

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง
การศึกษามลทินในพลอยคอรัันดัม
เพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดและมาตรฐาน

โดย



เสนอต่อ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

สำนักนายกรัฐมนตรีย

กุมภาพันธ์ 2545



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษามลทินในพลอยคอรั้นดัม เพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดและมาตรฐาน

โดย ดร. สุพร อินทโสภา และ คณะ

กุมภาพันธ์ 2545

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษามลทินในพลอยคอรั้นดัม
เพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดและมาตรฐาน

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| 1 ดร. สุพร อินทโสภา | กรมทรัพยากรธรณี |
| 2 นางวิลาวัณย์ อดิชาติ | กรมทรัพยากรธรณี |
| 3 รศ. ดร. วิสุทธิ์ พิสุทธิอำนาจนันท | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 4 นายบุญทวี ศรีประเสริฐ | กรมทรัพยากรธรณี |

ชุดโครงการ อุสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

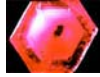


รายงานผลการวิจัย

โครงการ “การศึกษามลทินในพลอยคอร์นดัมเพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดและมาตรฐาน”

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ของโครงการ “การศึกษามลทินในพลอยคอร์นดัมเพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดและมาตรฐาน” รายงานการวิจัยนี้มี 2 ฉบับ โดยฉบับแรกเป็นรายงานทางวิชาการผลการศึกษาวิเคราะห์ พร้อมกับวิจารณ์และสรุปผลงานวิจัยที่ได้ในระหว่างการศึกษาวิจัยในระยะเวลา 2.5 ปี ที่ผ่านมา ส่วนรายงานฉบับที่ 2 เป็นรายงานทางการเงิน ในการบริหารโครงการ

อนึ่งโครงการวิจัยขอแสดงความขอบคุณต่อ นางศรีโสภา มาระเนตร์ ประธานควบคุม การบริหารการเงินของโครงการวิจัยฯ ที่ได้ให้คำแนะนำและดูแลการดำเนินงานวิจัยของโครงการ มาโดยตลอด งานวิจัยของโครงการฯ มีอาจสำเร็จลงได้ด้วยดี ถ้าไม่ได้รับการสนับสนุนเชิงนโยบาย และคำปรึกษาในเชิงวิชาการจาก อธิบดีกรมทรัพยากรธรณี นายนภดล มั่นทะจิตร รองอธิบดีกรมทรัพยากรธรณี นายสมศักดิ์ โพธิ์สัตย์ และผู้อำนวยการกองเศรษฐกิจธรณีวิทยา นายสมัย เจียมจินดารัตน์ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



สัญญาเลขที่ RDG5/0004/2544

โครงการ “การศึกษามลทินในพลอยคอรัลด์ เพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดและมาตรฐาน” ปีที่ 3
รายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการวิจัย

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2544 ถึงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2545

ชื่อหัวหน้าโครงการ ดร. สุพร อินทโสภา

หน่วยงาน กรมทรัพยากรธรณี/ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การดำเนินงาน ☐ ได้ดำเนินงานตามแผนที่วางไว้ทุกประการ
☐ ได้เปลี่ยนแปลงแผนงานที่ได้วางไว้ดังนี้คือ
-โครงการวิจัยเสร็จสิ้นก่อนกำหนด

2. สรุปผลการดำเนินงาน รายละเอียดรายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการฯ ดังเอกสารแนบ

3. ท่านพบอุปสรรคในการดำเนินงานหรือไม่ ถ้าพบกรุณาระบุว่ามีอะไรบ้าง และได้แก้ไขอย่างไรบ้าง?
ลักษณะงานการวิจัยของโครงการฯ ประสบอุปสรรคปัญหาดังนี้

- พลอยคอรัลด์ จากแหล่งต่างๆในประเทศมาดากัสการ์ได้เข้ามาสู่ตลาดอัญมณีในบ้านเราอย่างมากมาย ทำให้การระบุแหล่งที่มาของพลอยมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้น
- ต้องติดตามและจัดหาตัวอย่างมาทำการศึกษาวิเคราะห์ตามแหล่งของวัตถุดิบแหล่งใหม่ๆของพลอยที่ได้นำเข้ามามีในประเทศไทยอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาในช่วงนี้ โดยเฉพาะพลอยจากแหล่งในประเทศมาดากัสการ์ ทำให้งานการวิเคราะห์ตัวอย่างมีจำนวนมาก เวลาจึงเป็นปัจจัยสำคัญของการศึกษา
- เนื่องจากตัวอย่างพลอยที่นำมาทำการศึกษา นั้น ได้มาโดยการจัดซื้อจากผู้ประกอบการในประเทศ จึงมีความเป็นไปได้ที่ตัวอย่างเหล่านั้นได้ผ่านมือผู้ประกอบการมากกว่าหนึ่งรายกว่าจะมา ถึงมือผู้วิจัย ทำให้เกิดการปะปนกันของตัวอย่างจากแหล่งต่างๆ ความคลาดเคลื่อน ในข้อมูลแหล่งที่มาของพลอย และอื่นๆ ซึ่งอาจมีผลต่อการแปลความผลการทดสอบเกณฑ์มาตรฐาน วิธีที่ดีที่สุดในการวิจัยในลักษณะนี้คือผู้วิจัยเข้าไปยังแหล่งพลอยด้วยตัวเอง

4. ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆต่อ สกว.

ลงนาม

.....
(หัวหน้าโครงการ)

วันที่.....



สัญญาเลขที่ RDG5/0004/2544

หน้าปกโครงการวิจัยปีที่ 3

เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

1. ชื่อโครงการ การศึกษามลทินในพลอยคอร์ันดัมเพื่อจัดแบ่งแหล่งกำเนิดและมาตรฐาน

Inclusions in Corundum : a new approach to the definition of standards for origin determination

2. ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานที่สังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail

ดร. สุพร อินทโสภา (Dr. Suporn Intasopa)

ฝ่ายแร่รัตนชาติ กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี

โทร. 202-3866 โทรสาร 202-3681 e-mail sintasopa@hotmail.com

3. ชื่อหน่วยงานที่ร่วมโครงการ (ชื่อบุคคล ในวงเล็บ)

-ฝ่ายวิเคราะห์ทางฟิสิกส์ กองวิเคราะห์ กรมทรัพยากรธรณี

(นางวิลาวณีย์ อติชาติ; Ms. Wilawan Atichat)

(นายบุญทวี ศรีประเสริฐ; Mr. Boonthavee Sriprasert)

-ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(รศ. ดร. วิสุทธิ พิสุทธอนันท์ ; Assoc. Prof. Dr. Visut Pisutha-Armond)

4. งบประมาณทั้งโครงการ 1,228,185 ล้านบาท

5. ระยะเวลาที่ดำเนินงาน 1 ปี

ได้เสนอโครงการนี้ หรือโครงการที่มีส่วนเหมือนกับเรื่องนี้บางส่วนเพื่อขอทุนต่อแหล่งทุนอื่นที่ใดบ้าง ไม่ได้เสนอต่อแหล่งทุนอื่น

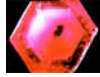


เสนอต่อ

ชื่อโครงการที่เสนอ

กำหนดทราบผล(หรือสถานภาพเท่าที่ทราบ)

หมายเหตุ: สกว. ไม่มีข้อห้ามในการส่งโครงการไปยังแหล่งทุนหลายๆแห่งในเวลาเดียวกัน และอาจเป็นการดี ที่แหล่งทุนมากกว่า 1 แหล่ง จะร่วมกันให้ทุนอุดหนุนการวิจัย สกว.สามารถทำหน้าที่เชื่อมโยงและเสริมการ ให้ทุนได้ แต่ขอให้ระบุตามความจริง



แผนงานโครงการวิจัยในปีที่ 3

1. ชื่อโครงการการศึกษามลทินในพลอยคอร์นดัมเพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดและมาตรฐาน

Inclusions in Corundum: A new approach to the definition of standards for origin determination

2. คณะผู้ดำเนินการวิจัย

1. ดร. สุพร อินทโสภา (Dr. Suporn Intasopa) นักวิจัยผู้รับผิดชอบโครงการ
2. นางวิลาวณีย์ อติชาติ (Mrs. Wilawan Atichat) นักวิจัยในโครงการ
3. รศ. ดร. วิสุทธิ พิสุทธอนันท์ (Assoc. Prof. Dr. Visut Pisutha-Amund) นักวิจัยในโครงการ
4. นายบุญทวี ศรีประเสริฐ (Mr. Boonthavee Sriprasert) นักวิจัยในโครงการ
5. น.ส. อรวสา รอดหิรัญ (Ms. Ornwasa Rodhiran) เจ้าหน้าที่การเงิน

ชื่อหน่วยงาน 1, 5 ฝ่ายแร่รัตนชาติ กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี
2, 4 ฝ่ายวิเคราะห์ทางฟิสิกส์ กองวิเคราะห์ กรมทรัพยากรธรณี
3 ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. สาขาวิชาที่ทำการวิจัย ธรณีวิทยา แร่วิทยา และ อัญมณีศาสตร์

4. ไม่เคยขอทุน สนับสนุนจากแหล่งทุนอื่นใด

5. ไม่เคยทำงานวิจัย ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับโครงการที่เสนอนี้

6. ความสำคัญและที่มาของ ปัญหา ที่ ทำการวิจัย

ปัจจุบันนี้ การวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของประเทศไทยนั้น ยังขาดความรู้และข้อมูลของส่วนประกอบทางเคมี ของมลทินทั้งที่อยู่ในรูปของผลึกแร่และของไหล ที่พบอยู่ในพลอยตระกูลคอร์นดัม (ทับทิมและไพลิน) รวมทั้งความรู้เกี่ยวกับการกำเนิด และแนวทางการกำหนดมาตรฐานคุณภาพของพลอยตระกูลคอร์นดัม ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถ นำมา ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานร่วมกับข้อมูลทางด้านอัญมณีศาสตร์อื่น ๆ ในการจัดแบ่งแหล่งกำเนิด (origin determination) ของพลอยคอร์นดัมเพื่อประโยชน์ต่อการจัดมาตรฐานคุณภาพ และราคาพลอยในตลาดอัญมณี ในการพัฒนาวิธีการเพิ่มคุณภาพพลอยที่เหมาะสม และในการ พัฒนาหาแหล่งแร่พลอยแหล่งใหม่

7. วัตถุประสงค์ของโครงการ

7.1 วิเคราะห์หาชนิดและส่วนประกอบทางเคมีของมลทินในพลอยคอร์นดัม จากแหล่ง ต่างๆ ในประเทศ เช่น จ. กาญจนบุรี จันทบุรี ตราด แพร่ และแหล่งต่างๆ ในประเทศกัมพูชา พม่า ลาว มาดากาสการ์ และแทนซาเนีย

7.2 ศึกษา วิเคราะห์ และรวบรวม ชนิดและลักษณะเฉพาะของมลทิน ในพลอยคอร์นดัม ของแต่ละแหล่ง เพื่อเป็นมาตรฐานในการระบุแหล่งที่มาของพลอยคอร์นดัม

7.3 ศึกษาการกำเนิดของพลอยคอร์นดัม



8. ระยะเวลาที่คาดว่าจะต้องใช้ 1 ปี (ดำเนินการต่อเนื่องมาแล้ว 2 ปี)

9. วิธีการวิจัย

9.1 สำนักรวจธรณีวิทยาและเก็บตัวอย่างพลอยคอร์นดัมในแต่ละแหล่ง

9.2 ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างพลอยคอร์นดัมและมลทินที่อยู่ภายใน โดยเครื่องมือ High magnification binocular microscope, Polarizing Microscope, Refractometer, UV Lamp, Spectroscopy, เครื่องหาความถ่วงจำเพาะชนิด Hydrostatic balance

9.3 วิเคราะห์ชนิดและส่วนประกอบทางเคมี ของพลอยคอร์นดัมและมลทินที่อยู่ภายใน พลอยคอร์นดัมนั้นๆ โดย :- Polarizing Microscope, Raman Spectroscopy, Energy Dispersive X-ray Fluorescences (EDAX), Electron Microprobe Spectroscopy, Heating and Freezing Technique, และ Fourier Transform Infra-red Spectroscopy (FTIR), UV/VIS/NIR Spectroscopy และ PIXE

10. เหตุผลและที่มาของตัวอย่างที่ทำการศึกษา

ในปีที่ 3 (2544-2545) ของการวิจัยนอกจากจะวิเคราะห์ตัวอย่างที่เหลือจาก แผนงานที่ 4 แล้ว โครงการวิจัยฯ ได้พิจารณาหลักการของการทำงานวิจัยควบคู่ไปกับแผนพัฒนา อุตสาหกรรมของประเทศ และเนื่องจากในปัจจุบันนี้ ได้มีพลอยคอร์นดัมจากแหล่ง ในประเทศ มาดากาสการ์และแทนซาเนีย เข้ามาสู่ตลาดพลอยในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก จากข้อมูลตาม ตารางข้างล่างที่แสดงปริมาณการนำเข้า ของ Precious and Semi Precious stones และ พลอยคอร์นดัม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540-2542 ของกรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ จะเห็นได้ว่า ปริมาณการนำเข้า (เท่าที่มีข้อมูลบันทึกเป็นทางการ) ของพลอยเหล่านี้จากแหล่ง ดังกล่าวมีมูลค่า ค่อนข้างมาก

ตารางแสดงมูลค่าการนำเข้าของพลอยคอร์นดัม และพลอย Precious stones Semi Precious stones ปี พ.ศ. 2540-2542 (กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2543)

ประเทศผู้นำเข้า	ปี พ.ศ. 2540 มูลค่า (บาท)	ปี พ.ศ. 2541 มูลค่า (บาท)	ปี พ.ศ. 2542 มูลค่า (บาท)	รวมมูลค่านำเข้า (บาท)
มาดากาสการ์	4,181,150	13,672,749	17,013,686	34,867,585
แทนซาเนีย	34,141,305	26,152,755	23,515,911	83,809,971
ไนจีเรีย	7,887,581	22,917,348	35,725,618	45,910,547
เคนยา	13,082,933	11,109,698	8,018,327	32,210,958

รวม 3 ปี จาก 4 ประเทศผู้นำเข้าเหล่านี้ เป็นมูลค่าทั้งสิ้นประมาณ 200 ล้านบาท (196,799,006บาท)

นอกจากนี้ในแหล่งเพื่อนบ้าน เช่นในประเทศเวียดนาม เป็นแหล่งพลอยคอร์นดัมที่มีศักยภาพสูง ในแง่ของปริมาณและคุณภาพพลอย ซึ่งโครงการฯยังมิได้ทำการศึกษาวิจัยเช่นกัน

การศึกษาวิจัยตัวอย่างพลอยจากแหล่งที่จะเข้ามามีบทบาททางการตลาดในประเทศไทยในปัจจุบัน และในอนาคตอันใกล้ จะช่วยให้อุตสาหกรรมอัญมณีไทยได้ข้อมูลที่จะเป็นประโยชน์ และทันต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมอัญมณีของประเทศ โครงการวิจัยฯ จึงเล็งเห็นว่าควรจะทำการศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างเพิ่มเติมนอกเหนือจากส่วนที่วางแผนไว้เดิม โดยในช่วงเวลานี้ควรทำการศึกษาตัวอย่างจากแหล่ง ในประเทศมาดากัสการ์ และแทนซาเนีย

แหล่งพลอยคอรัลด์ที่ทำการศึกษาในปีที่ 3 มี 7 แหล่งดังนี้

แหล่งที่ทำการศึกษาเพิ่มเติม	ชนิดของคอรัลด์	จำนวน
1. จังหวัดแพร่	ไพลิน	-
2. โมกก ประเทศพม่า	ทับทิม	-
3. Umba ประเทศแทนซาเนีย	ทับทิม ไพลิน แซปไฟร์	50
4. Diego ประเทศมาดากัสการ์	ทับทิม ไพลิน แซปไฟร์	50
5. Ilakaka ประเทศมาดากัสการ์	ทับทิม ไพลิน แซปไฟร์	50
6. Tamatav ประเทศมาดากัสการ์	ทับทิม ไพลิน แซปไฟร์	50
7. Andilamena ประเทศมาดากัสการ์	ทับทิม ไพลิน แซปไฟร์	50

11. ผลงานที่คาดว่าจะได้เมื่อเสร็จสิ้นโครงการโดยสมบูรณ์

11.1 มาตรฐานการระบุแหล่งที่มาของพลอยคอรัลด์

11.2 วิธีการวิเคราะห์มลทินที่เหมาะสม และรวดเร็ว

11.3 ชนิดของมลทิน และส่วนประกอบทางเคมีของพลอยแต่ละแหล่งที่สามารถนำมา ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาวิธีการเพิ่มคุณภาพพลอยที่เหมาะสมของแต่ละแหล่งพลอย และพัฒนาวิธีการตรวจพลอย

11.4 ทราบสถานะแวดล้อมทางธรณีวิทยาของการกำเนิดพลอยคอรัลด์ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์เพื่อการพัฒนาหาแหล่งแร่พลอยแหล่งใหม่ในประเทศ

12. ประโยชน์ของงานวิจัยมลทินในพลอยคอรัลด์ ต่อโครงการวิจัยอื่น ๆ

- โครงการวิจัยนี้ จะได้ข้อมูลทางแร่วิทยาของพลอยคอรัลด์ และมลทินที่อยู่ภายใน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในโครงการวิจัยเรื่อง “การวิจัยและพัฒนา สถานะของการเผาพลอยทับทิม” และในโครงการวิจัย “การศึกษาวิจัยการเพิ่มและลดสีใน แซปไฟร์จากอัฟริกา”

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

ปัจจุบันนี้ การวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของประเทศไทยนั้น ยังขาดความรู้และข้อมูลของส่วนประกอบทางเคมี ชนิดของมลทินทั้งที่อยู่ในรูปของผลึกแร่และของไหล ที่พบอยู่ในพลอยตระกูลคอร์นดัม (ทับทิมและไพลิน) รวมทั้งความรู้เกี่ยวกับการกำเนิด และแนวทางการกำหนดมาตรฐานคุณภาพของพลอยตระกูลคอร์นดัม ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานร่วมกับข้อมูลทางด้านอัญมณีศาสตร์อื่น ๆ ในการจัดแบ่งแหล่งกำเนิด (origin determination) ของพลอยคอร์นดัมเพื่อประโยชน์ต่อ การจัดมาตรฐานคุณภาพและราคาพลอยในตลาดอัญมณี การพัฒนาวิธีการเพิ่มคุณภาพพลอยที่เหมาะสมและการพัฒนาหาแหล่งแร่พลอยแหล่งใหม่ได้

การศึกษาวิจัยของโครงการจึงได้ศึกษาการกำเนิดของพลอยคอร์นดัมโดยวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของพลอยคอร์นดัมจากแหล่งต่างๆในประเทศ เช่น กาญจนบุรี จันทบุรี ตราด แพร่ และแหล่งต่างๆนอกประเทศเช่น กัมพูชา พม่า ลาว มาดากัสการ์ และแทนซาเนีย รวมทั้งวิเคราะห์และรวบรวม ชนิดและลักษณะเฉพาะของมลทิน ในพลอยคอร์นดัมของแต่ละแหล่ง เพื่อเป็นมาตรฐานในการระบุแหล่งที่มาของพลอยคอร์นดัม โดยทำการศึกษาสภาพธรณีวิทยาแหล่งแร่และเก็บตัวอย่างพลอยคอร์นดัมในแต่ละแหล่ง ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างพลอยคอร์นดัม และมลทินที่อยู่ภายใน โดยเครื่องมือ High magnification binocular microscope, Polarizing Microscope, Refractometer, UV Lamp, Spectroscopy, เครื่องหาความถ่วงจำเพาะชนิด Hydrostatic balance การวิเคราะห์ชนิดและส่วนประกอบทางเคมีของพลอยคอร์นดัมและมลทินที่อยู่ภายในพลอยคอร์นดัมนั้นๆ โดย : Polarizing Microscope, Raman Spectroscopy, Energy Dispersive X-ray Fluorescences (EDAX), Electron Microprobe Spectroscopy, Heating and Freezing Technique, และ Fourier Transform Infra-red Spectroscopy (FTIR), UV/VIS/NIR Spectroscopy และ PIXE และจัดทำผลวิเคราะห์ต้นแบบเพื่อใช้เป็นชุดวิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ เพื่อทำการทวนสอบผลวิเคราะห์ต้นแบบ ได้ทดลองทดสอบผลวิเคราะห์ต้นแบบนี้โดยใช้ตัวอย่างพลอยคอร์นดัมที่ทราบแหล่งที่มาและไม่ทราบแหล่งที่มาเพื่อทำการทดสอบความถูกต้องแม่นยำอีกชั้นหนึ่ง

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ ได้มีพลอยคอร์นดัมจากแหล่งต่างๆในประเทศมาดากัสการ์และแทนซาเนีย เข้ามาสู่ตลาดพลอยในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก จึงได้ทำการศึกษาพลอยคอร์นดัมจากแหล่งเหล่านี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลเพิ่มเติม พร้อมทั้งได้รวบรวมลักษณะธรณีวิทยาแหล่งพลอยทับทิมและแซปไฟร์ในประเทศมาดากัสการ์ กฎระเบียบข้อบังคับ การทำเหมืองแร่และการซื้อขายวัตถุดิบพลอยเพื่อประโยชน์ต่อผู้ประกอบการที่ต้องการข้อมูลเหล่านี้สำหรับการประกอบธุรกิจอัญมณีในประเทศมาดากัสการ์อีกด้วย

ผลงานที่ได้เมื่อเสร็จสิ้นโครงการโดยสมบูรณ์ ได้แก่ มาตรฐานการระบุแหล่งที่มาของพลอยคอร์นดัม วิธีการวิเคราะห์มลทินที่เหมาะสม และรวดเร็ว ชนิดของมลทิน และส่วนประกอบทางเคมีของพลอยแต่ละแหล่งที่สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาวิธี

การเพิ่มคุณภาพพลอยที่เหมาะสมของแต่ละแหล่งพลอย และพัฒนาวิธีการตรวจพลอย ทราบ
สภาวะแวดล้อมทางธรณีวิทยาของการกำเนิดพลอยคอร์นดัม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์เพื่อการ
พัฒนาหาแหล่งแร่พลอยแหล่งใหม่ในประเทศ ท้ายสุดโครงการวิจัยนี้ จะได้ข้อมูลทางแร่วิทยาของ
พลอยคอร์นดัมและมลทินที่อยู่ภายใน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานใน
โครงการวิจัยเรื่อง “การวิจัยและพัฒนา สภาวะของการเผาพลอยทับทิม” และในโครงการวิจัย “การ
ศึกษาวิจัยการเพิ่มและลดสีใน แซปไฟร์จากอาฟริกา”

Abstract

Since the gem corundum from Madagascar are the most important and widely used as raw materials in today gem industry in Thailand, this project “Inclusions in Corundum : a new approach to the definition of standards for origin determination” is mainly focused on geological study of gemstone deposit, mining, and identification of the corundum from various localities in this area. Furthermore, the master plan for this project is to study the physical and optical properties of rubies and sapphires from other areas as well.

Our scope and objectives are; 1) to collect information on rubies and sapphires from various deposits during phase 1 to final phase for comparison purpose; 2) to investigate the geological occurrences, mining laws and mining act for trading in Madagascar; 3) to analyze the chemical composition of rubies and sapphires from Madagascar and other deposits by Energy Dispersive X-ray fluorescence in order to differentiated their origins. The chemical data of rubies and sapphires will be corrected by statistical method together with all collected data from the former analyses. The chemical data will then be used together with the characteristic Infra-red and UV-VIS NIR spectra, the inclusion information by visual characteristics, and Raman analyses for the determination of their origin.

The results of this study are able to differentiate the origins of the corundum. That is, the species and varieties of mineral inclusions and trace element contents together with their characteristic absorption spectra can be used as unique patterns to define their geographic localities.

The outcome of this investigation will be beneficial not only for building up the database for Thai researchers and laboratories but also for the whole gems corundum industry. Scientifically, the corundum gem prices should be evaluated based on the quality of the gems themselves rather than from where they come from. Traditionally, however, the value of gem corundum was appraised by its quality as well as the geographic locality.

บทคัดย่อ

เนื่องจากในขณะนี้พลอยคอร์ันดัมจากประเทศมาดากัสการ์ เป็นวัตถุดิบแร่รัตนชาติที่สำคัญของ อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของประเทศไทย โครงการวิจัยเรื่อง “การศึกษามลทินในพลอยคอร์ันดัม เพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดและมาตรฐาน” ได้เน้นทำการศึกษาสภาพธรณีวิทยา การทำเหมืองแร่พลอย และศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างแร่พลอยคอร์ันดัมจากแหล่งต่างๆ ในประเทศมาดากัสการ์มากกว่าแหล่งอื่น ๆ นอกจากนี้การศึกษวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และทางแสงของตัวอย่างพลอยและอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องของแหล่งอื่น ๆ ยังเป็นการปฏิบัติงานที่ดำเนินการตามแผนงานหลักเช่นกัน

ขอบเขตและเป้าหมายในการวิจัยครั้งนี้; 1) เพื่อรวบรวมและประมวลการศึกษาของทับทิมและ ไพลีนจากแหล่งต่างๆของโลกสำหรับใช้ในการเปรียบเทียบ; 2) เพื่อศึกษาตรวจสอบลักษณะสภาพทางธรณีวิทยา, กฎหมายการทำเหมืองและกฎระเบียบต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทำธุรกิจอัญมณีในประเทศมาดากัสการ์; 3) เพื่อวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีต่างๆของทับทิมและไพลีนทั้งจากแหล่งมาดากัสการ์และแหล่งอื่น ๆ โดยใช้เอนเนย์ดิสเพอร์ซิฟเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์เพื่อประเมินค่าตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการระบุถึงแหล่งกำเนิด ผลลัพธ์ในการวิเคราะห์ของทับทิมและไพลีนถูกตรวจแก้โดยวิธีการคำนวณทางสถิติรวมเข้ากันกับข้อมูลทั้งหมดจากการวิเคราะห์อื่น ๆ ซึ่งรวมถึงการศึกษาลักษณะเฉพาะของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด และ UV-VIS-NIR และการศึกษาชนิดมลทินโดยลักษณะปรากฏและการวิเคราะห์โดย Raman spectroscopy สำหรับใช้ในการพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดของมัน

การตรวจสอบและการศึกษาเปรียบเทียบนี้ พยายามที่จะใช้เพื่อระบุแหล่งกำเนิดของคอร์ันดัม โดยสรุปแล้ว ประเภทและชนิดของมลทินแร่ ปริมาณธาตุร่องรอยรวมทั้งลักษณะเฉพาะของการดูดกลืนรังสี สามารถใช้เป็นรูปแบบเดียวที่จะจำกัดถึงสถานที่ทางภูมิศาสตร์ของพลอยคอร์ันดัมได้

ผลลัพธ์ของการตรวจสอบนี้จะไม่เพียงเป็นประโยชน์สำหรับเป็นความรู้พื้นฐานในการต่อยอดของนักวิจัยไทยและห้องปฏิบัติการเท่านั้นแต่ยังเป็นผลดีต่ออุตสาหกรรมอัญมณีในภาพรวมอีกด้วย ในเชิงวิทยาการ ราคาพลอยคอร์ันดัมควรจะตัดสินและประเมินโดยใช้คุณภาพของพลอยเองเป็นสำคัญโดยไม่ใช้แหล่งที่มาเป็นตัวกำหนด อย่างไรก็ตาม ด้วยความนิยมมาช้านาน ราคาของพลอยคอร์ันดัมส่วนใหญ่ มักถูกประเมินโดยขึ้นอยู่กับคุณภาพ และแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์

สารบัญ

	หน้า
บทนำ	
บทที่ 1	1
ประเทศมาดากัสการ์	2
1.1 ประเทศมาดากัสการ์	2
1.2 ลักษณะภูมิประเทศ	2
1.3 ธรณีวิทยาทั่วไป	3
1.4 ธรณีวิทยาแหล่งพลอยทับทิมและแซปไฟร์	4
1.5 แหล่งพลอยทับทิมและแซปไฟร์ในประเทศมาดากัสการ์	6
บทที่ 2 กฎระเบียบ ข้อบังคับ และการทำเหมืองแร่และการซื้อขายวัตถุดิบพลอยในประเทศมาดากัสการ์	14
2.1 การขอวีซ่า	14
2.2 การเปิดบริษัท	15
2.3 การขอ Long Stay Visa	15
2.4 การยื่นขอสัมปทาน	16
2.5 ระหว่างการทำเหมือง	16
2.6 การส่งออก	17
2.7 การรายงานสรุปรประจำปี	18
2.8 การเสียภาษีประจำปี	19
บทที่ 3 การศึกษาพลอยคอรัันดัมจากแหล่งพลอยอิลากากา ประเทศมาดากัสการ์	20
3.1 ลักษณะตัวอย่าง	20
3.2 ลักษณะรูปผลึก	20
3.3 เขตสีพลอย	20
3.4 การเตรียมตัวอย่าง	20
3.5 ผลวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานทางแสง	21
3.6 ลักษณะภายใน	24
3.7 การวิเคราะห์ทางเคมี	33
3.8 การศึกษาการดูดกลืนคลื่นแสงช่วงอินฟราเรด	33
3.9 การศึกษาการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR	40
บทที่ 4 การจัดทำผลวิเคราะห์ต้นแบบ	
4.1 ผลการศึกษาวิเคราะห์	48
4.2 การดูดกลืนแสงอินฟราเรดในช่วงคลื่น UV-VIS-NIR ของพลอยคอรัันดัม	67
4.3 การศึกษาสเปกตรัมอินฟราเรด	75
4.4 มลทินผลึกแร่ในพลอยคอรัันดัมจากแหล่งต่าง ๆ: วิเคราะห์โดย Laser Raman Spectrometer	87

สารบัญ

	หน้า
4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	111
4.6 การทดสอบตัวอย่างชุดผลวิเคราะห์ต้นแบบ โดยใช้ ตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมที่ทราบแหล่งที่มา	121
4.7 การทดสอบตัวอย่างชุดผลวิเคราะห์ต้นแบบ โดยใช้ ตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมที่ไม่ทราบแหล่งที่มา	160
บทที่ 5 บทสรุปและข้อชี้แนะ	193
5.1 ที่มาและความคาดหวัง	193
5.2 วิธีการศึกษา	194
5.3 สรุปผลการศึกษาวิจัยของโครงการฯ	197
5.3.1 ลักษณะทางกายภาพ	197
5.3.2 ส่วนประกอบทางเคมี	197
5.3.3 ลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรด	197
5.3.4 ลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสง UV-VIS-NIR	199
6.4 คุณสมบัติที่ใช้ในการระบุแหล่งที่มา	199
6.5 มาตรฐานการตรวจสอบพลอยคอร์ันดัมเพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิด	200
6.5 บทวิจารณ์และประเด็นปัญหา	222

ภาค ผนวก

- 1 A comparative study on corundums from Southeast Asia : their application to Origin determination
- 2 Inclusions in Chantaburi- Trat Corundum : A Clue to Their Genesis

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงเขตจังหวัด 6 เขต และแสดงตำแหน่งของแหล่ง พลอยทับทิมและแซปไฟร์ที่สำคัญ	8
1.2 แผนที่ธรณีวิทยาทางตอนใต้ของประเทศมาดากัสการ์	10
1.3 บริเวณเหมืองพลอยและพลอยแซปไฟร์ที่พบในประเทศมาดากัสการ์	11
1.4 การเกิดแหล่งแร่แบบทุติยภูมิของแหล่งพลอยมาดากัสการ์	12
1.5 ภาควัสดุของเกาะมาดากัสการ์และตำแหน่งเหมืองในบริเวณ Sakaraha-Ilakaka	13
3.1 อธิบายภาพกับนิสัรูปผลึกจำลองของแร่พลอยคอร์รันดัม	21
3.2 แสดงลักษณะตัวอย่างพลอยดิบในกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B)	22
3.3 แสดงลักษณะตัวอย่างพลอยดิบในกลุ่มสีม่วง (SPI-V)	22
3.4 แสดงลักษณะตัวอย่างพลอยดิบในกลุ่มสีชมพู (SPI-P)	22
3.5 แสดงลักษณะตัวอย่างพลอยดิบในกลุ่มไร้สี (SPI-CL)	22
3.6 แสดงลักษณะพลอยดิบในกลุ่มสีน้ำเงินที่ได้ทำการขัดเปิดหน้าตั้งจากกับแกนแสง	23
3.7 แสดงลักษณะพลอยดิบในกลุ่มสีม่วงที่ได้ทำการขัดเปิดหน้าตั้งจากกับแกนแสง	23
3.8 แสดงลักษณะพลอยดิบในกลุ่มสีชมพูที่ได้ทำการขัดเปิดหน้าตั้งจากกับแกนแสง	23
3.9 แสดงลักษณะพลอยดิบในกลุ่มไร้สีที่ได้ทำการขัดเปิดหน้าตั้งจากกับแกนแสง	23
3.10 มลทินแร่เพทายในพลอยกลุ่มสีน้ำเงินมาเกิดรวมอยู่กันเป็นกลุ่ม และแสดงลักษณะวงรีที่มีที่เกิดจากกัมมันตรังสี	25
3.11 รามานสเปกตรัมของมลทินแร่เพทายในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน	25
3.12 มลทินผลึกแร่อะพาไทต์ในกลุ่มพลอยสีน้ำเงิน	26
3.13 รามานสเปกตรัมของมลทินแร่อะพาไทต์ในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน	26
3.14 มลทินผลึกแร่พาราโกไนต์ ในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน	27
3.15 รามานสเปกตรัมของมลทินแร่พาราโกไนต์ในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน	27
3.16 มลทินผลึกกลวงทุติยภูมิที่เรียงตัวกันตามระนาบในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน	28
3.17 รามานสเปกตรัมของมลทินของไหลคาร์บอนไดออกไซด์ ที่บรรจุในมลทินผลึกกลวง	28
3.18 รามานสเปกตรัมของมลทินผลึกแร่โมโนไซต์ในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน	29
3.18 มลทินเส้นเข็มรูไทล์ วางตัวตัดกันด้วยมุม 60/120 องศา พบในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน	29
3.20 มลทินรอยแตกสมานรูปจานพบในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน	30
3.21 มลทินรอยแตกสมานรูปรอยนิ้วมือ มลทินผลึกกลวงและเหล็กออกไซด์ พบในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน	30
3.22 มลทินรอยแตกสมานรูปรอยนิ้วมือ พบในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน	31

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.23 มลทินรอยแตกสมานรูปขนนก พบในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน	31
3.24 มลทินที่ตกลงวางตัวขนานกับแนวการเติบโตของผลึกแร่คอร์รันดัม	32
3.25 มลทินผลึกแร่เพทายที่มีลักษณะขอบมน อยู่ร่วมกันเป็นกลุ่ม พบในพลอยกลุ่มสีม่วง	32
3.26 ตัวอย่างพลอยอิลากากาในกลุ่มสีม่วงที่แสดงแนวการเจริญเติบโต ของผลึกพลอยทำมุม 120 องศา	34
3.27 มลทินที่ตกลงวางตัวขนานกัน พบในพลอยกลุ่มสีม่วง	34
3.28 มลทินแร่เพทายที่มีลักษณะขอบมน พบกระจายอยู่ทั่วไป ในเนื้อพลอยซึ่งเป็นลักษณะเด่นของพลอยกลุ่มสีชมพู	35
3.29 มลทินแร่เพทายที่รวมตัวอยู่เป็นกลุ่ม พบในพลอยกลุ่มไร้สี	35
3.30 มลทินผลึกกึ่งยาวคล้ายดาวหาง พบในพลอยกลุ่มไร้สี	36
3.31 มลทินผลึกกึ่งวงที่บรรจุด้วยของไหลสองสถานะ พบในพลอยกลุ่มไร้สี	36
3.32 มลทินเข็มยาวของแร่รูไทล์ พบในกลุ่มพลอยไร้สี	37
3.33 มลทินที่ตกลง ในบางส่วนของท่อจะมีเหล็กออกไซด์สีน้ำตาลแดงบรรจุอยู่	37
3.34 สเปกโตรแกรม ของการดูดกลืนแสงอินฟราเรดในช่วงกลางและไกล ของพลอยในกลุ่มสีน้ำเงิน ทั้ง 14 ตัวอย่าง	38
3.35 สเปกโตรแกรม ของการดูดกลืนแสงอินฟราเรดในช่วงกลางและไกล ของพลอยในกลุ่มสีม่วง ทั้ง 4 ตัวอย่าง	38
3.36 สเปกโตรแกรม ของการดูดกลืนแสงอินฟราเรดในช่วงกลางและไกล ของพลอยในกลุ่มสีชมพู ทั้ง 4 ตัวอย่าง	39
3.37 สเปกโตรแกรม ของการดูดกลืนแสงอินฟราเรดในช่วงกลางและไกล ของพลอยในกลุ่มไร้สี ทั้ง 7 ตัวอย่าง	39
3.38 แสดงสเปกโตรแกรมของการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของพลอยในกลุ่มสีน้ำเงิน	41
3.39 แสดงสเปกโตรแกรมของการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของพลอยในกลุ่มสีม่วง บางตัวอย่าง	42
3.40 แสดงสเปกโตรแกรมของการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของพลอยในกลุ่มสีชมพู บางตัวอย่าง	43
3.41 มลทินรอยแตกสมานรูปรอยนิ้วมือ มลทินผลึกกึ่งวงและเหล็กออกไซด์ พบในพลอยกลุ่มไร้สี	44
3.42 แสดงการเปรียบเทียบสเปกโตรแกรมของการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของพลอยสีน้ำเงินจากกาญจนบุรี, ศรีลังกา และอิลากากา	46
3.43 แสดงการเปรียบเทียบสเปกโตรแกรมของการดูดกลืนคลื่นแสง ในช่วง UV-VIS-NIR ของพลอยทับทิมจากประเทศไทย โมกก ประเทศเมียนมาร์ และแซปไฟร์สีชมพูจากอิลากากา ประเทศมาดากัสการ์	46

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 4.1	ลักษณะปรากฏของตัวอย่างไฟลีน จังหวัดแพร่	49
4.2	ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิมแหล่งโมกก ประเทศเมียนมาร์	50
4.3	ลักษณะปรากฏของตัวอย่างแซปไฟร์ จากแหล่งอุมบา ประเทศแทนซาเนีย	51
4.4	ลักษณะปรากฏของตัวอย่างแซปไฟร์ แหล่งเดียโก จังหวัดแอนท์ชิรานานา ประเทศมาดากัสการ์	52
4.5	ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิม จากแหล่งแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์	54
4.6	ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิม จากแหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์	55
4.7	ลักษณะปรากฏของตัวอย่างแซปไฟร์แหล่งอิลากากาและชาคาราฮา ประเทศมาดากัสการ์	56
4.8	มลทินภายในตัวอย่างพลอยไฟลีน จากจังหวัดแพร่	58
4.9	มลทินผลึกแร่ชนิดต่าง ๆ และมลทินของไหลที่พบในทับทิม จากแหล่งโมกก ประเทศพม่า	59
4.10	มลทินภายในพลอยจากแหล่งอุมบา ประเทศแทนซาเนีย	60
4.11	มลทินภายในพลอยจากแหล่งเดียโก ประเทศมาดากัสการ์	61
4.12	มลทินภายในพลอยจากแหล่งอิลากากา ประเทศแทนซาเนีย	62
4.13	มลทินภายในพลอยจากแหล่งอิลากากา ประเทศแทนซาเนีย	63
4.14	มลทินภายในพลอยจากแหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์	64
4.15	มลทินผลึกแร่ชนิดต่าง ๆ และมลทินของไหลในตัวอย่างทับทิมจากแหล่ง แอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์	65
4.16	มลทินผลึกแร่ชนิดต่าง ๆ และมลทินของไหล ในตัวอย่างทับทิมจากแหล่ง แอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์	66
4.17	Schematic diagram of UV-VIS spectrophotometer	67
4.18	ลักษณะกราฟของการดูดกลืนแสง UV-VIS-NIR ของพลอยคอร์ันดัม	69
4.19	ตัวอย่างสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่น UV-VIS-NIR ของไอออน Fe^{3+} , Cr^{3+} , $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{3+}$ และ $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ pairs ในแร่พลอยคอร์ันดัม	72
4.20	ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วงคลื่น UV-VIS-NIR ของแร่พลอยทับทิมและแซปไฟร์จากแหล่ง จ.แพร่ และแหล่งอิลากากา และแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์	73
4.21	ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วงคลื่น UV-VIS-NIR ของทับทิม และแซปไฟร์จากแหล่งตามาตาฟ และแอนท์ชิรานานา ประเทศมาดากัสการ์ ไฟลีนแหล่งอุมบา ประเทศแทนซาเนีย และทับทิมแหล่งโมกก ประเทศพม่า	74
4.22	ลักษณะการสันสะท้อนแบบยี่ดหยุ่น และแบบโค้งของอะตอม ในโครงสร้างโมเลกุล	76
4.23	ตัวอย่างลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนของการสันแบบยี่ดและแบบโค้ง	76

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 4.24	สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลินจากแหล่งแร่	79
4.25	สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม จากแหล่งโมกก สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน	80
4.26	สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน แหล่งอุมบา ประเทศแทนซาเนีย	81
4.27	สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน จากแหล่งอิลาากา ประเทศมาดากัสการ์	82
4.28	สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน จากแหล่งเดียโก แอนท์ซีรานานา ประเทศมาดากัสการ์	83
4.29	สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม จากแหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์	84
4.30	สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม จากแหล่งแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์	85
4.31	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมที่ผ่านการเผาจากแหล่ง แอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์	86
4.32-4.54	แสดงผลรามานสเปกตรัมของการวิเคราะห์ผลึกใน พลอยคอร์ันดัมจากแหล่งต่าง ๆ	88
4.55	ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่าง พลอยคอร์ันดัมที่ทราบแหล่งที่มา จำนวน 8 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 24 ตัวอย่าง	133
4.56	ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่าง พลอยคอร์ันดัมที่ทราบแหล่งที่มา จำนวน 8 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 24 ตัวอย่าง	134
4.57	ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่าง พลอยคอร์ันดัมที่ทราบแหล่งที่มา จำนวน 8 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 24 ตัวอย่าง	135
4.58	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัมจากแหล่งศรีลังกา	136
4.59	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัมจากแหล่งอาฟริกา	137
4.60	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัมจากแหล่งอาฟริกา	138
4.61	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัมจากแหล่งอาฟริกา	139
4.62	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัมจากแหล่งอาฟริกา	140
4.63	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งตามาตาฟ	141
4.64	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งตามาตาฟ	142
4.65	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งตามาตาฟ	143
4.66	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งตามาตาฟ	144
4.67	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งตามาตาฟ	145
4.68	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งตามาตาฟ	146

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 4.69 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลินจากแหล่งอุмба ประเทศแทนซาเนีย	147
4.70 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งจันทบุรี-ตราด	148
4.71 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งมอซุ ประเทศพม่า	149
4.72 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งมอซุ ประเทศพม่า	150
4.73 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งประเทศแทนซาเนีย	151
4.74 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งประเทศแทนซาเนีย	152
4.75 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลินจากแหล่งแอนดิลามินา	153
4.76 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของแซปไฟร์สีชมพูจากแหล่งแอนดิลามินา	154
4.77 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของแซปไฟร์สีชมพู จากแหล่งแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์	155
4.78 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลินจากแหล่งประเทศออสเตรเลีย	156
4.79 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลินจากแหล่งประเทศออสเตรเลีย	157
4.80 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลินจากแหล่งประเทศไนจีเรีย	158
4.81 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลินจากแหล่งประเทศไนจีเรีย	159
4.82 ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่าง พลอยคอร์ันดัมที่ไม่ทราบแหล่งที่มา จำนวน 8 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 20 ตัวอย่าง	170
4.83 ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่าง พลอยคอร์ันดัมที่ไม่ทราบแหล่งที่มา จำนวน 6 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 20 ตัวอย่าง	171
4.84 ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่าง พลอยคอร์ันดัมที่ไม่ทราบแหล่งที่มา จำนวน 6 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 20 ตัวอย่าง	172
4.85 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัม ไม่ทราบแหล่งที่มา	173
4.86 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัม ไม่ทราบแหล่งที่มา	174
4.87 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัม ไม่ทราบแหล่งที่มา	175
4.88 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน ไม่ทราบแหล่งที่มา	176
4.89 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน ไม่ทราบแหล่งที่มา	177
4.90 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม ไม่ทราบแหล่งที่มา	178
4.91 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม ไม่ทราบแหล่งที่มา	179
4.92 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม ไม่ทราบแหล่งที่มา	180
4.93 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม ไม่ทราบแหล่งที่มา	181
4.94 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม ไม่ทราบแหล่งที่มา	182
4.95 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน ไม่ทราบแหล่งที่มา	183
4.96 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัม ไม่ทราบแหล่งที่มา	184
4.97 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของแซปไฟร์สีม่วง ไม่ทราบแหล่งที่มา	185

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 4.98 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของแซปไฟร์สีม่วง ไม่ทราบแหล่งที่มา	186
4.99 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน ไม่ทราบแหล่งที่มา	187
4.100 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน ไม่ทราบแหล่งที่มา	188
4.101 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน ไม่ทราบแหล่งที่มา	189
4.102 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน ไม่ทราบแหล่งที่มา	190
4.103 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม ไม่ทราบแหล่งที่มา	191
4.104 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม ไม่ทราบแหล่งที่มา	192

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติพื้นฐานทางแสงของพลอยแซปไฟร์ 4 กลุ่ม จากแหล่งพลอยอิลากากา ประเทศมาดากัสการ์	24
3.2 แสดงผลวิเคราะห์ของพลอยแซปไฟร์ 4 กลุ่ม จากแหล่งพลอยอิลากากา	47
4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยในตัวอย่างแซปไฟร์ จังหวัดแพร่	49
4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของทับทิม แหล่งโมกก ประเทศพม่า	50
4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของแซปไฟร์จากแหล่งอุมบา ประเทศแทนซาเนีย	51
4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยในตัวอย่าง ของไพลินจากแหล่งเตียโก จังหวัดแอนท์ซิริรานานา ประเทศมาดากัสการ์	53
4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของทับทิม (เผา) จากแหล่งแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์	54
4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของทับทิม จากแหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์	55
4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของแซปไฟร์ แหล่งอิลากากา และชาคาราฮา ประเทศมาดากัสการ์	56
4.8 แสดงสีของพลอยคอร์ันดัมและสาเหตุที่ทำให้เกิดสี	71
4.9 แสดงลักษณะของช่วงความถี่ของการดูดกลืนของกลุ่ม O-H และ C-H	77
4.10 แสดงแหล่งและจำนวนของตัวอย่างที่ทำการศึกษาค่าทางสถิติ	112
4.11 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอย ของไพลิน จังหวัดจันทบุรี-ตราด	112
4.12 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอย ของไพลิน จังหวัดกาญจนบุรี	113
4.13 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอย ของไพลิน จังหวัดแพร่	113
4.14 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอย ของไพลิน ประเทศเมียนมาร์	114
4.15 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของไพลิน ประเทศกัมพูชา	114
4.16 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของไพลิน ประเทศลาว	115
4.17 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของไพลิน ประเทศออสเตรเลีย	115
4.18 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของไพลิน ประเทศไนจีเรีย	116

