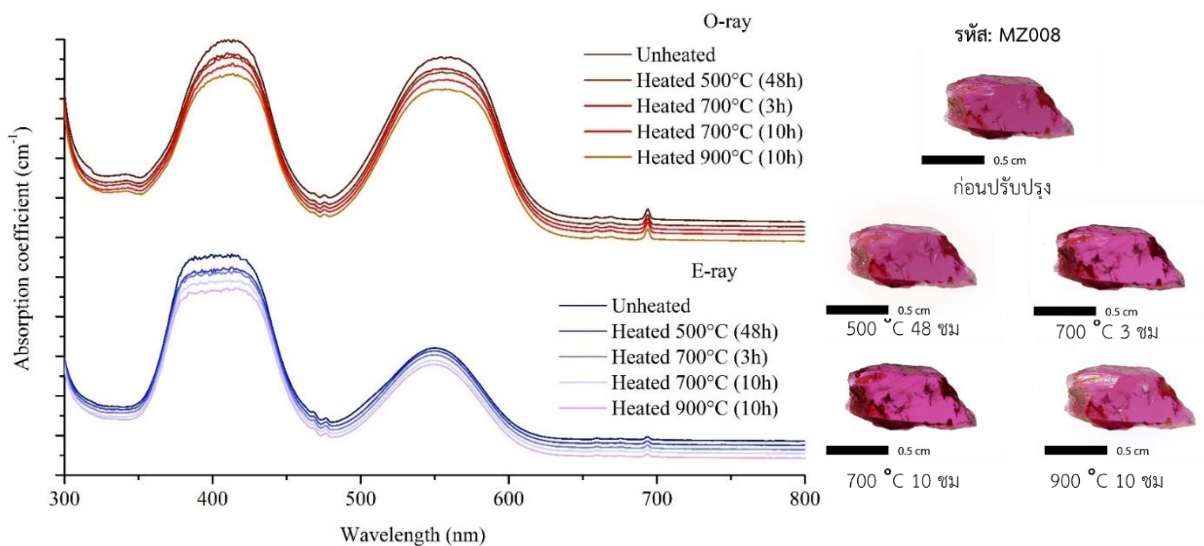
แบ่งกลุ่มการทดลอง	ตัวอย่างจากแหล่ง โมซัมบิก		ตัวอย่างจากแหล่ง มาดากัสการ์	
	O-ray	O-ray,E-ray	O-ray	O-ray,E-ray
กลุ่มที่ 1 : เผาที่ 500° C 48 ชั่วโมง	MZ018 MZ025 MZ031	MZ002	MD001 MD004 MD006 MD008 MD013	MD036
กลุ่มที่ 2 : เผาที่ 700° C 3 ชั่วโมง และ 10 ชั่วโมง	MZ019 MZ021 MZ023 MZ030 MZ033 MZ034	-	MD002 MD014 MD015 MD016 MD021 MD034	-
กลุ่มที่ 3 : เผาที่ 900° C 10 ชั่วโมง	MZ012 MZ026 MZ028 MZ032	MZ001 MZ024	MD011 MD018 MD024 MD031 MD032	MD035
กลุ่มที่ 4 : เผาที่ 500° C 48 ชั่วโมง 700° C 3 ชั่วโมง 700° C 10 ชั่วโมง และ 900° C 10 ชั่วโมง	MZ004 MZ014 MZ017 MZ035	MZ008 MZ009 MZ015	MD007 MD010 MD013 MD020 MD025 MD027	-

สเปกตรัมของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก

ผลจากการวิเคราะห์ทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก พบว่าแสดงการดูดกลืนแสงลดลงที่ตำแหน่ง 337 nm ในแกน o-ray และ 336 nm ในแกน e-ray ซึ่งเป็นตำแหน่งของ Fe^{3+} ตำแหน่ง 412, 559 และ 694 nm ในแกน o-ray ที่ 398 และ 547 nm ในแกน e-ray ที่แสดงการดูดกลืนแสงตำแหน่ง Cr^{3+} และที่ตำแหน่งประมาณ 580 nm ซึ่งเป็นตำแหน่งของ Fe^{2+} - Ti^{4+} ซึ่งซ้อนทับกับตำแหน่งของ Cr^{3+} มีการดูดกลืนลดลงเช่นกัน แสดงดังภาพที่ 4-70 – 4-71



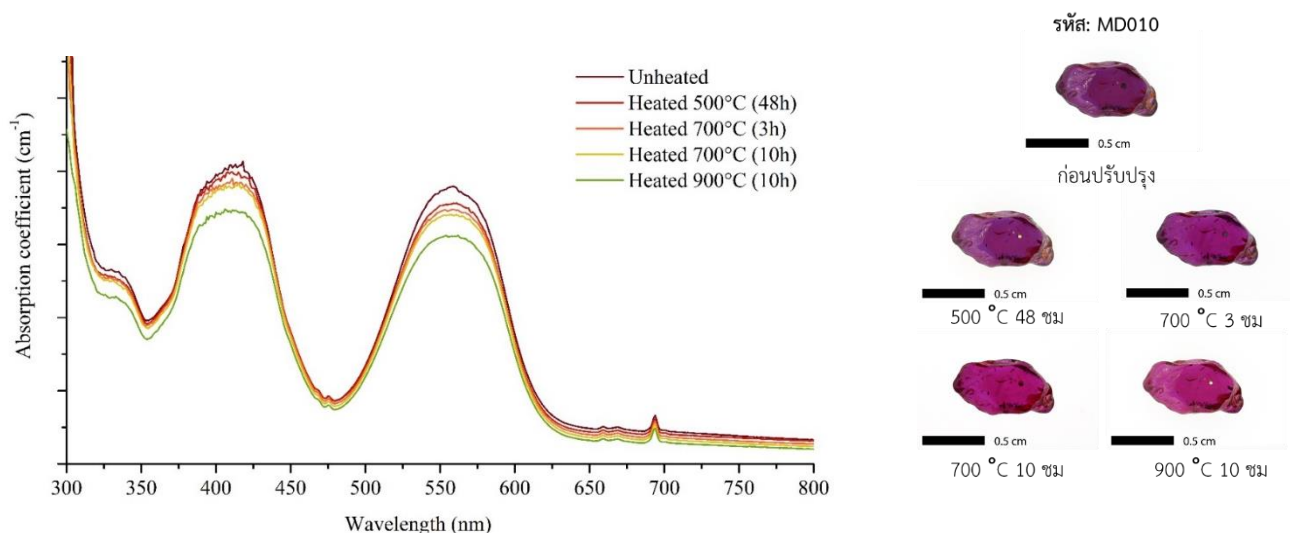
ภาพที่ 4-70 แสดงการดูดของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยความร้อน



ภาพที่ 4-71 แสดงการดูดของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก ในแกนo-ray (สีแดง) และe-ray (สีน้ำเงิน)

สเปกตรัมของทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์

ตัวอย่างทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์พบว่ามีลักษณะการดูดกลืนแสงลักษณะคล้ายคลึงกันกับ แหล่งโมซัมบิกโดย มีการดูดกลืนที่ลดลงที่ตำแหน่ง 334 nm ซึ่งเป็นตำแหน่งของ Fe^{3+} และ 408, 558 และ 694 nm ซึ่งเป็นตำแหน่ง Cr^{3+} รวมถึงบริเวณ 580 nm ที่เป็นการบริเวณที่มีการซ้อนทับของ Cr^{3+} กับ Fe แสดงดัง ภาพที่ 4-72



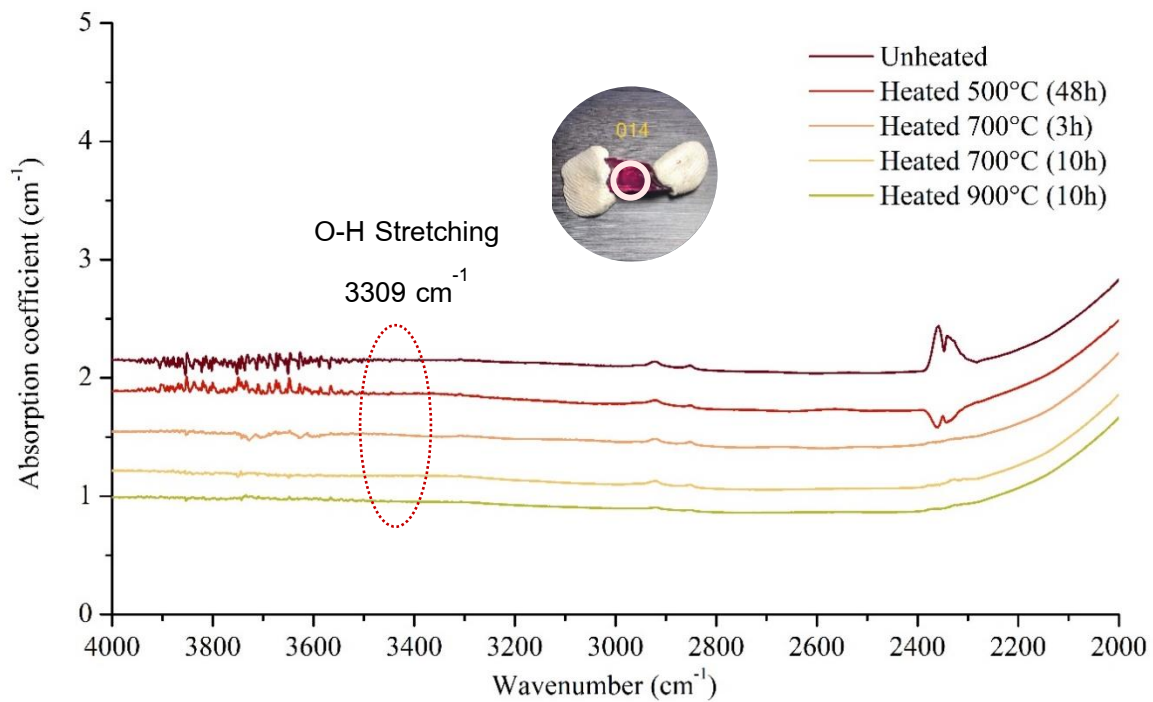
ภาพที่ 4-72 แสดงการดูดของทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์หลังการปรับปรุงด้วยความร้อน

4.10.6 ผลการวิเคราะห์ FTIR Spectrometer

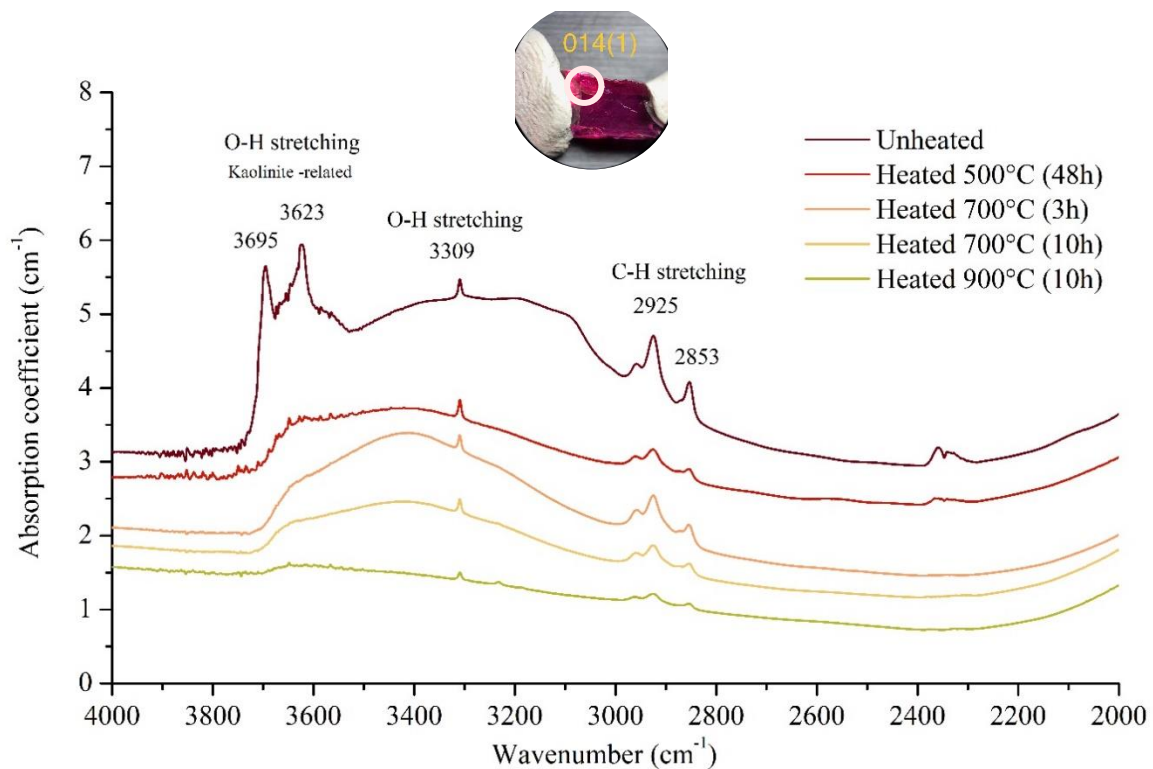
ผลการศึกษาด้วยเทคนิค FTIR ของทับทิมแหล่งโมซัมบิกและมาดากัสการ์ จะพบว่าเมื่อวัดการดูดกลืนบริเวณตำแหน่งทั่วไปของทับทิม ไม่พบการเปลี่ยนแปลงหลังการปรับปรุงด้วยความร้อนทุกช่วงอุณหภูมิ แต่เมื่อทำการวิเคราะห์การดูดกลืนผ่านบริเวณที่มีคราบเกลือออกไซด์ พบว่า มีการดูดกลืนที่สัมพันธ์กับหมู่ hydroxyl และมีการดูดกลืนที่ลดลงเมื่อทำการเผาตั้งแต่ 500 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง สามารถใช้ในการบ่งชี้ว่าพลอยผ่านการปรับปรุงความร้อนได้ โดยแสดงข้อมูลสเปกตรัมแต่ละแหล่งดังนี้

FTIR สเปกตรัมของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก

จากภาพที่ แสดงการดูดกลืนของตัวอย่างจากแหล่งโมซัมบิก โดยตัวอย่างรหัส MZ014 ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังการเผา นอกจากนี้ยังแสดงตำแหน่ง 3309 cm^{-1} ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ไม่พบการเกิดขึ้นของตำแหน่ง ประมาณ 3232 cm^{-1} ที่ใช้ในการบ่งชี้เมื่อเผา 800 องศาเซลเซียสขึ้นไป (Saeseaw et al., 2018) แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ผ่านคราบเกลือออกไซด์ พบว่าช่วงบริเวณตำแหน่ง $3695, 3625\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นตำแหน่งของ O-H stretching มีการดูดกลืนที่ลดลง เมื่อทำการเผาที่ 700 และ 900 และมีการดูดกลืนลดลงตามลำดับจนไม่เห็นตำแหน่งของการดูดกลืน แสดงดังภาพที่ 4-



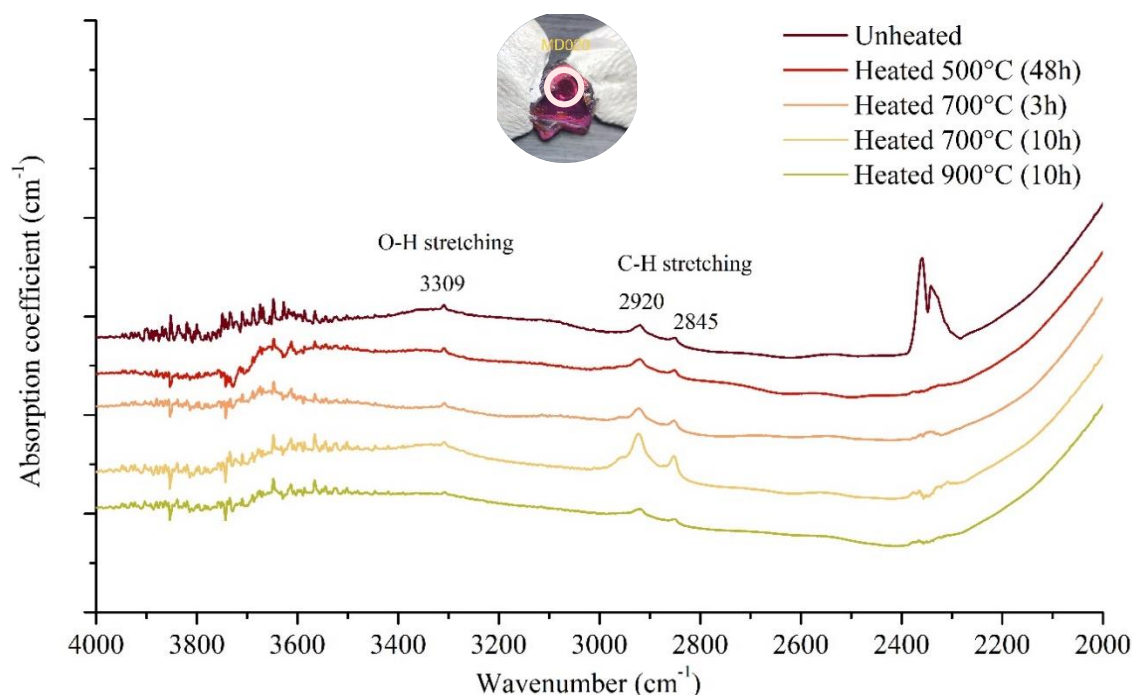
ภาพที่ 4-73 FTIR สเปกตรัมของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก



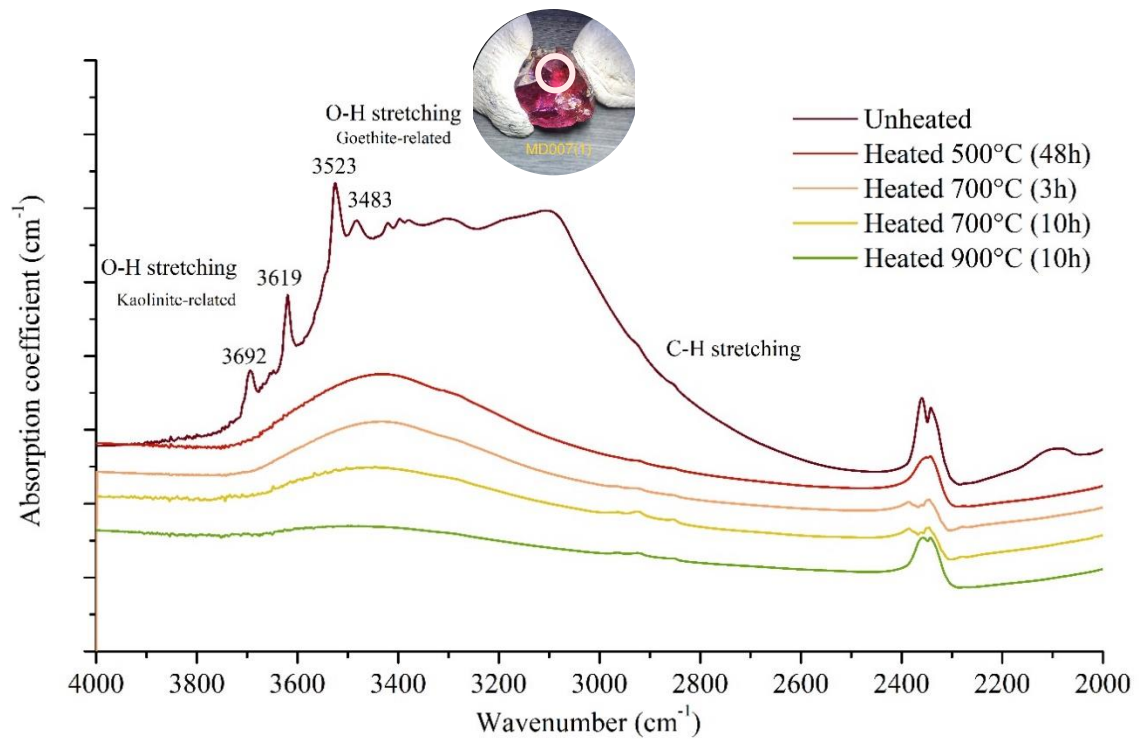
ภาพที่ 4-74 FTIR สเปกตรัมของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก บริเวณIron stain

FTIR สเปกตรัมของทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์

จากภาพที่ 4.75 แสดงการดูดกลืนของตัวอย่างจากแหล่งมาดากัสการ์ โดยตัวอย่างรหัส MD20 ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังการเผา นอกจากนี้ยังแสดงตำแหน่ง 3309 cm^{-1} ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ผ่านกราฟเหล็กรอกไฮดรอกไซด์พบว่าช่วงบริเวณตำแหน่ง 3692 และ 3619 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งของ O-H stretching มีการดูดกลืนที่ลดลง เมื่อทำการเผาที่ 700 องศาเซลเซียส และ 900 องศาเซลเซียส พบว่ามีการดูดกลืนลดลงตามลำดับจนไม่เห็นตำแหน่งของการดูดกลืน ซึ่งผลที่ได้มีรูปแบบเดียวกับผลที่ได้จากการเผาแหล่งโมซัมบิก แสดงดังภาพที่ 4-76



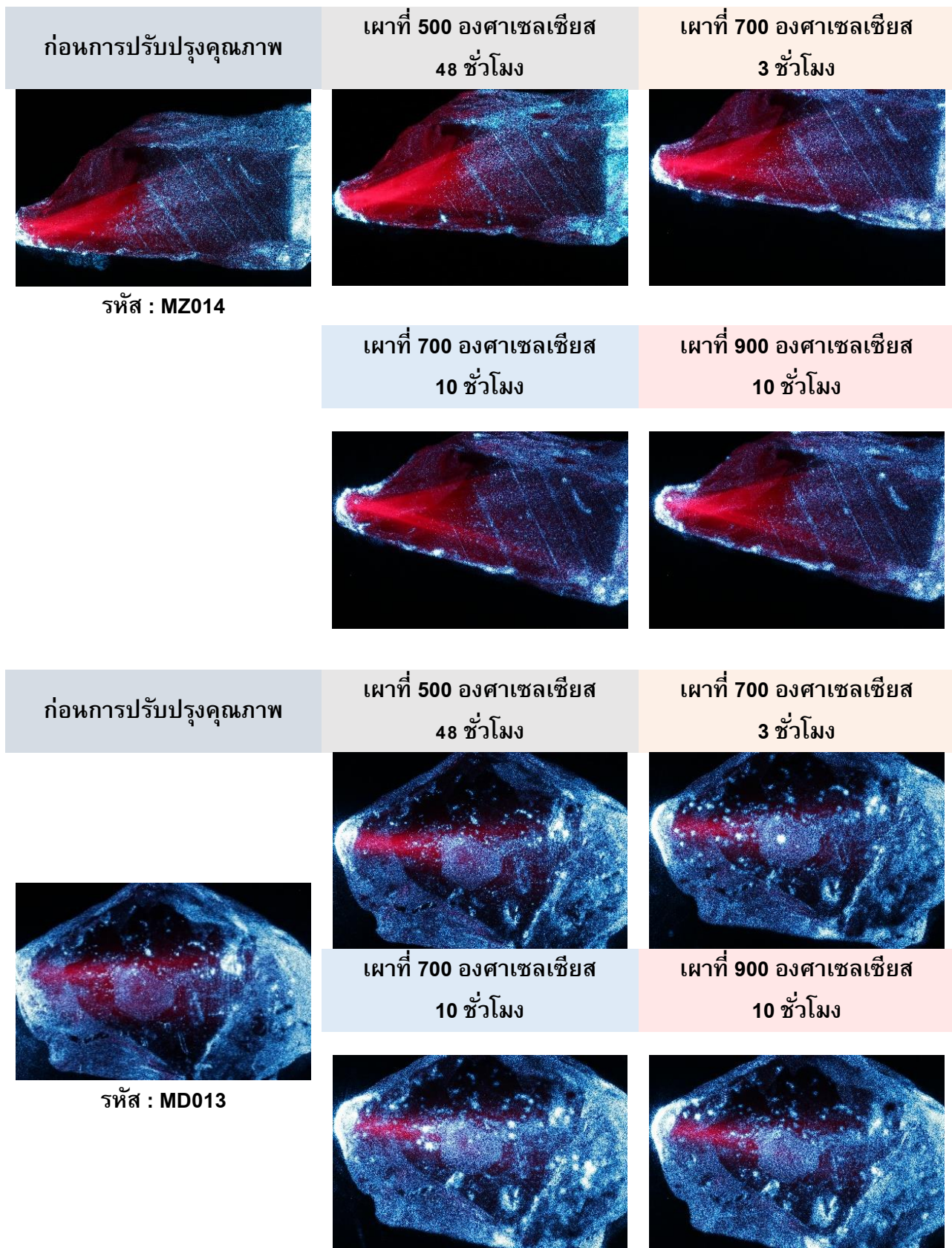
ภาพที่ 4-75 FTIR สเปกตรัมของทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์



ภาพที่ 4-76 FTIR สเปกตรัมของทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ บริเวณIron stain

4.10.7 ผลการวิเคราะห์ Laser-Tomography

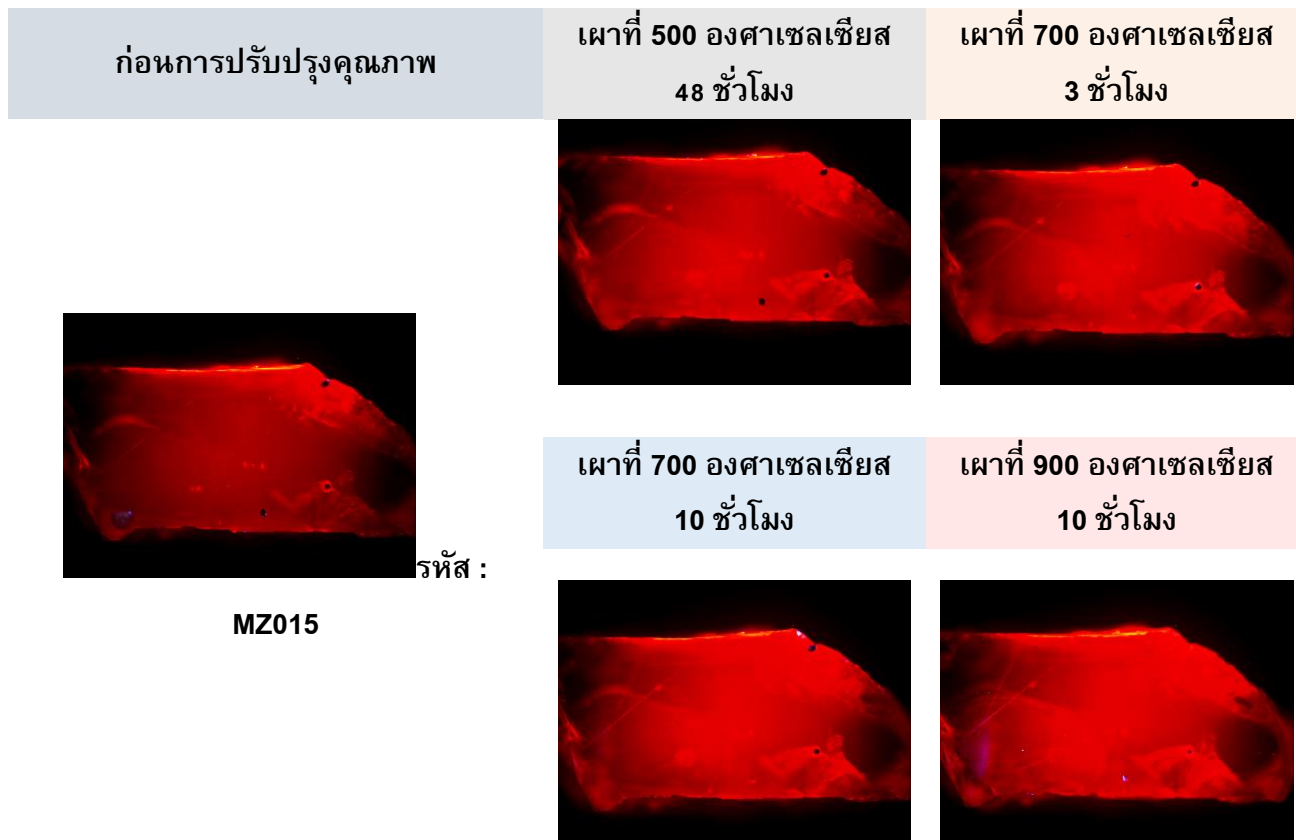
ผลการวิเคราะห์โดยใช้ Laser-Tomography เพื่อศึกษามลทิน หลังการปรับปรุงด้วยความร้อน พบว่า ตัวอย่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัด ทั้งจากแหล่งโมซัมบิก และมาดากัสการ์ แสดงดังภาพที่ 4-77 และ 4-78



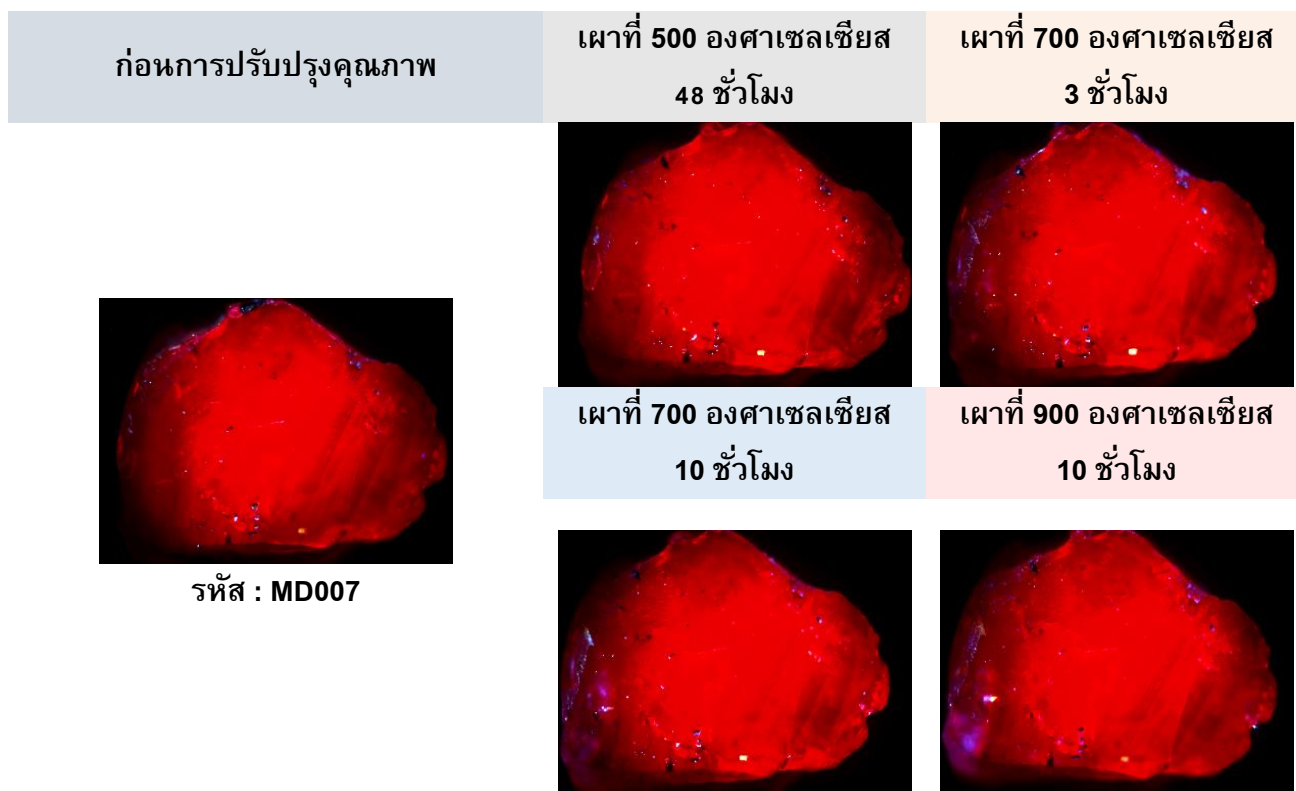
ภาพที่ 4-77 Laser-Tomography ของทับทิมแหล่งมาดากัสการ์หลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

4.10.8 ผลการวิเคราะห์ DiamondView™

ผลจากการวิเคราะห์ด้วย DiamondView™ หลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัดทั้งทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก และ มาดากัสการ์ ดังภาพที่ 4-78 -4-79



ภาพที่ 4-78 DiamondView™ ของทับทิมแหล่งโมซัมบิกหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 4-79 DiamondView™ ของทับทิมแหล่งมมาดากัสการ์หลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

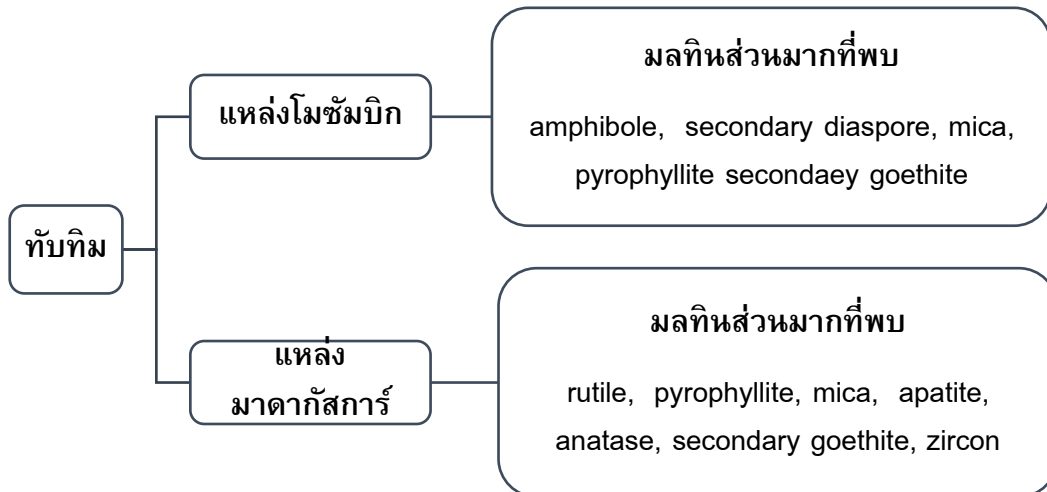
บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกและมาดากัสการ์ ได้นำมาใช้เป็นตัวอย่างศึกษาโดยดำเนินการเก็บข้อมูลก่อนการทดลองการปรับปรุงคุณภาพเพื่อการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งกำเนิดกับมลทินแร่ในแต่ละแหล่งและทำการแบ่งกลุ่มการทดลองเพื่อนำมาปรับปรุงด้วยความร้อนที่เงื่อนไขต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ 500 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง อุณหภูมิ 700 เป็นเวลา 3 และ 10 ชั่วโมง และ อุณหภูมิ 900 เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ทั้งนี้ได้เปรียบเทียบสมบัติเชิงแสง ลักษณะทางกายภาพ โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือชั้นสูงต่าง ๆ เพื่อที่จะหาข้อบ่งชี้ในการระบุว่าทับทิมเหล่านั้นได้ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิเท่าใด โดยสามารถสรุปผลเป็นข้อ ๆ ได้ดังต่อไปนี้

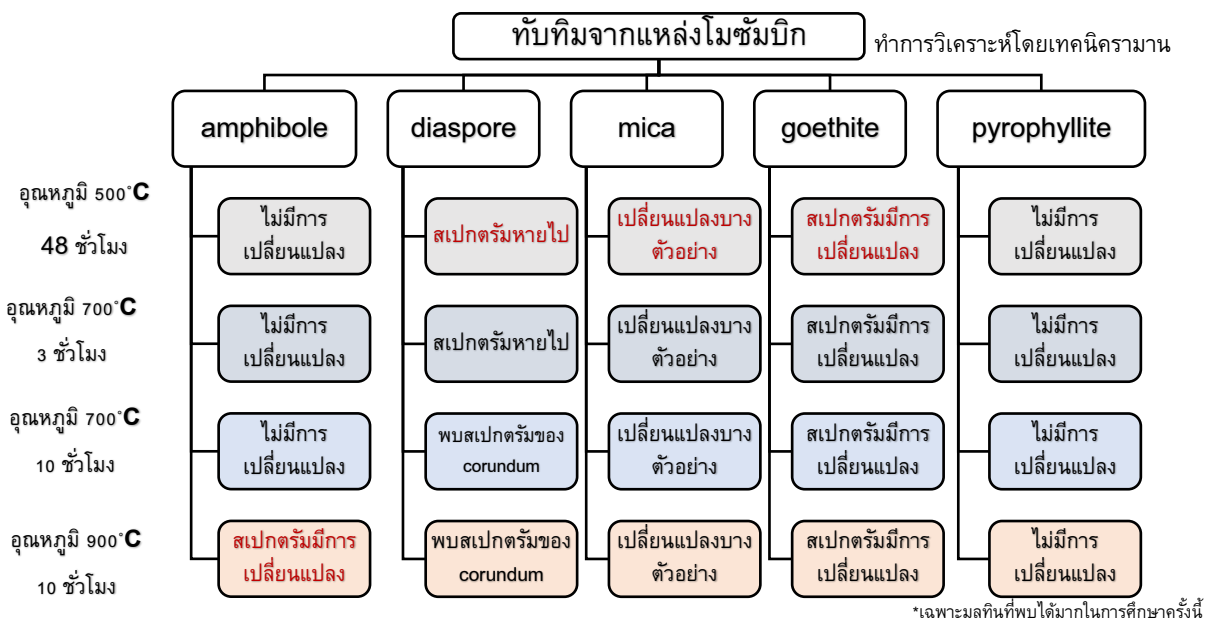
1. ทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ส่วนใหญ่มีสีแดงอมม่วง บางตัวอย่างมีลักษณะกลุ่มสีน้ำเงินปะปนอยู่ ขณะที่ทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ ส่วนใหญ่มีสีแดงเข้ม บางตัวอย่างมีสีแดงอมม่วง หลังจากนำไปเผา พบว่าทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกบางตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงสีที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส บางตัวอย่างลดโทนสีน้ำเงินที่อยู่ภายในทำให้ทับทิมดูมีสีที่สดขึ้น ในขณะที่ตัวอย่างจากมาดากัสการ์พบว่าการเปลี่ยนแปลงของสีน้อย โดยทั้ง 2 แหล่งมีการเปลี่ยนแปลงของสีที่ชัดเจนเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เมื่อศึกษาด้วยเครื่องมือ UV-Vis-NIR Spectrophotometer พบว่าตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงสีมีการดูดกลืนของตำแหน่ง Cr^{3+} ซึ่งทำให้เกิดสีแดง และการดูดกลืนของ Fe^{2+} - Ti^{4+} ที่ซ้อนทับกันตำแหน่ง Cr^{3+} ลดลงตลอดทั้งช่วง ซึ่งส่งผลให้พลอยดูมีสีที่อ่อนลงและมีโทนสีน้ำเงินที่ลดน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับสีของตัวอย่างก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพ ดังภาพที่ 4-70 – 4-72 ทั้งนี้สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงสีที่สวยขึ้นหลังจากการเผาของทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกจะมีปริมาณมากกว่าทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ อันเนื่องมาจากธาตุ Fe และ Ti ที่ตรวจพบด้วยเทคนิค LA-ICP-MS มีปริมาณในพลอยมาดากัสการ์มากกว่าพลอยจากโมซัมบิก ซึ่งธาตุเหล่านี้เป็นธาตุสำคัญที่ทำให้เกิดสีปนน้ำเงินขึ้น (ดูเพิ่มเติมใน 4-2)

2. การศึกษาลักษณะมลทินภายในด้วยกล้องไมโครสโคปร่วมกับการยืนยันชนิดมลทินผลึกด้วยเครื่องรามาน พบว่าทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกและแหล่งมาดากัสการ์ มีมลทินบางชนิดที่แตกต่างกันโดยแสดงดังภาพที่ 5-1



ภาพที่ 5-1 มลทินภายในที่พบในแหล่งโมซัมบิกและแหล่งมาดากัสการ์

3. การวิเคราะห์มลทินก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพพลอยคอร์นดัมจากแหล่งโมซัมบิกและแหล่งมาดากัสการ์ ด้วยเทคนิครามานพบว่าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงของ Diaspore (ภาพที่ 4-45) และ goethite (ภาพที่ 4-47) และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของ amphibole (ภาพที่ 4-50), mica (ภาพที่ 4-42), anatase (ภาพที่ 4-57) และ apatite (ภาพที่ 4-66) โดยข้อสรุปดังกล่าวแสดงเป็นข้อมูลดังภาพที่ 5-2 – 5-3

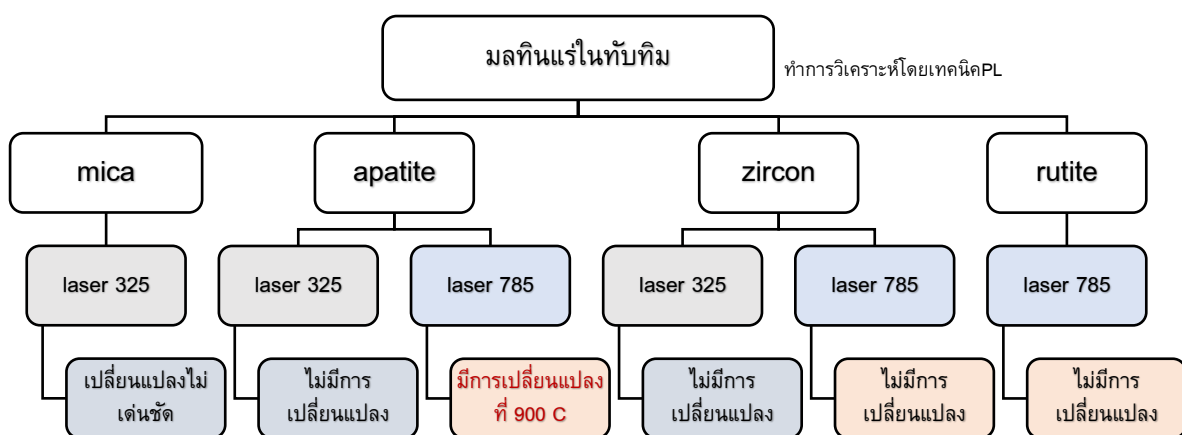


ภาพที่ 5-2 ผลการเปลี่ยนแปลงรามานสเปกตรัมของมลทินในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกที่อุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 5-3 ผลการเปลี่ยนแปลงรามานสเปกตรัมของมลทินในทับทิมจากแหล่งมาดากัสการ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

4. การวิเคราะห์ ฟลูออเรสเซนซ์ด้วย Photoluminescence spectroscopy พบว่า มลทินบางชนิดแสดงสเปกตรัมเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ 325 และ 785 นาโนเมตร โดยผลวิเคราะห์หลังจากการปรับปรุงคุณภาพพบว่ามลทินส่วนใหญ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ยกเว้นมลทินแร่ apatite ที่พบในทับทิมโมซัมบิก และมาดากัสการ์ ที่เผา ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เมื่อถูกกระตุ้นด้วย laser 785 ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ด้วยเครื่องรามาน ทั้งนี้ได้สรุปผลการเปลี่ยนแปลงของ PL สเปกตรัมของมลทินในทับทิมจากแหล่งโมซัมบิกและมาดากัสการ์ที่อุณหภูมิต่างๆดังภาพที่ 5-4



ภาพที่ 5-4 สรุปผลการเปลี่ยนแปลง PL สเปกตรัมของมลทินในทับทิมที่อุณหภูมิต่างๆ

5. ผลวิเคราะห์จาก FTIR สเปกตรัมพบว่า บริเวณคราบเกลือออกไซด์จะแสดงการดูดกลืนช่วง hydroxyl ชัดเจน แต่หลังจากการทำเผาตั้งแต่ 500 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป พบว่ามีการดูดกลืนที่ลดลง

ซึ่งสามารถใช้ในการบ่งชี้พลอยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำและไม่ผ่านการเผาได้ แต่จากการวิเคราะห์ไม่พบพีกตำแหน่ง 3232 cm^{-1} หลังการเผาซึ่งแสดงให้เห็นว่า ตำแหน่งนี้ไม่สามารถใช้ในการระบุพลอยที่เผาอุณหภูมิต่ำได้

6. ผลจาก Laser thermography และ DiamondView™ ไม่พบการเปลี่ยนที่ชัดเจนหลังการเผาทุกอุณหภูมิ

การจำแนกและหาตัวบ่งชี้ว่าพลอย ได้ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนนั้นต้องใช้เครื่องมือหลายเครื่องมือเพื่อนำมาใช้หาข้อสรุป ซึ่งจากผลการศึกษา วิจัย สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 5-5 กล่าวคือ หากสังเกตุมลทินผ่านกล้องไมโครสโคปแล้วพบว่า มีมลทินสีเข้มและมีรอยแตกจากแรงเค้น แสดงว่าพลอยผ่านการเผามาแล้ว และให้ทดสอบด้วยเครื่องมือขั้นสูงต่อเพื่อยืนยันผล แต่หากไม่พบมลทินที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลงจากการเผา จะยังไม่สามารถสรุปผลได้เนื่องจากอาจจะไม่ผ่านการเผา หรือผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำประมาณต่ำกว่า $300 - 700$ องศาเซลเซียส ที่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างของมลทินอย่างชัดเจนจึงต้องวิเคราะห์ต่อด้วยเครื่องมือขั้นสูง

จากการศึกษาโดยใช้เทคนิครามานตรวจสอบแร่ไมก้า จะเริ่มพบการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ 500 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นมลทินแร่ amphibole จะพบว่ามีรูปแบบของพีกที่เปลี่ยนไปหลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส แต่หากไม่ผ่านการเผา หรือผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 900 องศาเซลเซียส จะไม่พบการเปลี่ยนแปลงของพีก โดยรูปแบบพีกของ amphibole ที่เปลี่ยนไปดังแสดงในภาพที่ 4-50 - 4-52, รูปแบบพีกของ apatite โดยเลเซอร์ 785 ดังภาพที่ 4-66 และรูปแบบพีก anatase ดังแสดงในภาพที่ 4-57 - 4-58

นอกจากนี้หากพบรูปแบบพีกมลทินแร่ diasporite แสดงถึงพลอยที่ไม่ผ่านการเผา ดังภาพที่ 4-45 แต่หากไม่พบพีก diasporite จะยังไม่สามารถระบุได้ว่าผ่านการเผาหรือไม่

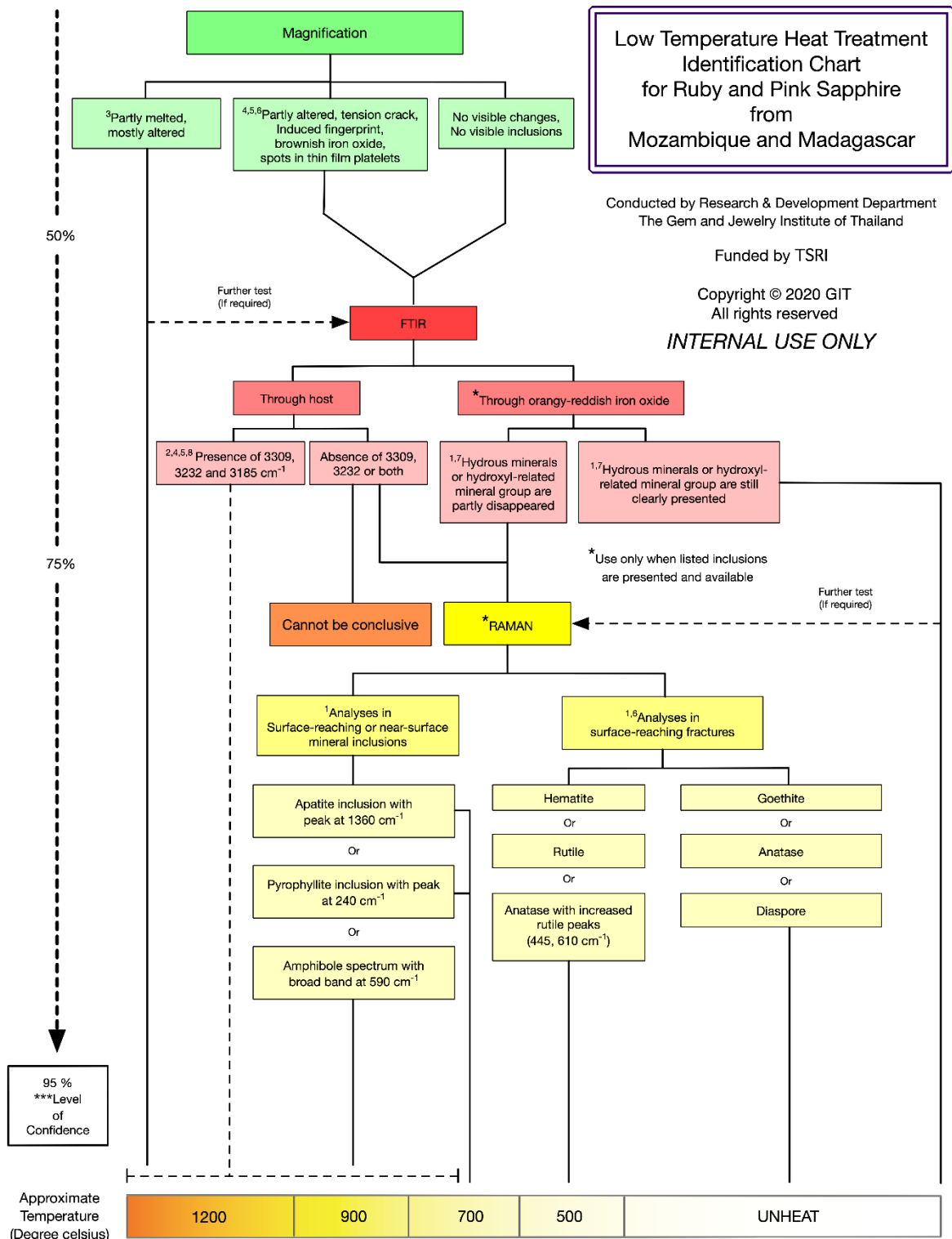
ส่วนรูปแบบพีกของมลทินแร่เหล็กออกไซด์ในรูปแบบ goethite แสดงว่าพลอยไม่ผ่านการเผา ดังภาพที่ 4-62 - 4-63 แต่หากพบว่า hematite ที่อยู่ในรูปของผลึกแร่ (mineral inclusion) จะยังไม่สามารถระบุได้ว่าผ่านการเผาหรือไม่

สำหรับเทคนิค FTIR เมื่อใช้ทดสอบพลอยที่ไม่ผ่านการเผา โดยหากสามารถวิเคราะห์ผ่านบริเวณที่มี Iron oxide ได้ จะพบว่ามี การดูดกลืนหมู่ Hydroxyl ที่บริเวณนั้นดังแสดงผลในภาพที่ 4-74 และ 4-76 แต่หากไม่พบการดูดกลืนดังกล่าวหรือพบการดูดกลืนน้อย แสดงว่าพลอยผ่านการเผามาแล้ว อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมาจะมีการอ้างอิงพีกที่พบ ณ ตำแหน่ง 3309 cm^{-1} คู่กับตำแหน่ง 3232 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการจับตัวของโมเลกุล Ti-OH (Phlayrahan et al., 2018) เป็นหลักฐานที่สามารถใช้ในการบ่งชี้พลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงได้ค่อนข้างดี ซึ่งจะเจอในพลอยที่ผ่านการเผามาแล้วเท่านั้น การไม่ปรากฏของพีกดังกล่าว ไม่ได้หมายความว่าพลอยดังกล่าวไม่ผ่านการ

เผา แต่สำหรับพลอยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำ พืคดังกล่าวสามารถพบเจอได้บ้าง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิตั้งแต่ 700 องศาเซลเซียส ซึ่งต้องวิเคราะห์ในทิศทางที่เหมาะสม อย่างเช่น ตั้งตัวอย่างพลอยให้มีทิศทางของแกนแสงตั้งฉากกับต้นกำเนิดแสงอินฟราเรด (Smith, 1995; Pardieu et al., 2015; Saeseaw et al., 2018; SSEF, 2018) ทำให้โอกาสที่จะพบมีปริมาณน้อยมากและไม่สม่ำเสมอ และอาจมีปัจจัยอย่างอื่นประกอบด้วย เช่น ปริมาณของธาตุไททาเนียมที่มีอยู่ภายใน

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยชิ้นนี้ใช้หลักการวิเคราะห์โดยดูจากหลักฐานที่พบบริเวณมลทินแร่ และบริเวณมลทินทุติยภูมิเป็นหลัก ซึ่งหากพลอยตัวอย่างไม่มีมลทินข้างต้นอยู่เลย จะทำให้ไม่สามารถใช้หลักเกณฑ์จากงานวิจัยนี้ในการวิเคราะห์และบ่งชี้ได้ ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดหนึ่ง อีกทั้ง งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้เครื่องมือขั้นสูงทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการขนาดกลางถึงขนาดใหญ่มาใช้ในการวิจัยค่อนข้างมาก อย่างเช่นเครื่องมือ Raman spectrometer หรือแม้แต่ FTIR spectrometer ซึ่งถึงแม้ว่าทางโครงการวิจัยได้พยายามพัฒนาให้สามารถใช้เครื่องมือพื้นฐานวิเคราะห์ร่วมได้ แต่หากห้องปฏิบัติการไม่มีเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูงข้างต้น ก็จะเป็นข้อจำกัดของห้องปฏิบัติการนั้น ๆ ไม่สามารถใช้หลักเกณฑ์จากการวิจัยนี้ ในการวิเคราะห์และสรุปได้ด้วยเช่นกัน

การสำรวจความต้องการในการออกใบรับรองการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนอุณหภูมิต่ำ พบว่าในกลุ่มผู้ประกอบการอัญมณีและเครื่องประดับส่วนใหญ่ต้องการให้มีการออกใบรับรองที่ระบุชัดเจนเกี่ยวกับพลอยที่เผาที่อุณหภูมิต่ำเพิ่มเติม คิดเป็น 66.67% เนื่องจากผู้ค้าพลอยธรรมชาติ (ไม่ผ่านการเผา) จะได้ประโยชน์จากการเปิดเผยที่ชัดเจน ในขณะที่ผู้ประกอบการบางส่วนไม่ต้องการให้มีการระบุพลอยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำเพิ่มเติม เนื่องจาก มองว่าเป็นการเพิ่มความยุ่งยากให้การซื้อขายและลูกค้าไม่เข้าใจ



¹ This study ² Smith, 1995 ³ Themelis, 1992 ⁴ Saeseaw et al., 2018 ⁵ Pardieu et al., 2015 ⁶ Sripoonjan et al., 2016 ⁷ CGL, 2018 ⁸ SSEF, 2018

***Based on this study
No method is 100 percent successful with the current approaches

ภาพที่ 5-5 ชาร์ตสรุปการวิเคราะห์ตรวจสอบทับทิมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนโดยเทคนิคต่างๆ

รายการอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- _____, 2010. *New ruby deposits in Mozambique*. GIT Gem Testing Laboratory (GIT-GTL), Lab News, 1 Mar. 2010.
- _____, 2013. *Gemfields PLC annual report and financial statements 2013*.
- Beran A., Rossman G.R. (2006) OH in naturally occurring corundum. *European Journal of Mineralogy*, Vol. 18, No. 4, pp. 441–447, <http://dx.doi.org/10.1127/0935-1221/2006/0018-0441>
- Canimoglu, A., Garcia-Guinea, J., Correcher, V., Karabulut, Y., Tuncce, Y., and Can, N., 2014. Luminescent, structural, and thermal properties of the unusual “Anatolian” Diaspore (Zultanite) from Turkey. *Spectroscopy Letters: An International Journal for Rapid Communication*. Vol 47, pp, 292-300.
- Chapin, M., Pardieu, V., and Lucas, A., 2015 Mozambique: A Ruby Discovery for the 21st Century. *G&G*, Vol. 51 (1) pp. 44–54.
- D.L.A. de Faria, F.N. Lopes., 2007, Heated goethite and natural hematite: Can Raman spectroscopy be used to differentiate them?, *Vibrational Spectroscopy*, Vol. 45 (2), pp. 117-121.
- Fanka, A. and Sutthirat, C., 2013. Mozambique rubies: Market, mine and the original source of the Montepuez deposit. *The Journal of the Gemmological Association of Hong Kong*, Vol. 34, pp. 39-47.
- GIT Gem Testing Laboratory (2009) *Some characteristics of “Mozambique” ruby*, Nov. 19, https://www.git.or.th/eng/testing_center_en/lab_notes_en/glab_en/2009/GIT_article_ruby_mozambique_web.pdf, November 19.
- Gualtieri, A. & Venturelli, P., 2015. In situ study of the goethite-hematite phase transformation by real time synchrotron powder diffraction. *American Mineralogist*, Vol. 84, pp. 895-904.
- Hsu, T., Lucas, A. and Pardieu, V., 2014. *Mozambique: A ruby discovery for the 21st century*. GIA News Research.
- Hanaor, D.A.H., Sorrell, C.C., 2011. Review of the anatase to rutile phase transformation. *J Mater Sci* Vol.46, pp. 855–874.
- Kane, R.E., McClure, F., Kammerling, R.C., Khoa, N. D., Mora, C., Repetto, S., Khai, N. D., and Koivula, J. I., 1991. Rubies and fancy sapphires from Vietnam. *Gems and Gemology*, Vol. 27 (3), pp. 136-155.
- Kane, R., E. and Kammerling, R. C., 1992. Status of ruby and sapphire mining in the Mogok stone tract. *Gems and Gemology*, Vol. 28 (3), pp. 152-174.

- Keller, P.C., 1982. The Chanthaburi-Trat gem field, Thailand. *Gems and Gemology*, Vol. 18 (4), pp. 186-196.
- Keller, P.C., 1983. The rubies of Burma: A review of the Mogok stone tract. *Gems and Gemology*, Vol. 19 (4), pp. 209-219.
- Khoi, N., N., Sutthirat, C., Tuan, D., A., Nam, N., V., Thuyet, N., T., M., and Nhung, N., T., 2011. Ruby and sapphire from the Tan Huong-Truc Lau area, Yen Bai Province, Northern Vietnam. *Gems and Gemology*, Vol. 47 (3), pp. 182-195.
- Klein, C. and Hurlbut, Jr, C., S., 1977. *Manual of Mineralogy*. John Wiley & Sons, INC. New York.
- Krzemnicki, M.S., 2010. Heating and diffusion processes on rubies: Characteristics, detection and declaration. *CIBJO Ruby Day*, Munich.
- Lenz, C., and Nasdala, L., 2015. A photoluminescence study of REE³⁺ emissions in radiation-damaged zircon. *American Mineralogist*, Vol. 100, pp. 1123-1133.
- Long, P. V., Pardieu, V., and Giuliani, G., 2013. Update on gemstone mining in Luc Yen, Vietnam. *Gems and Gemology*, Vol. 49 (4), pp. 233-245.
- Nassau, K., 1981. Heat treating ruby and sapphire: Technical aspects. *Gems and Gemology*, Vol. 17 (3), 121-131 pp.
- O'Donoghue, M., 2006. *Gems: their sources, descriptions and identification*, 6th edition. Oxford (Elsevier: Butterworth/Heinmann), 874 p.
- Paretti, A., Schmetzer, K., Bernhardt, H. J., and Mouawad, F., 1995. Rubies from Mong Hsu. *Gems and Gemology*, Vol. 31 (1), pp. 3-26.
- Pardieu V., Sangsawong S., Muyal J., Chauviré B., Massi L., Sturman N. (2013) Rubies from the Montepuez area. GIA Research News, Oct. 1, <https://www.gia.edu/gia-rubies-from-montepuez-area>
- Pardieu, V., Saeseaw, S., Detroyat, S., Raynaud, V., Sangsawong, S., Bhusriison, T., Engniwat, S., and Muyal, J., 2015. *Low temperature heat treatment of Mozambique ruby – Results report*. GIA Thailand, Bangkok, [www. Gia.edu/gia-news-research-low-temperature-heat-treatment-mozambique-ruby](http://www.Gia.edu/gia-news-research-low-temperature-heat-treatment-mozambique-ruby).
- Phlayrahan, A., Monarumit, N., Satitkune, S, Wathanakul, P., 2018. Role of Ti Content on the Occurrence of the 3309-cm⁻¹ Peak in FTIR Absorption Spectra of Ruby Samples. *Journal of Applied Spectroscopy* 85, pp. 385–390
- Pisutha-Arnond, V., Häger, T., Wathanakul, P., Atichat, W., 2004a. Yellow and brown coloration in beryllium treated sapphires. *Journal of Gemmology*, Vol.29 (2), 77-103.

- Rakotondrazafy, A.F.M. & Giuliani, Gaston & Ohnenstetter, Daniel & Fallick, A.E. & Rakotosamizanany, Saholy & Andriamamonjy, Alfred & Ralantoarison, Théogène & Razanatseheny, Madison & Offant, Yohann & Garnier, Virginie & Maluski, Henri & Dunaigre, Christian & Schwarz, Dietmar & Ratrimo, Voahangy. (2008). Gem corundum deposits of Madagascar: A review. *Ore Geology Reviews*. 34. 134-154
10.1016/j.oregeorev.2007.05.001
- Read, P.G., 2005. *Gemmology*, 3rd ed. Elsevier, Amsterdam, 323 p.
- Roskin, G., 2006. AGA focused on inclusions. *JCK Magazine*, June 2006
- Saeseaw S., Kongsomart B., Atikarnsakul U., Khowpong C., Vertriest W., Soonthorntantikul W. (2018) Update on “low-temperature” heat treatment of Mozambican ruby: A focus on inclusions and FTIR spectroscopy. *GIA Research News*, Apr. 30, <https://www.gia.edu/ongoing-research/update-low-temperature-heat-treatment-mozambican-ruby-focus-on-inclusions-and-ftir-spectroscopy>
- Schomburg, J., Zwahr, H., 1997 Thermal differential diagnosis of mica mineral group. *Journal of Thermal Analysis*, Vol. 48, pp. 135–139.
- Smith, C.P. (1995). “A contribution to understanding the infrared spectra of rubies from Mong Hsu, Myanmar”. *Journal of Gemmology*, vol. 24, 321-335.
- Smith, C.P. (2006). “Infrared spectra of gem corundum”. *Gems & Gemology*, vol. 42, no 3, pp. 92-93.
- Sripoonjan, T., Wanthanachaisaeng, B., and Leelawatanasuk, T., 2016. Phase transformation of epigenetic iron staining: Indication of low-temperature heat treatment in Mozambique ruby. *Journal of Gemmology*, Vol. 35 (2), pp.156-161.
- Schwarz, D., Pardieu, V., Saul, J. M., Schmetzer, K., Laurs, B. M., Giuliani, G., Klemm, L., Malsy, A., K., Erel, E., Hauzenberger, C., Toit, G. D., Fallick, A., E., and Ohnensteter, D., 2008. Rubies and sapphires from Winza, central Tanzania. *Gems and Gemology*, Vol. 44 (4), pp. 322-347.
- SSEF, 2018. New research by SSEF studies methods for detecting low-temperature heated rubies from Mozambique, 3p.
- Themelis, T., 1992. *The Heat Treatment of Ruby and Sapphire*. Word Graphics, Inc., USA
- Wang, L., Zhang, M., Redfern, S.A.T. et al., 2002. Dehydroxylation and transformations of the 2:1 phyllosilicate pyrophyllite at elevated temperatures: An infrared spectroscopic study. *Clays Clay Miner.* 50, 272–283.
- Wanthanachaisaeng, B., 2007. *The influence of heat treatment on the phase relations in mineral growth systems*. PhD dissertation, University of Mainz, Germany, 79p.

Yang, H., Hu, Y., Yang, W. *et al.*, 2004 Alteration of diaspore by thermal treatment. *J Cent. South Univ. Technol.* Vol. 11 (2), pp. 173–175.

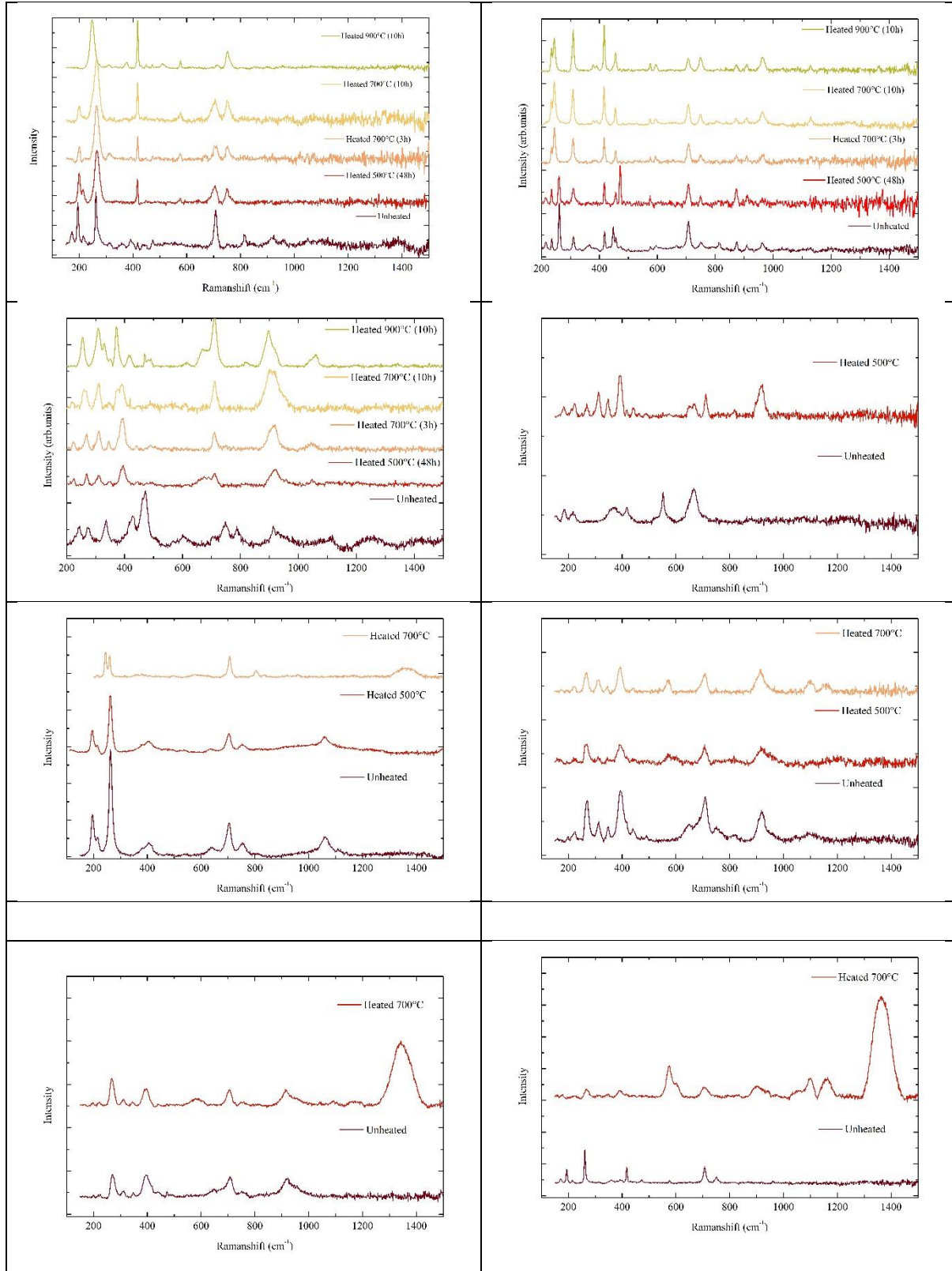
ภาคผนวก

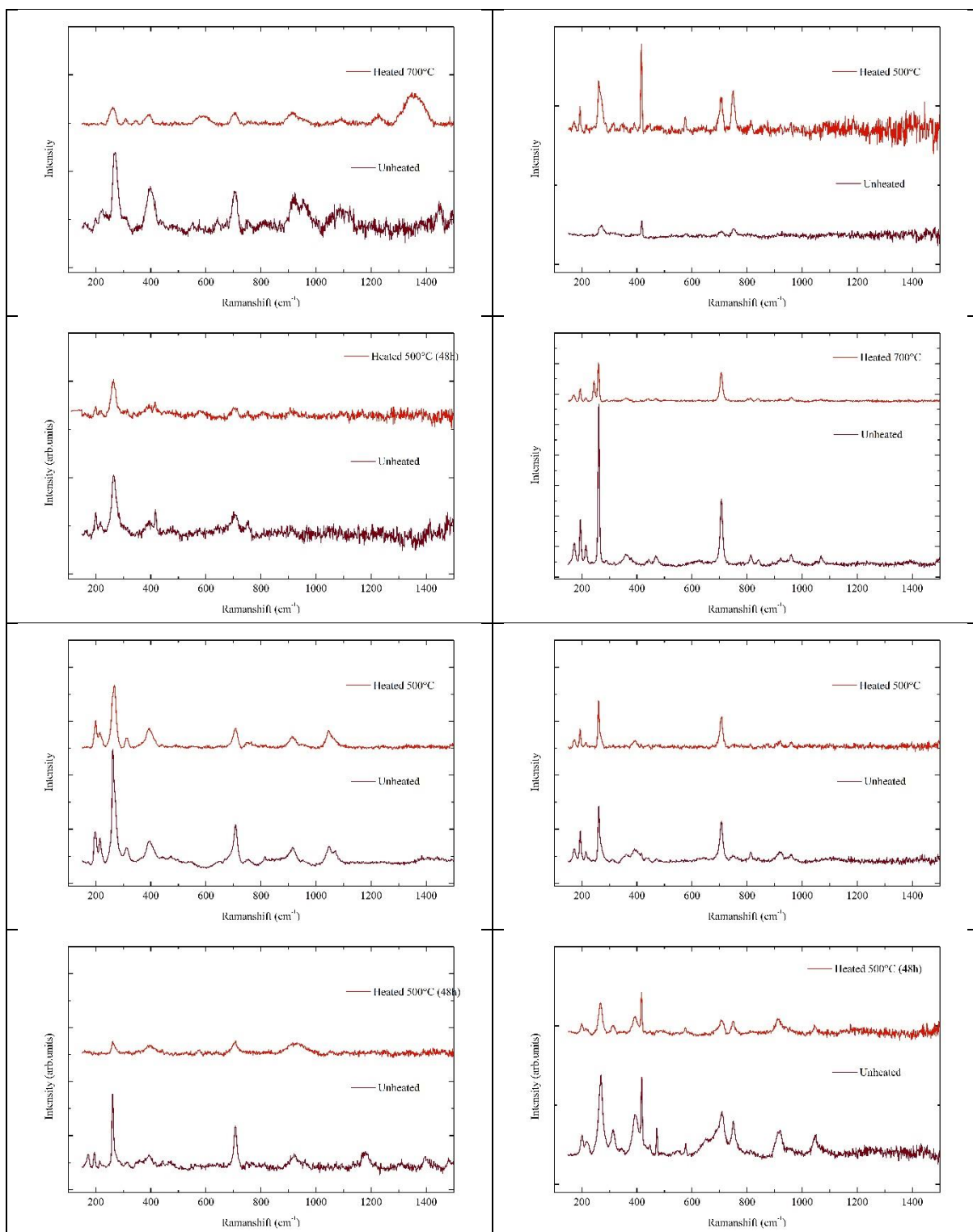


ภาคผนวก ก. ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Raman spectroscope

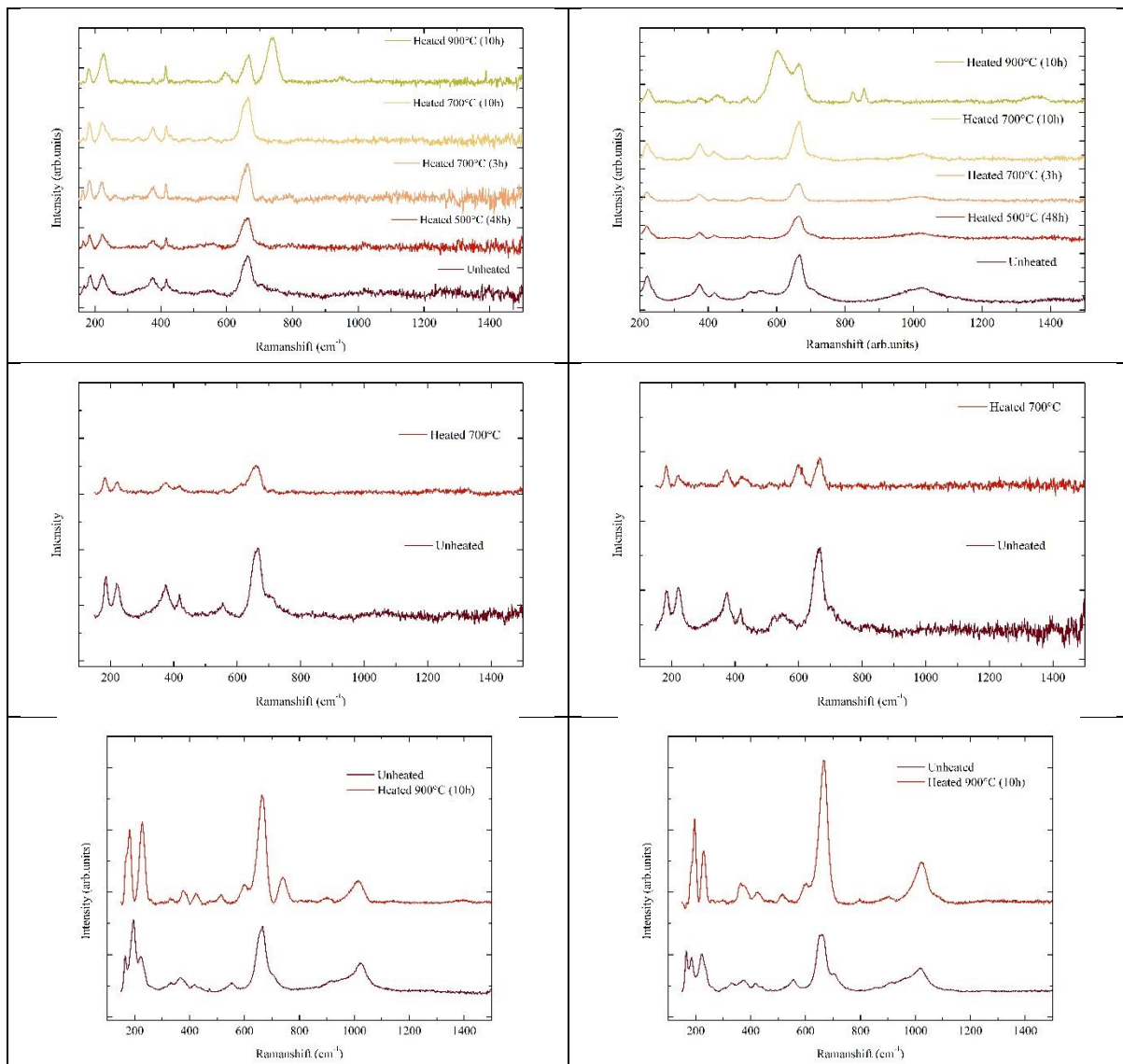
ผลวิเคราะห์หมถินผลึกแหล่งโมซัมบิก

ก-1. รามานสเปกตรัมของแร่ mica

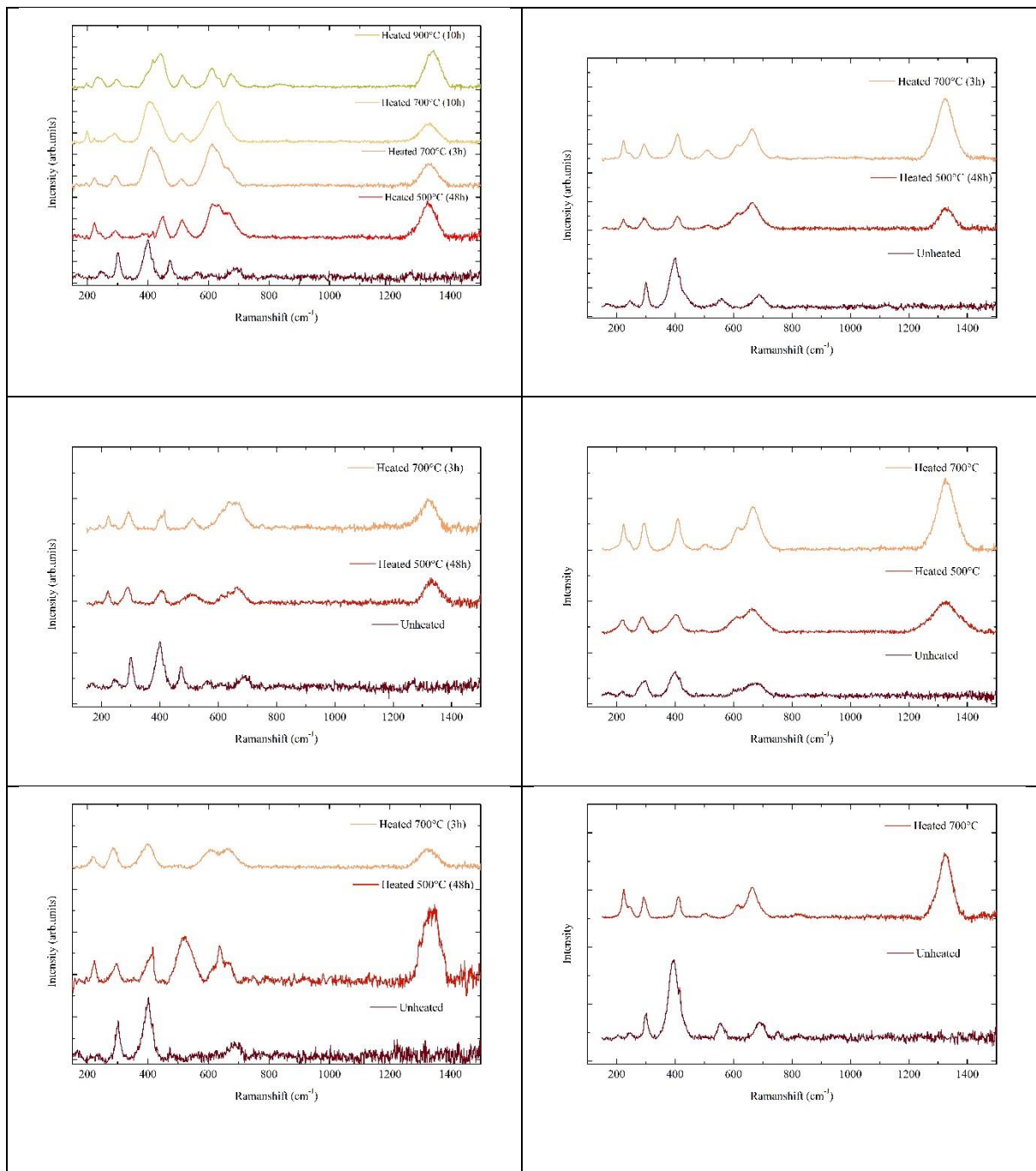


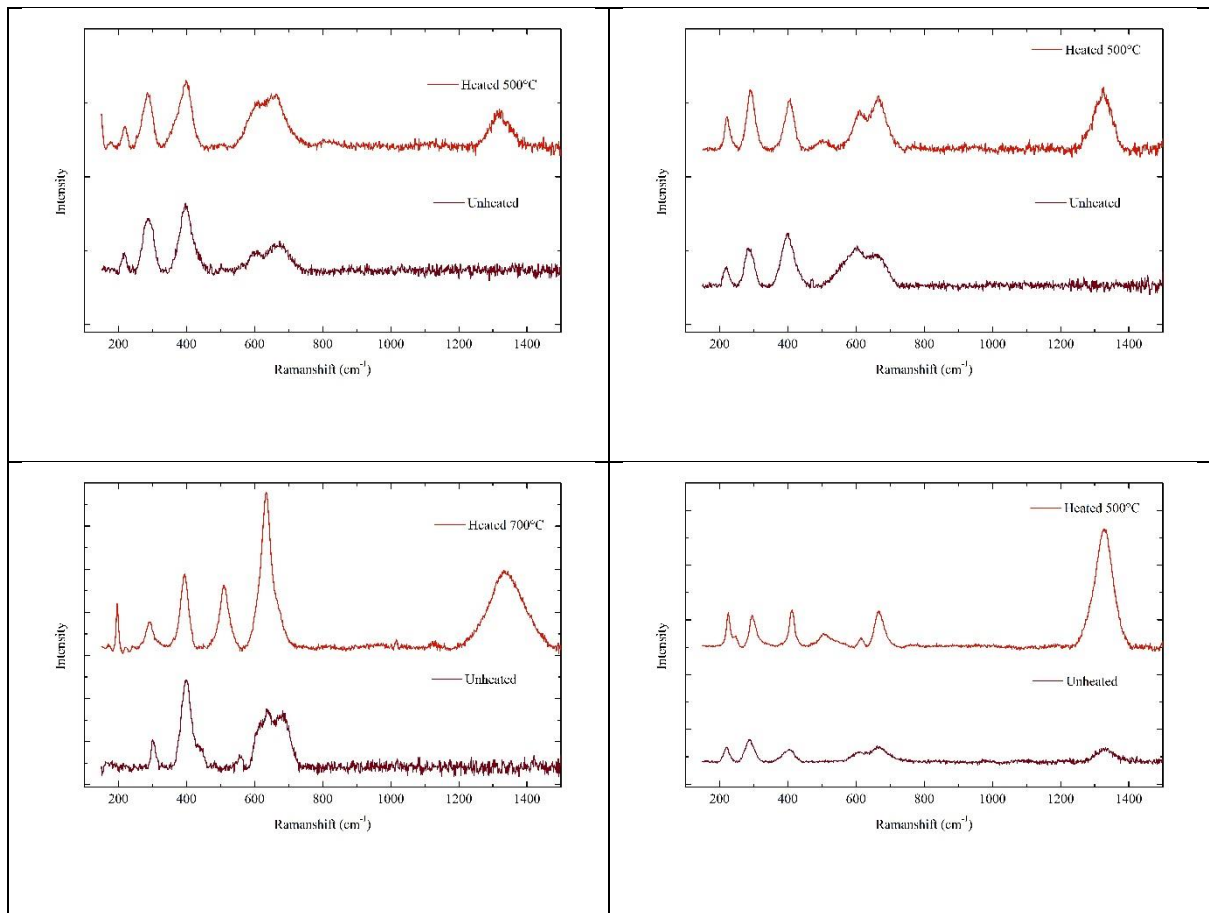


ก-2. รามานสเปกตรัมของแร่ Amphibole

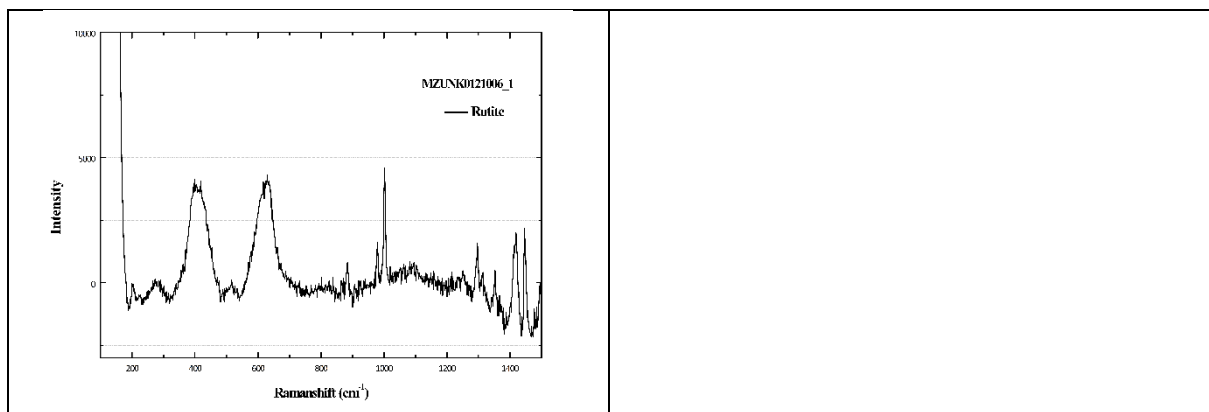


ก-3.รามานสเปกตรัมของแร่ Goethite

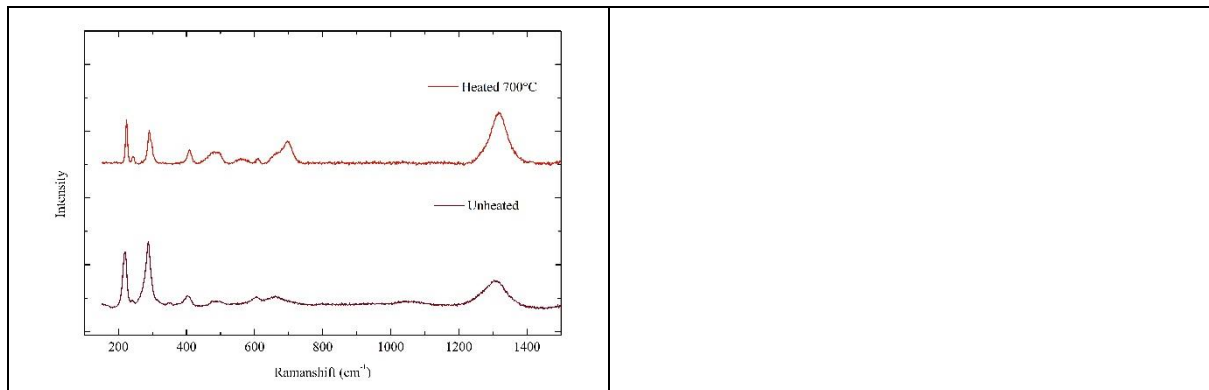




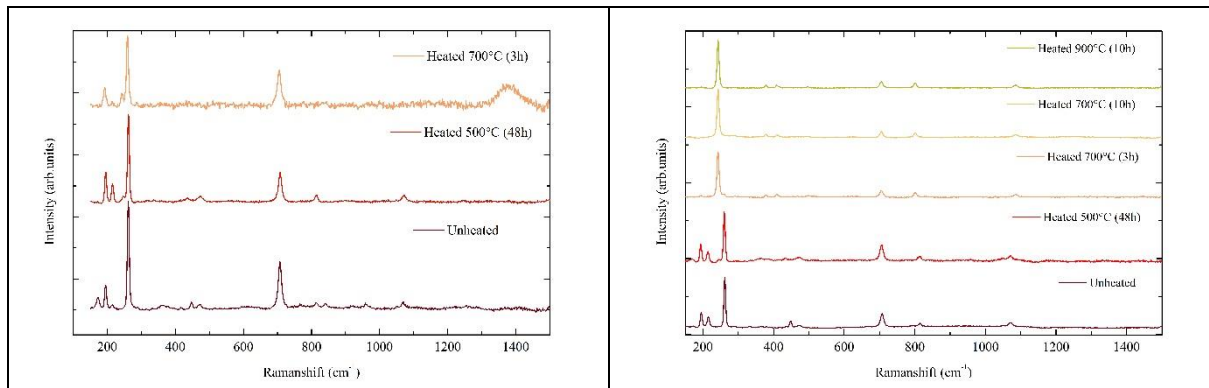
ก-4. รามานสเปกตรัมของแร่ Rutile



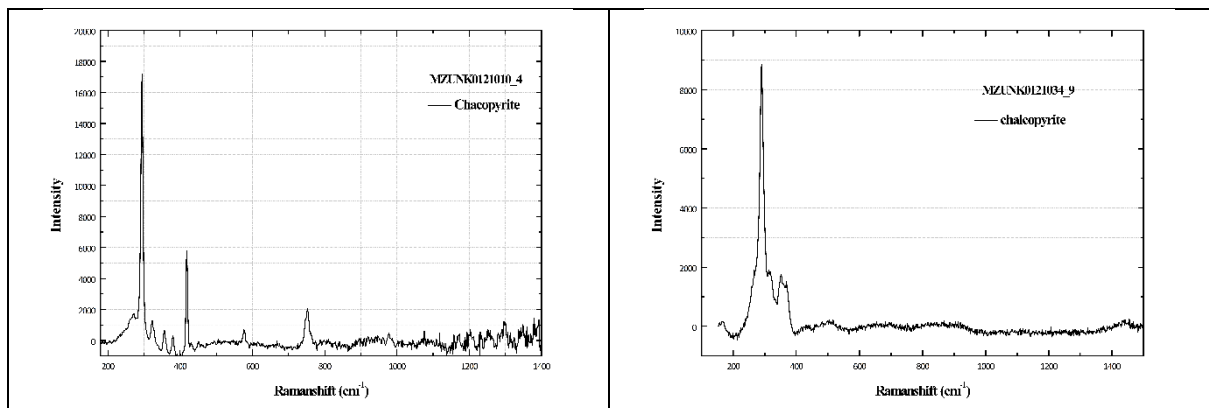
ก-5. รามานสเปกตรัมของแร่ Pyrrhotite



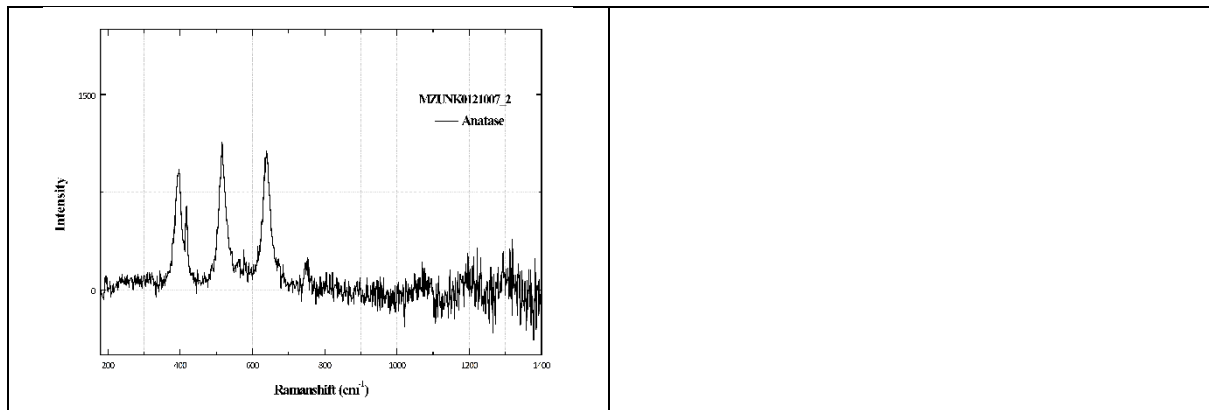
ก-6. รามานสเปกตรัมของแร่ Pyrophyllite



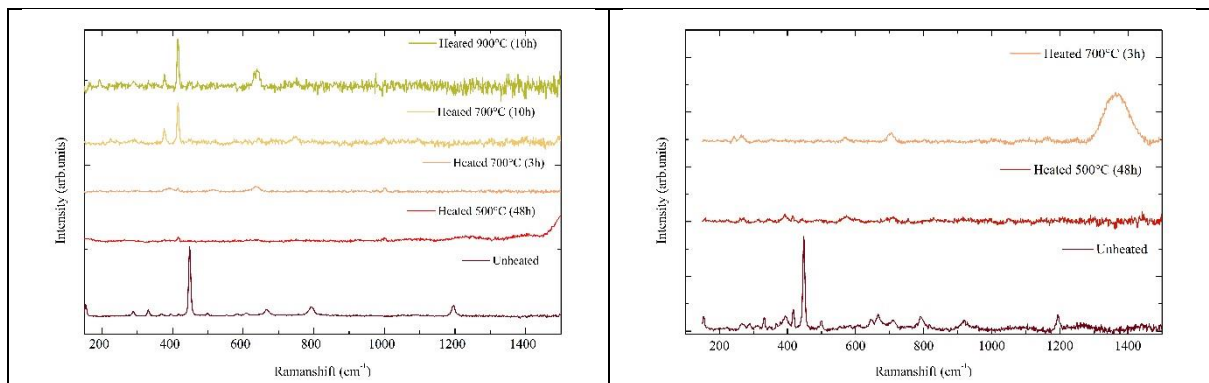
ก-7. รามานสเปกตรัมของแร่ Chacopyrite



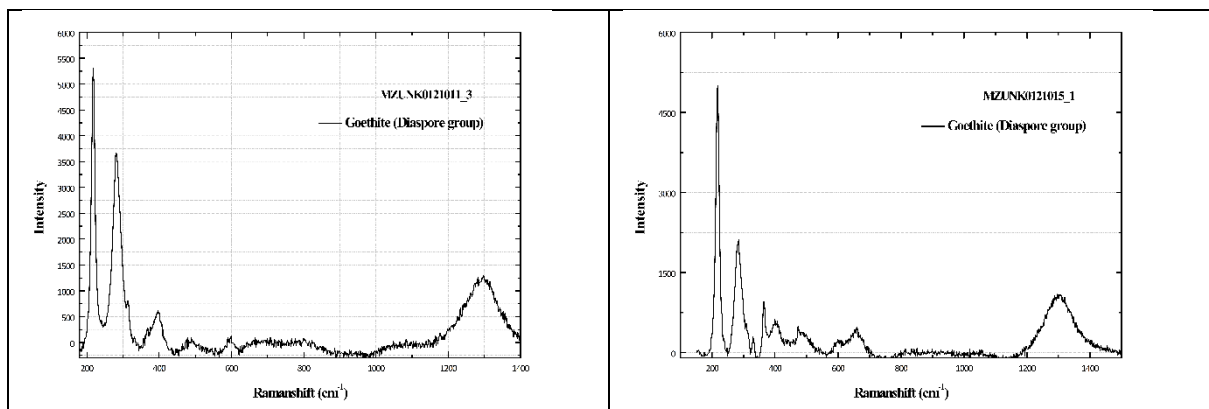
ก-8. รามานสเปกตรัมของแร่ Anatase



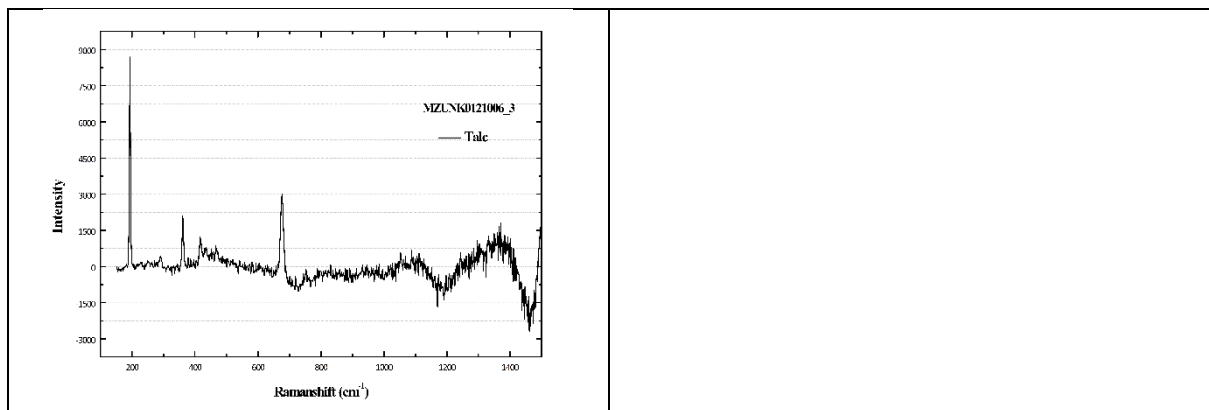
ก-9. รามานสเปกตรัมของแร่ Diaspore



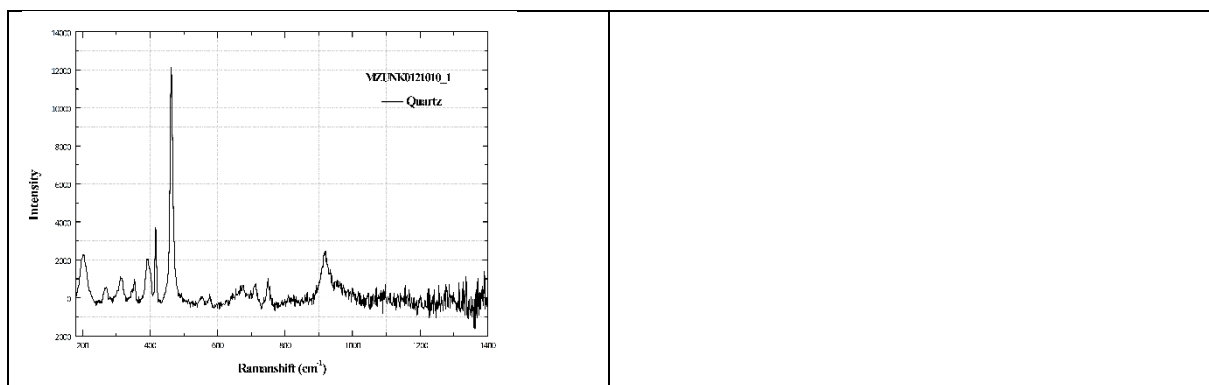
ก-10. รามานสเปกตรัมของแร่ Goethite (Diaspore group)



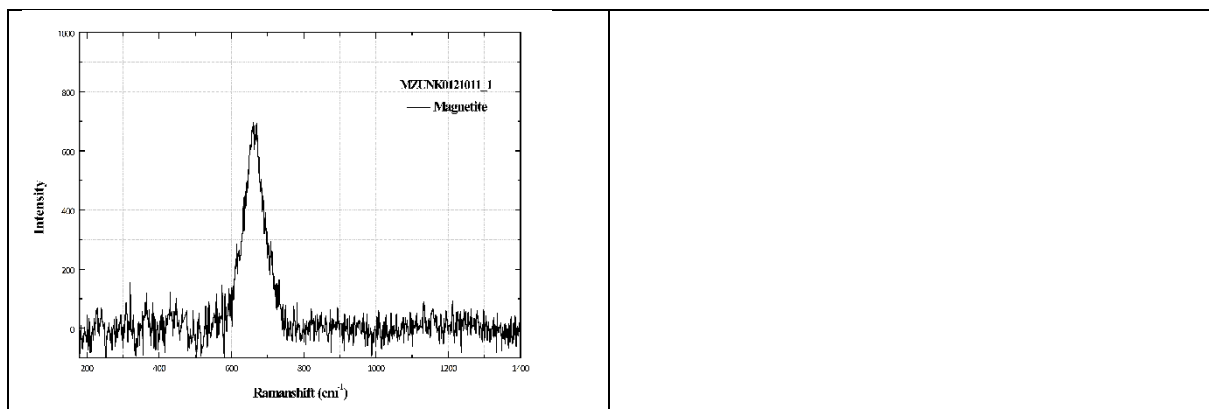
ก-11. รามานสเปกตรัมของแร่ Talc



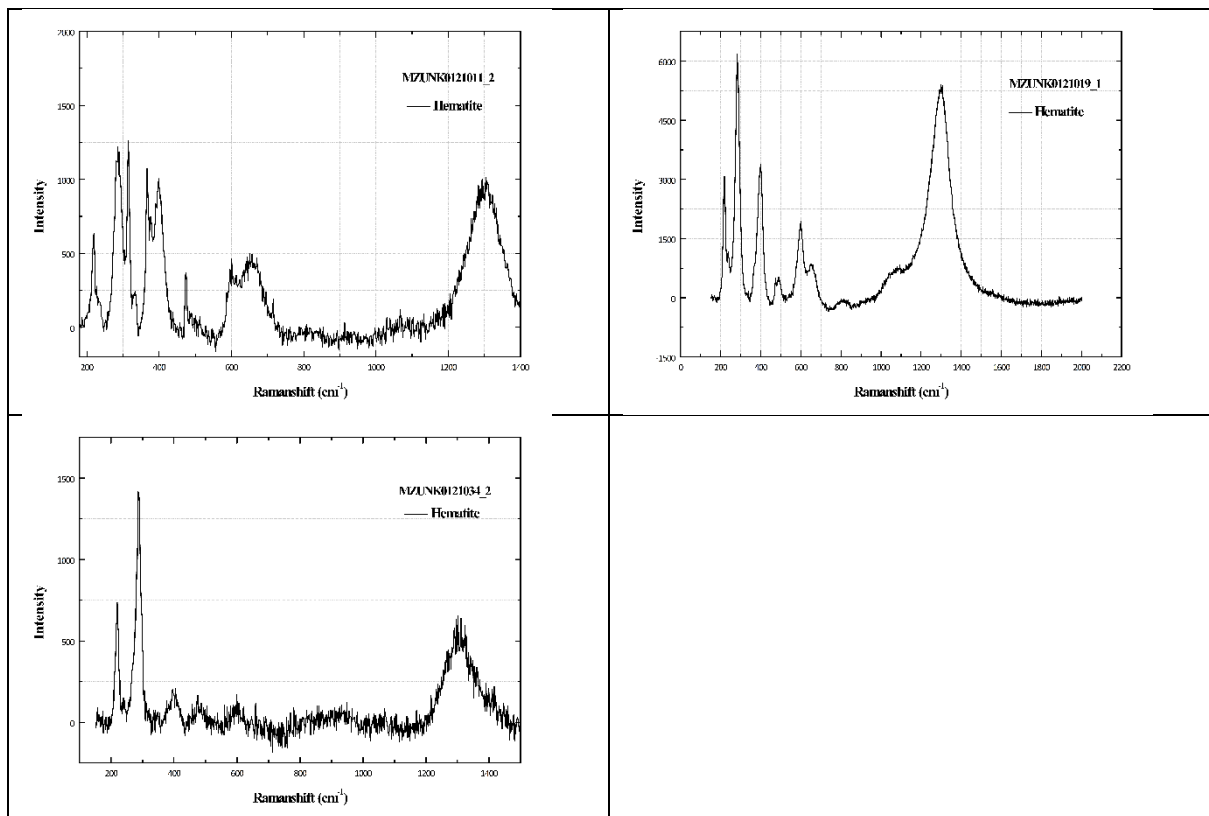
ก-12. รามานสเปกตรัมของแร่ Quartz



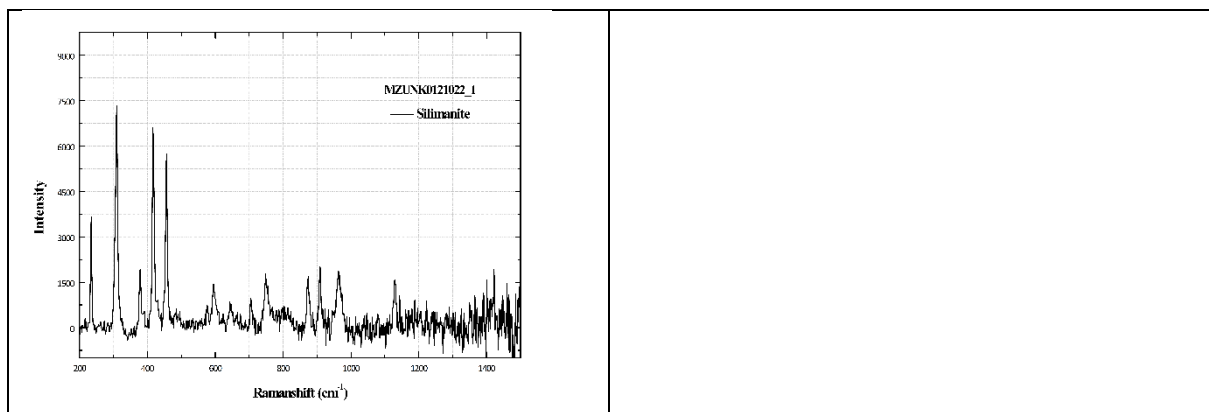
ก-13. รามานสเปกตรัมของแร่ Magnetite



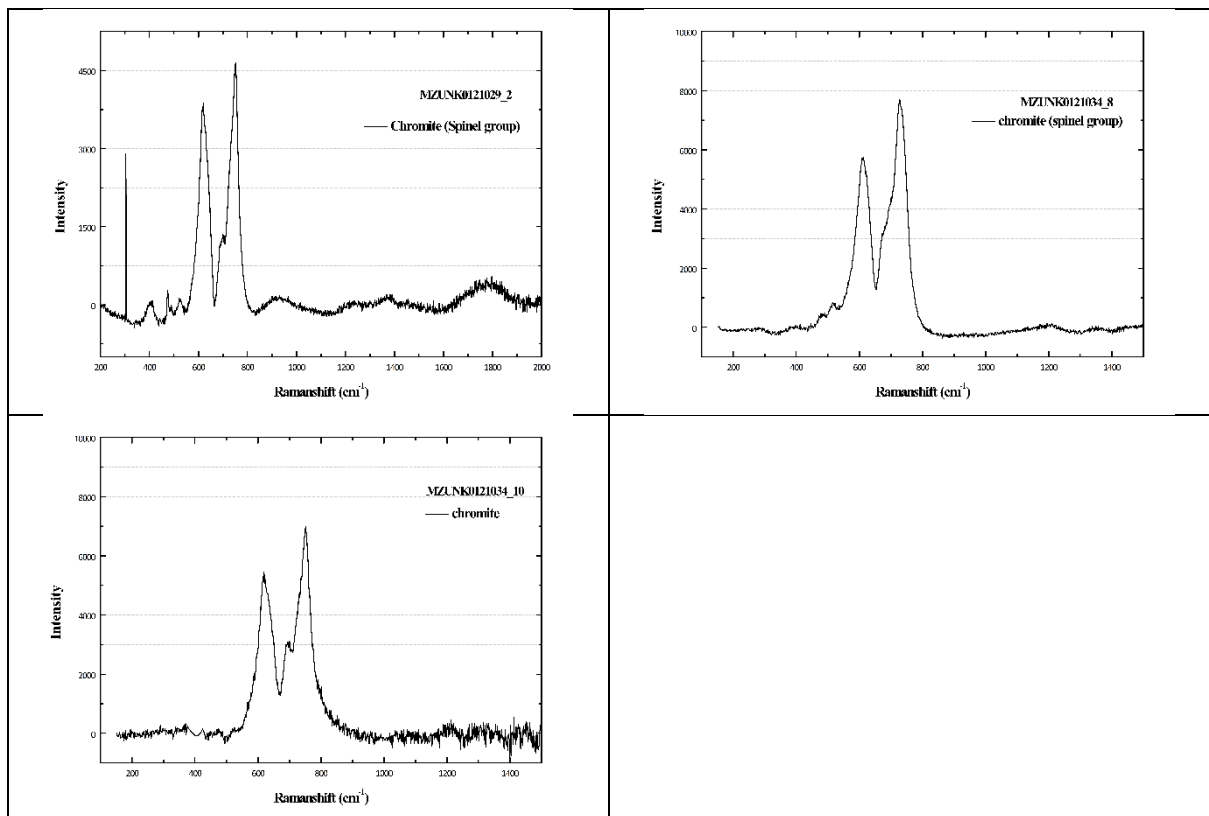
ก-14. รามานสเปกตรัมของแร่ Hematite



ก-15. รามานสเปกตรัมของแร่ Silimanite

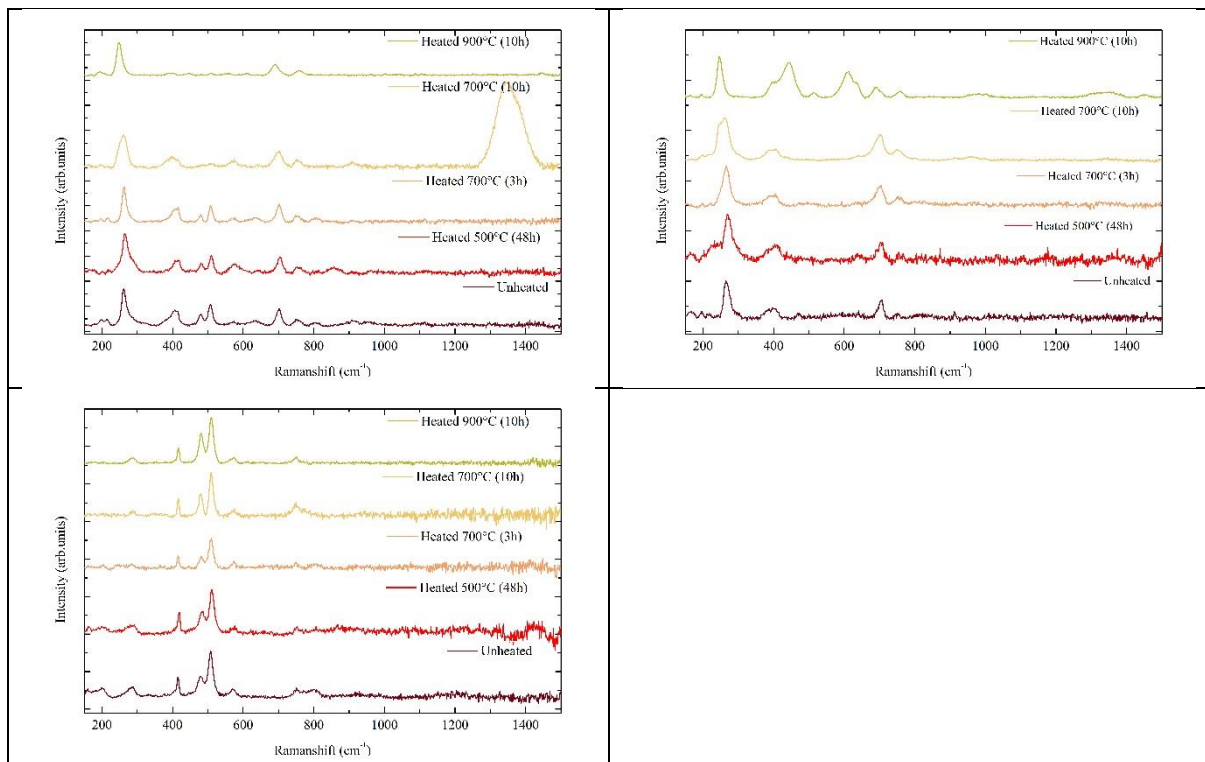


ก-16. รามานสเปกตรัมของแร่ Chromite (Spinel group)

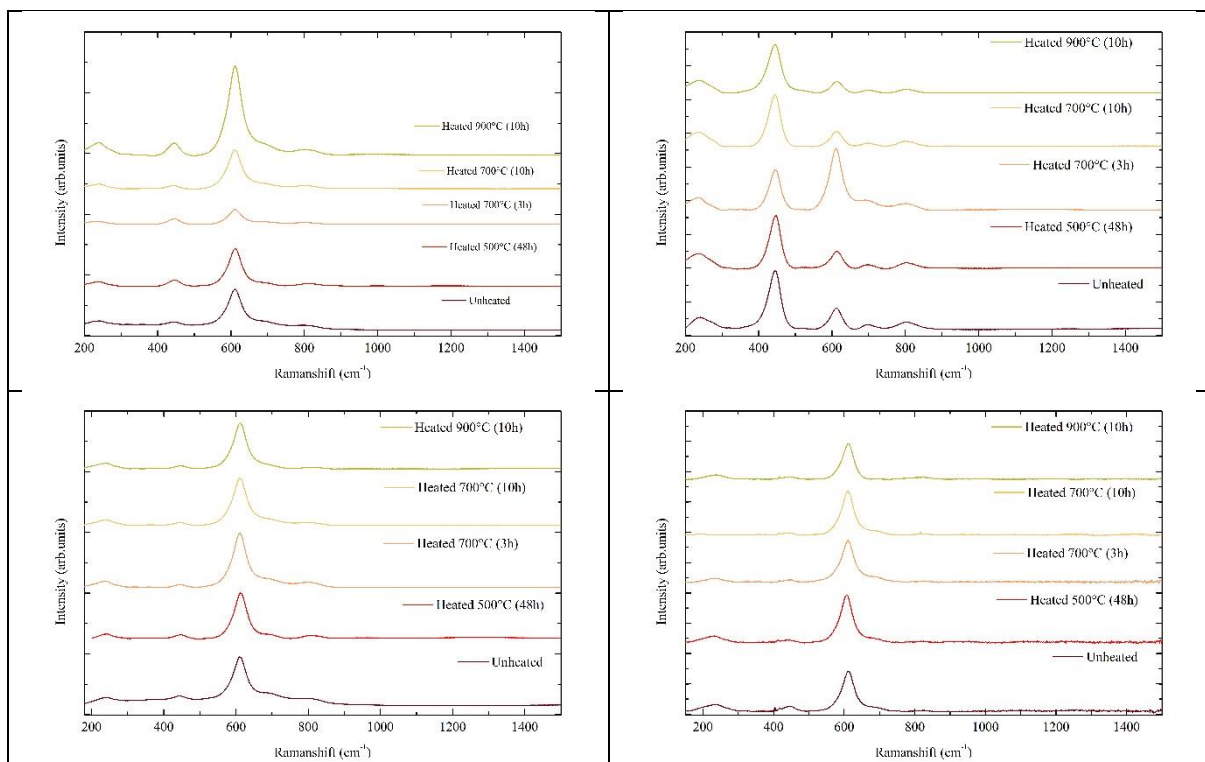


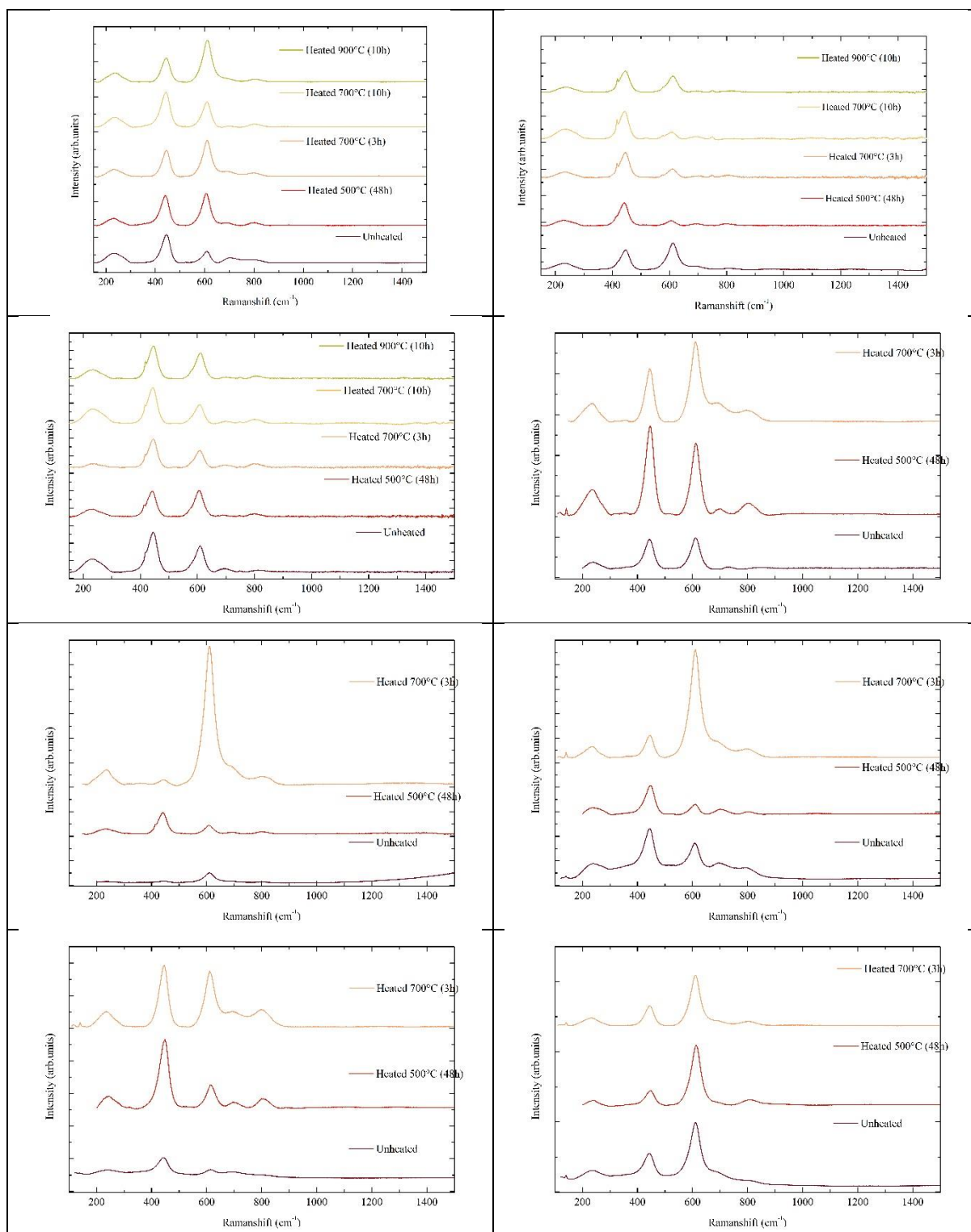
ผลวิเคราะห์ผลหินผลึกแหล่งมาตากัสการ์

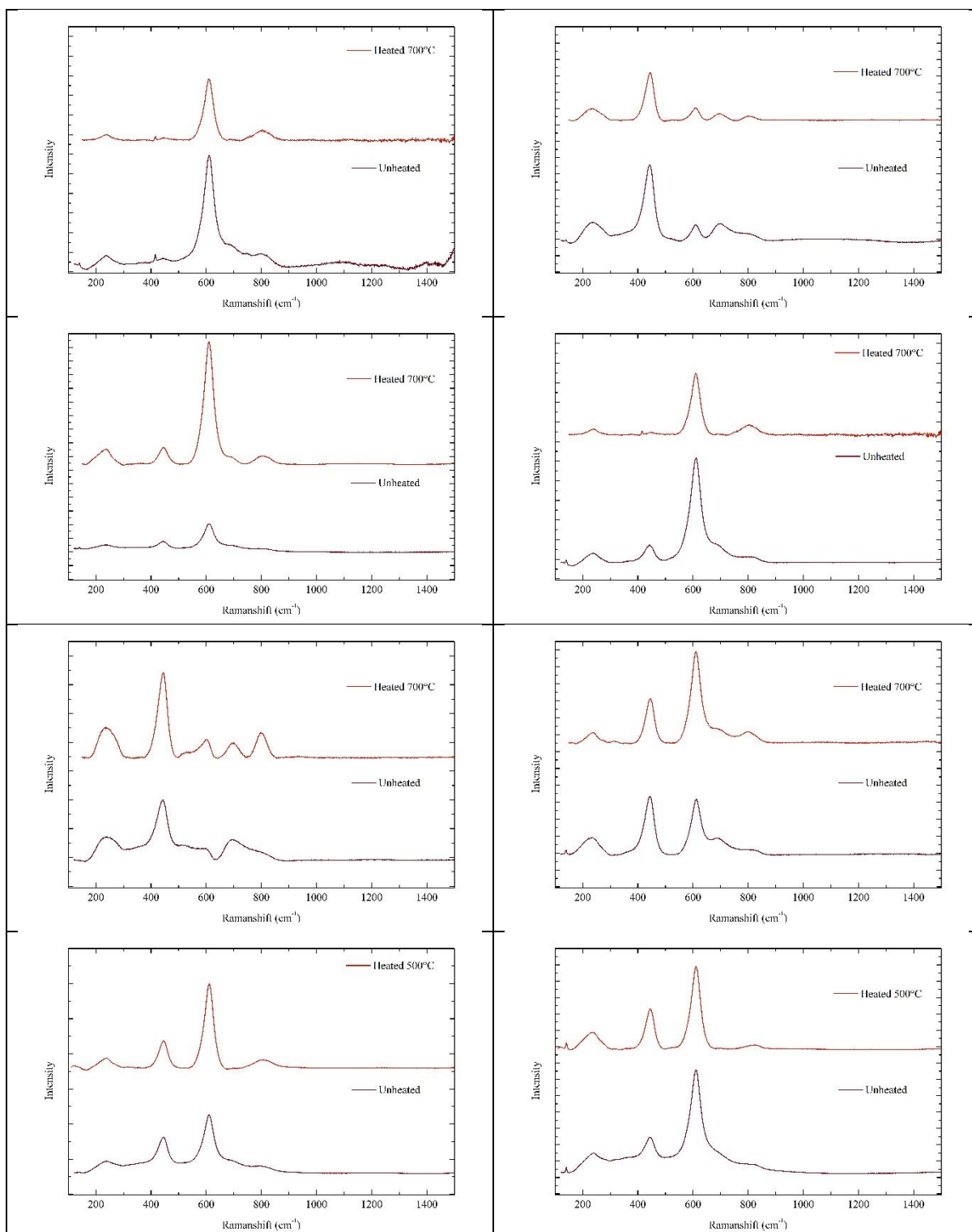
ก-17. รามานสเปกตรัมของแร่ Mica (Fuchsite)