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.19 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของไพลิน แหล่งอุ้มบา ประเทศแทนซาเนีย	116
4.20 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอย ของตัวอย่างแชปไฟร์จากแหล่งอิลากากา ประเทศมาดากัสการ์	117
4.21 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอย ของตัวอย่างแชปไฟร์จากแหล่งเตียโก ประเทศมาดากัสการ์	117
4.22 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของตัวอย่างทับทิม จากแหล่งจังหวัดจันทบุรี-ตราด	118
4.23 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของตัวอย่างทับทิม จากแหล่งโมกก ประเทศเมียนมาร์	118
4.24 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของตัวอย่างทับทิม จากแหล่งมอซุ	119
4.25 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของตัวอย่างทับทิม จากประเทศกัมพูชา	119
4.26 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของตัวอย่างทับทิม จากแหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์	120
4.27 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของตัวอย่างทับทิม จากแหล่งแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์	120
5.1 สรุปลักษณะการทำงานของเครื่องมือระดับสูง	196
5.2 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างพลอยคอร์นดัม จากแหล่งต่าง ๆ ในประเทศไทย	201
5.3 แสดงช่วงปริมาณธาตุร่องรอยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score=95) ของพลอยคอร์นดัม จังหวัดจันทบุรีและตราด	203
5.4 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์นดัม จาก อ. บ่อพลอย จ. กาญจนบุรี	204
5.5 แสดงช่วงปริมาณธาตุร่องรอยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score=95) ของไพลินจากแหล่ง อ. บ่อพลอย จ. กาญจนบุรี	204
5.6 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์นดัมจากแหล่งโมกก และมอซุ ประเทศพม่า	205
5.7 แสดงช่วงปริมาณธาตุร่องรอยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากผลการคำนวณค่า ทางสถิติ (Z score=95) ของพลอยคอร์นดัม จากโมกกและมอซุ ประเทศพม่า	205
5.8 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์นดัม จากแหล่งในประเทศกัมพูชา	206

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 5.9	แสดงช่วงปริมาณธาตุร่รยเป็นเปอร์เซนต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score=95) ของพลอยคอร์ันดัม จากแหล่งในประเทศกัมพูชา	206
5.10	ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์ันดัมจากแหล่งบ้านห้วยทราย ประเทศลาว	207
5.11	แสดงช่วงปริมาณธาตุร่รยเป็นเปอร์เซนต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score=95) จากแหล่งบ้านห้วยทราย ประเทศลาว	207
5.12	ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์ันดัม จากแหล่งในประเทศออสเตรเลีย	208
5.13	แสดงช่วงปริมาณธาตุร่รยเป็นเปอร์เซนต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ ((Z score=95) ของไพลินจากแหล่งประเทศออสเตรเลีย	208
5.14	ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์ันดัม จากแหล่งในประเทศออฟริกา	209
5.15	แสดงช่วงปริมาณธาตุร่รยเป็นเปอร์เซนต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score=95) ของไพลินจากแหล่งประเทศไนจีเรีย และแหล่งอุมบา ประเทศแทนซาเนีย	209
5.16	ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์ันดัม จากแหล่งในประเทศศรีลังกา	210
5.17	ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์ันดัม จากแหล่งทางตอนเหนือ จากประเทศกัมพูชา	211
5.18	แสดงช่วงปริมาณธาตุร่รยเป็นเปอร์เซนต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score=95) ของพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งเตียโก จังหวัดแอนท์ชิรานานา ประเทศมาดากัสการ์	211
5.19	ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์ันดัม จากแหล่งอิลากากา-สการาฮา ประเทศมาดากัสการ์	212
5.20	แสดงช่วงปริมาณธาตุร่รยเป็นเปอร์เซนต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score=95) ของแซปไฟร์จากแหล่งอิลากากา-สการาฮา ประเทศมาดากัสการ์	212
5.21	ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์ันดัม จากแหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์	213
5.22	แสดงช่วงปริมาณธาตุร่รยเป็นเปอร์เซนต์จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score=95) ของทับทิมจากแหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์	213

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 5.23	ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์นดัม จากแหล่งแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์	214
5.24	แสดงช่วงปริมาณธาตุร่องรอยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score=95) ของทับทิมจากแหล่งแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์	214
5.25	แสดงปริมาณเปรียบเทียบของ Fe_2O_3 ที่วิเคราะห์ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ ในตัวอย่างพลอยคอร์นดัม จากแหล่งต่าง ๆ โดยเครื่อง EDXRF	215
5.26	แสดงปริมาณเปรียบเทียบของ TiO_2 ที่วิเคราะห์ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ ในตัวอย่างพลอยคอร์นดัม จากแหล่งต่าง ๆ โดยเครื่อง EDXRF	216
5.27	แสดงปริมาณเปรียบเทียบของ V_2O_5 ที่วิเคราะห์ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ ในตัวอย่างพลอยคอร์นดัม จากแหล่งต่าง ๆ โดยเครื่อง EDXRF	217
5.28	แสดงปริมาณเปรียบเทียบของ Cr_2O_3 ที่วิเคราะห์ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ ในตัวอย่างพลอยคอร์นดัม จากแหล่งต่าง ๆ โดยเครื่อง EDXRF	218
5.29	แสดงปริมาณเปรียบเทียบของ Ga_2O_3 ที่วิเคราะห์ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ ในตัวอย่างพลอยคอร์นดัม จากแหล่งต่าง ๆ โดยเครื่อง EDXRF	219
5.21	ชนิดของมลทินผลึกแร่ที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างแร่พลอยคอร์นดัมจากแหล่งต่าง ๆ	220

บทนำ

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการวิจัยเรื่อง “มลทินในพลอยคอรัณดัม เพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดและมาตรฐาน” ในช่วงเวลาที่ผ่านมามีโครงการวิจัยนี้ได้เน้นทำการศึกษาสภาพธรณีวิทยา แหล่งเหมืองแร่พลอย และศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างแร่พลอยคอรัณดัมจากแหล่งต่างๆในประเทศมาดากัสการ์ มากกว่าแหล่งอื่นๆ เนื่องจากในขณะนี้แหล่งพลอยในประเทศมาดากัสการ์เป็นแหล่งวัตถุดิบแร่รัตนชาติที่สำคัญ ของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของประเทศไทย และนอกจากนี้การศึกษวิเคราะห์คุณสมบัติตัวอย่างพลอยและอื่นๆที่เกี่ยวข้องของแหล่งเหล่านี้ ยังเป็นการปฏิบัติงานที่ดำเนินการตามแผนงานที่วางไว้ด้วยเช่นกัน

โครงการวิจัยได้รายงานผลการศึกษาในรูปของผลการศึกษาตัวอย่างพลอยจากแหล่งต่างๆเพิ่มเติม และได้รายงานสภาพธรณีวิทยา กฎระเบียบต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทำธุรกิจ อัญมณีในประเทศมาดากัสการ์ รายงานผลที่ได้จากการศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างพลอยมาดากัสการ์ และผลที่ได้จากการศึกษาทางสถิติ รวมทั้งรายงานสรุปผลของตัวอย่างทั้งหมดที่ทำการศึกษาวิจัย ทั้งนี้เพื่อทำการประเมินตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการระบุแหล่งที่มาของพลอยคอรัณดัม ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยของโครงการนี้

บทที่ 1

ประเทศมาดากัสการ์

1.1 ประเทศมาดากัสการ์

ประเทศสาธารณรัฐมาดากัสการ์ (Republic of Madagascar) เป็นเกาะใหญ่เป็นอันดับที่ 4 ของโลกอยู่ในมหาสมุทรอินเดีย ทางด้านตะวันออกของทวีปแอฟริกา ชื่อเป็นทางการคือ “สาธารณรัฐมาดากัสการ์” มีเมืองหลวงชื่อกรุงอันตานานาริโว (Antananarivo) อยู่ในภาคกลาง ของประเทศ เดิมเคยอยู่ภายใต้การปกครองของประเทศฝรั่งเศส ภาษาทางการจึงใช้ทั้งภาษามาลากาซี และภาษา ฝรั่งเศส ประชากรตามรายงานปี 1998 มีประมาณ 14.5 ล้านคน ส่วนมากนับถือ ศาสนาคริสต์ นอกนั้น นับถือศาสนาอิสลาม และศาสนาประจำถิ่น (Ancestor worship) ประเทศมาดากัสการ์มีเพียง 2 ฤดู คือฤดูร้อน (พ.ย-เม.ย) ซึ่งมักจะมีฝน และอีกฤดูหนึ่งก็คือ ฤดูหนาว (พ.ค-ต.ค) ประชากร ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางเกษตรกรรม สกุลเงินที่ใช้คือ ฟรังก์ มาลากาซี (Malagasy Franc = FMG) อัตราการแลกเปลี่ยน \$1 US ประมาณเท่ากับ 6650 ฟรังก์ หรือ 1 บาท เท่ากับประมาณ 150 ฟรังก์

1.2 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศแบ่งออกได้เป็น 5 ภาคคือ ฝั่งทะเลด้านตะวันออก ที่ราบสูงภาคกลาง พื้นที่ภูเขา Tsaratanana Massif ภาคเหนือ ฝั่งทะเลด้านตะวันตก และภาคตะวันตกเฉียงใต้ (ดังรูปที่ 1.1)

ฝั่งทะเลด้านตะวันออก เป็นพื้นที่ราบลุ่มตามแนวยาวของเกาะ กว้างประมาณ 50 กิโลเมตร ลักษณะภูมิประเทศในบริเวณนี้เกิดจากการทับถมของตะกอนทางน้ำ และการกัดเซาะชายฝั่งของ มหาสมุทรอินเดีย แนวชายฝั่งจึงมีลักษณะค่อนข้างเป็นเส้นตรง มีอ่าวอยู่เป็นจำนวนมาก และมีทะเลสาบใหญ่ตามแนวชายฝั่งชื่อ The Canal des Pangalannes (Lakandranori Ampalangakana) ที่ยาวถึง 800 กิโลเมตร ใช้เป็นเส้นทางคมนาคมเข้า-ออกชายฝั่งทะเล และเป็นแหล่งประมงที่สำคัญของมาดากัสการ์ ในบริเวณด้านตะวันตกของพื้นที่นี้ถูกแบ่งเขตจากที่ราบสูงภาคกลางด้วยแนว หน้าผาสูงชัน

ที่ราบสูงภาคกลาง มีลักษณะภูมิประเทศที่ต่อเนื่องมาจาก Tsaratanana Massif ทางตอนเหนือ ลงไปถึง Ivakoany Massif มีความสูงกว่าภูมิภาคอื่นๆที่อยู่โดยรอบมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 1,400 เมตร (4,590 ฟุต) ลักษณะภูมิประเทศมีทั้งลักษณะเนินเขาหินแกรนิต กลุ่ม เนินเขาที่ถูกกัดเซาะจนกลมมน ภูเขาไฟที่ดับแล้ว ที่ราบที่เกิดจากการชะกร่อนผุพัง (peneplain) และที่ราบน้ำท่วมถึง แบ่งได้กว้างๆเป็น 4 ส่วนคือ ที่ราบสูง Anjafy (Anjafy High Plateaux) ซึ่งประกอบด้วยหินภูเขาไฟ โดยมีทะเลสาบ Itasy อยู่บนปากปล่องภูเขาไฟ (Caldera Lake) ที่ราบสูง Ankaratra Massif (สูง 2,666 เมตร) ที่ราบสูง Ivakaary Massif ทางทิศใต้ และ Isalo Roinitorme Massif อยู่ระหว่างที่ราบสูงตอนกลางกับแนวชายฝั่งด้านตะวันตก ดินศิลาแลงพบได้ทั่วไป ในที่ราบสูงภาคกลาง เมืองหลวง Antananarivo ตั้งอยู่ทางทิศเหนือ ของที่ราบสูงภาคกลางนี้ โดยมีระดับความสูงของเมืองอยู่ที่ 1,468 เมตร (ปานใจ สารพันโชติวิทยา, 2544) นอกจากนี้ ร่องเขาสูงชันด้านตะวันออกเฉียงเหนือของเมืองหลวงยังเป็นจุดกำเนิดของแม่น้ำสายสำคัญของประเทศ คือแม่น้ำ Lac Alaotra ซึ่งมีความยาวทั้งสิ้นถึง 40 กิโลเมตร

Tsaratanana Massif อยู่ทางเหนือสุดของประเทศ เป็นพื้นที่ที่มีจุดสูงสุดของประเทศ “Ambohotra” (The Montagne d’ Ambre) สูงถึง 2,880 เมตร จากระดับน้ำทะเล ขอบด้านเหนือสุดติดทะเล โดยมีลักษณะชายฝั่งเว้าแหว่งลึกซึ่งจากการกัดเซาะ ทำให้เกิดเป็นอ่าว ลึกเข้าไปตามชายฝั่ง ส่วนทางตอนใต้ของ Tsaratanana Massif เป็นเทือกเขาสูง ทำให้ยากต่อการเดินทางไปยังภาคอื่นๆของประเทศ เมืองที่เป็นแหล่งพลอยที่สำคัญในภาคนี้คือเมือง Diego ในจังหวัด Antsiranana

ฝั่งทะเลด้านตะวันตก และภาคตะวันตกเฉียงใต้ เป็นพื้นที่ที่เกิดจากการทับถมของตะกอน และมีลักษณะภูมิประเทศตามแนวชายฝั่งที่เกิดจากการกัดเซาะ ทำให้มีชายฝั่งแบบเว้าแหว่ง เกิดเป็นอ่าวจำนวนมาก เช่นอ่าว Mahajanga บริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกเฉียงเหนือ ส่วนในบริเวณที่ลึกเข้ามาจากแนวชายฝั่ง เป็นบริเวณของที่ราบน้ำท่วมถึง (Flood plain) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ใช้ในการเกษตรกรรม สำหรับภาคตะวันตกเฉียงใต้ เป็นที่ราบสูง และพื้นที่ ทะเลทราย เมืองสำคัญที่เป็นแหล่งเหมืองพลอยในบริเวณนี้ เช่น เมือง Gogogogo Ejeda Ilakaka และ Sakaraha เป็นต้น

ตามเขตการปกครองจากเหนือลงใต้ ประเทศมาดากัสการ์ประกอบด้วยจังหวัดใหญ่ๆ 6 จังหวัด (รูปที่ 1.1) ดังนี้คือ

1. Antsiranana อยู่ทางตอนเหนือของเกาะ
2. Mahajanga ภาคตะวันตกเฉียงเหนือ
3. Toamasina จังหวัดทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
4. Antananarivo ภาคกลาง
5. Fianarantsoa ภาคตะวันออกเฉียงใต้
6. Toliary ภาคตะวันตกเฉียงใต้และภาคใต้

1.3 ธรณีวิทยาทั่วไป (General Geology)

ประเทศมาดากัสการ์ปกคลุมด้วยหินที่มีอายุค่อนข้างแก่ จากข้อมูลในแผนที่ธรณีวิทยาประเทศมาดากัสการ์ มาตราส่วน 1:1,000,000 (Besairie, 1964) พบว่าลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินชุดต่างๆนั้นมีการวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ ชุดหินที่อยู่ ทางด้านตะวันออกและตอนกลางของประเทศจะมีอายุแก่กว่าทางด้านตะวันตก และตะวันตกเฉียงใต้ สภาพธรณีวิทยาโดยทั่วไปจากด้านตะวันออกมาตะวันตกเป็นดังนี้คือ ตามแนวชายฝั่งด้านตะวันออก ปกคลุมไปด้วยหินชั้นอายุจูราสซิก (อายุ 195-140 ล้านปี) และอายุเทอร์เชียรี (อายุ 65 ล้านปี) ถัดเข้ามาในแผ่นดินจะเป็นหินทราย หินทรายแป้ง และหินปูน อายุตั้งแต่ ไทรแอสซิก (230 ล้านปี) จูราสซิก (195 ล้านปี) จนถึงอายุอ่อนสุดในช่วงครีเทเชียส (141 ล้านปี) ในบริเวณตอนกลาง ของประเทศ ซึ่งได้ยกตัวเกิดเป็นที่ราบสูงตอนกลางวางตัว ตามแนวเหนือ-ใต้ ส่วนทางด้านตะวันตก และตะวันตกเฉียงเหนือ เป็นบริเวณที่พบหินภูเขาไฟที่เกิดระเบิดขึ้นในยุค ครีเทเชียส คือเมื่อ 141 ล้านปีมาแล้ว ส่วนใหญ่เป็นหินบะซอลต์ พบหินไรโอไลต์บ้างเล็กน้อย ในบริเวณขอบตามแนว ชายฝั่งด้านตะวันตก จะปกคลุมไปด้วยตะกอนยุค ควอเทอร์นารี (1.8 ล้านปี) นอกจากนี้ ยังพบหินภูเขาไฟชนิดบะซอลต์ อายุเทอร์เชียรี และควอเทอร์นารี ในพื้นที่ทางตอนเหนือ เช่นที่เมือง Diego จังหวัด Antsiranana ซึ่งเป็นหินภูเขาไฟที่สัมพันธ์กับการเกิดของแหล่ง พลอยคอร์ันดัม และในพื้นที่ทางตอนกลางของประเทศในเขตจังหวัด

Antananarivo สำหรับพื้นที่ บริเวณตอนกลาง ตอนใต้ และตะวันออกเฉียงใต้ของเกาะมาดากัสการ์ซึ่งครอบคลุมพื้นที่เกือบ ครึ่งหนึ่งของประเทศ และเป็นแหล่งพลอยคอร์ันดัมที่สำคัญนั้น มีสภาพทางธรณีวิทยาซึ่งตั้งอยู่บนชั้นเปลือกโลกที่เป็น หินแปรที่เป็นหินพื้นฐานซับซ้อน (Basement complex) ที่เกิด ณ อุณหภูมิและความดันสูง (รูปที่ 1.2) หินชุดนี้เป็นส่วนของเปลือกโลกที่มีอายุเก่าแก่มาก คือเกิดในยุคอาร์เคียน (Archean crust) ซึ่งมีอายุมากกว่า 2500 ล้านปี (Kroner, 1980) ประกอบด้วย หิน มิกมาไทต์ ไนส์ ซีสต์ และควอตไซต์ จากหลักฐานพบว่า หินชุดนี้แสดงลักษณะที่เกิดการแปรสภาพเนื่องจากความร้อน (Thermo-tectonic evolution) ในช่วงที่เกิดการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกทางซีกโลกตอนใต้ (Pan-Africa event) ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดการแยกตัวของผืนแผ่นดินกอนด์วานา (Gond-analand) ซึ่งเดิมเป็นผืนแผ่นดินที่มีขนาดใหญ่ติดเป็นผืนเดียวกัน ประกอบด้วยแผ่นดินส่วนที่ในปัจจุบัน เป็นแอฟริกา เกาะมาดากัสการ์ อินเดีย ส่วนหนึ่งของอเมริกาใต้ และออสเตรเลีย การแยกตัว ออกของกอนด์วานาเมื่อประมาณ 165 ล้านปีมานี้ ทำให้เกิดเป็นทวีปแอฟริการวม เกาะมาดากัสการ์ อินเดียตอนใต้ และประเทศศรีลังกา

กลุ่มหินทางตอนใต้ของมาดากัสการ์ เป็นหินอายุเก่าแก่อายุประมาณ 2500 ล้านปี แบ่งออกเรียงลำดับจากตะวันตกไปตะวันออกได้ 3 ชุดดังนี้ (Archean Successions)

1. Vohibora Group ประกอบด้วยหินแอม ฟิโบลิต และหินอ่อน
2. Androyan Group ประกอบด้วยหินหลากหลายชนิดในกลุ่มหินแกรนูลิต (Granulite facies) หินออโรไนส์ และพาราไนส์ (Ortho-Paragneiss)
3. Graphite Group ประกอบด้วยหินไนส์ที่มีแร่แกรไฟท์ หินแกรนูลิต (Quartzo-feldspartic granulite and mafic granulite)

หินเหล่านี้จะมีระดับของการถูกแปรสภาพ (Metamorphic grade) ที่เพิ่มขึ้นจากด้านตะวันตกไปตะวันออก โดยหินทางด้านตะวันตกของกลุ่มหิน Vohibory formation มีระดับ การแปรสภาพในช่วงของระดับความดันต่ำ (greenschist and amphibolite facies) และค่อยๆ เพิ่มขึ้น ไปเป็นระดับการแปรสภาพช่วงระดับความกดดันปานกลาง (granulite facies) ในหินกลุ่ม Androyan และเพิ่มมากขึ้นเป็นการแปรสภาพในระดับสูงในกลุ่มหิน graphite group ทางด้าน ตะวันออก

1.4 ธรณีวิทยาแหล่งพลอยทับทิมและแซปไฟร์

ทับทิม ไฟลีน บุษราคัม เขี้ยวส่อง และพลอยแซปไฟร์สีต่างๆ นั้นคือแร่คอร์ันดัม (Corundum) ที่มีความแข็งตามโมห์สเกลเท่ากับ 9 ความแข็งรองลงมาจากเพชร มีส่วนประกอบทางเคมีเป็นอลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) และมีรูปร่างผลึกอยู่ในระบบผลึกแร่แบบเฮกซาโกนอล (Hexagonal) คือมีหน้าผลึก 6 หน้าเหลี่ยมเมื่อผลึกอยู่ในสภาพรูปร่างผลึกที่สมบูรณ์ ถ้าแร่คอร์ันดัม ไม่มีมลทินธาตุเข้ามาปนเปื้อน จะไม่มีสี แต่การที่เราเห็นแร่คอร์ันดัมมีสีสวยงาม เนื่องจาก แร่คอร์ันดัม นั้นมีธาตุบางตัวเข้ามาแทรกอยู่ในโครงสร้างผลึกแร่คอร์ันดัมที่มีธาตุโครเมียม (Cr^{3+}) เข้าไปแทนที่ ธาตุอลูมิเนียมในปริมาณเพียงเล็กน้อย ก็จะเปลี่ยนเป็นคอร์ันดัมที่มีสีแดงเรียกว่าทับทิม คอร์ันดัม สี น้ำเงินจะเกิดในลักษณะเดียวกัน แต่มลทินธาตุที่เข้าไปปนเปื้อนนั่นเป็นธาตุเหล็ก (Fe^{2+}) และไทเทเนียม (Ti^{4+}) ส่วนบุษราคัมนั้นเกิดจากมลทินธาตุเหล็ก (Fe^{3+}) สำหรับการเรียกชื่อ พลอยนั้นจะเป็นที่ยอมรับกัน ในวงการพลอยว่า พลอยคอร์ันดัมสีอื่น ๆ ยกเว้นสีแดงหรือทับทิม จะเรียกรวมว่าแซปไฟร์

พลอยทับทิมและแซปไฟร์พบอยู่หลายแห่งในโลก รวมทั้งในประเทศมาดากัสการ์ด้วยนั้น มีการเกิดเป็นแหล่งแร่ใหญ่ๆ แบ่งออกได้เป็น 2 แบบดังนี้คือ

1. แหล่งแร่ที่มีการกำเนิดแบบปฐมภูมิ
2. แหล่งแร่ที่มีการกำเนิดแบบทุติยภูมิ

1. แหล่งแร่ที่มีการกำเนิดแบบปฐมภูมิ (Primary Deposits)

แหล่งพลอยที่เกิดแบบปฐมภูมินี้มักเป็นพลอยที่พบอยู่กับหินต้นกำเนิด ซึ่งเกิดขึ้นโดยกระบวนการต่างๆ ทางธรณีวิทยา มักพบพลอยเกิดเป็นแร่ประกอบหินของหินต้นกำเนิด เหล่านั้น หรือเกิดเป็นแร่แปลกปลอม (xenocryst) ติดอยู่ในหิน ซึ่งโดยทั่วไปพบว่ามีแหล่งเกิด ที่สัมพันธ์กับหินชนิดต่างๆ ดังนี้

1) หินอัคนีแทรกซอน (Intrusive Igneous rocks) เช่น

- หินเพกมาไทต์ (Pegmatite)
- หินจำพวกหินแกรนิต (Granitoid)
- หินไซอีไนต์ (Syenite)
- หินอัลตราเมฟิก (Ultramafic)

2) หินแปร (Metamorphic rocks) เช่น

- หินอ่อน (Marble)
- หินสการ์น (Skarn)
- หินแอมฟิโบไลต์ (Amphibolite)
- หินชีสต์ (Schist)
- หินไนส์ (Gneiss)

3) หินภูเขาไฟชนิดหินแอลคาไลน์บะซอลต์

2. แหล่งแร่พลอยแบบทุติยภูมิ (Secondary Deposits)

แหล่งแร่พลอยชนิดนี้ จะมีการเกิดที่สัมพันธ์กับการผุพังสลายตัวของเนื้อหินต้นกำเนิด และการพัดพาแร่ออกไปจากแหล่งต้นกำเนิดโดยทางน้ำไปสะสมตัวเป็นแหล่งแร่แหล่งใหม่ ซึ่งหินต้นกำเนิดอาจเป็นหินแปรหรือหินอัคนีก็ได้ บางครั้งอาจพบพลอยหรือชิ้นกะสะพลอยอยู่ในระดับผิวดิน หรือบางครั้งอาจอยู่ลึกลงไป 2-5 เมตร เช่น แหล่งแร่พลอยในจังหวัดจันทบุรี ตราด และกาญจนบุรี เป็นต้น ในบางพื้นที่อาจพบแหล่งพลอยที่มีรูปแบบของการกำเนิดได้ทั้งสองแบบใน พื้นที่เดียวกันหรือใกล้เคียงกัน เช่น แหล่งพลอยโมกก ประเทศเมียนมาร์ และในประเทศมาดากัสการ์ เป็นต้น

แหล่งแร่พลอยทุติยภูมินี้ แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ตามการสะสมตัวของแหล่งแร่ (รูปที่ 1.3) ดังนี้

- แหล่งพลอยที่สะสมตัวอยู่กับที่ หรืออยู่ใกล้กับหินต้นกำเนิด (Residual and Colluvial deposits) มักจะพบแร่พลอยอยู่ตามบริเวณไหล่เขา หรือบริเวณที่หินต้นกำเนิดผุพัง หรืออาจถูกเคลื่อนย้ายพัดพาไปจากที่เดิมเป็นระยะใกล้ๆ พลอยที่พบมักจะมีขนาดใหญ่ ได้พลอยเม็ดโต

- แหล่งแร่พลอยแบบลานแร่ (Placer deposits) เป็นแหล่งแร่ที่เกิดในลักษณะที่แร่พลอยซึ่งหลุดออกมาจากหินต้นกำเนิดที่ผุพังนั้นได้ถูกพัดพามากับตะกอนทางน้ำ จำพวก กรวด ทราย และดินตะกอน ไปสะสมตัวอยู่ในที่ลุ่มต่ำ เช่น ที่ราบตะกอนน้ำพา (Alluvial plane) และบริเวณตะพักลำน้ำ (Terrace) ขนาดของพลอยจะเล็กลง

1.5 แหล่งพลอยทับทิมและแซปไฟร์ในประเทศมาดากัสการ์

แร่คอรัันดัมที่มีคุณภาพระดับพลอยนั้น ส่วนใหญ่พบอยู่ทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ และภาคใต้ของประเทศมาดากัสการ์ (รูปที่ 1.1) โดยเฉพาะในจังหวัดตูเลียรา (Toliara) เช่นที่

Gogogogo พบทับทิม

Ejeda พบทับทิม

Amboasary พบแซปไฟร์

Antanifotsy (Antsirabe) พบทับทิมและแซปไฟร์

Betroka พบพลอยหลายสี (polychrome)

Andranondambo พบแซปไฟร์สีน้ำเงิน

Ilakaka พบทับทิม ไพลิน และแซปไฟร์สี ชมพู น้ำเงินอ่อน เหลือง เขียว และขาวนํ้านม

Sakaraha พบทับทิม ไพลิน และแซปไฟร์สี ชมพู น้ำเงินอ่อน เหลือง เขียว และขาวนํ้านม

นอกจากนี้ยังพบพลอยคอรัันดัมทางด้านตะวันออกของเกาะที่เมือง Tamatav จังหวัด Taomasina พบทับทิม และทางตอนเหนือที่เมือง Diego จังหวัด Antsiranana พบแซปไฟร์สีน้ำเงิน น้ำเงินอมม่วง เหลือง และเขียว ในบางพื้นที่อาจพบแหล่งพลอยที่มีรูปแบบของการกำเนิดได้ ทั้งสองแบบใน พื้นที่เดียวกันหรือใกล้เคียงกัน แหล่งแร่พลอยชนิดนี้จะมีการเกิดที่สัมพันธ์กับการผุพัง สลายตัวของ เนื้อหินต้นกำเนิด และการพัดพาแร่ออกไปจากแหล่งต้นกำเนิดโดยทางน้ำไปสะสมตัวเป็นแหล่ง แร่แหล่งใหม่ ซึ่งหินต้นกำเนิดอาจเป็นหินแปร หรือหินอัคนีก็ได้ บางครั้งอาจพบพลอยหรือชั้น กะสะพลอยอยู่ในระดับผิวดิน หรือบางครั้งอาจอยู่ลึกลงไป 2-5 เมตร เช่น แหล่งแร่ พลอยใน อีลากากา และสการาฮา ในจังหวัดตูเลียรา (Toliara) เป็นต้น สำหรับรัตนชาติ ที่สำคัญอื่นๆที่พบในประเทศมาดากัสการ์มีดังนี้

เฟลด์สปาร์ (Feldspars) เช่น Amazonite, Orthoclase, Labradorite

เบริล (Beryls of various colour) เช่น Aquamarine, Emerald, Heliodor, Morganite

พลอยคอรัันดัม (Corundums) Ruby, Sapphires สีต่างๆ

โกเมน (Garnet) almandine, rhodolite, spessartine

และ อื่นๆ เช่น kunzite, quartz, hambergite, tourmaline, kyanite, danburite, epidote, komerupine titanite (spene)

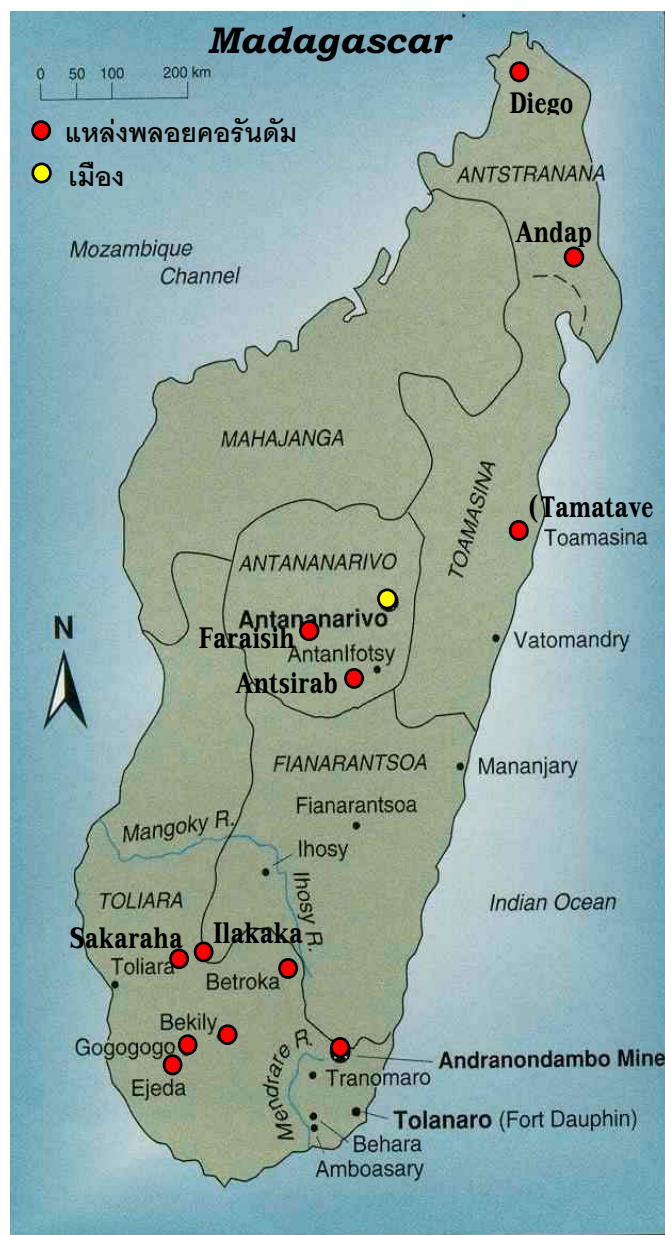
1.5.1. พลอยแซปไฟร์อันดรานอนแดมโบ (Andranondambo)

แหล่งพลอยหลายแหล่งในโลกมีการกำเนิดแบบปฐมภูมิ รวมทั้งแหล่งพลอยบางแหล่งในประเทศมาดากัสการ์ ในที่นี้จะขอลำดับถึงการกำเนิดพลอยแบบปฐมภูมิ ที่อยู่ทางภาคตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศ ในบริเวณหมู่บ้านอันดรานอนแดมโบ (Andranondambo) เขตพื้นที่ในจังหวัด ตูเลียรา (Toliara) ซึ่งอยู่ทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศมาดากัสการ์ ติดกับจังหวัด Fianarantsoa

ไกลออกไปทางตอนเหนือของ Fort Dauphin ประมาณ 100 กิโลเมตร เพื่อเป็นแหล่งตัวอย่าง ในการอธิบายถึงการกำเนิดแบบปฐมภูมิ พื้นที่นี้มีการทำเหมืองพลอยแซปไฟร์ และพบว่าพลอย แซปไฟร์มีการเกิดสะสมตัวอยู่ในหินแปรชนิด หินอ่อน และหินไนส์ (แคลก์-ซิลิเกตไนส์) แซปไฟร์ มักพบในหินที่มีสภาพของการผุสลายตัวของเนื้อหินสูง และนอกจากนี้ยังพบแซปไฟร์ใน ชั้นกรวด ซึ่งเกิดจากการสะสมตัวแบบแบบทุติยภูมิ ในที่ที่อยู่ไม่ไกลจากแหล่งกำเนิด ซึ่งอยู่ในพื้นที่นี้เช่นกัน

ธรณีวิทยาแหล่งแร่พลอยแซปไฟร์อันตรานอนแดมโบ

ธรณีวิทยาแหล่งแร่พลอยของมาดากัสการ์นั้น มีความสัมพันธ์กับธรณีวิทยาทางด้านตะวันออกของทวีปแอฟริกา โดยทางตอนใต้ของมาดากัสการ์ ในกรณีนี้คือบริเวณเหมืองพลอย Andranondambo จะประกอบด้วยหินพื้นฐาน (basement rocks) อายุแก่กว่า 2500 ล้านปี (Precambrian) ประกอบด้วยหินแปรที่มีการแปรสภาพ ในระดับปานกลางถึงสูงจำพวกหินไนส์ และหินชั้นกึ่งแปรสภาพ (meta-sedimentary rocks) หินชั้นเหล่านี้ถูกแปรสภาพเป็นหินแปรในยุคอาร์เคียน เมื่อกว่า 2500 ล้านปีมาแล้ว และถูกแปรสภาพอีกครั้งเมื่อประมาณ 600-500 ล้านปีต่อมา ในช่วงที่เกิดการ เคลื่อนตัวของแผ่นพื้นทวีป ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดทวีปแอฟริกา อินเดียตอนใต้ และศรีลังกา (Pan-Africa Tectonothermal) พร้อมกับการเกิดหินหลอมเหลว (magmatic activity) การเย็นตัว ภายใต้อัปเดตโลก และการแทรกดันตัวของหินแกรนิต ขึ้นมาอยู่ในระดับผิวโลกทำให้ได้หินแกรนิต และหินเพกมาไทต์ ที่มีอายุในราว 550-480 ล้านปี แซปไฟร์ที่พบในพื้นที่ด้านตะวันออก ในบริเวณอันตรานอนแดมโบนั้น พบว่าเป็นพื้นที่ที่ตั้งอยู่ทางตอนใต้ของแนวรอยเลื่อนบอง โกลาวา-รานอตส์ซารา (Bongolava-Ranotsara) จากหลักฐานทางธรณีวิทยา ทำให้เชื่อว่าพลอย แซปไฟร์ที่พบในบริเวณด้านตะวันออกของประเทศมาดากัสการ์นั้น เกิดขึ้นมาพร้อมกับหินแปร ที่ถูกแปรสภาพเมื่อประมาณ 600 ล้านปีมาแล้ว (Andriamarofahatra et al., 1990; Paquette et al., 1993) แหล่งแซปไฟร์ในบริเวณหมู่บ้านอันตรานอนแดมโบ มีการกำเนิดแบบปฐมภูมิ โดยพบแซปไฟร์เกิดอยู่ในสายแร่เพกมาไทต์ขนาดหนา 0.05-0.2 เมตร ยาว 5-50 เมตร (Kiefert et al., 1996) หินเพกมาไทต์ที่พบแร่คอร์ันดัมเกิดอยู่ด้วย เป็นหินที่อัคนีเนื้อหยาบที่มี ผลึกแร่ขนาดใหญ่ประสานกันอยู่ ประกอบด้วยแร่เฟล็กซิโอเคลสที่มีปริมาณแคลเซียมสูงชนิด ไบโทวไนต์ (bytownite) และ อะนอร์ไทต์ (anorthite) และไมกาเป็นส่วนใหญ่ พบแร่แคลไซต์ อยู่ด้วยบ้าง เพกมาไทต์เป็นหินที่เกิดขึ้นในช่วงสุดท้ายของการเย็นตัวของหินหนืด และเชื่อว่า แซปไฟร์ที่พบในบริเวณนี้เป็นผลมาจากการเกิดและการแทรกดันตัวขึ้นมาของหินเพกมาไทต์ตัดเข้ามาในหินพื้นฐานที่เป็นหินอุลตราเบสิกและหินแปรที่มีอายุมากกว่า 570 ล้านปี หินพื้นฐานเป็น หินไพรอกซีนไนต์ และหินอ่อนที่เกิดเป็นกระเปาะรูปเลนซ์ นอกจากนี้ยังพบว่าในบริเวณที่มี เพกมาไทต์ชนิดที่มีปริมาณซิลิกาสูง มักจะไม่พบแซปไฟร์ แต่จะพบมากในบริเวณที่สาย เพกมาไทต์ตัดผ่านเข้าไปในชั้นหินพื้นฐานชนิดอุลตราเบสิก (Ultrabasic host rocks) นอกจากนี้ ยังพบว่าในบริเวณแนวขอบรอยสัมผัสของสายเพกมาไทต์ที่ตัดเข้ามานั้นจะเกิดโซนของแร่ ต่างๆ เช่น แร่ไมกา ชนิดฟล็กโกไพต์ (phlogopite) และไบโอไทต์ แร่อีปีโดต แอมฟิโบล และเหล็กออกไซด์



รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงเขตจังหวัด 6 เขต จากเหนือลงใต้ ดังนี้ Antstranana, Mahajanga, Antananarivo, Taomasina, Fianarantsoa และ Toliara, และแสดงตำแหน่งของแหล่งพลอยทับทิมและ แชปไฟร์ที่สำคัญ

มลทินผลึกแร่ที่พบในแร่คอร์ันดัม (แซปไฟร์) เช่นผลึกแร่แคลไซต์ สปิเนล อะพาไทต์ และมลทิน 3 สถานะ (ของเหลว ก๊าซ และแร่ไดอะสפור) เหล่านี้เป็นตัวบ่งบอกว่า แซปไฟร์ เกิดในสภาพแวดล้อมที่มีแคลเซียมและอลูมิเนียมสูง และมีของไหลที่ทำให้เกิดการแปรสภาพ โดยการแทนที่ (metasomatic fluid) เข้ามาเกี่ยวข้อง

Gubelin and Peretti (1997) พบแร่คอร์ันดัม ในหินอ่อนและหินแคลก์ซิลิเกตที่ประกอบด้วยแร่แคลไซต์ อะนอร์ไทต์, ไฮโบไนต์ (hibonite; CaAl_2O_9) และสปิเนล โดยเฉพาะบริเวณแนวสัมผัสระหว่างหินแกรนิตที่แทรกดันเข้ามาในหินอ่อน ในบริเวณพื้นที่อันตรานอนแดมโบ เช่นเดียวกัน ซึ่งบ่งบอกว่าแร่คอร์ันดัมนั้นเกิดจากขบวนการแปรสภาพโดยการแทนที่ตามแนวสัมผัส ดังกล่าว

1.5.2. พลอยแซปไฟร์อิลากากา-ซาการาสา (Ilakaka-Sakaraha)

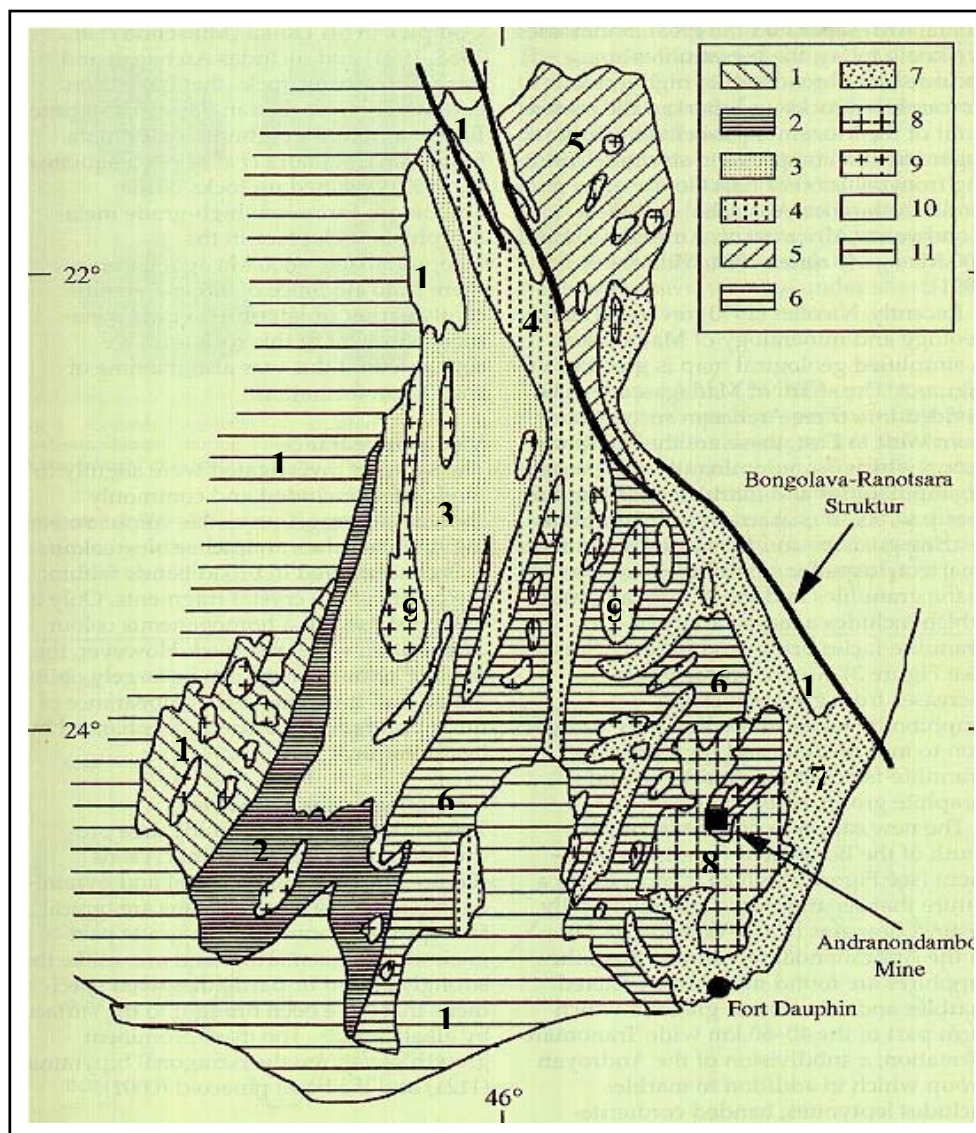
ซาการาสา และ อิลากากา เป็นพื้นที่อยู่ทางด้านตะวันออกของเมืองทูลีเยรา ในจังหวัด ทูลีเยรา หรือทูลีเยร์ (Toliara or Tulear; รูปที่ 1.3 และ 1.5) แหล่งพลอยแซปไฟร์ ในบริเวณนี้เป็นแหล่งที่มีการกำเนิดแบบทุติยภูมิ พลอยหลุดออกมาจากเนื้อหินต้นกำเนิด และถูก พัดพามาโดยทางน้ำในลักษณะตะกอนน้ำพา มาสะสมตัวในที่ลุ่ม บางบริเวณพบปนอยู่กับตะกอน ในลักษณะภูมิประเทศแบบขั้นบันไดริมตลิ่ง หรือตะพักลำน้ำ (River terrace) ชั้นตะกอนที่ให้ พลอยเป็นชั้นกรวดที่มีความหนาประมาณ 0.5-1.5 เมตร บางบริเวณหนาถึง 5 เมตร โดยมี ชั้นหน้าดินหนาดังแต่ 0.5-5.0 เมตร (รัก หรรษาเวก, 2544) ชั้นหินดานเป็นหินทราย อายุไทรแอสซิก พลอยแซปไฟร์บริเวณนี้ส่วนใหญ่ (80%) เป็นแซปไฟร์สีชมพู และชมพูอมม่วง นอกนั้นเป็นสี น้ำเงิน สีเหลืองพบไม่มาก ไม่มีรายงานว่ามีการพบทับทิมในบริเวณนี้ ปัจจุบันมี บริษัทของคนไทยที่ได้รับสัมปทานทำเหมืองจากรัฐบาลมาดากัสการ์ในพื้นที่นี้ 7 บริษัท (รูปที่ 1.5) ได้แก่ บริษัท Worldly Discovery บริษัท World Sapphire บริษัทมาดากัสการ์เจมส์ มายนิง บริษัทไทยเดียร์โกล์แลป บริษัท Central Import-Export 1996 บริษัทเจียรพุดิ เจมส์ แฟคเตอร์รี่ และบริษัท Gems Industry Cooperation Madagascar S.A. (GICM) และบริษัทเหมืองพลอย S.A.P

พลอยแซปไฟร์ในบริเวณนี้มีลักษณะคล้ายกับพลอยจากศรีลังกา เนื้อขุน้ำนม จัดเป็นพลอยเกรดดีมาก ขนาดค่อนข้างโต และสามารถนำมาเพิ่มคุณภาพด้วยความร้อนได้ รายละเอียดคุณสมบัติของพลอยในแหล่งนี้ได้กล่าวไว้ในบทต่อไป

1.5.3 พลอยแซปไฟร์เดียโก แอมบอนโดรมิฟี่ และ แอมบิโลเบ

เมืองเดียโก แอมบอนโดรมิฟี่ และแอมบิโลเบ จังหวัดแอนท์ซิริรานานา (Diego, Ambondromify and Ambilobe, Antsiranana) อยู่ทางตอนเหนือของประเทศ พลอยใน บริเวณนี้มีการกำเนิดที่สัมพันธ์กับหินภูเขาไฟชนิดแอลคาไลน์บะซอลต์ อายุตั้งแต่เทอร์เชียรี จนถึงอายุควอเทอร์นารี (Besairie, 1964; Schwarz et al., 2000) โดยมีการสะสมตัว แบบทุติยภูมิในชั้นกรวดที่ยังไม่แข็งตัวเป็นหิน แต่มีการเชื่อมประสานด้วยสารละลายแคลเซียม คาร์บอเนต (รูปที่ 1.3; Schwarz et al., 2000) พบในบริเวณไหล่เขารอบ Massif d' Ambre และในโพรงของหินปูนอายุจูราสซิก ได้มีการขุดขึ้นมาใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1996 พลอยแซปไฟร์ในบริเวณ นี้มีทั้งสีน้ำเงิน น้ำเงินแกมเขียว เขียว เหลือง และเหลืองแกมเขียว เนื้อขุน้ำนม ส่วนใหญ่มีขนาด ตั้งแต่ 0.5 กะรัต ถึง 2.5 กะรัต รัก หรรษาเวก (2544) ได้รายงานว่ามีพบพลอยแซปไฟร์ ที่มีการเกิดสัมพันธ์กับหินแอลคาไลน์บะ

ซอลต์ ในช่วงอายุเดียวกันนี้ในบริเวณอื่น เช่น ที่ อันดาปา (Andapa) ทางตอนเหนือใต้เดย์โกลงมา และ ที่ ฟาแรทซิโฮ (Faratsiho) และ แอนท์ซิริาเบ (Antsirabe) ในบริเวณตอนกลางของประเทศ



- 1= Vohibory group (amphibolite gneisses, amphibolites, marble)
 2= Graphite group (graphite gneiss, leptynite, mafic granulites) 3= Androyan group (leptynite)
 4= Ihosy formation (anatectic gneisses, leptynites) 5= Tsitondroina formation (migmatites leptynite)
 6= Tranomaro formation (leptynite, cordierite gneisses, marbles, scapolite gneisses, charnockites)
 7= Fort Dauphin formation (leptynites and gneisses) 8 = charnockites and granites
 9= granites and orthogneisses 10= Precambrian rocks 11= Phanerozoic rocks.