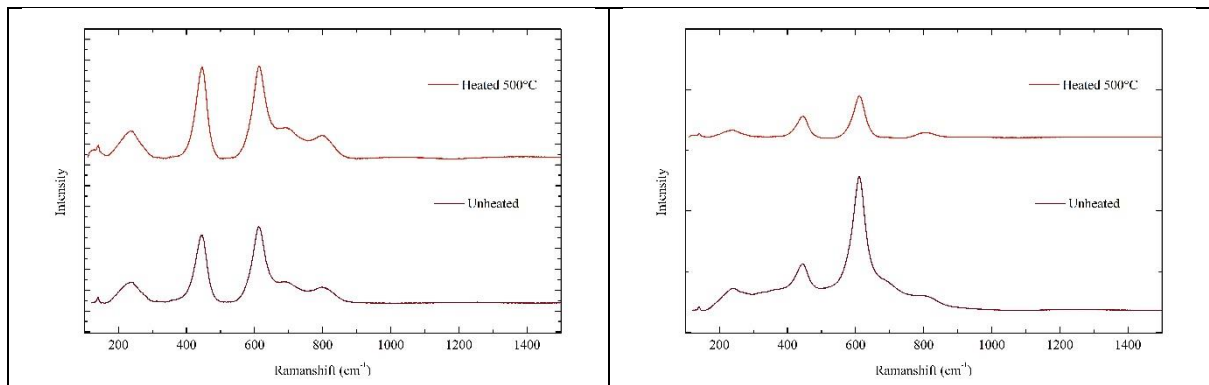


ก-18. รามานสเปกตรัมของแร่ rutile

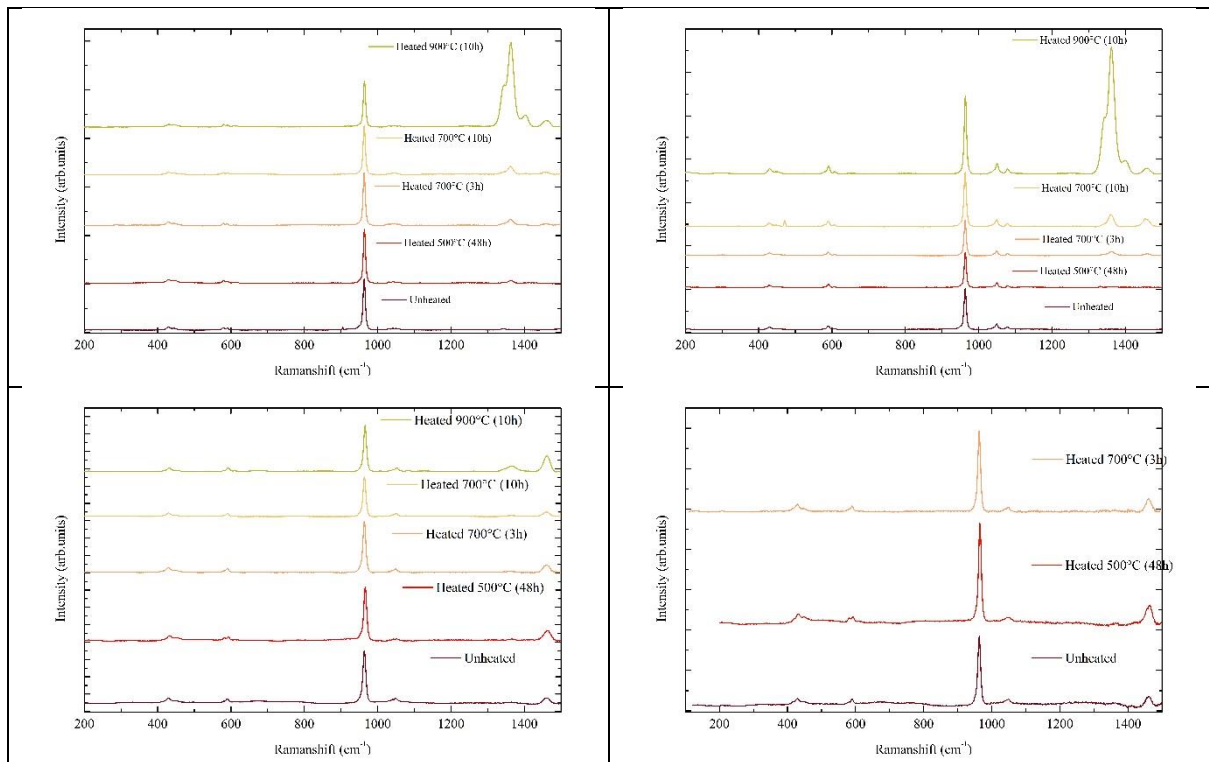




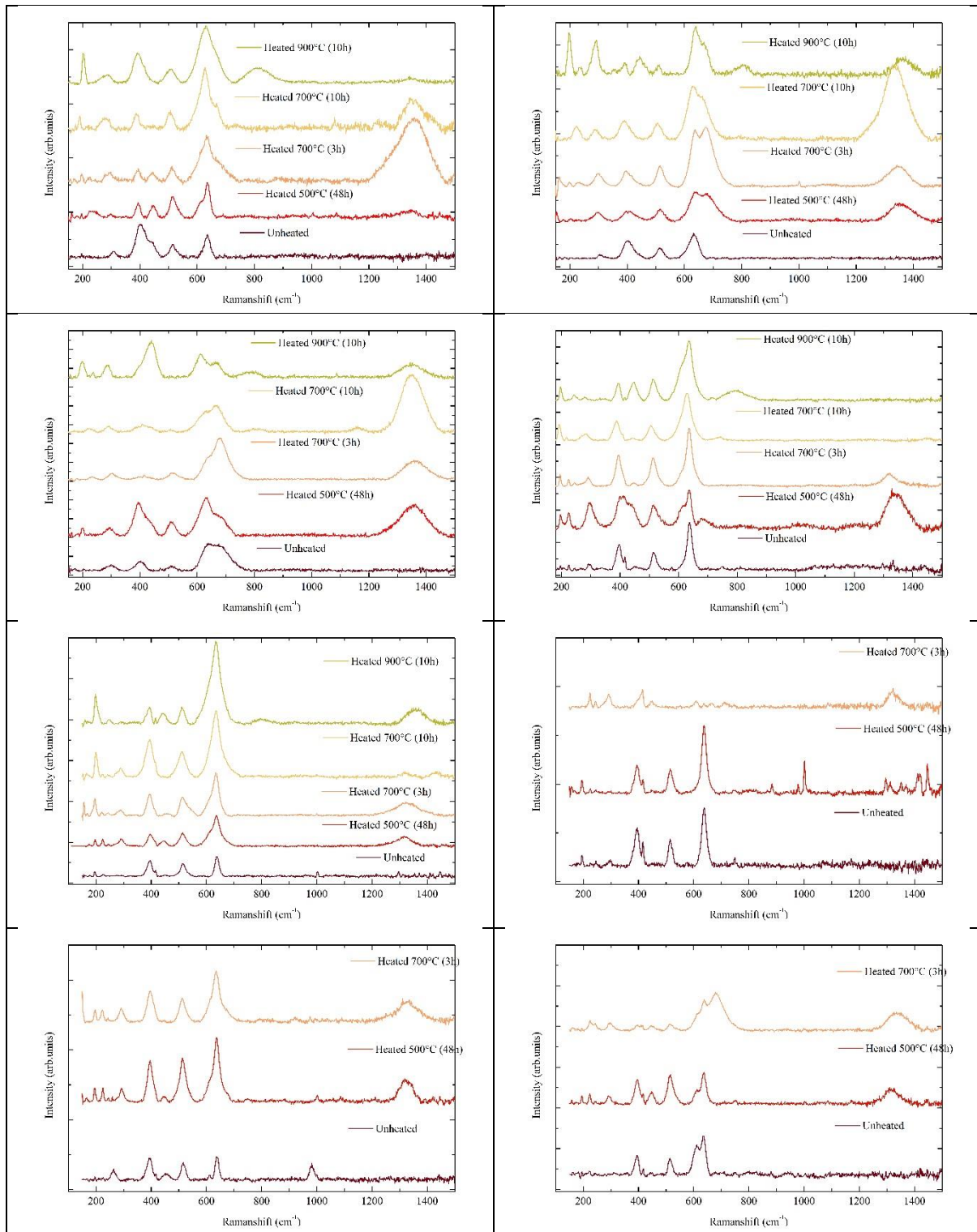


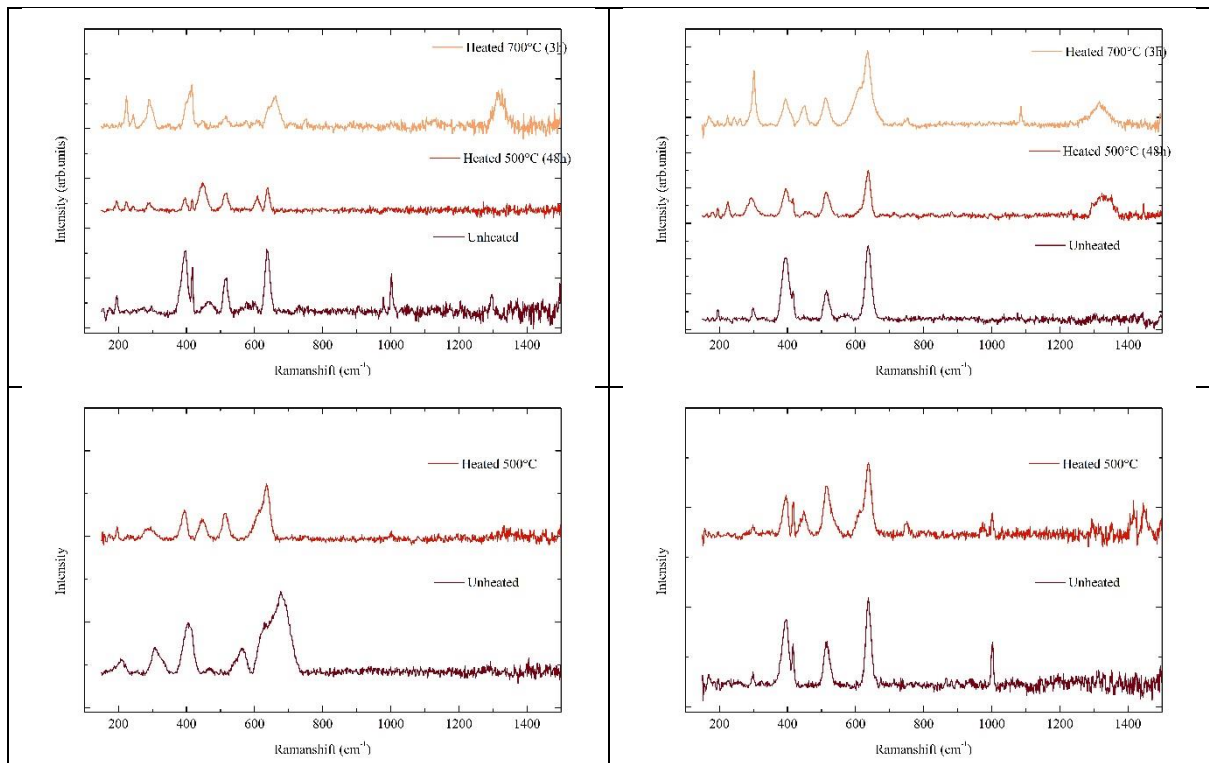


ก-19. รามานสเปกตรัมของแร่ apatite

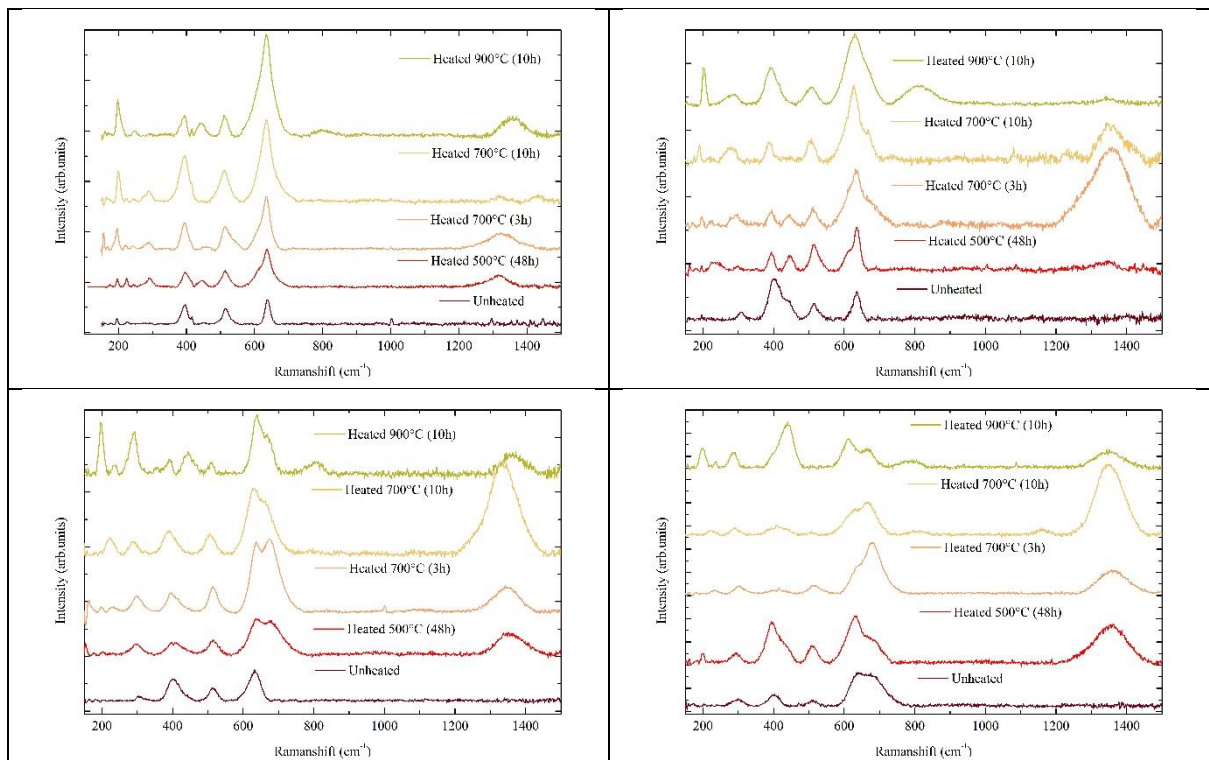


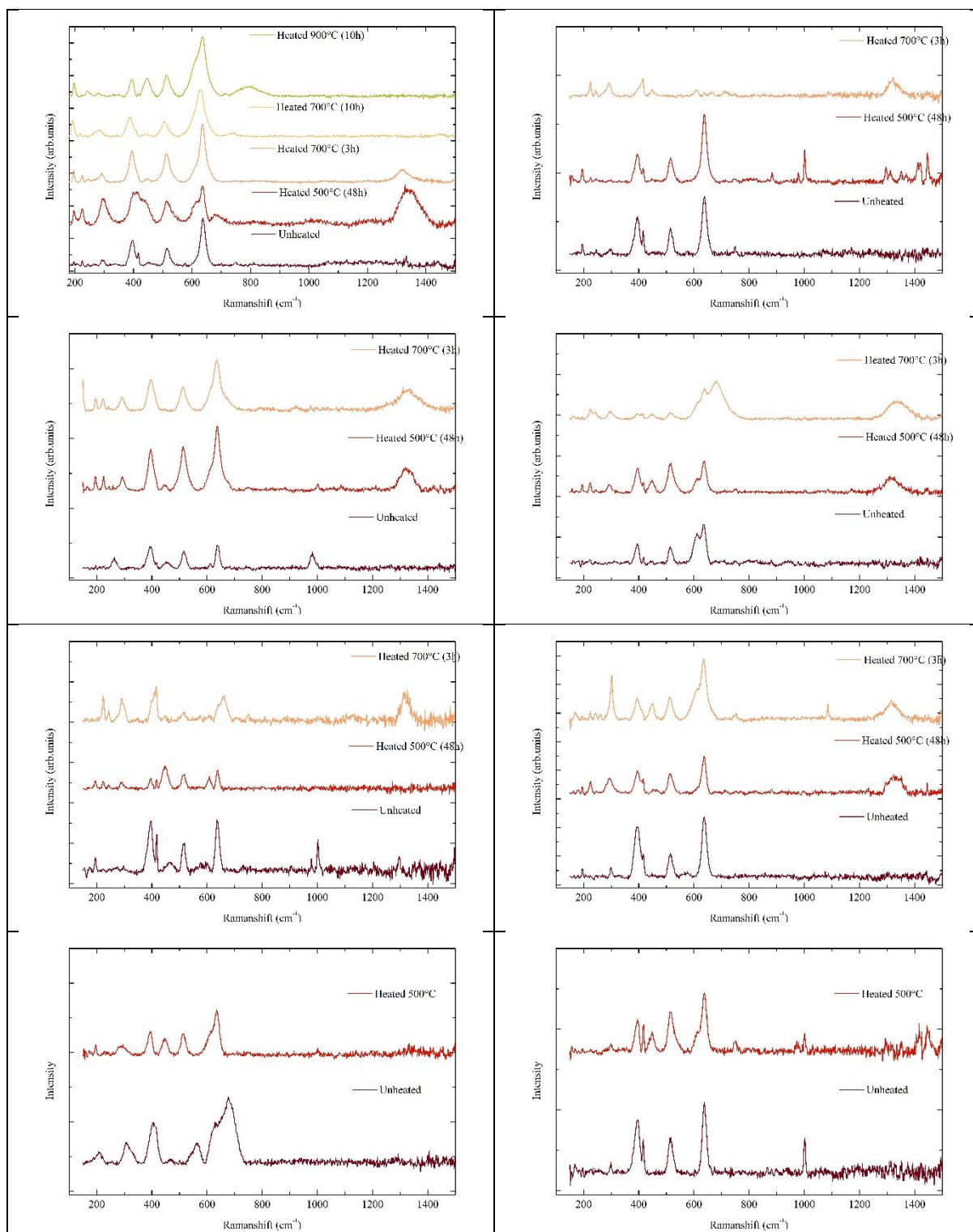
ก-20. รามานสเปกตรัมของแร่ anatase



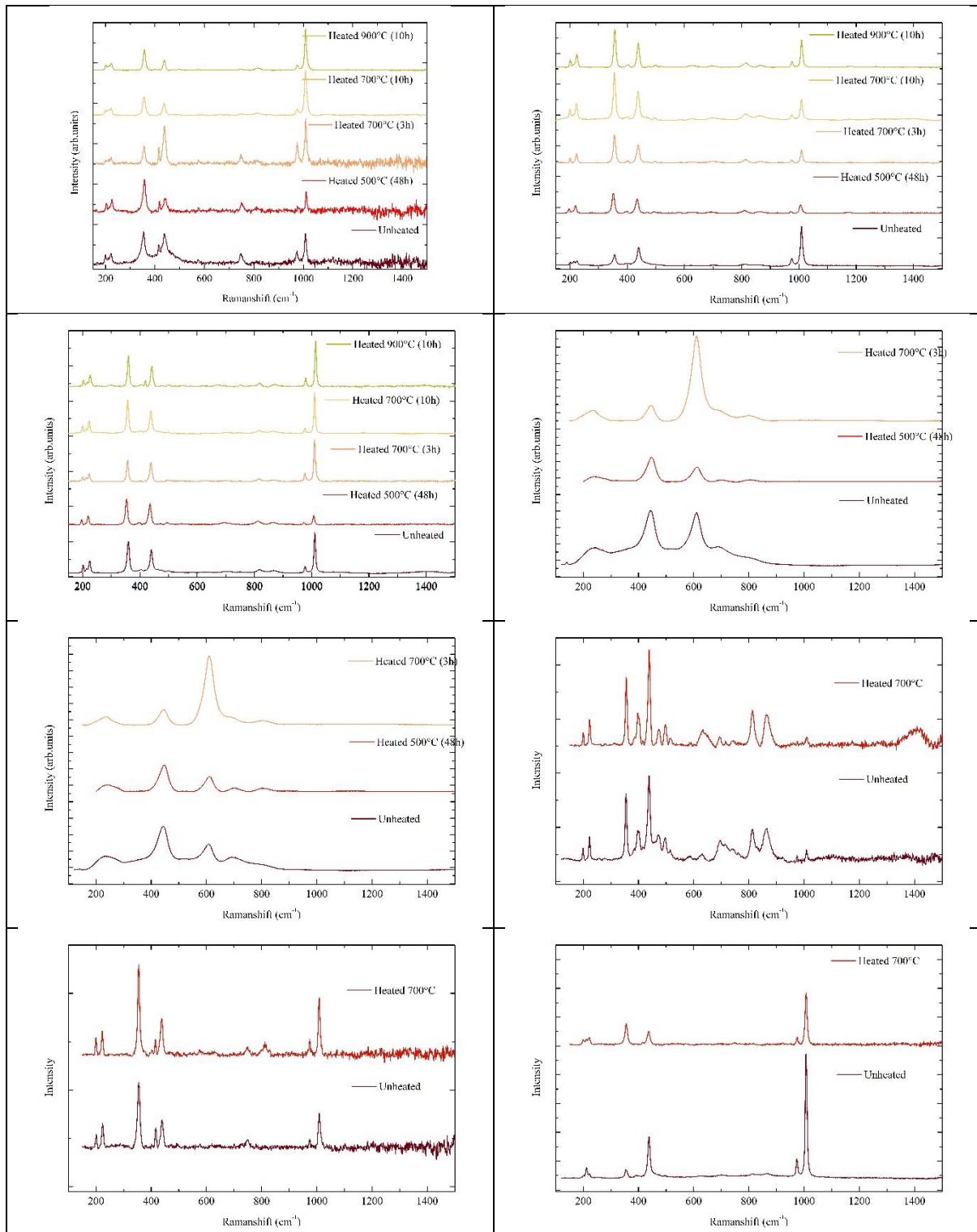


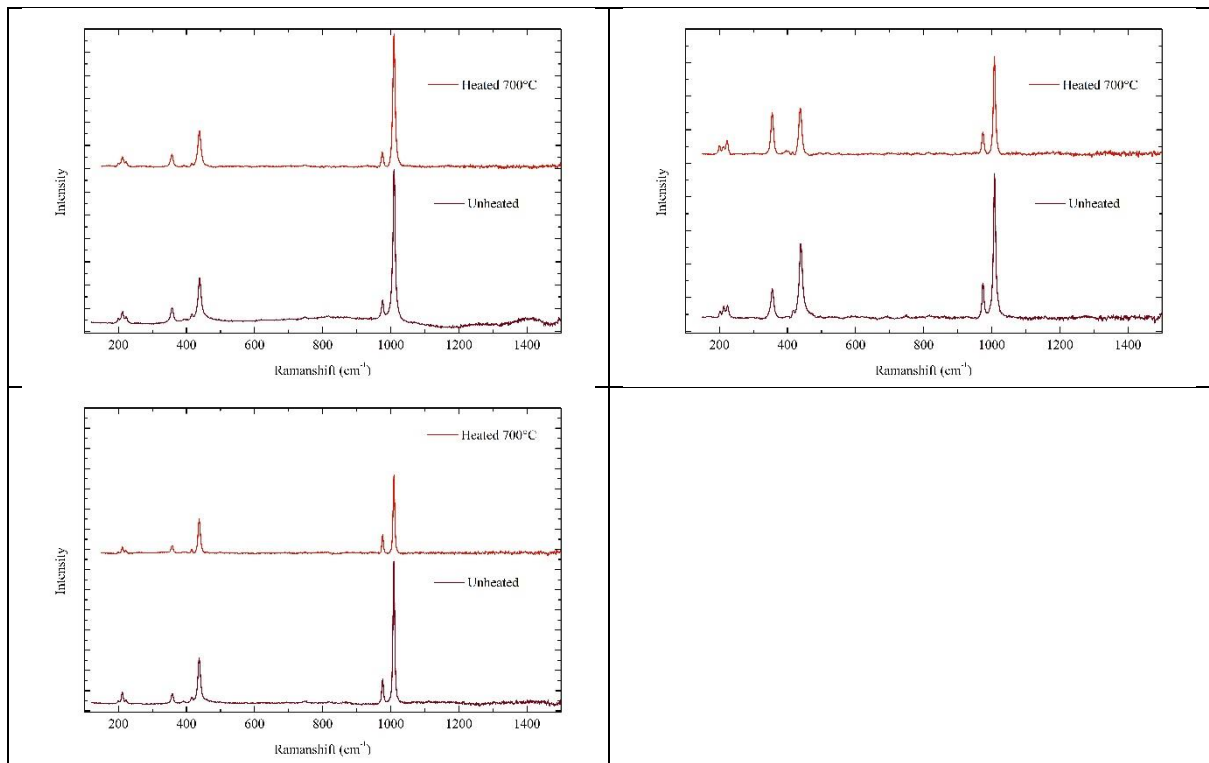
ก-21. รามานสเปกตรัมของแร่ goethite



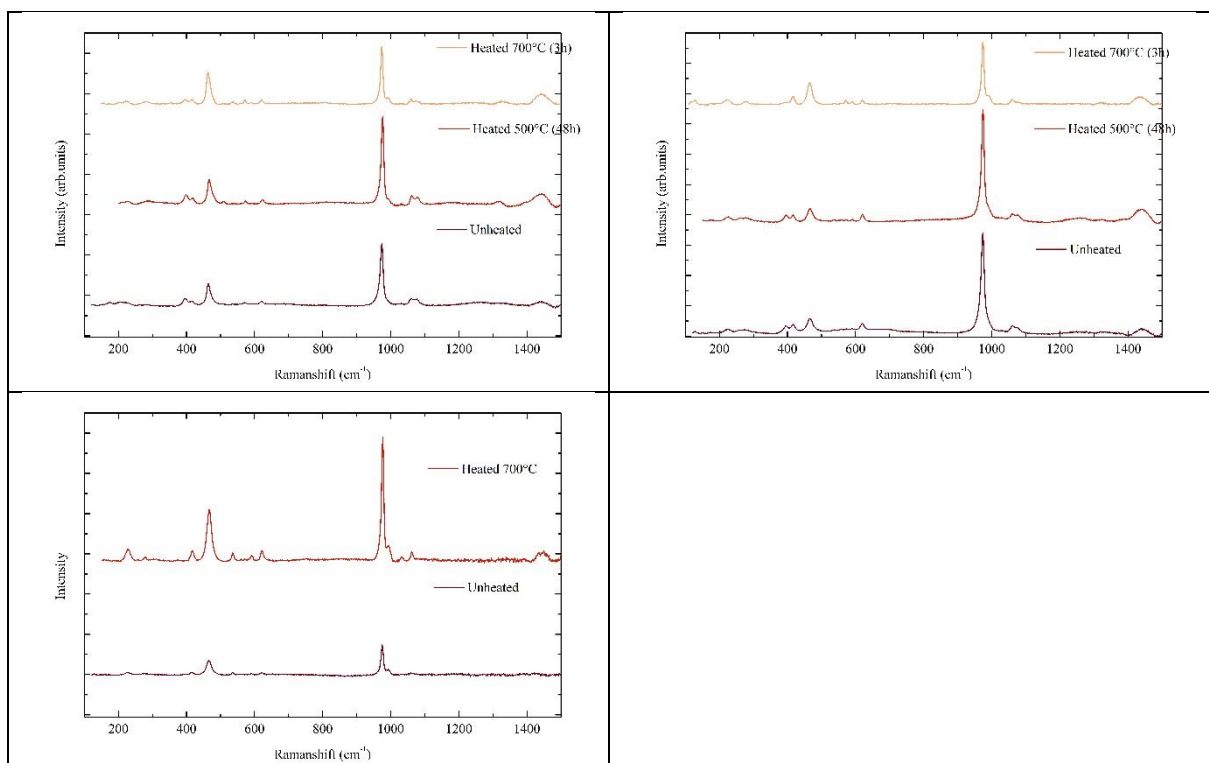


ก-22. รามานสเปกตรัมของแร่ zircon

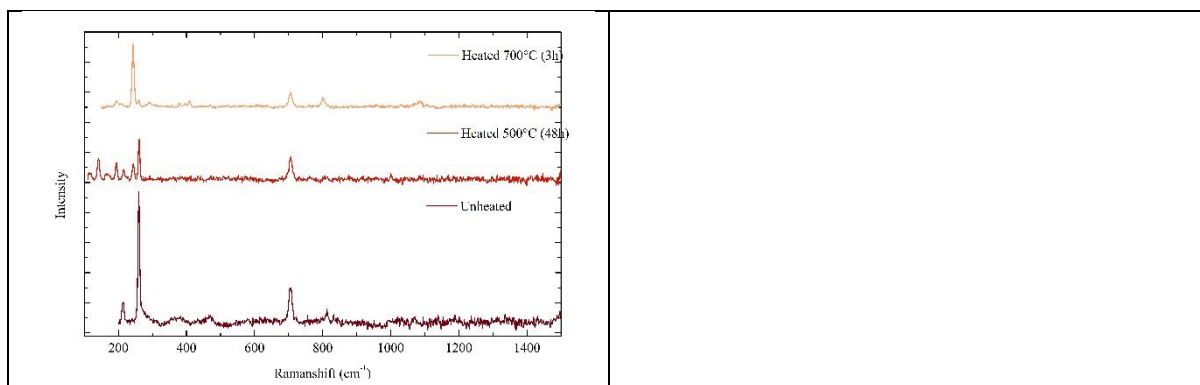




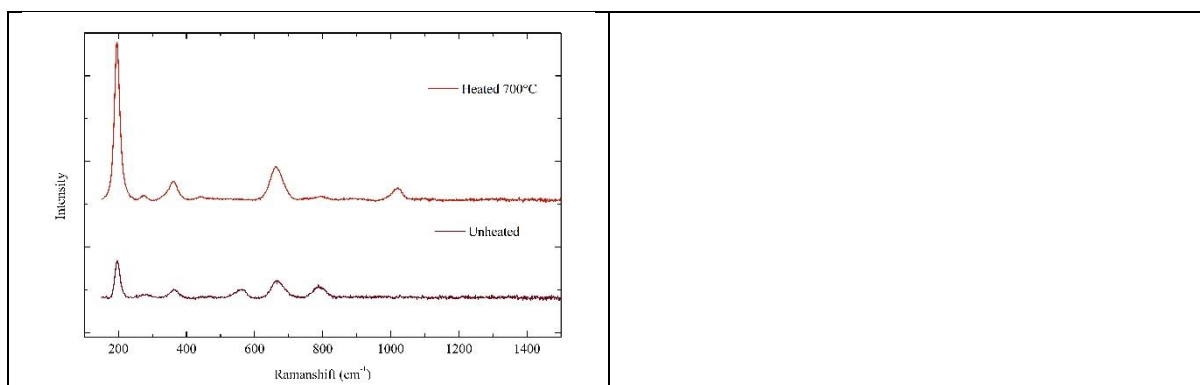
ก-23. รามานสเปกตรัมของแร่ monazite



ก-24. รามานสเปกตรัมของแร่ pyrophyllite



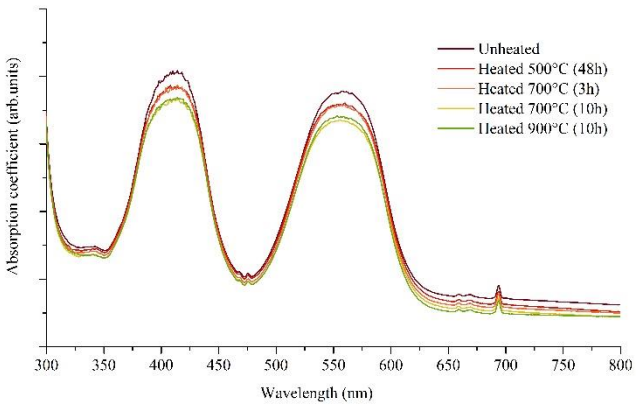
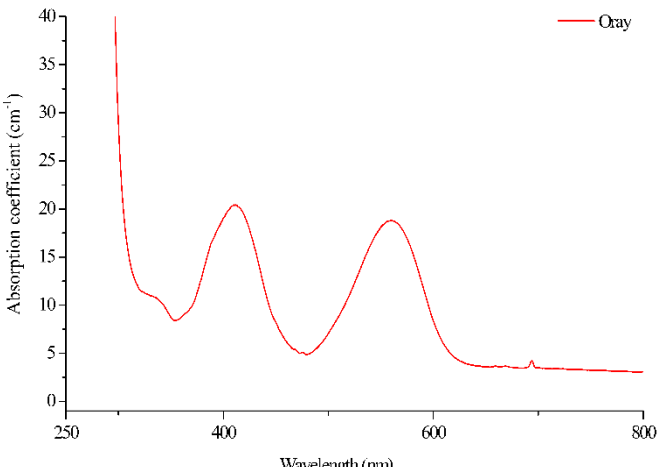
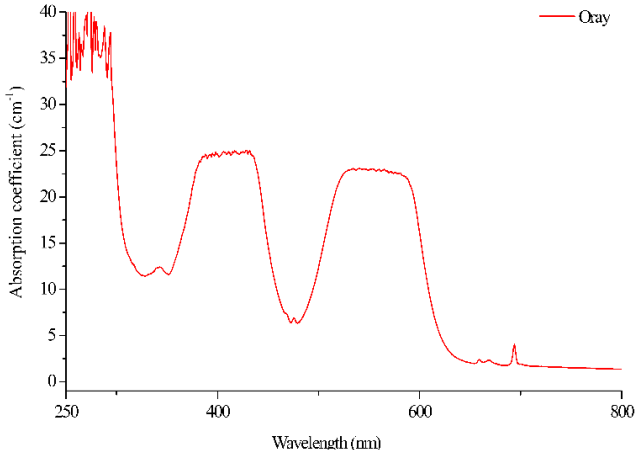
ก-25. รามานสเปกตรัมของแร่ biotite

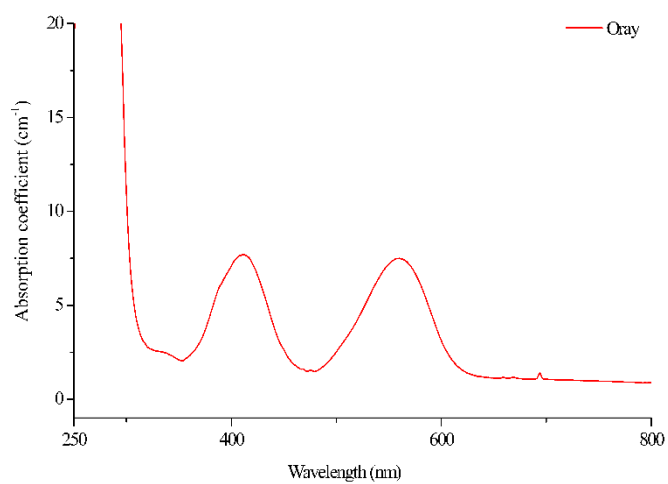
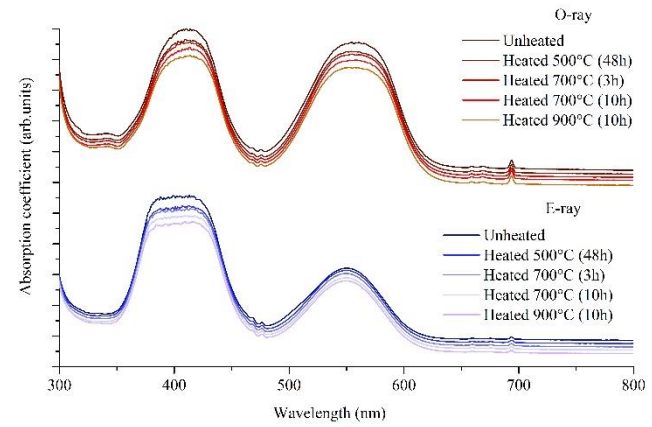
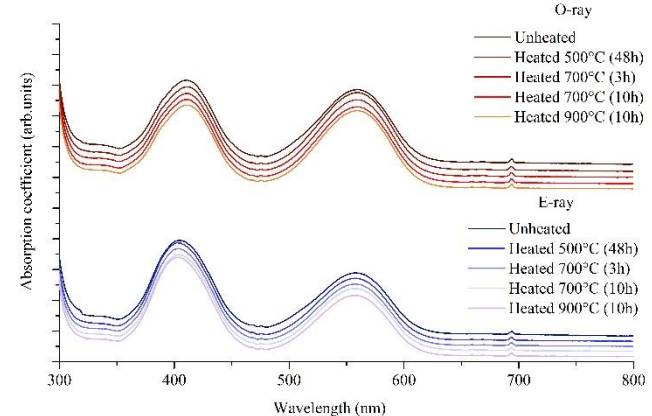


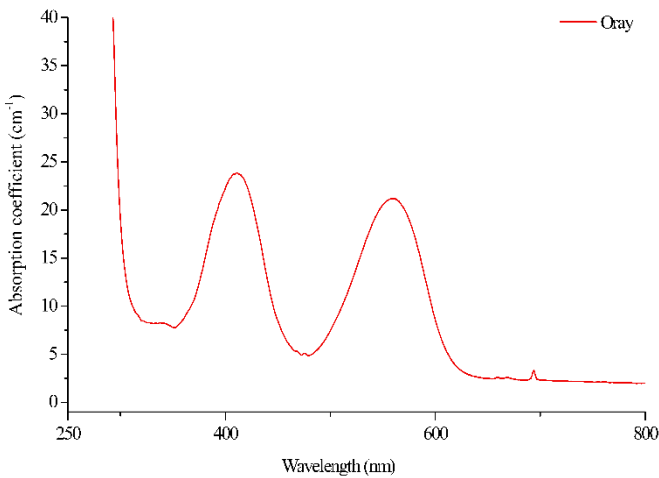
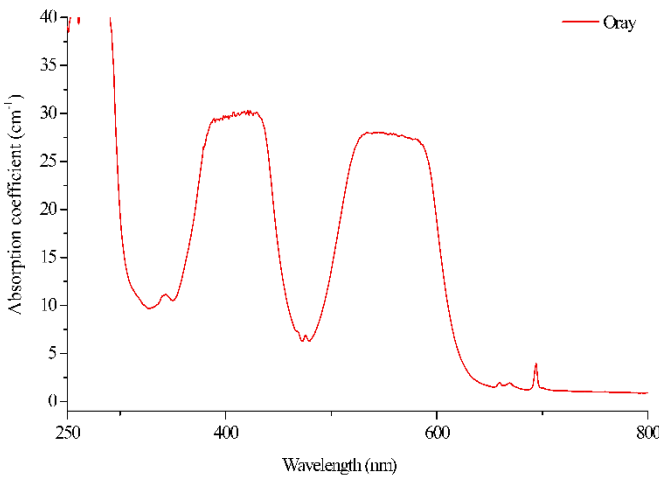
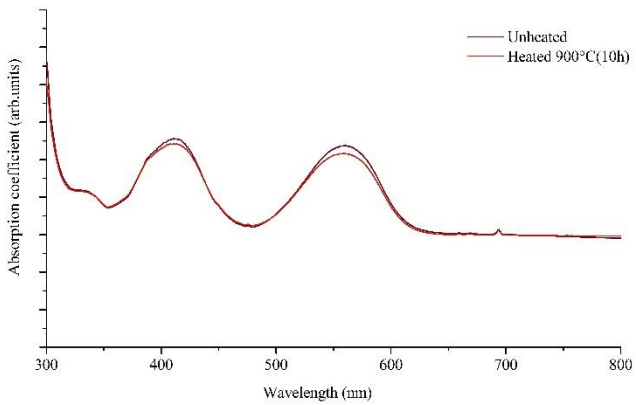
ภาคผนวกข. ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Vis-NIR spectrophotometer

ข-1 ผลการวิเคราะห์ทับทิมแหล่งโมซัมบิก

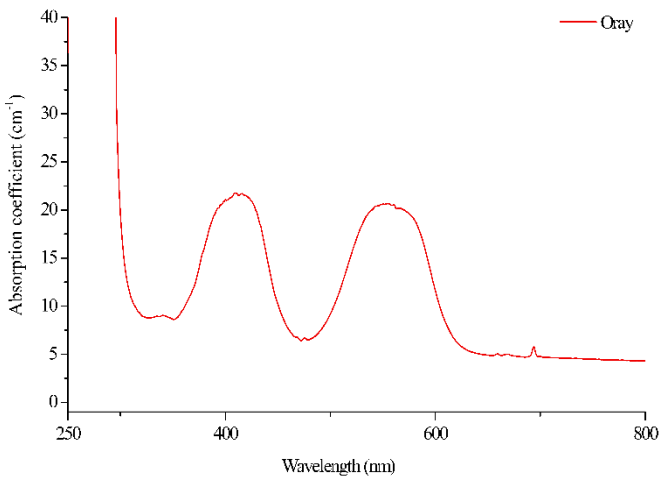
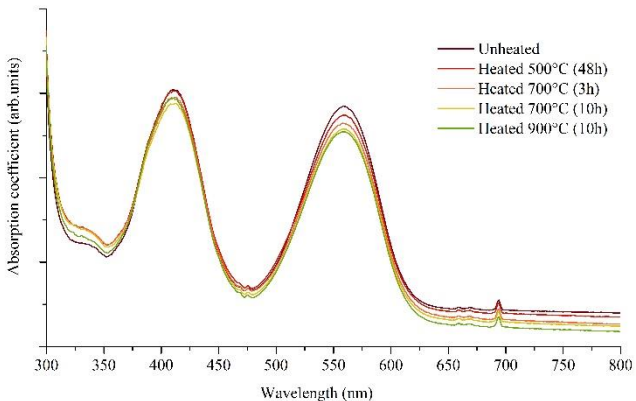
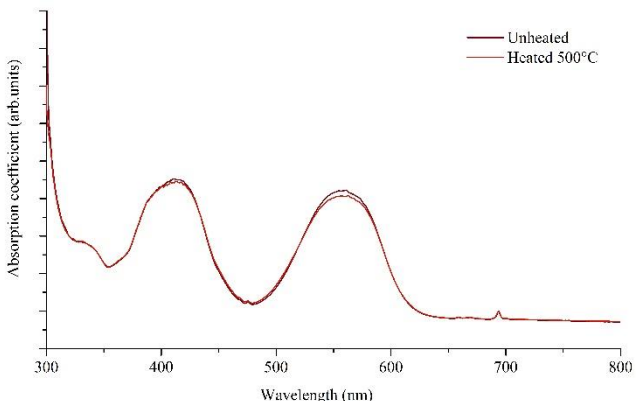
Name	Graph
MZUNK0121-001	
MZUNK0121-002	
MZUNK0121-003	

Name	Graph
MZUNK0121-004	
MZUNK0121-005	
MZUNK0121-006	

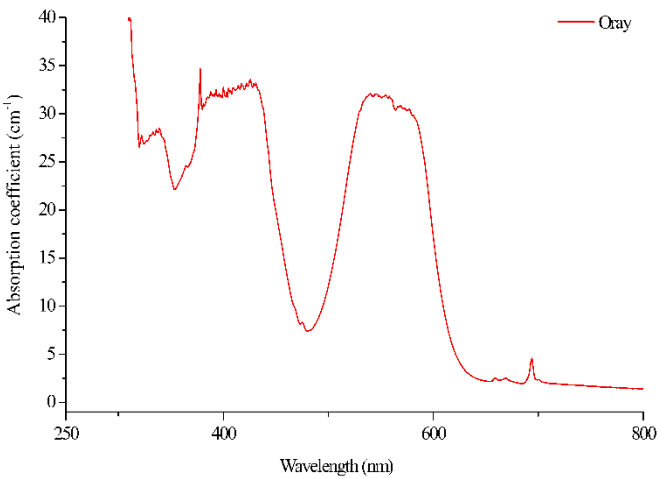
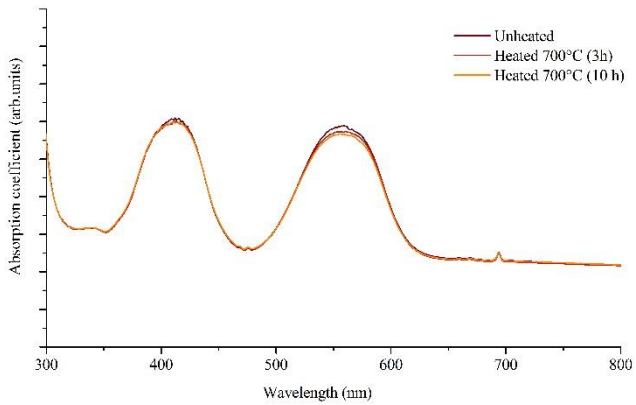
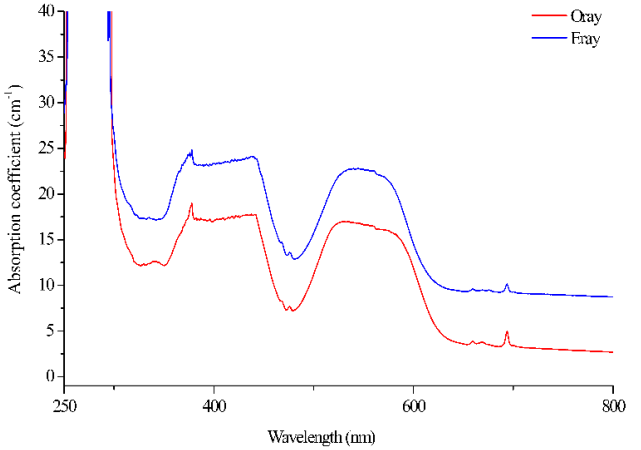
Name	Graph
MZUNK0121-007	 A line graph showing the absorption coefficient (cm⁻¹) versus wavelength (nm) for sample MZUNK0121-007. The x-axis ranges from 250 to 800 nm, and the y-axis ranges from 0 to 20 cm⁻¹. The curve, labeled 'O-ray', shows a very sharp peak at approximately 270 nm with an absorption coefficient of about 20 cm⁻¹. It then drops to a local minimum around 350 nm, followed by two broader peaks at approximately 410 nm (absorption ~7.5 cm⁻¹) and 550 nm (absorption ~7.5 cm⁻¹). The absorption decreases significantly after 600 nm, remaining below 1 cm⁻¹ up to 800 nm.
MZUNK0121-008	 Two stacked line graphs showing the absorption coefficient (arb. units) versus wavelength (nm) for sample MZUNK0121-008. The x-axis ranges from 300 to 800 nm. The top graph is for the 'O-ray' and the bottom for the 'E-ray'. Both graphs show multiple curves for different heating conditions: Unheated (black), Heated 500°C (48h) (dark blue), Heated 700°C (3h) (red), Heated 700°C (10h) (light blue), and Heated 900°C (10h) (yellow). The O-ray spectra show two main peaks at ~410 nm and ~550 nm. The E-ray spectra show a single broad peak centered around 410 nm. In both cases, the peak intensities and positions change slightly with heating.
MZUNK0121-009	 Two stacked line graphs showing the absorption coefficient (arb. units) versus wavelength (nm) for sample MZUNK0121-009. The x-axis ranges from 300 to 800 nm. The top graph is for the 'O-ray' and the bottom for the 'E-ray'. Both graphs show multiple curves for different heating conditions: Unheated (black), Heated 500°C (48h) (dark blue), Heated 700°C (3h) (red), Heated 700°C (10h) (light blue), and Heated 900°C (10h) (yellow). The O-ray spectra show two main peaks at ~410 nm and ~550 nm. The E-ray spectra show a single broad peak centered around 410 nm. The trends are similar to those observed in MZUNK0121-008.

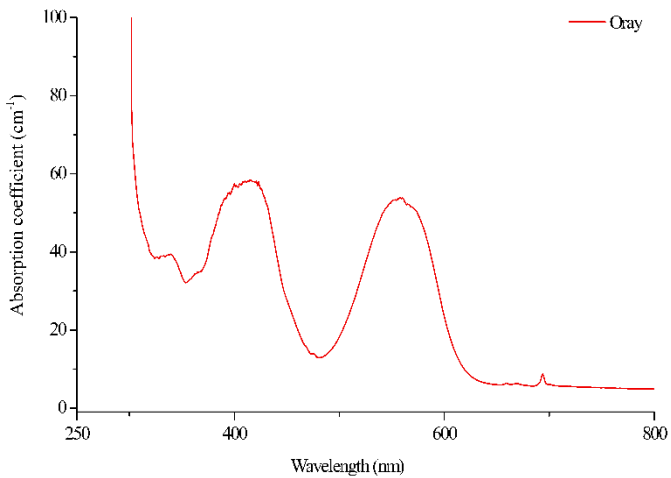
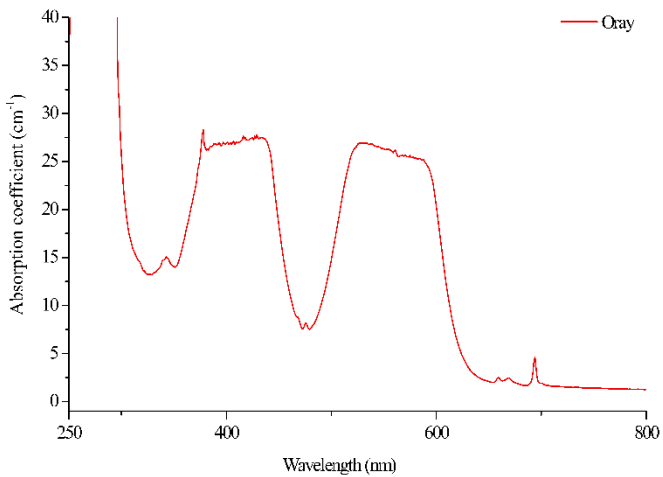
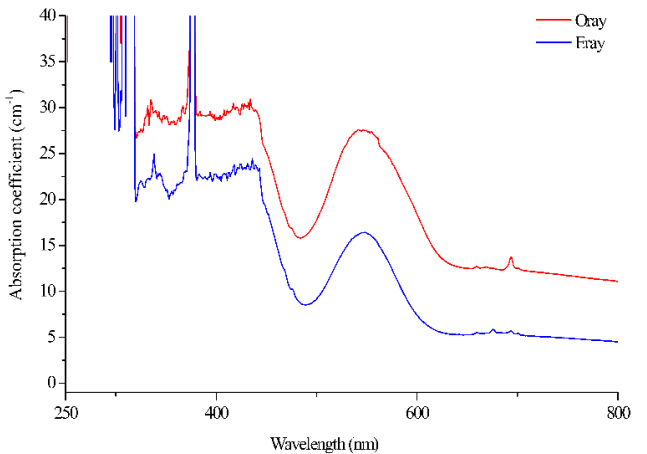
Name	Graph
MZUNK0121-010	 UV-Vis absorption spectrum of MZUNK0121-010. The x-axis represents Wavelength (nm) from 250 to 800, and the y-axis represents Absorption coefficient (cm⁻¹) from 0 to 40. The spectrum shows a sharp peak at approximately 270 nm, a shoulder at 330 nm, a main peak at 410 nm (absorption ~23 cm⁻¹), a local minimum at 480 nm, and a second peak at 550 nm (absorption ~21 cm⁻¹). The absorption decreases significantly after 600 nm.
MZUNK0121-011	 UV-Vis absorption spectrum of MZUNK0121-011. The x-axis represents Wavelength (nm) from 250 to 800, and the y-axis represents Absorption coefficient (cm⁻¹) from 0 to 40. The spectrum shows a sharp peak at approximately 270 nm, a shoulder at 330 nm, a main peak at 410 nm (absorption ~30 cm⁻¹), a local minimum at 480 nm, and a second peak at 550 nm (absorption ~28 cm⁻¹). The absorption decreases significantly after 600 nm.
MZUNK0121-012	 Comparison of UV-Vis absorption spectra for MZUNK0121-012. The x-axis represents Wavelength (nm) from 300 to 800, and the y-axis represents Absorption coefficient (arb. units). Two curves are shown: 'Unheated' (black line) and 'Heated 900°C(10h)' (red line). Both spectra show a broad absorption band with peaks around 410 nm and 550 nm. The 'Heated' sample shows slightly higher absorption intensity compared to the 'Unheated' sample across the visible range.

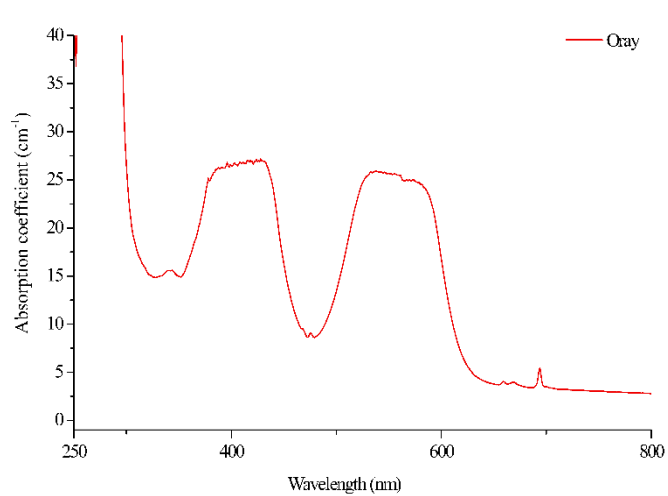
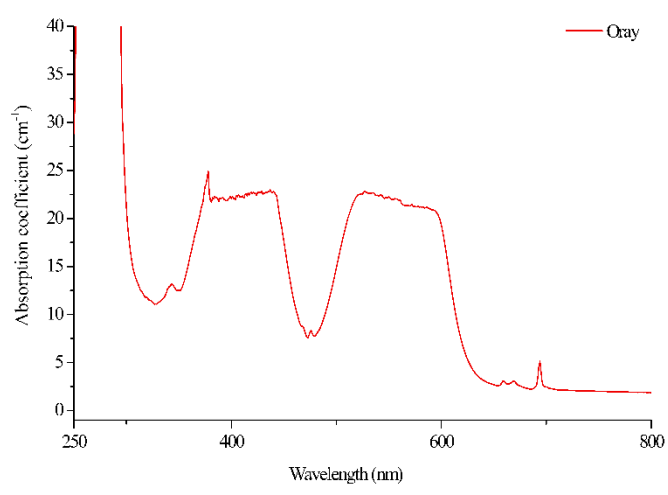
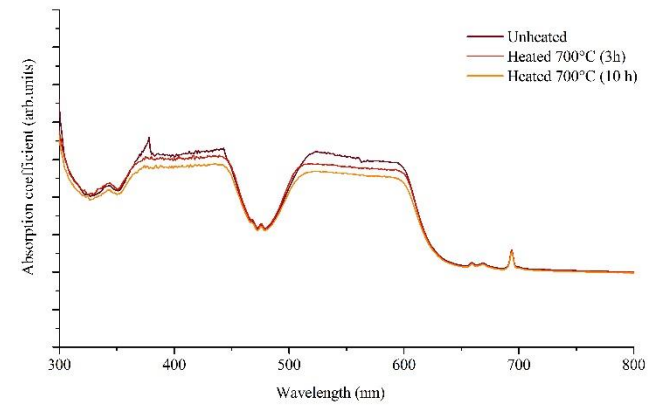
Name	Graph
MZUNK0121-013	
MZUNK0121-014	
MZUNK0121-015	

Name	Graph
MZUNK0121-016	 Absorption spectrum of MZUNK0121-016 in Oray. The y-axis represents the Absorption coefficient (cm^{-1}) from 0 to 40, and the x-axis represents Wavelength (nm) from 250 to 800. The spectrum shows a sharp peak at approximately 270 nm, a broad peak at approximately 410 nm, and another broad peak at approximately 560 nm.
MZUNK0121-017	 Absorption spectra of MZUNK0121-017 under different heating conditions. The y-axis represents the Absorption coefficient (arb. units) and the x-axis represents Wavelength (nm) from 300 to 800. The legend indicates five curves: Unheated (black), Heated 500°C (48h) (red), Heated 700°C (3h) (orange), Heated 700°C (10h) (yellow), and Heated 900°C (10h) (green). All curves show characteristic peaks at approximately 410 nm and 560 nm.
MZUNK0121-018	 Absorption spectra of MZUNK0121-018 for Unheated and Heated 500°C samples. The y-axis represents the Absorption coefficient (arb. units) and the x-axis represents Wavelength (nm) from 300 to 800. The legend indicates two curves: Unheated (black) and Heated 500°C (red). Both curves show characteristic peaks at approximately 410 nm and 560 nm.

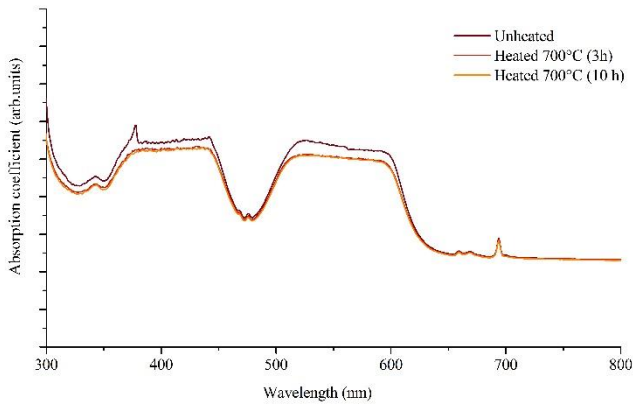
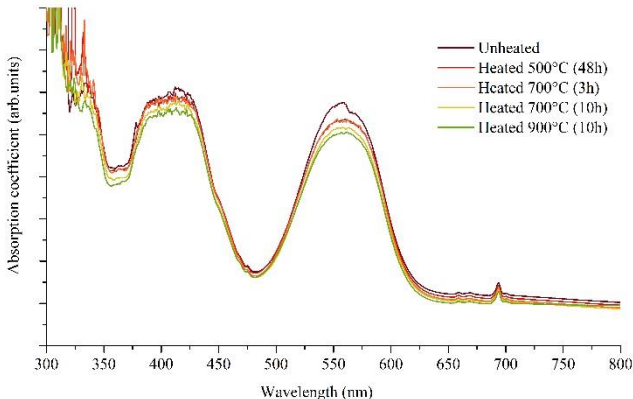
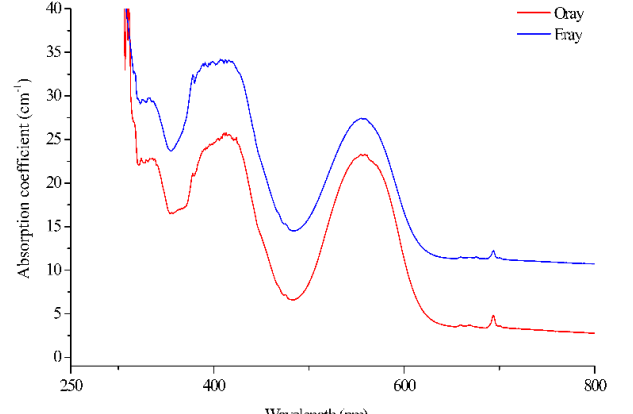
Name	Graph
MZUNK0121-019	UV-Vis absorption spectra for MZUNK0121-019. The graph plots Absorption coefficient (arb. units) against Wavelength (nm) from 300 to 800 nm. Three curves are shown: Unheated (purple), Heated 700°C (3h) (brown), and Heated 700°C (10 h) (yellow). The curves show two main absorption peaks at approximately 410 nm and 560 nm, with the heated samples showing slightly higher absorption than the unheated sample.
MZUNK0121-020	UV-Vis absorption spectrum for MZUNK0121-020. The graph plots Absorption coefficient (cm^{-1}) against Wavelength (nm) from 250 to 800 nm. A single red curve labeled 'Oray' is shown. The curve exhibits a sharp peak at approximately 260 nm and broader peaks at 410 nm and 560 nm.
MZUNK0121-021	UV-Vis absorption spectra for MZUNK0121-021. The graph plots Absorption coefficient (arb. units) against Wavelength (nm) from 300 to 800 nm. Three curves are shown: Unheated (purple), Heated 700°C (3h) (brown), and Heated 700°C (10 h) (yellow). The curves show two main absorption peaks at approximately 410 nm and 560 nm, with the heated samples showing slightly higher absorption than the unheated sample.

Name	Graph
MZUNK0121-022	 UV-Vis absorption spectrum of Oray sample MZUNK0121-022. The x-axis represents Wavelength (nm) from 250 to 800, and the y-axis represents Absorption coefficient (cm^{-1}) from 0 to 40. The spectrum shows a sharp peak at approximately 270 nm, a shoulder at 350 nm, a deep minimum at 480 nm, a broad peak at 550 nm, and a small peak at 700 nm.
MZUNK0121-023	 UV-Vis absorption spectra of sample MZUNK0121-023 under different heating conditions. The x-axis represents Wavelength (nm) from 300 to 800, and the y-axis represents Absorption coefficient (arbitrary units). The legend indicates three conditions: Unheated (dark red), Heated 700°C (3h) (brown), and Heated 700°C (10 h) (yellow). The spectra show two main peaks at approximately 410 nm and 550 nm, with the intensity increasing as heating time increases.
MZUNK0121-024	 UV-Vis absorption spectra of Oray and Fray samples MZUNK0121-024. The x-axis represents Wavelength (nm) from 250 to 800, and the y-axis represents Absorption coefficient (cm^{-1}) from 0 to 40. The legend indicates two conditions: Oray (red) and Fray (blue). The Oray spectrum shows peaks at approximately 270 nm, 380 nm, 520 nm, and 700 nm. The Fray spectrum shows a very high peak at 270 nm, a shoulder at 380 nm, a peak at 520 nm, and a small peak at 700 nm.

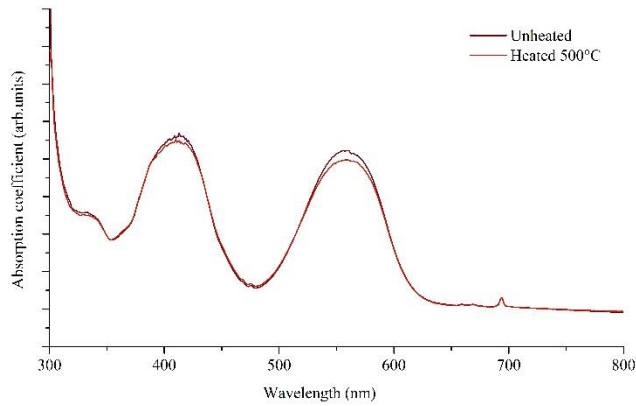
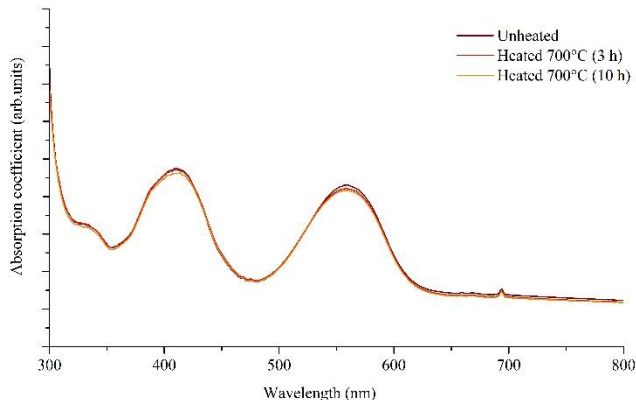
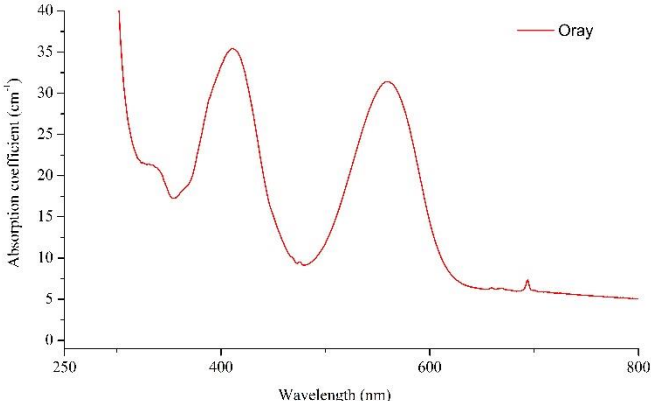
Name	Graph
MZUNK0121-025	 The graph shows the absorption coefficient (cm⁻¹) of MZUNK0121-025 (Oray) as a function of wavelength (nm) from 250 to 800 nm. The y-axis ranges from 0 to 100 cm⁻¹. The spectrum features a sharp peak at approximately 300 nm (off-scale), a broad peak around 420 nm reaching ~58 cm⁻¹, a local minimum at ~480 nm, and another broad peak around 550 nm reaching ~52 cm⁻¹. The absorption drops significantly after 600 nm, with a small shoulder around 700 nm.
MZUNK0121-026	 The graph shows the absorption coefficient (cm⁻¹) of MZUNK0121-026 (Oray) as a function of wavelength (nm) from 250 to 800 nm. The y-axis ranges from 0 to 40 cm⁻¹. The spectrum shows a sharp peak at ~300 nm (off-scale), a broad peak around 400 nm reaching ~28 cm⁻¹, a local minimum at ~480 nm, and another broad peak around 550 nm reaching ~27 cm⁻¹. The absorption decreases after 600 nm, with a small shoulder around 700 nm.
MZUNK0121-027	 The graph compares the absorption coefficients (cm⁻¹) of MZUNK0121-027 for Oray (red line) and Fray (blue line) as a function of wavelength (nm) from 250 to 800 nm. The y-axis ranges from 0 to 40 cm⁻¹. Both spectra show a sharp peak at ~300 nm (off-scale) and a broad peak around 400 nm reaching ~30 cm⁻¹. The Oray spectrum has a higher absorption coefficient than the Fray spectrum in the 400-600 nm range, with peaks at ~550 nm reaching ~27 cm⁻¹ for Oray and ~16 cm⁻¹ for Fray. Both spectra show a decrease in absorption after 600 nm, with a small shoulder around 700 nm.

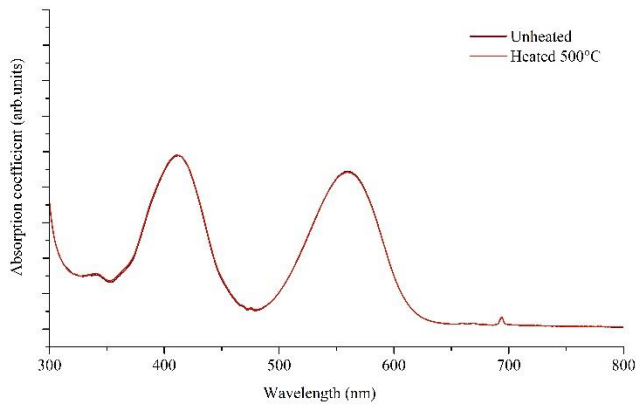
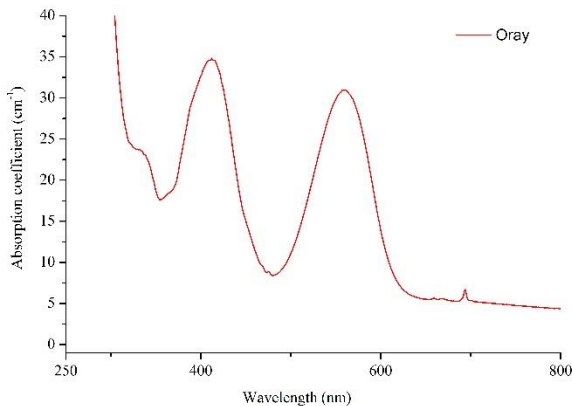
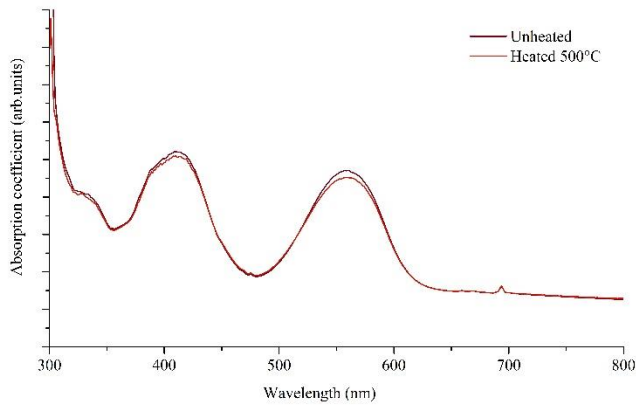
Name	Graph
MZUNK0121-028	 A line graph showing the absorption coefficient (cm⁻¹) of Oray as a function of wavelength (nm) from 250 to 800 nm. The y-axis ranges from 0 to 40. The curve shows a sharp peak at ~260 nm (off-scale), a local minimum at ~300 nm, a broad peak at ~420 nm (approx. 27 cm⁻¹), a local minimum at ~480 nm, another broad peak at ~550 nm (approx. 26 cm⁻¹), and a small peak at ~680 nm.
MZUNK0121-029	 A line graph showing the absorption coefficient (cm⁻¹) of Oray as a function of wavelength (nm) from 250 to 800 nm. The y-axis ranges from 0 to 40. The curve shows a sharp peak at ~260 nm (off-scale), a local minimum at ~300 nm, a broad peak at ~420 nm (approx. 23 cm⁻¹), a local minimum at ~480 nm, another broad peak at ~550 nm (approx. 23 cm⁻¹), and a small peak at ~680 nm.
MZUNK0121-030	 A line graph comparing the absorption coefficient (arbitrary units) of three samples: Unheated (dark red), Heated 700°C (3h) (light red), and Heated 700°C (10 h) (yellow). The x-axis ranges from 300 to 800 nm. All three curves show a broad absorption band between 350 nm and 600 nm, with a local minimum around 480 nm. The heated samples show slightly lower absorption than the unheated sample in the 350-450 nm range. A small peak is visible around 680 nm for all samples.

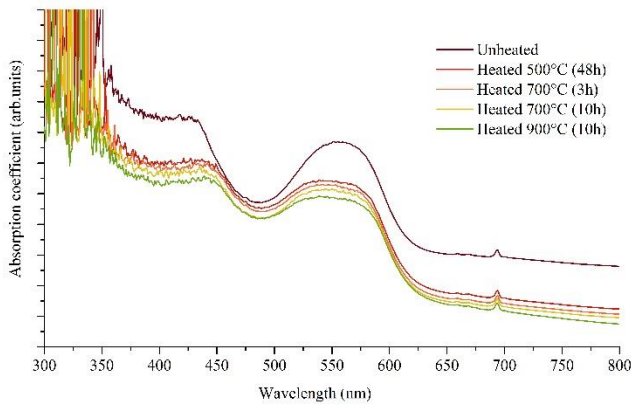
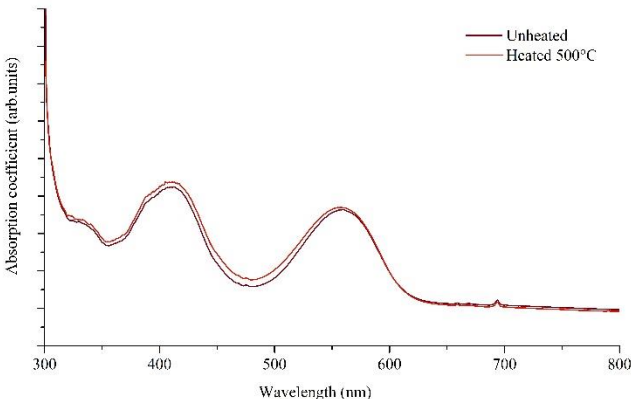
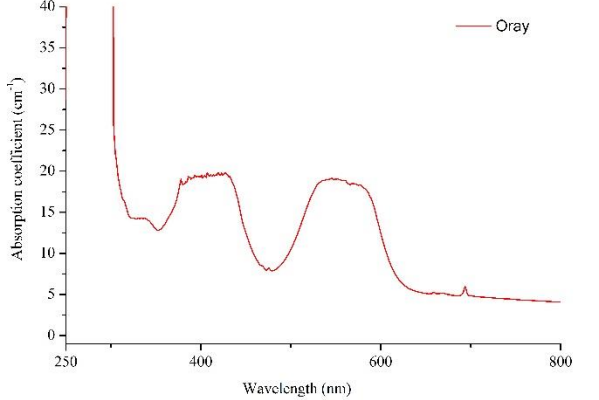
Name	Graph
MZUNK0121-031	
MZUNK0121-032	
MZUNK0121-033	

Name	Graph
MZUNK0121-034	
MZUNK0121-035	
MZUNK0121-036	

ข-2 ผลการวิเคราะห์หัตถ์พิมพ์แหล่งมาดากัสการ์

Name	Graph
MGVAT0121-001	
MGVAT0121-002	
MGVAT0121-003	

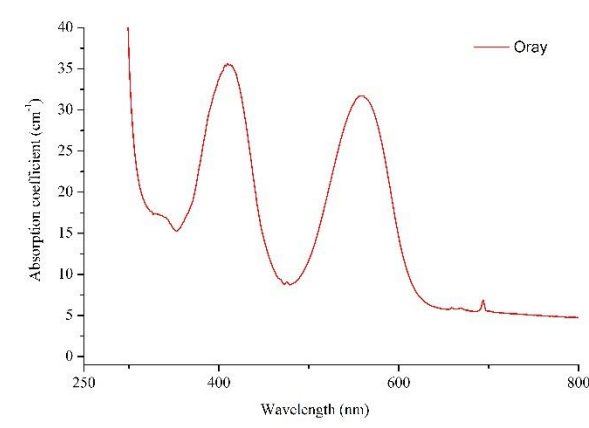
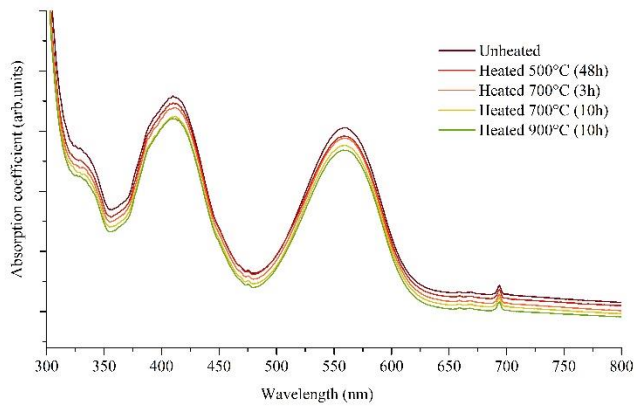
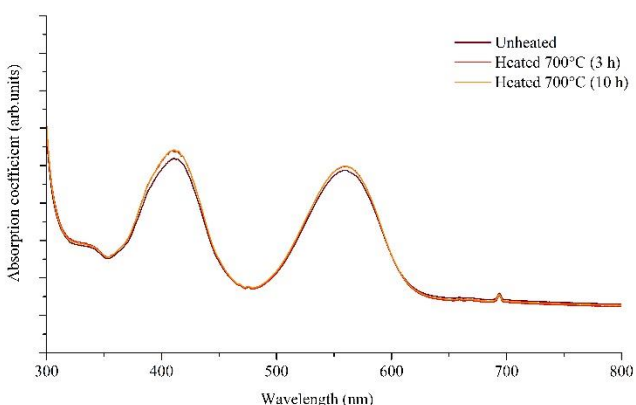
Name	Graph
MGVAT0121-004	 Absorption spectrum of MGVAT0121-004. The graph plots Absorption coefficient (arb. units) on the y-axis against Wavelength (nm) on the x-axis, ranging from 300 to 800 nm. Two curves are shown: 'Unheated' (dark red) and 'Heated 500°C' (light red). Both curves exhibit two prominent peaks at approximately 410 nm and 560 nm, with the heated sample showing slightly lower absorption intensity.
MGVAT0121-005	 Absorption spectrum of MGVAT0121-005. The graph plots Absorption coefficient (cm⁻¹) on the y-axis against Wavelength (nm) on the x-axis, ranging from 250 to 800 nm. A single curve labeled 'Oray' (dark red) is shown. It features a sharp peak at approximately 330 nm, a secondary peak at 410 nm, and a third peak at 560 nm. The absorption intensity decreases significantly after 600 nm.
MGVAT0121-006	 Absorption spectrum of MGVAT0121-006. The graph plots Absorption coefficient (arb. units) on the y-axis against Wavelength (nm) on the x-axis, ranging from 300 to 800 nm. Two curves are shown: 'Unheated' (dark red) and 'Heated 500°C' (light red). Both curves show peaks at approximately 410 nm and 560 nm, with the heated sample showing slightly lower absorption intensity.

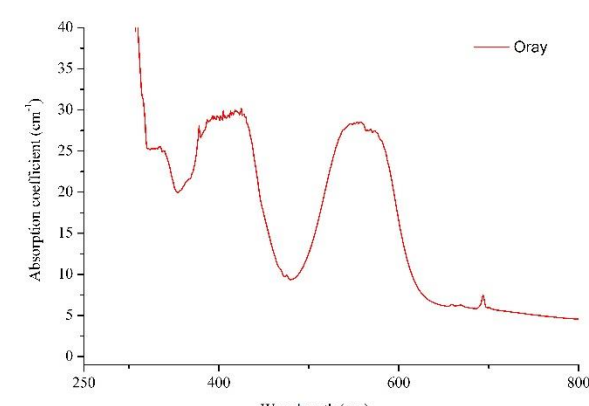
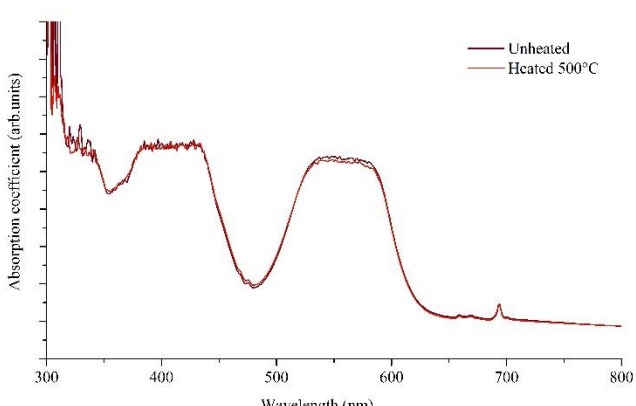
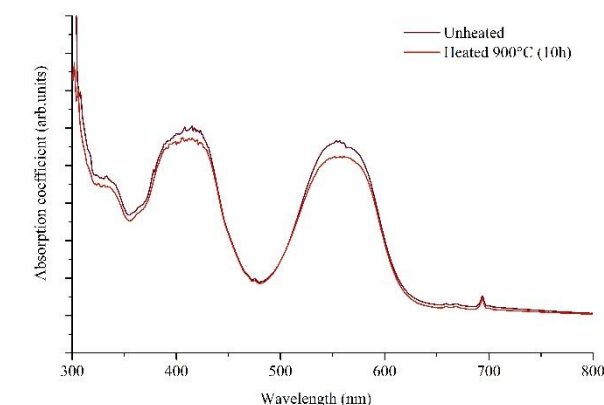
Name	Graph
MGVAT0121-007	 UV-Vis absorption spectra for MGVAT0121-007. The graph plots Absorption coefficient (arb. units) on the y-axis against Wavelength (nm) on the x-axis (300 to 800 nm). The legend indicates: Unheated (black), Heated 500°C (48h) (red), Heated 700°C (3h) (orange), Heated 700°C (10h) (yellow), and Heated 900°C (10h) (green). The unheated sample shows a broad absorption peak around 550 nm. Heating at 500°C (48h) and 700°C (3h) results in a shift of the peak to shorter wavelengths and a decrease in intensity. Heating at 700°C (10h) and 900°C (10h) shows further changes in the absorption profile, with the 900°C sample exhibiting a more pronounced peak around 550 nm.
MGVAT0121-008	 UV-Vis absorption spectra for MGVAT0121-008. The graph plots Absorption coefficient (arb. units) on the y-axis against Wavelength (nm) on the x-axis (300 to 800 nm). The legend indicates: Unheated (black) and Heated 500°C (red). The unheated sample shows a broad absorption peak around 550 nm. Heating at 500°C results in a shift of the peak to shorter wavelengths and a decrease in intensity.
MGVAT0121-009	 UV-Vis absorption spectra for MGVAT0121-009. The graph plots Absorption coefficient (cm^{-1}) on the y-axis against Wavelength (nm) on the x-axis (250 to 800 nm). The legend indicates: Oray (red). The Oray sample shows a broad absorption peak around 550 nm.

Name	Graph
MGVAT0121-010	UV-Vis absorption spectra of MGVAT0121-010. The x-axis represents Wavelength (nm) from 300 to 800 nm. The y-axis represents Absorption coefficient (arb. units). The legend indicates five curves: Unheated (black), Heated 500°C (48h) (red), Heated 700°C (3h) (orange), Heated 700°C (10h) (yellow), and Heated 900°C (10h) (green). All curves show a sharp decrease in absorbance from 300 nm to 350 nm, followed by two broad absorption peaks at approximately 410 nm and 560 nm. The absorbance values are relatively consistent across the different heating conditions.
MGVAT0121-011	UV-Vis absorption spectra of MGVAT0121-011. The x-axis represents Wavelength (nm) from 300 to 800 nm. The y-axis represents Absorption coefficient (arb. units). The legend indicates two curves: Unheated (black) and Heated 900°C (10h) (red). Both curves show a sharp decrease in absorbance from 300 nm to 350 nm, followed by two broad absorption peaks at approximately 410 nm and 560 nm. The absorbance values are relatively consistent between the unheated and heated samples.
MGVAT0121-012	UV-Vis absorption spectra of MGVAT0121-012. The x-axis represents Wavelength (nm) from 250 to 800 nm. The y-axis represents Absorption coefficient (cm⁻¹) from 0 to 40. The legend indicates two curves: Oray (red) and Eray (blue). Both curves show a sharp decrease in absorbance from 250 nm to 300 nm, followed by two broad absorption peaks at approximately 410 nm and 560 nm. The Oray curve shows higher absorbance values than the Eray curve across the entire wavelength range.

Name	Graph
MGVAT0121-013	UV-Vis absorption spectra for MGVAT0121-013. The graph plots Absorption coefficient (arb. units) on the y-axis against Wavelength (nm) on the x-axis (300-800 nm). The spectra show characteristic peaks at approximately 350 nm, 410 nm, 480 nm, and 560 nm. The absorbance decreases as the heating temperature increases, with the 900°C sample showing the lowest absorbance across the visible range.
MGVAT0121-014	UV-Vis absorption spectra for MGVAT0121-014. The graph plots Absorption coefficient (arb. units) on the y-axis against Wavelength (nm) on the x-axis (300-800 nm). The spectra show characteristic peaks at approximately 350 nm, 410 nm, 480 nm, and 560 nm. The absorbance decreases as the heating time at 700°C increases from 3 h to 10 h.
MGVAT0121-015	UV-Vis absorption spectra for MGVAT0121-015. The graph plots Absorption coefficient (arb. units) on the y-axis against Wavelength (nm) on the x-axis (300-800 nm). The spectra show characteristic peaks at approximately 350 nm, 410 nm, 480 nm, and 560 nm. The absorbance decreases as the heating time at 700°C increases from 3 h to 10 h.

Name	Graph
MGVAT0121-016	Absorption spectrum of MGVAT0121-016. The graph plots Absorption coefficient (arb. units) against Wavelength (nm) from 300 to 800 nm. Three curves are shown: Unheated (black), Heated 700°C (3 h) (orange), and Heated 700°C (10 h) (yellow). The curves exhibit two main absorption peaks at approximately 410 nm and 560 nm. The 10h heated sample shows slightly higher absorption at 410 nm compared to the unheated and 3h heated samples.
MGVAT0121-017	Absorption spectrum of MGVAT0121-017. The graph plots Absorption coefficient (cm^{-1}) against Wavelength (nm) from 250 to 800 nm. A single curve labeled 'Oray' is shown. The curve exhibits a sharp peak at approximately 280 nm, a broad peak at approximately 410 nm, and another broad peak at approximately 560 nm.
MGVAT0121-018	Absorption spectrum of MGVAT0121-018. The graph plots Absorption coefficient (arb. units) against Wavelength (nm) from 300 to 800 nm. Two curves are shown: Unheated (black) and Heated 900°C (10h) (red). The curves exhibit two main absorption peaks at approximately 410 nm and 560 nm. The heated sample shows slightly higher absorption at 410 nm compared to the unheated sample.

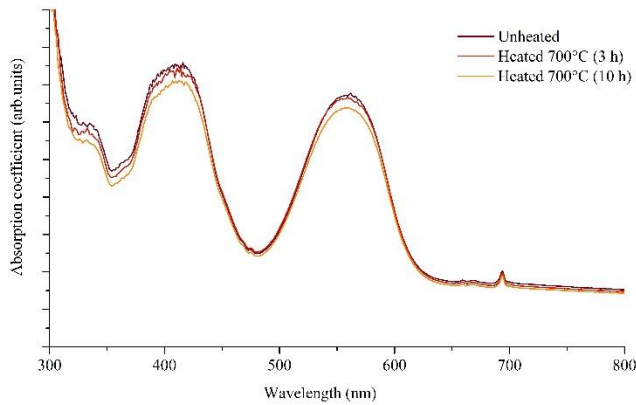
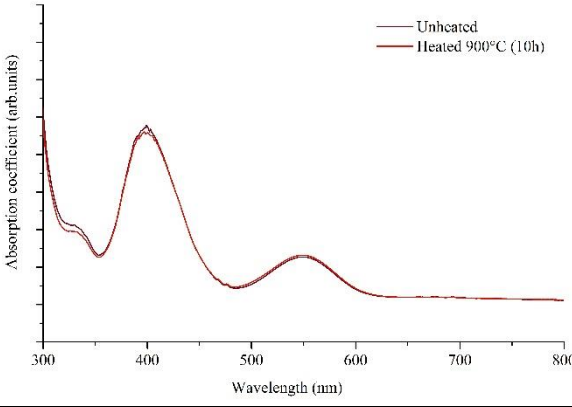
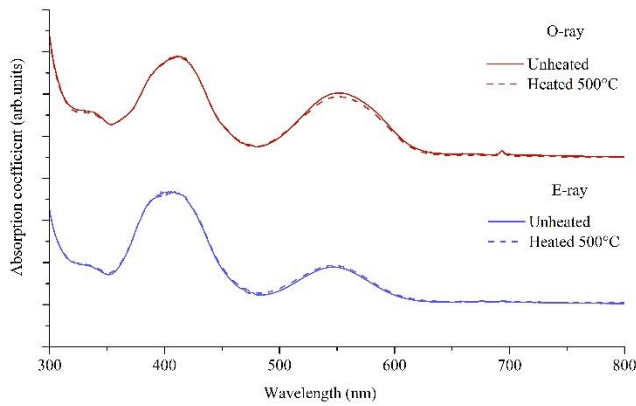
Name	Graph
MGVAT0121-019	 UV-Vis absorption spectrum of Oray. The x-axis represents Wavelength (nm) from 250 to 800, and the y-axis represents Absorption coefficient (cm⁻¹) from 0 to 40. The spectrum shows two prominent peaks: one at approximately 410 nm (absorption ~35 cm⁻¹) and another at approximately 550 nm (absorption ~32 cm⁻¹). There is a small shoulder around 330 nm and a minor peak near 700 nm.
MGVAT0121-020	 UV-Vis absorption spectra of MGVAT0121-020 under different heating conditions. The x-axis is Wavelength (nm) from 300 to 800, and the y-axis is Absorption coefficient (arb. units). The legend indicates: Unheated (black), Heated 500°C (48h) (red), Heated 700°C (3h) (orange), Heated 700°C (10h) (yellow), and Heated 900°C (10h) (green). All curves show characteristic peaks at approximately 410 nm and 550 nm. The absorption intensity at 410 nm increases with higher temperature and longer heating time, while the peak at 550 nm remains relatively stable.
MGVAT0121-021	 UV-Vis absorption spectra of MGVAT0121-021 under different heating conditions. The x-axis is Wavelength (nm) from 300 to 800, and the y-axis is Absorption coefficient (arb. units). The legend indicates: Unheated (black), Heated 700°C (3 h) (orange), and Heated 700°C (10 h) (yellow). The spectra show peaks at approximately 410 nm and 550 nm. The absorption intensity at 410 nm is significantly higher than at 550 nm, and it increases slightly with longer heating time at 700°C.

Name	Graph
MGVAT0121-022	 The graph shows the absorption coefficient (cm⁻¹) of Oray as a function of wavelength (nm). The x-axis ranges from 250 to 800 nm, and the y-axis ranges from 0 to 40 cm⁻¹. The spectrum features a sharp peak at ~280 nm, a shoulder at ~350 nm, a broad peak at ~410 nm (reaching ~30 cm⁻¹), a dip at ~480 nm, and a second broad peak at ~550 nm (reaching ~28 cm⁻¹). A small peak is visible at ~680 nm.
MGVAT0121-023	 This graph compares the absorption spectra of an unheated sample (dark red line) and a sample heated to 500°C (light red line). The x-axis ranges from 300 to 800 nm, and the y-axis is in arbitrary units. Both spectra show peaks at ~410 nm and ~550 nm. The heated sample exhibits a noticeable decrease in the intensity of both peaks compared to the unheated sample.
MGVAT0121-024	 This graph compares the absorption spectra of an unheated sample (dark red line) and a sample heated to 900°C for 10 hours (light red line). The x-axis ranges from 300 to 800 nm, and the y-axis is in arbitrary units. Both spectra show peaks at ~410 nm and ~550 nm. The heated sample shows a significant reduction in the intensity of both peaks compared to the unheated sample.

Name	Graph
MGVAT0121-025	UV-Vis absorption spectra for MGVAT0121-025. The graph plots Absorption coefficient (arb. units) on the y-axis against Wavelength (nm) on the x-axis (300-800 nm). Five curves are shown: Unheated (dark red), Heated 500°C (48h) (red), Heated 700°C (3h) (orange), Heated 700°C (10h) (yellow), and Heated 900°C (10h) (green). All curves exhibit two main absorption peaks at approximately 410 nm and 560 nm. The absorbance values are relatively consistent across the different heating conditions.
MGVAT0121-026	UV-Vis absorption spectra for MGVAT0121-026. The graph plots Absorption coefficient (cm^{-1}) on the y-axis (0-40) against Wavelength (nm) on the x-axis (250-800 nm). A single curve labeled 'Oray' (red) is shown. The spectrum features a sharp, high-intensity peak at approximately 320 nm, followed by a shoulder around 380 nm, and a broader peak at approximately 560 nm. The absorbance decreases significantly towards longer wavelengths.
MGVAT0121-027	UV-Vis absorption spectra for MGVAT0121-027. The graph plots Absorption coefficient (arb. units) on the y-axis against Wavelength (nm) on the x-axis (300-800 nm). Five curves are shown: Unheated (dark red), Heated 500°C (48h) (red), Heated 700°C (3h) (orange), Heated 700°C (10h) (yellow), and Heated 900°C (10h) (green). The curves show two primary absorption peaks at approximately 410 nm and 560 nm. Compared to MGVAT0121-025, the absorbance values for these peaks are noticeably lower, and there is a slight shift or broadening of the peaks as the heating temperature increases.

Name	Graph
MGVAT0121-028	Graph showing Absorption coefficient (arb. units) versus Wavelength (nm) for MGVAT0121-028. The graph displays two sets of curves: O-ray (red) and E-ray (blue). Each set includes an 'Unheated' solid line and a 'Heated 500°C' dashed line. The O-ray curves show peaks around 400 nm and 550 nm. The E-ray curves show peaks around 400 nm and 550 nm. The heated curves generally show higher absorption than the unheated curves.
MGVAT0121-029	Graph showing Absorption coefficient (cm^{-1}) versus Wavelength (nm) for MGVAT0121-029. The graph displays a single red curve labeled 'Oray_rerun'. The curve has sharp peaks around 300 nm and 350 nm, and broader peaks around 450 nm and 550 nm. The absorption coefficient ranges from -5 to 40 cm^{-1}.
MGVAT0121-030	Graph showing Absorption coefficient (cm^{-1}) versus Wavelength (nm) for MGVAT0121-030. The graph displays a single red curve labeled 'Oray'. The curve has a sharp peak around 300 nm, a broad peak around 400 nm, and another broad peak around 550 nm. The absorption coefficient ranges from -40 to 20 cm^{-1}.

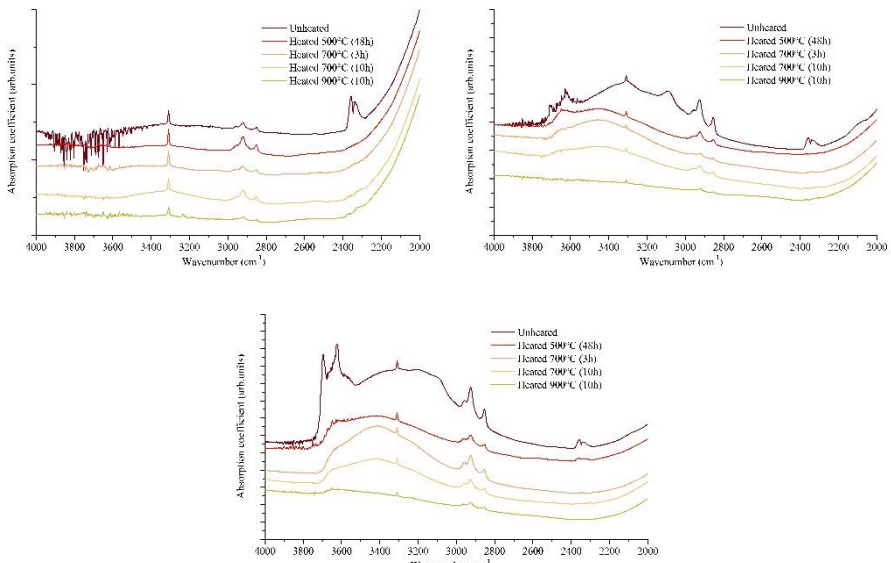
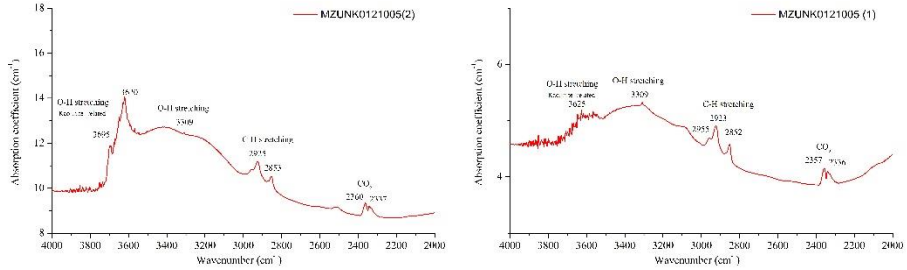
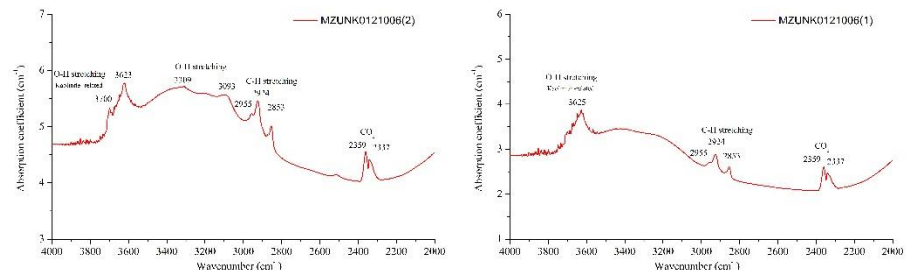
Name	Graph
MGVAT0121-031	UV-Vis absorption spectra for MGVAT0121-031. The graph plots Absorption coefficient (arb. units) against Wavelength (nm) from 300 to 800 nm. Two curves are shown: Unheated (black line) and Heated 900°C (10h) (red line). Both curves exhibit a sharp decrease in absorption from 300 nm to 350 nm, followed by a broad peak around 410 nm, a local minimum around 480 nm, and a second broad peak around 560 nm. The heated sample shows slightly higher absorption than the unheated sample in the 400-500 nm region.
MGVAT0121-032	UV-Vis absorption spectra for MGVAT0121-032. The graph plots Absorption coefficient (arb. units) against Wavelength (nm) from 300 to 800 nm. Two curves are shown: Unheated (black line) and Heated 900°C (10h) (red line). Both curves exhibit a sharp decrease in absorption from 300 nm to 350 nm, followed by a broad peak around 410 nm, a local minimum around 480 nm, and a second broad peak around 560 nm. The heated sample shows slightly higher absorption than the unheated sample in the 400-500 nm region.
MGVAT0121-033	UV-Vis absorption spectra for MGVAT0121-033 (labeled Oray). The graph plots Absorption coefficient (cm^{-1}) against Wavelength (nm) from 250 to 800 nm. The curve shows a very high absorption peak near 260 nm, followed by a sharp drop and a broad peak around 410 nm, a local minimum around 480 nm, and a second broad peak around 560 nm. The y-axis scale ranges from -15 to 40 cm^{-1}.

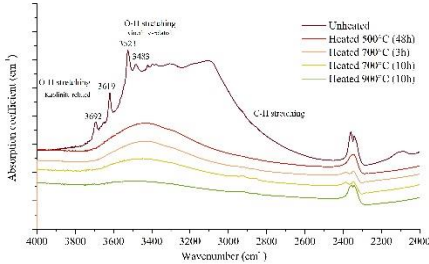
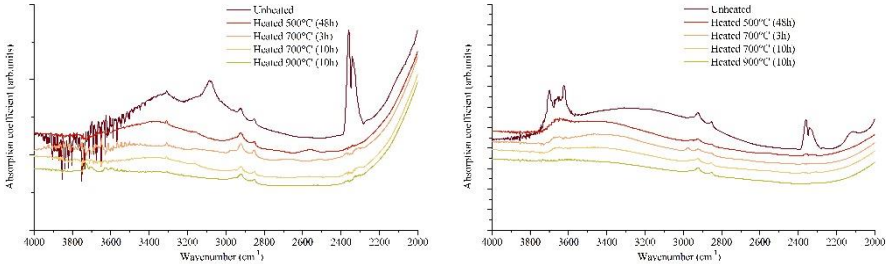
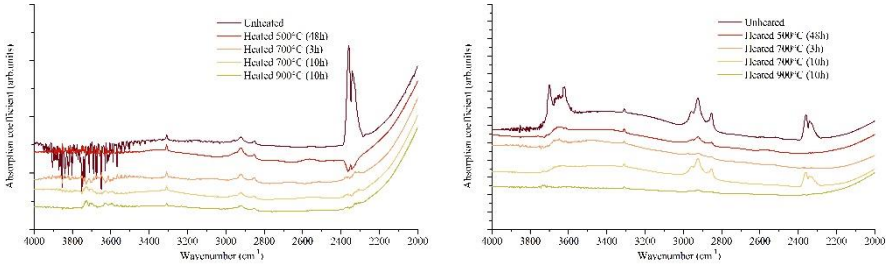
Name	Graph
MGVAT0121-034	
MGVAT0121-035	
MGVAT0121-036	

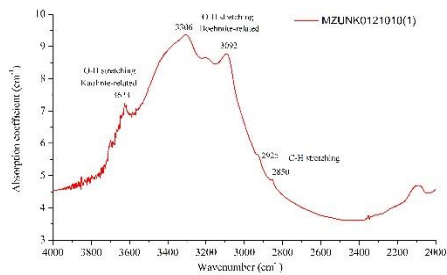
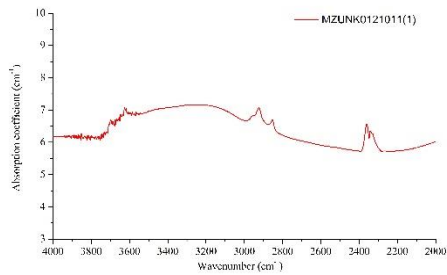
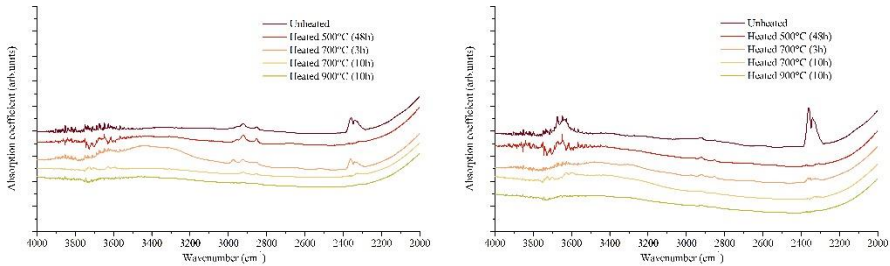
ภาคผนวก ค. ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR spectrometer

ค-1 ผลการวิเคราะห์ทับทิมแหล่งโมซัมบิก

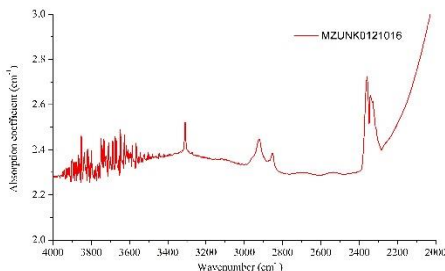
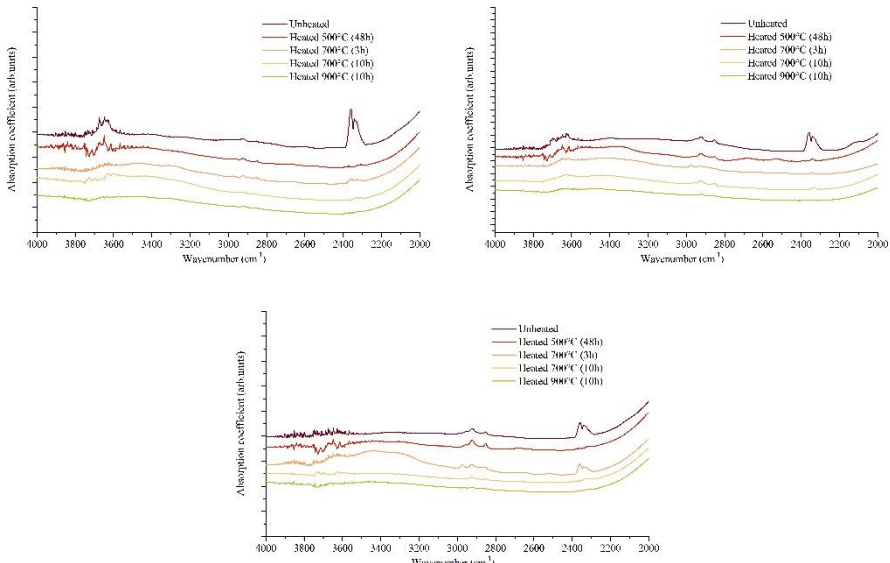
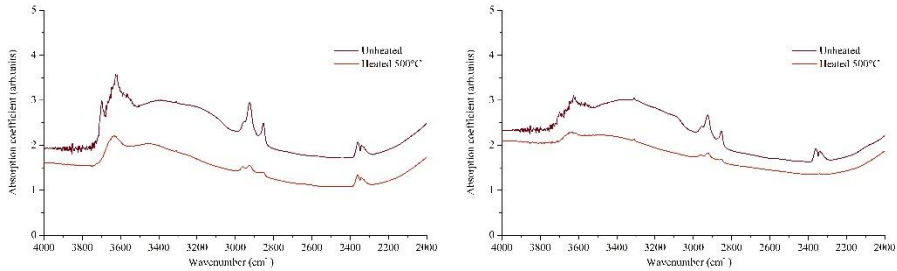
Name	Graph
MZUNK0121-001	
MZUNK0121-002	
MZUNK0121-003	

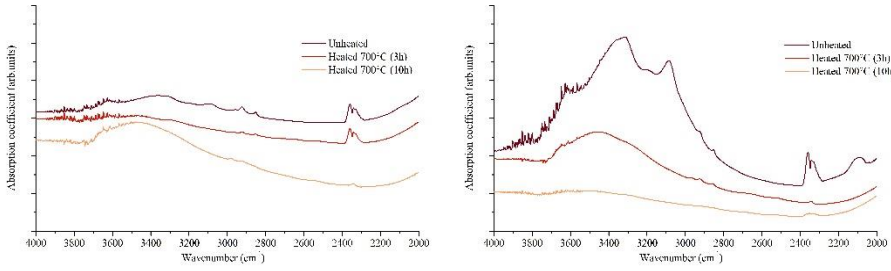
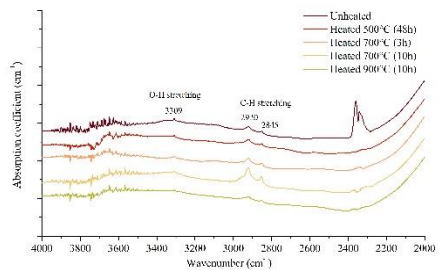
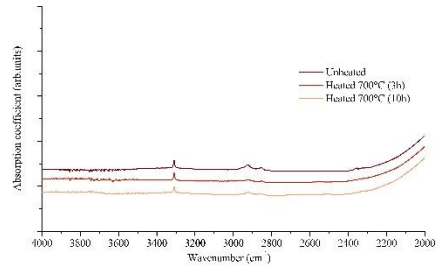
Name	Graph
MZUNK0121-004	
MZUNK0121-005	
MZUNK0121-006	

Name	Graph
MZUNK0121-007	
MZUNK0121-008	
MZUNK0121-009	

Name	Graph
MZUNK0121-010	
MZUNK0121-011	
MZUNK0121-012	

Name	Graph
MZUNK0121-013	
MZUNK0121-014	
MZUNK0121-015	

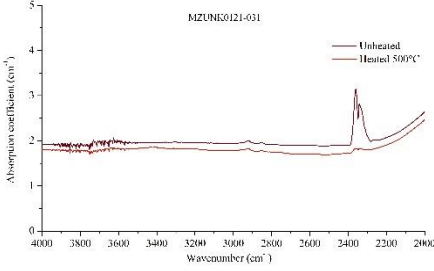
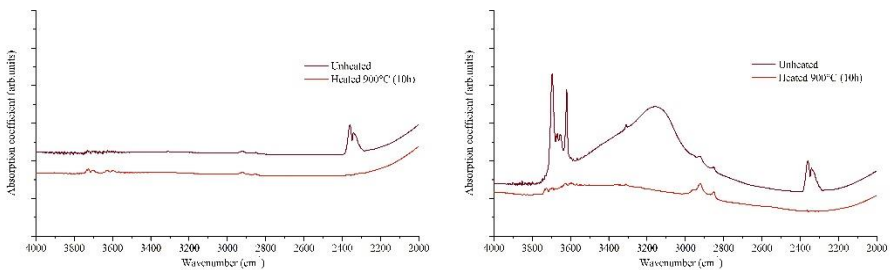
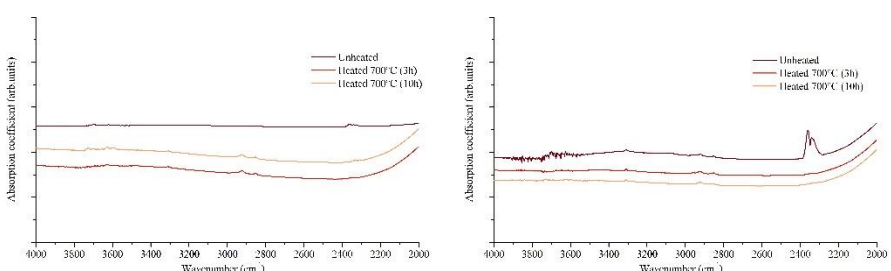
Name	Graph
MZUNK0121-016	
MZUNK0121-017	
MZUNK0121-018	

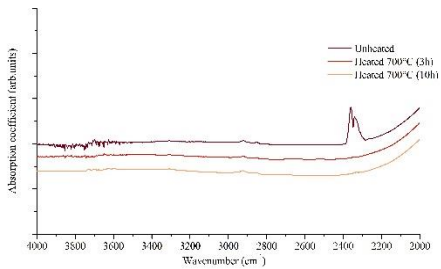
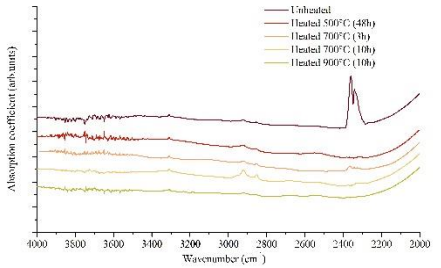
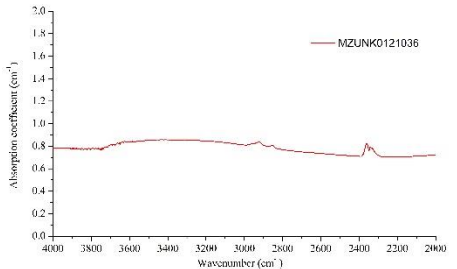
Name	Graph
MZUNK0121-019	
MZUNK0121-020	
MZUNK0121-021	

Name	Graph
MZUNK0121-022	IR spectrum of MZUNK0121-022. The y-axis represents the absorption coefficient in cm⁻¹, ranging from 1.0 to 3.0. The x-axis represents the wavenumber in cm⁻¹, ranging from 3800 to 3100. The spectrum shows a broad absorption band around 3300 cm⁻¹ and several sharp peaks in the fingerprint region between 3000 and 2800 cm⁻¹.
MZUNK0121-023	Two IR spectra of MZUNK0121-023. The left plot shows the absorption coefficient (arb. units) vs wavenumber (cm⁻¹) from 4000 to 2000. The right plot shows the same for the wavenumber range 3500 to 2000 cm⁻¹. Both plots compare three samples: Unheated (black line), Heated 700°C (3h) (red line), and Heated 700°C (10h) (blue line). The heated samples show significant changes in the 3000-2800 cm⁻¹ region compared to the unheated sample.
MZUNK0121-024	IR spectrum of MZUNK0121-024. The y-axis represents the absorption coefficient (arb. units) and the x-axis represents the wavenumber (cm⁻¹) from 4000 to 2000. The plot compares two samples: Unheated (black line) and Heated 900°C (10h) (red line). The heated sample shows a distinct peak around 2900 cm⁻¹.

Name	Graph
MZUNK0121-025	
MZUNK0121-026	
MZUNK0121-027	

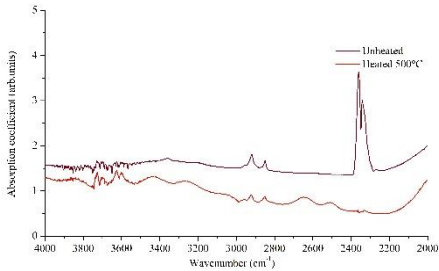
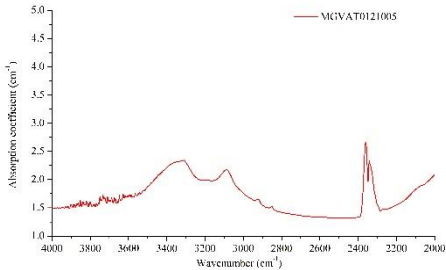
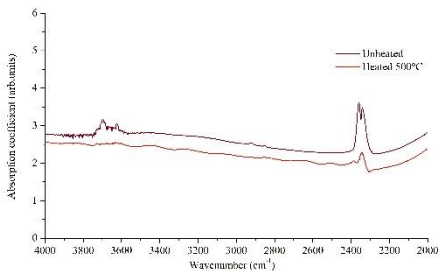
Name	Graph
MZUNK0121-028	
MZUNK0121-029	
MZUNK0121-030	

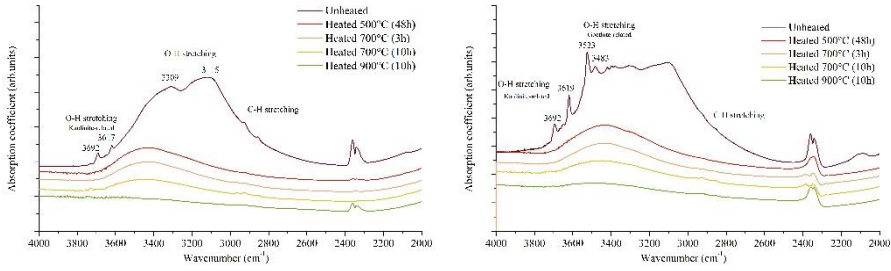
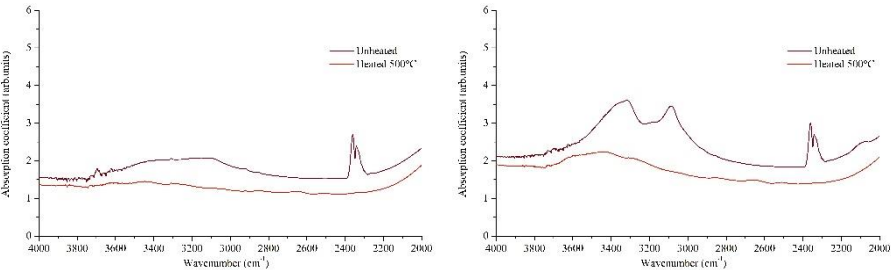
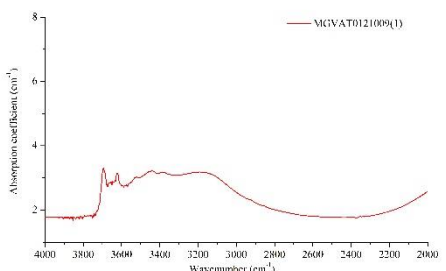
Name	Graph
MZUNK0121-031	
MZUNK0121-032	
MZUNK0121-033	

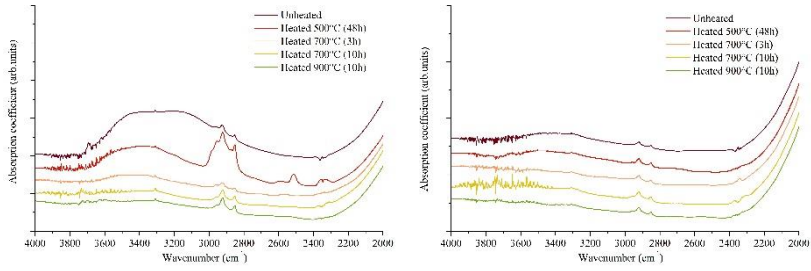
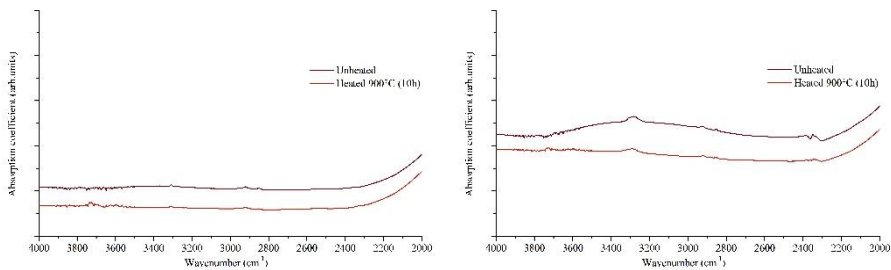
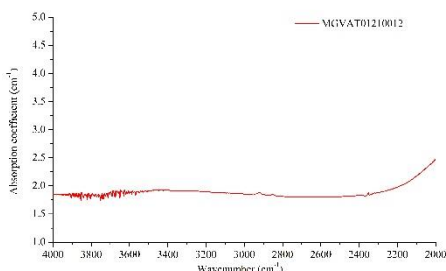
Name	Graph
MZUNK0121-034	 The graph displays the infrared spectrum for sample MZUNK0121-034. The x-axis represents the wavenumber in cm⁻¹, ranging from 4000 to 2000. The y-axis represents the absorbance coefficient in arbitrary units. Three curves are shown: 'Unheated' (top), 'Heated 700°C (3h)' (middle), and 'Heated 700°C (10h)' (bottom). All curves show a broad absorption band around 3400 cm⁻¹ and a sharp peak at approximately 2100 cm⁻¹. The absorbance decreases as the sample is heated.
MZUNK0121-035	 The graph displays the infrared spectrum for sample MZUNK0121-035. The x-axis represents the wavenumber in cm⁻¹, ranging from 4000 to 2000. The y-axis represents the absorbance coefficient in arbitrary units. Five curves are shown: 'Unheated' (top), 'Heated 500°C (48h)' (second from top), 'Heated 700°C (3h)' (third from top), 'Heated 700°C (10h)' (fourth from top), and 'Heated 900°C (10h)' (bottom). The curves show a broad absorption band around 3400 cm⁻¹ and a sharp peak at approximately 2100 cm⁻¹. The absorbance decreases as the sample is heated.
MZUNK0121-036	 The graph displays the infrared spectrum for sample MZUNK0121-036. The x-axis represents the wavenumber in cm⁻¹, ranging from 4000 to 2000. The y-axis represents the absorbance coefficient in cm⁻¹, ranging from 0.0 to 2.0. A single curve is shown for the 'Unheated' sample. The curve shows a broad absorption band around 3400 cm⁻¹ and a sharp peak at approximately 2100 cm⁻¹.

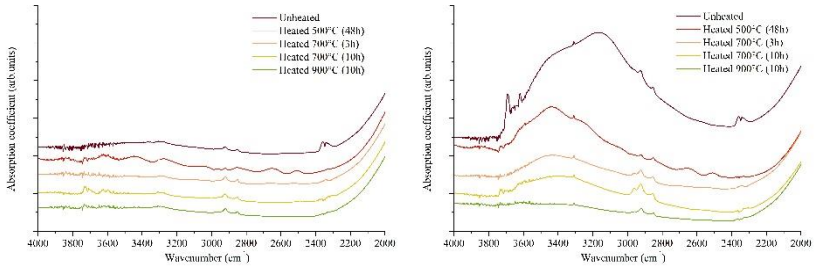
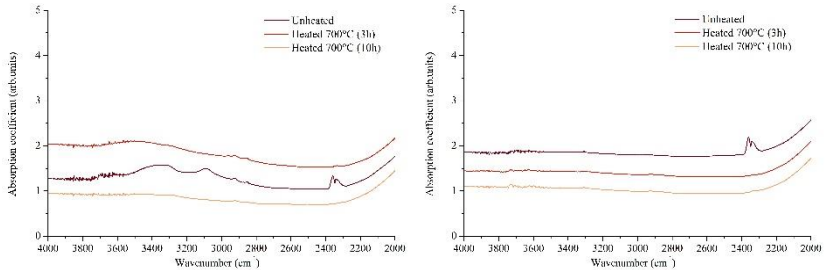
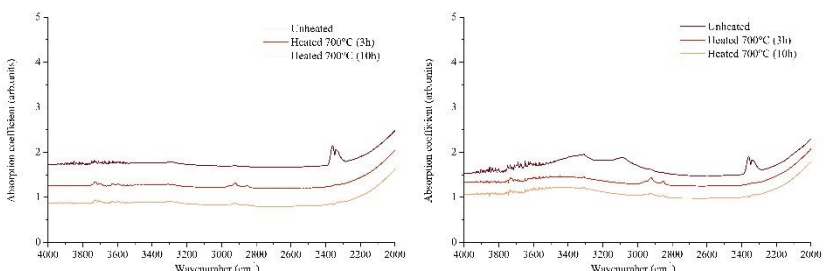
ค-2 ผลการวิเคราะห์หัตถ์พิมพ์หมึกแหล่งมาดากัสการ์

Name	Graph
MGVAT0121-001	
MGVAT0121-002	
MGVAT0121-003	

Name	Graph
MGVAT0121-004	 IR spectrum of MGVAT0121-004. The y-axis is Absorption coefficient (arb. units) from 0 to 5. The x-axis is Wavenumber (cm⁻¹) from 4000 to 2000. Two curves are shown: Unheated (black) and Heated 500°C (red). Both curves show a broad peak around 3400 cm⁻¹ and a sharp peak around 2350 cm⁻¹. The heated sample shows a slightly lower absorbance in the 3400 cm⁻¹ region.
MGVAT0121-005	 IR spectrum of MGVAT0121-005. The y-axis is Absorption coefficient (cm⁻¹) from 1.0 to 5.0. The x-axis is Wavenumber (cm⁻¹) from 4000 to 2000. A single curve is shown for MG VAT0121005. The spectrum shows a broad peak around 3400 cm⁻¹ and a sharp peak around 2350 cm⁻¹.
MGVAT0121-006	 IR spectrum of MGVAT0121-006. The y-axis is Absorption coefficient (arb. units) from 0 to 6. The x-axis is Wavenumber (cm⁻¹) from 4000 to 2000. Two curves are shown: Unheated (black) and Heated 500°C (red). Both curves show a broad peak around 3400 cm⁻¹ and a sharp peak around 2350 cm⁻¹. The heated sample shows a slightly lower absorbance in the 3400 cm⁻¹ region.