รูปที่ 1.2 แผนที่ธรณีวิทยาทางตอนใต้ของประเทศมาดากัสการ์ (Milisenda and Henn, 1996)
 เส้นทึบ ลากยาวตามแนว ตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ เป็นแนวของ
 รอยเลื่อนบองโกลาวารานอตซ์ซารา (Bongolava-Ronatsara)

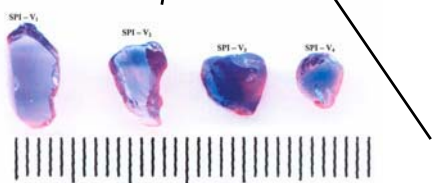
แผนที่ประเทศมาดากัสการ์ (Schwarz et al, 1996)
แสดงจังหวัด และพื้นที่ที่มีการทำเหมืองพลอยที่สำคัญ



ผลึกแร่คอร์ันดัมที่พบติดอยู่ในเศษตะกอนที่เชื่อม
ประสานด้วยคาร์บอนेट (ยังไม่แข็งตัวเป็นหิน) พบใน
ภาคเหนือของมาดากัสการ์ (Schwarz et al., 2000)

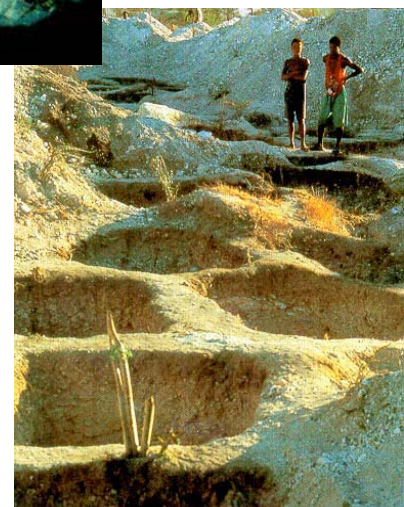


ชาวบ้านเลียงร่อนหาพลอยที่เกิดแบบทุติยภูมิ



แซปไฟร์ที่พบติดอยู่ในหิน
(Calcareous host rock) จาก
เหมืองแอนดราอนแดมโบ
(Kiefert et al., 1996)

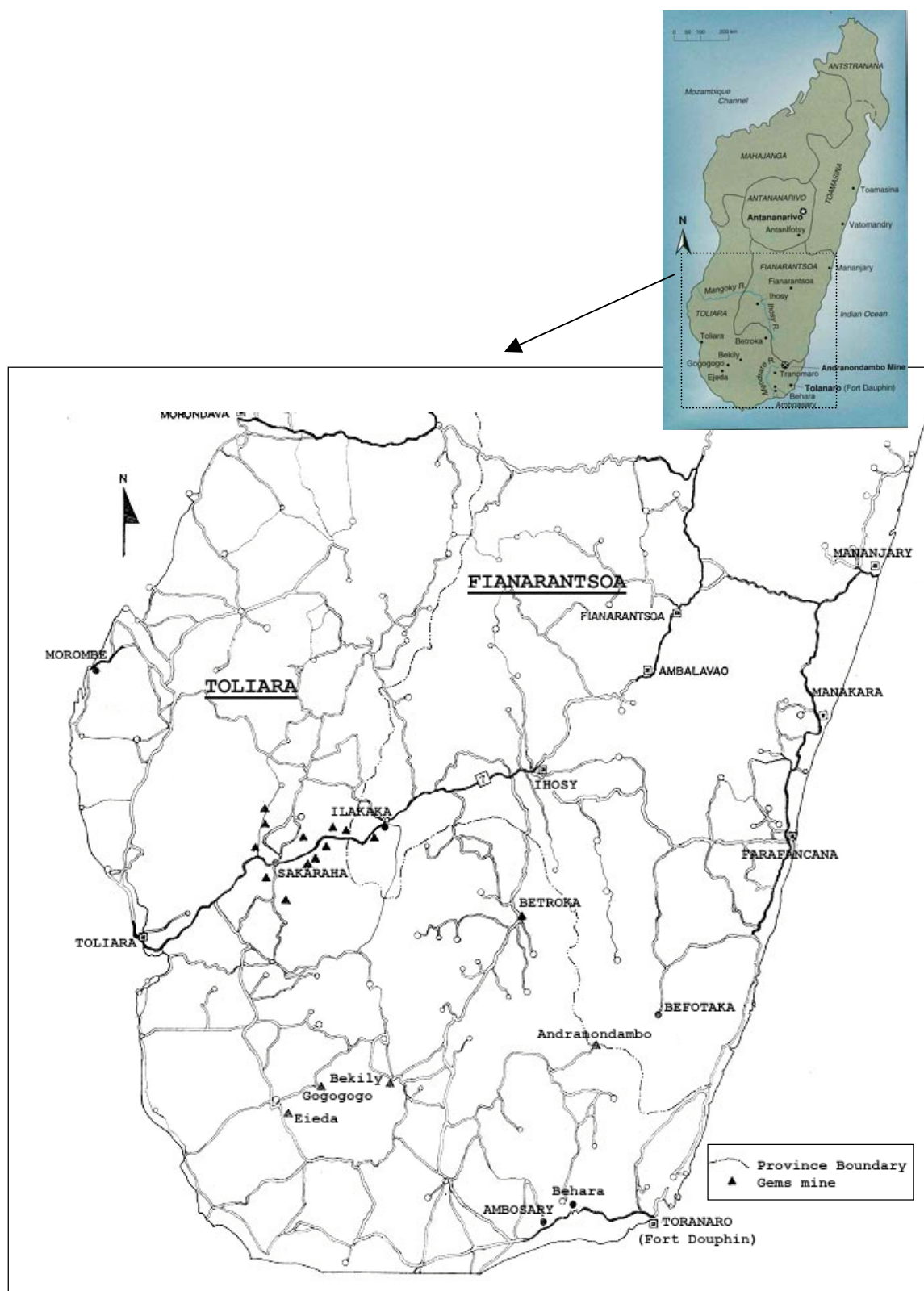
หลุมสี่เหลี่ยมที่ชาวมาลากาใช้ขุดหาพลอยในบริเวณพื้นที่
หมู่บ้านแอนดราอนแดมโบ (Schwarz et al., 1996)



รูปที่ 1.3 บริเวณเหมืองพลอย และพลอยแซปไฟร์ที่พบในประเทศมาดากัสการ์



รูปที่ 1.4 พลอยแชปไฟร์หลุดออกมาจากเนื้อหินต้นกำเนิดที่ฝังถูกพัดพาลงมาโดยทางน้ำ และมารวม สะสมตัวในที่ลุ่ม เกิดเป็นแหล่งแร่แบบทุติยภูมิหรือแบบลานแร่ เช่น แหล่งพลอยในตูเลียว่า



รูปที่ 1.5 ภาคใต้ของเกาะมาดากัสการ์ และตำแหน่งเหมืองในบริเวณ Sakaraha-Ilakaka 11 เหมือง คือ G.I.C.M (Gem Industry Cooperation Mining Co., Ltd.), Mark Susana, World Sapphire Co., Ltd., SP Group Mining, Sapan Gem Co., Ltd. (4 เหมือง), Samurai Gem Co., Ltd., General Des' Mines และ World Discovery

บทที่ 2

กฎระเบียบ ข้อบังคับ การทำเหมืองแร่ และ การซื้อขายวัตถุดิบพลอย ในประเทศมาดากัสการ์

เป็นที่ทราบกันดีว่าประเทศมาดากัสการ์นั้น เป็นแหล่งวัตถุดิบพลอยคอร์ันดัมที่สำคัญของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของประเทศไทยในขณะนี้ จะเห็นได้จากการที่มีคนไทย เข้าไปประกอบธุรกิจ ซึ่งมีทั้งการซื้อ-ขาย และการทำเหมือง ในประเทศนี้มากถึง 600 คน โดยในขณะนี้เหมืองแร่พลอยเฉพาะในพื้นที่ระหว่างหมู่บ้าน Sakaraha และ Ilakaka อยู่ถึง 11 เหมือง คือ G.I.C.M (Gem Industry Cooperation Mining Co., Ltd.), Mark Susana, World Sapphire Co., Ltd., SP Group Mining, Sapan Gem Co., Ltd. (4 เหมือง), Samurai Gem Co., Ltd., General Des' Mines และ World Discovery (รูปที่ 1.5) เจ้าของส่วนใหญ่เป็นคนไทย นอกนั้นเป็นชาวญี่ปุ่น ฝรั่งเศส และมาลากาซี (รวม ลิ้มสุวรรณ, 2544; ติดต่อบุคคล) ในการประกอบกิจการทำเหมืองพลอยตามระเบียบข้อบังคับในประเทศ มาดากัสการ์นั้น จะต้อง ปฏิบัติตามลำดับขั้นตอนหลักๆ 8 ขั้นตอน ดังนี้ (เกรียงศักดิ์ เจริญพัฒน์, 2544)

1. การขอวีซ่า เพื่อเข้าไปในประเทศมาดากัสการ์
2. การเปิดบริษัท
3. การขอวีซ่าระยะยาว (Long stay visa) เพื่ออยู่ดำเนินการในประเทศ
4. การขอสัมปทานการสำรวจและการทำเหมืองแร่
5. ข้อปฏิบัติระหว่างการทำเหมือง
6. การนำออกวัตถุดิบพลอย
7. การส่งรายงานสรุปประจำปี
8. การเสียภาษีประจำปี

2.1 การขอวีซ่า

การขอวีซ่าจะมี 2 แบบ คือ 1) **Non-Immigrant Visa** (อยู่ในประเทศมาดากัสการ์ ไม่เกิน 90 วัน มี 2 ประเภทคือ Tourist visa และ Business Visa) และ 2) **Immigrant Visa** (อยู่นานเกิน 90 วัน) วีซ่าชนิดนี้จะใช้เวลาในการดำเนินการ ซึ่งในขั้นแรกที่ผ่านการพิจารณา สถานกงสุลจะออกใบอนุญาตเข้าเมืองเป็นแบบชั่วคราวให้ก่อน (Temporary Immigrant Visa)ซึ่งมีอายุใช้ได้เพียง 1 เดือนเท่านั้น ลักษณะวีซ่าที่ขอต้องเป็นวีซ่าที่มีการระบุว่า สามารถเปลี่ยนเป็น long stay visa ได้ และเมื่อไปถึงที่ประเทศมาดากัสการ์แล้ว จะต้องรีบ ดำเนินการเปลี่ยน Temporary immigrant visa ที่ถืออยู่ไปเป็นชนิด Long stay visa ท่านจึงจะมีสิทธิ์ประกอบธุรกิจและอยู่ได้เป็นเวลานานกว่า visa ชนิดอื่น ซึ่งบุคคลที่จะมีสิทธิ์ขอได้ นั้นต้องมีใบอนุญาตการทำงาน (Working permit) หรือเป็นหุ้นส่วนหรือผู้จัดการบริษัท ในประเทศมาดากัสการ์ (shareholder/directors of Malagasy Company) การขอวีซ่าหรือ ใบอนุญาตเข้าเมืองนั้นสามารถติดต่อดำเนินการยื่นหลักฐาน

ได้ที่สถานกงสุลกิตติมศักดิ์มาดากัสการ์ประจำประเทศไทย ตั้งอยู่ที่อาคาร ITF เลขที่ 160/660-661 ชั้น 27 ถนนสีลม สาทร กรุงเทพฯ 10500 โทรศัพท์ 235-4113 โทรสาร 634-2513

2.2. การเปิดบริษัท

ผู้ที่ดำเนินการเหมือนแร่ จำเป็นที่จะต้องมีความรู้เป็นของตนเองก่อน เพื่อที่จะใช้บริษัทนั้นขอวีซ่าระยะยาว (Long stay visa) และขอสัมปทานการสำรวจและการทำเหมือง ในขั้นตอนของการขอเปิดบริษัทนี้ใช้เวลาประมาณ 2 อาทิตย์ ถึง 1 เดือน โดยมีเงื่อนไข ในการเปิดบริษัท ดังนี้ (เกรียงศักดิ์ เจียรพุด, 2544)

- ต้องมี GERANT หรือหุ้นส่วน ที่เป็นคนมาดากัสการ์ หรือ คนต่างชาติที่มี Resident Card หรือ Long stay visa
- มีการจัดสรรจำนวนผู้ถือหุ้นและตั้งทุนจดทะเบียนของบริษัท
- ทำหนังสือ บริคณห์สนธิ (STATUS)) ของบริษัท ในส่วนนี้ต้องระบุวัตถุประสงค์ด้วย เช่น ถ้าท่านจะเปิดเหมืองแร่พลอย ท่านต้องระบุในหนังสือบริคณห์สนธิด้วยว่าบริษัทของท่านจะดำเนินการกิจการทำเหมืองแร่ ก่อนที่จะยื่นเรื่องต่อกระทรวงการคลัง เพื่อขอเปิดบริษัท โดยจะต้อง เสียค่าธรรมเนียม 2% ของทุนจดทะเบียน
- ยื่นเรื่องต่อศาล เพื่อขอ SRC ซึ่ง SRC นี้เป็นเลขทะเบียนที่ได้ลงทะเบียนไว้กับกระทรวงพาณิชย์ เทียบเท่ากับเลขทะเบียนการค้าของประเทศเรา ในขั้นตอนนี้จะเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 96,000 ฟรังก์มาลากาซี และจะต้องประกาศลงหนังสือพิมพ์เป็นทางการด้วย
- ทำเรื่องขอ STATISTICS กับกระทรวงการคลัง เพื่อใช้เป็นใบอ้างอิงเลขที่ของบริษัท เทียบเท่ากับเลขประจำตัวผู้เสียภาษีอากร ค่าใช้จ่ายในการยื่นขอนี้ประมาณ 25,000 ฟรังก์มาลากาซี
- จ่ายภาษีการเปิดบริษัทหรืออีกนัยหนึ่งก็คือภาษีการค้าหรือภาษีผู้ประกอบการ (Professional Tax) ให้กับกระทรวงการคลัง ซึ่งภาษีนี้อาจจ่ายทุกปี อัตราค่าภาษีขึ้นอยู่กับทุนที่จดทะเบียนและกิจกรรมของบริษัทว่าทำอะไรบ้าง เมื่อจ่ายภาษีเรียบร้อยแล้ว จะได้เอกสารมาหนึ่งใบเรียกว่า RED CARD ซึ่งจะต้องเก็บไว้ใช้อ้างอิงเพื่อแสดงว่าบริษัทได้จ่ายภาษีในส่วนนี้เรียบร้อยแล้ว และเมื่อเสร็จจากการจ่ายภาษีผู้ประกอบการ (Professional Tax) ในขั้นตอน สุดท้ายจะได้เอกสาร NIF ซึ่งเอกสารนี้คือที่อ้างถึงเลขทะเบียนบริษัทเอาไว้ใช้อ้างอิงทุกเรื่อง เอกสารชุดนี้เปรียบได้กับบัตรประจำตัวของบริษัท (Identification Card of Company)

2.3. การขอ Long Stay Visa

หลังเปิดบริษัทเรียบร้อยแล้วจึงจะสามารถยื่นเรื่องขอวีซ่าระยะยาวได้ที่กระทรวงมหาดไทย โดยในครั้งแรกนั้น รัฐบาลมาดากัสการ์จะต่อวีซ่าของ Temporary Immigrant Visa ออกไปให้อีก 3 เดือน ในระหว่างที่รอเรื่อง และจากนั้นถ้ายังไม่ได้ Long Stay Visa ก็จะต้อง visa ที่ถืออยู่นั้นให้อีกครั้งละ 1 เดือน จนกว่าจะได้วีซ่าระยะยาว (Long Stay Visa) เพื่อการ มีสิทธิ์อยู่ในประเทศได้เป็นเวลานานกว่า visa ชนิดอื่น และสามารถประกอบธุรกิจได้

2.4. การยื่นขอสัมปทาน

การยื่นขอสัมปทานนั้น จะยื่นต่อกระทรวงพลังงานและเหมืองแร่ โดยยื่นกับหน่วยงาน ที่เรียกว่า *CADASTRE MINIER* ซึ่งหน่วยงานนี้จะเป็นหน่วยงานที่จัดการเกี่ยวกับ การออก สัมปทานบัตร และเซ็นอนุมัติโดยรัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงานและเหมืองแร่ การขอ สัมปทาน จะยื่นขอเป็นแปลงๆ ขอกี่แปลงก็ได้ แต่ต้องระบุว่ามีความถี่ที่เปลี่ยนแปลง โดยพื้นที่ 1 แปลงนั้น จะมีขนาด 2.5x2.5 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 3906.25 ไร่ ทั้งนี้ สามารถเลือกขอสัมปทาน ได้ทั้งแบบเพื่อการสำรวจ และเพื่อการทำเหมือง โดยจะมีอายุของ สัมปทานและอัตราภาษีต่อ แปลงต่อปีแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภทของสัมปทาน

โดยทั่วไปการขอสัมปทานทำเหมือง จะมีอยู่ 3 ประเภทคือ

1. **Type R** เป็นสัมปทานการประเมินแหล่งแร่ (prospecting) ไม่สามารถทำเหมืองได้ สัมปทานชนิดนี้มีอายุ 10 ปี และหลังจากที่ทำ prospecting เรียบร้อยแล้ว สามารถ ขอเปลี่ยนชนิด ของสัมปทานไปเป็นชนิดที่ทำเหมืองได้ สัมปทาน Type R จะต้องจ่ายภาษี สัมปทานต่อปี ต่อ 1 แปลง เท่ากับ 315,000 ฟรังก์มัลกาซี

2. **Type E** สัมปทานชนิดนี้สามารถประกอบการทำเหมืองได้ โดยจะมีอายุ สัมปทานนาน ถึง 40 ปี สัมปทานนี้เหมาะสำหรับบริษัทที่มีการลงทุนมากพอสมควร สัมปทานชนิด Type E เสีย ภาษีสัมปทานต่อปี ต่อ 1 แปลง เท่ากับ 1,600,000 ฟรังก์มัลกาซี

3. **Type PRE** สัมปทานชนิดนี้สามารถทำเหมืองได้ แต่เหมาะสำหรับบริษัทเล็กๆ หรือ บุคคลธรรมดา Type PRE มีอายุ 8 ปี และ จะต้องจ่ายภาษีสัมปทานต่อปี ต่อ 1 แปลง เท่ากับ 95,000 ฟรังก์มัลกาซี

หลังจากยื่นขอสัมปทานเหมืองที่กระทรวงเหมืองแร่แล้ว สิ่งที่ต้องดำเนินการต่อไปคือ การ ยื่นขออนุมัติจากกระทรวงสิ่งแวดล้อม ผ่านหน่วยงานที่เรียกว่า O.N.E (National Office for Environment) โดยแนบรายงานการศึกษาและการสำรวจถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการทำ เหมืองของบริษัท และเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหา พร้อมมาตรการการป้องกันการทำลายสิ่งแวดล้อม แต่ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้บริษัทควรเสนอมาตรการ ที่สามารถนำมาฟื้นฟูปรับสภาพแวดล้อมให้ เหมือนดังเดิม แนบไปพร้อมกันในเอกสารการขอ อนุมัติด้วย โดยทั้งนี้ผู้ยื่นขอสัมปทานต้องได้รับ อนุญาตจากนายกรัฐมนตรีของเขตการปกครอง ที่ขอทำเหมืองด้วยเช่นกัน ผู้ยื่นขอสัมปทาน สามารถคืนพื้นที่สัมปทานบางส่วนใน ภายหลังจาก การยื่นขอสัมปทานได้ในกรณีที่ไม่สามารถทำ เหมืองได้หรือไม่แน่ใจในเรื่องของการคุ้มทุน

เมื่อยื่นเรื่องขอสัมปทานกับรัฐมนตรีของทั้ง 2 กระทรวง คือกระทรวงพลังงาน และ เหมืองแร่ และกระทรวงสิ่งแวดล้อมแล้ว และได้รับการอนุมัติ บริษัทก็สามารถทำเหมือง ได้ทันที โดยทั้งนี้ต้องดำเนินงานตามมาตรการที่ได้เสนอไว้ ขั้นตอนนี้อาจใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 3 เดือน

2.5. ระหว่างการทำเหมือง

ในระหว่างการทำเหมืองต้องมีการลงบันทึกการปฏิบัติงานเป็นประจำ ตามแบบฟอร์ม ของ ทางการ เพื่อนำไปสรุปรายงานประจำปี แบบฟอร์มเอกสารเหล่านี้สามารถหาซื้อได้ตามร้าน

ขายหนังสือของทางกาไป ชนิดของแบบฟอร์มสมุดลงรายการที่ต้องบันทึกการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการทำเหมืองมีดังนี้

1. **Stock Book** เล่มนี้ไว้ลงรายการปริมาณพลอยที่ขุดได้และส่งออกไป เพื่อตรวจสอบปริมาณพลอยคงเหลือ เมื่อสิ้นปี

2. **Register หรือ Labour Book** สมุดเล่มนี้ไว้บันทึกการทำงานทุกวัน รวมถึงจำนวนคนงานด้วยว่ามีกี่คน ทำงานกี่วัน เพื่อที่จะรายงานให้กับกระทรวงแรงงานของมาดากัสการ์ ตอนสิ้นปี

3. **Laissez-Passes (เลเซปาเซ)** เลเซปาเซเป็นหนังสือเอกสารสิทธิ์ที่ใช้กำกับสินค้า เพื่อระบุว่าเป็นสินค้าที่ถูกต้องตามกฎหมาย เลเซปาเซที่ใช้ในธุรกิจการค้าพลอยในมาดากัสการ์ มี 3 ชนิดคือ

- เลเซปาเซ-1 (Laissez-Passes Model 1) เป็นเอกสารสิทธิ์การครอบครองพลอยดิบ มีไว้เพื่อใช้บอกแหล่งที่มาของพลอย บุคคลที่ครอบครองพลอยจะต้องมีเอกสารสิทธิ์ใบนี้ เพื่อแสดงว่าพลอยที่อยู่ในครอบครองนั้นมาจากมาจากเหมืองใดหรือจากแหล่งใด ผู้ที่สามารถจะออกไปเลเซปาเซชนิด 1 นี้ได้ จะต้องเป็นบุคคลหรือเจ้าหน้าที่ที่เป็นผู้แทนของบริษัททำเหมืองหรือในนามของบริษัทที่มีการจดทะเบียนการทำเหมืองอย่างถูกต้องตามกฎหมาย
- เลเซปาเซ-2 (Laissez-Passes Model 2) เอกสารสิทธิ์การครอบครองพลอย ที่ผ่านการเจียรไน
- เลเซปาเซ-3 (Laissez-Passes Model 3) เอกสารสิทธิ์การครอบครองพลอย มีไว้เพื่อใช้ประกอบการส่งออกพลอย

2.6. การส่งออกพลอย

เมื่อเหมืองพลอยมีผลผลิตออกมาและต้องการที่จะขายพลอย ไม่ว่าจะเป็นการขายพลอยภายในประเทศหรือส่งออกนอกประเทศ จะมีขั้นตอนที่แตกต่างกันออกไป ในกรณีที่ขายพลอย ที่เป็นผลผลิตของเหมืองภายในประเทศ บริษัทจะต้องเสียภาษีมูลค่าเพิ่ม(T.V.A)20% ของมูลค่าที่ขายไป แต่สำหรับในกรณีที่ต้องการส่งพลอยออกนอกประเทศจะต้องดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เตรียมเอกสาร ดังนี้

- ใบ เลเซปาเซ ชนิด 1
- ใบ เลเซปาเซ ชนิด 3
- STATUS ของบริษัท
- ตัวเครื่องบิน ที่จะออกนอกประเทศ
- Resident Cards ซึ่งจะต้องมี Long Stay Visa
- เอกสารที่จะส่งแจ้งให้ธนาคารทราบถึงมูลค่าของพลอยที่จะส่งออก เพื่อที่จะได้ส่งเงินกลับเข้ามายังประเทศมาดากัสการ์ ได้ถูกต้องตามมูลค่า

2. แจ้งมูลค่าราคาพลอยที่ได้กับธนาคารที่บริษัทได้เปิดบัญชีไว้ เพื่อให้ทางธนาคาร ได้บันทึกรับทราบมูลค่าของพลอยที่จะส่งออก ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณครึ่งวัน

3. นำเอกสารการแจ้งมูลค่าราคาพลอย ที่ธนาคารลงบันทึกรับทราบแล้ว พร้อมทั้งใบ เลขเปา เช่น ชนิด 1 และ 3 และวัตถุดิบพลอยที่ต้องการจะส่งออก ไปประเมินราคา ที่ Service de mine (กรมธรณีวิทยาและเหมืองแร่) ที่เมืองหลวง Antananarivo ราคาประเมินกำหนด หน่วยเป็นดอลลาร์สหรัฐต่อน้ำหนักเป็นกรัม ราคาประเมินจะปรับทุก 6 เดือน (รัก หรรษาเวก, 2544) ถ้าราคาประเมินของ Service de mine ใกล้เคียงหรือตรงกับราคาที่แจ้งไว้กับทางธนาคาร นั่นก็หมายความว่าราคาที่เราระเมินไปไม่มีปัญหา เราก็สามารถตีราคาและดำเนินการขั้นตอน การปิดผนึกพลอย ได้เลย แต่ถ้าราคาที่เราระเมินไม่เป็นไปตามความต้องการของ Service de mine หรือไม่ตรงกัน ผู้ส่งออกจะต้องกลับไปทำเอกสารแจ้งราคาใหม่ที่ธนาคาร ในมูลค่าที่ Service de mine ยอมรับ แล้วจึงกลับมาเริ่มกระบวนการปิดผนึกห่อพลอยอีกครั้ง ขั้นตอนนี้ใช้เวลา ประมาณ 1 วัน การปิดผนึกพลอย จะต้องทำภายใต้พยานการรับรู้ของเจ้าหน้าที่ประเมินราคา พลอย ทั้งนี้เพื่อป้องกันการ สับเปลี่ยนตัวอย่างพลอย

4. หลังจากปิดผนึกห่อพลอยที่กรมธรณีวิทยาและเหมืองแร่เรียบร้อยแล้ว จะต้องนำ ห่อพลอยไปที่กรมศุลกากรซึ่งอยู่ที่สนามบินเพื่อทำการปิดผนึกอีกครั้ง เพื่อดำเนินพิธีการศุลกากร โดยต้องนำเอกสารทั้งหมด ที่กล่าวมาแล้วในข้อ 1 ไปแสดงประกอบด้วย (ศุลกากร มีสิทธิ์ที่จะขอเปิดดูพลอยที่ปิดผนึกมาแล้วจากกรมธรณีวิทยาและเหมืองแร่)

5. ในวันที่จะเดินทางพร้อมกับนำพลอยออกด้วยนั้น จะต้องแจ้งเจ้าหน้าที่ของกรมศุลกากรอีกครั้ง เพื่อจะได้นำเอกสารจากกรมศุลกากรไปแสดงที่สนามบินว่าเราได้นำพลอย ออกไปอย่างถูกต้อง ผู้ที่มีสิทธิ์นำพลอยออกนอกประเทศได้ตามกฎหมายนั้น จะต้องเป็นกรรมการ ผู้จัดการ หรือผู้ช่วยผู้จัดการ หรือหุ้นส่วนบริษัทที่มี Resident Visa เท่านั้น

6. ต้องส่งเงินค่าพลอย ตามมูลค่าที่ประเมินของพลอยที่เราส่งออกไป ภายใน 3 เดือน ถ้าส่งเงินเข้ามาช้าหลัง 3 เดือนไปแล้ว จะต้องเสียค่าปรับซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

2.7. การรายงานสรุปประจำปี

ในการทำเหมืองต้องมีการสรุปประจำปี เพื่อรายงานให้แก่ทางราชการดังนี้

1. รายงานการทำเหมือง เป็นรายงานเกี่ยวกับรายละเอียดของการทำเหมืองทั้งหมด เช่น ค่าใช้จ่าย ปริมาณพลอยที่ได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างปี และ อื่น ๆ รายงานชุดนี้ส่งให้กระทรวงเหมืองแร่

2. รายงานการส่งออกพลอย เป็นรายงานการส่งออกทั้งหมด ทั้งปริมาณ มูลค่า และ พลอยคงเหลือ รายงานชุดนี้ส่งให้กระทรวงเหมืองแร่

3. รายงานเรื่องคนงาน ต้องส่งให้ กระทรวงแรงงาน ทุกปี ถึง จำนวนคนงานที่ผ่านมา วัน ที่ทำงาน รวมถึงปัญหาต่างๆ ด้วย

4. รายงานเรื่องสิ่งแวดล้อม ถึงรายละเอียดที่ทำระหว่างปี กิจกรรมของบริษัท ปัญหา ที่เกิดขึ้น ส่งให้กระทรวงสิ่งแวดล้อม

5. รายงานเรื่องส่งออก ทั้งหมดถึงปริมาณและมูลค่า ของที่ส่งออก ให้กับกระทรวง การคลัง ภายในเดือน มกราคม ของทุกปี

6. รายงาน Balance Sheet ส่งให้กระทรวงการคลัง ภายใน 30 เมษายน ของทุกปี

7. รายงานการซื้อขาย การซื้อขายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในบริษัท ทั้งพลอยและอื่นๆ ที่เกิดขึ้น

2.8. การเสียภาษีประจำปี

สรุปภาษีทั้งหมดที่ต้องมีการชำระสำหรับการทำธุรกิจในประเทศมาดากัสการ์

- 1) Professional Tax มูลค่าของภาษีที่ชำระขึ้นอยู่กับกิจกรรมของบริษัทที่ทำ
 - 2) T.V.A เป็นภาษีมูลค่าเพิ่ม (ไทยเรียก V.A.T.) เสีย 20% ของมูลค่าพลอย เมื่อมีการซื้อขายภายในประเทศ
 - 3) I.B.S. เป็นภาษินิติบุคคล ภาษีนี้อาจทุกสิ้นปี คิด 35 % จากกำไรสุทธิ
 - 4) ภาษีของสัมปทานขึ้นกับชนิดของสัมปทาน คือ Type R, Type E และ Type PRE โดยต้องจ่ายเป็นเงินเท่ากับ 315,000 1,600,000 95,000 ฟรังก์มาลากาซี ต่อ 1 แปลง ต่อปี ตามลำดับ
- กรณีที่ไม่ชำระภาษีหรือนำส่งภาษีล่าช้าหรือไม่ได้ส่งรายงานตามกำหนด จะต้องเสียค่าปรับดังนี้
1. กรณีส่งออกพลอย ถ้ามีการส่งเงินเข้ามาล่าช้าหลังจากที่ส่งออกพลอยไปแล้ว 3 เดือน มีค่าปรับดังนี้
 - 10% ของมูลค่าที่จะต้องส่งเงินเข้ามา สำหรับเดือนแรกที่ส่งช้ากว่ากำหนด
 - 50% ของมูลค่าที่จะต้องส่งเงินเข้ามา สำหรับเดือนที่ 2
 - 100% ของมูลค่าที่จะต้องส่งเงินเข้ามาสำหรับเดือนที่ 3 ขึ้นไป
 2. กรณีการส่งภาษีมูลค่าเพิ่ม (T.V.A) ล่าช้า จะถูกปรับเดือนละ 200,000 ฟรังก์มาลากาซี และถ้าไม่นำส่งค่าปรับ คิดเทียบปรับอีก 20% ของมูลค่าที่ไม่ได้นำส่ง และต้อง นำส่งค่าภาษีด้วย
 3. กรณีการส่งรายงานการส่งออกไม้ทันทัน ภายในเดือนมกราคม (ตามรายงานที่ต้องส่งข้อ 5 ในหัวข้อ 2.7) จะเสียค่าปรับ 25% ของยอดส่งออกทั้งหมด
 4. กรณีส่ง Balance Sheet ไม่ทันภายในกำหนดเวลา (ตามรายงานที่ต้องส่ง ข้อ 6 หัวข้อที่ 2.7) จะต้องเสียค่าปรับ 30% ของยอดกำไรสุทธิ
 5. กรณีที่ไม่ได้ส่งรายงานการซื้อขายทั้งหมด (ตามรายงานที่ต้องส่งข้อ 7 หัวข้อ 2.7) จะเสียค่าปรับ 25% ของยอดซื้อรวมกับยอดขายทั้งหมด

บทที่ 3

การศึกษาพลอยคอร์ันดัมจากแหล่งพลอยอิรักกา ประเทศมาดากัสการ์

3.1 ลักษณะตัวอย่าง

ตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมที่นำมาทำการศึกษาเป็นตัวอย่างพลอยก้อนจากแหล่งพลอยอิรักกา ประเทศมาดากัสการ์ จำนวนทั้งสิ้น 43 ตัวอย่าง ที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 0.5 ถึง 4.5 กะรัต และมีขนาดตั้งแต่ 0.3 ถึง 1.2 ซม. พลอยก้อนส่วนใหญ่มีลักษณะมน อันเนื่อง มาจากการขัดสีโดยกระบวนการกัดกร่อน และพัดพาไปกับกระแสน้ำในลำธาร ซึ่งเป็นลักษณะ พลอยของแหล่งพลอยทุติยภูมิ ที่เกิดจากการผุพัง ของหินต้นกำเนิด และพลอยซึ่งมีความ ทนทานต่อการผุพังได้ดีกว่า หินต้นกำเนิด ได้ถูกพัดพาไปสะสมตัวรวมกันในพื้นที่กรวดที่เรียกกันว่า “ชั้นกะสะพลอย”

3.2 นิษัทรูปผลึก (Crystal Habits)

เม็ดพลอยก้อนส่วนใหญ่ มีลักษณะมน (water-worn) รูปร่างไม่แน่นอน แต่มี บางตัวอย่าง ยังคงรักษา รูปผลึกให้เห็น ได้บ้างคร่าวๆ นิษัทรูปผลึกที่พบเป็นส่วนใหญ่ มีลักษณะเป็นรูปปิรามิด หกเหลี่ยม ที่มีด้านข้างป่องออก และมีด้านบนและล่าง เป็นหน้าเรียบ ที่รู้จักกันในรูปถึงเบียร์ (barrel-shaped crystals) (รูปที่ 3.1ก) ลักษณะเป็นรูปปิรามิด หกเหลี่ยมปลายแหลม ๒ ด้าน ที่มีด้านของปิรามิดลาดชัน (long and steep dipyramid) (รูปที่ 3.1ข) จนถึงลักษณะรูปหกเหลี่ยมยาว ด้านข้างตั้งตรง มีปลายสอบเข้าหากันเล็กน้อย ทั้งด้านบน และล่าง และตัดด้านบนและล่าง ด้วยหน้าเรียบสองด้าน (combination of prism-dipyramid and basal pinacoids) (รูปที่ 3.1ค) และลักษณะเป็นแผ่นหนา (tabular habit with short prism faces and small rhombohedral faces)

3.3 เขตสีพลอย

ตัวอย่างพลอยที่ศึกษามีเขตสีและความมืดสว่างของสี ตั้งแต่ น้ำเงินเข้ม น้ำเงินปานกลาง น้ำเงินอ่อน ไร้สี ชมพูแก่ถึงอ่อน และม่วง ตัวอย่างไร้สี บางที่มีแถบสี หรือจุดสีน้ำเงิน หรือเหลือง บ้าง ตัวอย่าง ส่วนใหญ่ จะค่อนข้างโปร่งใส มีความวาวแบบแก้ว

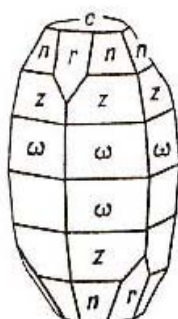
ตัวอย่าง ทั้ง 43 ตัวอย่าง สามารถแบ่งกลุ่มออกได้เป็น 4 กลุ่ม ตามเขตสีหลักๆ คือ

กลุ่มที่ 1 SP1-B	แซปไฟร์สีน้ำเงิน	(รูปที่ 3.2)
กลุ่มที่ 2 SP1-V	แซปไฟร์สีม่วง	(รูปที่ 3.3)
กลุ่มที่ 3 SP1-P	แซปไฟร์สีชมพู	(รูปที่ 3.4)
กลุ่มที่ 4 SP1-CL	แซปไฟร์ไร้สี	(รูปที่ 3.5)

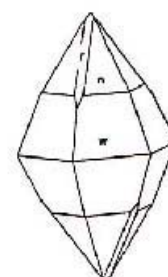
3.4 การเตรียมตัวอย่าง

จากตัวอย่างทั้งสิ้นจำนวน 43 ตัวอย่าง ได้ทำการคัดออกมาจำนวน 29 ตัวอย่าง (สีน้ำเงินจำนวน 14 ตัวอย่าง (รูปที่ 3.6) สีม่วงจำนวน 4 ตัวอย่าง (รูปที่ 3.7) สีชมพูจำนวน 4 ตัวอย่าง (รูปที่ 3.8) และไร้สีจำนวน 7 ตัวอย่าง (รูปที่ 3.9) เพื่อทำการเปิดหน้าพลอย ตั้งฉากกับแกนแสง หรือแกน C ขนานกันสองด้าน สำหรับใช้วัดสมบัติทางแสงขั้นพื้นฐาน เพื่อตรวจสอบชนิดพลอยให้ถูกต้อง อีกครั้งหนึ่ง ก่อนนำพลอยไปตรวจวัด สมบัติทางแสงอื่นๆ ด้วยเครื่องมือขั้นสูง ได้แก่ UV-VIS-NIR Spectroscopy, FTIR Spectroscopy วิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบหลัก และ

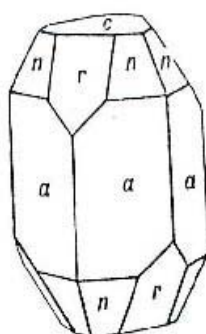
ธาตุร่องรอย ด้วยเครื่องมือ EDXRF ตรวจสอบลักษณะภายใน และชนิดมลทินด้วยกล้องจุลทรรศน์ และ เรเซอร์รามานสเปกโตรสโคป



(ก) รูปถังเบียร์ (barrel-shaped crystals)



(ข) เป็นรูปปิรามิดหกเหลี่ยมปลายแหลม ๒ ด้าน
(long and steep dipyrnid)



(ค) รูปปริซึมหกเหลี่ยมยาว (combination
of prism- dipyrnid and basal
pinacoids)

3.5 ผลวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานทางแสง

รูปที่ 3.1 เปรียบเทียบลักษณะนิสัยรูปผลึก (crystal habits) ของตัวอย่างพลอยก่อนจากแหล่ง
พลอยอิรากาา กับนิสัยรูปผลึกจำลองของแร่พลอยคอร์นดัม

สมบัติพื้นฐานทางแสงที่ได้ทำการตรวจวัดมี ค่าดัชนีหักเห ค่าไบรีฟรินเจนซ์ ค่าความถ่วง
จำเพาะ การเรืองแสงภายใต้รังสีอัลตราไวโอเรต ซึ่งแสดงผลในตารางที่ 3.1 จากผล การศึกษา
วิเคราะห์ พบว่าพลอยทั้ง 4 กลุ่ม มีค่าดัชนีหักเห ค่าไบรีฟรินเจนซ์ และค่าความ ถ่วงจำเพาะ อยู่ใน
ช่วงของแร่คอร์นดัมทั่วไป แต่มีข้อน่าสังเกตที่ว่า แซปไฟร์สีม่วง และสีชมพู แสดงการเรืองแสงสี
แดง-ชมพู ภายใต้รังสีอัลตราไวโอเรตคลื่นยาว ลักษณะเช่นนี้เป็นตัวบ่งชี้ ในเบื้องต้นว่าแร่พลอย
คอร์นดัม จากแหล่งอิรากาา น่าจะมีการกำเนิดที่สัมพันธ์กับการเกิดของ กระบวนการหินแปร
มากกว่า จากกระบวนการเกิดหินภูเขาไฟชนิดแอลคาไลน์บะซอลต์ ทั้งนี้ เพราะในกระบวนการ
หินแปร จะมีธาตุเหล็กเข้าไปแทนที่ในโครงสร้างพลอยน้อยกว่าจากกระบวนการ หินภูเขาไฟชนิดบะ
ซอลต์ ทำให้พลอยจากกระบวนการหินแปรมีการเรืองแสงได้ดีกว่า (ธาตุเหล็ก เป็นธาตุที่กีดการ

เรืองแสงของพลอย ถ้ามีมากจะทำให้พลอยไม่เรืองแสง) สมมุติฐานข้อนี้สามารถ ยืนยันได้จากผลวิเคราะห์ทางเคมี และการตรวจการดูดกลืนแสงในช่วง UV-VIS-NIR



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะตัวอย่างพลอยดิบในกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B)



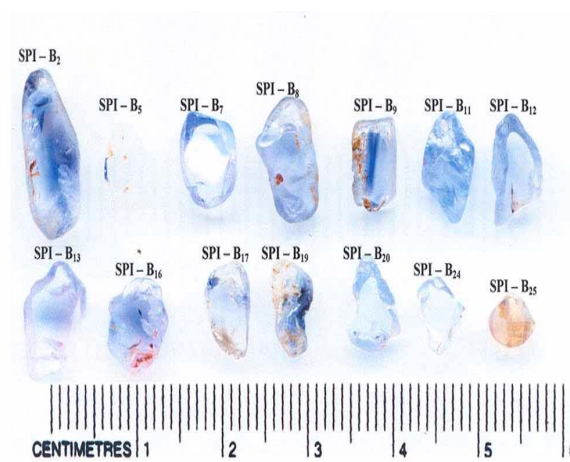
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะตัวอย่างพลอยดิบในกลุ่มสีม่วง (SPI-V)



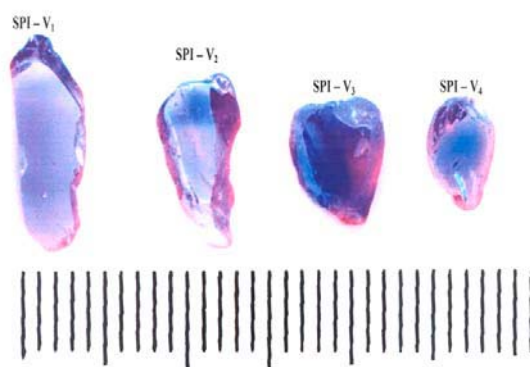
รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะตัวอย่างพลอยดิบในกลุ่มสีชมพู (SPI-P)



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะตัวอย่างพลอยดิบในกลุ่มไร้สี (SPI-CL)



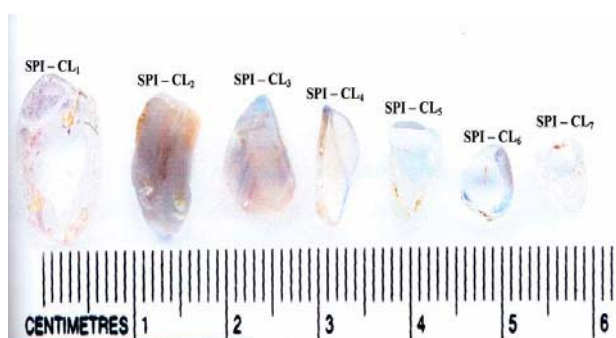
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะพลอยดิบในกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B)
ที่ได้ทำการขัดเปิดหน้า ตั้งฉากกับแกนแสง



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะพลอยดิบในกลุ่มสีม่วง (SPI-V)
ที่ได้ทำการขัดเปิดหน้า ตั้งฉากกับแกนแสง



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะพลอยดิบในกลุ่มสีชมพู (SPI-P)
ที่ได้ทำการขัดเปิดหน้า ตั้งฉากกับแกนแสง



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะพลอยดิบในกลุ่มไร้สี (SPI-CL)
ที่ได้ทำการขัดเปิดหน้า ตั้งฉากกับแกนแสง

ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติพื้นฐานทางแสงของพลอยแซปไฟร์ 4 กลุ่ม จาก แหล่งพลอยอิลากา ประเทศมาดากัสการ์

สมบัติทางแสง / กลุ่มสี	สีน้ำเงิน	สีม่วง	สีชมพู	ไร้สี
ค่าดัชนีหักเห $N_c =$	1.760-1.762	1.760-1.762	1.761-1.762	1.760-1.764
$N_o =$	1.768-1.770	1.769-1.770	1.768-1.769	1.769-1.770
ค่าไบรีฟรินเจนซ์	0.008-0.010	0.009-0.010	0.007-0.008	0.009-0.010
ค่าความถ่วงจำเพาะ	3.91-4.05	3.95-4.00	3.93-3.97	3.89-3.98
การเรืองแสง SW-UV LW-UV	inert weak pink	Inert strong red	inert strong red	inert moderate orange-pink

3.6 ลักษณะภายใน (Internal Characteristics)

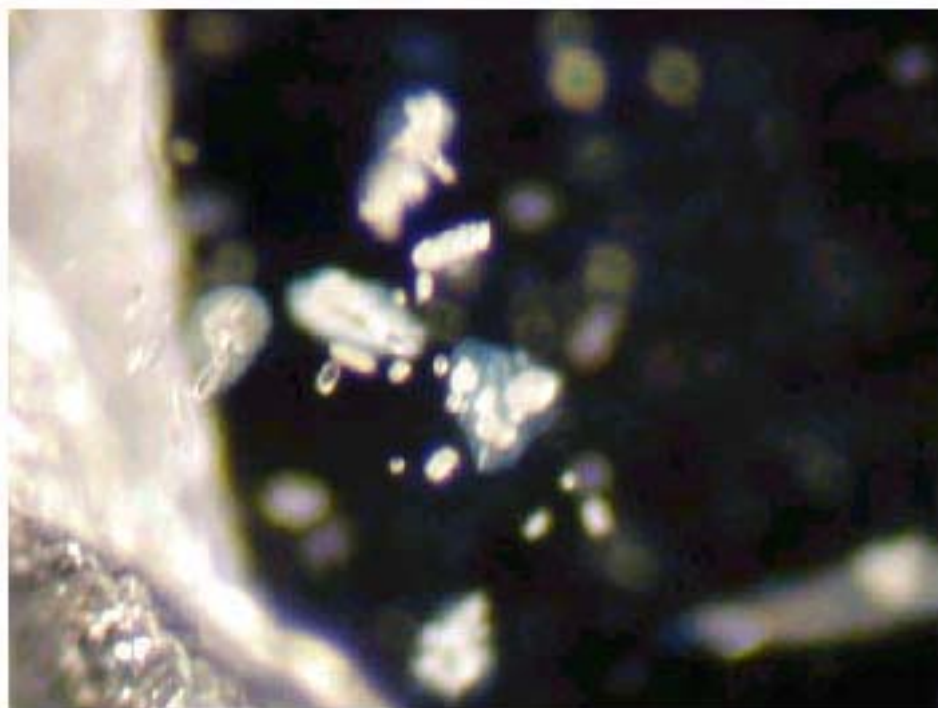
การตรวจสอบศึกษาลักษณะภายในของพลอยแซปไฟร์ทั้ง 4 กลุ่ม ได้กระทำภายใต้กล้องจุลทรรศน์อัญมณีแบบสเตอริโอซุม ทั้งชนิดปกติ และชนิดจุ่มในของเหลวหนืด ภาพทั้งหมดได้ถูกบันทึกโดยกล้องดิจิทัล มลทินผลึกแร่บางผลึกได้นำไปทำการตรวจสอบชนิดแร่ โดยเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง ชนิดเลเซอร์รามานสเปกโตรสโคป ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ ดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 แซปไฟร์สีน้ำเงิน (SPI-B)