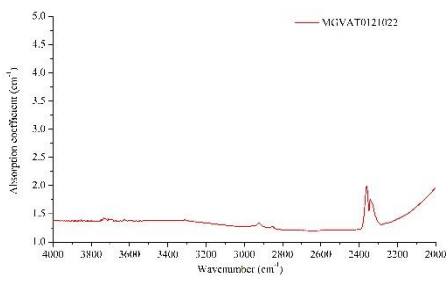
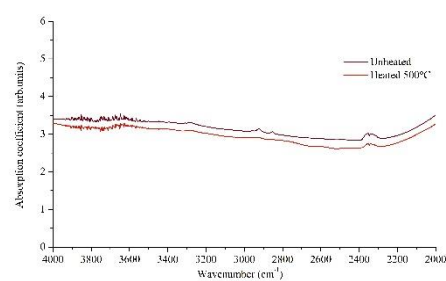
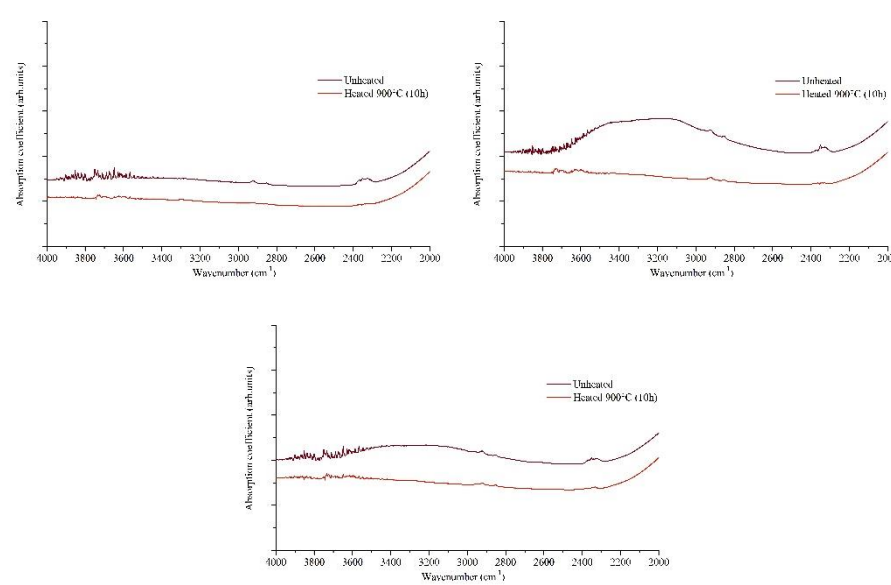
Name	Graph
MGVAT0121-007	
MGVAT0121-008	
MGVAT0121-009	

Name	Graph
MGVAT0121-010	
MGVAT0121-011	
MGVAT0121-012	

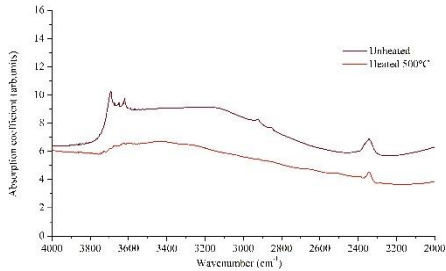
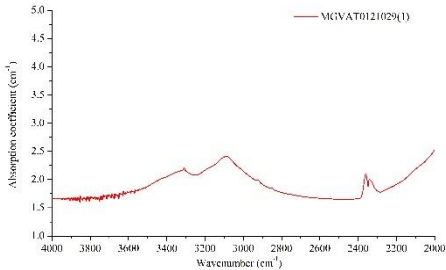
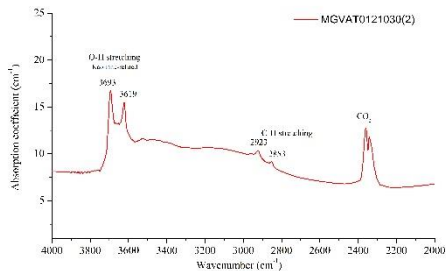
Name	Graph
MGVAT0121-013	 FTIR spectra of MGVAT0121-013. The graph displays Absorption coefficient (arb. units) on the y-axis versus Wavenumber (cm⁻¹) on the x-axis, ranging from 4000 to 2000. Four curves are shown: Unheated (black), Heated 500°C (48h) (red), Heated 700°C (3h) (yellow), and Heated 900°C (10h) (green). The spectra show characteristic peaks, with a prominent broad peak around 3400 cm⁻¹ and several sharp peaks in the 2000-3000 cm⁻¹ region. The absorption intensity generally increases with temperature.
MGVAT0121-014	 FTIR spectra of MGVAT0121-014. The graph displays Absorption coefficient (arb. units) on the y-axis versus Wavenumber (cm⁻¹) on the x-axis, ranging from 4000 to 2000. Three curves are shown: Unheated (black), Heated 700°C (3h) (red), and Heated 700°C (10h) (yellow). The spectra show characteristic peaks, with a prominent broad peak around 3400 cm⁻¹ and several sharp peaks in the 2000-3000 cm⁻¹ region. The absorption intensity generally increases with heating time.
MGVAT0121-015	 FTIR spectra of MGVAT0121-015. The graph displays Absorption coefficient (arb. units) on the y-axis versus Wavenumber (cm⁻¹) on the x-axis, ranging from 4000 to 2000. Three curves are shown: Unheated (black), Heated 700°C (3h) (red), and Heated 700°C (10h) (yellow). The spectra show characteristic peaks, with a prominent broad peak around 3400 cm⁻¹ and several sharp peaks in the 2000-3000 cm⁻¹ region. The absorption intensity generally increases with heating time.

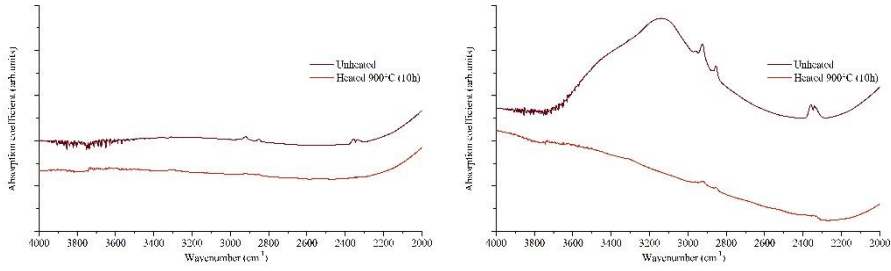
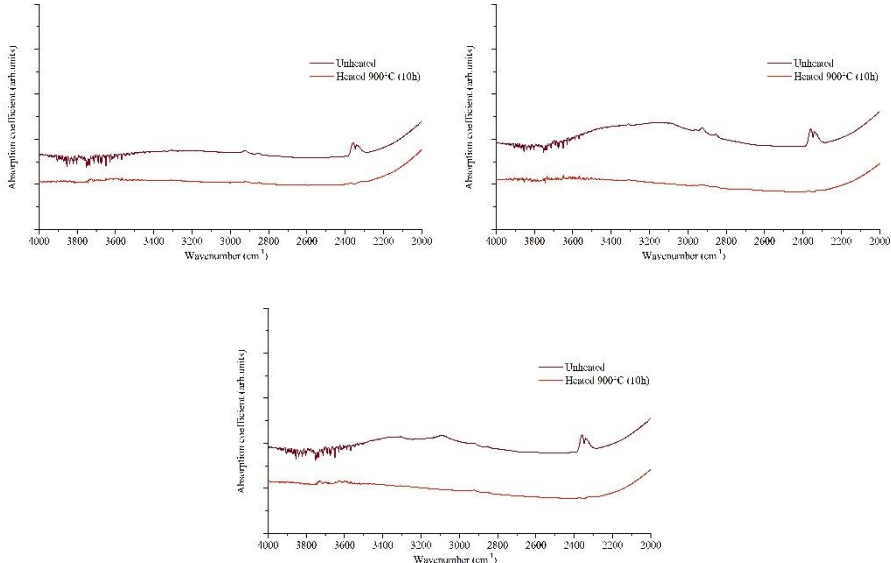
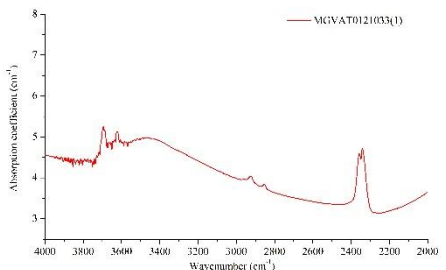
Name	Graph
MGVAT0121-016	
MGVAT0121-017	
MGVAT0121-018	

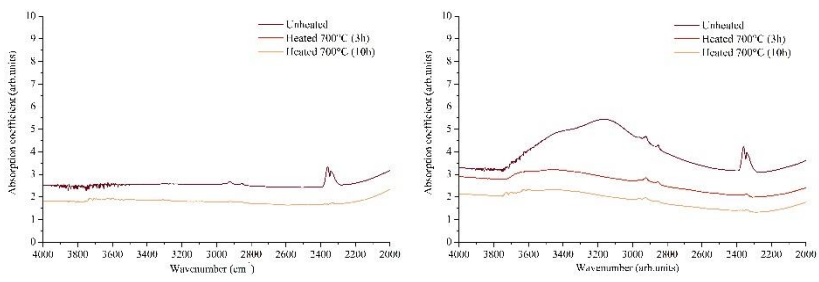
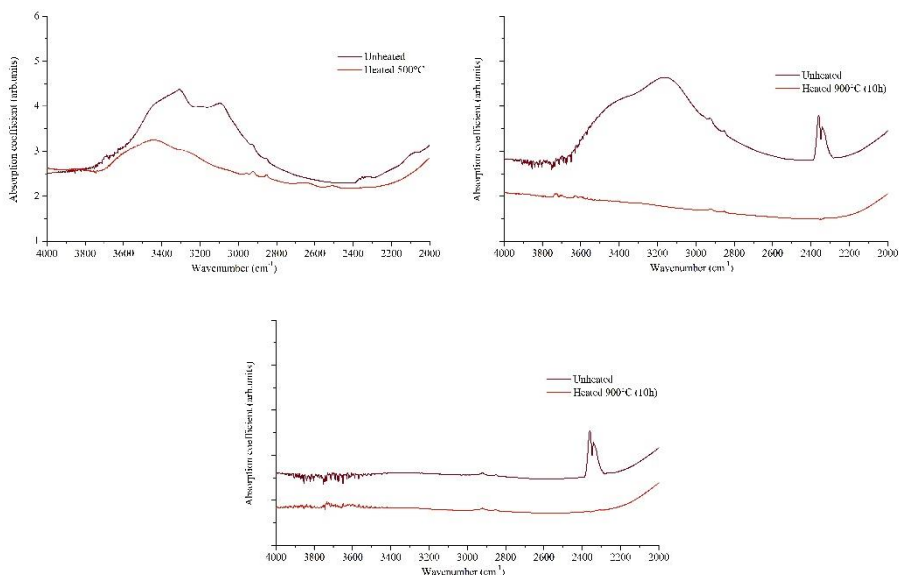
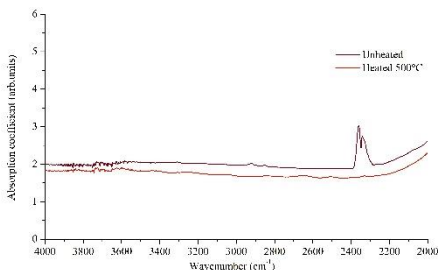
Name	Graph
MGVAT0121-019	
MGVAT0121-020	
MGVAT0121-021	

Name	Graph
MGVAT0121-022	
MGVAT0121-023	
MGVAT0121-024	

Name	Graph
MGVAT0121-025	
MGVAT0121-026	
MGVAT0121-027	

Name	Graph
MGVAT0121-028	 FTIR spectrum of MGVAT0121-028. The y-axis is Absorption coefficient (arb. units) from 0 to 16. The x-axis is Wavenumber (cm⁻¹) from 4000 to 2000. Two curves are shown: Unheated (black) and Heated 500°C (orange). The Unheated curve shows a sharp peak at ~3600 cm⁻¹ and a broad peak at ~3400 cm⁻¹. The Heated curve shows a broad peak at ~3400 cm⁻¹ and a sharp peak at ~2900 cm⁻¹.
MGVAT0121-029	 FTIR spectrum of MGVAT0121-029(1). The y-axis is Absorption coefficient (cm⁻¹) from 1.0 to 5.0. The x-axis is Wavenumber (cm⁻¹) from 4000 to 2000. The curve shows a broad peak at ~3400 cm⁻¹ and a sharp peak at ~2900 cm⁻¹.
MGVAT0121-030	 FTIR spectrum of MGVAT0121-030(2). The y-axis is Absorption coefficient (cm⁻¹) from 5 to 25. The x-axis is Wavenumber (cm⁻¹) from 4000 to 2000. The curve shows several peaks labeled: O-H stretching (broad, ~3600 cm⁻¹), C-H stretching (broad, ~2900 cm⁻¹), and CO₂ (sharp, ~2350 cm⁻¹).

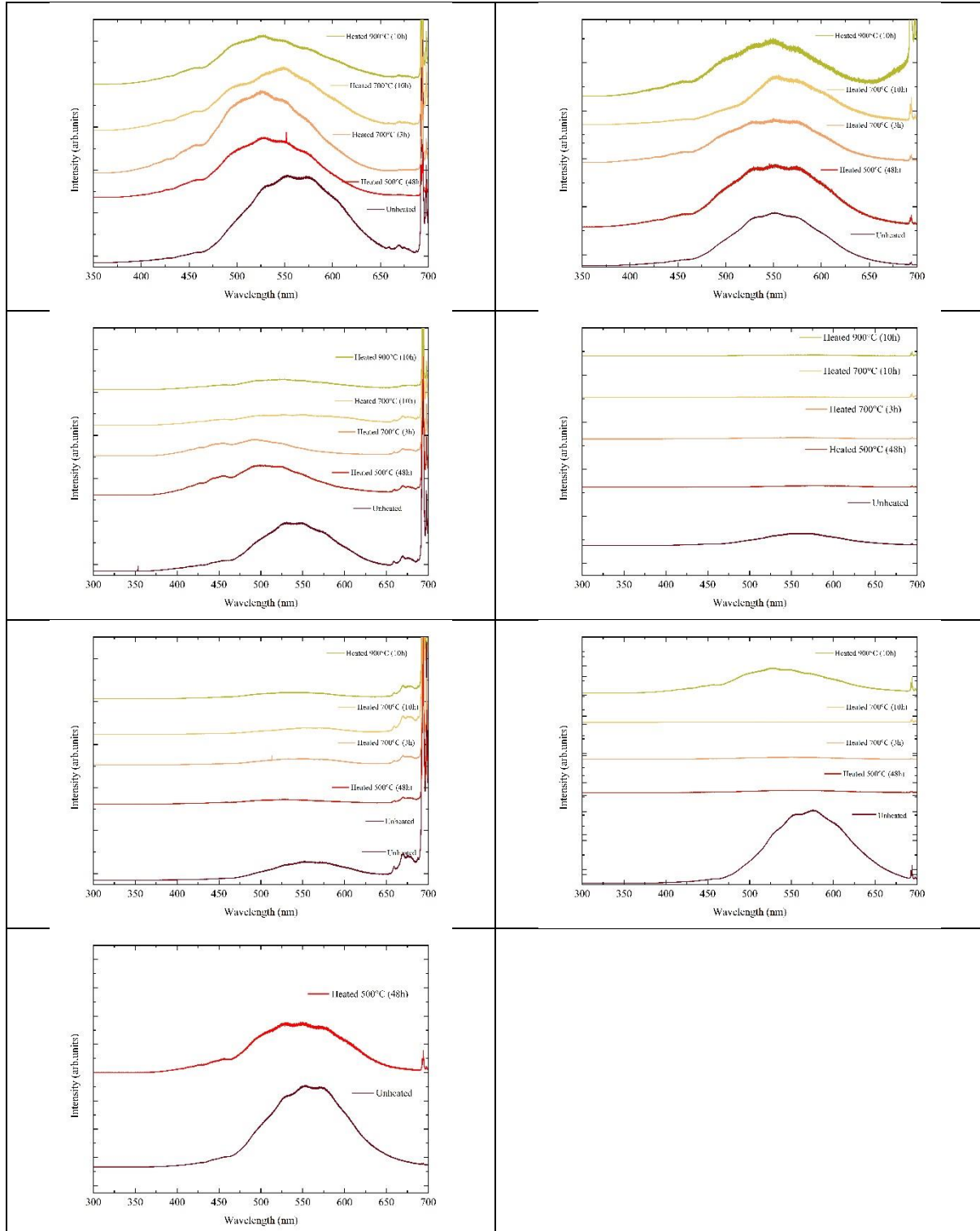
Name	Graph
MGVAT0121-031	
MGVAT0121-032	
MGVAT0121-033	

Name	Graph
MGVAT0121-034	
MGVAT0121-035	
MGVAT0121-036	

ภาคผนวก ง. ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Photoluminescence

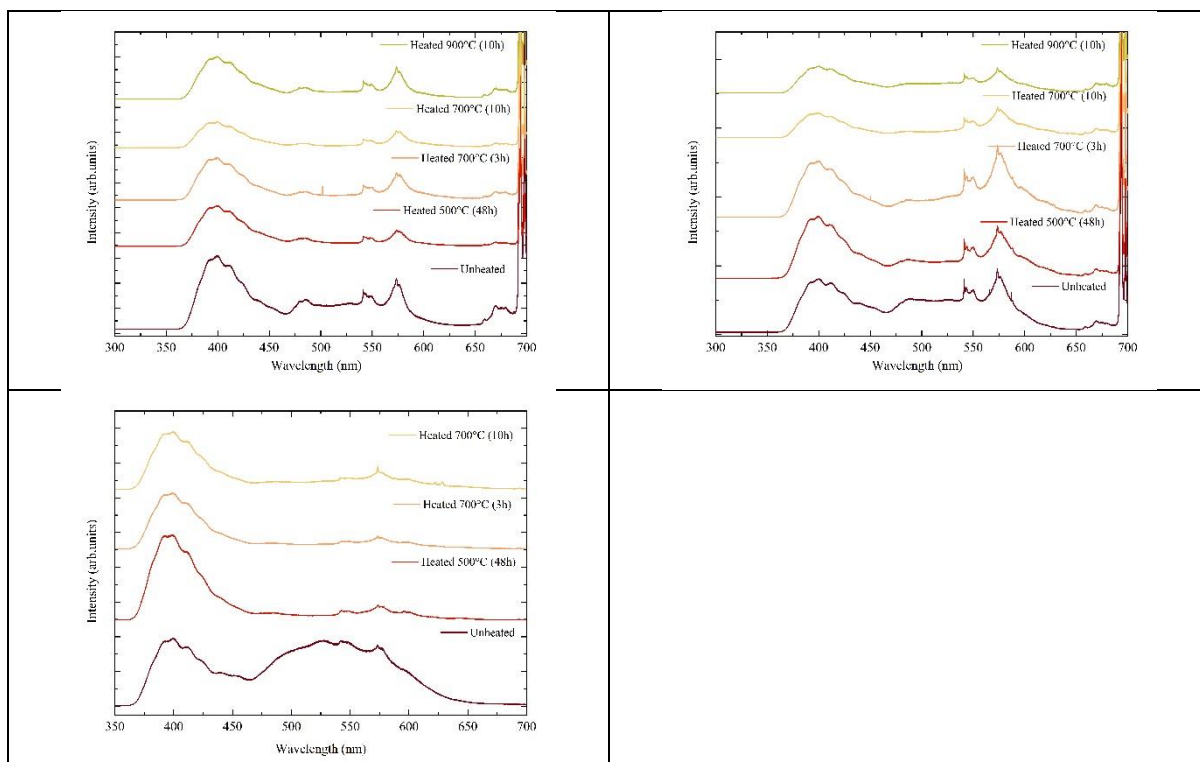
ผลการวิเคราะห์ผลหินฟลักซ์แหล่งโมซัมบิกด้วยเลเซอร์ 325

ง-1 PLสเปกตรัมของแร่ mica

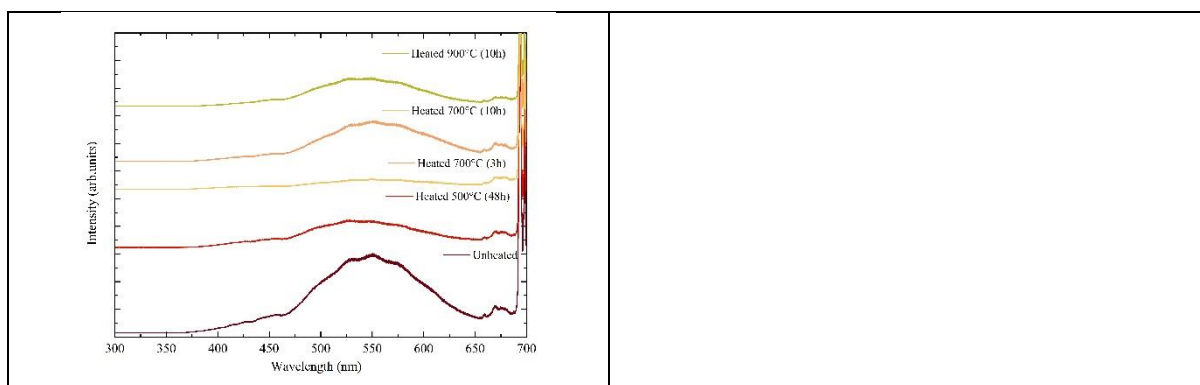


ผลการวิเคราะห์ผลึกหลังมาดากัสการ์ด้วยเลเซอร์ 325

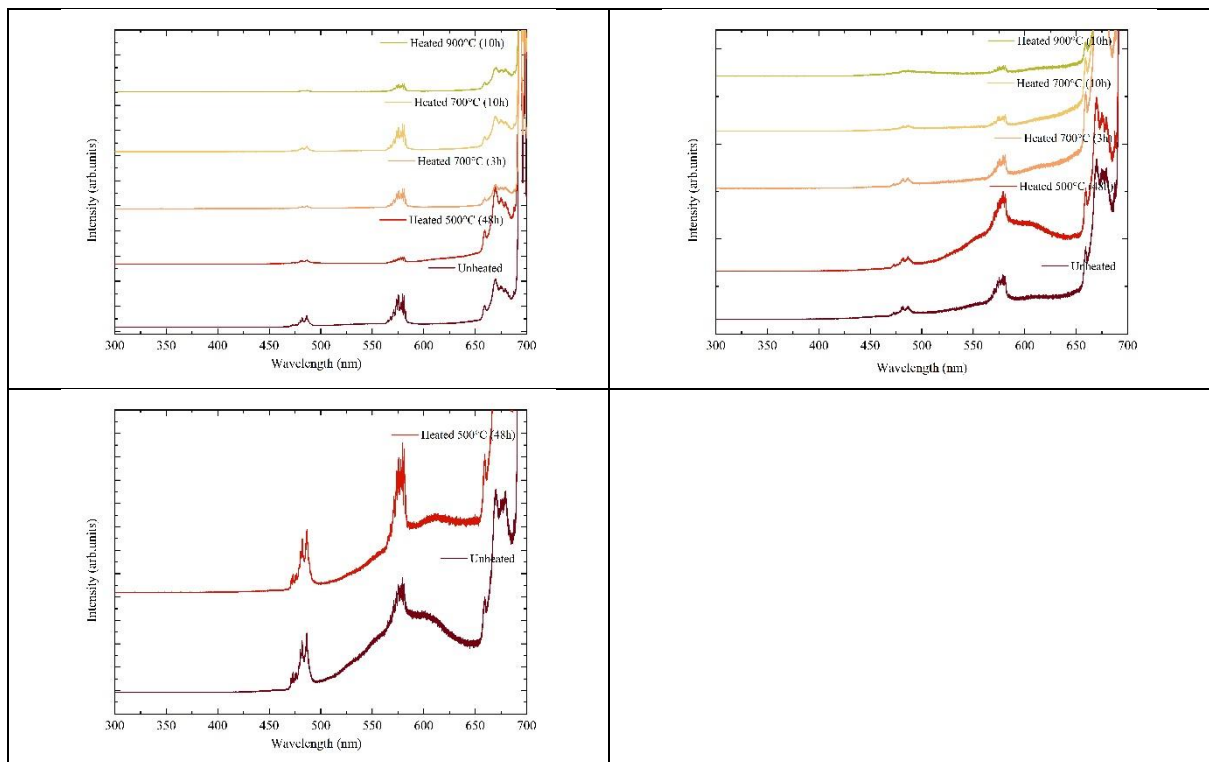
ง-2 PLสเปกตรัมของแร่ apatite



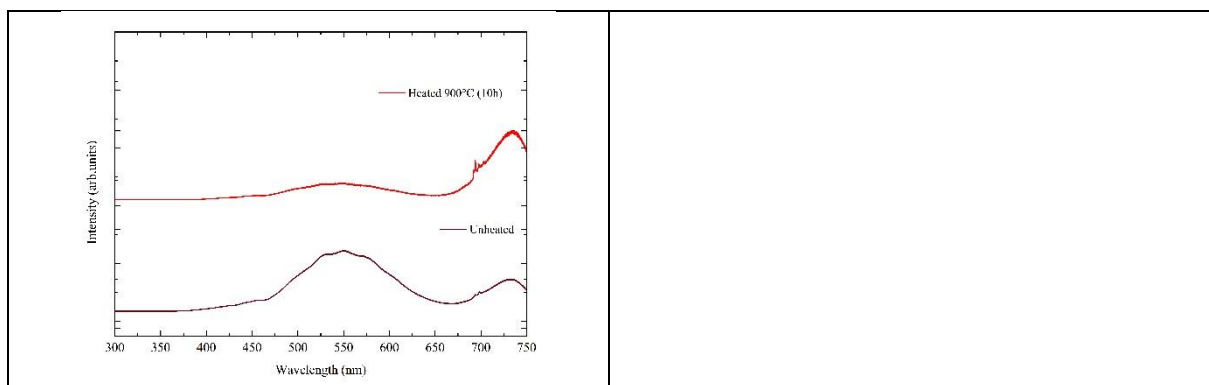
ง-3 PLสเปกตรัมของแร่ fuchsite



ง-4 PLสเปกตรัมของแร่ zircon

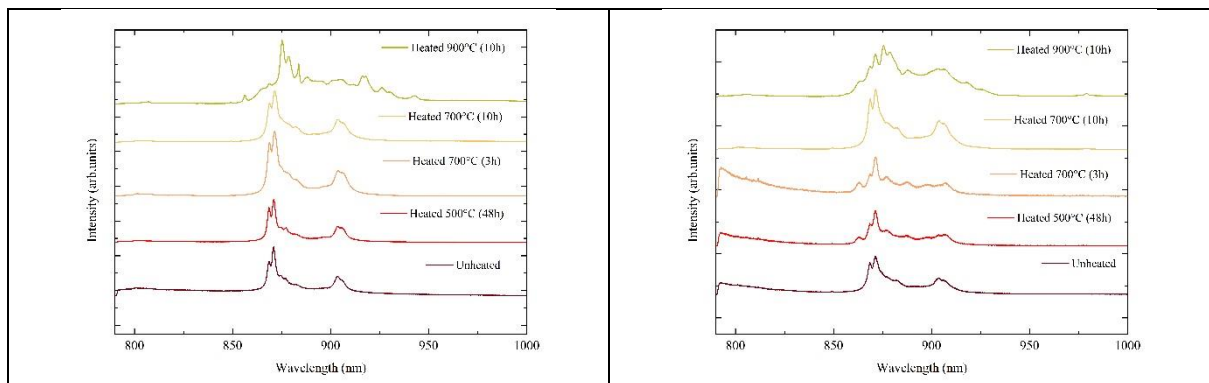


ง-5 PLสเปกตรัมของแร่ sillimanite

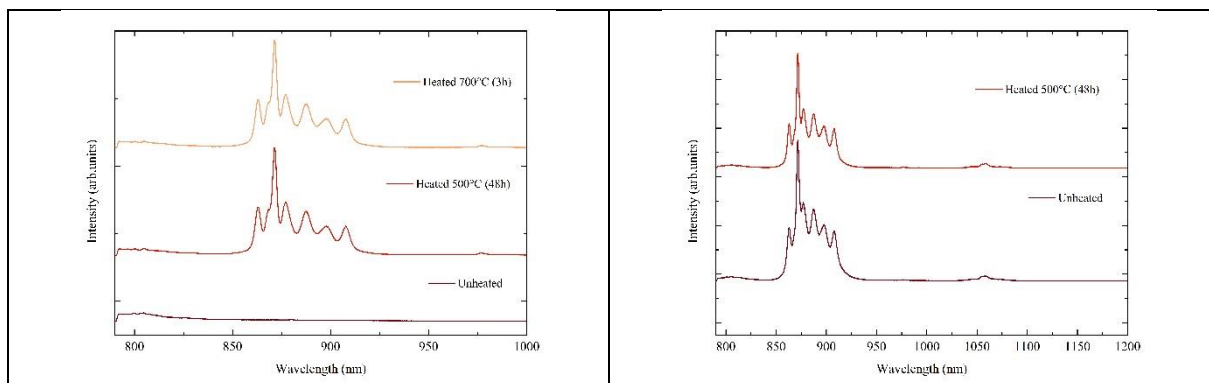


ผลการวิเคราะห์ผลึกแหล่งมาดากัสการ์ด้วยเลเซอร์ 785

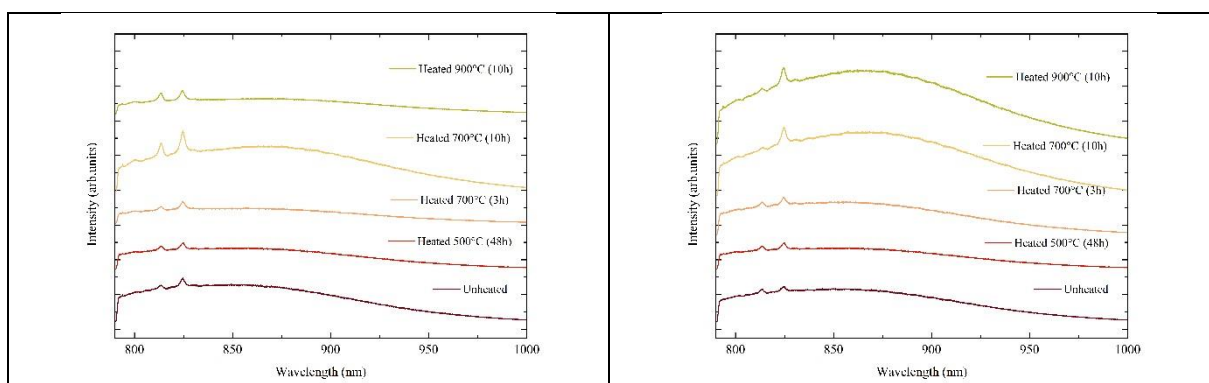
ง-6 PLสเปกตรัมของแร่ apatite



ง-7 PLสเปกตรัมของแร่ zircon

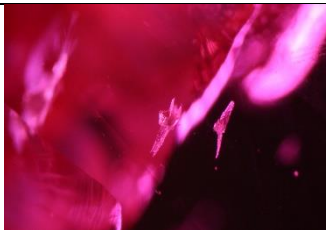
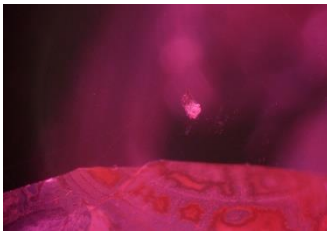
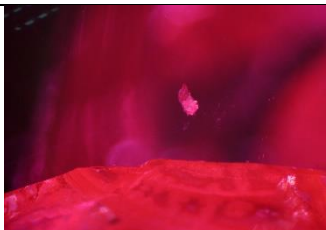
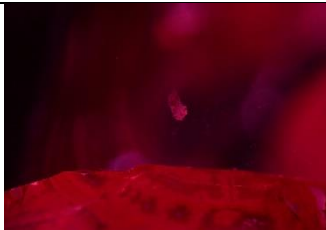


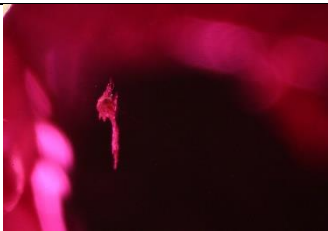
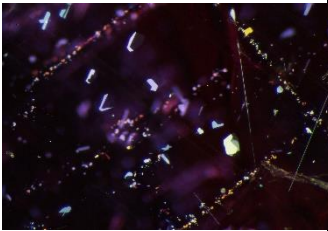
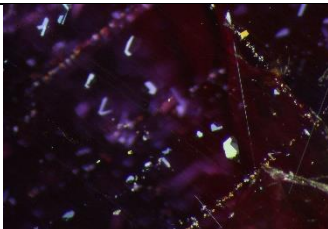
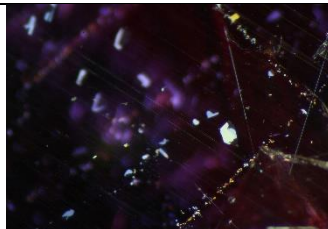
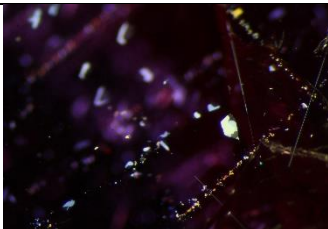
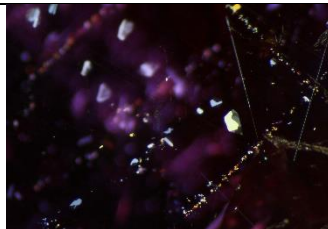
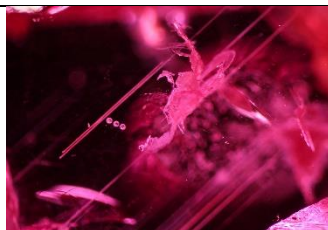
ง-8 PLสเปกตรัมของแร่ rutile

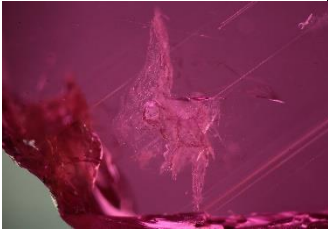
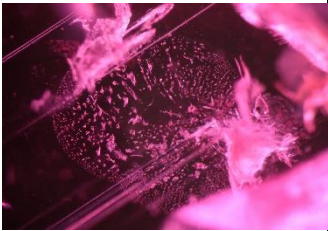
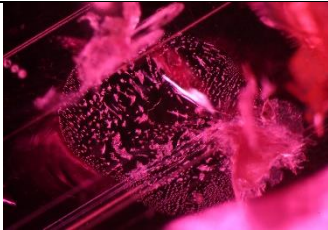
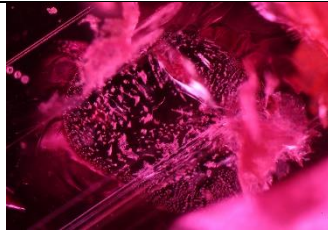
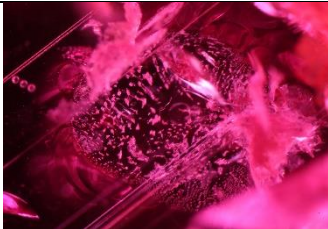
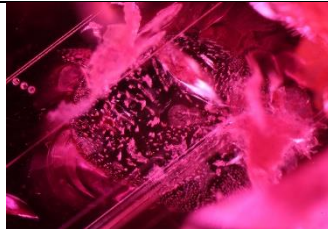
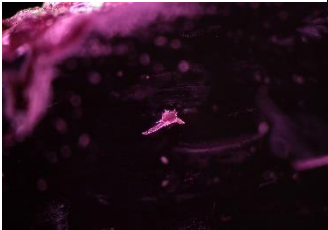
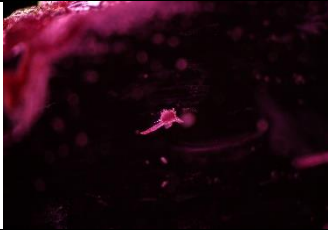
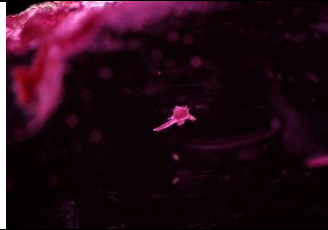
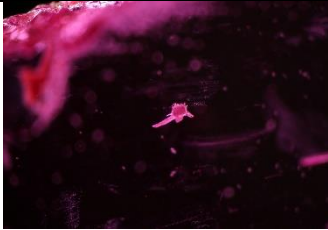
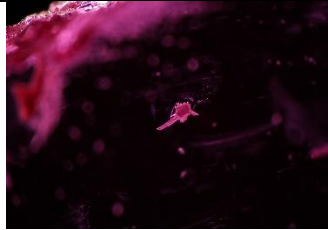


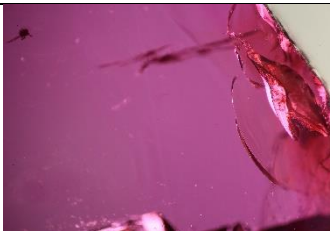
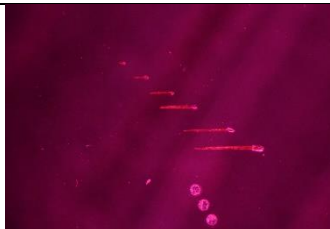
ภาคผนวกจ. ผลการวิเคราะห์ผลหินภายในด้วยกล้อง Microscope

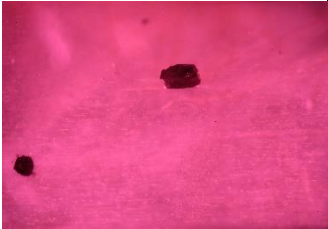
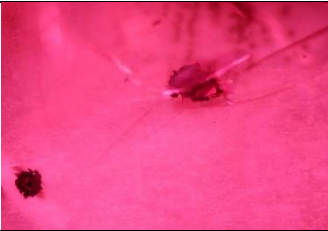
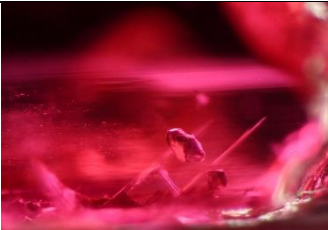
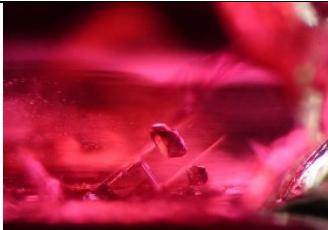
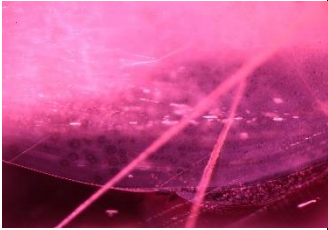
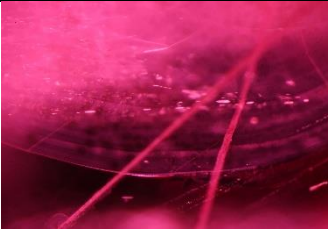
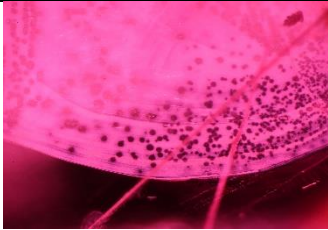
จ-1 ผลการวิเคราะห์ผลหินภายในแท็บทิมแหล่งโมซัมบิก

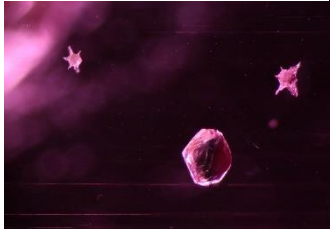
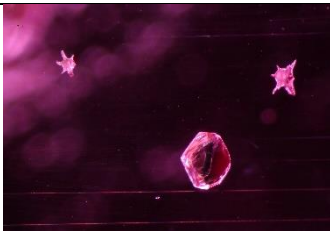
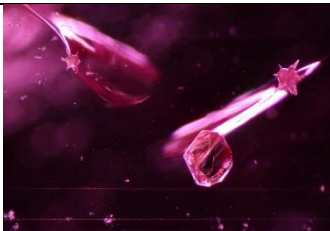
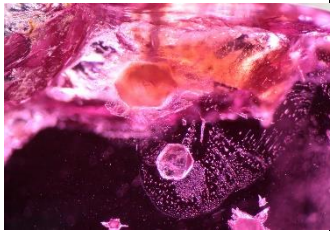
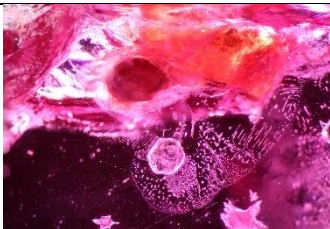
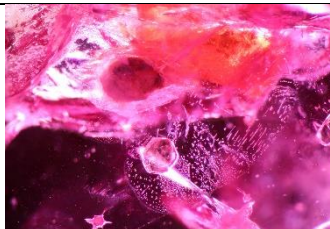
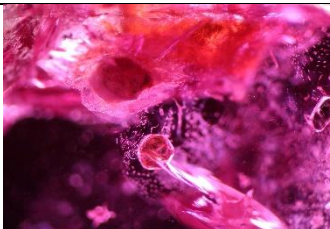
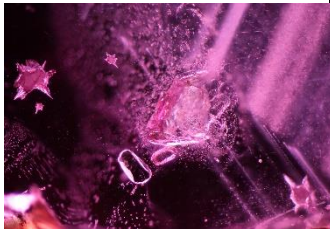
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MZUNK012 1-004			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-004		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

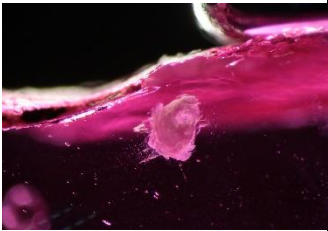
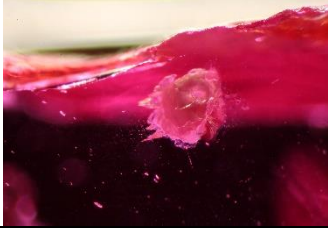
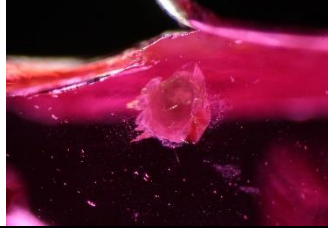
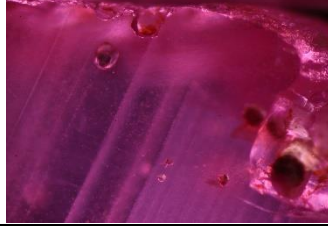
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MZUNK012 1-004			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-004		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-008		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

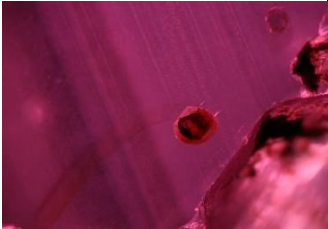
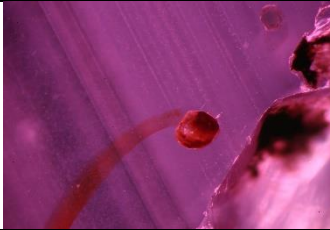
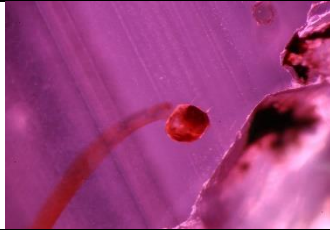
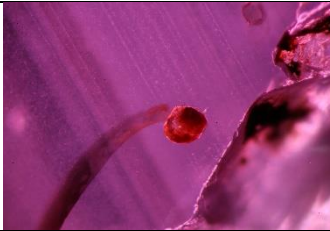
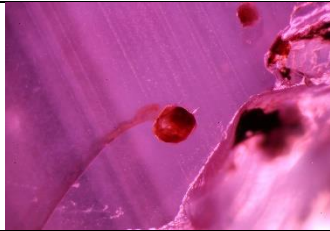
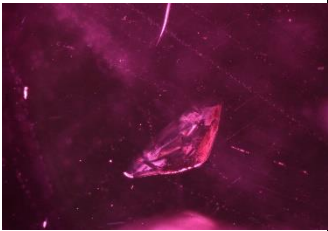
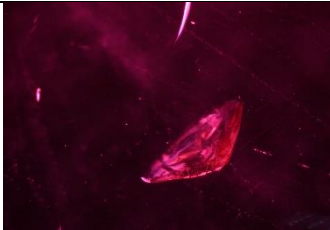
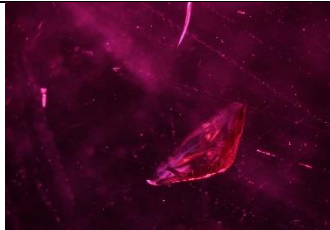
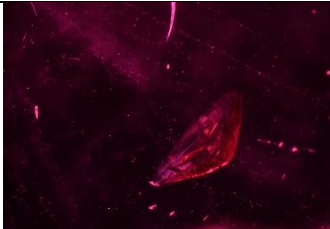
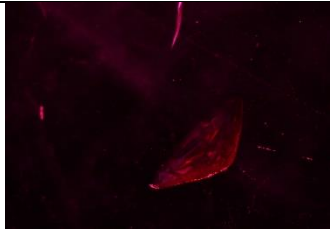
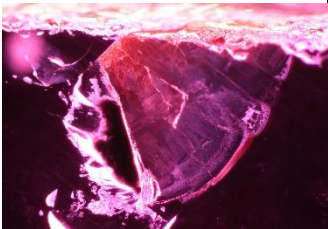
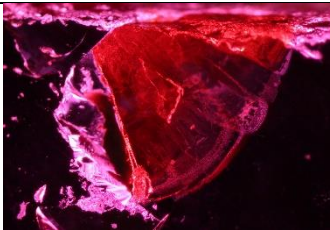
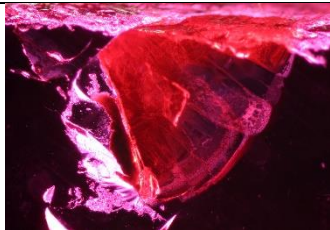
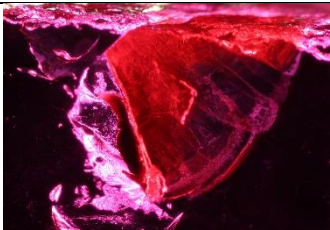
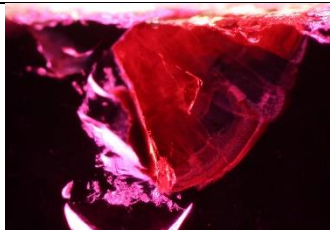
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MZUNK012 1-008			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-009		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

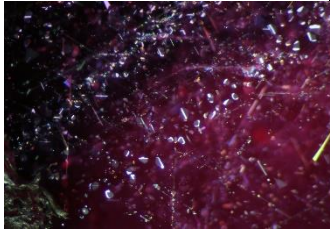
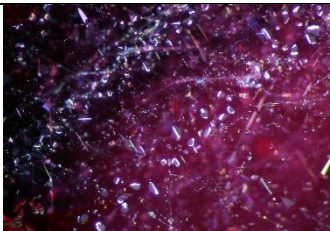
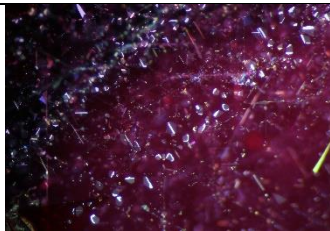
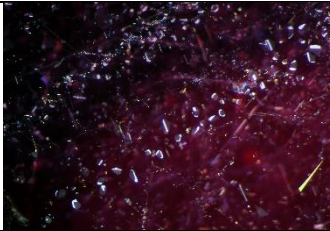
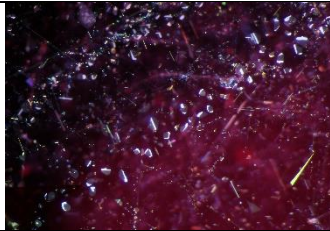
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MZUNK012 1-00			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-014		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-015		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

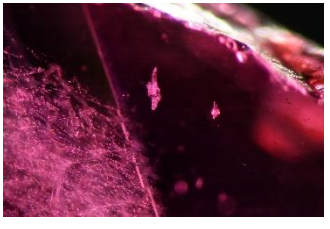
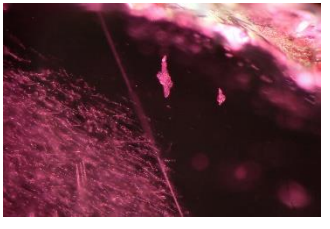
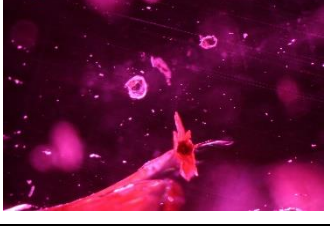
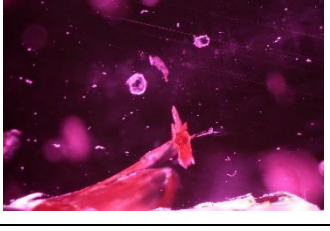
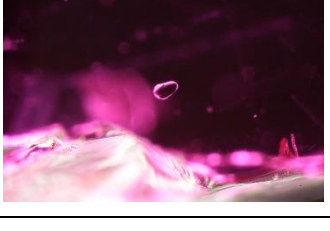
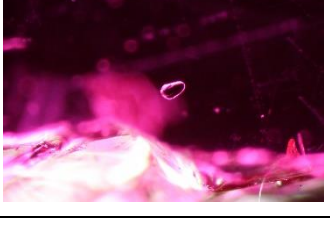
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MZUNK012 1-015			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-015		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-015		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

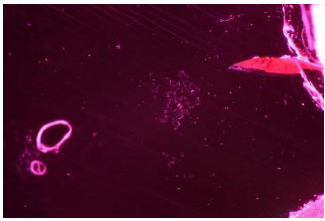
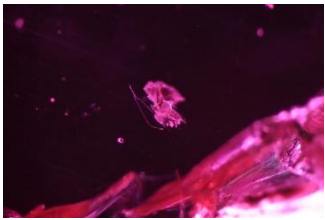
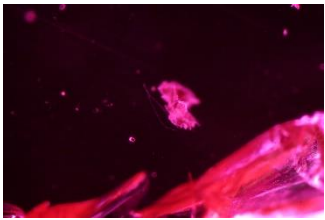
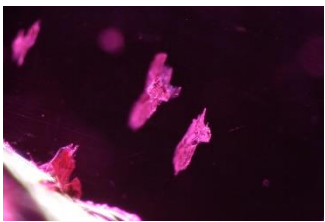
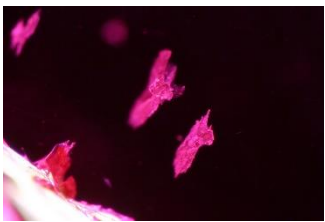
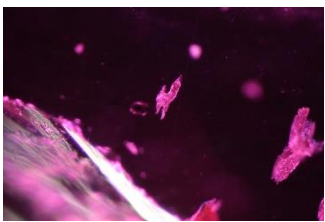
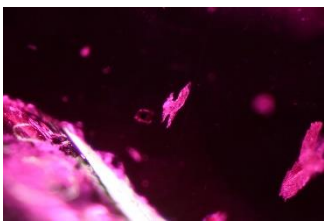
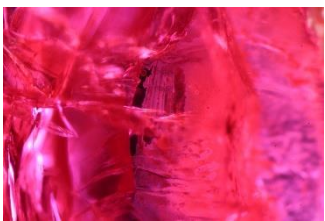
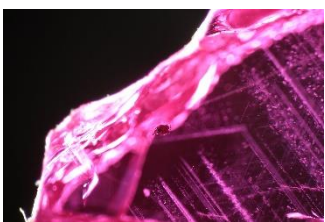
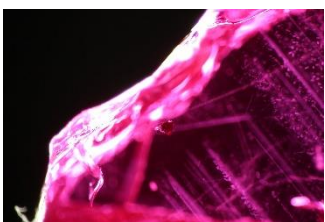
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MZUNK012 1-017			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-017		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-017		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

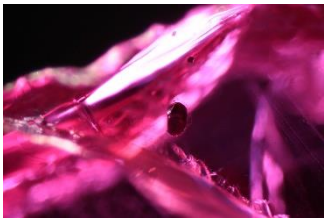
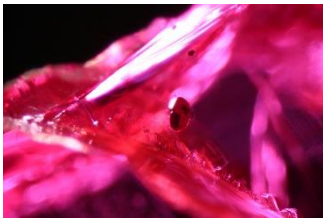
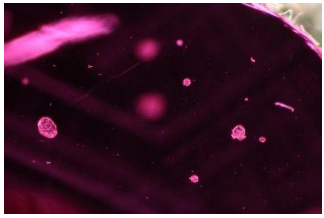
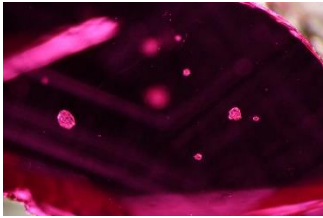
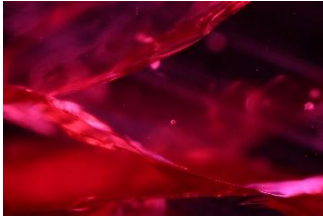
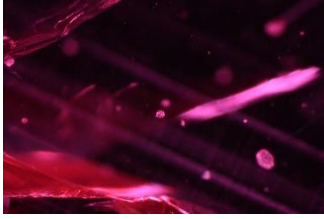
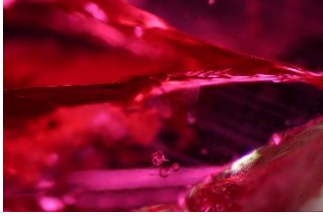
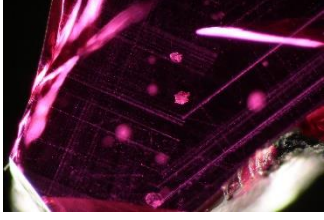
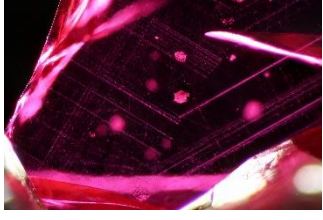
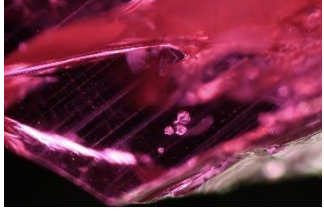
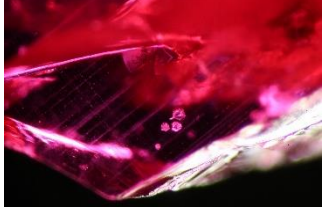
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MZUNK012 1-00			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-00		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-00		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

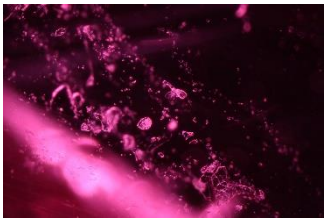
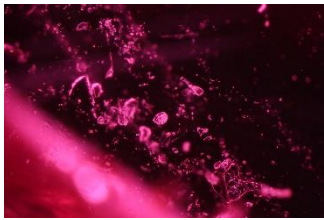
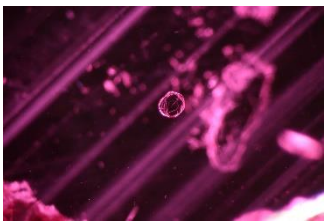
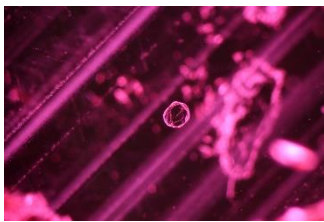
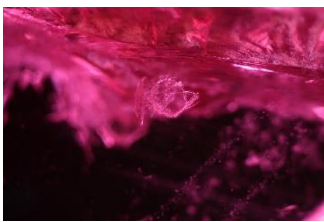
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MZUNK012 1-00			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-035		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-00		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

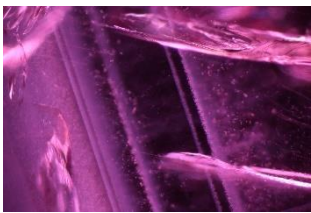
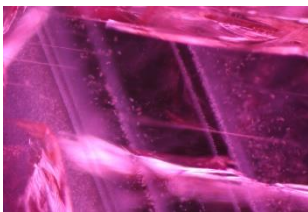
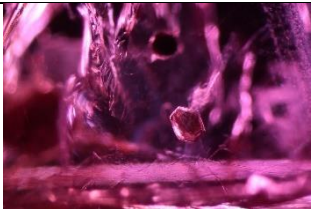
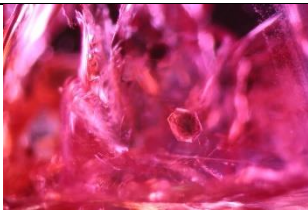
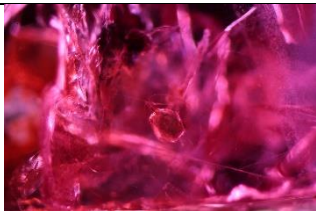
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MZUNK012 1-00			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

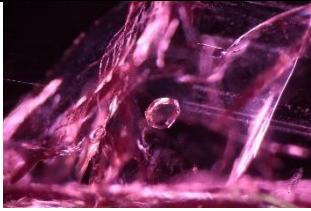
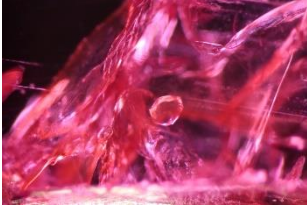
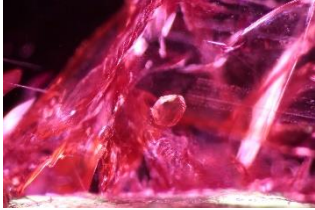
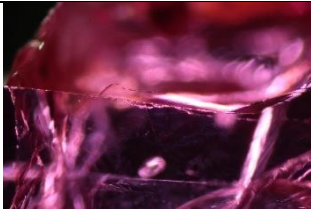
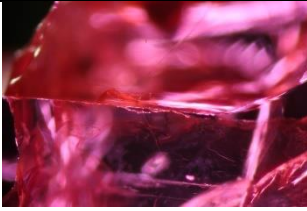
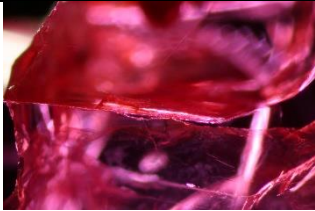
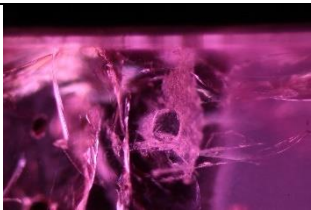
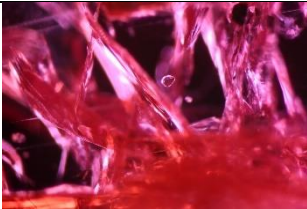
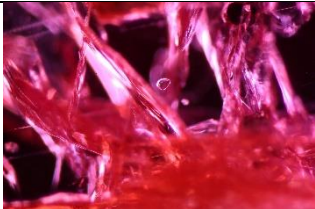
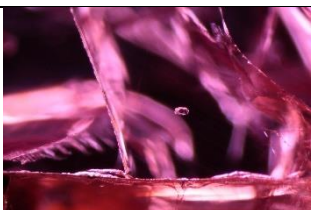
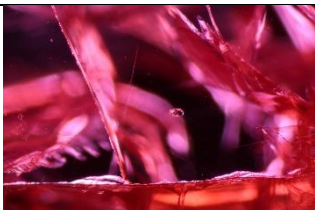
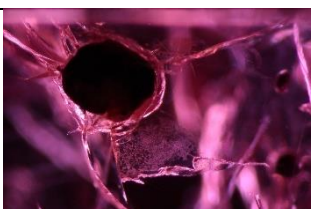
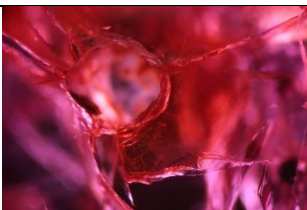
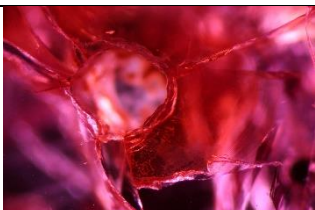
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	500° C 48 ชั่วโมง
MZUNK0121-002		
MZUNK0121-002		
MZUNK0121-013		
MZUNK0121-013		

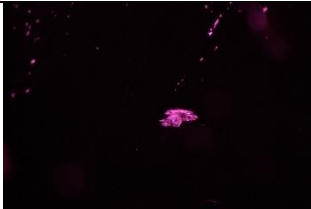
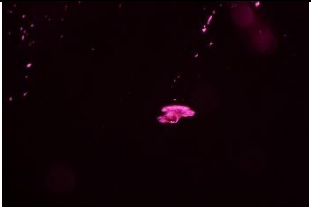
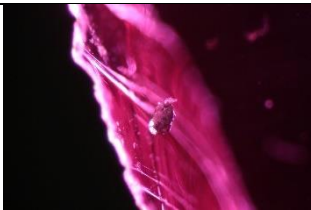
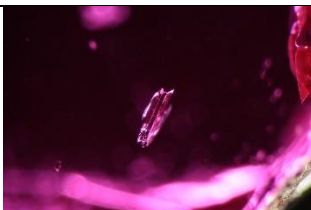
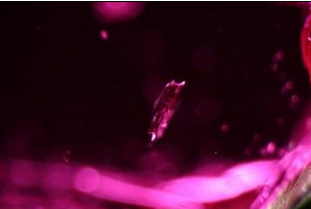
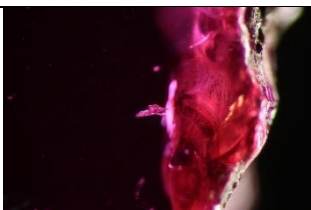
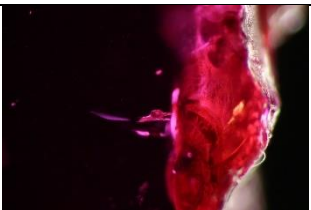
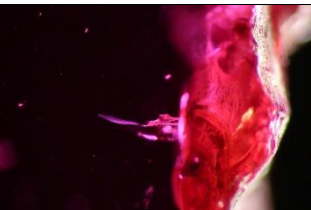
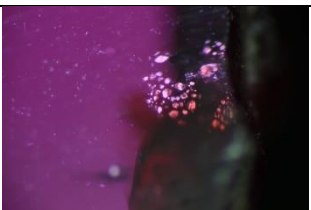
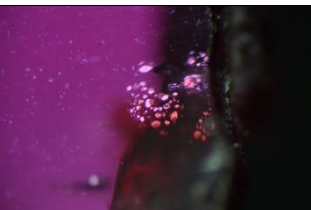
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	500° C 48 ชั่วโมง
MZUNK0121-0		
MZUNK0121-0		
MZUNK0121-0		
MZUNK0121-0		
MZUNK0121-018		
MZUNK0121-0		
MZUNK0121-0		

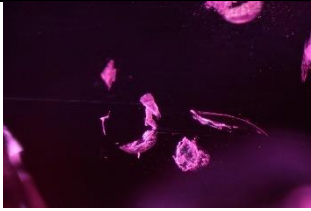
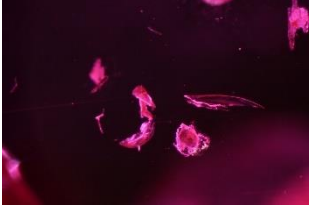
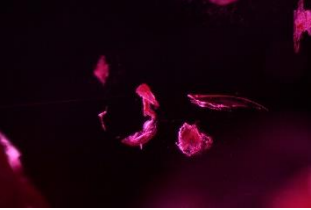
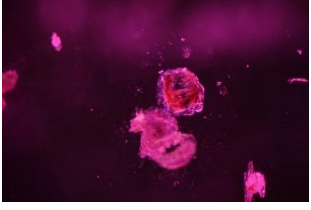
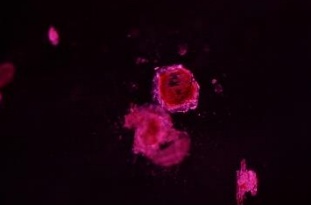
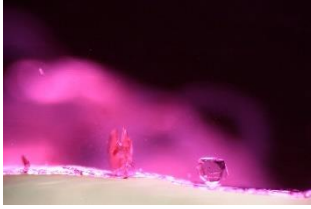
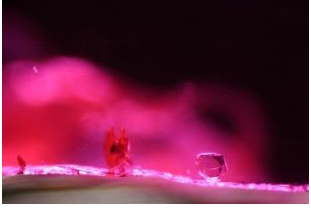
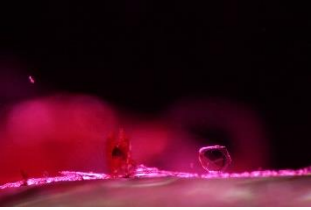
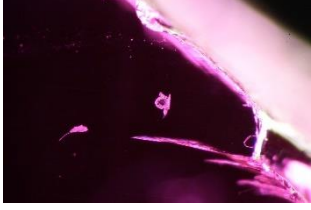
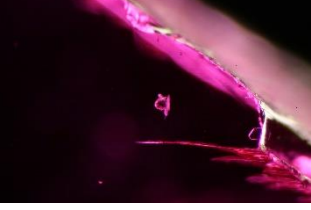
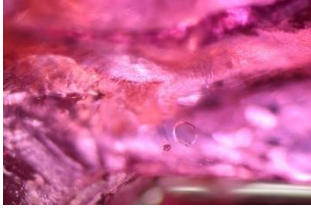
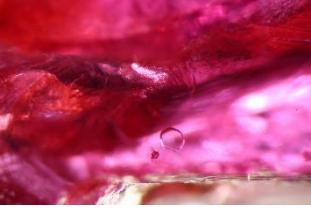
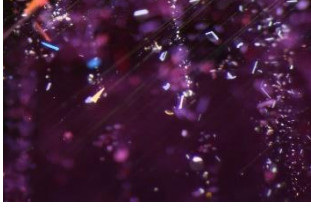
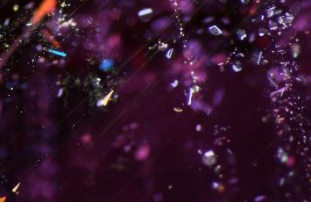
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	500° C 48 ชั่วโมง
MZUNK0121-0		
MZUNK0121-025		
MZUNK0121-0		
MZUNK0121-0		
MZUNK0121-0		
MZUNK0121-0		
MZUNK0121-0		

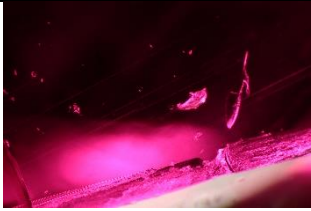
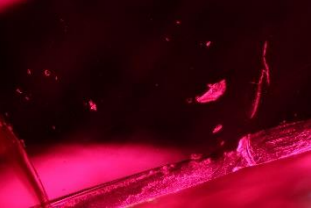
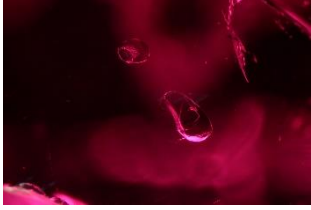
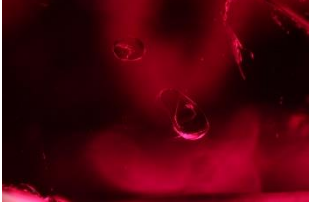
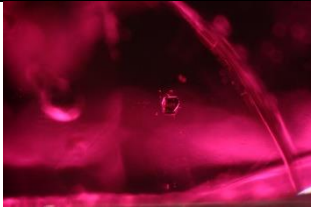
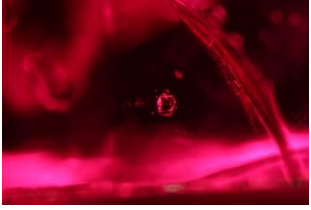
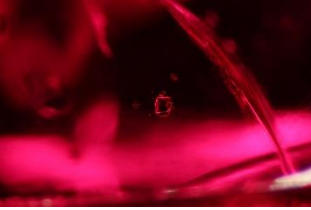
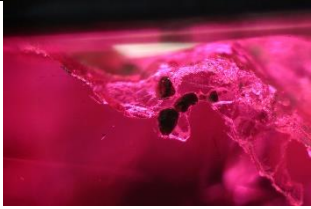
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	500° C 48 ชั่วโมง
MZUNK0121-031		
MZUNK0121-0		
MZUNK0121-0		
MZUNK0121-0		

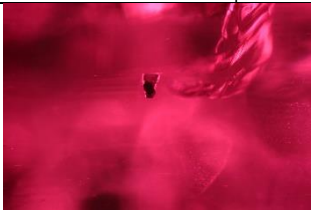
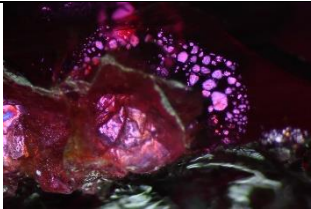
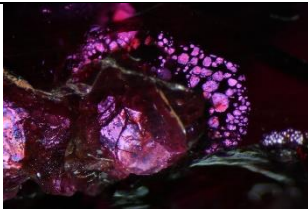
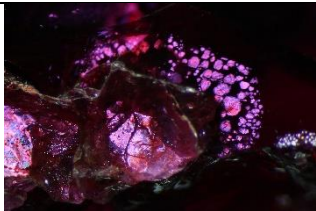
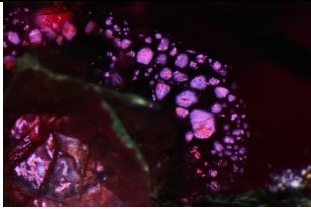
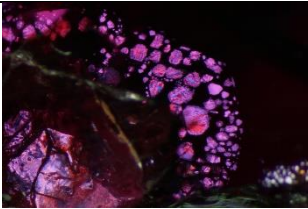
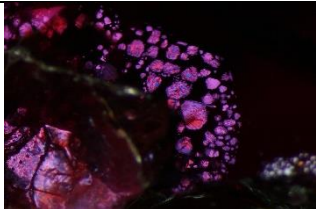
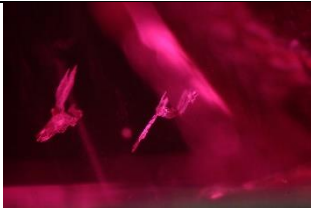
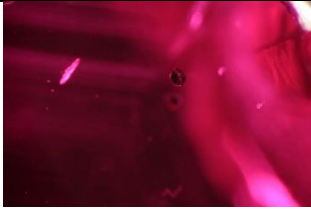
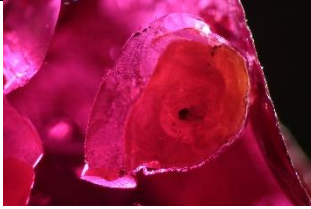
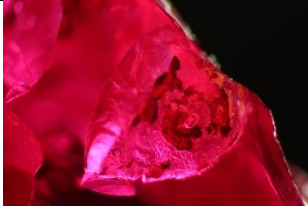
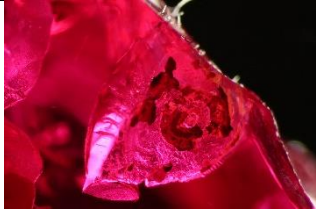
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		700° C 3 ชั่วโมง	700° C 10 ชั่วโมง
MZUNK0121-019			
MZUNK0121-0			

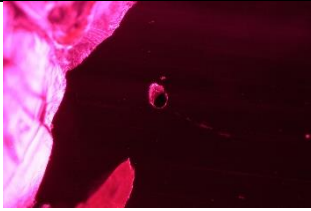
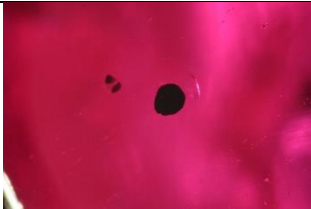
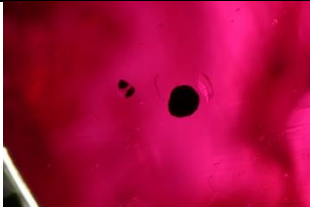
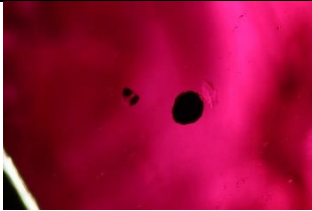
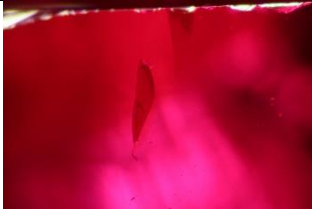
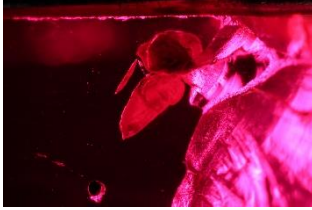
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		700° C 3 ชั่วโมง	700° C 10 ชั่วโมง
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			

รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		700° C 3 ชั่วโมง	700° C 10 ชั่วโมง
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-021			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			

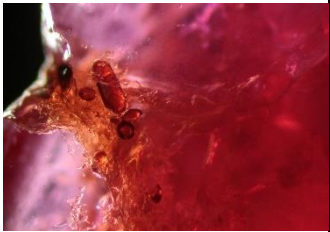
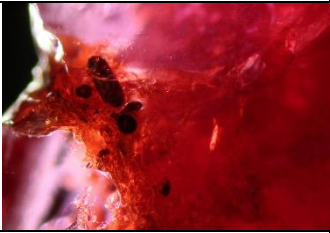
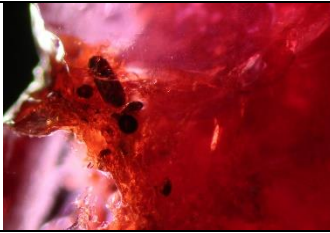
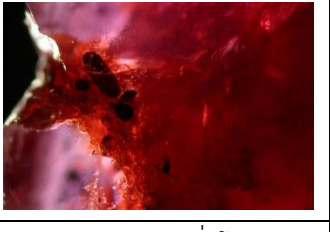
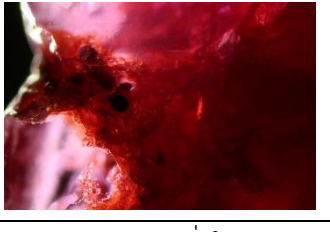
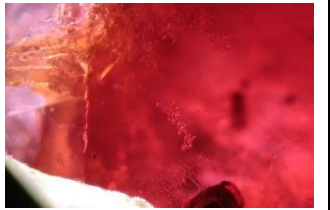
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		700° C 3 ชั่วโมง	700° C 10 ชั่วโมง
MZUNK012 1-023			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			

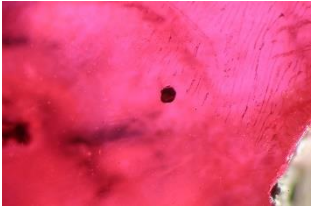
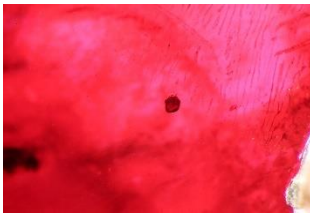
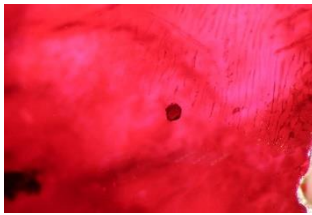
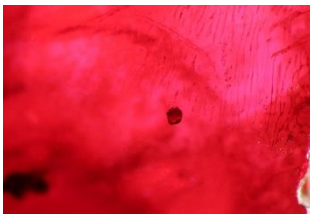
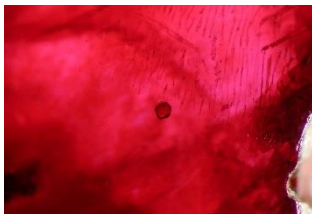
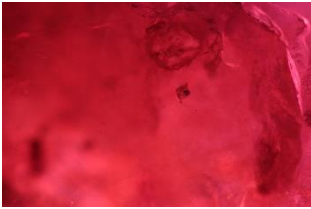
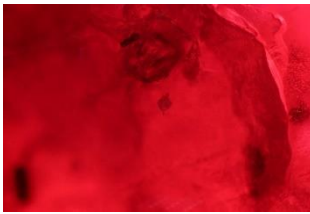
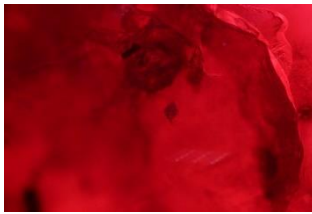
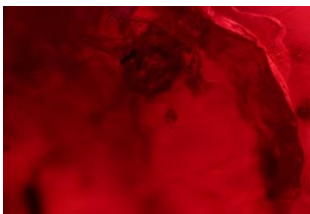
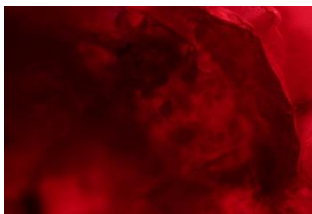
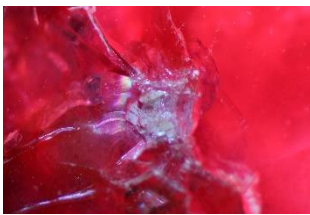
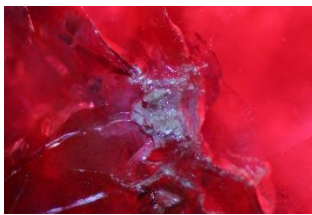
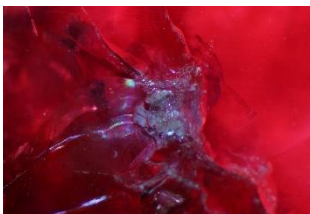
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		700° C 3 ชั่วโมง	700° C 10 ชั่วโมง
MZUNK012 1-030			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			

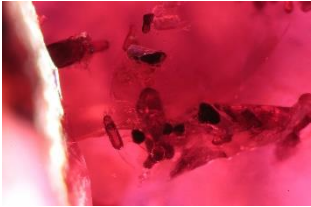
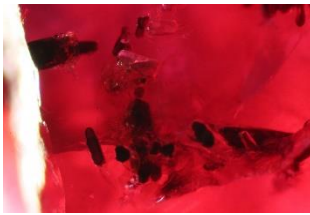
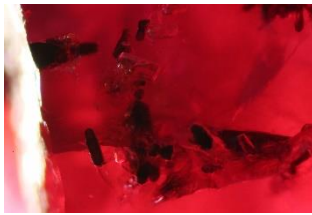
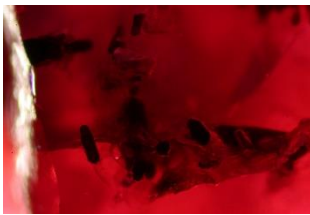
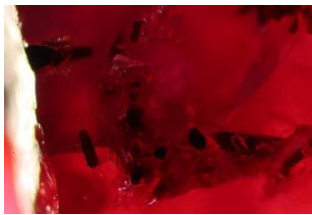
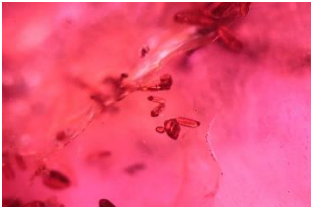
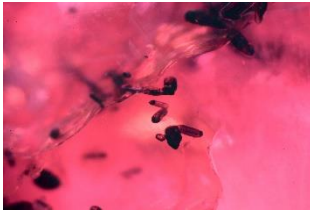
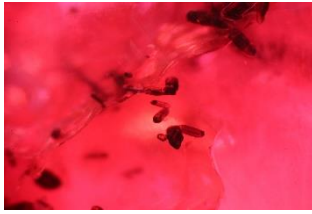
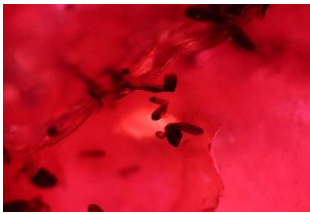
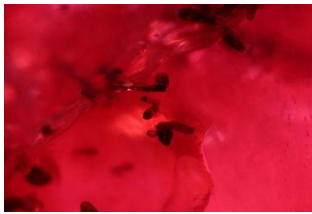
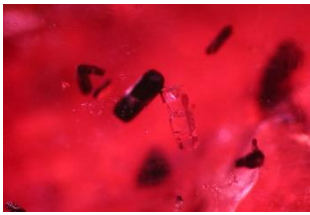
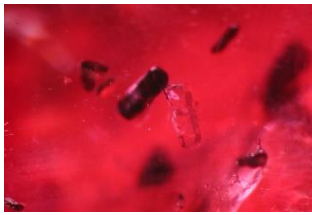
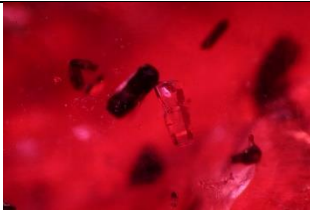
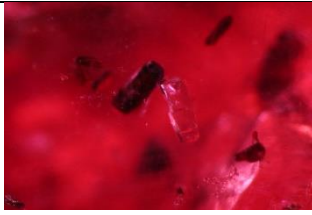
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		700° C 3 ชั่วโมง	700° C 10 ชั่วโมง
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-034			
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0			

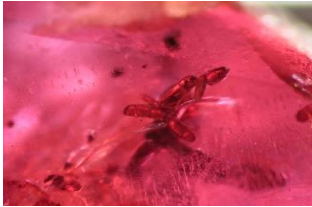
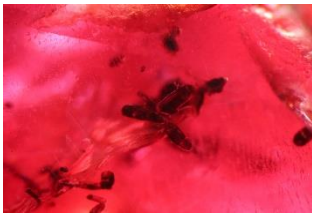
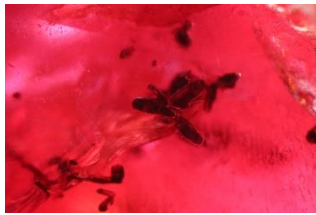
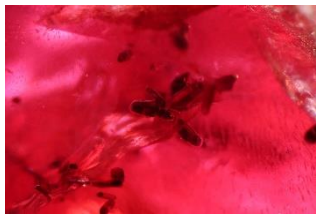
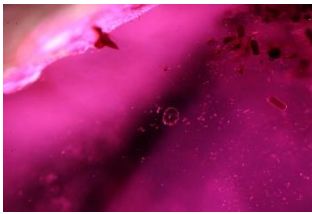
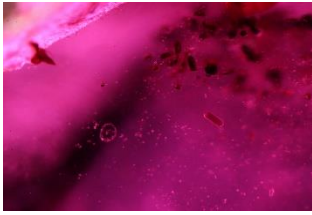
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		700° C 3 ชั่วโมง	700° C 10 ชั่วโมง
MZUNK012 1-0			
MZUNK012 1-0		700° C 3 ชั่วโมง	700° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-0		700° C 3 ชั่วโมง	700° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-0		700° C 3 ชั่วโมง	700° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-0		700° C 3 ชั่วโมง	700° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK012 1-0		700° C 3 ชั่วโมง	700° C 10 ชั่วโมง
			

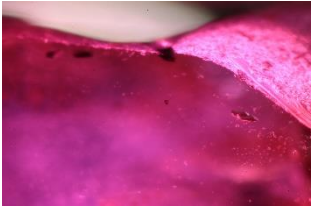
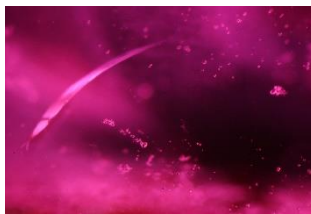
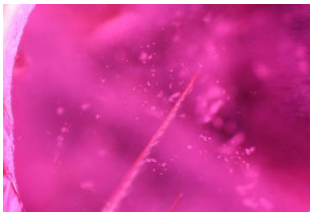
จ-2 ผลการวิเคราะห์ผลหินภายในทับทิมแหล่งมาดากัสการ์

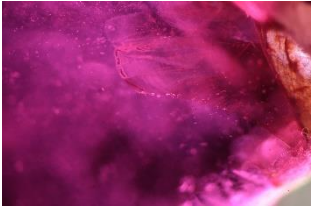
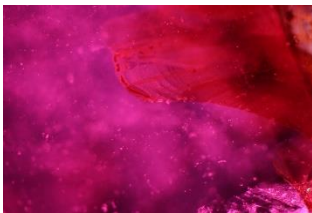
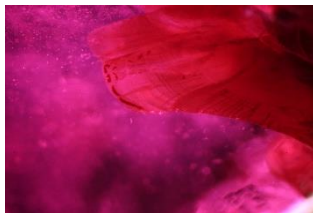
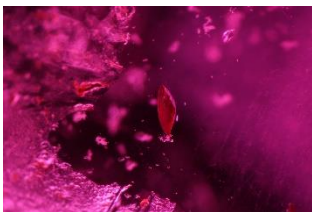
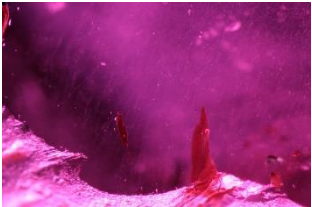
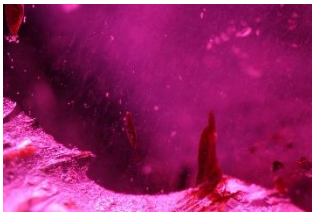
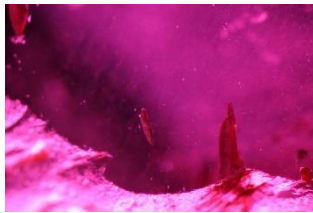
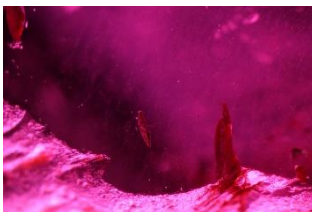
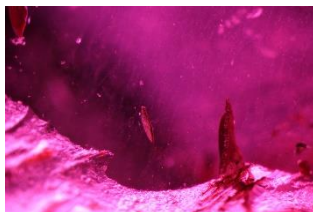
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT012 1-007			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-007		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

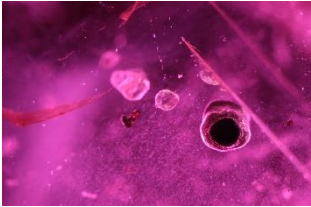
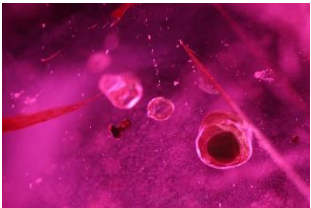
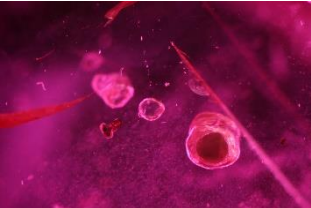
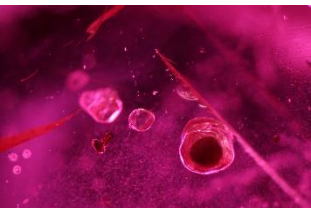
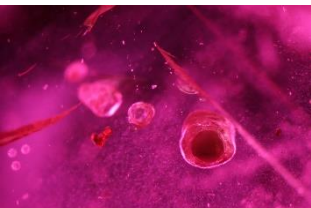
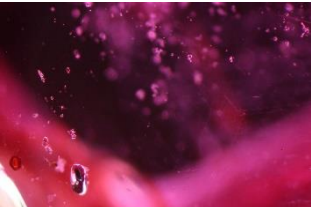
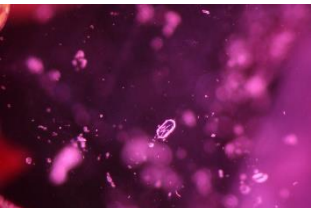
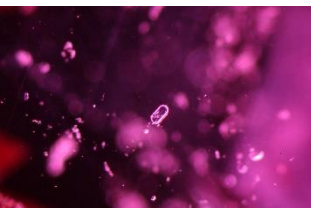
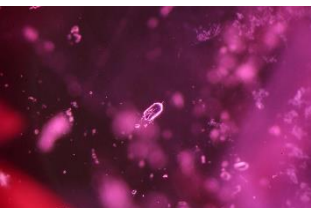
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT012 1-007			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-007		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-007		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

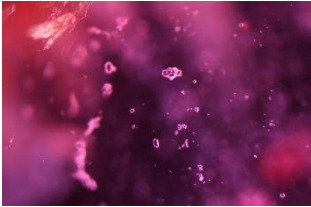
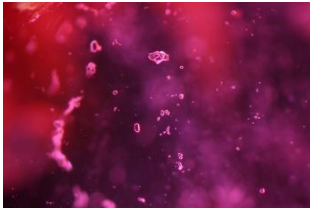
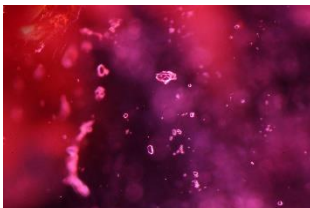
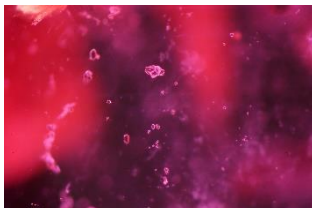
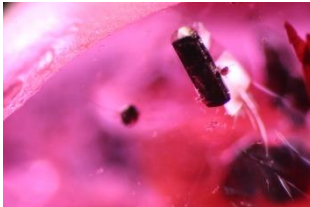
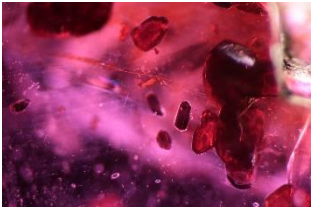
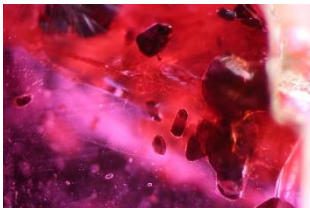
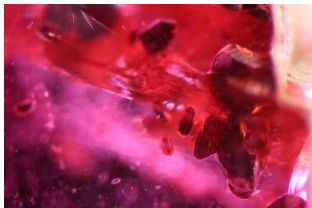
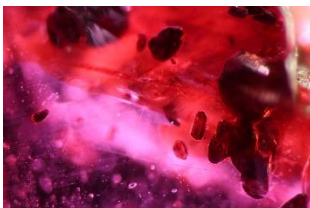
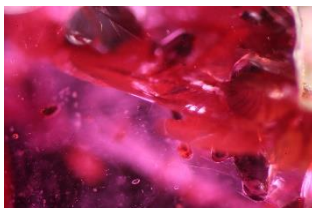
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT012 1-007			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-007		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-007		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

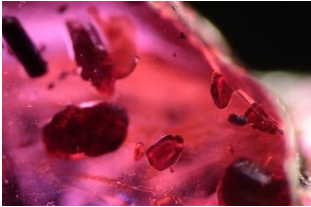
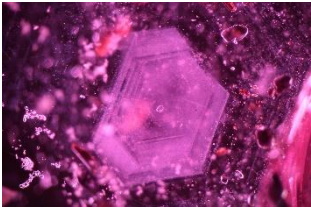
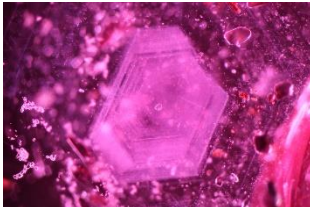
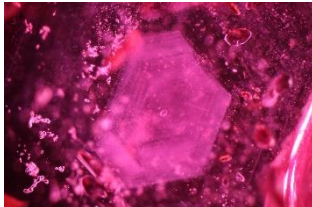
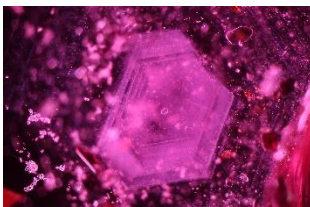
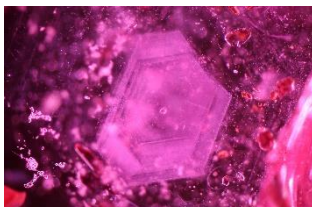
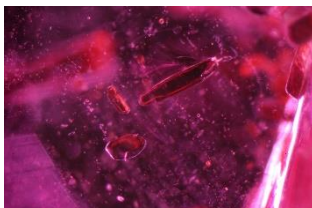
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT012 1-007			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-010		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-010		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

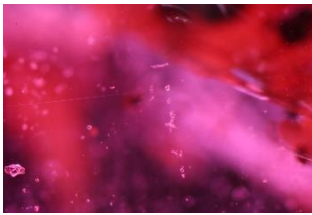
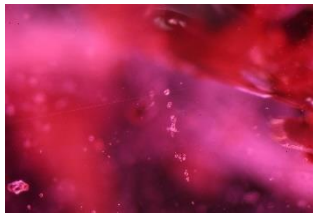
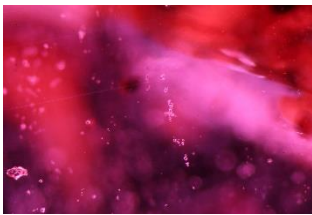
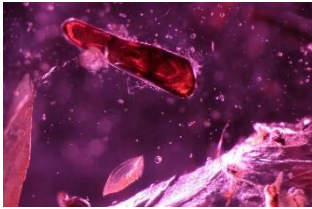
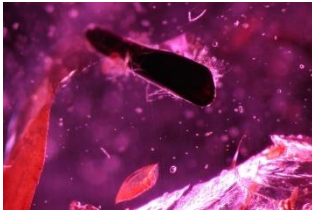
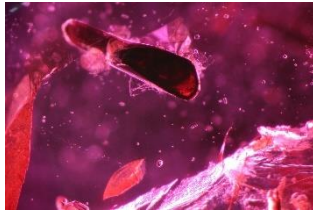
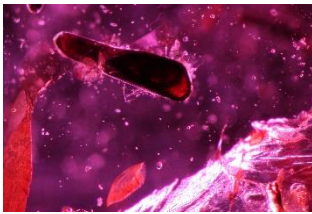
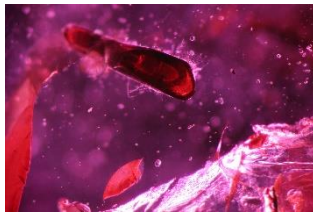
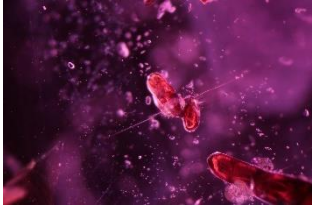
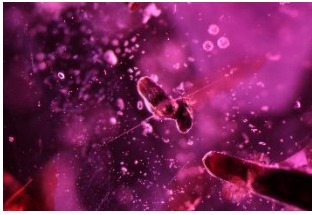
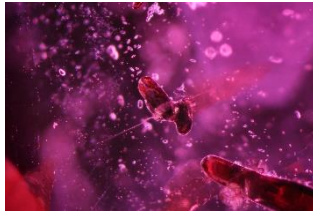
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT012 1-010			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-010		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-010		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

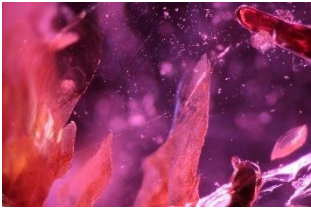
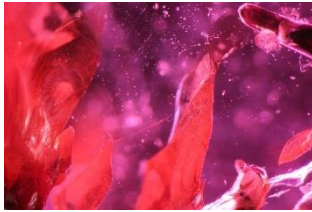
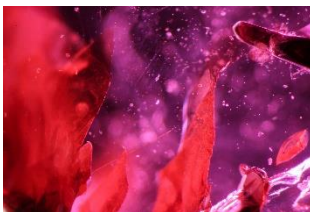
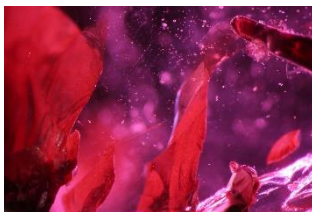
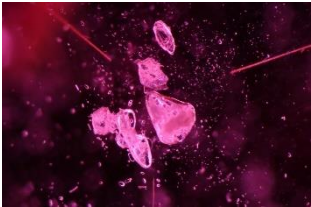
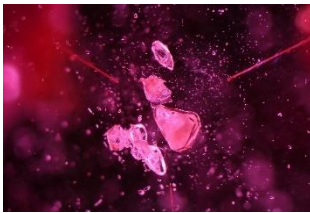
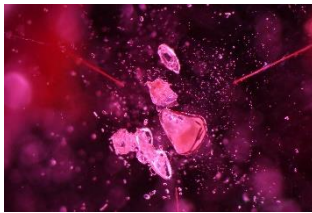
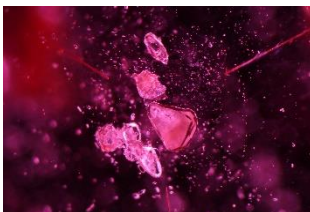
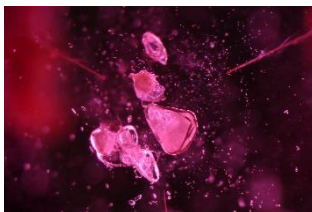
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT012 1-010			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-010		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-010		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

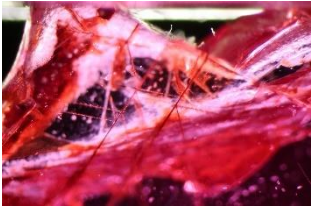
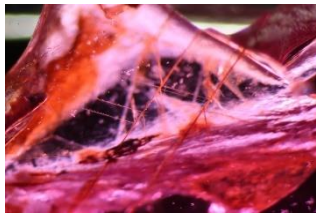
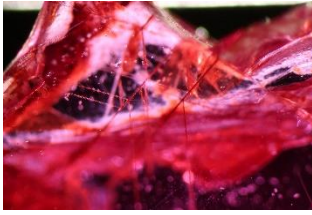
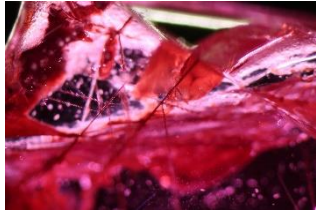
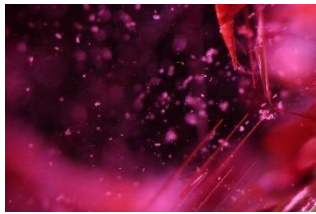
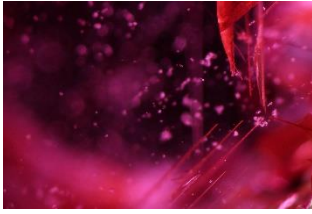
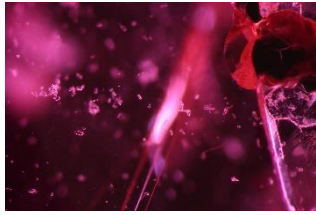
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT012 1-010			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-013		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-013		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

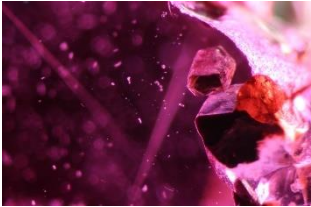
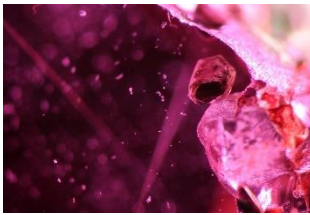
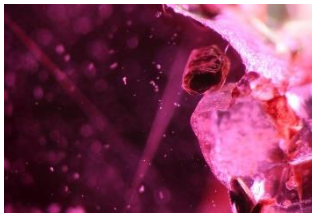
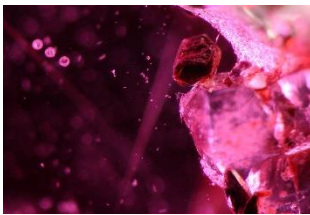
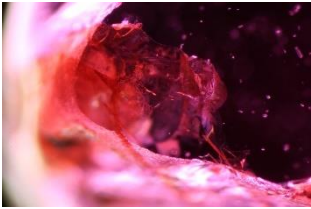
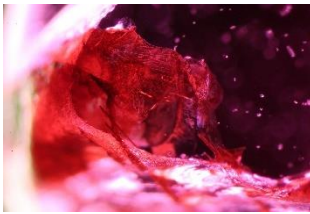
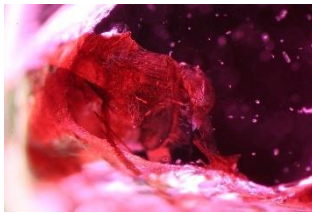
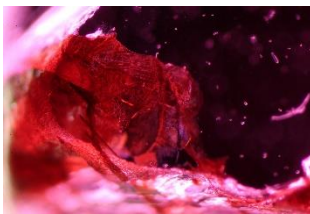
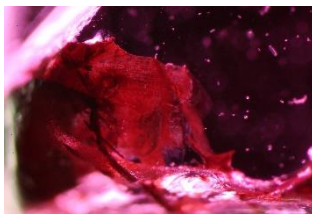
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT012 1-013			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-013		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-013		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

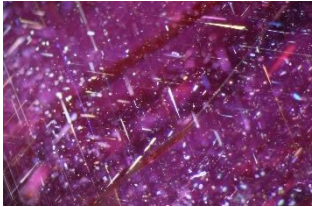
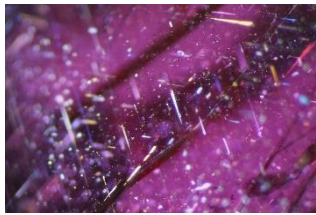
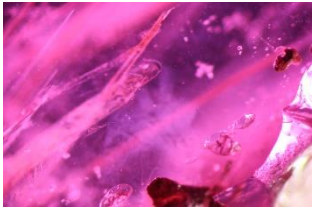
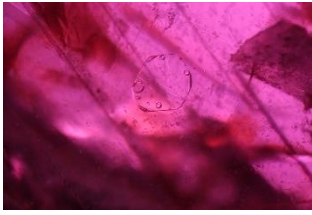
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT012 1-013			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-013		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-013		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

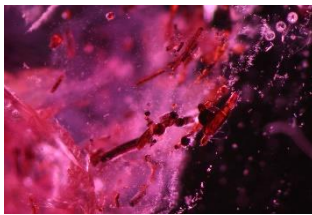
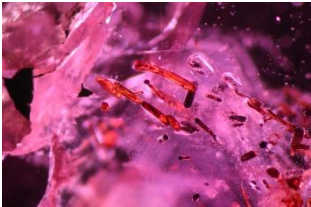
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT012 1-013			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-013		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-013		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

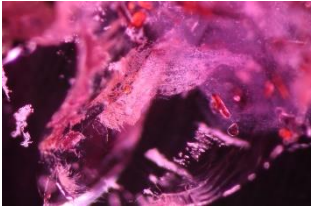
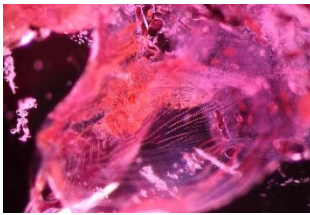
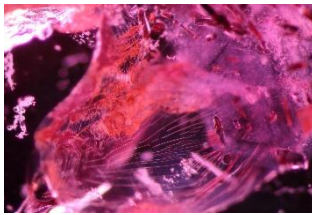
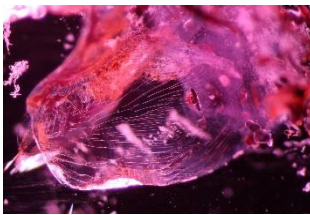
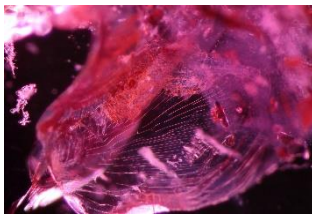
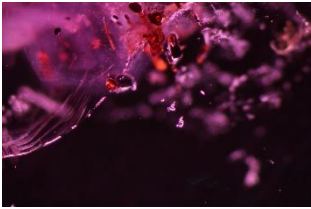
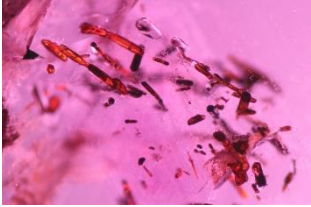
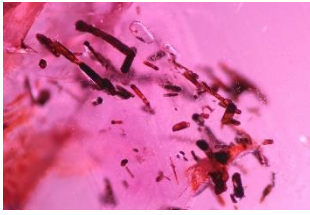
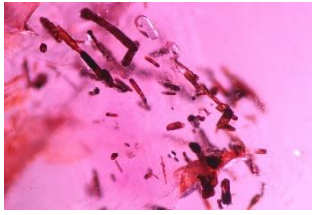
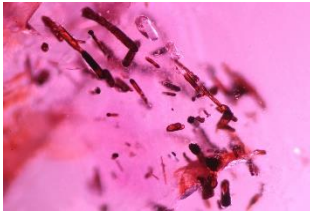
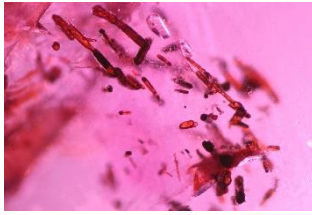
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT012 1-013			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-013		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-020		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

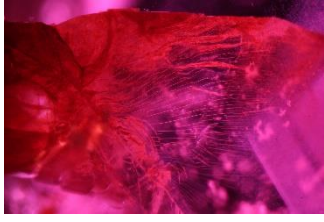
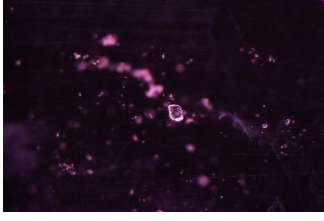
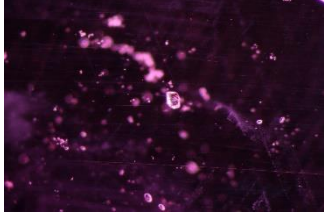
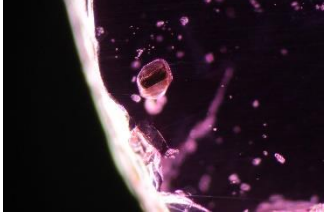
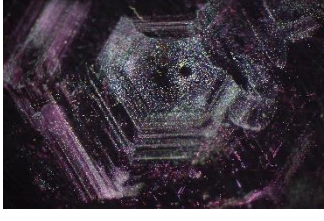
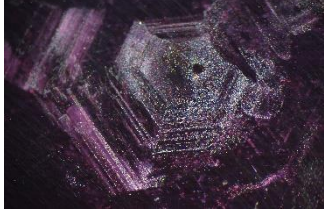
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT012 1-020			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-020		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-020		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

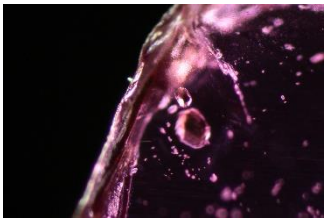
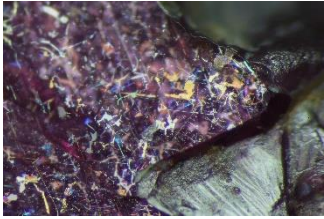
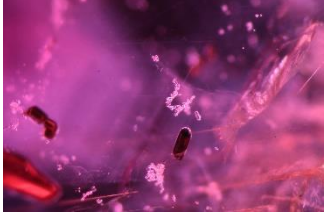
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT012 1-020			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-020		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-025		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

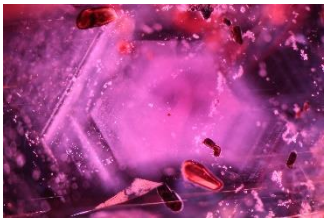
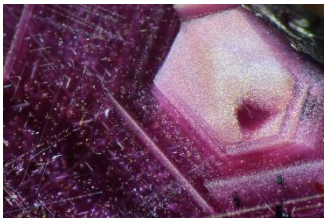
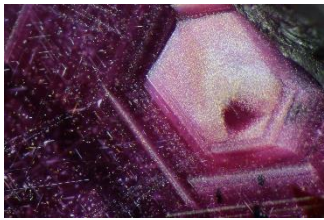
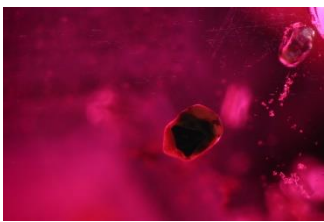
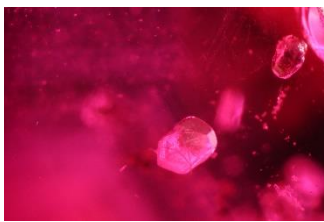
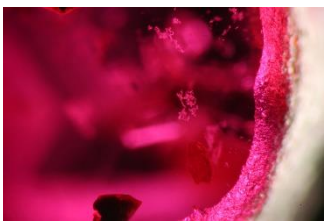
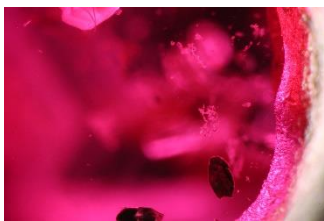
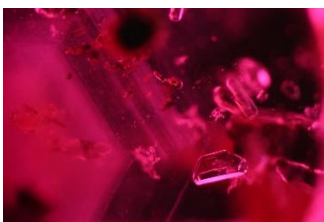
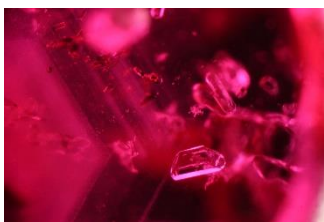
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT012 1-025			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-025		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-025		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

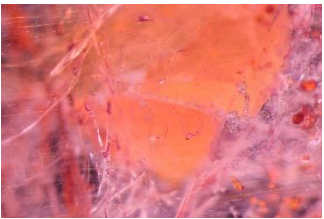
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT012 1-027			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-027		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-027		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

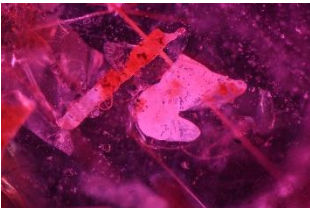
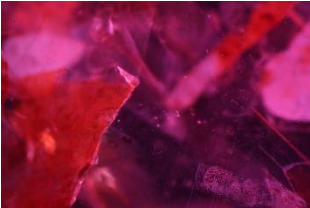
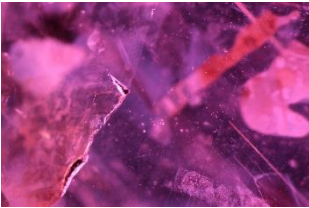
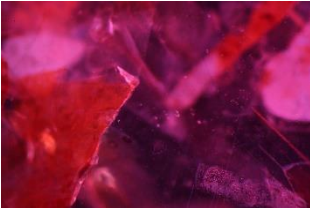
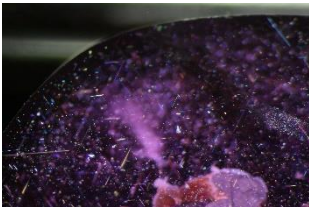
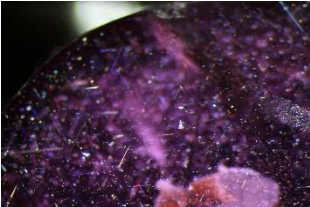
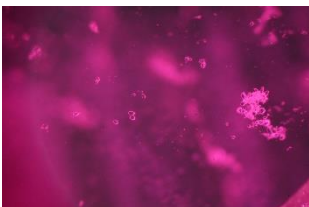
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT012 1-027			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-027		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT012 1-027		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

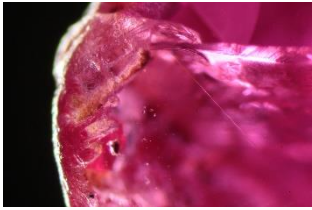
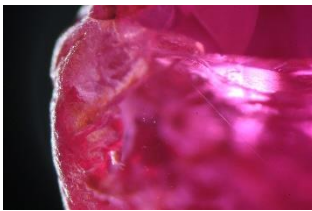
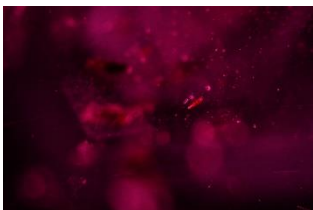
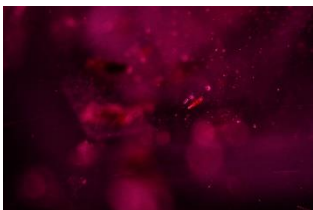
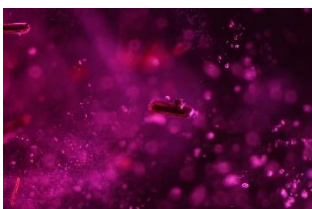
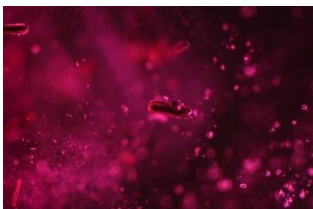
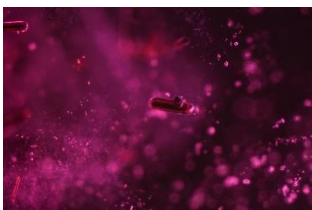
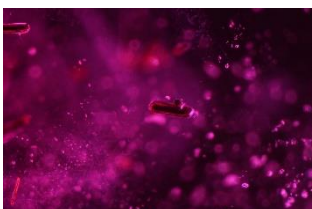
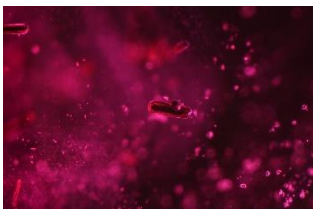
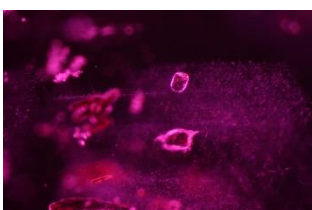
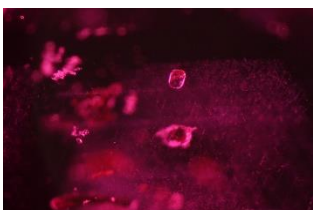
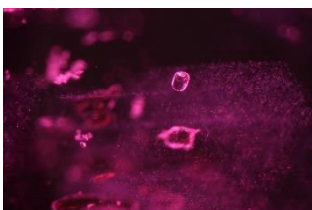
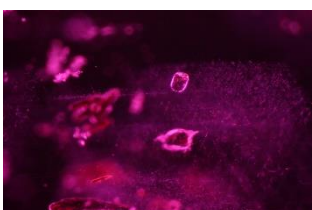
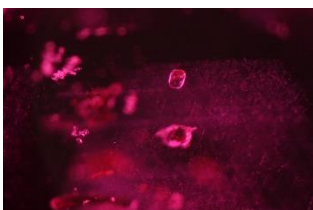
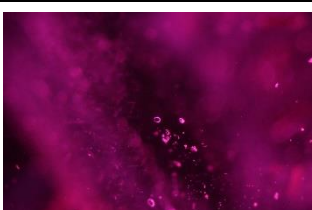
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	500° C 48 ชั่วโมง
MGVAT0121-001		
MGVAT0121-001		
MGVAT0121-001		
MGVAT0121-001		
MGVAT0121-001		
MGVAT0121-001		
MGVAT0121-001		

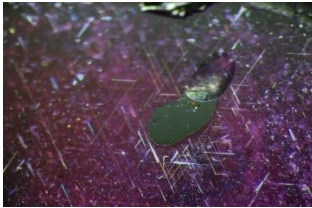
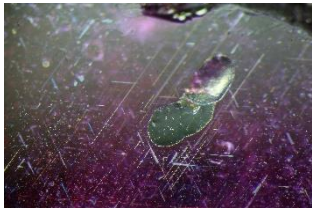
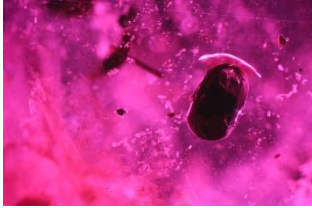
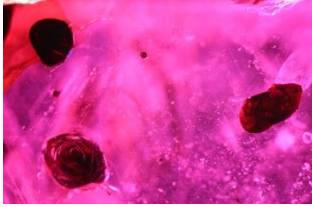
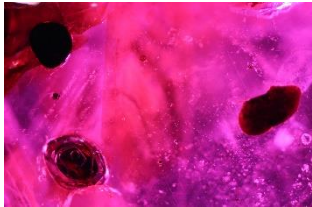
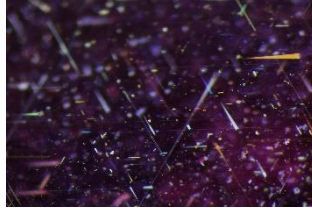
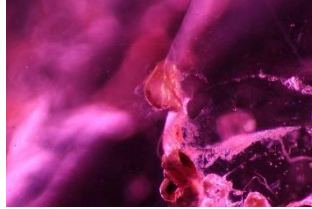
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	500° C 48 ชั่วโมง
MGVAT0121-001		
MGVAT0121-006		
MGVAT0121-006		
MGVAT0121-008		
MGVAT0121-008		
MGVAT0121-008		
MGVAT0121-008		

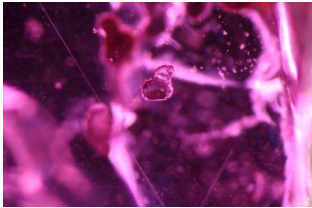
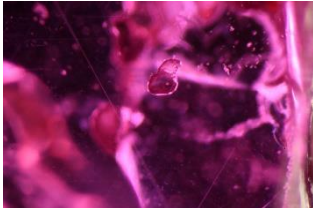
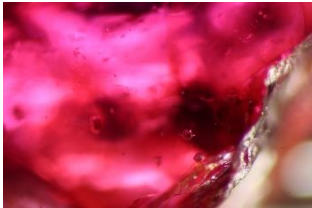
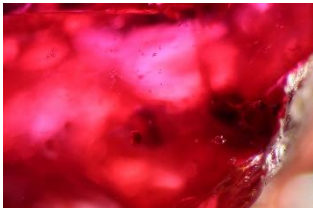
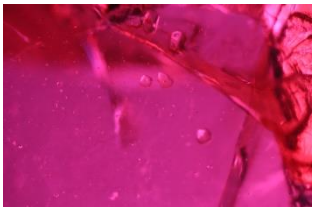
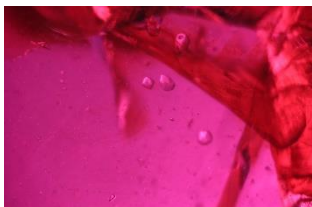
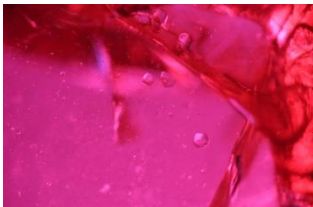
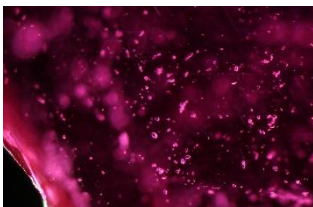
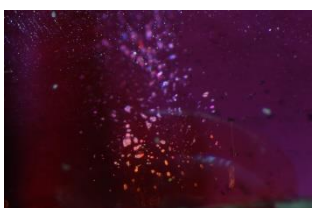
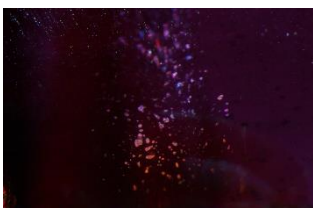
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	500° C 48 ชั่วโมง
MGVAT0121-008		
MGVAT0121-023		
MGVAT0121-023		
MGVAT0121-023		
MGVAT0121-023		
MGVAT0121-023		
MGVAT0121-028		

รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	500° C 48 ชั่วโมง
MGVAT0121-028		

รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		700° C 3 ชั่วโมง	700° C 10 ชั่วโมง
MGVAT012 1-002			
			