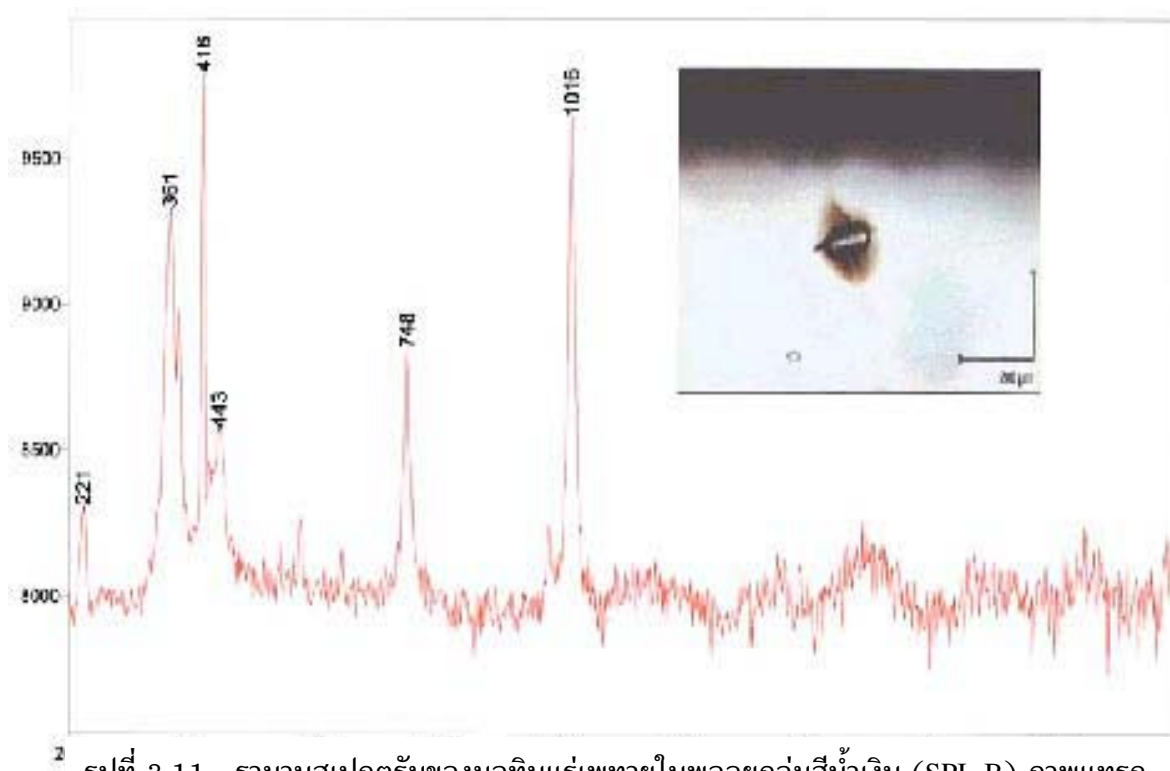
มลทินผลึกแร่ที่พบบ่อยที่สุด คือ มลทินแร่เพทาย (zircon) มักเกิดรวมตัวเป็นกลุ่ม (รูปที่ 3.10 และ 3.11) ลักษณะผลึก เป็นแท่งปริซึมสี่เหลี่ยม ขนาดสั้นถึงยาว ปลายแหลม ทั้งสองด้าน และ ขอบค่อนข้างมน (long and short tetragonal prismatic shape with rounded-off edges on both ends) ผลึกมีลักษณะใส มี relief และ birefringence สูง มักจะแสดงลักษณะ ที่เกิดจากกัมมันตภาพรังสี (radioactive halo) มลทินแร่อะพาไทต์ (รูปที่ 3.12 และ 3.13) พบเป็นแท่งปริซึมหกเหลี่ยมยาว ปลายทั้งสองด้านปิดด้วยหน้าปิรามิด (long hexagonal prismatic shape terminated by pyramid and probably basal pinacoid) ผลึกมีลักษณะใส รูปผลึกค่อนข้างสมบูรณ์ มลทินแร่ฟาราโกไนต์ (รูปที่ 3.14 และ 3.15) ที่มีลักษณะเป็น แผ่นขนาดเล็ก (พบเพียงผลึกเดียว) มลทินผลึกกลางทุติยภูมิ (secondary negative crystals) ที่วางตัวอยู่ตามระนาบ (รูปที่ 3.16) พบว่ามลทินผลึกกลางเหล่านี้ถูกบรรจุด้วย คาร์บอนได ออกไซด์ (รูปที่ 3.17) มลทินแร่โมนาไซต์ (รูปที่ 3.18) มีลักษณะเป็นเม็ดกลมใส (พบเพียงผลึกเดียว) มลทินเส้นเข็มค่อนข้างยาวของแร่รูไทล์ที่ตัดกันด้วยมุม $60^\circ/120^\circ$ (รูปที่ 3.19) พบเป็นหย่อมๆ เท่านั้น ลักษณะภายในอื่นๆที่พบ มีรอยแตกสมาน (healed fractures) ที่มีรูปร่างต่างๆ เช่น คล้ายรอยนิ้วมือ คล้ายขนนก คล้ายจาน เป็นต้น (รูปที่ 3.20, 3.21, 3.22 และ 3.23) มลทินท่อกลาง (long tubes) ที่วางตัวขนานกับแนวการเติบโตของผลึก (รูปที่ 3.24) และมลทินฝุ่น (cloud of dust particles)

กลุ่มที่ 2 แซปไฟร์สีม่วง (SPI-V)

เนื่องจากแซปไฟร์กลุ่มนี้มีเพียง 4 ตัวอย่าง จึงไม่พบลักษณะภายใน ที่แตกต่าง ไปจากกลุ่มสีน้ำเงินมากนัก มลทินผลึกแร่ที่พบมากคือ แร่เพทาย (zircon; รูปที่ 3.25) ลักษณะรูปผลึกเป็นแท่งสี่ขอบมน



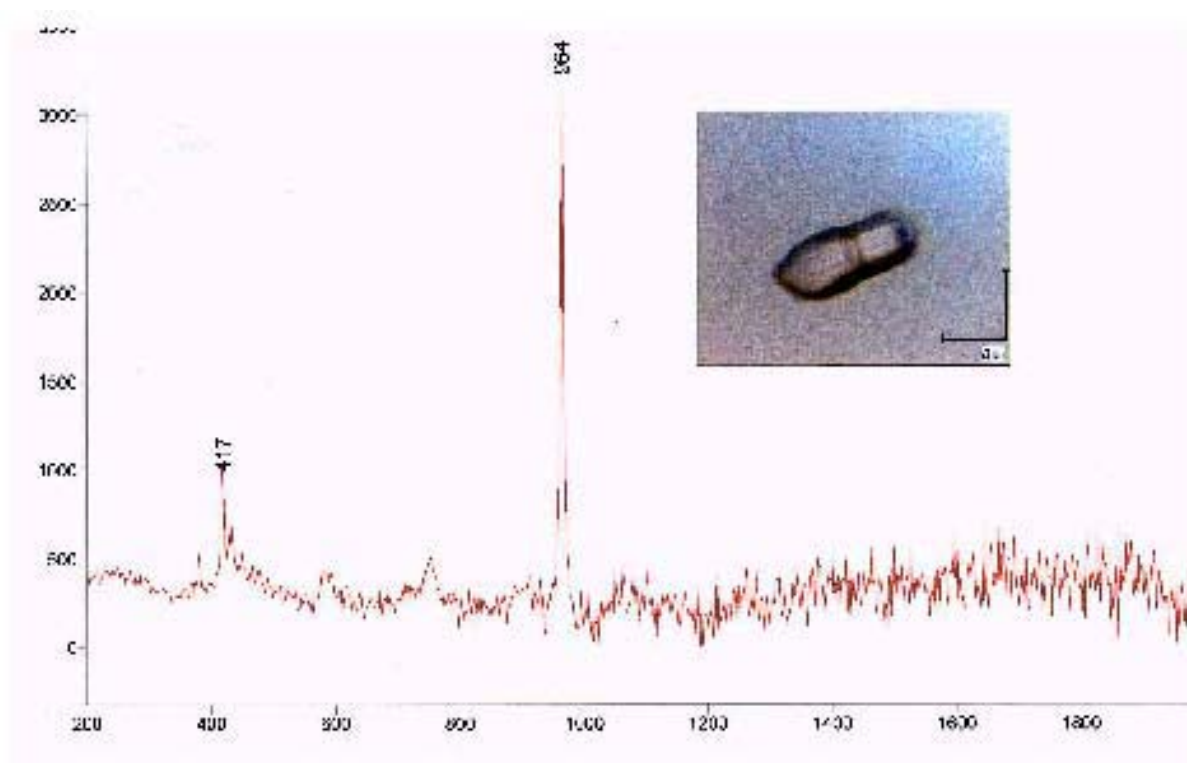
รูปที่ 3.10 มลทินแร่เพทายในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B) มักเกิดรวมอยู่กันเป็นกลุ่ม ส่วนใหญ่จะแสดงลักษณะวงรัศมีที่เกิดจากกัมมันตรังสี (Radioactive haloes)



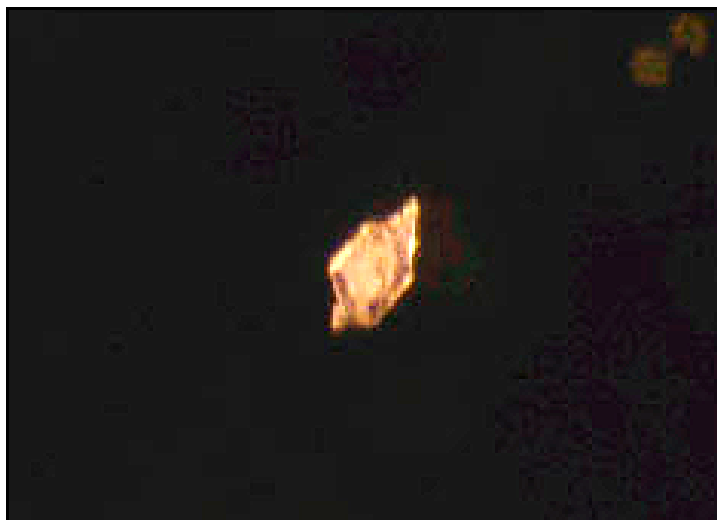
รูปที่ 3.11 รามานสเปกตรัมของมลทินแร่เพทายในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B) ภาพแทรกคือมลทินแร่เพทายที่ทำการตรวจสอบ (สังเกตรังสีรอบผลึกแร่)



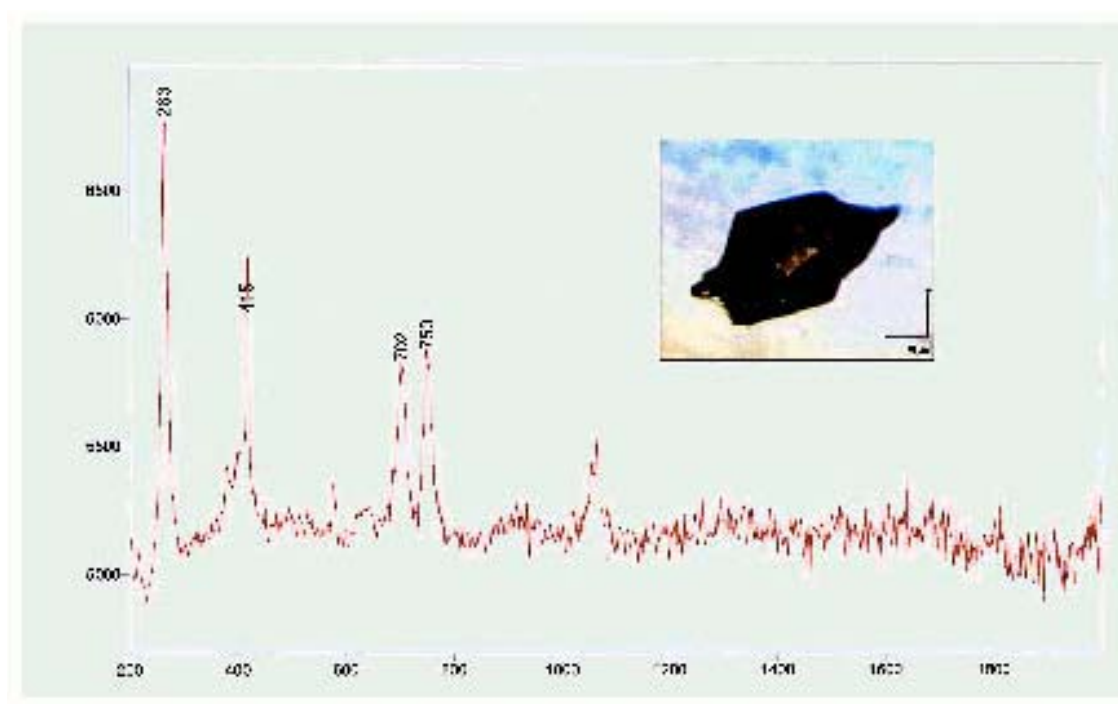
รูปที่ 3.12 มลทินผลึกแร่อะพาไทต์ในกลุ่มพลอยสีน้ำเงิน (SPI-B)



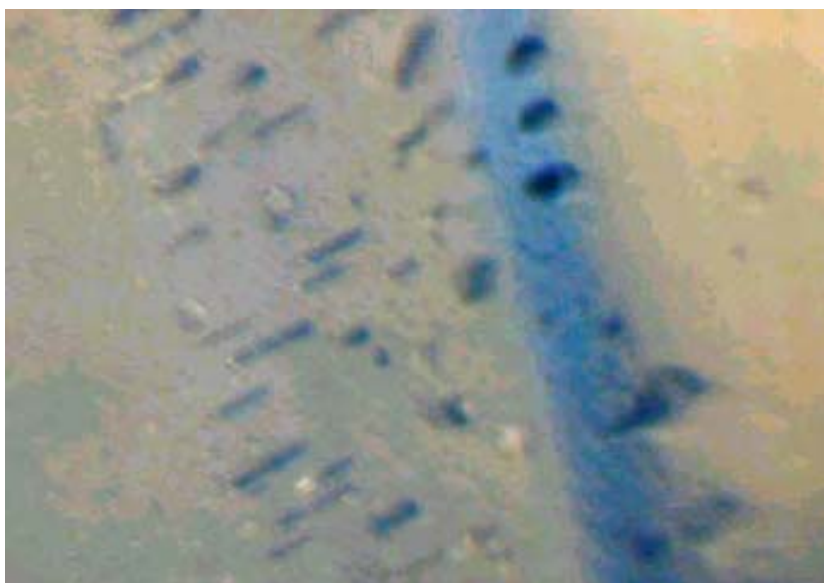
รูปที่ 3.13 รามานสเปกตรัมของมลทินแร่อะพาไทต์ในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B) ภาพแทรกคือมลทินแร่อะพาไทต์ที่ทำการตรวจสอบ



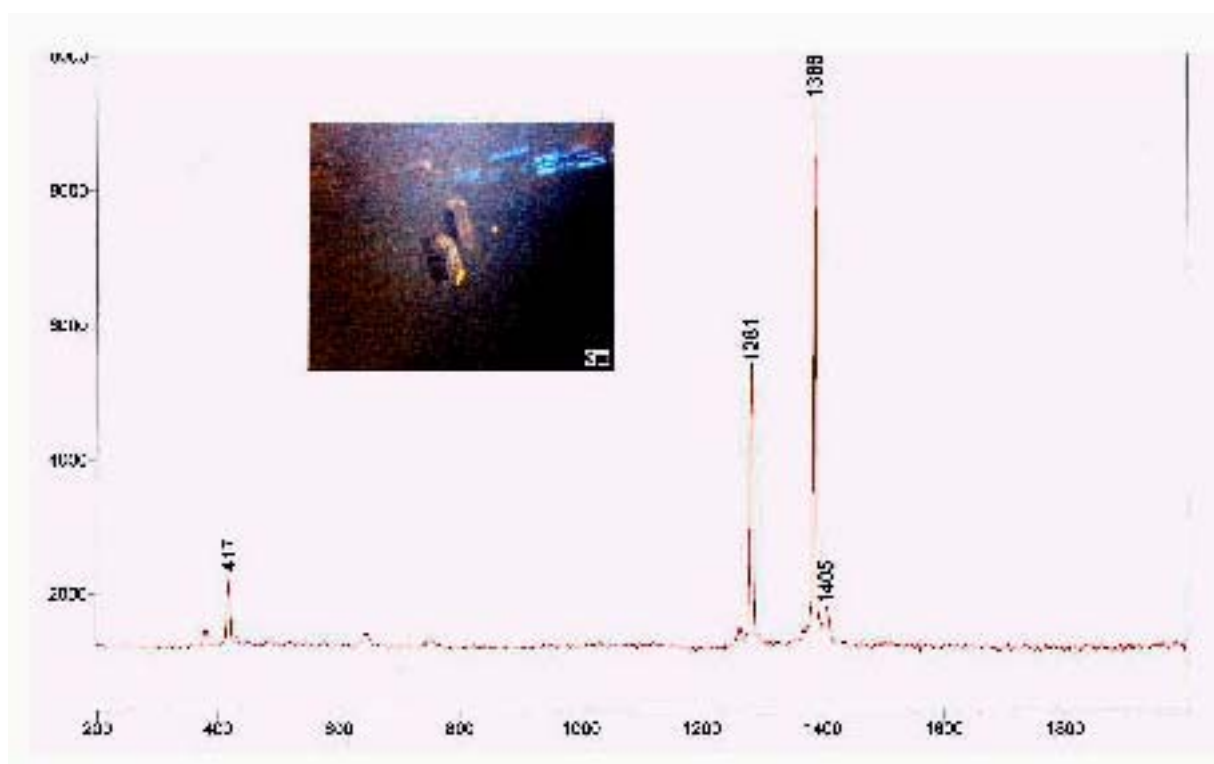
รูปที่ 3.14 มลทินผลึกแร่พาราโกไนต์ ในกลุ่มพลอยสีน้ำเงิน (SPI-B) ที่มีลักษณะเป็นแผ่นขนาดเล็ก



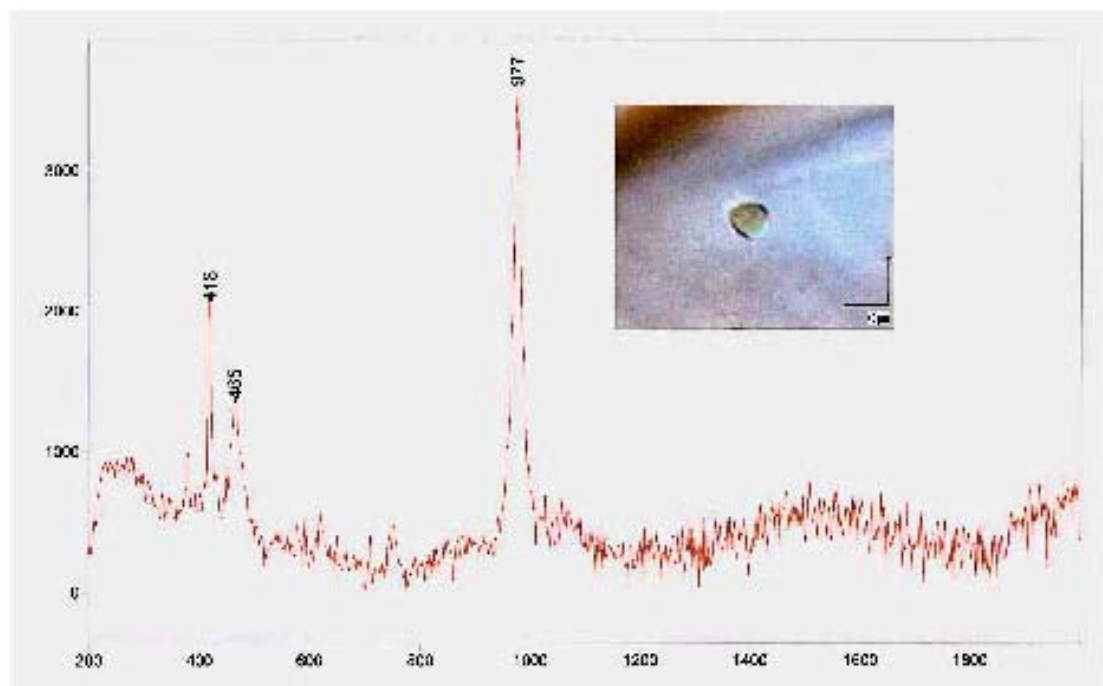
รูปที่ 3.15 รามานสเปกตรัมของมลทินแร่พาราโกไนต์ในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B)
ภาพแทรกคือมลทินแร่พาราโกไนต์ที่ทำการตรวจสอบ



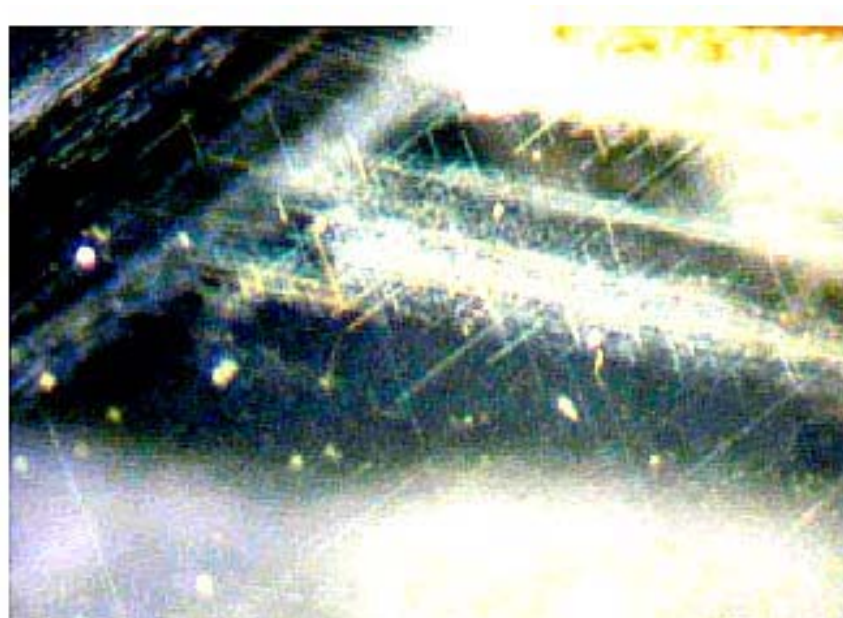
รูปที่ 3.16 มลทินผลึกกลางทุติยภูมิที่เรียงตัวกันตามระนาบในพอลอยกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B)



รูปที่ 3.17 รามานสเปกตรัมของมลทินของไหลคาร์บอนไดออกไซด์ที่บรรจุอยู่ในมลทินผลึกกลางรูปแทรก) ในพอลอยกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B)



รูปที่ 3.18 รามานสเปกตรัมของมลทินผลึกแร้โมนาไซด์ (รูปแทรก)
ที่พบในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B)



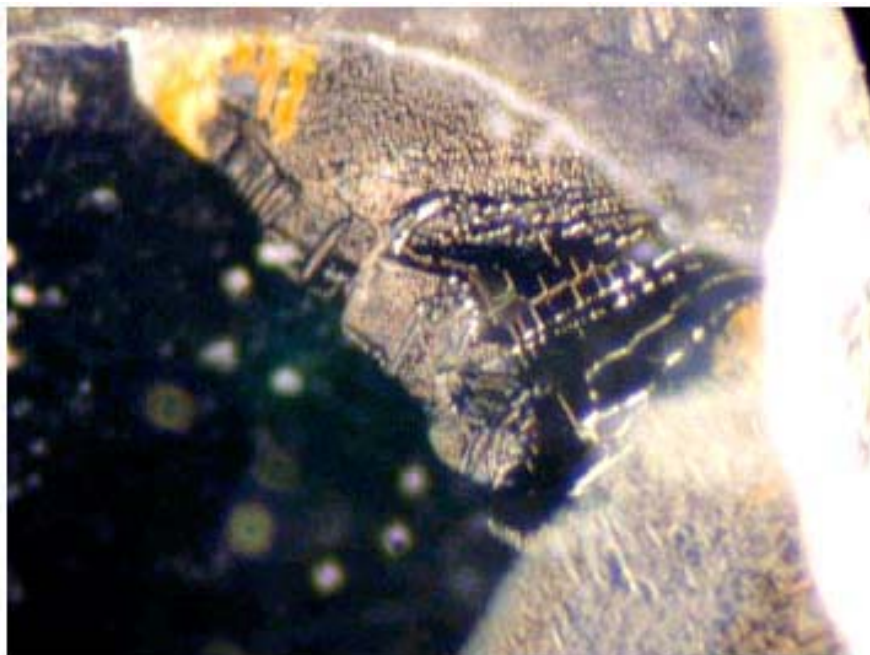
รูปที่ 3.19 มลทินเส้นเข็มรูไทล์ วางตัวตัดกันด้วยมุม 60/120 องศา
พบในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B)



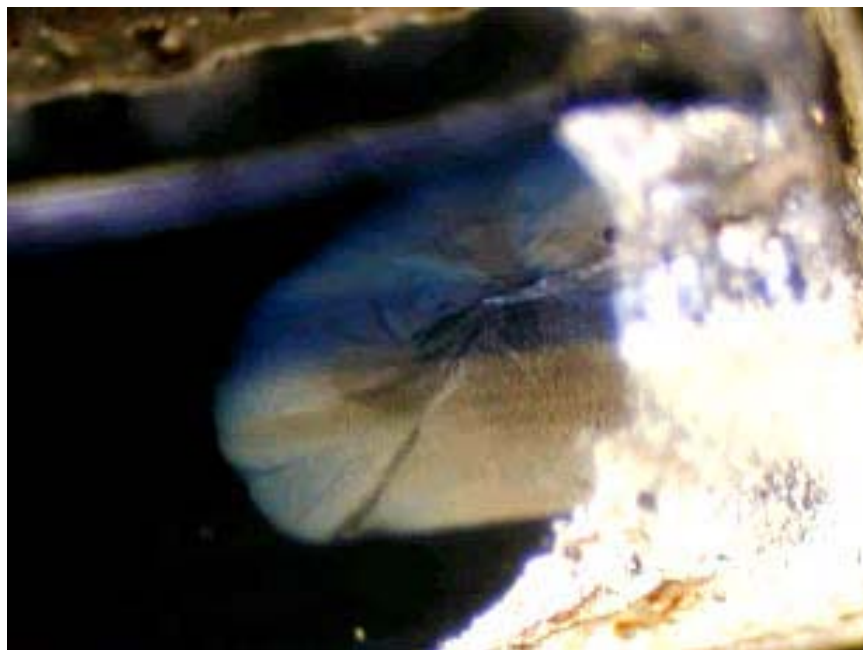
รูปที่ 3.20 มลทินรอยแตกสมานรูปจาน (disc-like healed fractures)
พบในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B)



รูปที่ 3.21 มลทินรอยแตกสมานรูปรอยนิ้วมือ (fingerprint-like healed fractures)
มลทินผลึกกลวงที่เรียงตัวไปตามรอยแตกสมาน และเหล็กออกไซด์
สีน้ำตาลเหลือง พบในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B)



รูปที่ 3.22 มลทินรอยแตกสมานรูปรอยนิ้วมือ (fingerprint-like healed fractures)
พบในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B)



รูปที่ 3.23 มลทินรอยแตกสมานรูปขนนก (feather-like healed fractures)
พบในพลอยกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B)



รูปที่ 3.24 มลทินท่อกลวง (Long tubes) วางตัวขนานกับแนวการเติบโตของ
ผลึกแร่ควอร์ตซ์ในกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B)



รูปที่ 3.25 มลทินผลึกแร่เพทายที่มีลักษณะขอบมน อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม
พบในพลอยกลุ่มสีม่วง (SPI-V)

มี relief และ birefringence ที่สูง มักเกิดรวมตัวกันเป็นกลุ่ม บ่อยครั้งแสดงลักษณะรัศมี ที่เกิดจากการทำลายของธาตุกัมมันตภาพรังสี ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของมลทินแร่เพทาย ลักษณะ ภายใต้อื่น ๆ ที่พบมี แนวการเติบโตของผลึก ที่ทำมุม 120 องศา (รูปที่ 3.26) ท่อกลวงยาวที่วาง ตัวขนานกัน (รูปที่ 3.27)

กลุ่มที่ 3 แชนไพร์ซมพู (SPI-P)

แชนไพร์กลุ่มนี้มีเพียง 4 ตัวอย่าง เช่นเดียวกับในกลุ่มที่ 2 ลักษณะภายในที่พบ จึงไม่แตกต่างไปจากกลุ่มสีม่วงมากนัก แร่เพทายจะเป็นมลทินผลึกแร่ที่พบบ่อยและกระจายอยู่ทั่วไป (รูปที่ 3.28) เป็นที่น่าสังเกตว่ามลทินผลึกแร่เพทายเป็นลักษณะเด่นของพลอยจากแหล่งนี้

กลุ่มที่ 4 แชนไพร์ไรสี (SPI-CL)

จากการศึกษาตัวอย่างแชนไพร์ของกลุ่มไรสีจำนวน 7 ตัวอย่าง พบว่ามีลักษณะภายใน ที่เหมือนกับกลุ่มสีอื่น ๆ มลทินผลึกแร่ที่พบบ่อยที่สุดคือ แร่เพทาย ที่มีกรวมตัวกันเป็นกระจุก (รูปที่ 3.29) มลทินผลึกกลวง ที่มีหางยาวคล้ายดาวหาง (รูปที่ 3.30) มลทินผลึกกลวง 2 สถานะ (รูปที่ 3.31) และมลทินเส้นเข็มยาวของแร่รูไทล์ ที่ตัดกันด้วยมุม $60^{\circ}/120^{\circ}$ (รูปที่ 3.32) ลักษณะภายในอื่น ๆ ที่พบ เช่นรอยแตกสมานคล้ายรอยนิ้วมือ แนวการเติบโตของผลึกท่อกลวงยาว ที่ขนานกัน (รูปที่ 3.33) และมลทินฝุ่น

3.7 การวิเคราะห์ทางเคมี (Chemical Analysis)

การวิเคราะห์ทางเคมีได้ดำเนินการโดยใช้วิธี standardless fundamental parameter analysis ด้วยเครื่องมือ EDXRF ที่ สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ ผลวิเคราะห์ของพลอยทั้ง 4 กลุ่มได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

จากผลวิเคราะห์ที่ได้ พบว่าปริมาณ Fe_2O_3 และ TiO_2 ของพลอยสีน้ำเงิน มีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มพลอยไรสี ลักษณะเช่นนี้บ่งชี้ว่า กลุ่มพลอยไรสีบางส่วน น่าจะสามารถเผาเป็นสีน้ำเงินได้ สำหรับกลุ่มพลอยสีม่วงและสีชมพู พบว่ามีปริมาณ Cr_2O_3 และ V_2O_5 สูงกว่ากลุ่มสีอื่น ซึ่งเป็นลักษณะปกติสำหรับพลอยสีชมพูถึงม่วงทั่วไป ข้อที่น่าสังเกตคือ พลอยกลุ่มสีม่วง และสีชมพู เหล่านี้มีปริมาณ Fe_2O_3 ค่อนข้างต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับ ลักษณะการเรืองแสง ที่กล่าวมาข้างต้น และสนับสนุนสมมุติฐานที่ว่า พลอยเหล่านี้จะมีกำเนิดมาจากกระบวนการแปรสภาพของหินแปร มากกว่ากระบวนการเกิดหินภูเขาไฟปะชอลต์

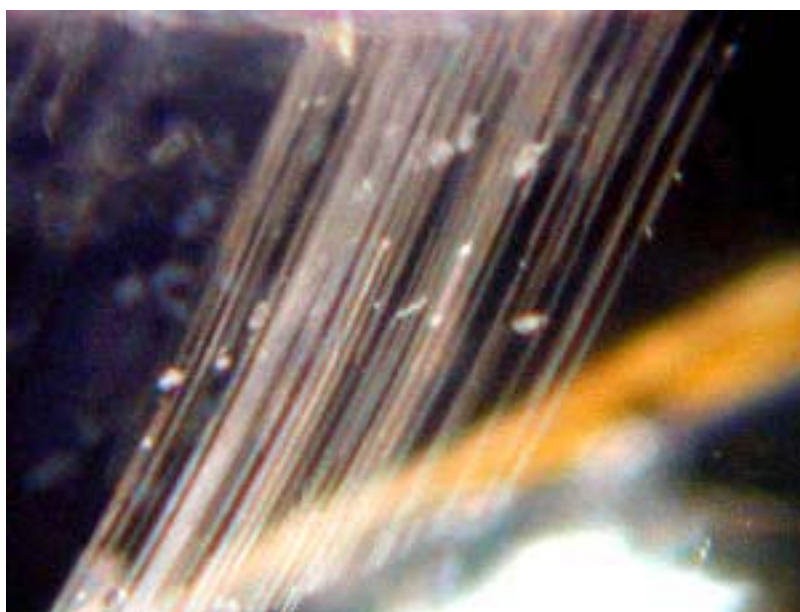
3.8 การศึกษาการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรด (Infra Red)

พลอยทั้ง 4 กลุ่มได้ทำการตรวจสอบการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงกลางและไกล (mid and far IR) ด้วยเครื่องมือ Nicolet FTIR spectrophotometer (Model Nexus 670) ที่สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณี และเครื่องประดับแห่งชาติ ผลการตรวจสอบพลอยทั้ง 4 กลุ่ม (รูปที่ 3.34 ถึง 3.37) ลักษณะสเปกโตรแกรมของพลอยทั้ง 4 กลุ่ม ปรากฏออกมาเหมือนกัน ทุกประการ ซึ่งเป็นรูปแบบเฉพาะการดูดกลืนแสงของแร่พลอยคอร์ันดัม โดยพบว่าการ ดูดกลืนแสงทั้งหมดตั้งแต่ช่วง 2000 เวฟนัมเบอร์ (wave number) ขึ้นไป นอกจากนี้ยังพบ Peaks การดูดกลืน อันเนื่องมาจากความชื้นในอากาศ (H_2O) ในช่วง 3400-3900 เวฟนัมเบอร์ จากคาร์บอนไดออกไซด์ใน

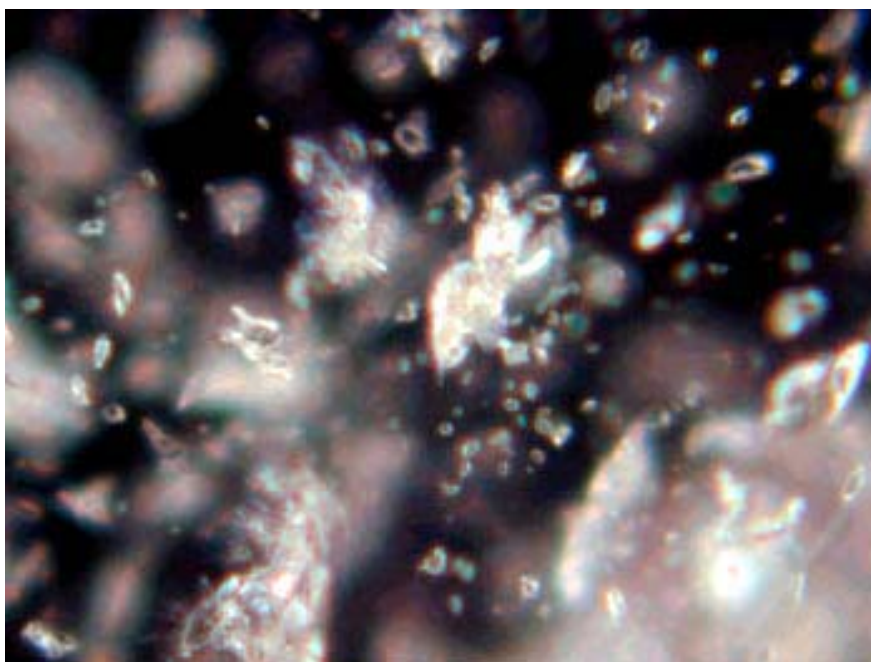
อากาศ (CO_2) ที่ตำแหน่งประมาณ 2340 2360 เวฟนัมเบอร์ และ C-H Stretching ที่ตำแหน่งประมาณ 2954 2920 2850 เวฟนัมเบอร์ ที่อาจเนื่องมาจาก ความสกปรก ของสารไฮโดรคาร์บอนบนผิว หรือภายในรอยแตก สำหรับ Peaks การดูดกลืน ที่เกิดจาก O-H Stretching ของอนุมูลน้ำอิสระ (free OH) ที่ตำแหน่ง 3309 3232 และ 3183 เวฟนัมเบอร์ พบว่าไม่สามารถตรวจวัดได้ หรือตรวจวัดได้ในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งเป็นผลปกติ สำหรับแร่พลอยคอร์ันดัมที่ไม่ผ่านการเผา



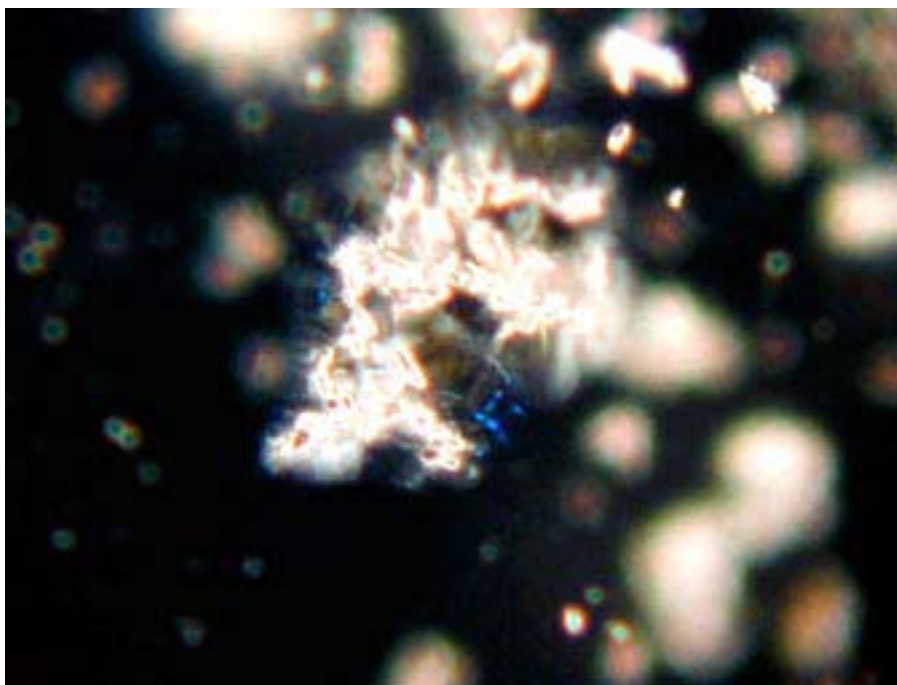
รูปที่ 3. 26 ตัวอย่างพลอยอิลากาในกลุ่มสีม่วง (SP-V) ที่แสดงแนวการเจริญเติบโตของผลึกพลอย ทำมุม 120 องศา



รูปที่ 3.27 มลทินที่ตกลงที่วางตัวขนานกัน พบในพลอยกลุ่มสีม่วง (SP-V)



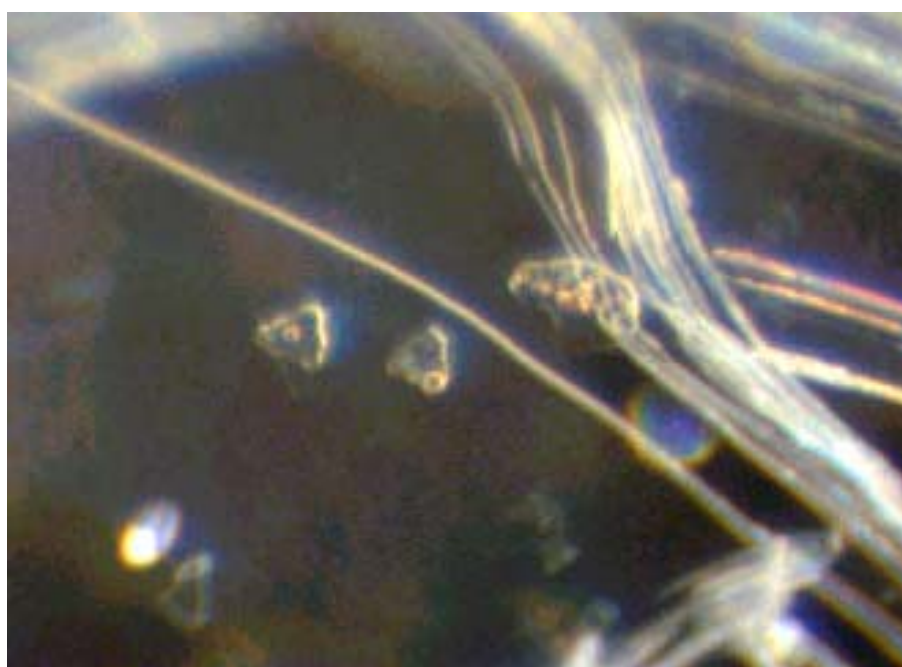
รูปที่ 3.28 มลทินแร่เพทาย ที่มีลักษณะขอบมน พบกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อพลอย ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของพลอยกลุ่มสีชมพู (SPI-P)



รูปที่ 3.29 มลทินแร่เพทาย ที่รวมตัวอยู่กันเป็นกลุ่ม พบในพลอยกลุ่มไร้สี (SPI-CL)



รูปที่ 3.30 มลทินผลึกกลวงยาวคล้ายดาวหาง พบในกลุ่มพลอยไร้สี (SPI-CL)



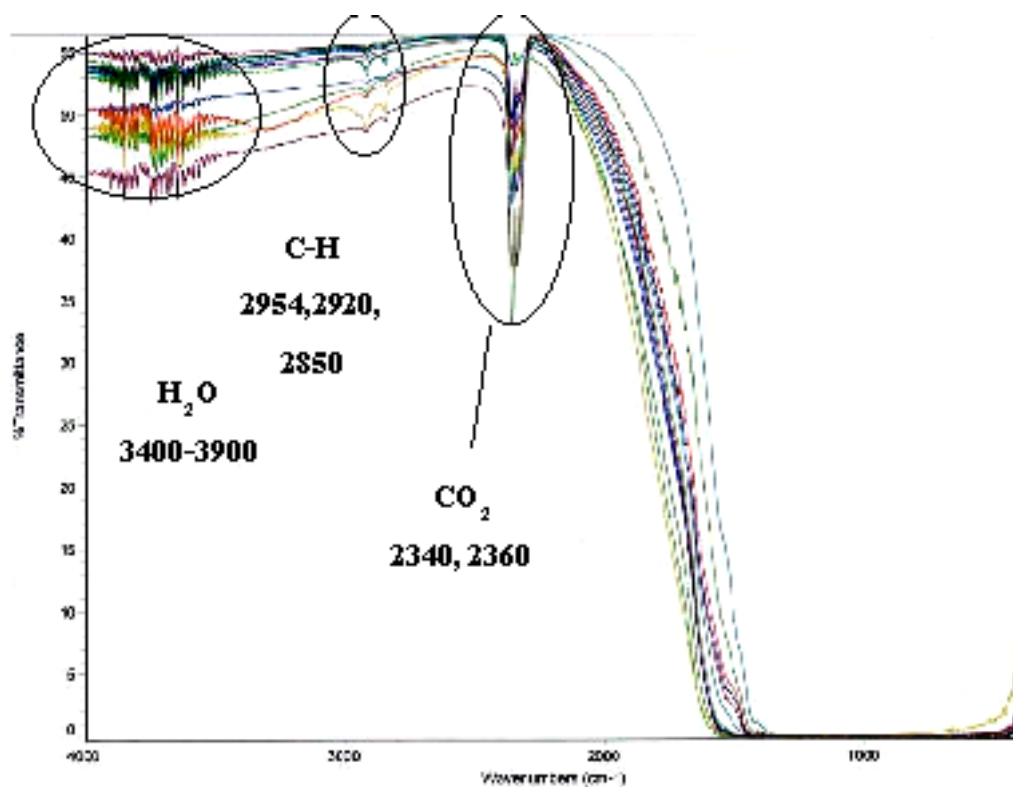
รูปที่ 3.31 มลทินผลึกกลวงที่บรรจุด้วยของไหลสองสถานะ พบในกลุ่มพลอยไร้สี (SPI-CL)



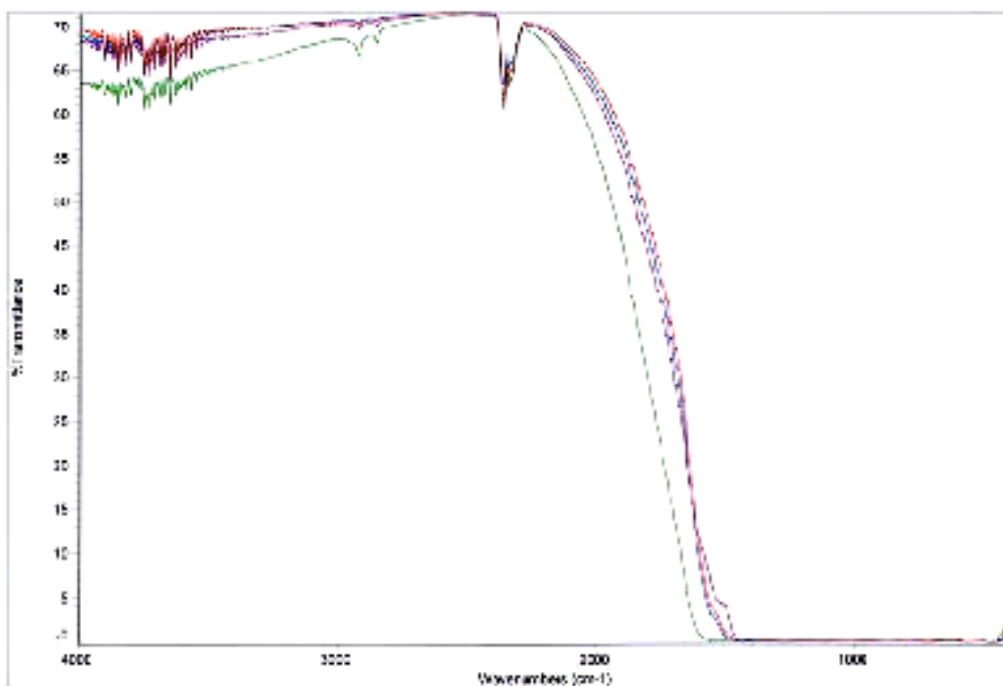
รูปที่ 3.32 มลทินเชื่อมยาวของแร่รูไทล์ พบในกลุ่มพลอยไรต์ SPI-CL)