MGVAT012 1-002			
			
MGVAT012 1-014			
			

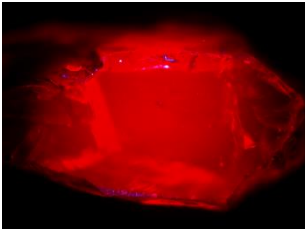
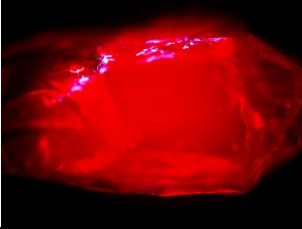
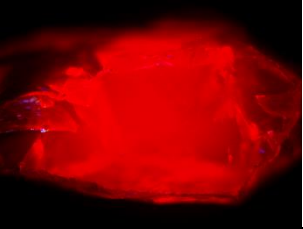
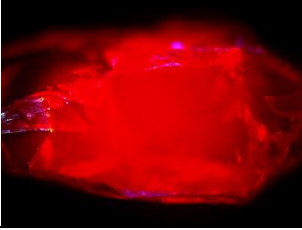
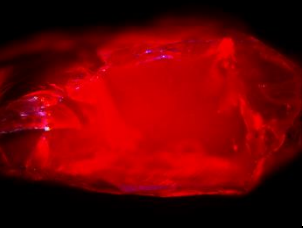
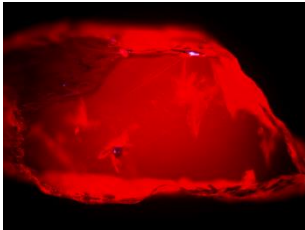
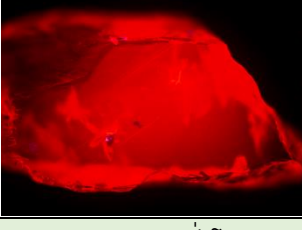
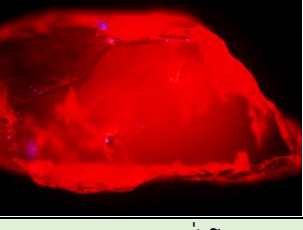
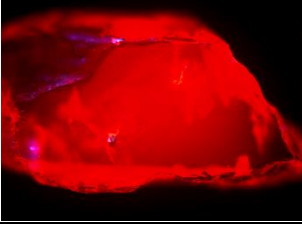
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		700° C 3 ชั่วโมง	700° C 10 ชั่วโมง
MGVAT012 1-014			
			
MGVAT012 1-014			
			
MGVAT012 1-015			
			
MGVAT012 1-015			
			
MGVAT012 1-015			
			

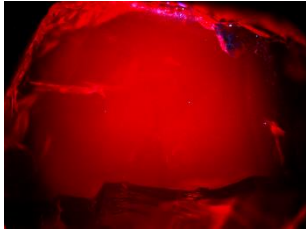
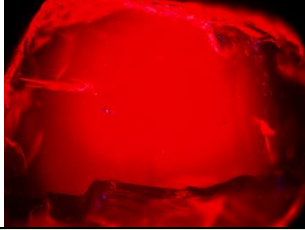
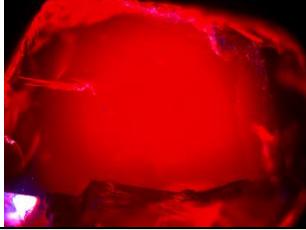
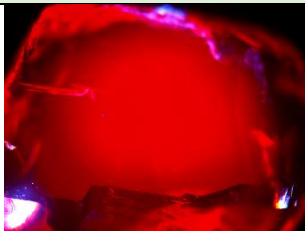
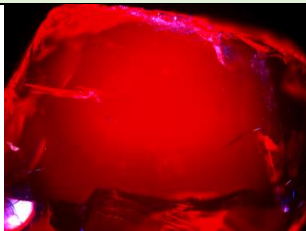
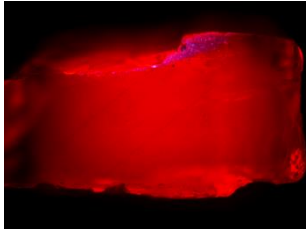
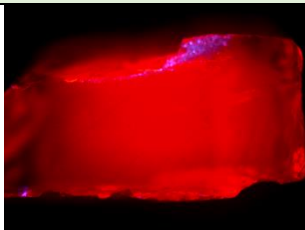
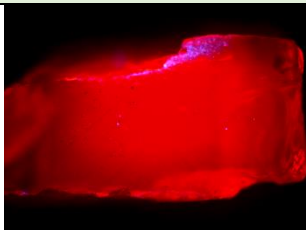
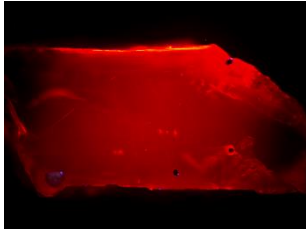
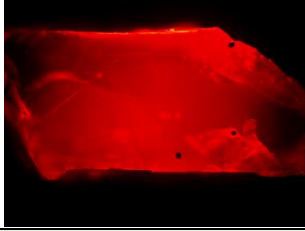
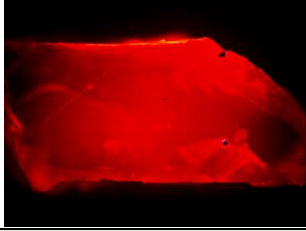
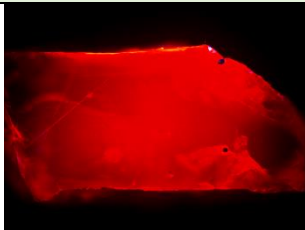
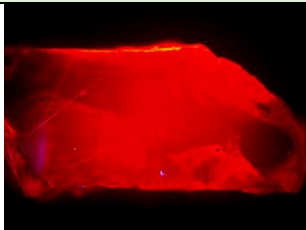
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		700° C 3 ชั่วโมง	700° C 10 ชั่วโมง
MGVAT012 1-016			
MGVAT012 1-016			
MGVAT012 1-016			
MGVAT012 1-021			
MGVAT012 1-021			
MGVAT012 1-021			

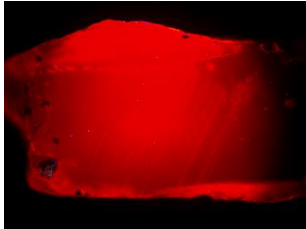
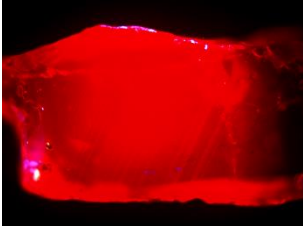
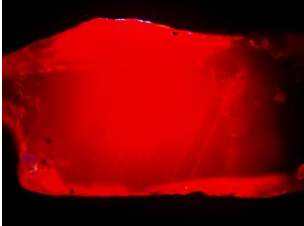
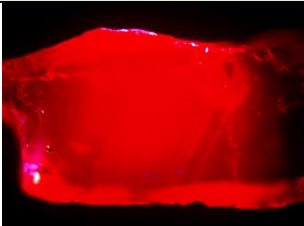
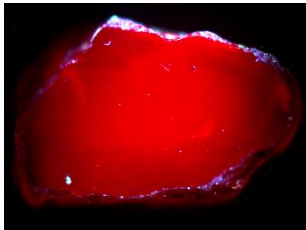
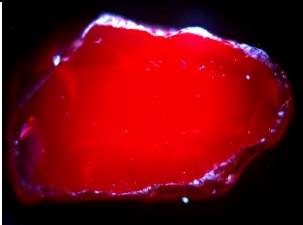
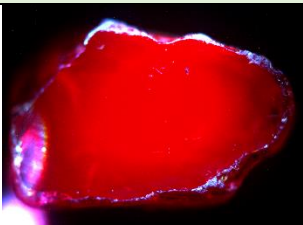
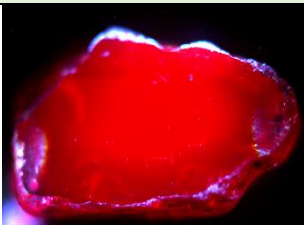
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		700° C 3 ชั่วโมง	700° C 10 ชั่วโมง
MGVAT012 1-021			
MGVAT012 1-034			
MGVAT012 1-034			
MGVAT012 1-034			
MGVAT012 1-034			

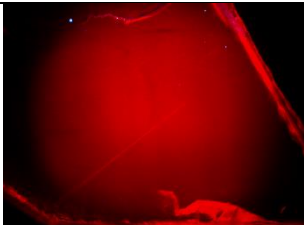
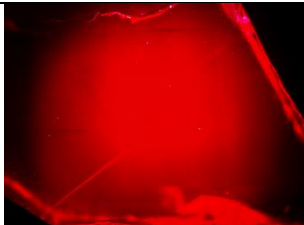
ภาคผนวก ฉ. ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DiamondView™

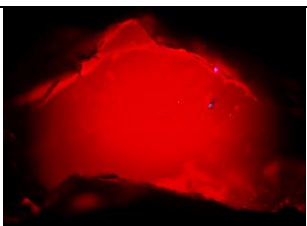
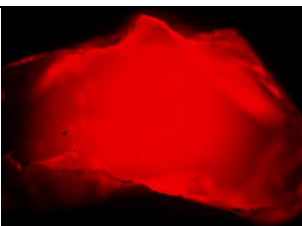
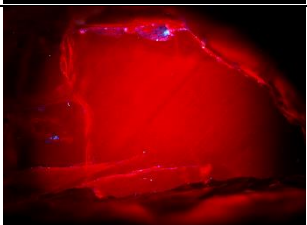
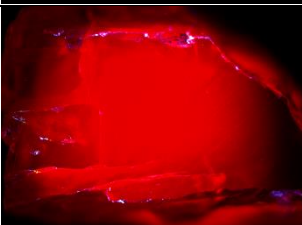
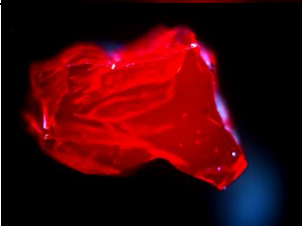
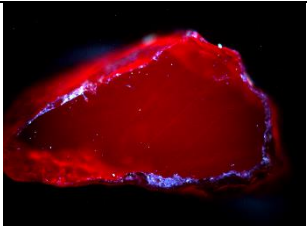
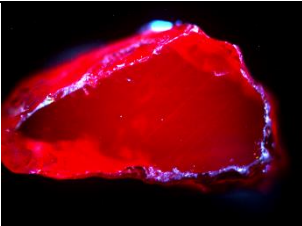
ฉ-1 ผลการวิเคราะห์ทับทิมแหล่งโมซัมบิก

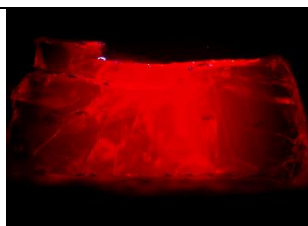
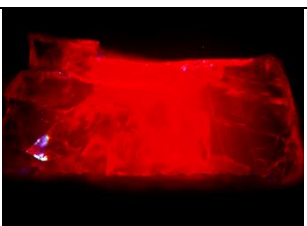
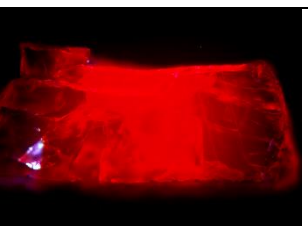
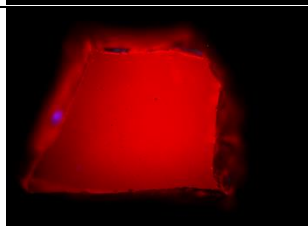
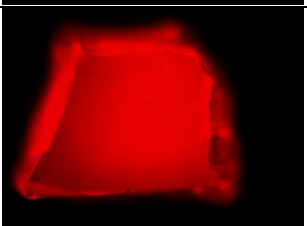
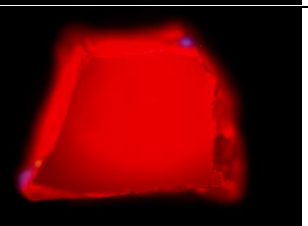
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MZUNK0121-004			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK0121-008		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

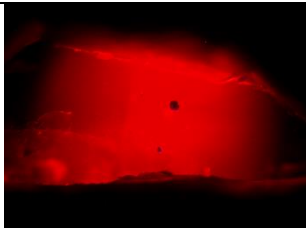
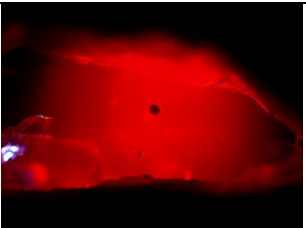
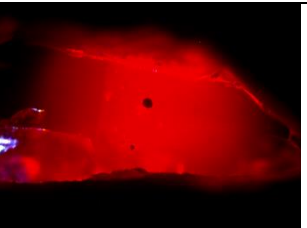
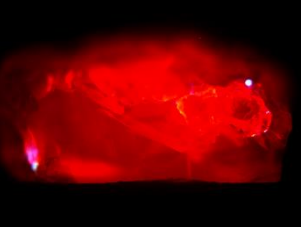
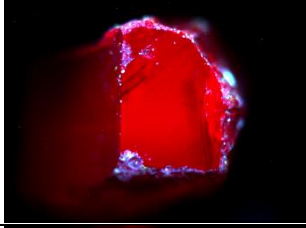
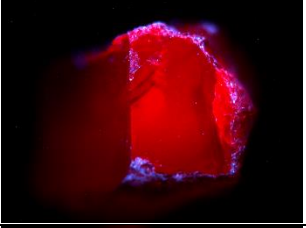
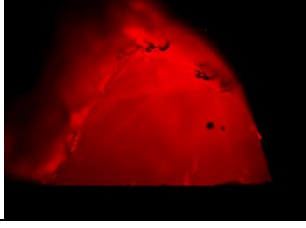
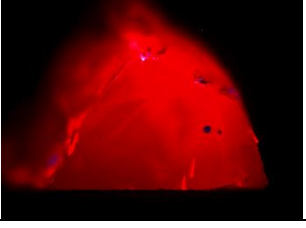
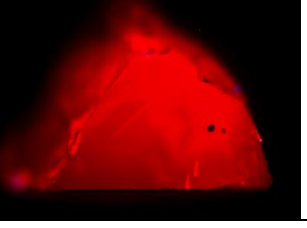
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MZUNK0121-009			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK0121-014		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK0121-015		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			

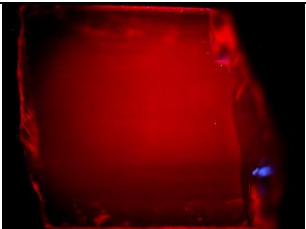
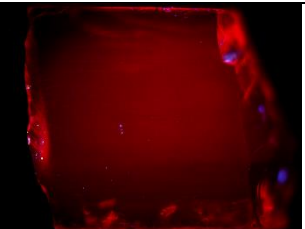
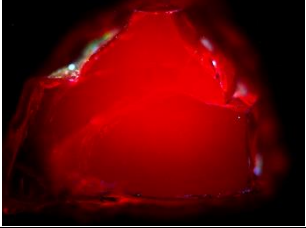
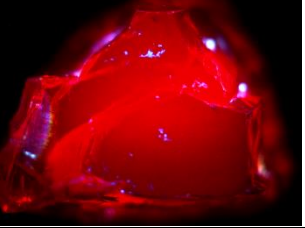
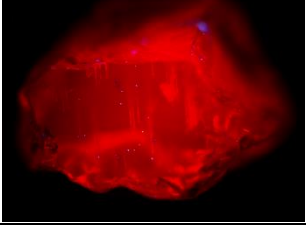
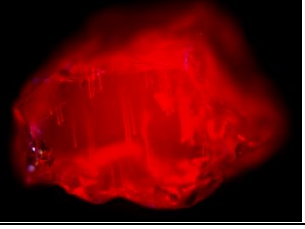
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
MZUNK0121-017		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK0121-035		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

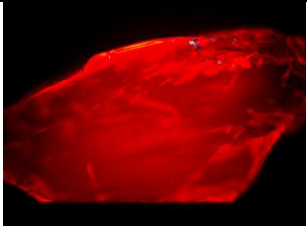
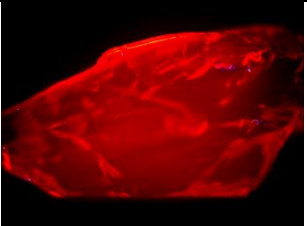
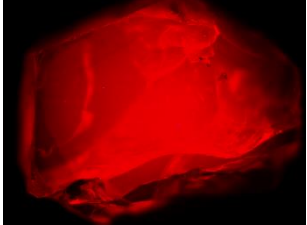
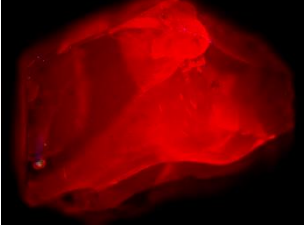
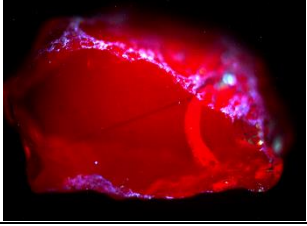
NAME	Untreated	500° C 48 h
MZUNK0121-002		

NAME	Untreated	500° C 48 h
MZUNK0121-013		
MZUNK0121-018		
MZUNK0121-025		
MZUNK0121-031		

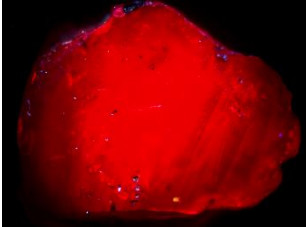
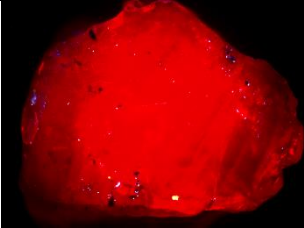
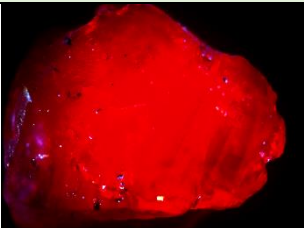
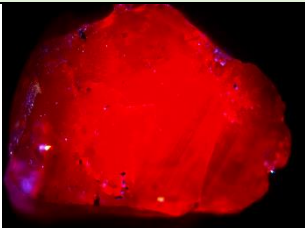
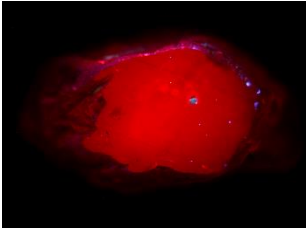
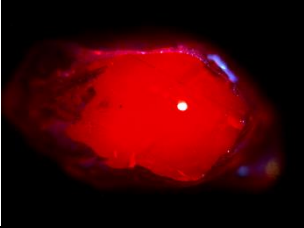
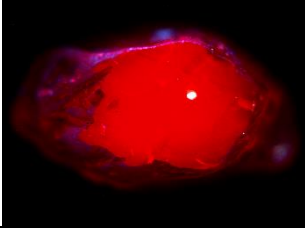
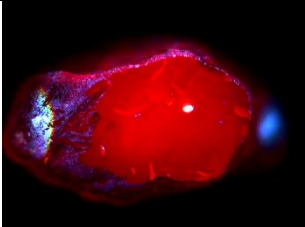
NAME	Untreated	700° C 3h	700° C 3h
MZUNK0121-019			
MZUNK0121-021			

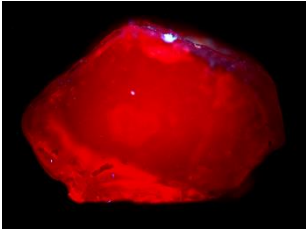
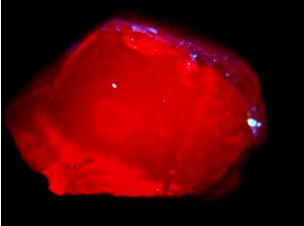
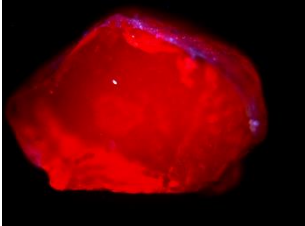
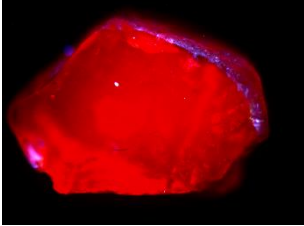
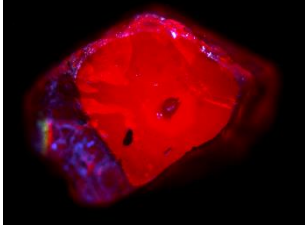
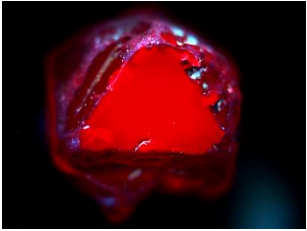
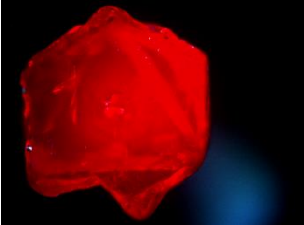
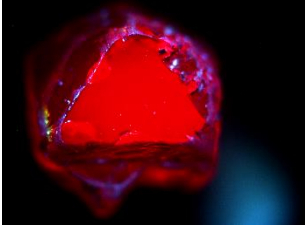
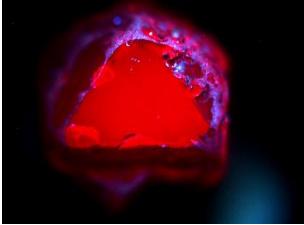
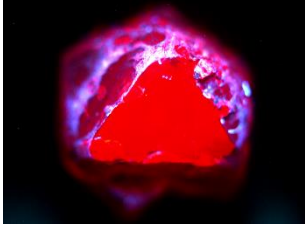
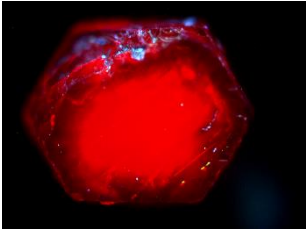
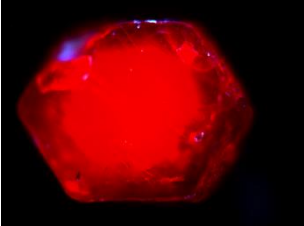
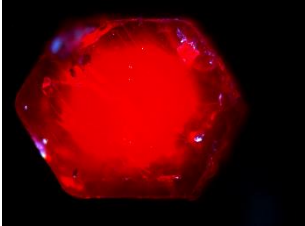
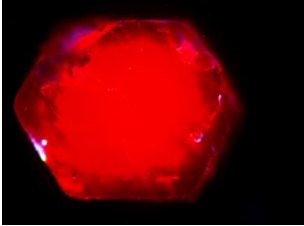
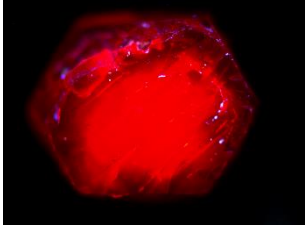
NAME	Untreated	700° C 3h	700° C 3h
MZUNK0121-023			
MZUNK0121-030			
MZUNK0121-033			
MZUNK0121-034			

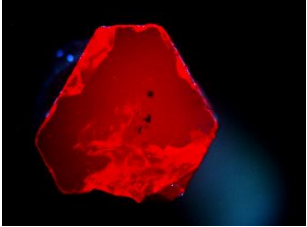
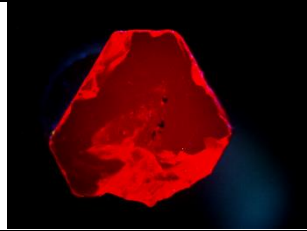
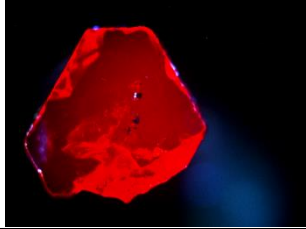
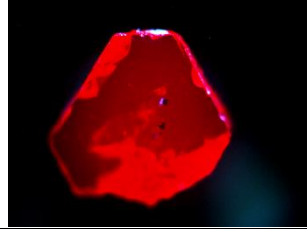
NAME	Untreated	900° C 10h
MZUNK0121-001		
MZUNK0121-012		
MZUNK0121-024		

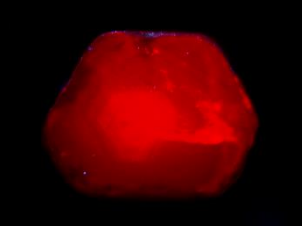
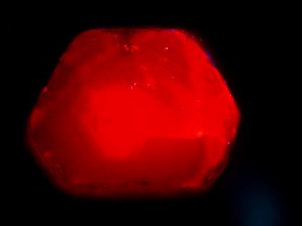
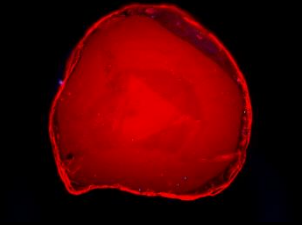
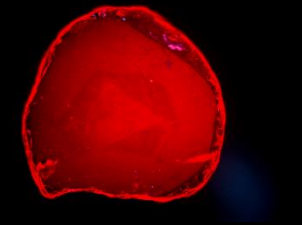
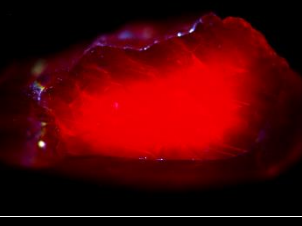
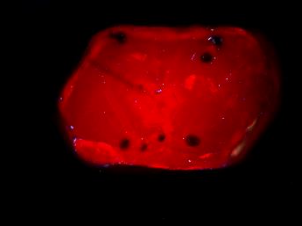
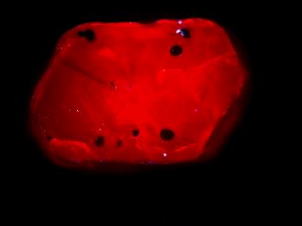
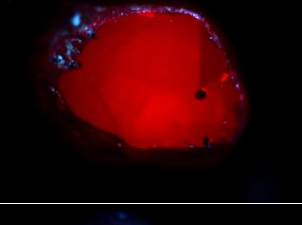
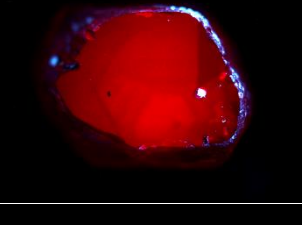
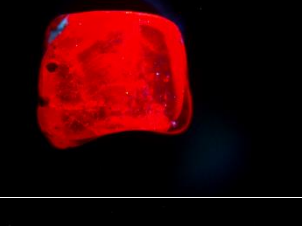
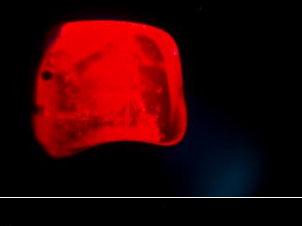
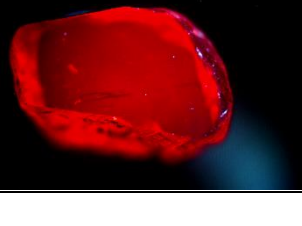
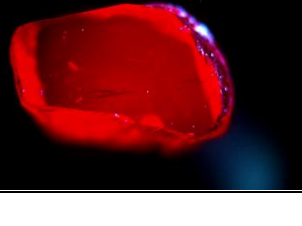
NAME	Untreated	900° C 10h
MZUNK0121-026		
MZUNK0121-028		
MZUNK0121-032		

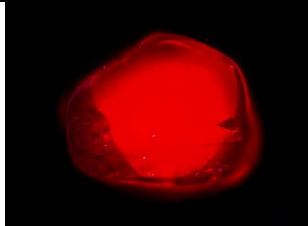
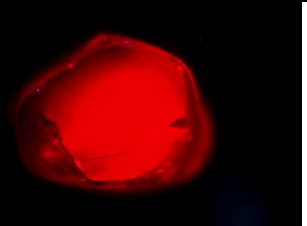
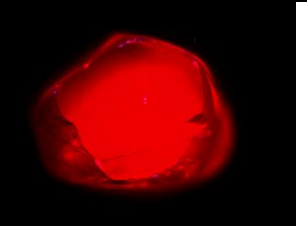
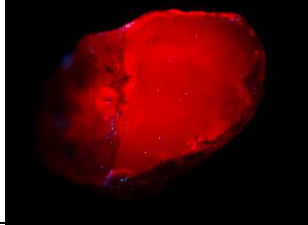
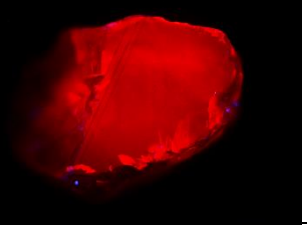
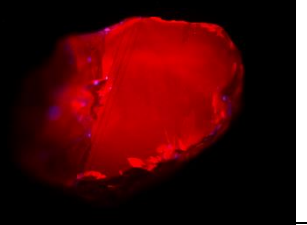
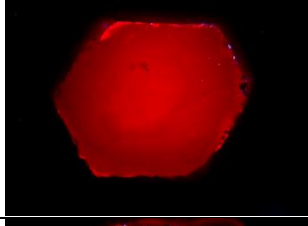
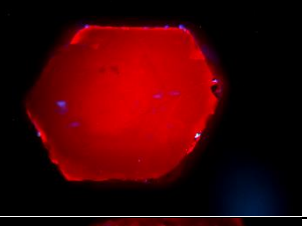
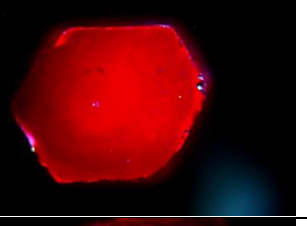
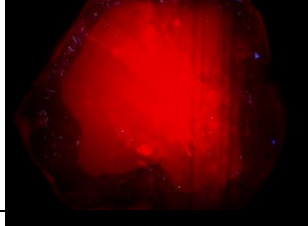
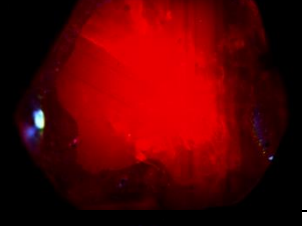
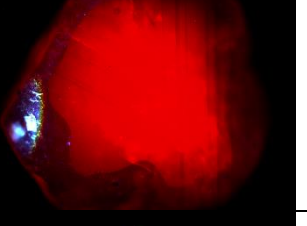
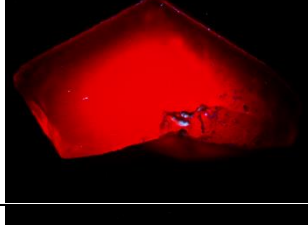
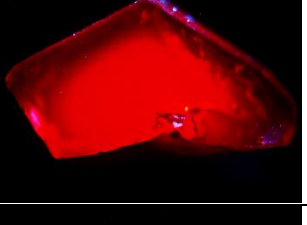
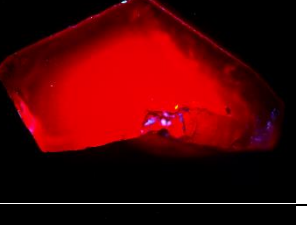
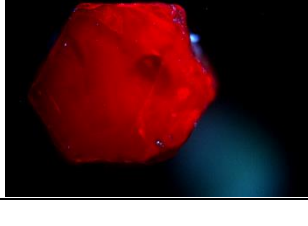
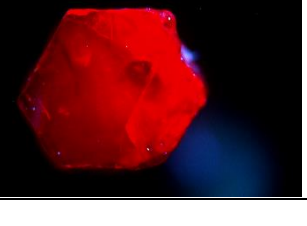
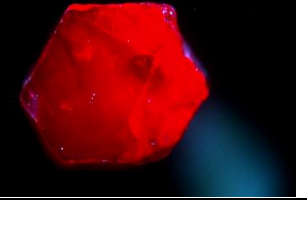
ฉ-2 ผลการวิเคราะห์หัตถ์พิมพ์แหล่งมาดากัสการ์

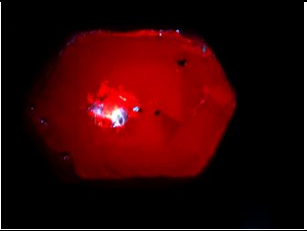
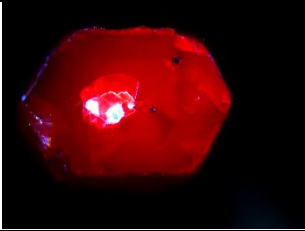
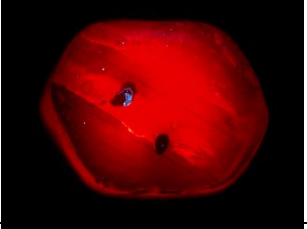
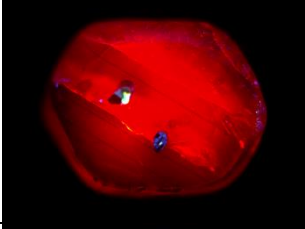
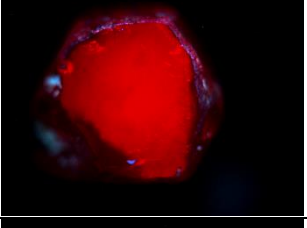
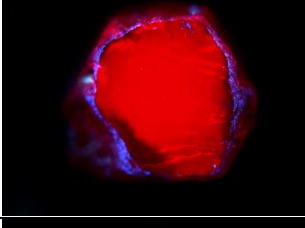
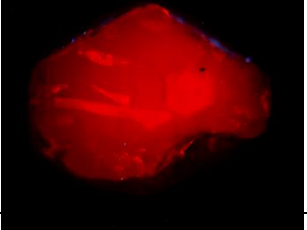
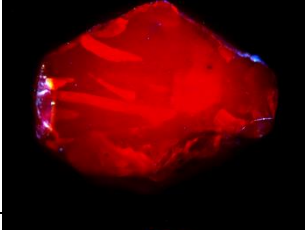
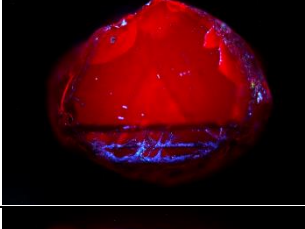
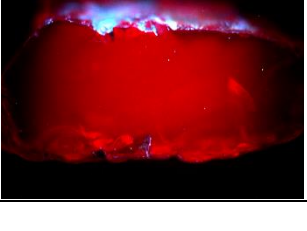
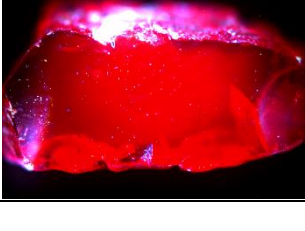
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT0121-007			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT0121-010		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT0121-013			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT0121-020		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT0121-025		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง

รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
MGVAT0121-027			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

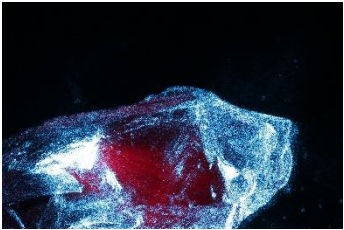
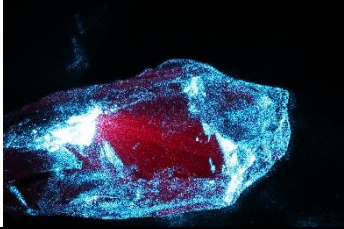
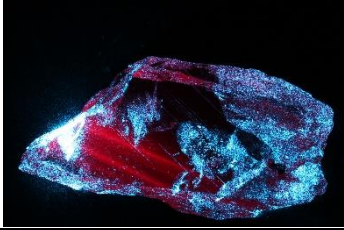
NAME	Untreated	500° C 48 h
MGVAT0121-001		
MGVAT0121-004		
MGVAT0121-006		
MGVAT0121-008		
MGVAT0121-023		
MGVAT0121-028		
MGVAT0121-036		

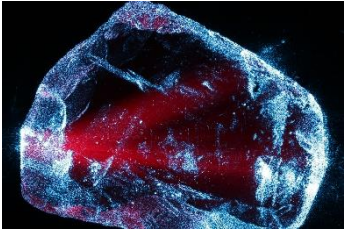
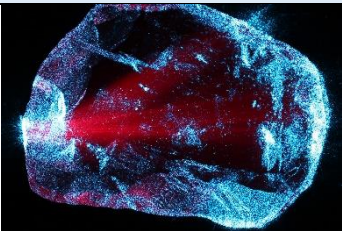
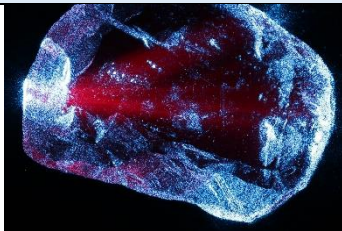
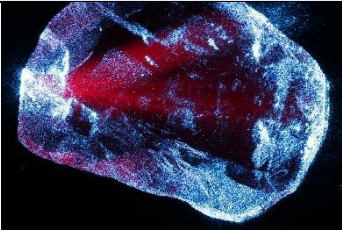
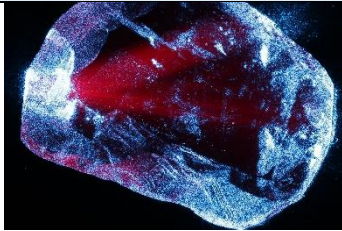
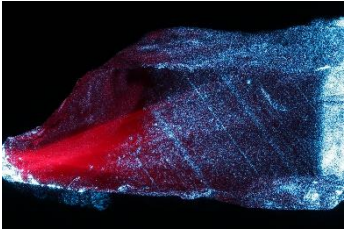
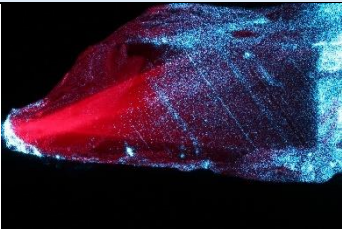
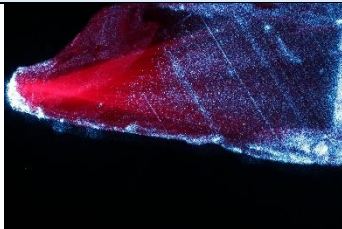
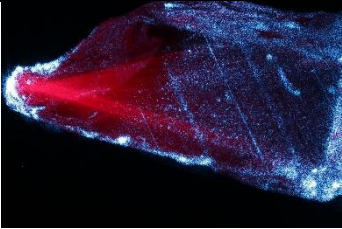
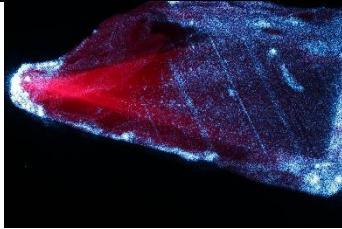
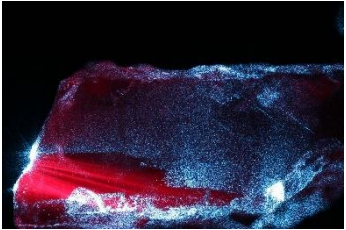
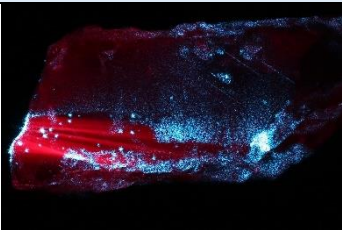
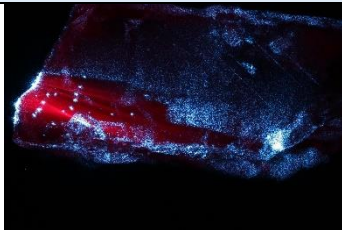
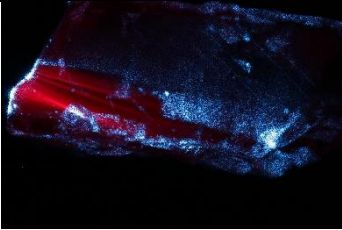
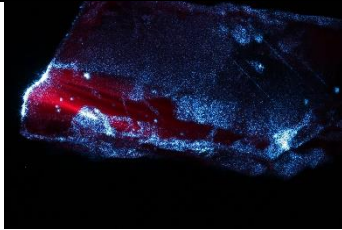
NAME	Untreated	700° C 3h	700° C 3h
MGVAT0121-002			
MGVAT0121-014			
MGVAT0121-015			
MGVAT0121-016			
MGVAT0121-021			
MGVAT0121-034			

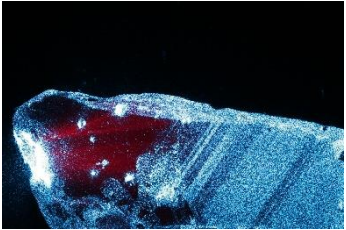
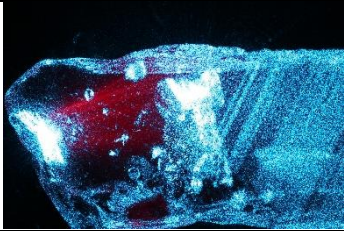
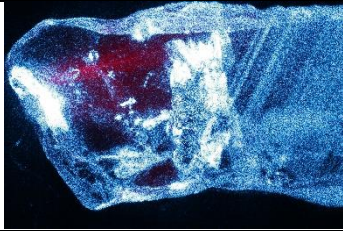
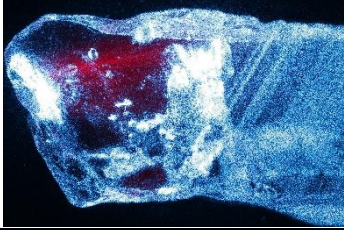
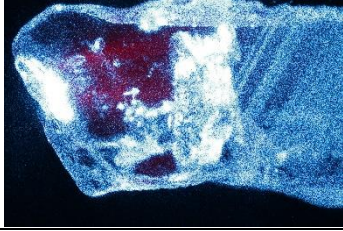
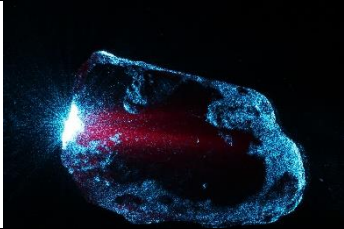
NAME	Untreated	900° C 10h
MGVAT0121-011	 A red, irregularly shaped sample with a bright, localized white/yellow fluorescence spot in the center.	 The sample shows a more widespread and intense white/yellow fluorescence compared to the untreated state.
MGVAT0121-018	 A red, irregularly shaped sample with a few small, dark spots and a faint white/yellow fluorescence.	 The sample shows a more intense and widespread white/yellow fluorescence.
MGVAT0121-024	 A red, irregularly shaped sample with a bright white/yellow fluorescence spot in the center.	 The sample shows a more intense and widespread white/yellow fluorescence.
MGVAT0121-031	 A red, irregularly shaped sample with a bright white/yellow fluorescence spot in the center.	 The sample shows a more intense and widespread white/yellow fluorescence.
MGVAT0121-032	 A red, irregularly shaped sample with a bright white/yellow fluorescence spot in the center.	 The sample shows a more intense and widespread white/yellow fluorescence.
MGVAT0121-035	 A red, irregularly shaped sample with a bright white/yellow fluorescence spot in the center.	 The sample shows a more intense and widespread white/yellow fluorescence.

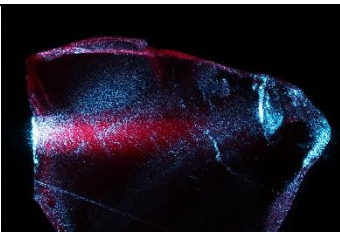
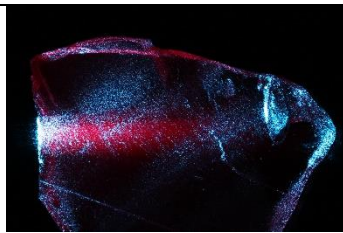
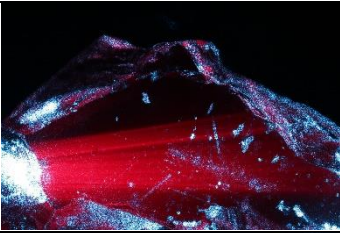
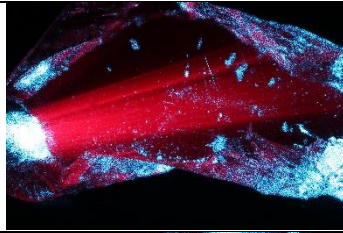
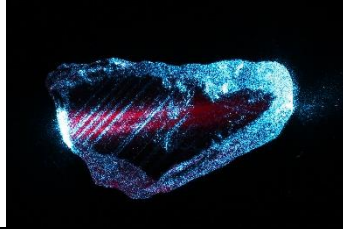
ภาคผนวก ข. ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Laser tomography

ข-1 ผลการวิเคราะห์ทับทิมแหล่งโมซัมบิก

รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
MZUNK0121-004		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK0121-008		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

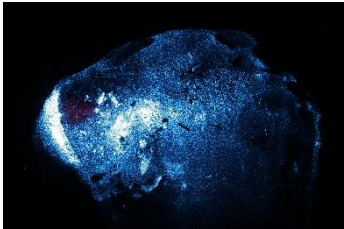
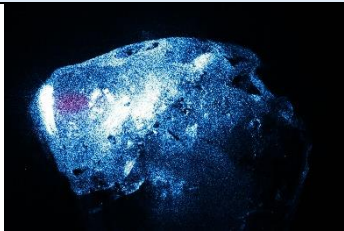
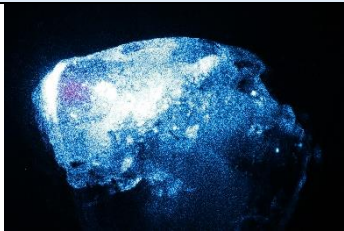
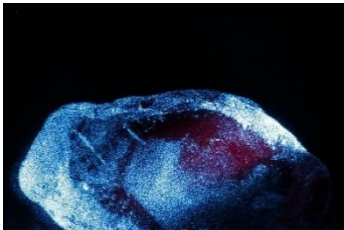
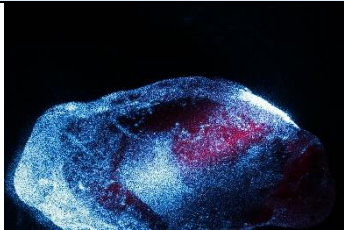
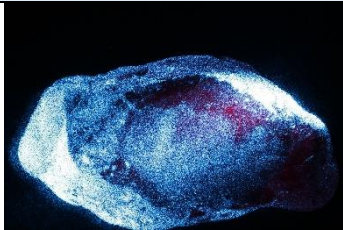
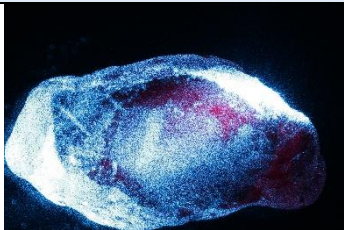
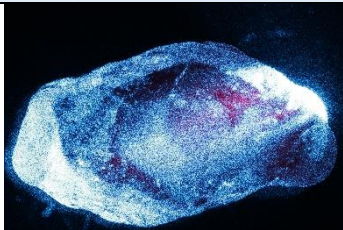
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MZUNK0121-009			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK0121-014		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK0121-015		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง

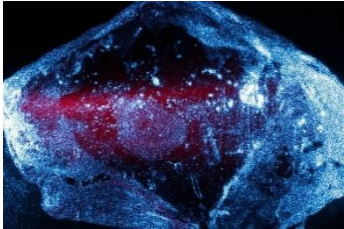
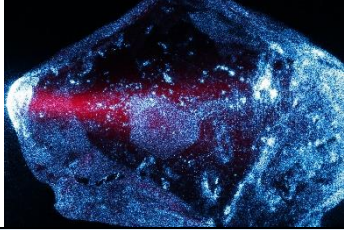
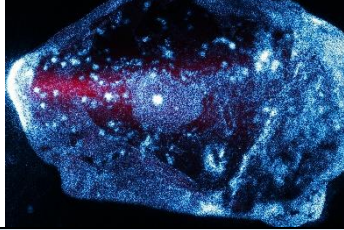
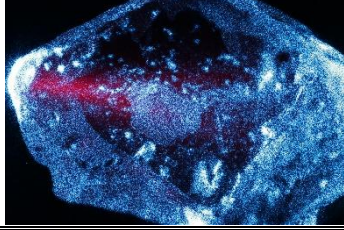
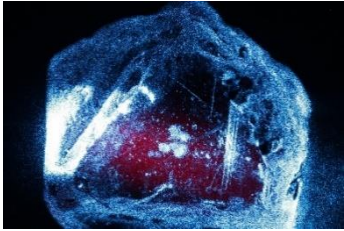
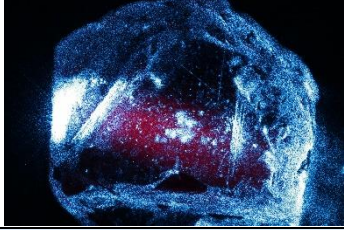
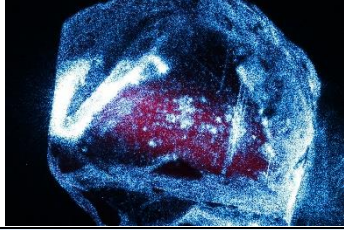
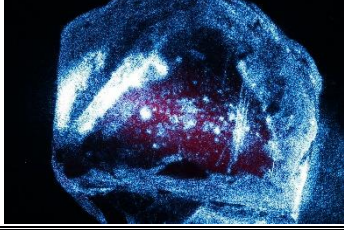
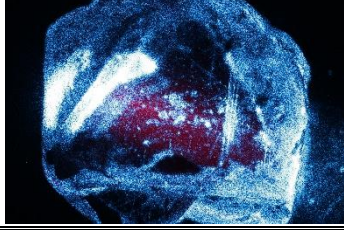
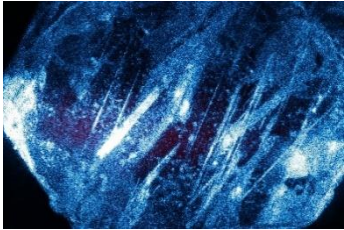
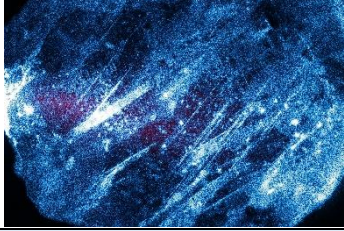
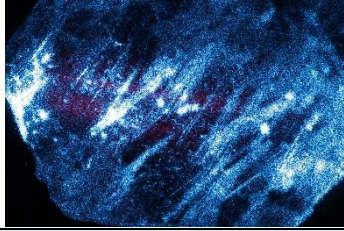
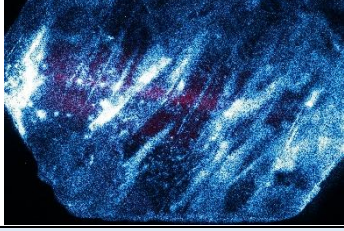
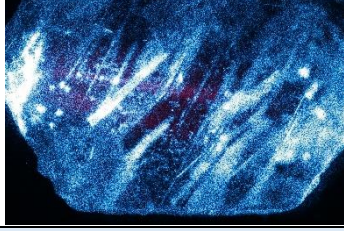
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
MZUNK0121-017			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MZUNK0121-035		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

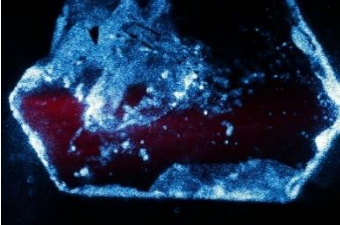
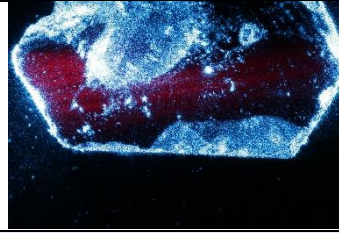
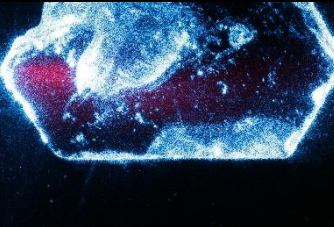
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุงที่ 500° C 48 ชั่วโมง	
MZUNK0121-002				
MZUNK0121-013				
MZUNK0121-018				
MZUNK0121-031				

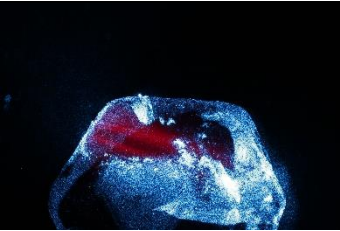
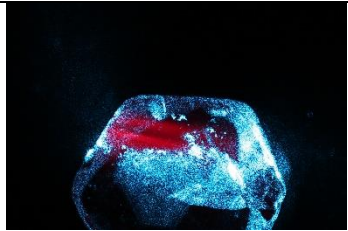
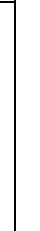
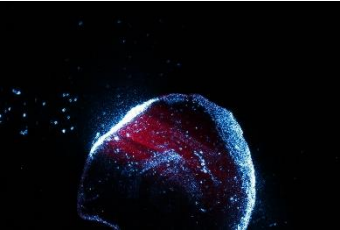
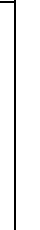
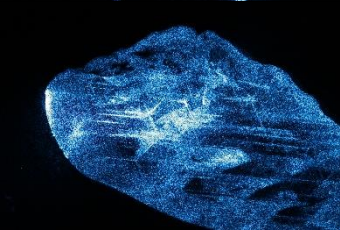
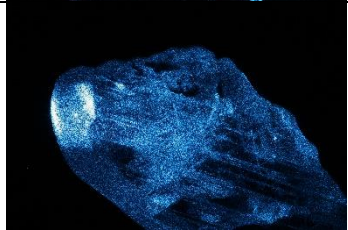
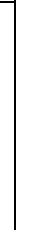
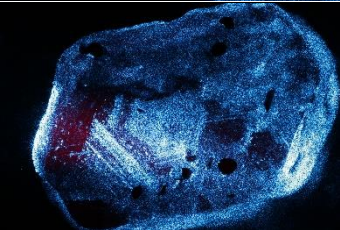
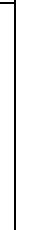
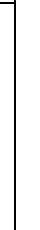
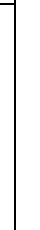
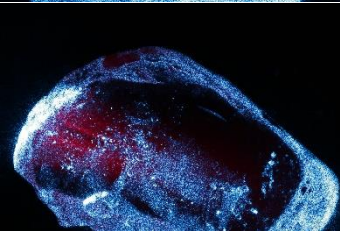
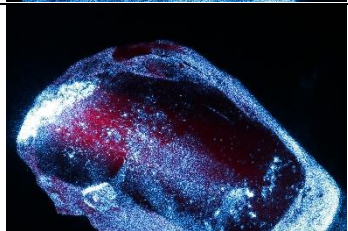
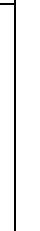
รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุงที่ 700° C 3 ชั่วโมง	
MZUNK0121-019				
MZUNK0121-021				
MZUNK0121-023				
MZUNK0121-030				
MZUNK0121-034				

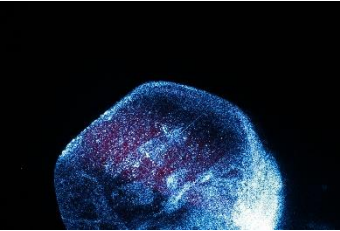
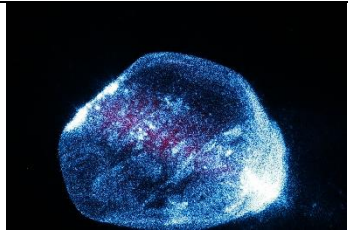
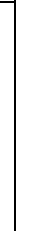
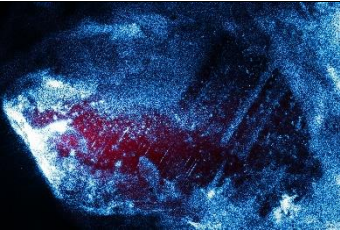
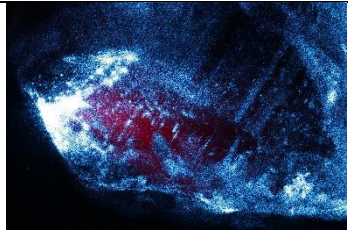
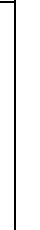
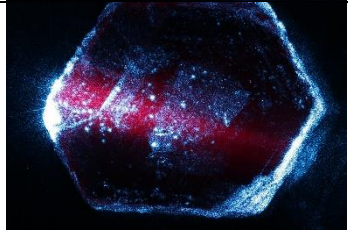
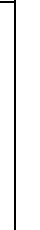
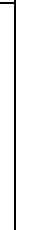
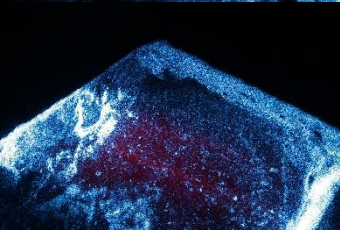
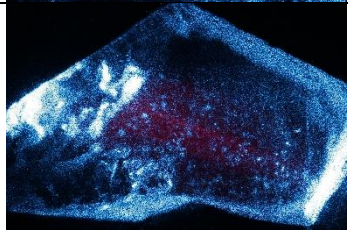
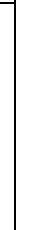
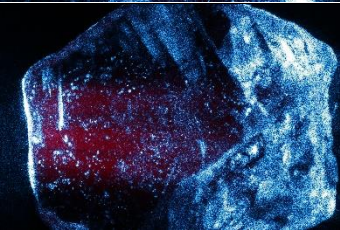
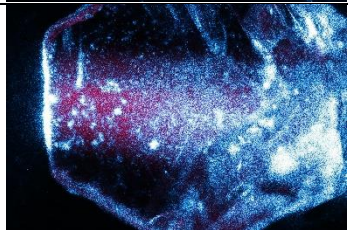
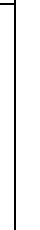
ช-2 ผลการวิเคราะห์หัตถ์พิมพ์แหล่งมาดากัสการ์

รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT0121-007			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT0121-010		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
MGVAT0121-013			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT0121-020		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
MGVAT0121-025		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง
			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			
		500° C 48 ชั่วโมง	700° C 3 ชั่วโมง

รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	
MGVAT0121-027			
		700° C 10 ชั่วโมง	900° C 10 ชั่วโมง
			

รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุงที่ 500° C 48 ชั่วโมง	
MGVAT0121-001				
MGVAT0121-004				
MGVAT0121-006				
MGVAT0121-008				
MGVAT0121-023				
MGVAT0121-028				
MGVAT0121-036				

รหัสตัวอย่าง	ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุงที่ 700° C 3 ชั่วโมง	
MGVAT0121-002				
MGVAT0121-014				
MGVAT0121-015				
MGVAT0121-016				
MGVAT0121-021				
MGVAT0121-034				

ภาคผนวก ข. ค่า Detection limits ของตัวอย่างทับทิม โดยเครื่อง LA-ICP-MS

ตารางที่ ข-1 ค่า Detection limits ผลทางเคมีตัวอย่างทับทิมโมซัมบิก โดยเครื่อง LA-ICP-MS

Samples	Detection limits						
	Be	Mg	Ti	V	Cr	Fe	Ga
STD610	8.57	22.32	4.54	0.296	3.05	9.90	0.255
STD612	7.35	19.43	3.80	0.255	2.52	8.89	0.239
BBM	6.60	28.34	5.88	0.355	3.78	12.91	0.335
BNV	7.11	27.18	5.71	0.325	3.62	12.47	0.347
MZ01	32.58	88.01	18.47	1.18	13.25	42.42	1.25
MZ02	30.15	75.76	16.58	0.938	11.04	35.91	1.03
MZ04	49.35	111.14	20.94	1.14	13.28	62.83	1.01
MZ06	30.93	86.23	17.98	1.04	12.00	38.51	1.12
MZ07	25.27	61.28	14.32	0.784	8.95	29.42	0.893
MZ08	30.68	72.16	17.56	1.000	11.37	35.4	1.12
MZ09	29.68	78.09	17.74	0.978	11.75	39.06	1.24
MZ12	23.76	58.08	13.26	0.841	9.67	29.06	0.952
MZ13	19.33	43.93	11.24	0.667	9.76	23.01	0.888
MZ14	30.61	66.05	18.51	0.93	11.33	34.53	1.11
MZ15	22.12	46.09	12.51	0.752	16.13	25.13	0.973
MZ16	23.53	49.92	13.40	0.747	9.65	27.25	0.992
MZ17	22.57	48.8	12.47	0.782	9.15	27.37	0.952
MZ18	23.94	50.04	14.32	0.862	9.87	29.31	1.04
MZ19	18.19	39.12	11.70	0.67	7.36	22.94	0.83
MZ20	21.48	46.3	14.24	0.849	10.19	28.89	1.04
MZ21	68.61	179.25	28.69	1.26	16.22	66.28	1.48
MZ23	67.24	175.11	27.94	1.4	14.48	63.12	1.30
MZ24	66.53	157.91	29.83	1.06	13.91	60.16	1.30
MZ25	27.26	46.37	15.00	0.741	9.13	55.12	1.05
MZ26	20.78	33.86	9.94	0.495	6.88	36.49	0.728
MZ27	29.34	49.00	15.84	0.676	9.13	51.03	1.04
MZ31	29.17	47.53	15.10	0.762	9.37	50.67	1.00
MZ32	24.47	41.91	12.33	0.635	6.76	39.47	0.787
MZ33	30.86	74.28	15.28	0.730	8.18	42.48	0.752
MZ34	34.71	81.72	16.40	0.868	10.27	46.22	0.816
MZ35	42.34	99.21	19.31	0.963	12.30	59.02	1.06
MZ36	27.37	46.88	13.43	0.650	8.79	45.79	0.938

ตารางที่ ข-2 ค่า Detection limits ผลทางเคมีตัวอย่างทับทิมมาดากัสการ์ โดยเครื่อง LA-ICP-MS

Samples	Detection limits						
	Be	Mg	Ti	V	Cr	Fe	Ga
STD610	10.28	25.80	4.70	0.292	3.06	11.85	0.266
STD 612	8.63	21.92	4.16	0.236	2.47	10.06	0.214
BBM	13.13	30.17	6.37	0.313	3.18	15.72	0.303
BNV	13.02	29.71	6.25	0.298	3.30	15.78	0.291
MG01	53.23	115.19	20.46	1.01	11.88	55.56	1.21
MG02	40.48	103.7	19.27	1.04	11.73	46.84	1.03
MG04	49.59	110.99	21.19	0.879	12.12	50.98	1.15
MG05	23.64	45.83	11.74	0.629	7.50	39.54	0.891
MG06	52.3	118.21	20.67	0.966	13.02	54.42	1.09
MG07	38.53	96.18	19.27	1.14	11.92	50.11	1.14
MG08	55.77	126.93	24.21	1.20	13.50	57.63	1.32
MG10	39.12	98.14	17.67	0.864	9.18	45.65	0.877
MG11	23.19	47.78	11.93	0.592	7.75	36.79	0.830
MG13	39.87	94.59	18.76	0.781	8.87	44.25	1.02
MG14	42.8	106.07	19.87	0.785	10.11	48.30	1.03
MG15	63.97	147.83	26.64	1.28	15.97	66.87	1.46
MG16	47.79	104.56	19.45	0.941	11.97	47.70	1.06
MG18	22.12	55.35	10.55	0.554	6.49	35.67	0.764
MG20	46.33	117.0	20.86	1.000	11.89	53.31	1.13
MG21	52.8	121.8	21.05	1.09	13.06	56.90	1.08
MG23	49.17	106.47	19.65	0.911	12.48	49.33	1.19
MG24	24.69	55.35	12.06	0.631	7.02	38.08	0.828
MG25	50.61	122.33	22.31	1.26	14.58	55.53	1.30
MG27	44.05	111.44	19.67	0.962	11.48	50.87	1.20
MG28	48.53	110.74	20.27	1.01	12.89	50.88	1.32
MG29	29.00	56.39	14.76	0.704	8.97	39.65	1.02
MG30	26.06	56.69	12.28	0.574	7.30	38.82	0.821
MG31	29.12	56.58	13.79	0.721	8.40	41.62	0.821
MG32	25.92	50.60	11.70	0.510	6.56	34.66	0.849
MG33	27.71	51.55	13.72	0.665	8.13	40.43	1.00
MG34	36.1	82.55	14.72	0.891	12.28	39.83	1.21
MG35	29.91	58.93	14.05	0.719	7.64	40.00	0.926

Samples	Detection limits						
	Be	Mg	Ti	V	Cr	Fe	Ga
MG36	37.38	82.09	16.04	0.886	10.15	40.05	1.01

ภาคผนวก ณ. เปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ แสดงดังในตารางที่ ซ-1

ตารางที่ ณ-1 ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

	วัตถุประสงค์โครงการ	กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
1.	ศึกษาและพัฒนาเทคนิคเฉพาะ สำหรับใช้ในการตรวจสอบ รวมถึงตัวบ่งชี้ของอัญมณีคอรันดัมที่ผ่านการปรับปรุง คุณภาพด้วยความร้อนที่ อุณหภูมิต่ำ	-จัดหาตัวอย่างคอรันดัมจากแหล่ง แอฟริกาตะวันออกอย่างน้อย 2 แหล่ง	-ดำเนินการหาตัวอย่างจากแหล่ง โมซัมบิกและมาดากัสการ์มาใช้ใน งานวิจัยนี้	- ได้ตัวอย่างแหล่งโมซัมบิกและ มาดากัสการ์มาใช้งานวิจัย เพื่อศึกษาคุณสมบัติก่อนและ หลังปรับปรุงคุณภาพ
		-จัดหาเตาเผาชนิดไฟฟ้าเพื่อปรับปรุง คุณภาพพลอยในสภาวะบรรยากาศ โดยไม่เติมสารเคมีใดๆ	-ดำเนินการใช้เตาไฟฟ้าทดลอง ปรับปรุงคุณภาพที่อุณหภูมิต่างๆตาม แผนงานที่นำเสนอ	-สามารถปรับปรุงคุณภาพพลอย และนำไปศึกษาคุณสมบัติก่อน และหลังปรับปรุงคุณภาพได้
		-ศึกษาลักษณะเฉพาะทางสเปกโตรสโกปี ด้วยเครื่องมือขั้นสูง	-ดำเนินการศึกษาลักษณะเฉพาะทางสเปกโตรสโกปีด้วยเครื่องมือขั้นสูง เช่น FTIR spectrometer, Raman spectrometer, Photoluminescence spectrometer, UV-Vis-NIR Spectrophotometer, Laser tomography และ DiamondView™	-ได้ฐานข้อมูลทางสเปกโตรสโกปี ที่นำมาใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบ ก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพ เพื่อใช้ในการตรวจสอบพลอย ต่อไป
2.	สร้างความเข้มแข็งและสร้าง ความน่าเชื่อถือของการออก ใบรับรองของสถาบันในระดับ นานาชาติได้	-เผยแพร่ให้ผู้ประกอบการและ นักวิชาการ	-จัดงานสัมมนาเพื่อเผยแพร่ข้อมูลให้ นักวิชาการและผู้ประกอบการ	-ผู้ประกอบการและนักวิชาการ ให้ความสนใจและเข้าร่วมงาน สัมมนาจำนวนมาก



แบบสอบถามสำรวจความคิดเห็นผู้ประกอบการ

เรื่อง พลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

โครงการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอรันดัมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

คำชี้แจง: โปรดทำเครื่องหมาย ☒ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่ตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล..... นงศักดิ์ จันทนภักดิ์ ตำแหน่ง..... กรรมการผู้จัดการ
บริษัท..... Expert gems Manufacturing LTD. ระยะเวลาในการดำเนินธุรกิจ..... 40 ปี
ประเภทธุรกิจ ☒ ผู้ผลิต ☐ ผู้จำหน่าย ☐ สมาคม ☒ ผู้ส่งออก ☐ อื่นๆ ระบุ.....
ประเภทธุรกิจอัญมณี ☐ เพชร ☒ พลอยเนื้อแข็ง ☒ พลอยเนื้ออ่อน ☒ จิวเวลรี

ส่วนที่ 2 รายละเอียดแบบสอบถาม

1. ท่านและธุรกิจของท่านมีความเห็นอย่างไร เกี่ยวกับพลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
☒ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ เหตุผล.....
2. ท่านมีความเห็นอย่างไร หากห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีมีการตรวจสอบพลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ พร้อมระบุผลการตรวจสอบลงในใบรายงานผล
☒ เห็นด้วย ☐ ไม่เห็นด้วย เหตุผล.....
3. ท่านเข้ารับบริการตรวจสอบอัญมณีกับทาง GIT เป็นจำนวนเท่าไร ในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน (จำนวนอัญมณี)
☒ 1-10 เม็ด ☐ 11-50 เม็ด ☐ 50-100 เม็ด ☐ มากกว่า 100 เม็ด
4. ข้อเสนอแนะ/ความคิดเห็นเพิ่มเติม
.....



แบบสอบถามสำรวจความคิดเห็นผู้ประกอบการ

เรื่อง พลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

โครงการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอร์ันดัมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

คำชี้แจง: โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่ตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล..... นวพร นาค..... ตำแหน่ง..... เลขานุการ.....

บริษัท..... เดอะ แกสเซอร์ ซิลเวอร์ (ประเทศไทย) จำกัด..... ระยะเวลาในการดำเนินธุรกิจ..... 10 ปี

ประเภทธุรกิจ ☐ ผู้ผลิต ☒ ผู้จำหน่าย ☐ สมาคม ☐ ผู้ส่งออก ☐ อื่นๆ ระบุ.....

ประเภทธุรกิจอัญมณี ☐ เพชร ☐ พลอยเนื้อแข็ง ☐ พลอยเนื้ออ่อน ☒ จิวเวลรี

ส่วนที่ 2 รายละเอียดแบบสอบถาม

1. ท่านและธุรกิจของท่านมีความเห็นอย่างไร เกี่ยวกับพลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
☐ ยอมรับ ☒ ไม่ยอมรับ เหตุผล..... พลอยไม่ตรงตามคุณภาพจริงของทาง.....
2. ท่านมีความเห็นอย่างไร หากห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีมีการตรวจสอบพลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ พร้อมระบุผลการตรวจสอบลงในใบรายงานผล
☐ เห็นด้วย ☒ ไม่เห็นด้วย เหตุผล.....
3. ท่านเข้ารับบริการตรวจสอบอัญมณีกับทาง GIT เป็นจำนวนเท่าไร ในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน (จำนวนอัญมณี)
☒ 1-10 เม็ด ☐ 11-50 เม็ด ☐ 50-100 เม็ด ☐ มากกว่า 100 เม็ด
4. ข้อเสนอแนะ/ความคิดเห็นเพิ่มเติม
.....



แบบสอบถามสำรวจความคิดเห็นผู้ประกอบการ

เรื่อง พลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

โครงการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอรันดัมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

คำชี้แจง: โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน □ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่ตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล..... Athichai Charoenthamant ตำแหน่ง..... M.D.

บริษัท..... AN Gold & Jewelry ระยะเวลาในการดำเนินธุรกิจ..... 40 ปี

ประเภทธุรกิจ ☒ ผู้ผลิต ☒ ผู้จำหน่าย ☐ สมาคม ☒ ผู้ส่งออก ☐ อื่นๆ ระบุ.....

ประเภทธุรกิจอัญมณี ☐ เพชร ☐ พลอยเนื้อแข็ง ☐ พลอยเนื้ออ่อน ☒ จิวเวลรี

ส่วนที่ 2 รายละเอียดแบบสอบถาม

1. ท่านและธุรกิจของท่านมีความเห็นอย่างไร เกี่ยวกับพลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

☒ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ เหตุผล..... ได้ผลดีกว่าเดิมลงไม่

2. ท่านมีความเห็นอย่างไร หากห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีมีการตรวจสอบพลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ พร้อมระบุผลการตรวจสอบลงในใบรายงานผล

☒ เห็นด้วย ☐ ไม่เห็นด้วย เหตุผล..... ได้ผลดีกว่าเดิมกับ

3. ท่านเข้ารับบริการตรวจสอบอัญมณีกับทาง GIT เป็นจำนวนเท่าไร ในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน (จำนวนอัญมณี)

☐ 1-10 เม็ด ☐ 11-50 เม็ด ☐ 50-100 เม็ด ☐ มากกว่า 100 เม็ด

4. ข้อเสนอแนะ/ความคิดเห็นเพิ่มเติม

..... กรมปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ กสอทฯ ไม่ควรเพิ่มได้แก่

..... มาตรฐานอัญมณี



แบบสอบถามสำรวจความคิดเห็นผู้ประกอบการ

เรื่อง พลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

โครงการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอรัปชั่นที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

คำชี้แจง: โปรดทำเครื่องหมาย ☒ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่ตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล..... นิต นิยมมงคล ตำแหน่ง..... ผู้จัดการ

บริษัท..... ตราทองไมโครส จำกัด ระยะเวลาในการดำเนินธุรกิจ..... 30 ปี

ประเภทธุรกิจ ☒ ผู้ผลิต ☒ ผู้จำหน่าย ☐ สมาคม ☐ ผู้ส่งออก ☐ อื่นๆ ระบุ.....

ประเภทธุรกิจอัญมณี ☐ เพชร ☒ พลอยเนื้อแข็ง ☐ พลอยเนื้ออ่อน ☐ จิวเวลรี

ส่วนที่ 2 รายละเอียดแบบสอบถาม

1. ท่านและธุรกิจของท่านมีความเห็นอย่างไร เกี่ยวกับพลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

☒ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ เหตุผล.....

2. ท่านมีความเห็นอย่างไร หากห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีมีการตรวจสอบพลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ พร้อมระบุผลการตรวจสอบลงในใบรายงานผล

☒ เห็นด้วย ☐ ไม่เห็นด้วย เหตุผล.....

3. ท่านเข้ารับบริการตรวจสอบอัญมณีกับทาง GIT เป็นจำนวนเท่าไร ในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน (จำนวนอัญมณี)

☒ 1-10 เม็ด ☐ 11-50 เม็ด ☐ 50-100 เม็ด ☐ มากกว่า 100 เม็ด

4. ข้อเสนอแนะ/ความคิดเห็นเพิ่มเติม

ตรา
เป็นประโยชน์ ก่อให้เกิดผลลบมากขึ้น ทำให้มีข้อบกพร่องจากกันได้อีก
ระหว่างพลง เม ท้า กับ พลงเมส



แบบสอบถามสำรวจความคิดเห็นผู้ประกอบการ

เรื่อง พลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

โครงการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอรันต์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

คำชี้แจง: โปรดทำเครื่องหมาย ☒ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่ตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล..... ฉัตรชัย นามวงศ์ ตำแหน่ง..... เจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิต

บริษัท..... บริษัท เจริญรุ่งเรือง จำกัด ระยะเวลาในการดำเนินธุรกิจ..... 40 ปี

ประเภทธุรกิจ ☒ ผู้ผลิต ☒ ผู้จำหน่าย ☐ สมาคม ☐ ผู้ส่งออก ☐ อื่นๆ ระบุ.....

ประเภทธุรกิจอัญมณี ☐ เพชร ☐ พลอยเนื้อแข็ง ☐ พลอยเนื้ออ่อน ☒ จิวเวลรี

ส่วนที่ 2 รายละเอียดแบบสอบถาม

1. ท่านและธุรกิจของท่านมีความเห็นอย่างไร เกี่ยวกับพลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
☒ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ เหตุผล.....
2. ท่านมีความเห็นอย่างไร หากห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีมีการตรวจสอบพลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ พร้อมระบุผลการตรวจสอบลงในใบรายงานผล
☒ เห็นด้วย ☐ ไม่เห็นด้วย เหตุผล.....
3. ท่านเข้ารับบริการตรวจสอบอัญมณีกับทาง GIT เป็นจำนวนเท่าไร ในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน (จำนวนอัญมณี)
☒ 1-10 เม็ด ☐ 11-50 เม็ด ☐ 50-100 เม็ด ☐ มากกว่า 100 เม็ด
4. ข้อเสนอแนะ/ความคิดเห็นเพิ่มเติม
.....



แบบสอบถามสำรวจความคิดเห็นผู้ประกอบการ

เรื่อง พLOY ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

โครงการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอร์ันดัมที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

คำชี้แจง: โปรดทำเครื่องหมาย ☒ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่ตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล นาย วิชาญ อภิสิทธิ์ ตำแหน่ง ผู้รอง
บริษัท ชก. ไทย ระยะเวลาในการดำเนินธุรกิจ 35 ปี
ประเภทธุรกิจ ☒ ผู้ผลิต ☒ ผู้จำหน่าย ☐ สมาคม ☐ ผู้ส่งออก ☐ อื่นๆ ระบุ.....
ประเภทธุรกิจอัญมณี ☐ เพชร ☒ พLOY เนื้อแข็ง ☒ พLOY เนื้ออ่อน ☐ จิวเวลรี่

ส่วนที่ 2 รายละเอียดแบบสอบถาม

- ท่านและธุรกิจของท่านมีความเห็นอย่างไร เกี่ยวกับพLOY ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
☒ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ เหตุผล พอใจ
- ท่านมีความเห็นอย่างไร หากห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีมีการตรวจสอบพLOY ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ พร้อมระบุผลการตรวจสอบลงในใบรายงานผล
☒ เห็นด้วย ☐ ไม่เห็นด้วย เหตุผล พอใจ
- ท่านเข้ารับบริการตรวจสอบอัญมณีกับทาง GIT เป็นจำนวนเท่าไร ในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน (จำนวนอัญมณี)
☒ 1-10 เม็ด ☐ 11-50 เม็ด ☐ 50-100 เม็ด ☐ มากกว่า 100 เม็ด
- ข้อเสนอแนะ/ความคิดเห็นเพิ่มเติม
พอใจ



แบบสอบถามสำรวจความคิดเห็นผู้ประกอบการ

เรื่อง พลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

โครงการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอรัปชั่นที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

คำชี้แจง: โปรดทำเครื่องหมาย ☒ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่ตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล..... พินิจก์ โฉมลอย ตำแหน่ง..... เจ้าของ

บริษัท..... SLP ระยะเวลาในการดำเนินธุรกิจ..... 3 ปี

ประเภทธุรกิจ ☐ ผู้ผลิต ☒ ผู้จำหน่าย ☐ สมาคม ☐ ผู้ส่งออก ☐ อื่นๆ ระบุ.....

ประเภทธุรกิจอัญมณี ☐ เพชร ☒ พลอยเนื้อแข็ง ☒ พลอยเนื้ออ่อน ☒ จิวเวลรี

ส่วนที่ 2 รายละเอียดแบบสอบถาม

1. ท่านและธุรกิจของท่านมีความเห็นอย่างไร เกี่ยวกับพลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
☐ ยอมรับ ☒ ไม่ยอมรับ เหตุผล..... ลูกค้าไม่ต้องการปรับปรุง

2. ท่านมีความเห็นอย่างไร หากห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีมีการตรวจสอบพลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ พร้อมระบุผลการตรวจสอบลงในใบรายงานผล
☐ เห็นด้วย ☒ ไม่เห็นด้วย เหตุผล..... เพิ่มความโปร่งใสในเครือข่ายงาน

3. ท่านเข้ารับบริการตรวจสอบอัญมณีกับทาง GIT เป็นจำนวนเท่าไร ในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน (จำนวนอัญมณี)
☒ 1-10 เม็ด ☐ 11-50 เม็ด ☐ 50-100 เม็ด ☐ มากกว่า 100 เม็ด

4. ข้อเสนอแนะ/ความคิดเห็นเพิ่มเติม



แบบสอบถามสำรวจความคิดเห็นผู้ประกอบการ

เรื่อง พLOY ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

โครงการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคาร์บอนต่ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

คำชี้แจง: โปรดทำเครื่องหมาย ☒ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่ตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล..... กัณพร เล็กขจรโสมณ ตำแหน่ง..... —

บริษัท..... สังเขตดล ระยะเวลาในการดำเนินธุรกิจ..... — ปี

ประเภทธุรกิจ ☐ ผู้ผลิต ☒ ผู้จำหน่าย ☐ สมาคม ☐ ผู้ส่งออก ☐ อื่นๆ ระบุ.....

ประเภทธุรกิจอัญมณี ☐ เพชร ☒ พLOY เนื้อแข็ง ☐ พLOY เนื้ออ่อน ☐ จิวเวลรี

ส่วนที่ 2 รายละเอียดแบบสอบถาม

1. ท่านและธุรกิจของท่านมีความเห็นอย่างไร เกี่ยวกับพLOY ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
☒ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ เหตุผล.....
2. ท่านมีความเห็นอย่างไร หากห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีมีการตรวจสอบพLOY ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ พร้อมระบุผลการตรวจสอบลงในใบรายงานผล
☒ เห็นด้วย ☐ ไม่เห็นด้วย เหตุผล.....
3. ท่านเข้ารับบริการตรวจสอบอัญมณีกับทาง GIT เป็นจำนวนเท่าไร ในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน (จำนวนอัญมณี)
☒ 1-10 เม็ด ☐ 11-50 เม็ด ☐ 50-100 เม็ด ☐ มากกว่า 100 เม็ด
4. ข้อเสนอแนะ/ความคิดเห็นเพิ่มเติม
.....



แบบสอบถามสำรวจความคิดเห็นผู้ประกอบการ

เรื่อง พลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

โครงการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอรันดัมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

คำชี้แจง: โปรดทำเครื่องหมาย ☒ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่ตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล..... ภาวิดา จิตินันท์ ตำแหน่ง..... Gemologist
บริษัท..... GCI Lab. ระยะเวลาในการดำเนินธุรกิจ..... ปี
ประเภทธุรกิจ ☐ ผู้ผลิต ☐ ผู้จำหน่าย ☐ สมาคม ☐ ผู้ส่งออก ☒ อื่นๆ ระบุ..... Lab.
ประเภทธุรกิจอัญมณี ☒ เพชร ☒ พลอยเนื้อแข็ง ☒ พลอยเนื้ออ่อน ☐ จิวเวลรี

ส่วนที่ 2 รายละเอียดแบบสอบถาม

- ท่านและธุรกิจของท่านมีความเห็นอย่างไร เกี่ยวกับพลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
☐ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ เหตุผล.....
- ท่านมีความเห็นอย่างไร หากห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีมีการตรวจสอบพลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ พร้อมระบุผลการตรวจสอบลงในใบรายงานผล
☒ เห็นด้วย ☐ ไม่เห็นด้วย เหตุผล..... ได้ทบทวนข้อมูลแล้วเห็นว่า เราจำเป็นต้องไป
ตามความจำเป็น
- ท่านเข้ารับบริการตรวจสอบอัญมณีกับทาง GIT เป็นจำนวนเท่าไร ในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน (จำนวนอัญมณี)
☒ 1-10 เม็ด ☐ 11-50 เม็ด ☐ 50-100 เม็ด ☐ มากกว่า 100 เม็ด
- ข้อเสนอแนะ/ความคิดเห็นเพิ่มเติม
.....



แบบสอบถามสำรวจความคิดเห็นผู้ประกอบการ

เรื่อง พलयที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

โครงการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอรันต์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

คำชี้แจง: โปรดทำเครื่องหมาย ☒ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่ตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล..... มาลี ๒๗๗ ตำแหน่ง.....

บริษัท..... ระยะเวลาในการดำเนินธุรกิจ..... ปี

ประเภทธุรกิจ ☐ ผู้ผลิต ☐ ผู้จำหน่าย ☐ สมาคม ☐ ผู้ส่งออก ☒ อื่นๆ ระบุ..... กำลังจะทำธุรกิจค้า
ขายเหล็ก

ประเภทธุรกิจอัญมณี ☐ เพชร ☐ พलयเนื้อแข็ง ☐ พलयเนื้ออ่อน ☐ จิวเวลรี

ส่วนที่ 2 รายละเอียดแบบสอบถาม

1. ท่านและธุรกิจของท่านมีความเห็นอย่างไร เกี่ยวกับพलयที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
☐ ยอมรับ ☒ ไม่ยอมรับ เหตุผล..... ขอความละเอียดมากกว่า
2. ท่านมีความเห็นอย่างไร หากห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีมีการตรวจสอบพलयที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ พร้อมระบุผลการตรวจสอบลงในใบรายงานผล
☒ เห็นด้วย ☐ ไม่เห็นด้วย เหตุผล.....
3. ท่านเข้ารับบริการตรวจสอบอัญมณีกับทาง GIT เป็นจำนวนเท่าไร ในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน (จำนวนอัญมณี)
☐ 1-10 เม็ด ☐ 11-50 เม็ด ☐ 50-100 เม็ด ☐ มากกว่า 100 เม็ด
4. ข้อเสนอแนะ/ความคิดเห็นเพิ่มเติม
ขอถาม ส่วนๆ ประมาณ 20 ชิ้น



แบบสอบถามสำรวจความคิดเห็นผู้ประกอบการ

เรื่อง พลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

โครงการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอรัปชั่นที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

คำชี้แจง: โปรดทำเครื่องหมาย ☒ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่ตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล ลิกลิ้ม น เกตุพงษ์ ตำแหน่ง.....

บริษัท..... ระยะเวลาในการดำเนินธุรกิจ 14 ปี

ประเภทธุรกิจ ☒ ผู้ผลิต ☒ ผู้จำหน่าย ☐ สมาคม ☐ ผู้ส่งออก ☐ อื่นๆ ระบุ.....

ประเภทธุรกิจอัญมณี ☐ เพชร ☒ พลอยเนื้อแข็ง ☒ พลอยเนื้ออ่อน ☒ จิวเวลรี่

ส่วนที่ 2 รายละเอียดแบบสอบถาม

1. ท่านและธุรกิจของท่านมีความเห็นอย่างไร เกี่ยวกับพลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
☒ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ เหตุผล.....
2. ท่านมีความเห็นอย่างไร หากห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีมีการตรวจสอบพลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ พร้อมระบุผลการตรวจสอบลงในใบรายงานผล
☒ เห็นด้วย ☐ ไม่เห็นด้วย เหตุผล.....
3. ท่านเข้ารับบริการตรวจสอบอัญมณีกับทาง GIT เป็นจำนวนเท่าไร ในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน (จำนวนอัญมณี)
☐ 1-10 เม็ด ☒ 11-50 เม็ด ☐ 50-100 เม็ด ☐ มากกว่า 100 เม็ด
4. ข้อเสนอแนะ/ความคิดเห็นเพิ่มเติม

ทางปรับปรุง เครื่องแต่งมอญ + ภาชนะบรรจุ
ห้องเก็บตามห้องซอหมาก 206 ชั้น 2 และภาชนะบรรจุภาชนะ
มอญไปทางชุดกับหมัก (ใส่หมัก 206) บุคคลทั่วไปจะไม่ทราบ
หมักเก็บ Gemma ได้ไม่ต่ำ อัญมณีหลายตัวข้างที่ดูก็ไม่เข้าใจ
+ ถึงทราบก็ไม่ได้รู้



แบบสอบถามสำรวจความคิดเห็นผู้ประกอบการ

เรื่อง พลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

โครงการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอรัปชั่นที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

คำชี้แจง: โปรดทำเครื่องหมาย ☒ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่ตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล..... พิชญ์ ปิณฑกร ตำแหน่ง..... ผอ. บัณฑิตวิทยาลัย

บริษัท..... Beauty gems ระยะเวลาในการดำเนินธุรกิจ..... >50 ปี

ประเภทธุรกิจ ☐ ผู้ผลิต ☐ ผู้จำหน่าย ☐ สมาคม ☒ ผู้ส่งออก ☐ อื่นๆ ระบุ.....

ประเภทธุรกิจอัญมณี ☒ เพชร ☒ พลอยเนื้อแข็ง ☒ พลอยเนื้ออ่อน ☒ จิวเวลรี

ส่วนที่ 2 รายละเอียดแบบสอบถาม

- ท่านและธุรกิจของท่านมีความเห็นอย่างไร เกี่ยวกับพลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
☒ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ เหตุผล.....
- ท่านมีความเห็นอย่างไร หากห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีมีการตรวจสอบพลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ พร้อมระบุผลการตรวจสอบลงในใบรายงานผล
☐ เห็นด้วย ☒ ไม่เห็นด้วย เหตุผล..... ขอโทษ ไม่อาจใช้ ความเห็น
- ท่านเข้ารับบริการตรวจสอบอัญมณีกับทาง GIT เป็นจำนวนเท่าไร ในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน (จำนวนอัญมณี)
☐ 1-10 เม็ด ☒ 11-50 เม็ด ☐ 50-100 เม็ด ☐ มากกว่า 100 เม็ด
- ข้อเสนอแนะ/ความคิดเห็นเพิ่มเติม
.....



แบบสอบถามสำรวจความคิดเห็นผู้ประกอบการ

เรื่อง พลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

โครงการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอรันต์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

คำชี้แจง: โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่ตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล..... ตำแหน่ง.....

บริษัท..... ศุโข จำกัด ระยะเวลาในการดำเนินธุรกิจ..... 8 ปี

ประเภทธุรกิจ ☐ ผู้ผลิต ☐ ผู้จำหน่าย ☐ สมาคม ☒ ผู้ส่งออก ☐ อื่นๆ ระบุ.....

ประเภทธุรกิจอัญมณี ☐ เพชร ☒ พลอยเนื้อแข็ง ☒ พลอยเนื้ออ่อน ☐ จิวเวลรี

ส่วนที่ 2 รายละเอียดแบบสอบถาม

1. ท่านและธุรกิจของท่านมีความเห็นอย่างไร เกี่ยวกับพลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

☐ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ เหตุผล.....

2. ท่านมีความเห็นอย่างไร หากห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีมีการตรวจสอบพลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ พร้อมระบุผลการตรวจสอบลงในใบรายงานผล

☐ เห็นด้วย ☐ ไม่เห็นด้วย เหตุผล.....

3. ท่านเข้ารับบริการตรวจสอบอัญมณีกับทาง GIT เป็นจำนวนเท่าไร ในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน (จำนวนอัญมณี)

☐ 1-10 เม็ด ☒ 11-50 เม็ด ☐ 50-100 เม็ด ☐ มากกว่า 100 เม็ด

4. ข้อเสนอแนะ/ความคิดเห็นเพิ่มเติม

A VERY DISTINCTIVE SEPARATION BETWEEN
HEATED AND UNHEATED GEMSTONES IS A MUST.



แบบสอบถามสำรวจความคิดเห็นผู้ประกอบการ

เรื่อง พลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

โครงการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอรันต์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

คำชี้แจง: โปรดทำเครื่องหมาย ☒ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่ตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล..... นิชดา ใจบุญ..... ตำแหน่ง.....

บริษัท..... Asawann Jewelry..... ระยะเวลาในการดำเนินธุรกิจ..... 1..... ปี

ประเภทธุรกิจ ☐ ผู้ผลิต ☒ ผู้จำหน่าย ☐ สมาคม ☐ ผู้ส่งออก ☐ อื่นๆ ระบุ.....

ประเภทธุรกิจอัญมณี ☐ เพชร ☐ พลอยเนื้อแข็ง ☐ พลอยเนื้ออ่อน ☒ จิวเวลรี

ส่วนที่ 2 รายละเอียดแบบสอบถาม

1. ท่านและธุรกิจของท่านมีความเห็นอย่างไร เกี่ยวกับพลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
☒ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ เหตุผล.....
2. ท่านมีความเห็นอย่างไร หากห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีมีการตรวจสอบพลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ พร้อมระบุผลการตรวจสอบลงในใบรายงานผล
☒ เห็นด้วย ☐ ไม่เห็นด้วย เหตุผล.....
3. ท่านเข้ารับบริการตรวจสอบอัญมณีกับทาง GIT เป็นจำนวนเท่าไร ในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน (จำนวนอัญมณี)
☒ 1-10 เม็ด ☐ 11-50 เม็ด ☐ 50-100 เม็ด ☐ มากกว่า 100 เม็ด
4. ข้อเสนอแนะ/ความคิดเห็นเพิ่มเติม



แบบสอบถามสำรวจความคิดเห็นผู้ประกอบการ

เรื่อง พลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

โครงการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบครันต์ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

คำชี้แจง: โปรดทำเครื่องหมาย ☒ ลงใน ☐ หรือเติมข้อความลงในช่องว่างที่ตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล..... ตำแหน่ง.....

บริษัท..... ระยะเวลาในการดำเนินธุรกิจ.....ปี

ประเภทธุรกิจ ☐ ผู้ผลิต ☒ ผู้จำหน่าย ☐ สมาคม ☐ ผู้ส่งออก ☐ อื่นๆ ระบุ.....

ประเภทธุรกิจอัญมณี ☐ เพชร ☐ พลอยเนื้อแข็ง ☐ พลอยเนื้ออ่อน ☒ จิวเวลรี่

ส่วนที่ 2 รายละเอียดแบบสอบถาม

1. ท่านและธุรกิจของท่านมีความเห็นอย่างไร เกี่ยวกับพลอยที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ
☒ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ เหตุผล.....
2. ท่านมีความเห็นอย่างไร หากห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีมีการตรวจสอบพลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ พร้อมระบุผลการตรวจสอบลงในใบรายงานผล
☒ เห็นด้วย ☐ ไม่เห็นด้วย เหตุผล.....
3. ท่านเข้ารับบริการตรวจสอบอัญมณีกับทาง GIA เป็นจำนวนเท่าไร ในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน (จำนวนอัญมณี)
☐ 1-10 เม็ด ☒ 11-50 เม็ด ☐ 50-100 เม็ด ☐ มากกว่า 100 เม็ด
4. ข้อเสนอแนะ/ความคิดเห็นเพิ่มเติม
.....

การพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอรันดัมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่
อุณหภูมิต่ำ
ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์

ตาราง เปรียบเทียบผลผลิต (Output) ที่เสนอในข้อเสนอโครงการและที่ดำเนินการได้จริง

ผลผลิต (Output)		ในกรณีล่าช้า (ผลสำเร็จไม่ถึง 100%) ให้ท่านระบุสาเหตุและ การแก้ไขที่ท่านดำเนินการ
กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ/หรือจากการปรับแผน	ผลสำเร็จ (%)	
1. ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง	100%	- รวบรวมข้อมูลจากงานวิชาการที่เกี่ยวข้อง เพื่อ อัปเดตข้อมูลการวิจัยในเรื่องดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง
2. จัดเตรียมคอรันดัมสำหรับการวิจัย	100%	- จัดเตรียมตัวอย่างทับทิมสำหรับการทดลองเสร็จ เรียบร้อยแล้ว โดยเป็นทับทิมจากแหล่งโมซัมบิก จำนวน 36 ตัวอย่าง และแหล่งมาดากัสการ์ จำนวน 36 ตัวอย่าง นำมาขัดหน้าเรียบและขัดเงา เพื่อ เตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ พื้นฐานและเครื่องมือขั้นสูงต่อไป
3. ตรวจสอบสมบัติเบื้องต้นของคอรันดัม	100%	- วิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างทั้งหมด เสร็จเรียบร้อยแล้ว ประกอบด้วย refractive index, specific gravity, dichroscope (pleochroism), optic character, fluorescence และการถ่ายภาพ มลทินภายใน (inclusion) ด้วยกล้องจุลทรรศน์ อัญมณี (gem microscope)
4. ตรวจวัดคอรันดัมด้วยเครื่องมือขั้นสูง ก่อนการ ปรับปรุงคุณภาพ	100%	- วิเคราะห์ตัวอย่างทับทิมจากแห่งโมซัมบิกและ มาดากัสการ์ด้วยเครื่องมือขั้นสูง ก่อนการปรับปรุง คุณภาพ ได้แก่ FTIR, UV-VIS-NIR, Raman, Laser-Tomography, PL Spectroscopy, LA-ICP- MS และDimond view เสร็จเรียบร้อยแล้ว
5. ดำเนินการปรับปรุงคุณภาพคอรันดัม	100%	ได้ดำเนินการปรับปรุงคุณภาพคอรันดัมได้ ครบถ้วนตามที่ได้นำเสนอปรับแผนงาน
6. ตรวจวัดคอรันดัมด้วยเครื่องมือขั้นสูง หลังการ ปรับปรุงคุณภาพ	90%	ตัวอย่างที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว นำมา ตรวจสอบด้วยเครื่องมือขั้นสูง ได้แก่ FTIR, UV-Vis- NIR, LA-ICP-MS ทุกตัวอย่างแล้ว แต่ไม่สามารถทำ

		PL Spectroscopy, DiamondView™ และ Laser Thermography ได้ครบเนื่องจากเวลาในการทำวิจัยไม่เพียงพอ และช่วงระยะเวลาในการทำวิจัยมีเครื่องมือที่ชำรุด ทางคณะวิจัยจึงคัดเลือกบางตัวอย่างของแต่ละอุณหภูมิและแหล่งเป็นตัวแทนในการทดสอบในช่วงอุณหภูมิ 700 และ 900 C
7. ตรวจสอบมลทินต่างๆที่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน	90%	เนื่องจากเวลาในการทำวิจัยไม่เพียงพอและพบมลทินที่วิเคราะห์ซ้ำกัน และได้ผลที่ชัดเจน คณะวิจัยจึงได้คัดเลือกตัวอย่างที่มีมลทินซ้ำกันเป็นตัวแทนออกมาทดสอบเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพ
8. ดำเนินการสำรวจความต้องการของผู้ประกอบการ เรื่อง ความคิดเห็นในการวินิจฉัยพลอยเฝ้าปรับปรุงคุณภาพอุณหภูมิต่ำ ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และจังหวัดจันทบุรี	100%	มีการสำรวจความต้องการของผู้ประกอบการแล้วตั้งเอกสารแนบ
9. วิเคราะห์ สรุปผล นำเสนอผลงาน และเผยแพร่ผลงาน	98%	มีการวิเคราะห์, สรุปผล เป็นรายงานแล้ว และมีการนำเสนอผลงานให้ผู้ประกอบการ, นักวิชาการ ทั้งภาครัฐและเอกชนแล้ว แต่ยังไม่ได้มีการตีพิมพ์เป็นผลงานวิชาการ

ลงนาม



(นายทัศนรา ศรีปุ่นจั่น)

หัวหน้าโครงการ

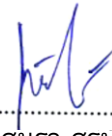
วันที่ 31 ธันวาคม 2562

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ ต่อ สกว.

เนื่องจากเวลาในการดำเนินการวิจัยค่อนข้างจำกัด และเครื่องมือชำรุดในบางช่วงของการทำวิจัย ทำให้ไม่สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ที่ทางนักวิจัยตั้งไว้ได้ทั้งหมด 100% อย่างไรก็ตาม สิ่งที่น่าสนใจในการดำเนินการต่อในอนาคต พอจะสามารถสรุปได้ ดังต่อไปนี้

- เทคนิค PL spectroscopy เป็นเทคนิคที่มีความไวสูง ถึงแม้จะต้องอาศัยความรู้ขั้นสูงในการอธิบายการเกิดรูปแบบสเปกตรัม แต่สามารถตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงของมลทินที่อยู่ระดับลึกพอประมาณได้ แต่เนื่องจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งในปัจจุบัน ยังมีประสิทธิภาพไม่ดีพอ หากในอนาคตสามารถอัปเกรดอุปกรณ์ดังกล่าว (Laser source ช่วงสีฟ้า) จะสามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ อันจะเป็นประโยชน์ต่อห้องปฏิบัติการ อุตสาหกรรม และความรู้ที่จำเป็นในการต่อยอดในอนาคต

ลงนาม



(นายทศนรา ทรปุนจน)

หัวหน้าโครงการ

วันที่ 31 ธันวาคม 2562

แบบสรุปปิดโครงการวิจัย (จัดทำแยกต่างหากจากรายงานฉบับสมบูรณ์)

สัญญาเลขที่..RDG62T0113...ชื่อโครงการ.....การพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอรั้นดัมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

หัวหน้าโครงการ.....นายทัศนรา ศรีปุ่นจัน.....หน่วยงาน ฝ่ายวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับ สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

โทรศัพท์..02-634-4999...โทรสาร.....อีเมล..tasnara@hotmail.com.....

สถานะผลงาน ☐ ปกปิด ☒ ไม่ปกปิด

ความสำคัญ / ความเป็นมา

ในตลาดการค้าอัญมณี ราคาของอัญมณีที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจะมีราคาต่ำกว่าอัญมณีธรรมชาติ (ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพใดๆ) ซึ่งในปัจจุบันพบว่าการปรับปรุงคุณภาพอัญมณีด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสามารถให้ผลผลิตที่ดีและใช้ต้นทุนน้อยกว่า แต่เทคนิคดังกล่าวนี้ทำการตรวจสอบได้ยาก ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบที่มีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ สำหรับตรวจสอบอัญมณีที่ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อเป็นการสร้างความเชื่อมั่นในใบรับรองของห้องปฏิบัติการ และสามารถปกป้องผู้บริโภค-ผู้ประกอบการในห่วงโซ่อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ

วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคนิคเฉพาะสำหรับใช้ในงานตรวจสอบอัญมณีรวมถึงตัวบ่งชี้ของอัญมณีคอรั้นดัมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

ผลการวิจัย (สั้น ๆ ที่บ่งชี้ประเด็นข้อค้นพบ กระบวนการ ผลผลิต และการเรียนรู้)

การศึกษาวิจัยในโครงการการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบคอรั้นดัมที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ได้พัฒนาเทคนิคและพบข้อบ่งชี้สำคัญ ใช้ในการตรวจสอบพลอยคอรั้นดัม (ทับทิมและแซปไฟร์สีชมพู) จากแหล่งโมซัมบิกและมาดากัสการ์ ที่มีการผ่านการเผาด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือขั้นสูงในห้องปฏิบัติการอัญมณี ตรวจจับการเปลี่ยนแปลง (monitoring) โดยมลทินที่มักพบภายในพลอยทับทิมและแซปไฟร์สีชมพูจากแหล่งโมซัมบิกมักพบมลทินแร่ที่สำคัญ สามารถนำมาบ่งชี้ได้ชัดเจนจากรูปแบบของสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงไป จากวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Raman และ FTIR เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ 500 องศาเซลเซียส คือ แร่ไมก้า (mica) แร่ไพไรต์ (pyrrhotite) แร่ไดออสปอร์ (diaspore) และมลทินเหล็กออกไซด์ในรูปของแร่เกอไทต์ (goethite) ในขณะที่มลทินแร่ในกลุ่มพลอยจากแหล่งมาดากัสการ์ที่สามารถใช้ในการบ่งชี้การเผาอุณหภูมิต่ำได้แก่ แร่อะพาไทต์ (apatite) และมลทินที่เกิดตามรอยแตก ซึ่งประกอบด้วยแร่เกอไทต์ (goethite) และแร่แอนาเทส (anatase)

คำสืบค้น (Keywords)

คอรั้นดัม, การปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน, การเผาอุณหภูมิต่ำ, การเผา, low temperature heat treatment

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ (ดูคำจำกัดความ และตัวอย่างด้านหลังแบบฟอร์ม) ในแต่ละโครงการสามารถมีแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ของโครงการวิจัยได้หลายด้าน และอธิบายรายละเอียดเพิ่มเติมที่สื่อถึงแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ของโครงการวิจัยในแต่ละด้าน

☐ ด้านนโยบาย โดยใคร (กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง).....

มีการนำไปใช้อย่างไร

.....

☐ ด้านสาธารณะ โดยใคร (กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง).....

มีการนำไปใช้อย่างไร

.....

☐ ด้านชุมชนและพื้นที่ โดยใคร (กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง).....

มีการนำไปใช้อย่างไร

.....

☒ ด้านพาณิชย์ โดย ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับประเทศไทย

มีการนำไปใช้อย่างไร

งานวิจัยนี้ช่วยให้การออกใบรับรองคุณภาพอัญมณีที่ผ่านการเผาอุณหภูมิที่มีความแม่นยำ และเชื่อถือได้มากขึ้น ซึ่งช่วยสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคและผู้ค้าในอุตสาหกรรมอัญมณีระดับประเทศถึงระดับสากลสำหรับที่จะซื้อสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับได้อย่างไม่กังวลใจ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการผลักดันประเทศไทยสู่การเป็นนครอัญมณี

☒ ด้านวิชาการ โดย สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

มีการนำไปใช้อย่างไร

วิธีการและแบบแผนจากการวิจัยในโครงการนี้นำไปสู่การตรวจสอบทางห้องปฏิบัติการในพลอยคอร์ันดัมที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิทำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยการใช้ประโยชน์จากข้อสรุป และกฎเกณฑ์ต่าง ๆ รวมถึงข้อจำกัดของงานวิจัย ให้สามารถจำกัดขอบเขตได้อย่างแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ ข้อมูลของงานวิจัยสามารถประยุกต์ไปใช้ในงานวิชาการด้านอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี

มีการนำไปใช้อย่างไร

☐ ยังไม่มีการนำไปใช้ (โปรดกรอกในกรอบถัดไป)

(กรณีที่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์) ผลงานวิจัยมีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์

☐ ด้านนโยบาย ☐ ด้านสาธารณะ ☐ ด้านชุมชนและพื้นที่ ☐ ด้านพาณิชย์ ☐ ด้านวิชาการ

ข้อเสนอแนะเพื่อให้ผลงานถูกนำไปใช้ประโยชน์

การเผยแพร่/ประชาสัมพันธ์ (กรุณาให้รายละเอียด พร้อมแนบหลักฐาน)

1. สิ่งพิมพ์ หรือสื่อทั่วไป

☐ หนังสือพิมพ์ ☐ วารสาร ☐ โทรศัพท์ ☐ วิทยุ ☐ เว็บไซต์ ☐ คู่มือ/แผ่นพับ ☒ จัดประชุม/อบรม ☐ อื่น ๆ

ได้มีการจัดงานประชุมเชิงสัมมนาเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ให้แก่ภาคผู้ประกอบการและภาคการศึกษา เช่น ห้องปฏิบัติการและมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ในวันที่ 23 ธันวาคม 2562 ณ โรงแรมดิวันนา ถนนสุขุมวิท กรุงเทพฯ (ภาพประกอบ)



2. สิ่งพิมพ์ทางวิชาการ (วารสาร, การประชุม ให้ระบุรายละเอียดแบบการเขียนเอกสารอ้างอิง เพื่อการค้นหาซึ่งควรประกอบด้วย ชื่อผู้แต่ง ชื่อเรื่อง แหล่งพิมพ์ ปี พ.ศ. (ค.ศ.) ฉบับที่ หน้า)

คำอธิบายและตัวอย่างการนำไปใช้ประโยชน์ในแต่ละด้าน

1. การใช้ประโยชน์ด้านนโยบาย

คำจำกัดความ : การนำความรู้จากงานวิจัยไปใช้ในกระบวนการกำหนดนโยบาย ซึ่งนโยบายหมายถึง หลักการ แนวทาง กลยุทธ์ ในการดำเนินงานเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ อาจเป็นนโยบายระดับประเทศ ระดับภูมิภาค ระดับจังหวัด ระดับท้องถิ่น หรือระดับหน่วยงาน นโยบายที่ดีจะต้องประกอบด้วย วัตถุประสงค์ แนวทาง และกลไกในการดำเนินงานที่ชัดเจน สอดคล้องกับปัญหาและความต้องการ การใช้ประโยชน์ด้านนโยบายจะรวมทั้งการนำองค์ความรู้ไปสังเคราะห์เป็นนโยบายหรือทางเลือกเชิงนโยบาย (policy options) แล้วนำนโยบายนั้นไปสู่ผู้ใช้ประโยชน์

2. การใช้ประโยชน์ด้านสาธารณะ

คำจำกัดความ : การดำเนินงานเพื่อนำผลงานวิจัยและนวัตกรรม ไปใช้ในวงกว้างเพื่อประโยชน์ของสังคม และประชาชนทั่วไป ให้มีความรู้ความเข้าใจ เกิดความตระหนัก รู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลง ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนวิธีคิด พฤติกรรม เพื่อเพิ่มคุณภาพชีวิตของประชาชน สร้างสังคมคุณภาพ และส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

3. การใช้ประโยชน์ด้านพาณิชย์

คำจำกัดความ : การนำนวัตกรรม เทคโนโลยี ผลิตภัณฑ์ใหม่ พันธุ์พืช พันธุ์สัตว์ ไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ การสร้างมูลค่าเพิ่มของผลิตภัณฑ์ การแปรรูป การสร้างตราสินค้า การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต และการลดต้นทุนการผลิต การสร้างอาชีพ และทางเลือกให้กับผู้ประกอบการ เกษตรกรหรือผู้ประกอบการอาชีพอื่น ๆ

4. การใช้ประโยชน์ด้านชุมชนและพื้นที่

คำจำกัดความ : การนำกระบวนการ วิธีการ องค์ความรู้ การเปลี่ยนแปลง การเสริมพลัง อันเป็นผลกระทบ ที่เกิดจากการวิจัยและพัฒนาชุมชน ท้องถิ่น พื้นที่ ไปใช้ให้เกิดประโยชน์การขยายผลต่อชุมชน ท้องถิ่น และสังคมอื่น

5. การใช้ประโยชน์ด้านวิชาการ

คำจำกัดความ : การนำองค์ความรู้จากผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ผลงานตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ ระดับชาติ หนังสือ ตำรา บทเรียน ไปเป็นประโยชน์ด้านวิชาการ การเรียนรู้ การเรียนการสอน ในวงวิชาการและผู้สนใจด้านวิชาการ รวมถึงการนำผลงานวิจัยไปวิจัยต่อยอด หรือการนำไปสู่ product และ process ไปใช้ในการเสริมสร้างนวัตกรรม และเทคโนโลยี

ตัวอย่างการนำไปใช้ประโยชน์ในแต่ละด้าน

1. การใช้ประโยชน์ด้านนโยบาย

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

☒ ด้านนโยบาย ☐ ด้านสาธารณะ ☐ ด้านชุมชนและพื้นที่ ☐ ด้านพาณิชย์ ☐ ด้านวิชาการ

โดยใคร (กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)

☒ หน่วยงาน (ภาครัฐ/เอกชน) ☐ สถาบันการศึกษา ☐ ผู้ประกอบการ ☐ เกษตรกร ☐ อื่น ๆ

-สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

-สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

มีการนำไปใช้อย่างไร (กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)

ผลการวิจัยจากชุดโครงการ “การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบต่อประเทศไทย” และชุดโครงการ “การพัฒนาความรู้และยุทธศาสตร์ความตกลงพหุภาคีด้านสิ่งแวดล้อม” ได้สร้างชุดความรู้และบุคลากรวิจัยในการประเมินผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ การสร้างข้อเสนอเชิงนโยบายต่อการดำเนินงานภายในประเทศ เรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและข้อเสนอต่อการเจรจาจัดทำระบอบระหว่างประเทศด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหลังปี ค.ศ. 2012 ซึ่งข้อมูลที่ได้มีการใช้ประโยชน์ในการกำหนดนโยบายเพื่อเตรียมความพร้อมของประเทศโดยเฉพาะแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 (พ.ศ.2555-2559) และ แผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ พ.ศ.2553-2562 นอกจากนี้ข้อมูลจากงานวิจัยได้สนับสนุนการดำเนินงานของประเทศไทยในรายงานแห่งชาติฉบับที่ 2 เพื่อเสนอต่ออนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามพันธกรณีของประเทศไทยในฐานะรัฐภาคีของอนุสัญญา

2. การใช้ประโยชน์ด้านสาธารณะ

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

☐ ด้านนโยบาย ☒ ด้านสาธารณะ ☐ ด้านชุมชนและพื้นที่ ☐ ด้านพาณิชย์ ☐ ด้านวิชาการ

โดยใคร (กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)

☐ หน่วยงาน (ภาครัฐ/เอกชน) ☒ สถาบันการศึกษา ☐ ผู้ประกอบการ ☐ เกษตรกร ☐ อื่น ๆ

มีการนำไปใช้อย่างไร (กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)

โครงการ “คู่มือประชาชนรู้ทันคอร์รัปชันและการแสวงหาผลประโยชน์” ได้รวบรวมข้อมูลการทุจริตคอร์รัปชันในปัจจุบันที่มีวิธีการที่หลากหลายและซับซ้อนมากขึ้น โดยได้จัดพิมพ์ในรูปแบบที่ผู้เกี่ยวข้องจะสามารถทำความเข้าใจและรู้เท่าทันได้ทั้งหมด ผลงานวิจัยเผยแพร่ต่อสาธารณะชน ชื่อ “เมนูคอร์รัปชัน” โดยร่วมเผยแพร่ และมีการนำไปใช้ในภาคประชาสังคมต่างๆ รวมทั้งเป็นข้อมูลประกอบโครงการโตไปไม่โกงในโรงเรียนต่างๆ

3. การใช้ประโยชน์ด้านพาณิชย์

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

☐ ด้านนโยบาย ☐ ด้านสาธารณะ ☐ ด้านชุมชนและพื้นที่ ☒ ด้านพาณิชย์ ☐ ด้านวิชาการ

โดยใคร (กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)

☒ หน่วยงาน (ภาครัฐ/เอกชน) ☐ สถาบันการศึกษา ☐ ผู้ประกอบการ ☐ เกษตรกร ☐ อื่น ๆ

- บริษัทสยามวอเตอร์เฟลม จำกัด และบริษัท ไทยแก๊สซิฟายเออร์ จำกัด

มีการนำไปใช้อย่างไร (กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)

.....จากผลการดำเนินงานโครงการ “การพัฒนากระบวนการผ่านงานพัฒนาด้านแบบเครื่องผลิตออกซิเจนจากอากาศ” ได้เครื่องต้นแบบผลิตก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์จากอากาศที่มีกำลังการผลิตไม่ต่ำกว่า $1.3 \text{ m}^3/\text{hr}$ และความบริสุทธิ์ของออกซิเจนที่ระดับ 95% ที่กำลังการผลิต 1.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งบริษัทสยามวอเตอร์เฟลม จำกัด ผู้ร่วมให้ทุน ได้นำองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยไปต่อยอดในการผลิตเครื่องไนโตรเจนจากอากาศ นอกจากนี้บริษัท ไทยแก๊สซิฟายเออร์ จำกัด ได้นำองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยคือ กระบวนการผลิตออกซิเจนบริสุทธิ์จากอากาศ ไปดำเนินการวิจัยต่อยอด

4. การใช้ประโยชน์ด้านชุมชนและพื้นที่

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

☐ ด้านนโยบาย ☐ ด้านสาธารณะ ☒ ด้านชุมชนและพื้นที่ ☐ ด้านพาณิชย์ ☐ ด้านวิชาการ

โดยใคร (กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)

☒ หน่วยงาน (ภาครัฐ/เอกชน) ☐ สถาบันการศึกษา ☐ ผู้ประกอบการ ☐ เกษตรกร ☐ อื่น ๆ

..จังหวัดชัยนาท และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น จ. ชัยนาท

มีการนำไปใช้อย่างไร (กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)

.....ผลการดำเนินงานโครงการ...“การสร้างกระบวนการเรียนรู้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพงานวิสาหกิจชุมชนจังหวัดชัยนาท”...ช่วยส่งเสริมการปฏิบัติงานของวิสาหกิจชุมชนใน 12 ตำบล ให้มีกระบวนการทำงานอย่างเป็นระบบ สอดคล้องและตอบสนองกับปัญหา ส่งผลให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนเห็นช่องทางตลาดภายในพื้นที่ สามารถวางแผนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพเกิดการพึ่งพาตนเองได้ในชุมชน ก่อให้เกิดศูนย์การเรียนรู้ (แหล่งเรียนรู้ชุมชน) วิสาหกิจชุมชน 4 แห่ง โดยมีวิทยากรท้องถิ่นที่ผ่านการอบรมจำนวน 60 คน ทั้งนี้ ผลจากโครงการได้มีการขยายผลไปสู่อีก 8 อำเภอของจังหวัดชัยนาท โดยกลุ่มเครือข่ายวิสาหกิจชุมชน/OTOP ได้มาเรียนรู้ยังศูนย์ฯ ดังกล่าว จนทำให้กลุ่ม 8.....อำเภอ.....ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนพัฒนาบทบาทสตรีในภายหลัง.....นอกจากนี้ผู้ว่าราชการจังหวัดยังได้สนับสนุนให้เกิดการจัดทะเบียนกลุ่ม/เครือข่ายวิสาหกิจชุมชน ตามพรบ. วิสาหกิจชุมชน พ.ศ. 2548 ได้บรรจุแผนงาน/โครงการ เพื่อสนับสนุนงานวิสาหกิจชุมชนในพื้นที่ไว้ในงบประมาณจังหวัดปี 2557.

5. การใช้ประโยชน์ด้านวิชาการ

ตัวอย่างที่ 1

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

☐ ด้านนโยบาย ☐ ด้านสาธารณะ ☐ ด้านชุมชนและพื้นที่ ☐ ด้านพาณิชย์ ☒ ด้านวิชาการ

โดยใคร ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และนักวิจัยจากสถาบันอื่น

มีการนำไปใช้อย่างไร (กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)

จากผลการดำเนินงานโครงการ...“การพัฒนาเครื่องสังเคราะห์ฟิล์มบางของโลหะออกไซด์โดยกระบวนการสปาร์ค” โดยสามารถพัฒนาวิธีเคลือบผิวกระจกแบบใหม่ภายในความดันบรรยากาศโดยใช้วิธีสปาร์คด้วยไฟฟ้าแรงดันสูงและกระแสไฟฟ้าต่ำ ซึ่งโครงการนี้สามารถสร้างองค์ความรู้ใหม่ (Journal, paper) และผลิตบุคลากรทางด้านนาโนเทคโนโลยีของประเทศ สร้างเครื่องต้นแบบในระดับโรงงาน ใช้เป็นแหล่งให้บริการวิชาการโดยการเคลือบผิวโลหะออกไซด์อื่นๆ ให้กับนักวิจัยกลุ่มอื่น

☒ ด้านพาณิชย์ โดยใคร บริษัทเอสอาร์ แอดวานซ์อินดัสตรีส์ จำกัด

มีการนำไปใช้อย่างไร (กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)

หัวหน้าโครงการวิจัยนี้ได้สร้างเครื่องต้นแบบในระดับโรงงาน โดยทุน.สกว. ร่วมกับบริษัทเอสอาร์. แอดวานซ์อินดัสตรีส์ จำกัด. ซึ่งสามารถเคลื่อนผิวกระจกด้วย TiO_2 ขนาดหน้ากว้าง 1.2 เมตรได้แล้ว บริษัทฯ จะผลิตและจำหน่ายกระจกทำความสะอาดตัวเองได้ต่อไป

ตัวอย่างที่ 2

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

☐ ด้านนโยบาย ☐ ด้านสาธารณะ ☐ ด้านชุมชนและพื้นที่ ☐ ด้านพาณิชย์ ☒ ด้านวิชาการ

โดยใคร (กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)

☐ หน่วยงาน (ภาครัฐ/เอกชน) ☒ สถาบันการศึกษา ☐ ผู้ประกอบการ ☐ เกษตรกร ☒ อื่น ๆ

..ภาควิชาภาษาศาสตร์..คณะมนุษยศาสตร์..มหาวิทยาลัยนเรศวร

..สถาบันการศึกษาต่าง..ๆ

มีการนำไปใช้อย่างไร (กรุณาให้ข้อมูลเจาะจง)

ผลที่ได้จากการศึกษาของโครงการ..“พัฒนาการของเสียงวรรณยุกต์ที่เกิดจากอิทธิพลของเสียงพยัญชนะต้นควบกล้ำในภาษาตระกูลมอญ-เขมร..และภาษาตระกูลไท: การศึกษาเชิงกลศาสตร์และโสตสัทศาสตร์”..ทำให้เกิดหนังสือชื่อ..“เสียงวรรณยุกต์ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้: กำเนิดและพัฒนาการ.(Tones in Southeast Asia: Birth and Development)”..ซึ่งมีการเผยแพร่ไปยังห้องสมุดมหาวิทยาลัยทั้งในประเทศ...และต่างประเทศ...(สิงคโปร์...และประเทศอังกฤษ)...และได้มีการนำไปใช้ในการสอนวิชาสัทศาสตร์และสัทวิทยา...ภาควิชาภาษาศาสตร์..คณะมนุษยศาสตร์..มหาวิทยาลัยนเรศวร..และข้อค้นพบนี้ยังนำไปประยุกต์ใช้ฝึกเด็กที่มีความบกพร่องทางการพูดและการได้ยิน