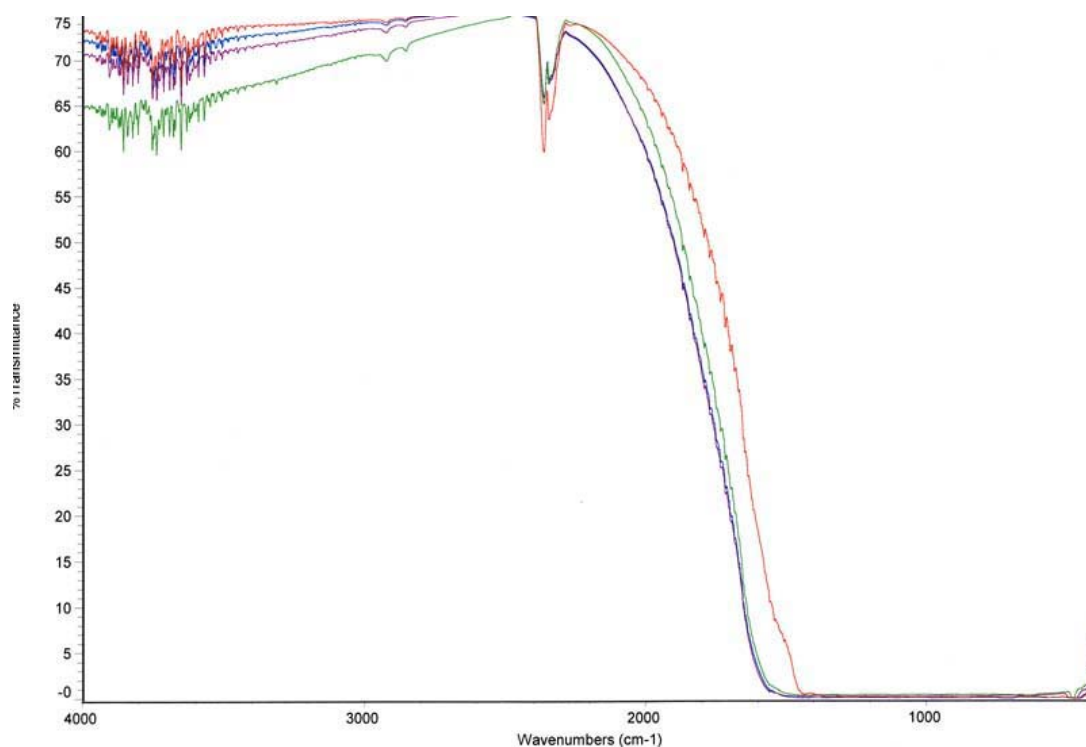
รูปที่ 3.33 มลทินที่ตกลง ในบางส่วนของท่อจะมีเหล็กออกไซด์สีน้ำตาลแดงบรรจุอยู่



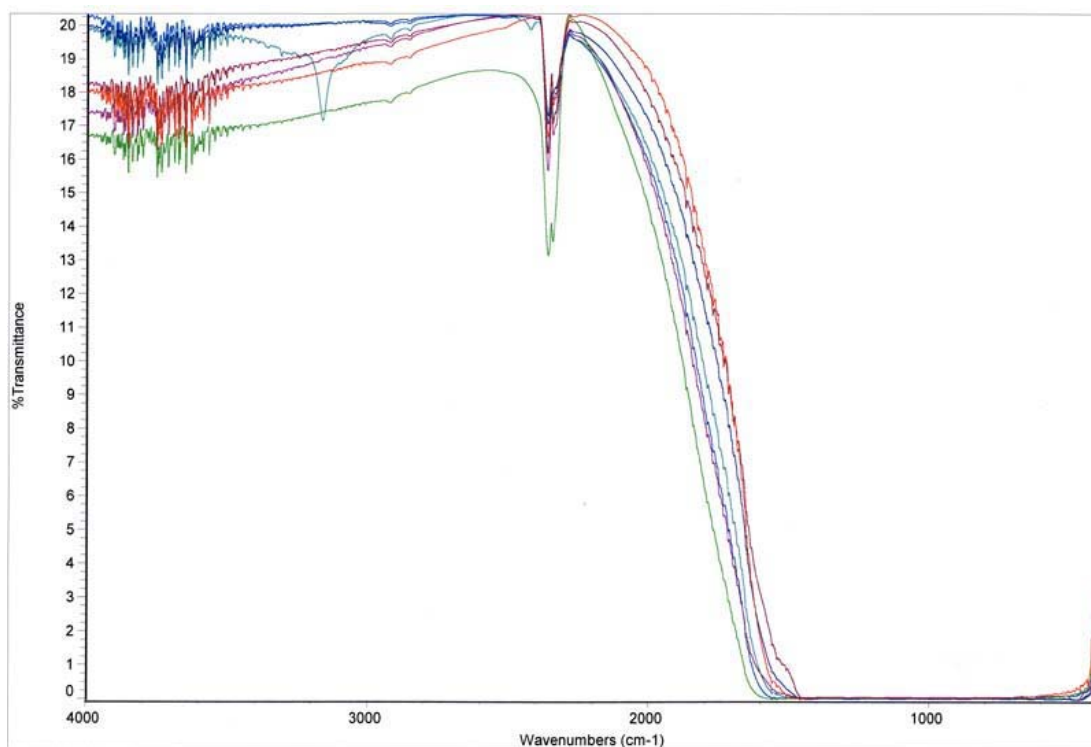
รูปที่ 3.34 สเปกโตรแกรม (FTIR Spectrograms) ของการดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรดในช่วงกลางและไกล (Mid-Far IR) ของพลอยในกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B) ทั้ง 14 ตัวอย่าง



รูปที่ 3.35 สเปกโตรแกรม (FTIR Spectrograms) ของการดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรดในช่วงกลางและไกล (Mid-Far IR) ของพลอยในกลุ่มสีม่วง (SPI-V) ทั้ง 4 ตัวอย่าง



รูปที่ 3.36 สเปกโตรแกรม (FTIR spectrograms) ของการดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรดในช่วงกลางและไกล (Mid to Far) ของพลอยในกัมพูชา (SPI-P) ทั้ง 4 ตัวอย่าง

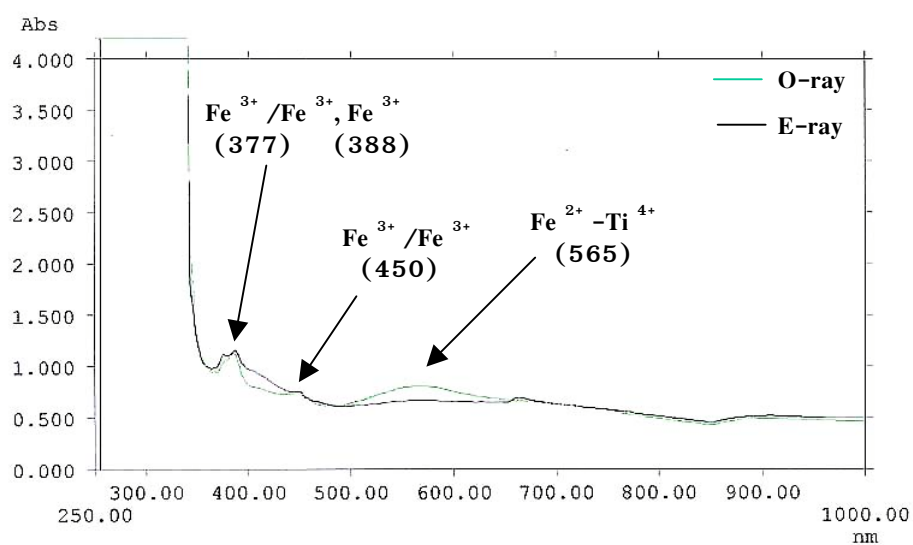
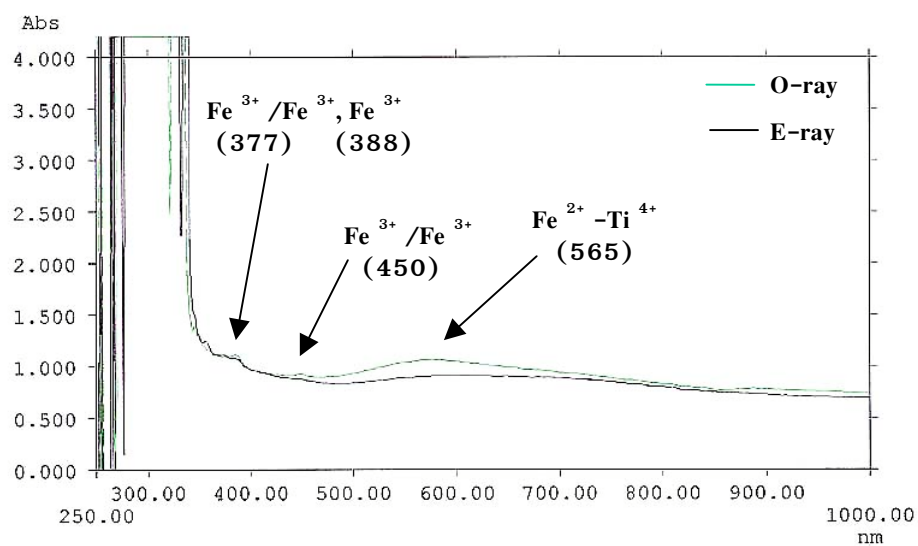
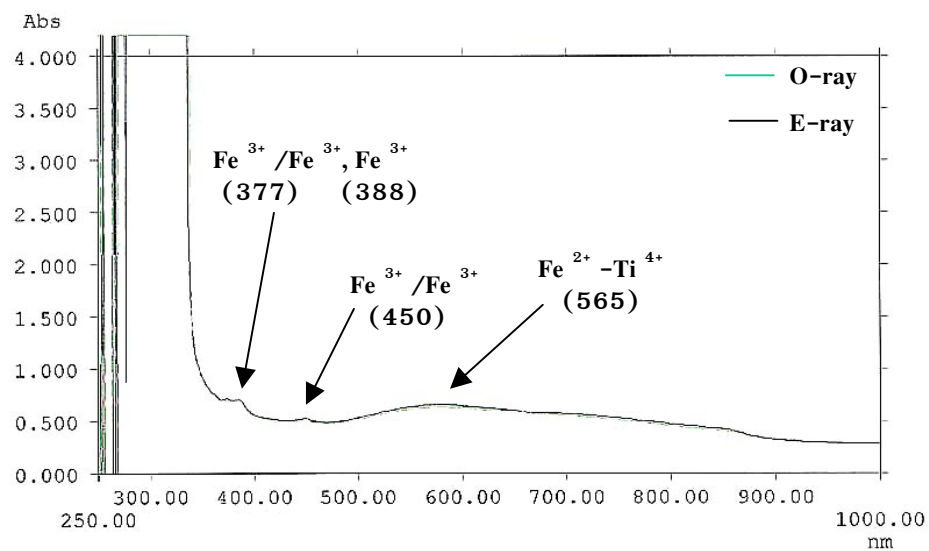


รูปที่ 3. 37 สเปกโตรแกรม (FTIR spectrograms) ของการดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรดในช่วงกลางและไกล (Mid to Far IR) ของพลอยในกลุ่มไรรี่ (SPI-CL) ทั้ง 7 ตัวอย่าง

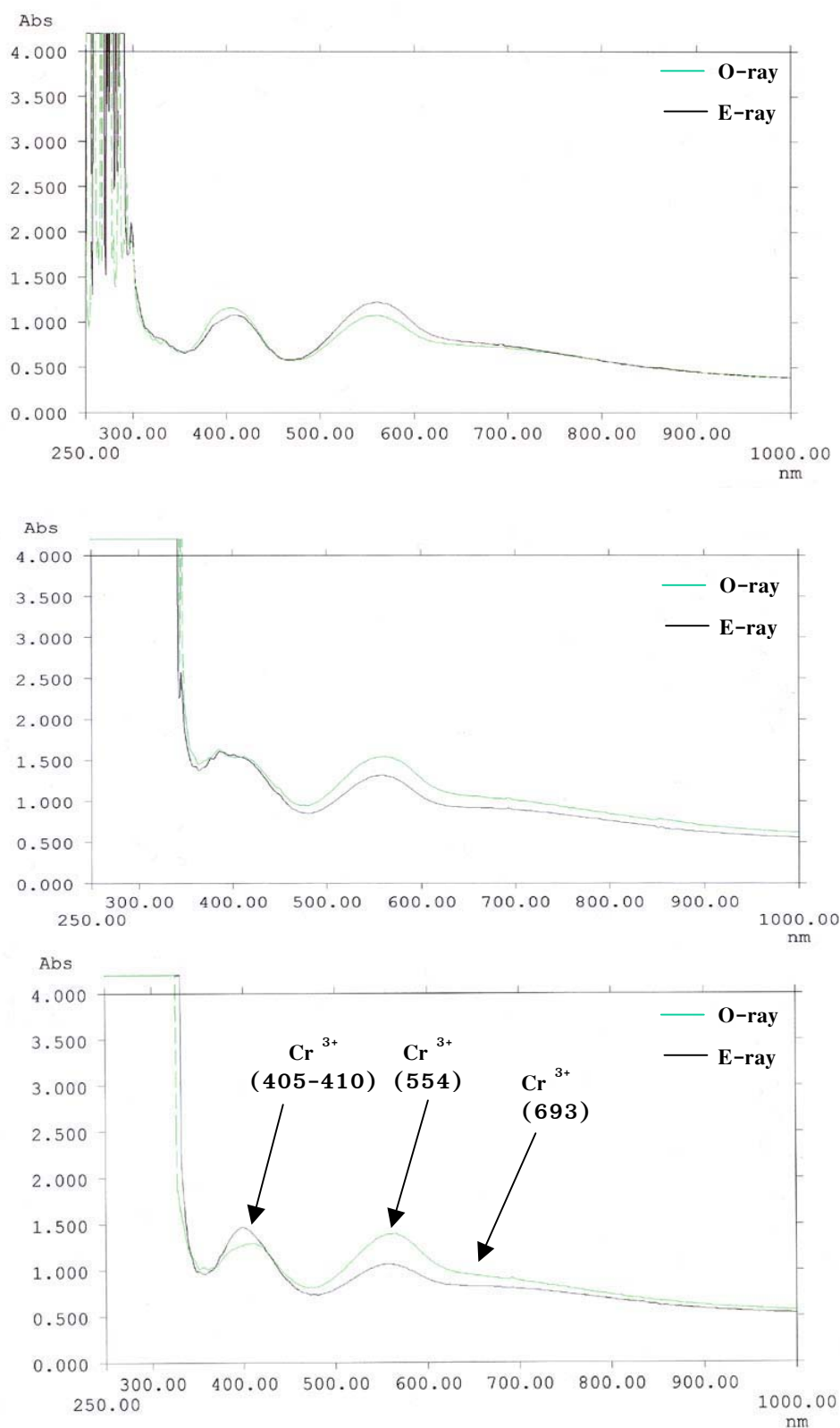
3.9 การศึกษาการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR

พลอยทั้ง 4 กลุ่ม ได้ทำการตรวจสอบการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ต ช่วงสเปกตรัมที่ตามองเห็น และช่วงอินฟราเรดระยะใกล้ (UV-VIS-NIR) ด้วยเครื่องมือ Hitachi UV-VIS-NIR spectrophotometer (Model U4001) ที่สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ ผลการตรวจสอบพลอยทั้ง 4 กลุ่ม ได้จัดแสดงในรูปที่ 3.38 ถึง 3.41 พลอยในกลุ่มสีน้ำเงินแสดงการดูดกลืนอันเนื่องมาจาก $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ion pairs ที่มียอดที่ตำแหน่ง 377 และ 450 นาโนเมตร Fe^{3+} ion ที่มียอดที่ตำแหน่ง 388 นาโนเมตร และการดูดกลืน อันเนื่องมาจาก $\text{Fe}^{2+}-\text{Ti}^{4+}$ intervalence charge transfer (IVCT) ที่มีจุดสูงสุดที่ 565 นาโนเมตร (รูปที่ 3.38) จะเห็นว่าพลอยกลุ่มสีน้ำเงินจากแหล่งอิราากา ประเทศมาดากัสการ์ มีรูปแบบ การดูดกลืนที่คล้ายกับพลอยสีน้ำเงินจากประเทศศรีลังกา (รูปที่ 3.42) ซึ่งจะแตกต่างกับ รูปแบบของการดูดกลืนแสง ของพลอยสีน้ำเงินจากแหล่งหินภูเขาไฟแอลคาไลน์บะซอลต์ ที่โดยทั่วไปมียอดการดูดกลืนสูงสุดที่ประมาณ 850 นาโนเมตร และเป็นที่ทราบกันดีว่า พลอยศรีลังกานั้นมีกำเนิดที่สัมพันธ์กับกระบวนการหินแปร ดังนั้นการดูดกลืนแสงที่เหมือนกัน ของพลอยสีน้ำเงินจากแหล่งอิราากา นั้นน่าจะสามารสรูปในเบื้องต้นได้ว่าการกำเนิด ที่สัมพันธ์กับกระบวนการหินแปร เช่นเดียวกันกับพลอยในกลุ่มสีม่วงและสีชมพู ที่แสดงการ ดูดกลืนแสงอันเนื่องมาจาก Cr^{3+} ค่อนข้างชัดเจน (รูปที่ 3.39 และ 3.40) ซึ่งสอดคล้องกับ ปริมาณธาตุ Cr และ V ที่ค่อนข้างสูงในพลอยทั้งสองกลุ่ม (ตารางที่ 3.2) นอกจากนี้ พลอยในกลุ่มสีม่วงยังแสดงการดูดกลืนอันเนื่องมาจากธาตุเหล็กค่อนข้างชัดเจน (รูปที่ 3.40) จากรูปแบบการดูดกลืนของพลอยสีม่วงและชมพู จากแหล่งอิราากา สามารถสรุปผลได้เช่นเดียว กับกลุ่มพลอยสีน้ำเงินในแหล่งเดียวกันว่า น่าจะมีการกำเนิดที่สัมพันธ์กับกระบวนการหินแปร มากกว่าจากกระบวนการเกิดหินแอลคาไลน์บะซอลต์ (รูปที่ 3.43)

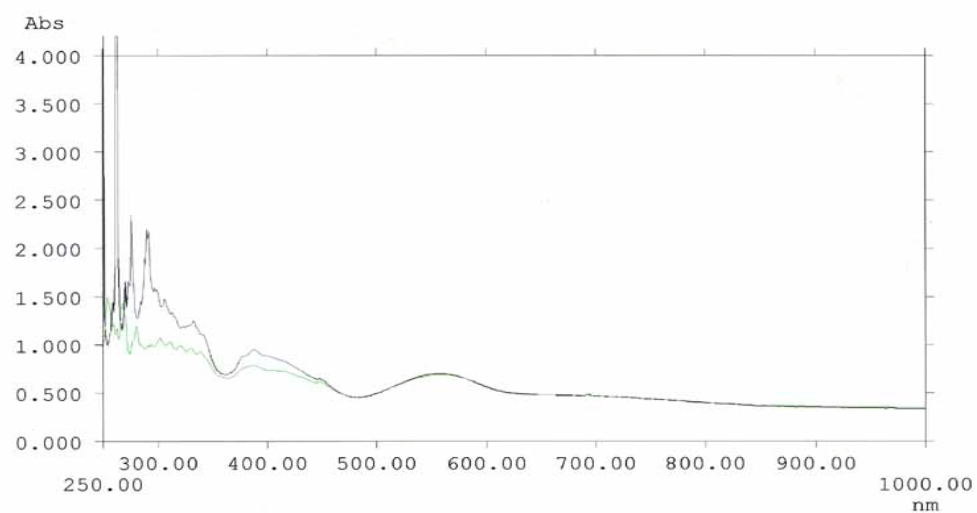
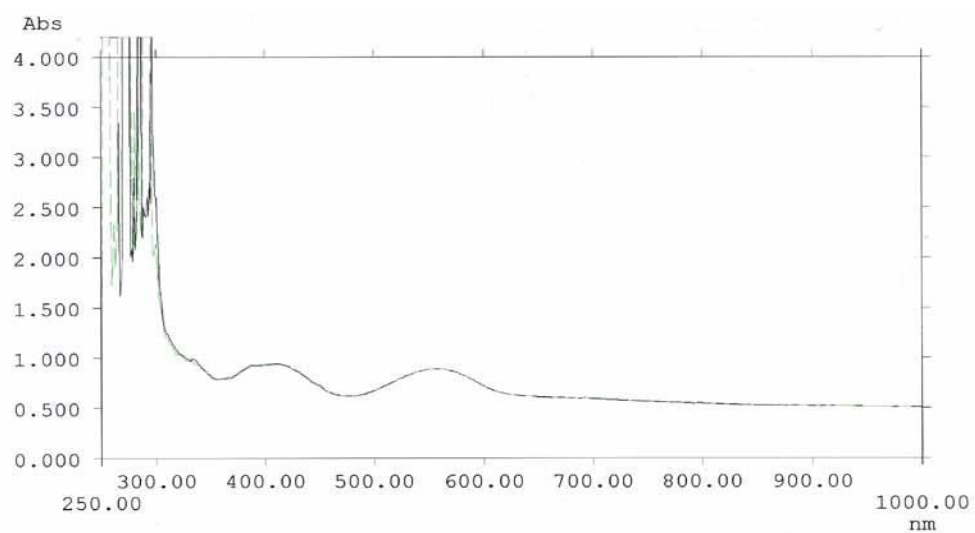
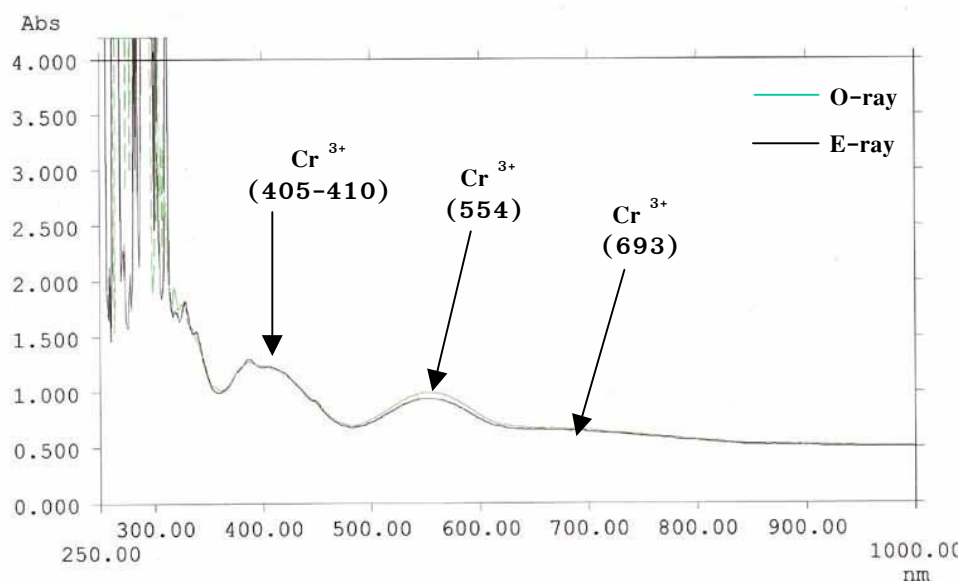
สำหรับพลอยในกลุ่มไร้สี พบว่าไม่มีการดูดกลืนที่เด่นชัด ยกเว้น อาจพบการดูดกลืน อันเนื่องมาจากธาตุเหล็กที่มีอยู่ในบางตัวอย่าง



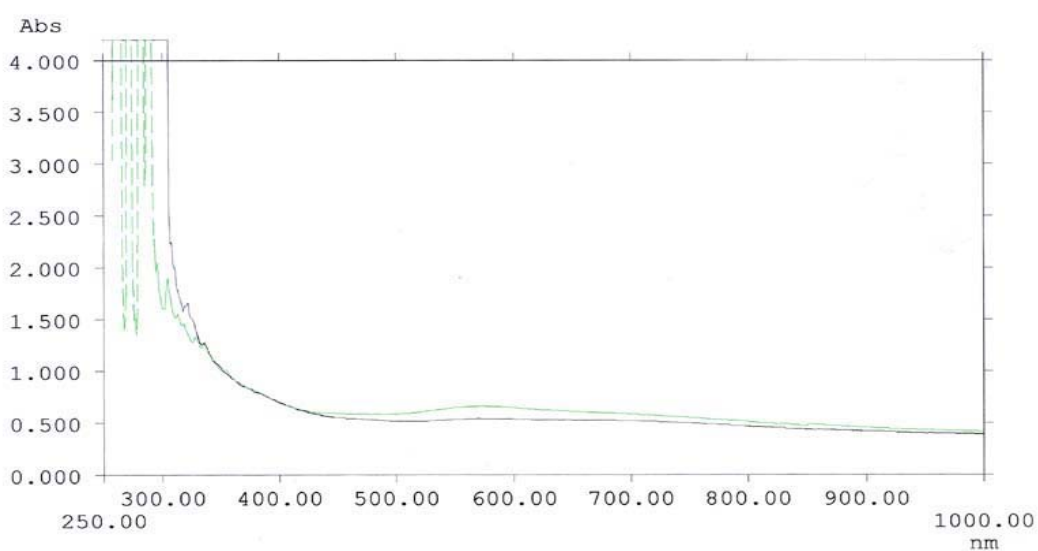
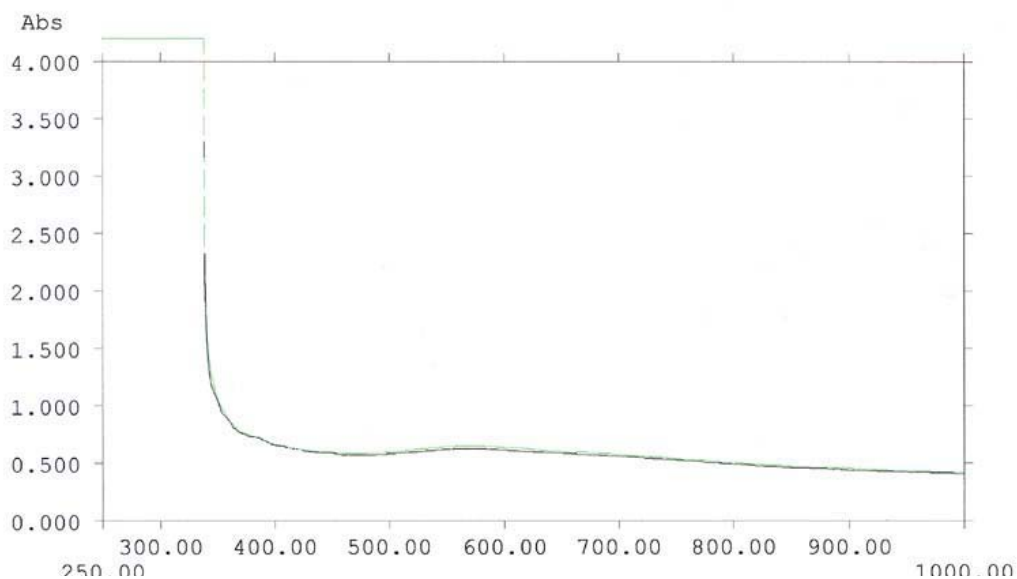
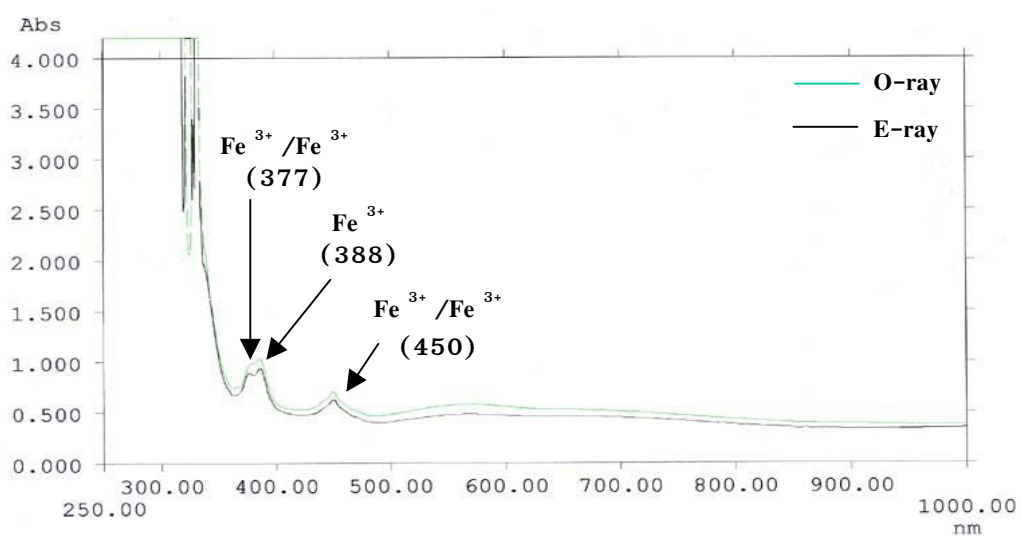
รูปที่ 3.38 แสดงสเปกโตรแกรมของการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของพลอยในกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B) บางตัวอย่าง



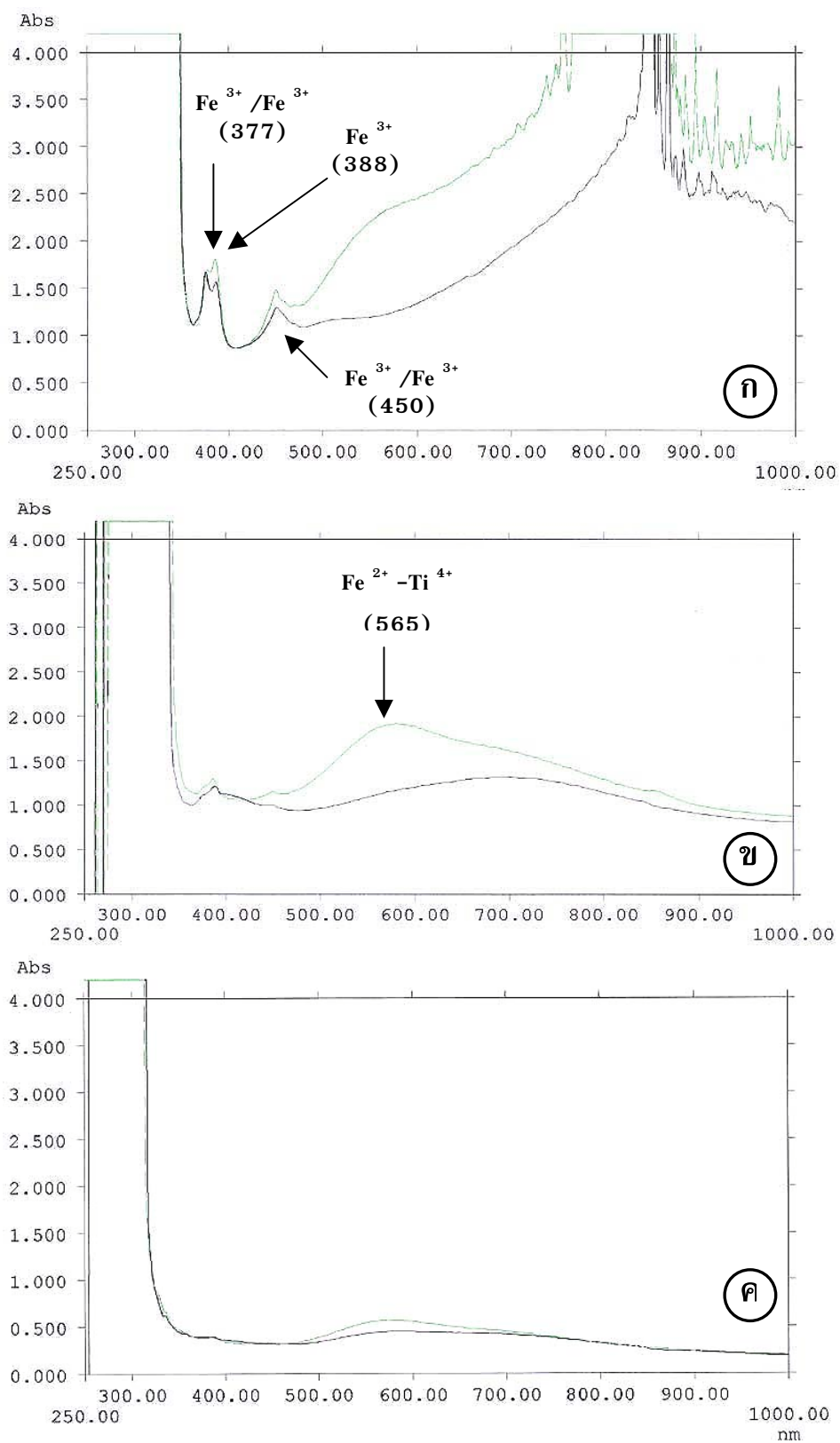
รูปที่ 3.39 แสดงสเปกโตรแกรมของการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของพลอยในกลุ่มสีม่วง (SPI-V) บางตัวอย่าง



รูปที่ 3.40 แสดงสเปกโตรแกรมของการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของพลอยในกลุ่มสีชมพู (SPI-P) บางตัวอย่าง

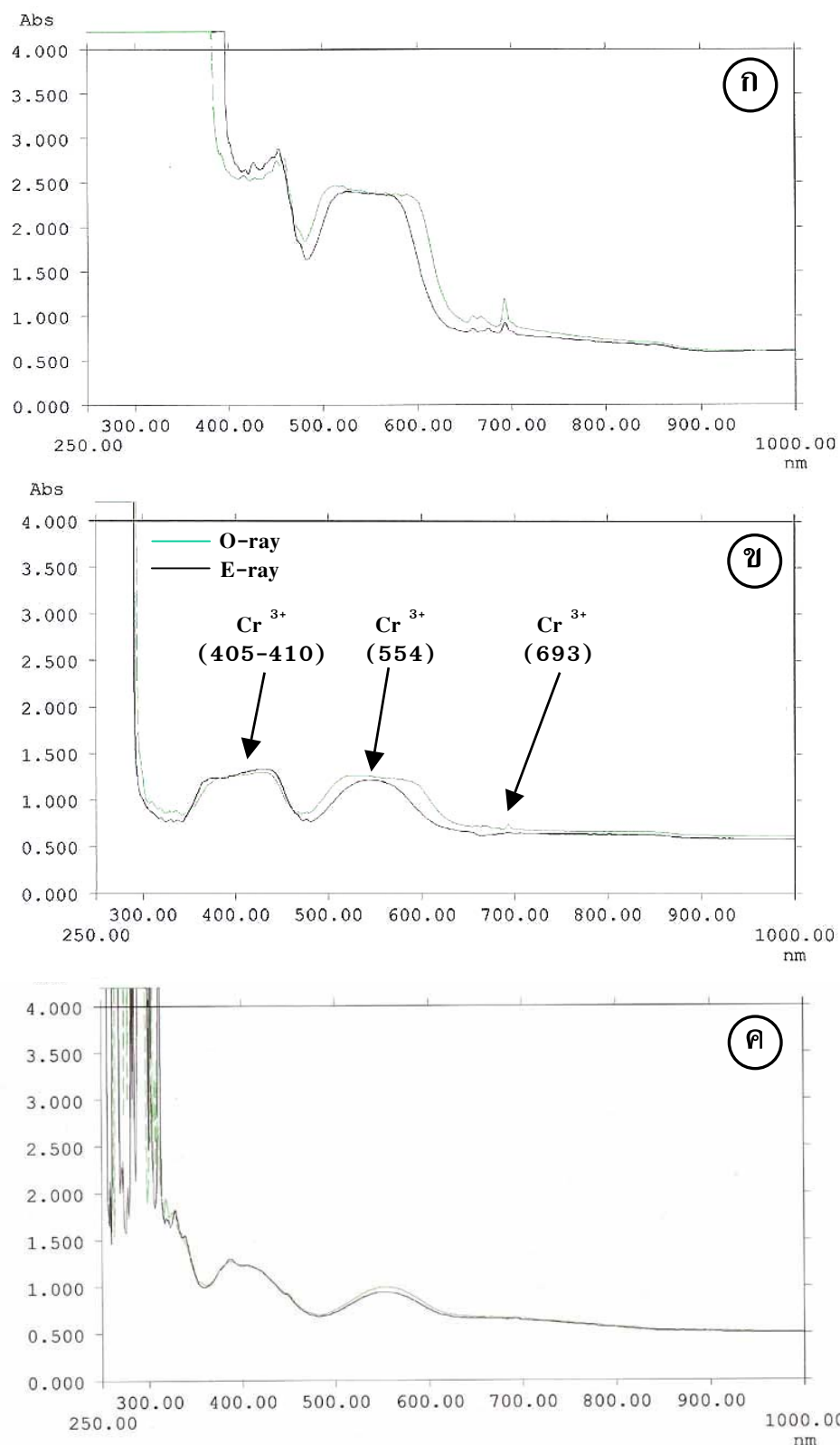


รูปที่ 3.41 แสดงสเปกโตรแกรมของการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของพลอยในกลุ่มไรต์ (SPI-CL) บางตัวอย่าง



รูปที่ 3.42 แสดงการเปรียบเทียบสเปกโตรแกรมของการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของพลอยสีน้ำเงินจาก

- (ก) กาญจนบุรี ประเทศไทยที่มีกำเนิดสัมพันธ์กับหินบะซอลต์
- (ข) ศรีลังกา ที่มีกำเนิดจากกระบวนการหินแปร
- (ค) (SPI-B) อีลาากา ประเทศมาดากัสการ์



รูปที่ 3.43 แสดงการเปรียบเทียบสเปกโตรแกรมของการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของพลอย

- (ก) ทับทิม จาก ประเทศไทย ที่มีกำเนิดสัมพันธ์กับหินบะซอลต์
- (ข) ทับทิม จากโมกก ประเทศเมียนมาร์ ที่มีกำเนิดจาก กระบวนการหินแปร
- (ค) สีชมพู (SPI-P) จาก อีลาากา ประเทศมาดากัสการ์

ตารางที่ 3.2 แสดงผลวิเคราะห์ของพลอย แชปไฟร์ 4 กลุ่ม จากแหล่งพลอยอิลากากา

Sample No.	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Sum
SPI-B2	99.8886	0.0032	0.0254	0.0032	0.0001	0.0795	100
SPI-B5	99.7077	0.0135	0.0647	0.0061	0.0038	0.2042	100
SPI-B7	99.7077	0.0088	0.0068	0.0040	0.0044	0.2053	100
SPI-B8	99.7173	0.0101	0.0980	0.0066	0.0006	0.1673	99.9999
SPI-B9	99.7697	0.0140	0.0640	0.0051	0.0018	0.1454	100
SPI-B11	99.7164	0.0202	0.0257	0.0023	0.0014	0.2358	100
SPI-B12	99.8112	0.0075	0.0625	0.0081	0.0004	0.1103	100
SPI-B13	99.8943	0.0078	0.0028	0.0028	0.0023	0.0900	100
SPI-B16	99.6344	0.0089	0.0330	0.0088	0.0078	0.3072	100
SPI-B17	99.7540	0.0116	0.1213	0.0098	0.0000	0.1033	100
SPI-B19	99.7374	0.0050	0.1731	0.0057	0.0005	0.0782	99.9999
SPI-B20	99.8725	0.0101	0.0104	0.0014	0.0009	0.146	99.9999
SPI-B24	99.8807	0.0097	0.0091	0.0032	0.0009	0.0964	100
SPI-B25	99.8121	0.0051	0.1227	0.0104	0.0010	0.0487	100
SPI-V1	99.691	0.0092	0.0155	0.0155	0.10830	0.1606	100
SPI-V2	99.7975	0.0062	0.0136	0.0136	0.0819	0.0871	99.9999
SPI-V3	99.5525	0.0098	0.0181	0.0080	0.0794	0.3321	99.9999
SPI-V4	99.3564	0.0116	0.0638	0.0134	0.1725	0.3823	100
SPI-P1	99.9031	0.0103	0.0086	0.0086	0.0114	0.0598	100
SPI-P3	99.5362	0.0128	0.0128	0.0021	0.0956	0.3405	100
SPI-P4	99.6026	0.0124	0.0148	0.0105	0.1426	0.2170	99.9999
SPI-P5	99.6128	0.0077	0.0099	0.0044	0.0622	0.3029	99.9999
SPI-CL1	99.3981	0.0144	0.0169	0.0039	0.0060	0.5606	99.9999
SPI-CL2	99.7273	0.0158	0.00756	0.0101	0.0001	0.1712	100
SPI-CL3	99.5777	0.0142	0.2028	0.0111	0.0000	0.1942	100
SPI-CL4	99.9381	0.0063	0.0122	0.0062	0.0009	0.0364	100
SPI-CL5	99.4339	0.0323	0.2133	0.0172	0.0013	0.3019	99.9999
SPI-CL6	99.8581	0.204	0.0387	0.0096	0.0007	0.0726	100
SPI-CL7	99.4472	00.0255	0.0080	0.0000	0.0061	0.5132	100

บทที่ 4

การจัดทำผลวิเคราะห์ต้นแบบ

การศึกษาวิจัยในช่วง 6 เดือนของปีที่ 3 ของโครงการ “การศึกษามลทินในพลอยคอร์ันดัม เพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดและมาตรฐาน” นั้น ได้ทำการศึกษาวเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี นำผลวิเคราะห์มาคำนวณทางสถิติ ศึกษาลักษณะเฉพาะตัวของสเปกตรัม Infra-red และ UV-VIS-NIR รวบรวมชนิดและมลทินแร่ มลทินของไหลจากแหล่งต่างๆ โดยมีรายละเอียดของ การปฏิบัติงาน ดังนี้

1. ศึกษา วิเคราะห์ตัวอย่างเพิ่มเติมจากแหล่งต่างๆ 7 แหล่งดังนี้

- แหล่งแพร่
- แหล่งโมกก พม่า
- อุมบา (Umba) แทนซาเนีย
- อิลากากา (Ilakaka) มาดากัสการ์
- แอนท์ซิริรานานา (Antsiranana) มาดากัสการ์
- ตามาตาฟ (Tamatave) มาดากัสการ์
- แอนดิลามินา (Andilamena) มาดากัสการ์

2. วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างจาก 7 แหล่งนี้ ด้วยเครื่องเอนเนอียดิส เปอร์ ซิปเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ โดยแสดงผลวิเคราะห์ที่ได้เป็นช่วงของปริมาณ ของ ธาตุร่องรอย 5 ธาตุ คือ Cr, Ti, V, Ga, และ Fe

3. ศึกษา รวบรวมลักษณะเฉพาะตัวของสเปกตรัมจาก Infra-red (FT-IR) และ UV-VIS-NIR เพื่อนำมาใช้เป็นตัวช่วยสนับสนุนการจัดแบ่งแหล่งกำเนิด

4. รวบรวมชนิดและมลทินแร่ มลทินของไหลจากแหล่งต่างๆ

5. นำผลการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างทั้งหมด ตั้งแต่เริ่มแรกโครงการ และตัวอย่างที่ ศึกษาเพิ่มเติมอีก 7 แหล่ง มาทำการศึกษาปรับปรุงข้อมูลทางสถิติ เพื่อใช้เป็นค่าที่ถูกต้องและ เชื่อถือได้ทางสถิติ ทำให้ได้รูปแบบที่สมบูรณ์ในการวิเคราะห์จัดแบ่งแหล่งกำเนิด ของพลอยคอร์ันดัม

6. จัดทำชุดผลวิเคราะห์ต้นแบบสำหรับไว้ใช้เป็นกุญแจสำคัญของการจัดแบ่งแหล่งกำเนิด พลอยคอร์ันดัม

7. ทดสอบชุดผลวิเคราะห์ต้นแบบ โดยใช้ชุดตัวอย่างที่ทราบแหล่งแน่นอน

8. ทดลองชุดผลวิเคราะห์ต้นแบบ โดยใช้ชุดตัวอย่างที่ไม่ทราบแหล่งที่มา

4.1 ผลการศึกษาวเคราะห์

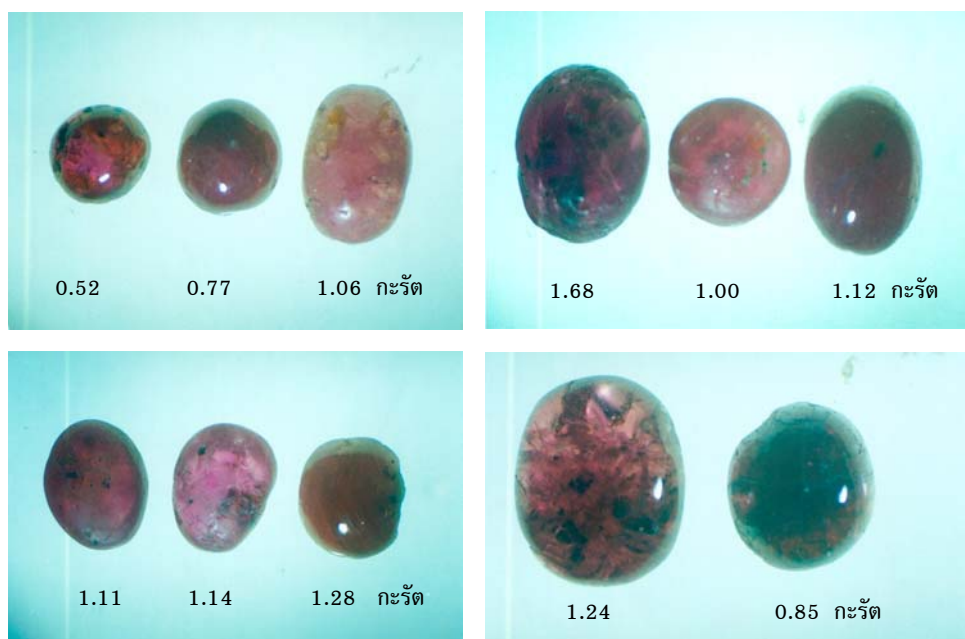
ตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมจากแหล่งแพร่ โมกก ประเทศพม่า อุมบา ประเทศแทนซาเนีย และ จากแหล่งอิลากากา แอนท์ซิริรานานา ตามาตาฟ และ แอนดิลามินา จากประเทศมาดากัสการ์ ถูกนำมา วิเคราะห์ด้วยเครื่องเอนเนอียดิสเปอร์ซิปเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ และใช้ Coefficient file ที่ได้จัดทำไว้ มาคำนวณหาปริมาณร้อยละของธาตุร่องรอยต่างๆ ดังแสดง ในตารางที่ 4.1-



รูปที่ 4.1 ลักษณะปรากฏของตัวอย่างไพลิน จังหวัดแพร่

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยในตัวอย่างแซปไฟร์ จังหวัดแพร่

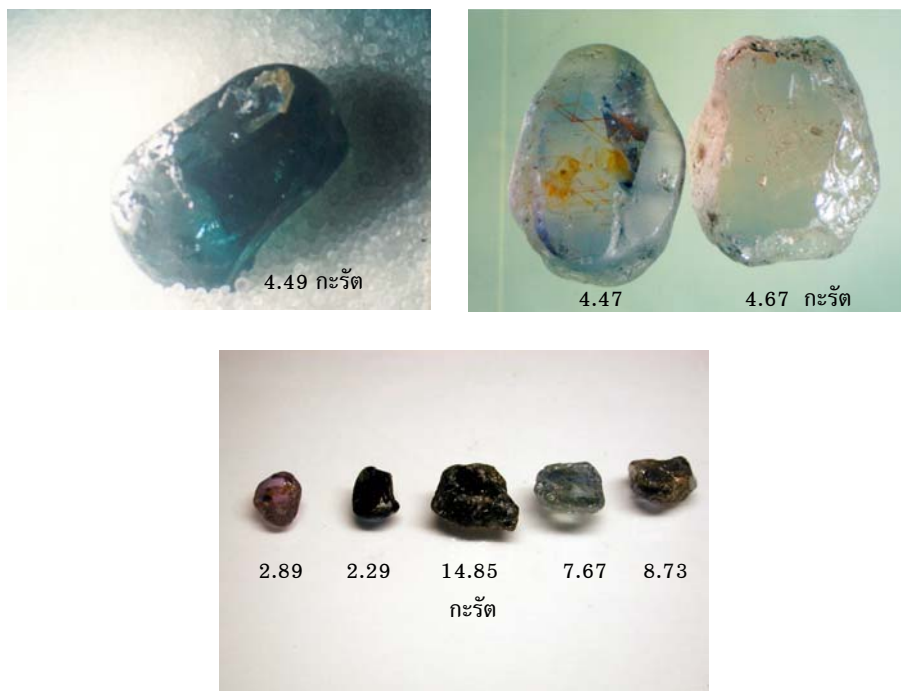
หมายเลขตัวอย่าง	ลักษณะ	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	รวม
PR_BS1 0.3365 ct	Dk blue semi TP oval mix	0.088	0.014	0.000	0.460	0.013	0.575
PR_BS2 0.7975 ct	Dk blue semiTP oval mix	0.017	0.005	0.000	0.344	0.016	0.381
PR_BS3 0.897 ct	Dk blue semiTP oval mix	0.028	0.005	0.000	0.440	0.018	0.490
PR_BS4 1.38 ct	V. dk blue semiTP oval mix	0.054	0.007	0.000	0.529	0.016	0.605
PR_BS5 0.7665 ct	Dk blue semiTP oval mix	0.038	0.012	0.000	0.399	0.023	0.472
PR_BS6 2.3905 ct	V. dk blue semiTP oval mix	0.055	0.013	0.000	0.336	0.013	0.418
ช่วงต่ำสุด-สูงสุด		0.017-0.088	0.005-0.014	0.000	0.336-0.529	0.013-0.023	0.381-0.575



รูปที่ 4.2 ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิมแหล่งโมกก ประเทศเมียนมาร์

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของ ทับทิม แหล่งโมกก ประเทศพม่า

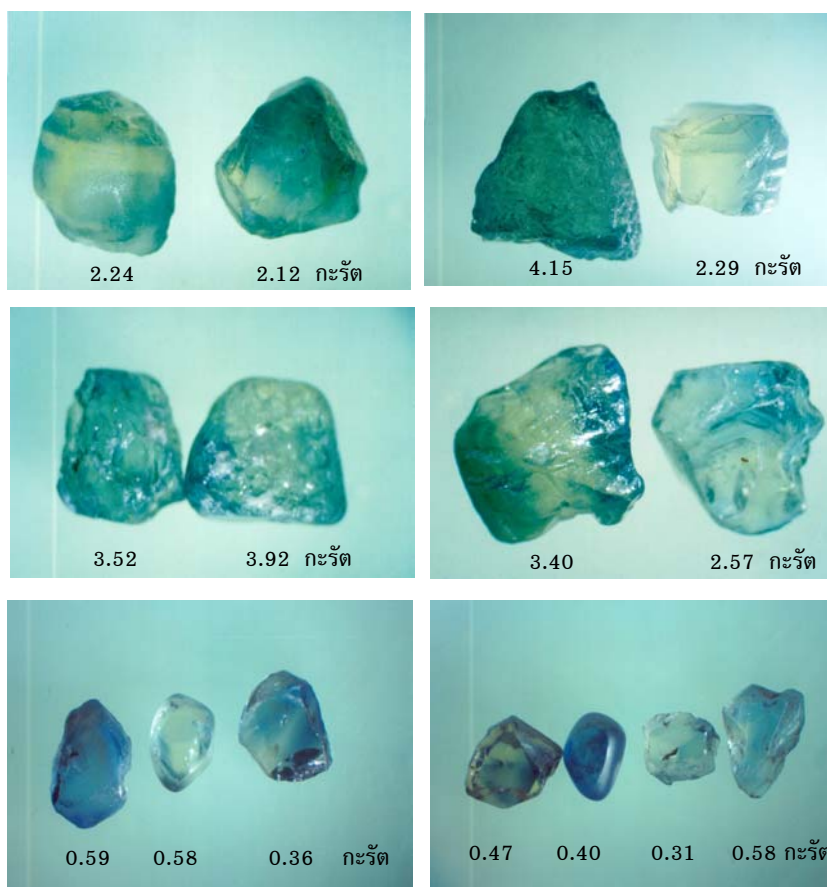
หมายเลขตัวอย่าง	ลักษณะ	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	รวม
RMGPT001 0.855 cts	Dk red S-TL oval cab unheat	0.019	0.036	0.213	0.016	0.008	0.292
RMGPT002 1.1145 cts	pinkish red ruby S-TL oval cab unheat	0.013	0.019	0.080	0.010	0.005	0.127
RMGPT003 1.064 cts	M. L. pinkish red S-TL oval cab unheat	0.010	0.048	0.095	0.012	0.007	0.171
RMGPT004 1.240 cts	Med purplish red ruby S-TL oval cab unheat	0.068	0.017	0.119	0.007	0.004	0.215
RMGPT005 1.1420 cts	M. purplish red S-TL oval cab unheat	0.017	0.021	0.102	0.022	0.012	0.174
RMGPT006 1.2145 cts	M. purplish red S-TL oval cab unheat	0.025	0.026	0.186	0.031	0.010	0.278
RMGPT007 1.618 cts	M. dk purplish red S-TL oval cab unheat	0.024	0.026	0.222	0.062	0.004	0.338
RMGPT008 1.1735 cts	M. dk purplish red S-TL oval cab unheat	0.010	0.014	0.109	0.011	0.005	0.150
RMGPT009 1.4225 cts	M. purplish red S-TL oval cab unheat	0.018	0.047	0.282	0.006	0.008	0.361
RMGPT010 1.4165 cts	M. dk purplish red S-TL oval cab	0.016	0.031	0.159	0.016	0.010	0.231
RMGPT011 1.9855 cts	M. È.t pinkish red S-TL oval cab unheat	0.021	0.016	0.045	0.018	0.007	0.107
RMGPT012 1.212 cts	L. pinkish red S-TL oval cab unheat	0.016	0.022	0.046	0.004	0.006	0.094
RMGPT013 1.007 cts	M. purplish red S-TL oval cab unheat	0.013	0.005	0.172	0.007	0.007	0.203
RMGPT014 1.2850 cts	M. dk purplish red S-TL oval cab unheat	0.019	0.058	0.194	0.020	0.009	0.301
RMGPT015 1.2505 cts	M. dk purplish red S-TL oval cab unheat	0.010	0.066	0.243	0.018	0.015	0.352
RMGPT016 0.775 cts	M. dk purplish red S-TL oval cab unheat	0.014	0.046	0.315	0.012	0.004	0.391
RMGPT017 1.6825 cts	M. dk purplish red S-TL oval cab unheat	0.117	0.024	0.172	0.009	0.006	0.328
RMGPT018 0.965 cts	M. purplish red S-TL oval cab unheat	0.025	0.033	0.089	0.065	0.009	0.221
RMGPT019 3.404 cts	M. purplish red S-TL oval cab	0.006	0.031	0.218	0.062	0.012	0.330
RMGPT020 0.5230 cts	M. dark purplish red S-TL oval cab	0.016	0.034	0.046	0.017	0.007	0.120
ช่วงต่ำสุด-สูงสุด		0.006-0.117	0.005-0.066	0.045-0.315	0.004-0.065	0.004-0.015	0.094-0.391



รูปที่ 4.3 ลักษณะปรากฏของตัวอย่างแซปไฟร์ จากแหล่งอุมบา ประเทศแทนซาเนีย

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของ แซปไฟร์ จากแหล่งอุมบา ประเทศแทนซาเนีย

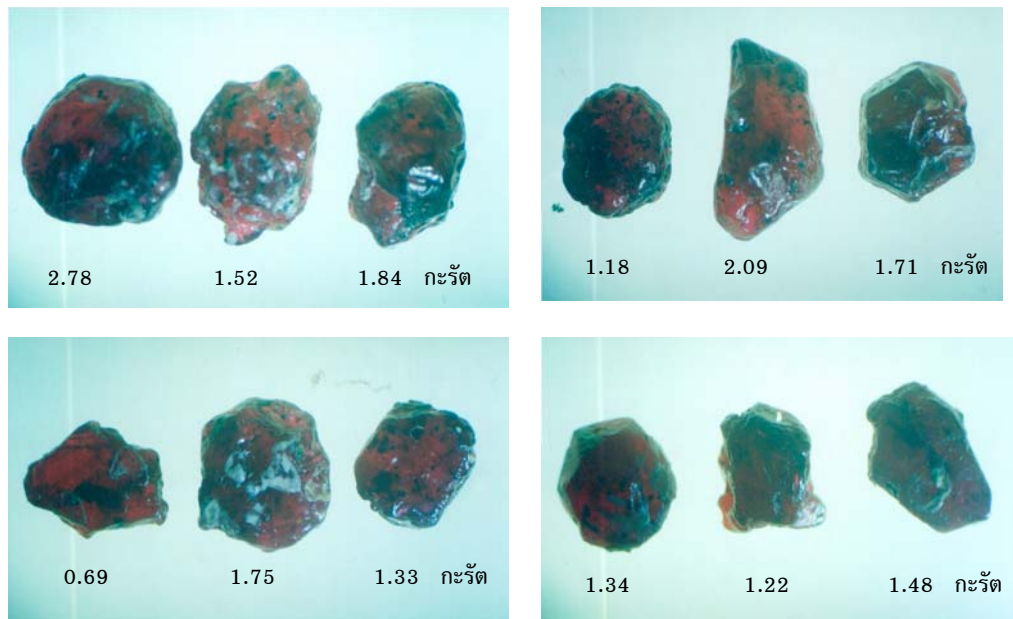
หมายเลขตัวอย่าง	ลักษณะ	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	รวม
SUMBA1 3.64 cts	L. purple/blue TP rough	0.015	0.015	0.000	0.089	0.004	0.123
SUMBA2 3.51 cts	M. L. purplish blue TP rough	0.016	0.015	0.000	0.356	0.010	0.396
SUMBA3 3.41 cts	M. L. purple/blue TP rough	0.019	0.016	0.000	0.270	0.008	0.312
SUMBA4 8.43 cts	Dk purple TP rough	0.019	0.018	0.009	0.807	0.008	0.860
SUMBA5 4.67 cts	M. L. purple TP rough	0.017	0.016	0.014	0.424	0.008	0.478
SUMBA6 4.47 cts	M. purple TP rough	0.015	0.011	0.000	0.361	0.005	0.393
SUMBA7 4.49 cts	V. dk greenish blue TP rough	0.027	0.005	0.114	0.760	0.008	0.913
SUMBA8 14.85 cts	Dk blue with brown stain TP rough	0.016	0.014	0.000	0.674	0.005	0.710
SUMBA9 9.67 cts	L. greenish blue with brown stain TP rough	0.018	0.017	0.000	0.354	0.009	0.398
SUMBA10 8.73 cts	L. purplish blue TP rough	0.018	0.016	0.000	0.505	0.008	0.547
SUMBA11 6.30 ct	L. greenish blue TP rough	0.022	0.011	0.000	0.442	0.007	0.481
SUMBA12 4.19 cts	Dk. purplish blue TP rough	0.018	0.012	0.000	0.580	0.010	0.620
SUMBA13 6.82 cts	Dk greenish blue TP rough	0.017	0.012	0.000	0.510	0.005	0.544
SUMBA15 2.89 cts	L. purple TP rough	0.022	0.012	0.000	0.541	0.005	0.579
SUMBA16 6.09 cts	M. L. purplish blue TP rough	0.017	0.015	0.000	0.305	0.010	0.348
SUMBA17 4.15 cts	Dk. violetish blue TP rough	0.027	0.016	0.000	0.498	0.006	0.547
SUMBA18 2.29 cts	L. greenish blue TP oval mix cut	0.012	0.013	0.000	0.394	0.010	0.429
ช่วงค่าสุด-สูงสุด		0.012-0.027	0.005-0.018	0.000-0.114	0.089-0.807	0.005-0.010	0.123-0.913



รูปที่ 4.4 ลักษณะปรากฏของตัวอย่างแซฟไฟร์แหล่งเดียโก จังหวัดแอณฑ-
ซิริรานา ประเทศมาดากัสการ์

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของไพไลนจากแหล่งเตี้ยโก จังหวัด
แอนทซึรานานา (DIAGO ANTISIRANANA) ประเทศมาดากัสการ์

หมายเลขตัวอย่าง	ลักษณะ	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca ₂ O ₃	รวม
SGC001 0.6400 ct	L. blue TP rough	0.041	0.011	0.000	0.459	0.030	0.541
SGC002 0.8315 ct	Greenish blue TP rough	0.028	0.011	0.000	0.605	0.017	0.661
SGC003 0.7535 ct	Dk blue TP rough	0.058	0.009	0.000	0.798	0.023	0.889
SGC004 0.5850 ct	L. greenish yellow TP rough	0.035	0.012	0.000	0.663	0.029	0.738
SGC005 0.6420 ct	Dk greenish blue TP rough	0.031	0.008	0.000	0.481	0.027	0.547
SGC006 0.7270 ct	Dk greenish blue TP rough	0.018	0.014	0.000	0.627	0.019	0.678
SGC007 0.8185 ct	L. greenish blue TP rough	0.051	0.013	0.000	0.538	0.026	0.628
SGC008 0.5665 ct	M. greenish blue TP rough	0.017	0.014	0.000	0.626	0.017	0.674
SGC009 0.6430 ct	M. dk blue TP rough	0.022	0.014	0.000	0.685	0.024	0.745
SGC010 0.6305 ct	Dk blue TP rough	0.033	0.012	0.000	0.736	0.030	0.811
SGC011 0.6025 ct	M. greenish yellow TP rough	0.016	0.006	0.018	0.515	0.021	0.576
SGC012 0.4990 ct	L. greenish yellow TP rough	0.056	0.013	0.000	0.623	0.026	0.717
SGC013 0.5215 ct	L. greenish blue TP rough	0.035	0.010	0.000	0.632	0.022	0.699
SGC014 0.4845 ct	L. yellowish green TP rough	0.035	0.007	0.000	0.741	0.032	0.815
SGC015 0.4380 ct	M. blue TP rough	0.015	0.023	0.000	0.625	0.019	0.682
SGC016 0.5760 ct	L. yellow green TP rough	0.087	0.013	0.000	0.552	0.021	0.673
SGC017 0.5630 ct:	L. yellow green TP rough	0.023	0.010	0.000	0.604	0.022	0.659
SGC018 0.5550 ct	Dk blue TP rough	0.023	0.010	0.000	0.513	0.024	0.571
SGC019 0.3035 ct	L. yellowish green TP rough	0.029	0.011	0.000	0.786	0.046	0.871
SGC020 0.3750 ct	L. greenish blue TP rough	0.011	0.005	0.000	0.666	0.027	0.709
SGC021 0.4675 ct	Blue TP rough	0.018	0.011	0.000	0.683	0.027	0.739
SGC022 0.5365 ct	L. greenish blue TP rough	0.048	0.014	0.000	0.487	0.010	0.558
SGC023 0.5475 ct	L. yellowish green TP rough	0.026	0.005	0.000	0.667	0.015	0.713
SGC024 0.5945 ct	L. greenish yellow TP rough	0.017	0.014	0.000	0.784	0.018	0.833
SGC025 0.5810 ct	Blue TP rough	0.029	0.010	0.000	0.361	0.040	0.441
SGC026 0.3630 ct	L. yellowish green TP rough	0.013	0.015	0.000	0.388	0.018	0.433
SGC027 0.6340 ct	Dk greenish blue TP rough	0.038	0.007	0.000	0.749	0.033	0.826
SGC028 0.6510 ct	M. greenish blue TP rough	0.017	0.009	0.000	0.716	0.019	0.761
SGC029 0.5125 ct	M. L. greenish blue TP rough	0.033	0.012	0.000	0.653	0.023	0.722
SGC030 0.3445 ct	Dk greenish blue TP rough	0.018	0.011	0.000	0.652	0.023	0.703
SGC031 0.5125 ct	Dk blue TP rough	0.039	0.009	0.000	0.527	0.020	0.595
SGC032 0.4230 ct	L. bluish green TP rough	0.035	0.009	0.000	0.678	0.014	0.737
SGC033 0.5025 ct	M. greenish blue TP rough	0.024	0.014	0.000	0.839	0.034	0.910
SGC034 0.5180 ct	M. bluish green TP rough	0.175	0.013	0.000	0.769	0.073	1.030
SGC035 0.7370 ct	M. bluish green TP rough	0.013	0.007	0.000	0.377	0.012	0.408
SGC036 0.4720 ct:	L. bluish green TP rough	0.023	0.010	0.000	0.560	0.013	0.606
SGC037 0.6120 ct	M. greenish blue TP rough	0.047	0.015	0.000	0.662	0.014	0.738
SGC038 0.4050 ct	Dk blue TP rough	0.012	0.009	0.000	0.285	0.012	0.317
SGC039 0.3095 ct	M. L. greenish blue TP rough	0.027	0.012	0.000	0.794	0.035	0.869
SGC040 0.5845 ct	M. dk greenish blue TP rough	0.018	0.007	0.000	0.662	0.037	0.724
SGC041 2.548 ct	M. greenish blue TP rough	0.014	0.015	0.000	0.697	0.023	0.749
SGC042 3.15 ct	M. greenish blue TP rough	0.013	0.011	0.000	0.777	0.027	0.829
SGC043 3.1445 ct	M. greenish blue TP rough	0.019	0.010	0.000	0.708	0.027	0.764
SGC044 2.216 ct	M. yellowish greenish blue TP rough	0.006	0.005	0.000	0.892	0.035	0.938
SGC045 1.921 ct	M. greenish blue TP rough	0.016	0.011	0.000	0.836	0.025	0.888
SGC046 2.66 ct	M. greenish blue TP rough	0.024	0.012	0.000	1.336	0.052	1.423
SGC047 2.8250 ct	M. yellowish greenish blue TP rough	0.023	0.011	0.000	0.947	0.031	1.013
SGC048 2.6685 ct	M. yellowish greenish blue TP rough	0.016	0.011	0.000	0.792	0.027	0.846
ช่วงต่ำสุด-สูงสุด		0.011- 0.175	0.005- 0.023	0.000	0.285- 1.336	0.010- 0.073	0.317- 1.423



รูปที่ 4.5 ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิม จากแหล่งแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของทับทิม (เผา) จากแหล่งแอนดิลามินาประเทศมาดากัสการ์

หมายเลขตัวอย่าง	ลักษณะ	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	รวม
RMDP001 1.761 cts	Dk purplish red S-TL rough heat	0.031	0.015	1.009	0.431	0.010	1.495
RMDP002 1.881 cts	Dk purplish red S-TL rough heat	0.020	0.013	0.929	0.500	0.008	1.470
RMDP003 1.5145 cts	M. purplish red ruby S-TL rough heat	0.054	0.015	0.156	0.655	0.008	0.889
RMDP004 1.7015 cts	Dk purplish red S-TL rough heat	0.116	0.018	0.719	0.340	0.008	1.201
RMDP005 1.3165 cts	M dk purplish red S-TL rough heat	0.027	0.005	0.548	0.295	0.005	0.879
RMDP006 1.450 cts	Dk purplish red S-TL rough	0.024	0.120	0.953	0.417	0.009	1.523
RMDP007 1.7725 cts	Dk purplish red S-TL rough heat	0.068	0.013	0.539	0.327	0.004	0.950
RMDP008 1.582 cts	Dk purplish red S-TL rough heat	0.270	0.147	0.651	0.636	0.007	1.710
RMDP009 1.685 cts	Dk purplish red S-TL rough heat	0.138	0.017	0.481	0.281	0.007	0.924
RMDP010 1.427 cts	Dk purplish red S-TL rough heat	0.396	0.021	0.645	0.481	0.007	1.549
RMDP011 1.977 cts	Dk purplish red S-TL rough heat	0.033	0.025	0.406	0.599	0.004	1.067
RMDP012 2.232 cts	Dk purplish red S-TL rough heat	0.021	0.013	0.644	0.521	0.004	1.203
RMDP013 1.643 cts	M. dk purplish red S-TL rough heat	0.015	0.005	0.246	0.283	0.006	0.554
RMDP014 1.003 cts	M. purplish red S-TL rough heat	0.026	0.009	0.463	0.251	0.005	0.755
RMDP015 1.550 cts	M. dk purplish red S-TL rough heat	0.080	0.015	0.387	0.282	0.007	0.771
RMDP016 0.9905 cts	M. dk purplish red S-TL rough heat	0.026	0.019	0.766	0.512	0.009	1.332
RMDP017 2.9675 cts	M. L. pinkish red ruby S-TL rough heat	0.022	0.014	0.069	0.166	0.003	0.274
RMDP018 1.962 cts	M. dk purplish red S-TL rough heat	0.103	0.016	0.472	0.424	0.007	1.022
RMDP019 1.611 cts	M. pinkish red S-TL rough heat	0.526	0.025	0.090	0.226	0.007	0.873
RMDP020 0.8715 cts	M. L pinkish red S-TL rough heat	0.334	0.012	0.093	0.269	0.006	0.714
ช่วงต่ำสุด-สูงสุด		0.015-0.526	0.005-0.147	0.069-1.009	0.166-0.655	0.003-0.010	0.274-1.710

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของทับทิม (ไม่เผา) จากแหล่ง
แอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์

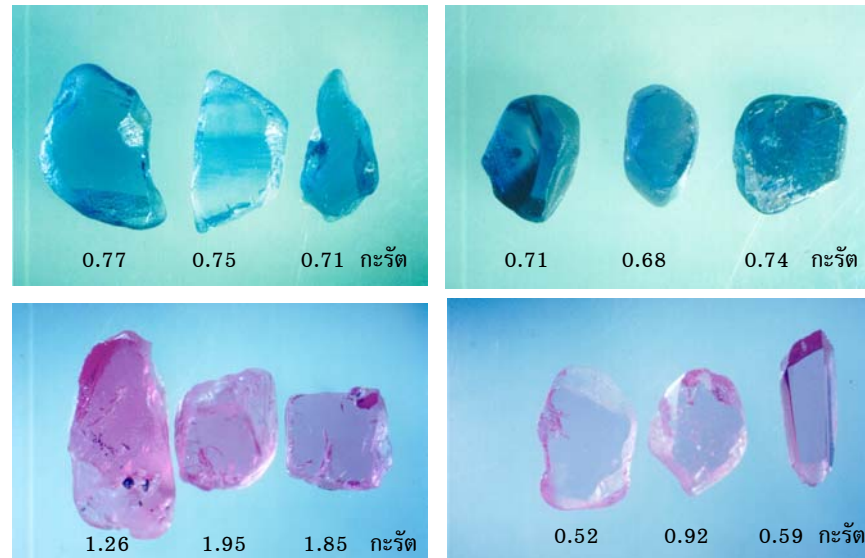
หมายเลขตัวอย่าง	ลักษณะ	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	รวม
RMDP001R 2.8365 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	0.027	0.014	1.708	0.536	0.011	2.296
RMDP002R 1.823 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	0.912	0.042	0.353	0.294	0.006	1.606
RMDP003R 1.8445 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	0.511	0.014	0.364	0.252	0.006	1.147
RMDP004R 1.5195 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	1.404	0.026	0.762	0.533	0.011	2.736
RMDP005R 2.787 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	0.599	0.017	0.588	0.408	0.009	1.622
RMDP006R 1.714 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	0.156	0.016	0.470	0.285	0.008	0.935
RMDP007R 2.0895 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	0.345	0.015	0.782	0.398	0.010	1.550
RMDP008R 1.186 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	0.797	0.025	0.625	0.622	0.005	2.074
RMDP009R 1.421 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	1.142	0.014	0.661	0.423	0.007	2.246
RMDP010R 1.145 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	0.070	0.018	1.360	0.362	0.008	1.818
RMDP011R 1.0105 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	0.057	0.017	1.680	0.418	0.006	2.178
RMDP012R 1.201 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	1.546	0.019	1.197	0.458	0.007	3.227
RMDP013R 1.9425 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	0.071	0.016	0.849	0.537	0.008	1.481
RMDP014R 0.9235 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	0.041	0.012	0.592	0.176	0.005	0.826
RMDP015R 1.334 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	0.036	0.015	0.669	0.341	0.005	1.065
RMDP016R 1.750 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	1.377	0.043	0.429	0.675	0.009	2.533
RMDP017R 0.690 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	0.531	0.019	1.045	0.457	0.006	2.059
RMDP018R 1.481 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	0.372	0.018	0.725	0.491	0.005	1.610
RMDP019R 1.2255 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	0.022	0.014	0.632	0.287	0.004	0.959
RMDP020R 1.347 cts	V. dk purplish red S-TL rough unheat	1.447	0.052	0.661	0.521	0.008	2.689
ช่วงต่ำสุด-สูงสุด		0.022- 1.546	0.012- 0.052	0.353- 1.708	0.176- 0.675	0.004- 0.011	0.826- 3.227



รูปที่ 4.6 ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิมจากแหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของทับทิม จากแหล่งตามาตาฟ
ประเทศมาดากัสการ์

หมายเลขตัวอย่าง	ลักษณะ	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	รวม
TAMA01 2.072 cts	Dark red ruby rough crystal	0.036	0.014	0.350	0.549	0.006	0.955
TAMA02 1.0395 cts	Dark red ruby rough crystal	0.088	0.015	0.408	0.382	0.009	0.902
TAMA03 0.835 cts	Dark red ruby rough crystal	0.060	0.017	0.658	0.694	0.010	1.439
TAMA04 1.2735 cts	Dark red ruby rough crystal	0.083	0.018	0.221	0.467	0.006	0.795
TAMA05 0.8595 cts	Dark red ruby rough crystal	0.049	0.020	0.209	0.338	0.008	0.623
TAMA06 0.7865 cts	Dark red ruby rough crystal	0.113	0.014	0.165	0.598	0.013	0.902
TAMA07 0.5245 cts	Med purplish red ruby rough crystal	0.105	0.015	0.127	0.331	0.009	0.587
TAMA08 0.9765 cts	Dark red ruby rough crystal	0.293	0.014	0.134	0.713	0.007	1.161
TAMA09 0.4945 cts	Dark red ruby rough crystal	0.289	0.007	0.471	0.418	0.008	1.194
ช่วงต่ำสุด-สูงสุด		0.036- 0.293	0.007- 0.020	0.127- 0.658	0.331- 0.713	0.006- 0.013	0.587-1.439



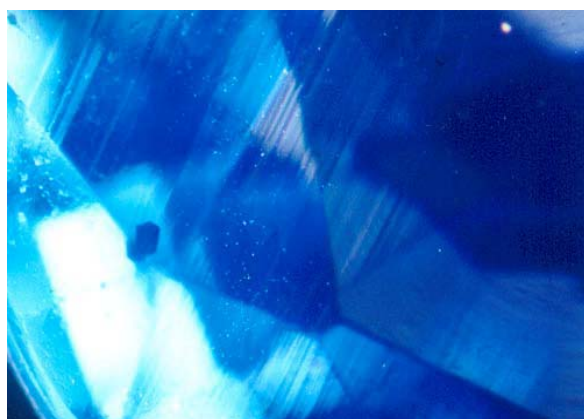
รูปที่ 4.7 ลักษณะปรากฏของตัวอย่างแซปไฟร์แหล่งอิลากากาและ ซาคาราฮา ประเทศมาดากัสการ์

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของแซปไฟร์จากแหล่งอิลากากา และซาคาราฮา ประเทศมาดากัสการ์

หมายเลขตัวอย่าง	ลักษณะ	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	รวม
IDB1 0.717 ct (Tei)	Dark purplish blue sapphire TP rough	0.054	0.015	0.005	0.179	0.006	0.259
IDB2 0.685 ct (Tei)	Dark purplish blue sapphire TP rough	0.028	0.022	0.011	0.227	0.009	0.297
IDB3 0.748 ct (Tei)	Dark purplish blue sapphire TP rough	0.032	0.029	0.043	0.441	0.009	0.553
IDB4 0.672 ct (Tei)	Dark blue sapphire TP rough	0.042	0.016	0.000	0.188	0.010	0.256
IDB5 0.951 ct (Tei)	Dark blue sapphire TP rough	0.080	0.021	0.000	0.149	0.015	0.265
IDB6 0.449 ct (Tei)	Dark blue sapphire TP rough	0.035	0.010	0.000	0.101	0.016	0.163
IMB1 0.773 ct (Tei)	Med dark blue sapphire TP rough	0.021	0.013	0.000	0.392	0.020	0.445
IMB2 0.757 ct (Tei)	Med blue sapphire TP rough	0.028	0.013	0.000	0.119	0.009	0.168
IMB3 0.716 ct (Tei)	Med dark blue sapphire TP rough	0.018	0.011	0.000	0.630	0.016	0.675
IMB4 0.788 ct (Tei)	Med blue sapphire TP rough	0.019	0.012	0.000	0.157	0.017	0.206
IMB5 0.730 ct (Tei)	Med blue sapphire TP rough polish flat	0.037	0.018	0.000	0.127	0.010	0.193
IVLB1 0.730 ct (Tei)	Very light blue sapphire TP rough	0.032	0.013	0.000	0.057	0.007	0.109
IVLB2 0.543 ct (Tei)	Very light blue sapphire TP rough	0.020	0.005	0.000	0.268	0.009	0.301
IVLB4 0.438 ct (Tei)	Very light blue sapphire TP rough	0.037	0.007	0.000	0.214	0.013	0.271
IVLB5 0.643 ct (Tei)	Light blue sapphire TP rough	0.037	0.016	0.000	0.111	0.006	0.171
LP1 0.524 ct (Tei)	Light purplish pink sapphire TP rough	0.026	0.012	0.026	0.385	0.008	0.457
LP2 0.919 ct (Tei)	Light purplish pink sapphire TP rough	0.019	0.012	0.066	0.083	0.010	0.190
LP3 0.589 ct (Tei)	Light purplish pink sapphire TP rough	0.019	0.010	0.029	0.064	0.009	0.131
LP4 0.546 ct (Tei)	Light purplish pink sapphire TP rough	0.026	0.007	0.004	0.049	0.012	0.098
LP5 0.536 ct (Tei)	Light purplish pink sapphire TP rough	0.074	0.007	0.000	0.225	0.009	0.315
LP6 0.458 ct (Tei)	Light purplish pink sapphire TP rough	0.024	0.005	0.023	0.503	0.005	0.559
LP7 0.650 ct (Tei)	Light purplish pink sapphire TP rough	0.017	0.010	0.027	0.073	0.011	0.138
LP8 0.583 ct (Tei)	Light purplish pink sapphire TP rough	0.012	0.012	0.019	0.321	0.006	0.370
LP9 0.558 ct (Tei)	Light purplish pink sapphire TP rough	0.021	0.005	0.029	0.260	0.011	0.326

ตารางที่ 4.7(ต่อ) แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของแซปไฟร์แหล่งอิลากา และ
ชาคาราฮา ประเทศมาดากัสการ์

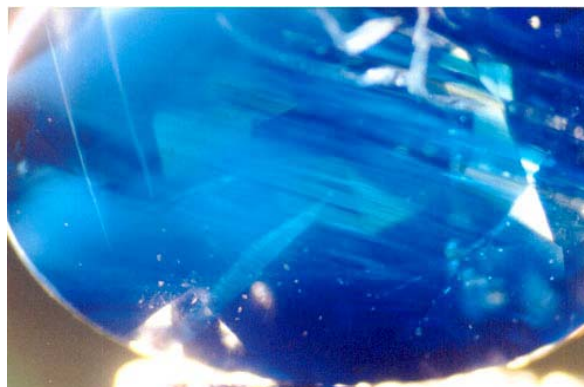
หมายเลขตัวอย่าง	ลักษณะ	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	รวม
MB1 0.314 ct (Tei)	Med light blue sapphire skaraha TP rough	0.020	0.018	0.000	0.354	0.008	0.399
MB2 0.225 ct (Tei)	Light blue sapphire skaraha TP rough	0.026	0.014	0.000	0.091	0.007	0.138
MB3 0.561 ct (Tei)	Med light blue sapphire skaraha TP rough	0.014	0.009	0.000	0.088	0.012	0.122
MB4 0.337 ct (Tei)	Light blue sapphire skaraha TP rough	0.033	0.016	0.000	0.075	0.009	0.132
MB8 0.688 ct (Tei)	Med light blue sapphire skaraha TP rough	0.019	0.014	0.000	0.101	0.004	0.138
MLV1 0.643 ct (Tei)	Very light blue sapphire TP rough	0.027	0.009	0.000	0.059	0.010	0.105
MLV2 0.318 ct (Tei)	Very light milky blue sapphire TP rough	0.036	0.013	0.000	0.121	0.023	0.193
MLV3 0.322 ct (Tei)	Very light blue sapphire TP rough	0.062	0.016	0.000	0.120	0.007	0.205
MVLB1 0.875 ct (Tei)	Very light blue sapphire TP rough	0.046	0.014	0.000	0.173	0.024	0.257
MVLB2 0.888 ct (Tei)	Very light milky blue sapphire TP rough	0.034	0.013	0.000	0.144	0.008	0.199
MVLB3 0.991 ct (Tei)	Very light yellowish blue sapphire TP rough	0.213	0.012	0.000	0.073	0.010	0.309
MVLB4 0.780 ct (Tei)	Very light yellowish blue sapphire TP rough	0.063	0.013	0.000	0.123	0.004	0.203
MVLB5 0.699 ct (Tei)	Very light yellowish blue sapphire TP rough	0.033	0.017	0.000	0.113	0.013	0.177
P1 2.676 ct (Tei)	Med purple sapphire TP rough	0.019	0.015	0.034	0.090	0.009	0.167
P2 2.313 ct (Tei)	Med purple sapphire TP rough	0.013	0.013	0.020	0.262	0.005	0.313
P3 2.002 ct (Tei)	Med purple sapphire TP rough	0.025	0.013	0.026	0.566	0.011	0.641
P4 0.912 ct (Tei)	Med purple sapphire TP rough	0.024	0.007	0.026	0.290	0.010	0.356
P5 0.546 ct (Tei)	Med light purple sapphire TP rough	0.017	0.009	0.000	0.098	0.006	0.130
P6 1.045 ct (Tei)	Med purple sapphire TP rough	0.024	0.011	0.014	0.257	0.005	0.311
P7 0.498 ct (Tei)	Med light purple sapphire TP rough	0.020	0.011	0.039	0.065	0.011	0.146
PP1 1.263 ct (Tei)	Med purplish pink sapphire TP rough	0.016	0.015	0.042	0.029	0.046	0.148
PP2 1.957 ct (Tei)	Med purplish pink sapphire TP rough	0.022	0.009	0.023	0.068	0.006	0.129
PP3 1.856 ct (Tei)	Med purplish pink sapphire TP rough	0.026	0.005	0.104	0.058	0.010	0.202
PP4 1.283 ct (Tei)	Med light purplish pink sapphire TP rough	0.006	0.005	0.041	0.059	0.012	0.122
PP5 0.909 ct (Tei)	Med purplish pink sapphire TP rough	0.019	0.017	0.010	0.025	0.004	0.075
PP6 1.327 ct (Tei)	Med purplish pink sapphire TP rough	0.019	0.012	0.023	0.045	0.010	0.109
PP7 0.739 ct (Tei)	Med dark purplish pink sapphire TP rough	0.016	0.011	0.041	0.080	0.010	0.157
PP8 0.391 ct (Tei)	Med light purplish pink sapphire TP rough	0.026	0.010	0.041	0.082	0.009	0.168
PP9 0.426 ct (Tei)	Light purplish pink sapphire TP rough	0.019	0.016	0.008	0.066	0.008	0.117
VLB1 0.381 ct (Tei)	Very light blue sapphire skaraha TP rough	0.020	0.017	0.000	0.073	0.008	0.118
VLB2 0.5925 ct (Tei)	Very light blue sapphire skaraha TP rough	0.039	0.017	0.000	0.103	0.006	0.164
VLB6 0.324 ct (Tei)	Light blue sapphire skaraha TP rough	0.011	0.012	0.000	0.065	0.005	0.092
VLB7 0.261 ct (Tei)	Very light blue sapphire skaraha TP rough	0.016	0.016	0.000	0.084	0.012	0.128
ช่วงต่ำสุด-สูงสุด		0.006- 0.213	0.005- 0.029	0.000- 0.104	0.025- 0.630	0.004- 0.046	0.075- 0.553



ผลึกแร่สีดำ (เฟอร์โรโคลัมไบต์) และแอมบีส (68x)



มลทินของไหล และผลึกแร่ (60x)



แอมบีส โซนีส และมลทินผลึกเข็มยาว (30x)

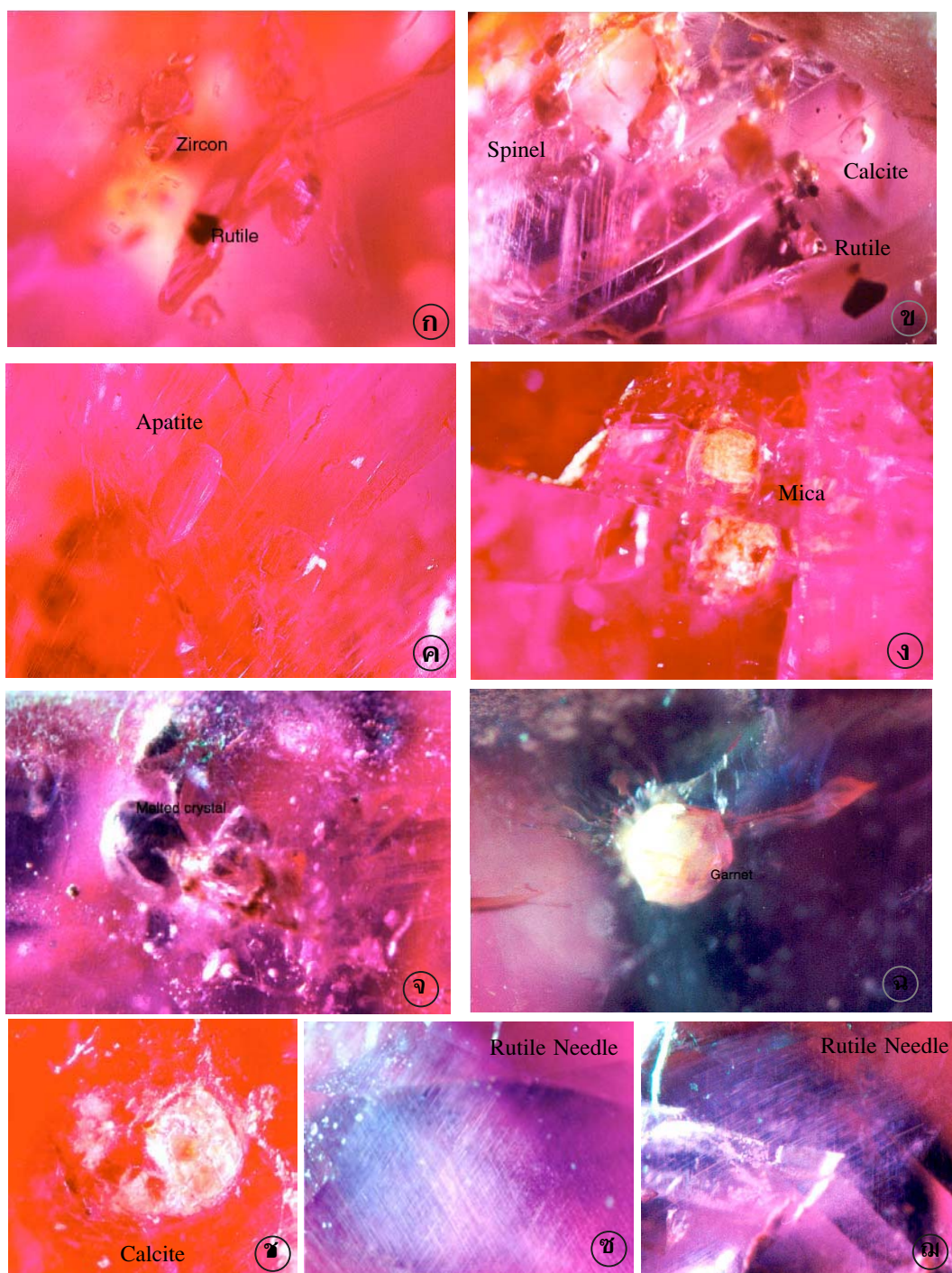


ผลึกเข็มตัดกัน มลทินของไหลรูปร่างคล้ายขนนก และมลทินฝุ่น (35x)



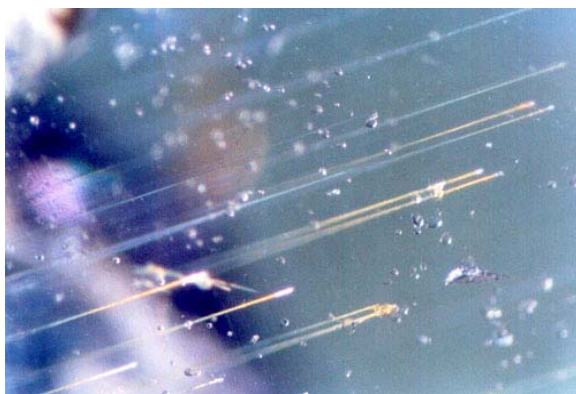
ผลึกกลวง (Negative crystal) และผลึกแร่สีดำ (60x)

รูปที่ 4.8 มลทินภายในตัวอย่างพลอยไฟลิน จากแหล่งจังหวัดแพร่

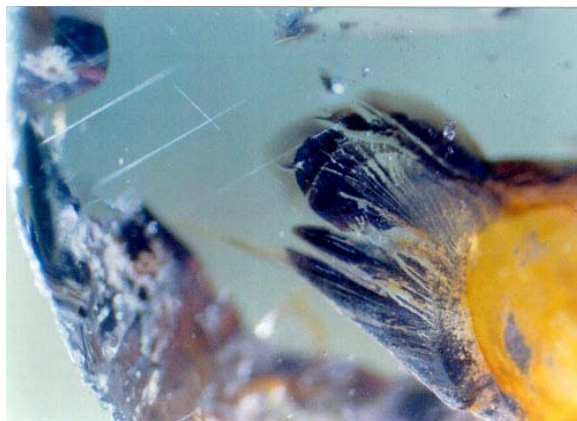


รูปที่ 4.9 มลทินผลึกแร่ชนิดต่างๆและมลทินของโฮล ที่พบในทับทิมจากแหล่งโมกก ประเทศพม่า

- | | |
|--|---|
| ก. ผลึกแร่เซอร์คอน และรูไทล์ (65x) | ข. สปิเนล แคลไซต์ รูไทล์ และผลึกเข็มยาว (33x) |
| ค. ผลึกแร่อะพาไทต์ (50x) | ง. ผลึกแร่ไมกา (65x) |
| จ. ผลึกแร่ที่ถูกหลอม (70x) | ฉ. ผลึกแร่การ์เนต (70x) |
| ฉ. ผลึกแร่แคลไซต์ (60x) | ช. ผลึกแร่แคลไซต์ |
| ซ. แร่รูไทล์รูปร่างแท่งเข็มตัดกัน และอนุภาคคล้ายฝุ่น (50x) | |
| ณ. มลทินของโฮล และลักษณะผลึกเข็มวางตัวตัดกัน (70x) | |



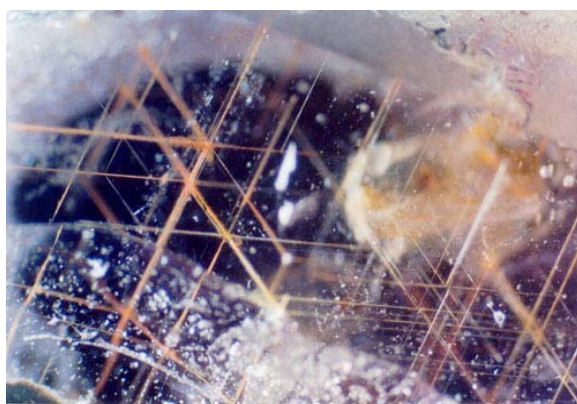
มลทินผลึกเข็มยาว และผลึกเข็มเล็กๆของ
แระอะพาไทต์ (70x)



รอยแตกที่ถูกสมานด้วยของไหล และผลึกเข็มยาวที่
ตัดกัน (25x)



มลทินผลึกแระอะพาไทต์ และมลทินผลึกกลาง
(Negative Crystal; 45x)

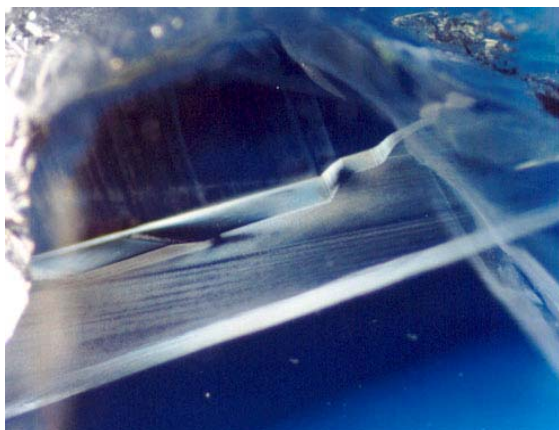


มลทินผลึกเข็มยาวตัดกันสามทิศทาง และกลุ่มของ
ผลึกแร่ขนาดเล็ก (25x)



มลทินผลึกเข็มขนาดเล็ก และเข็มแท่งสั้น กระจายอยู่ทั่วไป (30x)

รูปที่ 4.10 มลทินภายในพลอยจากแหล่งอุмба ประเทศแทนซาเนีย



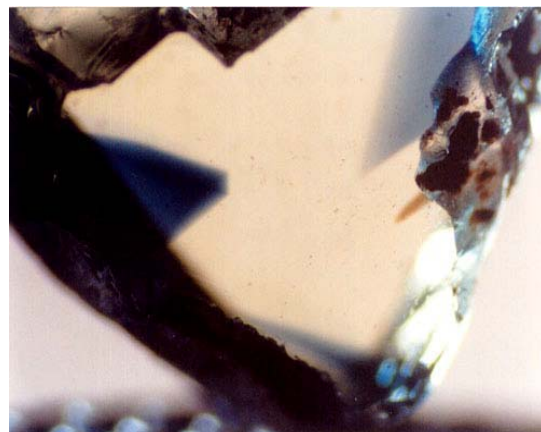
การเจริญเติบโตที่ไม่สม่ำเสมอ (Irregular growth)
และแอสทิตที่มีมลทินคล้ายฝุ่นบรรจุอยู่ (45x)



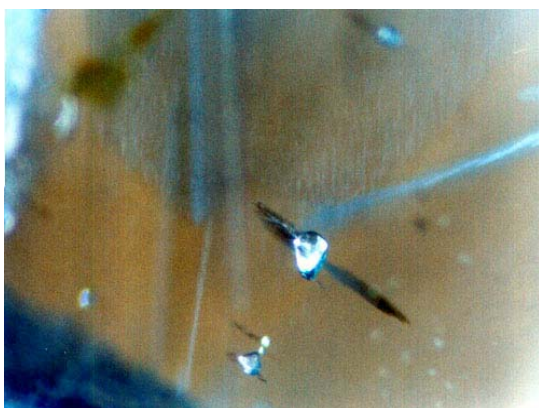
รอยแตกที่ถูกสมานด้วยของไหล
(Healing Fracture 70x)



ระนาบผลึกแอสทิต มีมลทินคล้ายฝุ่นบรรจุอยู่ (40x)



หย่อมสีน้ำเงิน และผลึกแร่รูไทล์
(Rutile crystal; 38x)



มลทินผลึกแร่ และผลึกเข็มขนาดเล็ก (70x)



รอยแตกที่ถูกสมานด้วยของไหล และโซนสี
(Healing Fracture 40x)

รูปที่ 4.11 มลทินภายในพลอยจากแหล่งเดียโก (Diego) ประเทศมาดากัสการ์



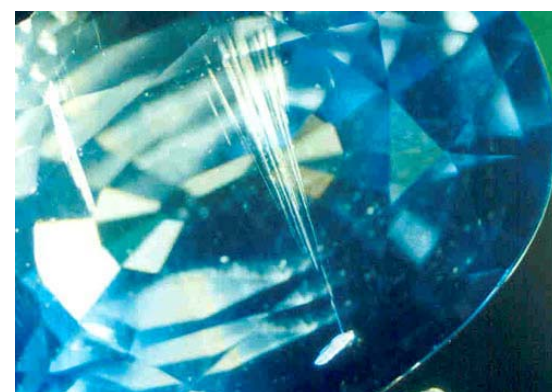
มลทินผลึกแร่รูไทล์และผลึกเข็ม (50x)



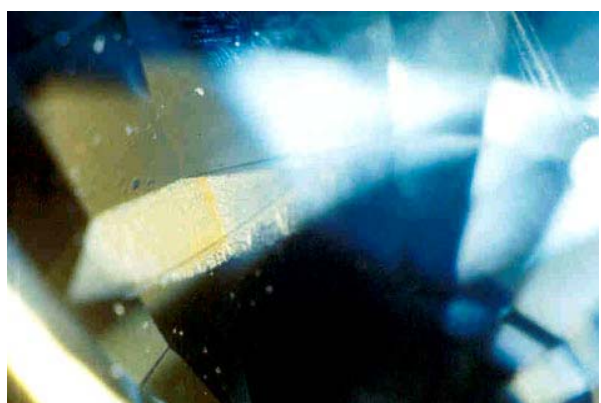
รอยแตกที่ถูกสมานด้วยของไหล และร่องรอยที่ถูกแรงอัด (Stress fracture: 30x)



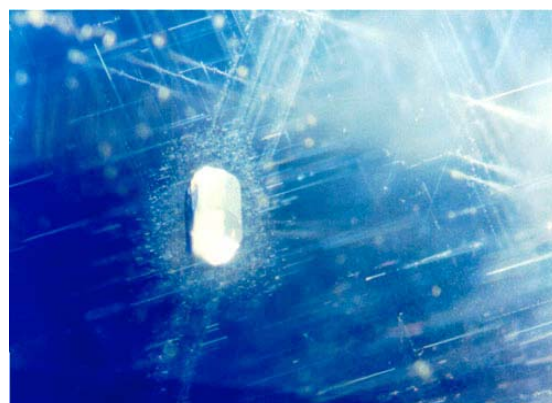
ผลึกเข็มยาว และผลึกเข็มเล็ก ๆ (45x)



มลทินท่อยาว มีฝุ่นขนาดเล็กบรรจุอยู่(15x)



รอยแตกที่ถูกสมานด้วยของไหล มีคราบเหล็กออกไซด์ และฝุ่นขนาดเล็กเรียงตัวเป็นสาย (35x)

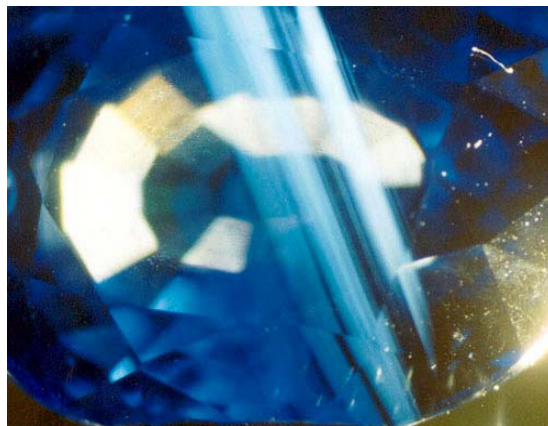


ผลึกแร่เฟลด์สปาร์วางตัวอยู่บนกลุ่มของผลึกเข็มเล็ก ๆ และผลึกเข็มยาวตัดกันสามทิศทาง (70x)

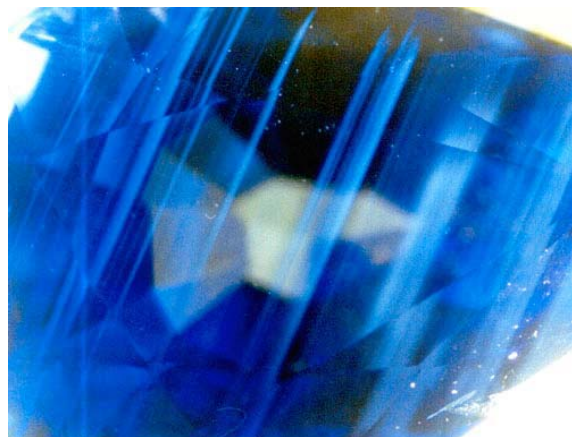
รูปที่ 4.12 มลทินภายในพลอยจากแหล่งอิลากากา (Ilakaka) ประเทศมาดากัสการ์



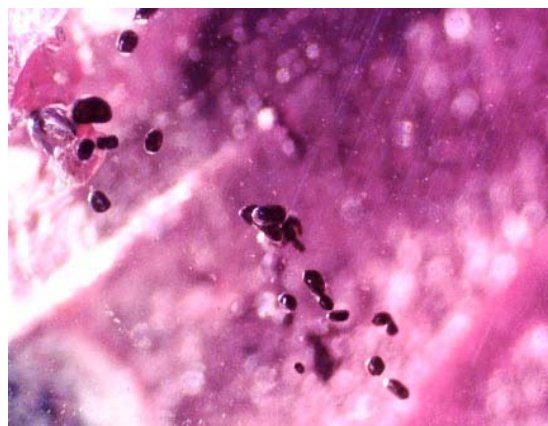
สายของมลทินของไทล และฝุ่นขนาดเล็ก (30x)



ระนาบผลึกแผ่นที่มีฝุ่นขนาดเล็กบรรจุอยู่ (18x)

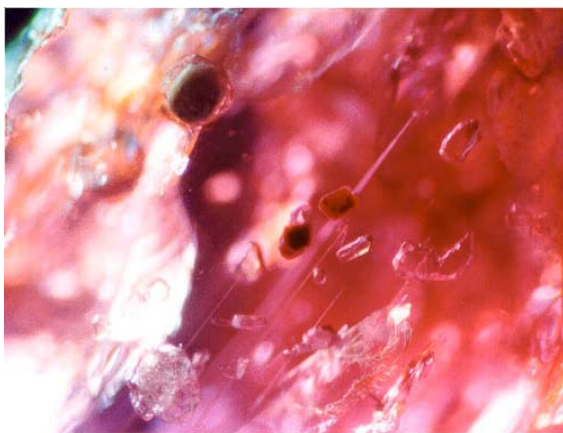


ลักษณะของการเจริญเติบโตที่ไม่เรียบสม่ำเสมอ
(Irregular growth; 23x)



มลทินผลึกแร่รูไทล์ มักพบอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม
(Rutile crystals; 35x)

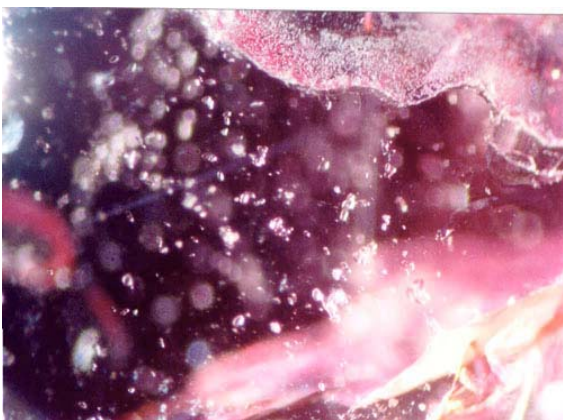
รูปที่ 4.13 มลทินภายในพลอยจากแหล่งอีลาากา (Ilakaka) ประเทศมาดากัสการ์



ผลึกแร่รูไทล์ อะพาไทต์ และเซอร์คอน (60x)



รอยแตกที่มีคราบเหล็กรอกออกไซด์ และผลึกแร่รูไทล์ (35x)

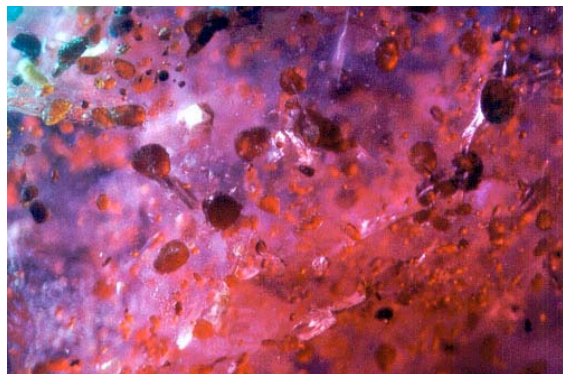


กลุ่มของผลึกแร่เซอร์คอน (70x)

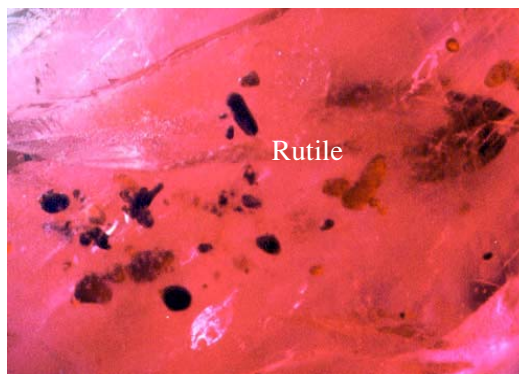


ผลึกแร่รูไทล์ เป็นแท่งยาว และรูปผลึกมน (70x)

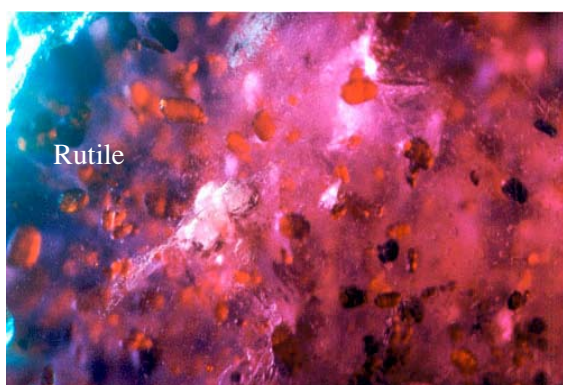
รูปที่ 4.14 มลทินภายในตัวอย่างพลอยจากแหล่งตามาตาฟ (Tamatav) ประเทศมาดากัสการ์



กลุ่มของผลึกแร่รูไทล์ สีน้ำตาล รูปร่างกลมมน (40x)



ผลึกแร่รูไทล์ สีดำ และผลึกเข็ม (30x)

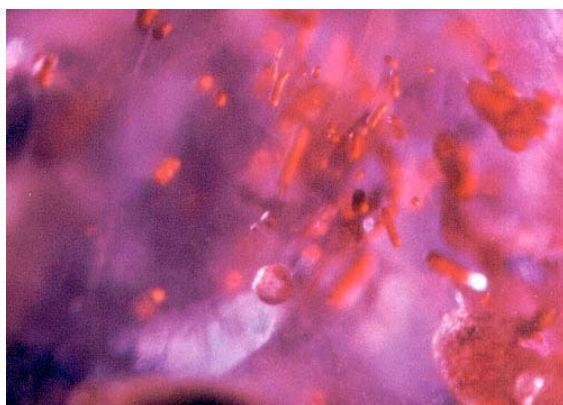


ผลึกแร่รูไทล์ สีน้ำตาลแดง และผลึกที่ถูกหลอม (50x)

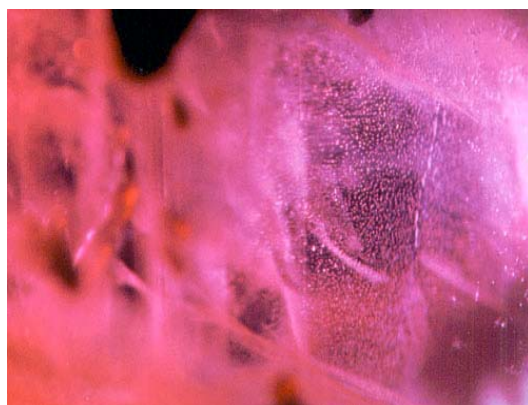


รอยแตกที่ถูกสมานด้วยของไหล และผลึกแร่เซอร์คอน (70x)

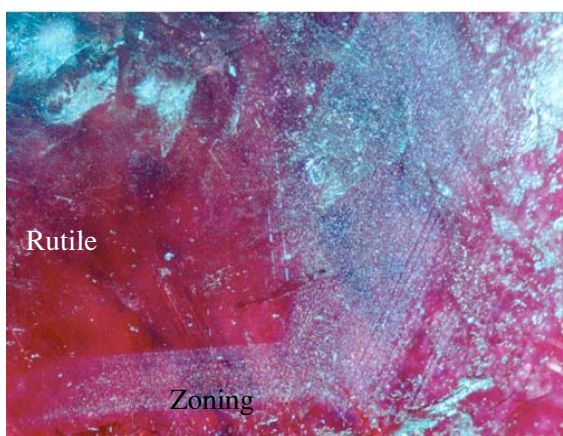
รูปที่ 4.15 มลทินผลึกแร่ชนิดต่างๆและมลทินของไหล ในตัวอย่างทับทิมจากแหล่งแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์



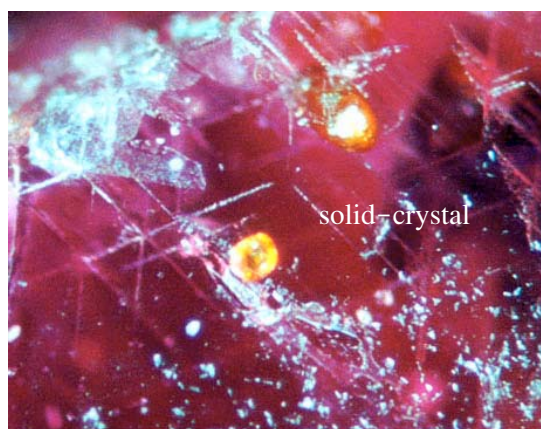
ผลึกแร่การ์เนต และผลึกแร่รูไทล์ (70x)



รอยแตกที่ถูกสมานด้วยของไหล
สองสถานะ (70x)



แถบสีที่บรรจุด้วยผลึกเข็มขนาดเล็ก และผลึก
เข็มไม่สมบูรณ์ (Dotted needles; 45x)



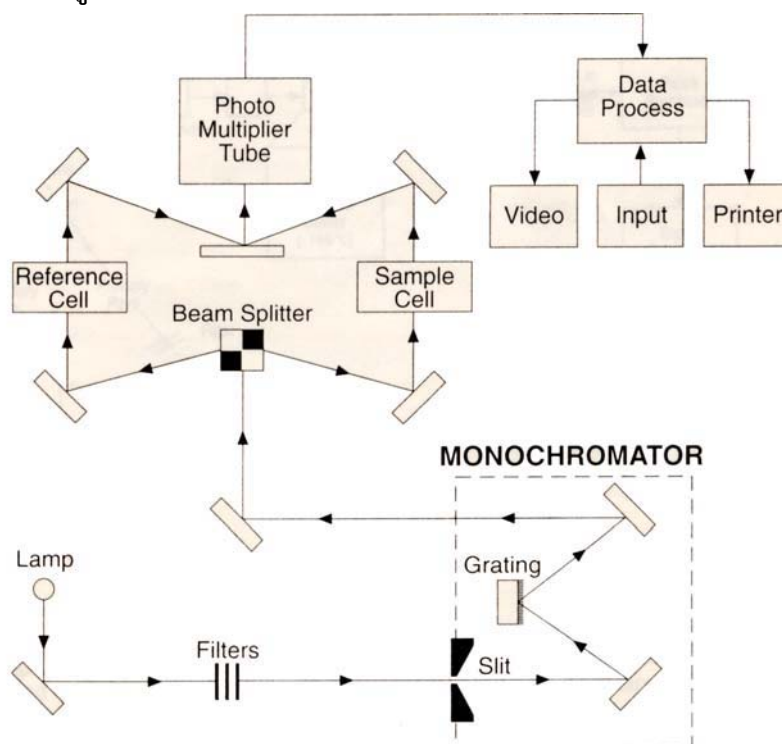
ผลึกแร่สี่สั้ม และผลึกเข็มไม่สมบูรณ์ (Dotted
needles) ตัดกันสามทิศทาง (70x)

รูปที่ 4.16 มลทินผลึกแร่ชนิดต่างๆและมลทินของไหล ในตัวอย่างทับทิมจากแหล่งแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์

4.2 การดูดกลืนแสงอินฟราเรดในช่วงคลื่น UV-VIS-NIR ของพอลอยคอรัลด์

ในการศึกษาหลักการดูดกลืนแสงของแร่พอลอยคอรัลด์นั้น ต้องอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า UV-VIS-NIR Spectrophotometer ซึ่งเป็นเครื่องมือแบบลำแสงคู่ (Double-beam Instrument) โดยที่ลำแสงหนึ่งผ่านตัวอ้างอิง อีกลำแสงหนึ่งผ่านตัวอย่างแร่รัตนชาติที่ต้องการวิเคราะห์ จากนั้นจะเปรียบเทียบความเข้มของลำแสงทั้งสองโดยการวัดที่พร้อมกัน เป็นการวัดอัตราส่วนของความเข้มแสง ที่ได้จากตัวอย่างอ้างอิงกับตัวอย่างแร่ในช่วงเวลาใกล้เคียงกันมาก ทำให้ปัญหาของการเปลี่ยนแปลง ความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตามเวลาที่เปลี่ยนไป และช่วงเวลาการตอบสนองของเครื่องวัดความเข้มแสง ไม่มีผลต่อการวัดการดูดกลืนแสง เครื่องมือนี้มีส่วนประกอบพื้นฐานดังนี้ (รูปที่ 4.17)

1. หลอดดิวทีเรียม (Deuterium Lamp) เป็นแหล่งของคลื่นแสงช่วงคลื่น UV
2. หลอดฮาโลเจน (Halogen Lamp) เป็นแหล่งของคลื่นแสงช่วงคลื่น VIS-NIR
3. Monochromator เป็นตัวแยกคลื่นแสงออกเป็นคลื่นเดี่ยว
4. เครื่องแยกลำแสง ผ่านตัวอ้างอิง และผ่านตัวอย่างแร่ที่ต้องการตรวจสอบ
5. อุปกรณ์จับยึดตัวอย่าง
6. เครื่องวัดความเข้มของคลื่นแสงช่วง UV-VIS และ NIR
7. เครื่องอ่านหรือแปลสัญญาณ
8. ชุดประมวลผลข้อมูล



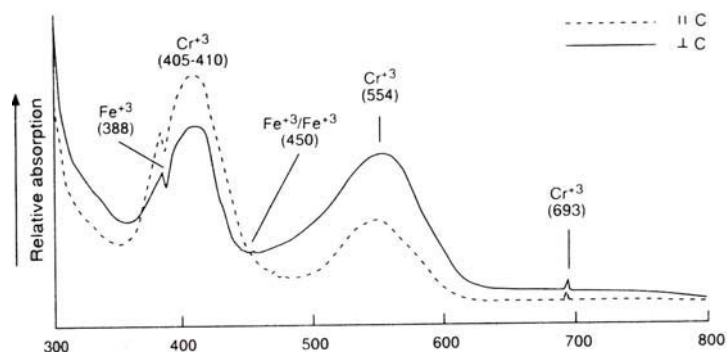
รูปที่ 4.17 Schematic diagram of UV-VIS Spectrophotometer (Themalis, 1992)

หลักการการทำงานของเครื่องมือ

หลักการการทำงานของเครื่องมือนี้ คือการใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ทำให้เกิดคลื่นแสงในช่วงคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ต ถึงอินฟราเรด ช่วงใกล้ในลักษณะ Optical Absorption Spectroscopy ของแสงในช่วงความยาวคลื่น 240–2600 นาโนเมตร โดยมีปริซึม Monochromator ชนิด Prism-grating double beam monochromator ทำหน้าที่เป็นตัวแยกคลื่นแสงออกเป็นคลื่นเดี่ยวที่ต่อเนื่องทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนคลื่นแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และมีหลอด Photomultiplier Tube เป็นตัววัดความเข้มแสงช่วง UV-VIS และใช้หลอด Cooled PbS วัดความเข้มแสงช่วงคลื่น NIR เครื่องแปลสัญญาณจะทำหน้าที่ บันทึกสเปกตรัมต่อเนื่องกันโดยอัตโนมัติ และอ่านสัญญาณออกมาในรูปของกราฟ Transmittance (%T) หรือ Absorbance (Abs) ดังแสดงในรูปที่ 4.18 และ 4.19

ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ (รัก หรรษาเวก, ติดต่อบุคคล)

1. สามารถวิเคราะห์แร่รัตนชาติโดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง ทั้งตัวอย่างที่เจียระไนแล้ว และ ที่ยังไม่ได้เจียระไน
2. วิเคราะห์ตัวอย่างแร่ประเภท Anisotropic ได้ทั้ง 2 ทิศทางคือในทิศทางที่ตั้งฉาก และขนานกับแนวแกน C ของผลึก เนื่องจากมี Polarizer filter
3. สามารถจำแนกชนิดของแร่รัตนชาติได้ โดยการเปรียบเทียบสเปกตรัมของแร่กับ สเปกตรัมของแร่ที่ทราบชนิดแร่แล้ว
4. สามารถตรวจสอบอ็อนของธาตุโลหะที่ทำให้เกิดสีในตัวอย่างแร่รัตนชาติ โดยศึกษาจากตำแหน่งและรูปร่างกราฟของการดูดกลืนแสงของอ็อนนั้น ๆ ซึ่งจะมีตำแหน่งที่คงที่ เช่น
 - Cr^{3+} เป็นธาตุมลทินในแร่โครันดัม ที่สามารถดูดกลืนแสงในระดับพลังงานช่วง VIS ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวไปของโครงสร้างผลึก ทำให้เกิดสีแดงในทับทิม จากนั้นจึงปล่อยพลังงานที่เหลือออกมาในรูปของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ธาตุ Cr^{3+} มีตำแหน่งสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอยู่ที่ความยาวคลื่นที่ 405–410, 554 และที่ 693 นาโนเมตร
 - $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{3+}$ pair และ Fe^{3+} จะเกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนพร้อม ๆ กันระหว่างอ็อนเดี่ยว ๒ ตัว หรือระหว่างอ็อนอิสระที่เป็นคู่ ทำให้เกิดสีเหลืองในบุษราคัม สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของธาตุนี้จะมีตำแหน่งที่ความยาวคลื่น 377, 388 และ 450 นาโนเมตร
 - $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ pair ทำให้เกิดสีน้ำเงินในไพไลน จะมีตำแหน่งสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอยู่ที่ ความยาวคลื่น 565 นาโนเมตร
5. สามารถวิเคราะห์จำแนกสีของแร่รัตนชาติได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Colour Analysis Software) ช่วยในการวิเคราะห์



รูปที่ 4.18 ลักษณะกราฟของการดูดกลืนแสง UV-VIS-NIR ของพลอยคอร์ันดัม

การประยุกต์ใช้ลักษณะการดูดกลืนแสง UV-VIS-NIR ในตัวอย่างพลอยคอร์ันดัม

ในการศึกษาวิเคราะห์การดูดกลืนแสงในตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมนี้ มีวัตถุประสงค์ที่จะตรวจ สอบหาวิเคราะห์การดูดกลืนแสงที่เป็นลักษณะเด่นเฉพาะของแต่ละแหล่ง (significant characteristic of UV-VIS-NIR absorption spectrum) ที่สามารถนำมาใช้เป็น คุณสมบัติอย่างหนึ่งในหลายๆ คุณสมบัติมาประกอบในการระบุแหล่งกำเนิด เนื่องจากพลอย คอร์ันดัมในแต่ละแหล่ง อาจจะมีสีที่เป็นตัวแทนของแหล่งที่แตกต่างกัน ซึ่งทั้งนี้สามารถตรวจสอบ ได้จากตำแหน่งและลักษณะสเปกตรัม ของการดูดกลืนแสงที่เกิดจากธาตุมลทินที่มีอยู่ในปริมาณที่ แตกต่างกันในตัว อย่างของแต่ละแหล่ง

การศึกษาของโครงการนี้เป็นลักษณะของการศึกษาการดูดกลืนแสง (Absorption band) ในรูปแบบ Valence specific ของแร่รัตนชาติชนิดแร่คอร์ันดัม การดูดกลืนแสงในช่วงคลื่น ที่แตกต่างกันนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์ในตัวอย่งแร่รัตนชาติดังนี้คือ

1. แร่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุระหว่าง Ligand-Metal Charge Transfer หรือ Interband Transition จะทำให้ได้การดูดกลืนแสงที่มีความเข้มมากในช่วงคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ต
2. แร่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างไอออนของธาตุโลหะ (Metal-Metal Charge Transfer หรือ Intervalence Charge Transfer; IVCT) จะได้การดูดกลืนแสงที่มี Broad peak ในช่วงคลื่นแสง VIS เช่นที่เกิด Fe^{2+} - Ti^{4+} intervalence charge transfer ในตัวอย่างไพไลน เป็นต้น (รูปที่ 4.18 และ 4.19)
3. เกิดปรากฏการณ์แลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนในระดับพลังงาน D-orbital หรือ F-orbital ในสนามผลึก (DD-Electron Transition หรือ FF-Electron Transition) เนื่องจาก อิเลคตรอนของไอออนเดี่ยวอิสระที่กระจายอยู่ (Dispersed metal ions) นั้นเกิดการ เปลี่ยนระดับพลังงาน (transitions between atomic sub-energy levels) ภายใน Electron Cloud ของอะตอม จะได้การดูดกลืนแสงที่มีความเข้มต่ำกว่าปรากฏการณ์ที่ 1 และ 2 มาก
4. เกิดปรากฏการณ์ Electron-Hole Centers หรือ Colour Center หรือ F-Center จะได้การดูดกลืนแสงที่มีความเข้มน้อยมาก เช่น ในพลอยบุษราคัมที่สีเหลืองเกิดจาก Colour

Center นั้นจะแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงของธาตุเหล็กต่ำมาก หรือไม่ ปรากฏสเปกตรัมในช่วงนั้นเลย

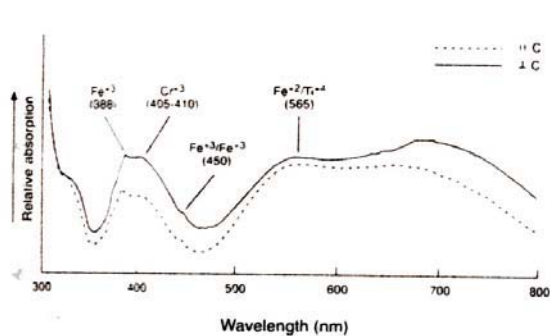
เมื่อแสงผ่านไปยังตัวอย่างแร่รัตนชาติ แสงในบางช่วงคลื่นจะถูกดูดกลืนไว้ โดยอออนภายในแร่รัตนชาตินั้น ปริมาณการดูดกลืนคลื่นแสง และช่วงคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืน จะขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของอออนนั้นๆตามลำดับ เช่น การดูดกลืนแสงในตัวอย่างไพลินที่มีสีน้ำเงินเข้มนั้น เกิดจากการดูดกลืนของอออน Fe^{3+} , และ $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ ซึ่งเป็นอออนที่มีอยู่ในไพลิน และเป็นตัวที่ทำให้เกิดสีน้ำเงิน ดังนั้นลักษณะการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต-คลื่นแสงที่มองเห็นได้-คลื่นแสงอินฟราเรดช่วงใกล้ (UV-VIS-NIR) จะปรากฏเป็นสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นอันเนื่องมาจาก $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{3+}$ ion pairs ที่มียอดที่ตำแหน่ง 377 และ 450 นาโนเมตร Fe^{3+} ion ที่มียอดที่ตำแหน่ง 388 นาโนเมตร และการดูดกลืนอันเนื่องมาจาก $\text{Fe}^{2+}-\text{Ti}^{4+}$ intervalence charge transfer (IVCT) ที่มีจุดสูงสุดที่ 565 นาโนเมตร (รูปที่ 4.18 และ 4.19)

นอกจากนี้ผลการศึกษาการดูดกลืนแสงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ ในการระบุแหล่งกำเนิดทาง ธรณีวิทยาได้ โดยดูจากสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกัน ระหว่างพลอย ที่มีกำเนิดสัมพันธ์กับการเกิดหินแปร และที่มีการกำเนิดสัมพันธ์กับหินภูเขาไฟบะซอลต์ ตัวอย่างเช่นพลอยกลุ่มสีน้ำเงินจากแหล่งอิรากาา ประเทศมาดากัสการ์ มีรูปแบบการดูดกลืนที่คล้ายกับพลอยสีน้ำเงิน จากประเทศศรีลังกาที่มีกำเนิดที่สัมพันธ์กับกระบวนการหินแปร แต่จะแตกต่างกับรูปแบบของการดูดกลืนแสงของพลอยสีน้ำเงิน จากแหล่งหินภูเขาไฟแอลคาไลน์บะซอลต์ในประเทศไทยโดยที่ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของไพลินจากแหล่งจังหวัดแพร่ จันทบุรี และกาญจนบุรี นั้น จะแสดงความเข้มของการดูดกลืนของ $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{3+}$ pairs โดยมียอดของกราฟอยู่ที่ตำแหน่ง 377 และ 450 nm และของ Fe^{3+} อออนที่ 388 nm อย่างชัดเจน ในขณะที่ไพลินที่มีการกำเนิดสัมพันธ์ กับหินแปร เช่นที่ โมกก ประเทศพม่า แหล่งศรีลังกา และแหล่งอิลากาา ประเทศมาดากัสการ์นั้น แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนที่ 377 388 และ 450 nm ของ $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{3+}$ pairs และ Fe^{3+} อออน ที่ไม่ชัดเจน (low intensity of absorbtion) ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วงคลื่น UV-VIS-NIR ของแร่พลอย ทับทิมและแซปไฟร์ จากแหล่งต่างๆ ที่ทำการศึกษาในปีที่ 3 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.20 และ 4.21

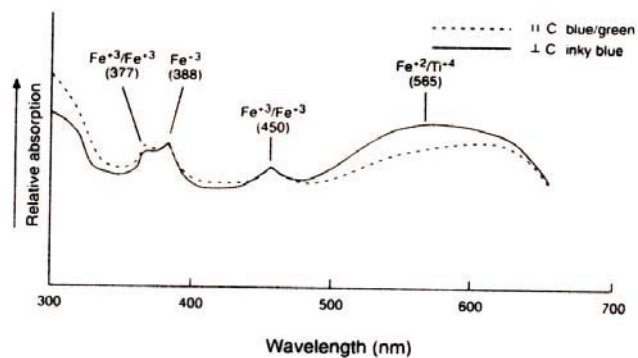
นอกจากนี้ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสง UV-VIS-NIR ยังช่วยในเรื่องของการตรวจสอบตัวอย่างพลอยว่าเป็นตัวอย่าง ที่ผ่านหรือไม่ผ่านการเพิ่มคุณภาพด้วยความร้อน โดยเฉพาะพลอยแซปไฟร์สีน้ำเงิน พลอยไพลินที่ผ่านการเผาหรือหุงจะมีรูปร่างของสเปกตรัม การดูดกลืนแสง ในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกน C ของผลึกแร่ ของอออน $\text{Fe}^{2+}-\text{Ti}^{4+}$ pairs เป็นแบบ ไหล่ลาดขึ้นไป (shoulder) ที่ตำแหน่ง 565 nm ส่วนพลอยที่ไม่ผ่านการเพิ่มคุณภาพด้วยความร้อน จะมีรูปร่างสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ $\text{Fe}^{2+}-\text{Ti}^{4+}$ pairs ณ ตำแหน่ง 565 nm เป็นแบบ เนินกว้าง (Broad spectrum)

ตารางที่ 4.8 แสดงสีของพลอยคอรัันดัม และสาเหตุที่ทำให้เกิดสี

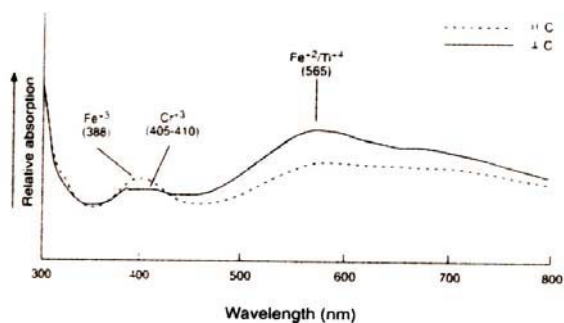
สีของพลอย	สิ่งที่ทำให้เกิดสี/Absorption Spectrum
RED	● Cr^{3+} (693/694, 554, 477/475, 468, 405/410, 254/250 nm) ● 0.1% Cr_2O_3 giving purest red pigeon-blood colour ● often modified by V^{3+} (violet) and/or Fe^{3+} (brownish) ● often modified by Fe^{2+}-O- Ti^{4+} IVCT process, giving a bluish/purplish overcasted colour (697, 565 nm)
PINK	● Cr^{3+} (693/694, 554, 477/475, 468, 405/410, 254/250 nm) ● 0.03% Cr_2O_3 giving light pink colour ● 0.04% Cr_2O_3 giving intense pink colour ● often modified by Fe^{3+} (brownish) and/or V^{3+} (violet) ● also modified by Fe^{2+}-O- Ti^{4+} IVCT process giving a bluish/purplish overcasted coloration (697, 565 nm)
ORANGE/PINK (Padparadcha)	● Cr^{3+} in octahedral coordination ● various amount of Cr_2O_3 ● colour center ● often modified by Fe^{3+} (697, 470, 388/386, 328 nm) ● Cr^{3+} and Fe^{3+} both in octahedral coordination (Umba)
ORANGE TO ORANGE/BROWN	● Cr^{3+} in octahedral coordination and colour centers ● Cr^{3+} and Fe^{3+} both in octahedral coordination, plus colour center
YELLOW/ORANGE	● Fe^{3+} and Cr^{3+} both in octahedral coordination (Umba)
YELLOW	● Unstable colour centers and defects of unknown nature ● $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{3+}$ pairs (centered at 450, 374/377 nm)
PALE YELLOW	● Colour centers ● Defects ● Traces of Fe^{3+} (Sri Lanka)
GREEN	● $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{3+}$ pairs and $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ pairs; producing green/blue, yellow/green
BLUE	● Fe^{2+}-O- Ti^{4+} IVCT process often with Fe^{2+}-O- Fe^{3+} ● frequently modified by Cr^{3+} and/or Fe^{3+} ● $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ pairs (374/377 nm)
BLUE/VIOLET	● Fe^{2+}-O- Ti^{4+} IVCT process and Cr^{3+} ● $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ pairs (or Fe^{3+}) and Cr^{3+} (Umba)
LIGHT VIOLET	● Fe^{3+} and Cr^{3+} ● also Fe^{2+}-O- Ti^{4+} IVCT process
DARK VIOLET	● Fe^{2+} and Cr^{3+} ● often with Fe^{2+}-O- Ti^{4+} IVCT process
PURPLE	● Fe^{2+}-O- Ti^{4+} IVCT process with Cr^{3+} in octahedral coordination
COLOUR CHANGE	● Cr^{3+} and/or V^{3+} with Fe^{2+}-O- Ti^{4+} in octahedral coordination



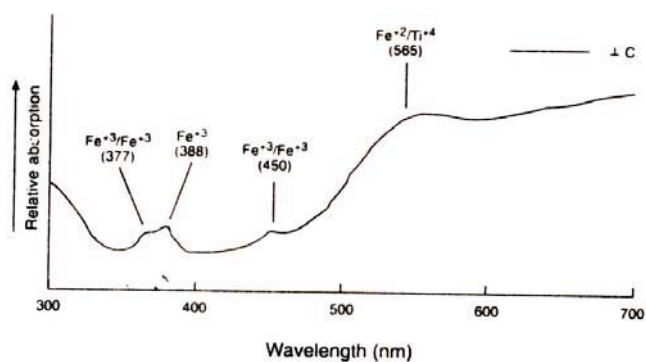
ก.



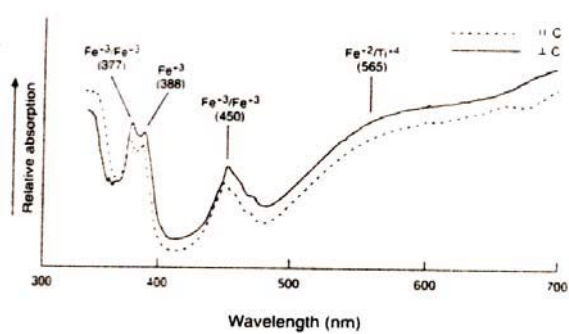
ข.



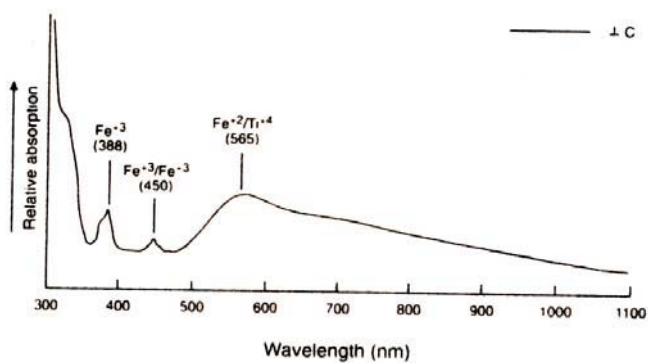
ค.



ง.

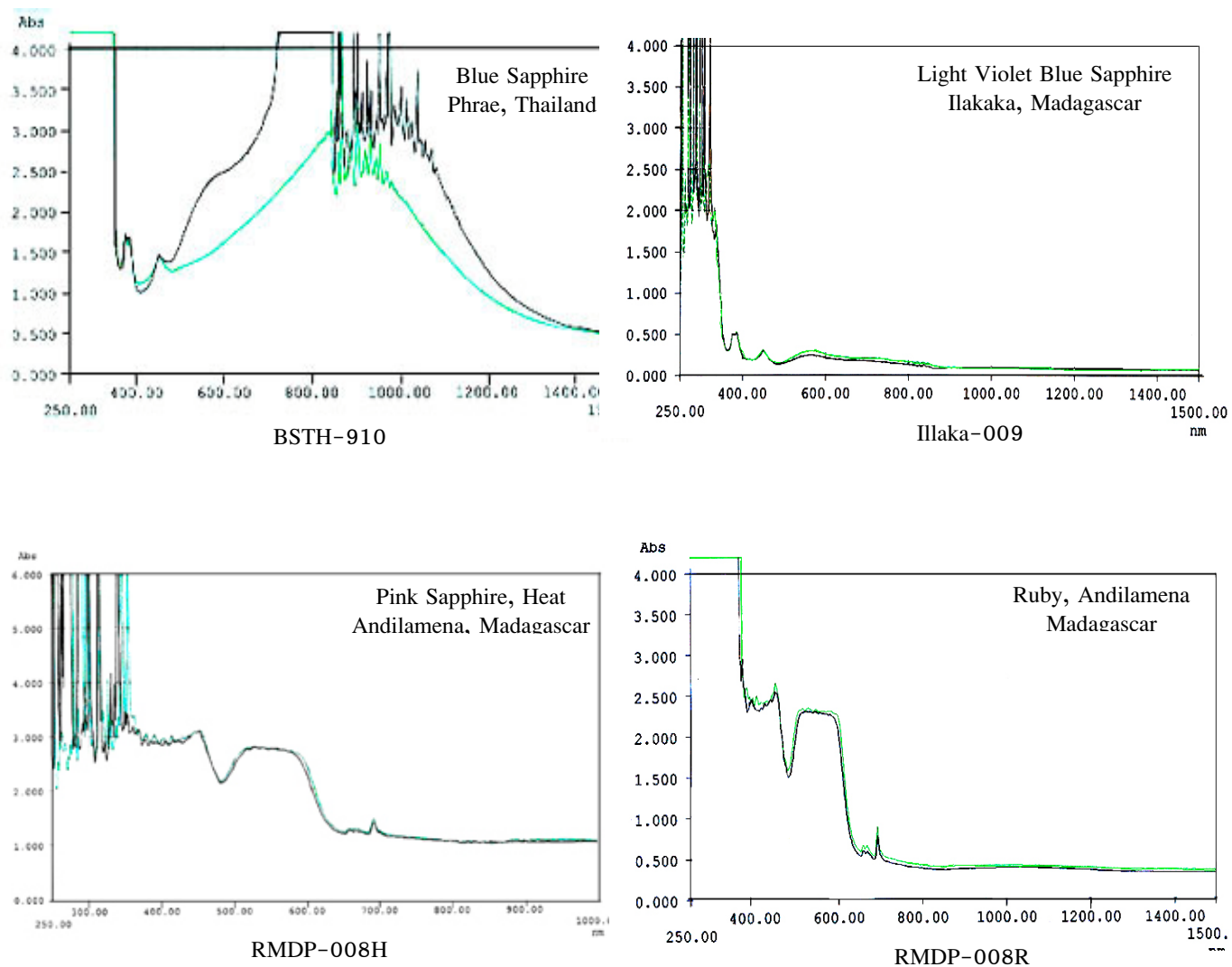


จ.

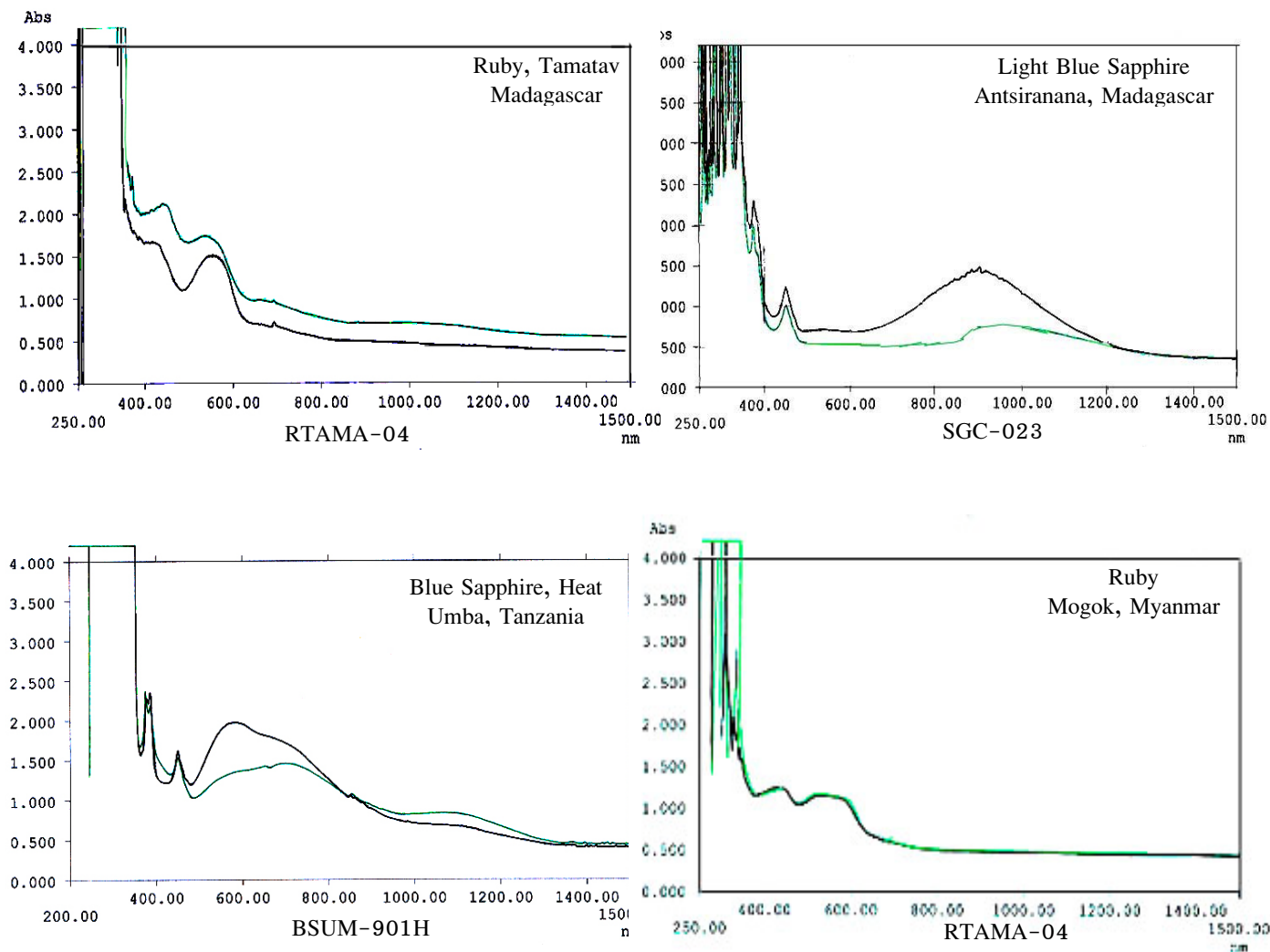


ฉ.

รูปที่ 4.19 ตัวอย่างสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่น UV-VIS-NIR ของไอออน Fe^{3+} , Cr^{3+} , $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{3+}$ และ $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ pairs ในแร่พลอยคอร์ันดัม



รูปที่ 4.20 ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วงคลื่น UV-VIS-NIR ของแร่พลอยทับทิม และแซปไฟร์จากแหล่ง จ. แพร่ ประเทศไทย และแหล่งอีลากากา และ แอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์



รูปที่ 4.21 ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วงคลื่น UV-VIS-NIR ของทับทิม และแซปไฟร์จากแหล่งตามาตาฟ และ แอนท์ซิริอานา ประเทศมาดากัสการ์ ไพลิน แหล่งอุมบา ประเทศแทนซาเนีย และทับทิมแหล่งโมกอก ประเทศพม่า

4.3 การศึกษาสเปกตรัมอินฟราเรด

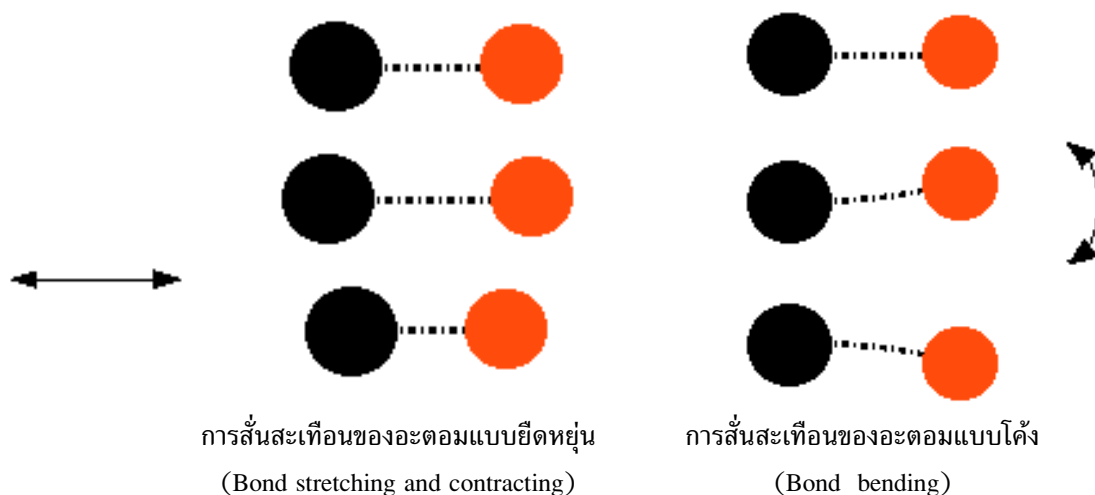
เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคป (Fourier Transform Infra-red Spectroscopy - FTIR)

FTIR เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาและตรวจวัดลักษณะ การดูดกลืน ส่องผ่าน หรือ สะท้อน ของรังสีอินฟราเรดที่มีต่อตัวอย่างแร่ เนื่องจากแร่หรือรัตนชาติแต่ละชนิด มีส่วนประกอบทางเคมี โมเลกุล โครงสร้างของโมเลกุล และอนุภาค รวมทั้งมีการจัดเรียงตัวและการยึดเหนี่ยวของโมเลกุล ที่ไม่เหมือนกัน จึงมีปฏิกิริยาต่อรังสีอินฟราเรดที่แตกต่างกัน ทำให้มีความสามารถในการดูดกลืน ส่องผ่าน หรือ สะท้อนรังสีอินฟราเรดไม่เท่ากัน ดังนั้น ผลที่ได้คือ แร่และรัตนชาติแต่ละชนิด จะมีลักษณะรังสีแสง หรือลักษณะสเปกตรัม (Spectrum) ของการดูดกลืน ส่องผ่าน หรือ สะท้อน รังสีอินฟราเรด ไม่เหมือนและไม่เท่ากัน ความแตกต่างของความมากน้อย หรือความเข้มของรังสี ที่ดูดกลืน ส่องผ่าน หรือสะท้อน จะถูกวัดและแสดงให้เห็นไปตามระยะความยาวคลื่น (Wavelength) หรือไปตามเลขคลื่น (Wave number) แต่ทั้งนี้ทิศทางการเรียงตัวหรือการวางตัวของอนุภาค ในตัวอย่างแร่ โดยเฉพาะแร่ ที่มีค่าดัชนีหักเหมากกว่า 1 ค่า (Anisotropic samples) นั้น จะมีผลต่อลักษณะสเปกตรัม ของการดูดกลืน ส่องผ่าน หรือ สะท้อน ที่แตกต่างกันไปด้วย

ตัวอย่างแร่ที่ทำการวิเคราะห์โดย FTIR จะแสดงสเปกตรัมที่มีลักษณะเฉพาะตัว (Characteristic Spectrum) และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับลักษณะสเปกตรัมของสารวัตถุ มาตรฐาน ชนิดต่าง ๆ ที่ตรวจวัดและจัดเก็บเป็นชุดระบบฐานข้อมูล (Database Library) จะทำให้ทราบถึง ชนิด ชื่อของตัวอย่าง หรือ อนุภาค อนุภาค สารประกอบอื่นที่มีอยู่ในตัวอย่างนั้น แต่ในบางครั้ง ลักษณะทาง รังสีแสง อาจมีลักษณะใกล้เคียงกันของตัวอย่างแต่ละชนิด ซึ่งจะต้อง ใช้ข้อมูลที่ละเอียด ประสิทธิภาพ และการสังเกต ในการพิจารณา

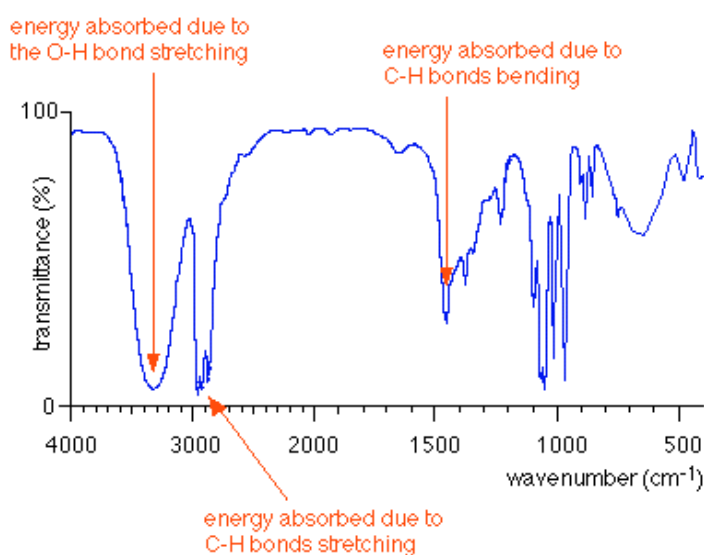
โครงการวิจัยฯ ได้ศึกษาลักษณะการดูดกลืน ส่องผ่าน หรือสะท้อน ของรังสีอินฟราเรดในตัวอย่างพลอยคอร์นดัมจากแหล่งต่าง ๆ ภายใต้ความอนุเคราะห์ของห้องปฏิบัติการฝ่ายวิเคราะห์ทางฟิสิกส์ กองวิเคราะห์ กรมทรัพยากรธรณี โดยใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคป Bruker รุ่น Equinox 55 ที่ใช้ He-Ne Laser เป็นรังสีอ้างอิง (Reference source) และให้กำเนิดรังสี อินฟราเรดเป็น Air cooled source มีระบบตรวจวัดลำรังสี (Detector) เป็น DTS (Deuterated Triglycine Sulfate) และวัดการดูดกลืน ส่องผ่าน หรือสะท้อนแสง ในหน่วยเลขคลื่น (wave number) ตั้งแต่ $370\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ (Mid IR) และ $5000\text{--}14000\text{ cm}^{-1}$ (Near IR) โดยมีความละเอียดต่อหน่วยพื้นที่ (Resolution) 0.5 cm^{-1} ช่วงเลขคลื่นของแร่พลอยคอร์นดัม ที่น่าสนใจคือ ช่วง Mid Infra-red ($400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$) เนื่องจากในช่วงเลขคลื่นนี้จะให้ลักษณะของ การดูดกลืน (Absorption Bands) ที่เห็นได้ชัดเจนบริเวณช่วงเลขคลื่นที่น่าสนใจซึ่งอยู่ในช่วง Mid Infra-red นั้นมีอยู่ 2 ช่วงคือ

- | | | |
|--------------------------|--------------|------------------------------------|
| - Group Frequency Region | ช่วงเลขคลื่น | $1200\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ |
| - Fingerprint Region | ช่วงเลขคลื่น | $700\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ |



รูปที่ 4.22 ลักษณะของการสั่นสะเทือนแบบยืดหยุ่น และแบบโค้งของอะตอมในโครงสร้างโมเลกุล

โดยทั่วไป Infra-red Spectrum ของพอลอยคอร์นดัม จะให้ลักษณะของการ ดูดกลืนแสง (Absorption Feature) ซึ่งวัดได้จากความถี่ของการสั่นสะเทือน (Vibration Frequencies) ของอะตอม ในโมเลกุล ที่เป็นแบบยืดหยุ่น (Stretching) และ แบบโค้ง (Bending) ลักษณะสเปกตรัมที่ได้จากการสั่นแบบยืดหยุ่น จะเห็นได้ชัดเจนกว่าการสั่นแบบโค้ง สำหรับการ สั่นสะเทือน ของอะตอม Al_2O_3 ในช่วง Mid Infra-red นั้นจะมีแถบการดูดกลืนแสง (Absorption Bands) อยู่ในช่วง $2700\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นช่วงของการดูดกลืนของการสั่นแบบยืดหยุ่นของ O-H Bonding และ C-H Bonding สำหรับ ช่วง $1000\text{--}2000\text{ cm}^{-1}$ เป็นช่วงของการดูดกลืน แบบโค้งของ C-H Bonding โดยที่พอลอยคอร์นดัมแต่ละแหล่งจะมีการดูดกลืนแสง มากน้อย ไม่เท่ากัน รวมทั้งมีลักษณะของการดูดกลืนแสงหรือเรียกง่าย ๆ ว่า สเปกตรัมเฉพาะตัว (Characteristic Spectrum) แตกต่างกัน หรือคล้ายคลึงกัน บ้างเล็กน้อย



รูปที่ 4.23 ตัวอย่างลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนของการสั่นแบบยืด (Stretching) และแบบโค้ง (Bending)

Group	Frequency region
OH Stretching Vibration	
Free OH	3610-3645 (sharp)
Intramolecular H bonds	3450-3600 (sharp)
Intermolecular H bonds	3200-3550 (board)
CH Stretching Vibration	
=C-H	3280-3340
=C-H	3000-3100
C-CH ₃	2862-2882, 2652-2972

ตารางที่ 4.9 แสดงลักษณะของช่วงความถี่ของการดูดกลืนของกลุ่ม O-H และ C-H

ความสำคัญของสเปกตรัมอินฟราเรดในการใช้เป็นตัวช่วยจัดแบ่งแหล่งกำเนิด

โดยทั่วไปแล้วพลอยคอร์นดัมซึ่งมีส่วนประกอบเป็น Al_2O_3 มักจะแสดงสเปกตรัมของการดูดกลืนของ Al และ O stretching ในช่วง 450 602 642 และ 760 cm^{-1} แต่เนื่องจากสเปกตรัมเหล่านี้จะเห็นได้เด่นชัดก็ต่อเมื่อทำการวิเคราะห์แบบทำลายตัวอย่าง ดังนั้นการศึกษาตัวอย่างพลอยคอร์นดัมในที่นี้จึงมุ่งความสนใจไปที่ลักษณะของกลุ่ม OH ในช่วงระหว่าง 3000-4000 cm^{-1} โดยมีลักษณะดังนี้คือ

1. หับทิมจากแหล่ง basaltic origin ไม่แสดงลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนของ OH ในช่วง 3000-3500 cm^{-1}
2. หับทิมจากแหล่ง Metamorphic origin แสดงลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนของ OH ที่ 3310 cm^{-1}
3. ไฟลีน บุษราคัม แซปไฟร์สีเขียว จากแหล่ง Basaltic origin ไม่แสดงลักษณะการดูดกลืนของ OH
4. ไฟลีน บุษราคัม แซปไฟร์สีเขียว จากแหล่ง Metamorphic origin แสดงลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนของสเปกตรัม OH ที่ 3185 3233 3310 3368 cm^{-1} และ 3311 3437 3501 3544 3564 3626 cm^{-1} และ 3527 3622 cm^{-1}
5. ลักษณะเด่นของสเปกตรัมอินฟราเรดในหับทิมจากแหล่งมอญู นั้นคือ มักจะปรากฏสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของกลุ่ม OH ในช่วง 3500-3700 ที่ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากหับทิมจาก

แหล่งนี้ มักจะมีมัลทินแรไดอะสปอร์อยู่ ซึ่งเป็นแร่ที่มีกลุ่มของ OH อยู่ในโครงสร้างส่วนประกอบทางเคมี (AlO-OH) ลักษณะการดูดกลืนแสงเช่นนี้สามารถนำมาใช้เป็นตัวช่วย บ่งชี้แหล่งกำเนิดได้

มีข้อสังเกตบางประการเกี่ยวกับลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่เกิดจาก O-H stretching ที่ตำแหน่ง 3183 3232 3309 wave number นั้น จะเห็นได้ชัดเจนขึ้นในพลอยคอร์ันดัมบางแหล่ง ที่ผ่านการเพิ่มคุณภาพด้วยความร้อน

6. รูปร่างของสเปกตรัมจากแต่ละแหล่งกำเนิดมีความคล้ายกัน แต่อย่างไรก็ตาม สามารถนำมาใช้เป็นตัวช่วยบ่งชี้แหล่งกำเนิดได้โดยเฉพาะ ในรูปร่างของสเปกตรัมที่ได้จาก ผลการศึกษา ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของแหล่งในจำนวนที่ค่อนข้างมาก ตามรายงานที่กล่าวมาแล้วในปีที่ 1 ของการวิจัย

7. สเปกตรัมการดูดกลืนของพลอยคอร์ันดัมจากแหล่งที่ทำการศึกษาในระยะปีที่ 3 มีลักษณะเด่นดังนี้

7.1 แหล่งแพร่ มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเด่นชัดที่ 3185 3234 3310 ซึ่งเป็น O-H stretching สำหรับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ 2347 และ 2371 นั้นเป็น สเปกตรัมของ คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ที่วัดได้ในระหว่างการตรวจสอบ (รูปที่ 4.24)

7.2 แหล่งโมกก ประเทศพม่า มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ 3622 3697 ซึ่งเป็น O-H stretching vibration สำหรับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ 2361 เป็นสเปกตรัมของ คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ที่วัดได้ในระหว่างการตรวจสอบ (รูปที่ 4.25)

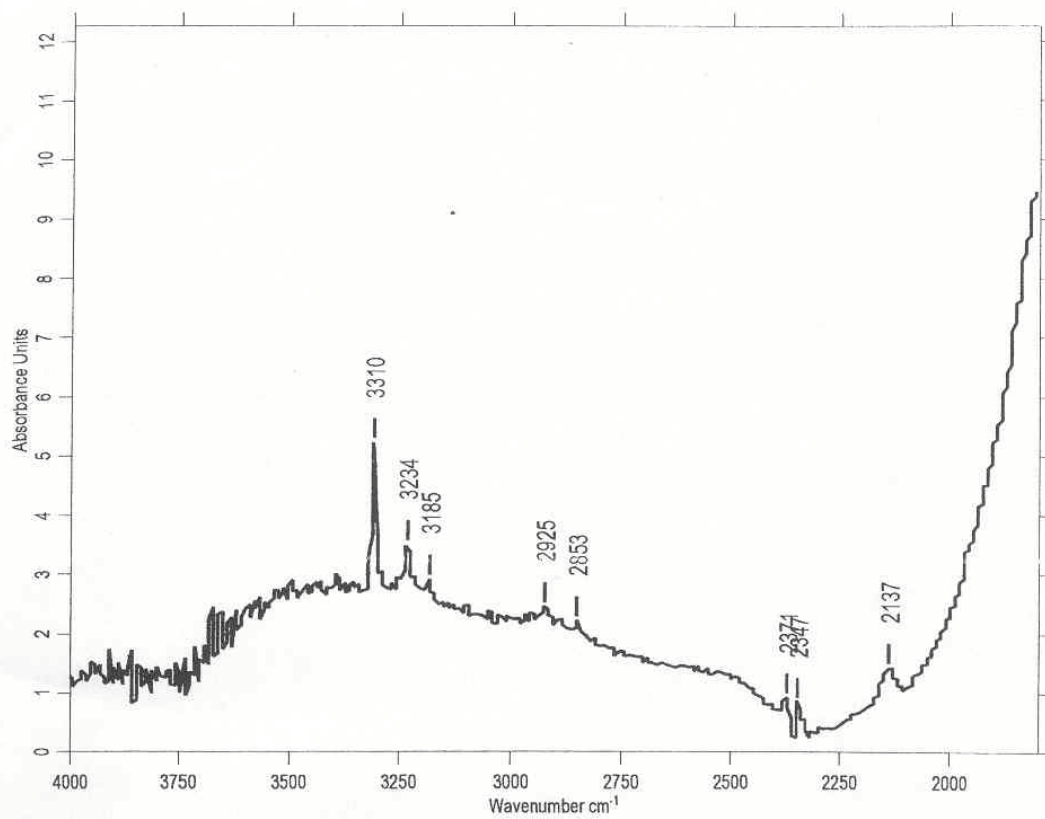
7.3 แหล่งอุมบา ประเทศแทนซาเนีย มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ 3621 3650 3693 และ 3311 ซึ่งเป็น O-H stretching vibration สำหรับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ 2337 2364 เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในระหว่างการทดลอง (รูปที่ 4.26)

7.4 แหล่งอิลากากา ประเทศมาดากัสการ์ มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ 3310 ส่วน การดูดกลืนแสงที่ 2341 2361 เป็นสเปกตรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ใน บรรยากาศ ที่วัดได้ในระหว่างการตรวจสอบวัดการดูดกลืนแสง (รูปที่ 4.27)

7.5 แหล่งเดียโก แอนทซีรานานา ประเทศมาดากัสการ์ มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ 3184 3236 3313 การดูดกลืนแสงที่ 2331 2365 เป็นสเปกตรัมของคาร์บอน ไดออกไซด์ในบรรยากาศ ที่วัดได้ในระหว่างการตรวจสอบการดูดกลืนแสง (รูปที่ 4.28)

7.6 แหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์ มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่เป็นช่วงกว้างที่ 3088 3306 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ 2340 2365 เป็นสเปกตรัมของ คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ที่วัดได้ในระหว่างการตรวจสอบ (รูปที่ 4.29)

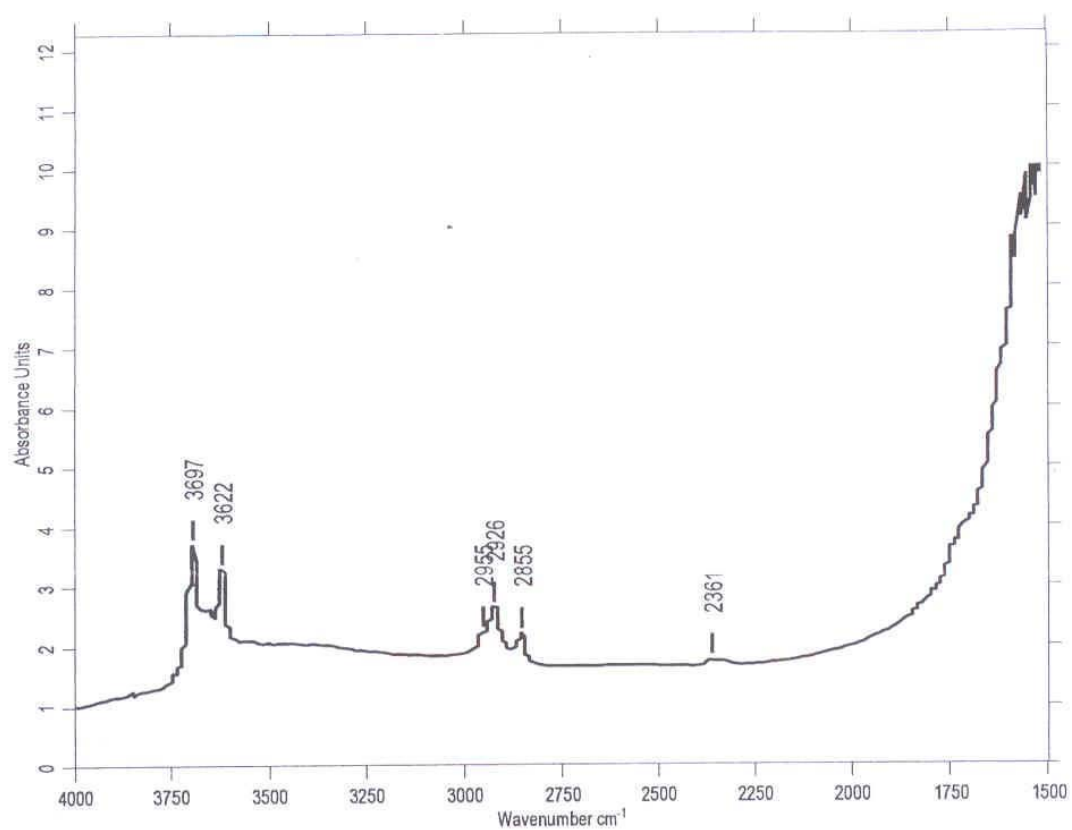
7.7 แหล่งแอนดิลามีนา ประเทศมาดากัสการ์ ทั้งพลอยที่ไม่ผ่านการเผาและเผา ไม่แสดง การดูดกลืนแสงในช่วง $3000-4000\text{ cm}^{-1}$ มีการดูดกลืนที่ 2855 2923 2955 ซึ่งเป็น C-H Stretching vibration สำหรับการดูดกลืนแสงที่ 2344 และ 2364 เป็น สเปกตรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่วัดได้ (รูปที่ 4.30-4.31)



Locality: Phrae

Blue sapphire Oval cut 0.897 Cts.

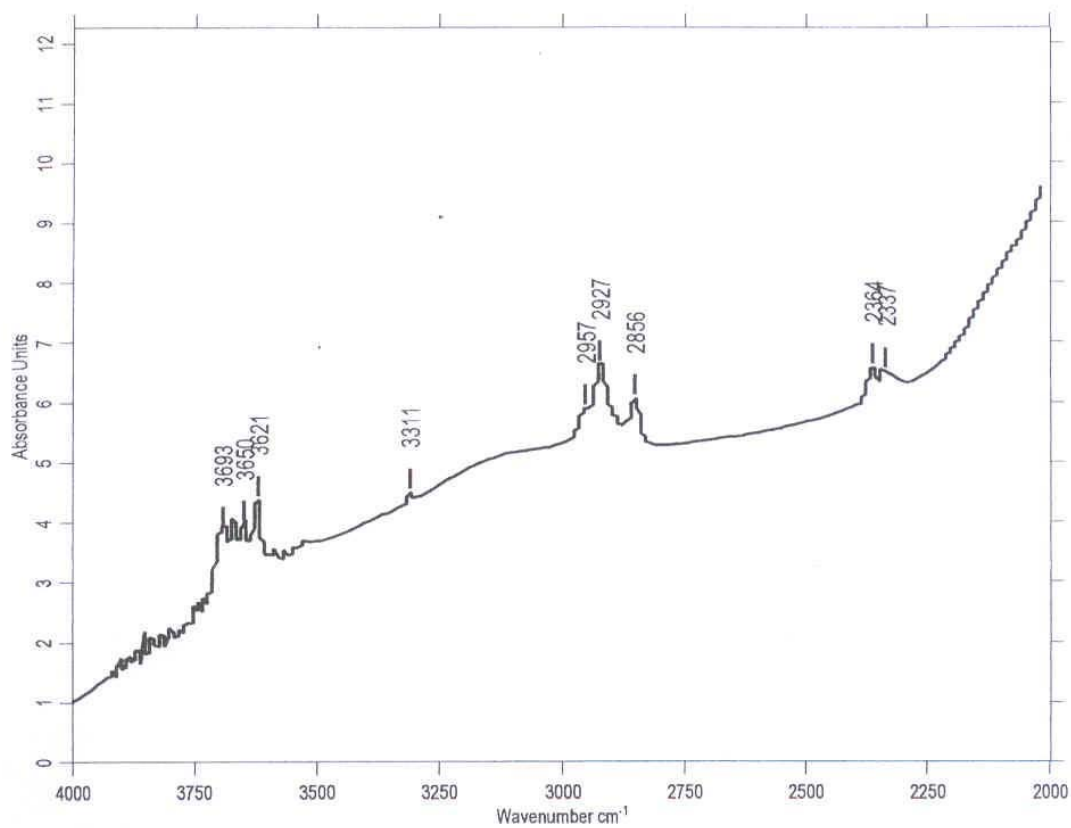
รูปที่ 4.24 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลินจากแหล่งแพร่



Locality: Mogok Myanmar

Ruby Oval cabochon 1.142 Cts.

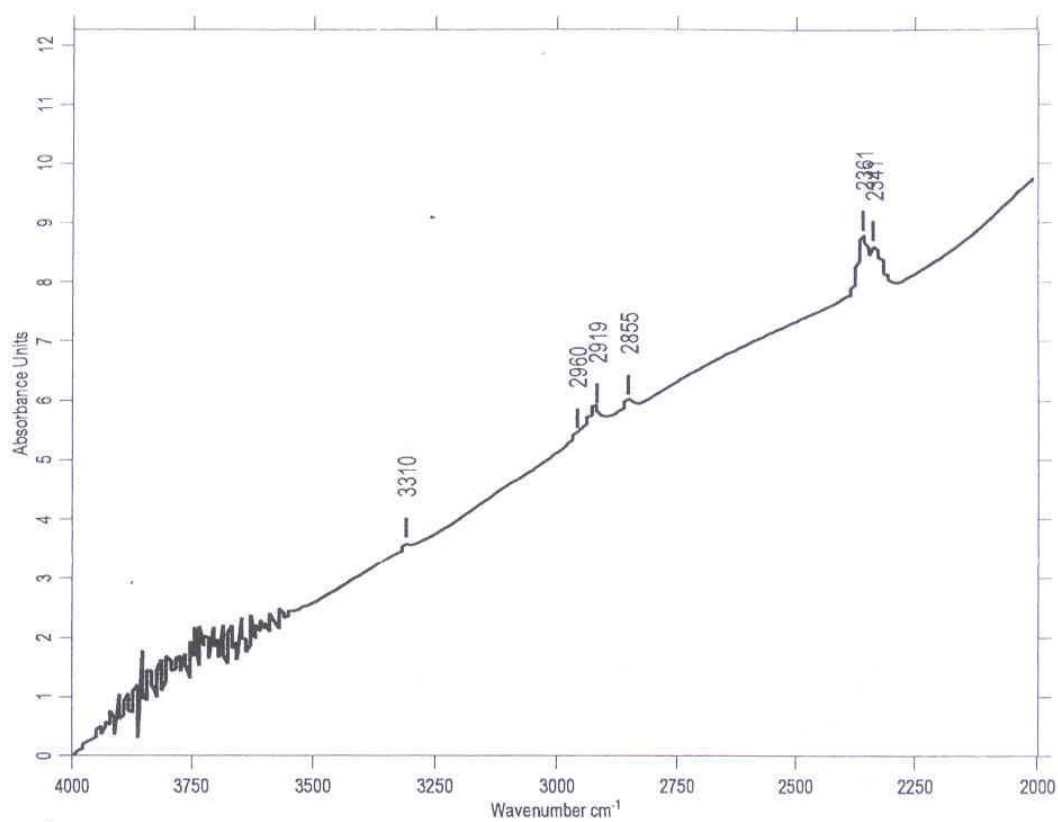
รูปที่ 4.25 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม จากแหล่งโมกก



Locality: Umba Tanzania

Blue sapphire Rough polish flat 14.85 Cts.

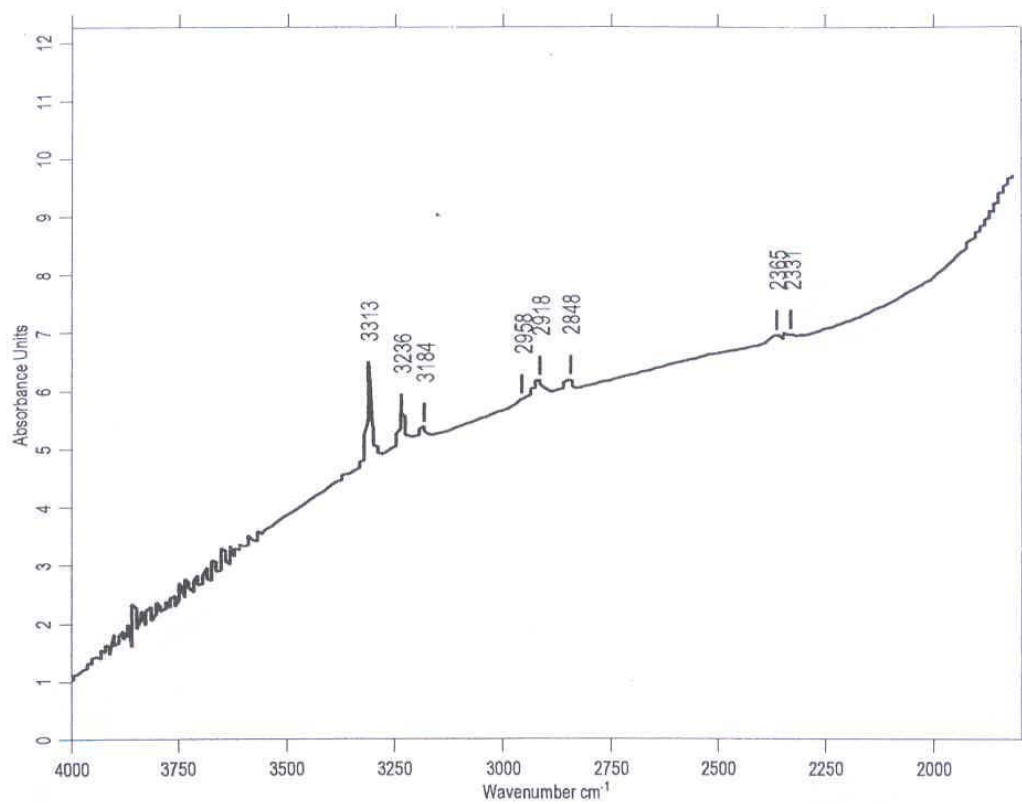
รูปที่ 4.26 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน จากแหล่งอุ้มบา ประเทศแทนซาเนีย



Locality : Ilakaka Madagascar

Blue sapphire Rough polish flat 4.054 Cts.

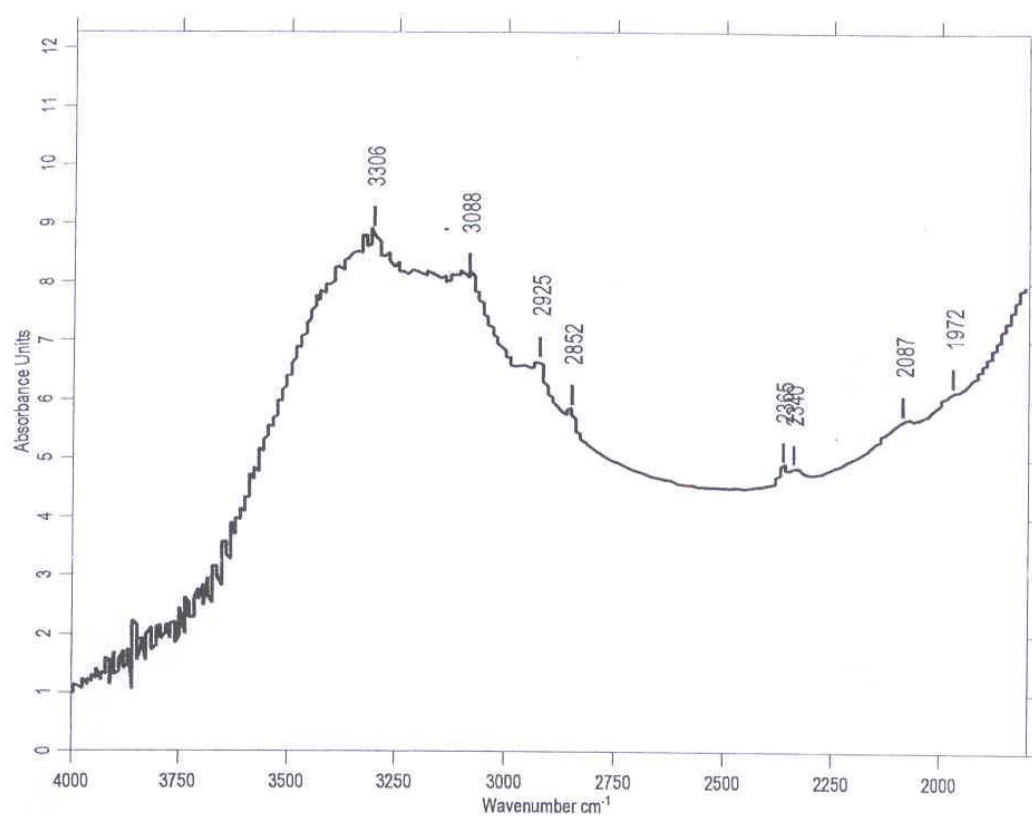
รูปที่ 4.27 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน จากแหล่งอิลากากา ประเทศมาดากัสการ์



Locality: Diego Madagascar

Blue sapphire Rough polish flat 0.3095 Cts.

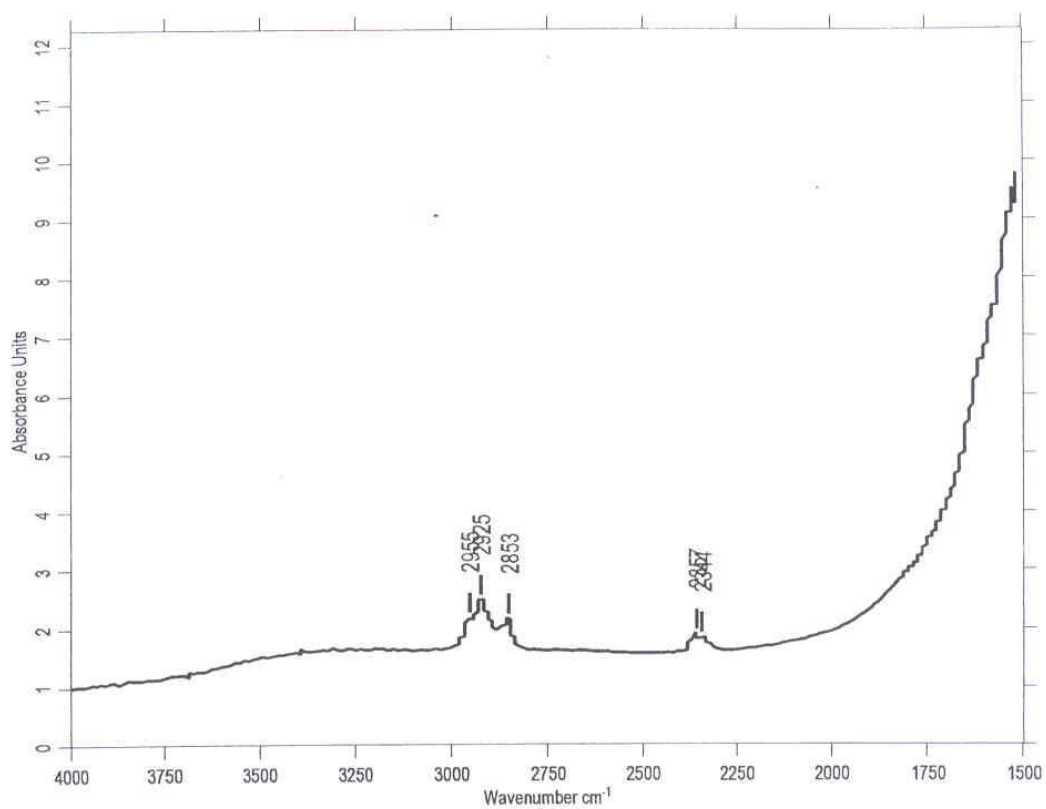
รูปที่ 4.28 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน จากแหล่งเตี้ยโก
แอนท์ซิวานานา ประเทศมาดากัสการ์



Locality: Tamatave Madagascar

Ruby Rough crystal 1.2735 Cts.

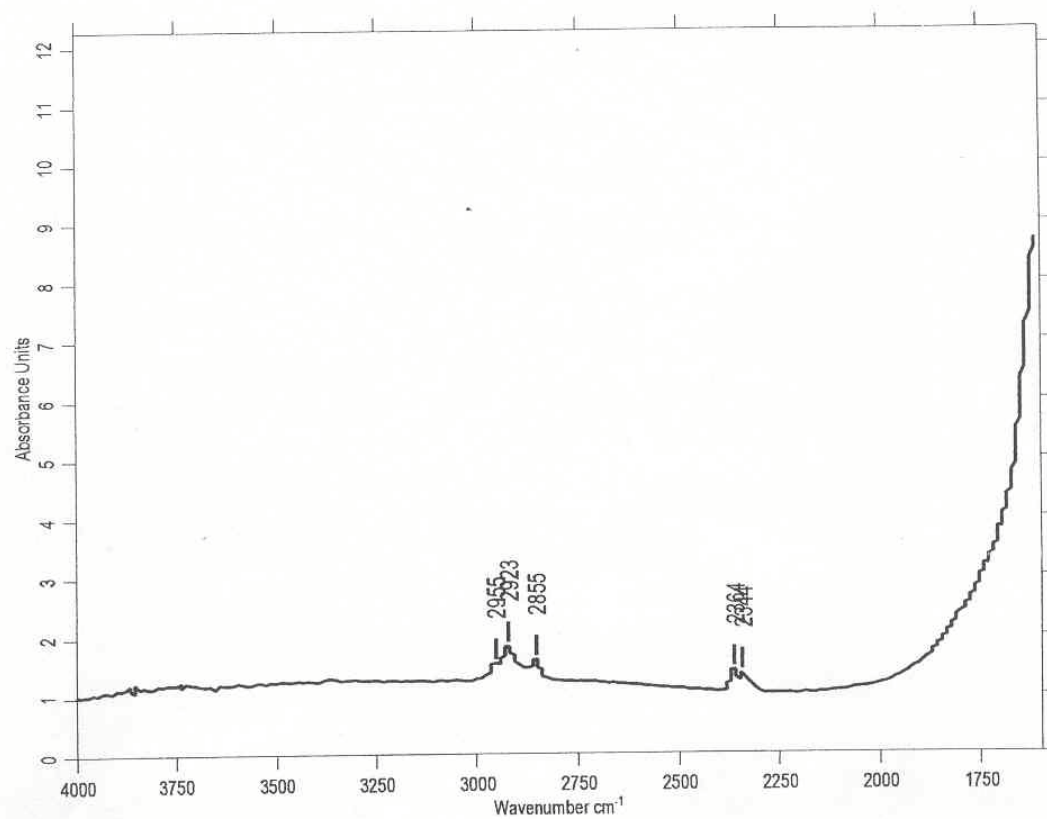
รูปที่ 4.29 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม จากแหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์



Locality: Andilamena Madagascar

Ruby (Unheat) Rough crystal 2.8365 Cts.

รูปที่ 4.30 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม จากแหล่งแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์



Locality: Andilamena Madagascar

Ruby (Heat) Rough crystal 1.7725 Cts.

รูปที่ 4.31 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมที่ผ่านการเผาจากแหล่งแอนดิลามีนมา ประเทศมาดากัสการ์

4.4 มลทินผลึกแร่ในพลอยคอร์นดัมจากแหล่งต่าง ๆ วิเคราะห์โดยเครื่อง
Laser Raman spectrometer

รามานสเปกตรัมของผลการวิเคราะห์มลทินผลึกแร่
ที่พบในพลอยคอร์นดัมจากแหล่งต่าง ๆ
ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.32-4.54

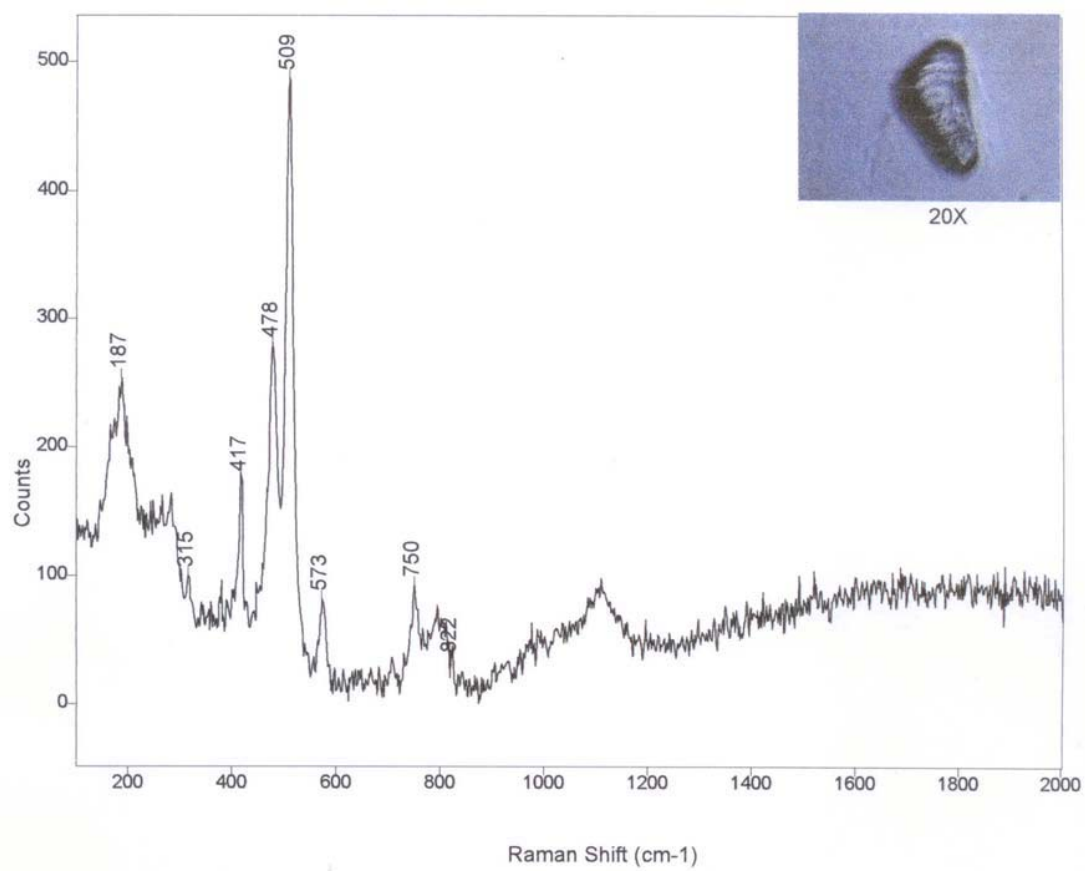


Figure 4.32 Locality : Phrae

Inclusion: Feldspar

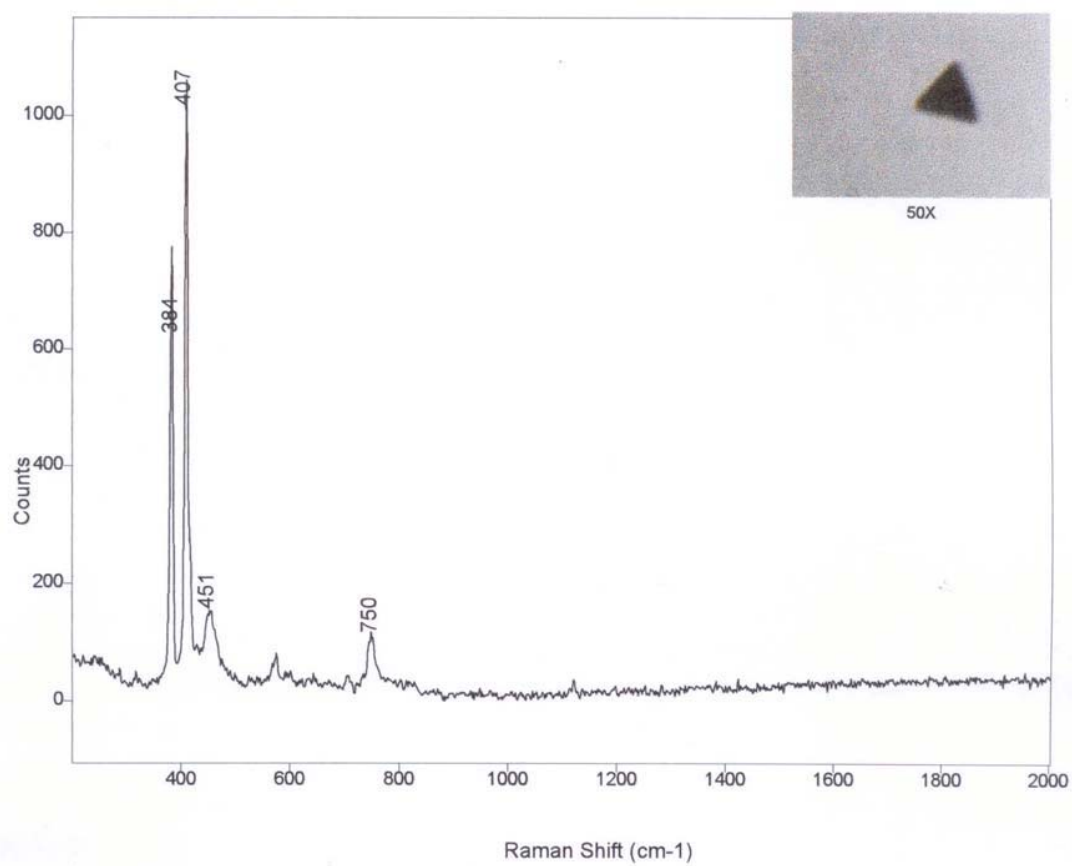


Figure 4.33 Locality : Phrae

Inclusion: Molybdenite

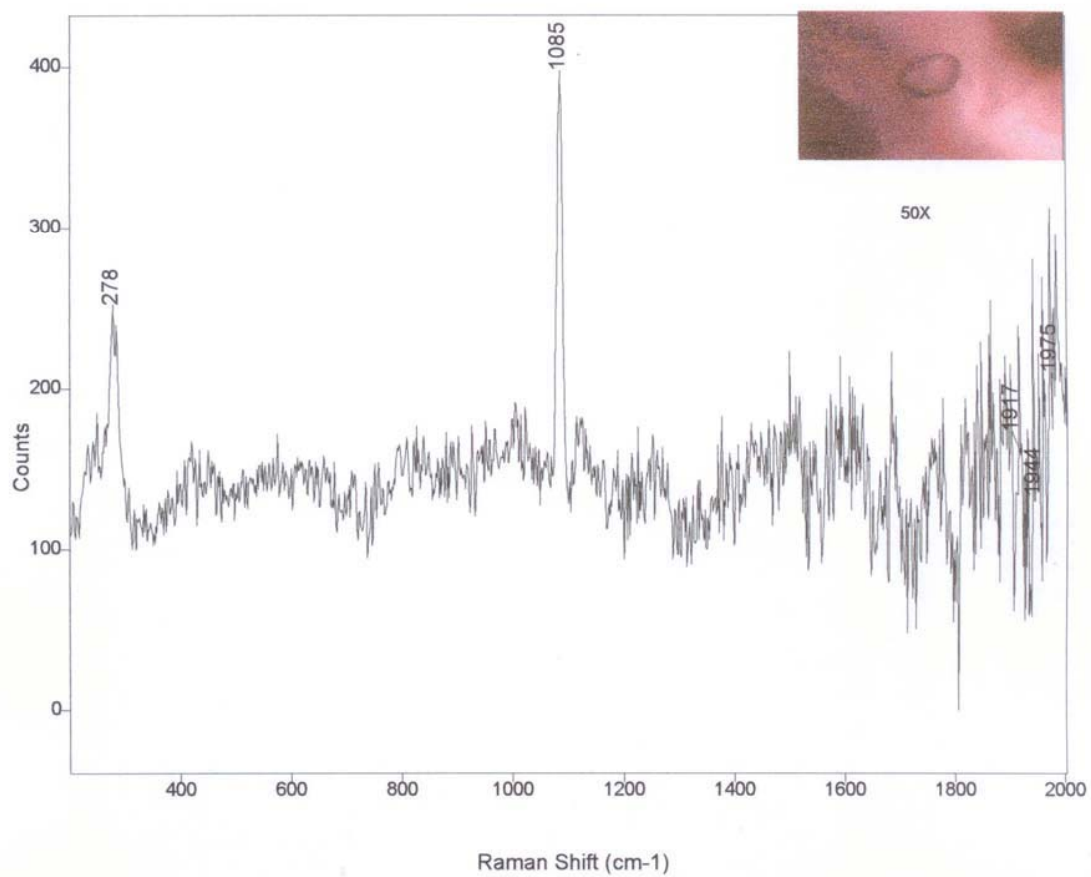


Figure 4.34 Locality : Mogok, Myanmar. Inclusion : Calcite

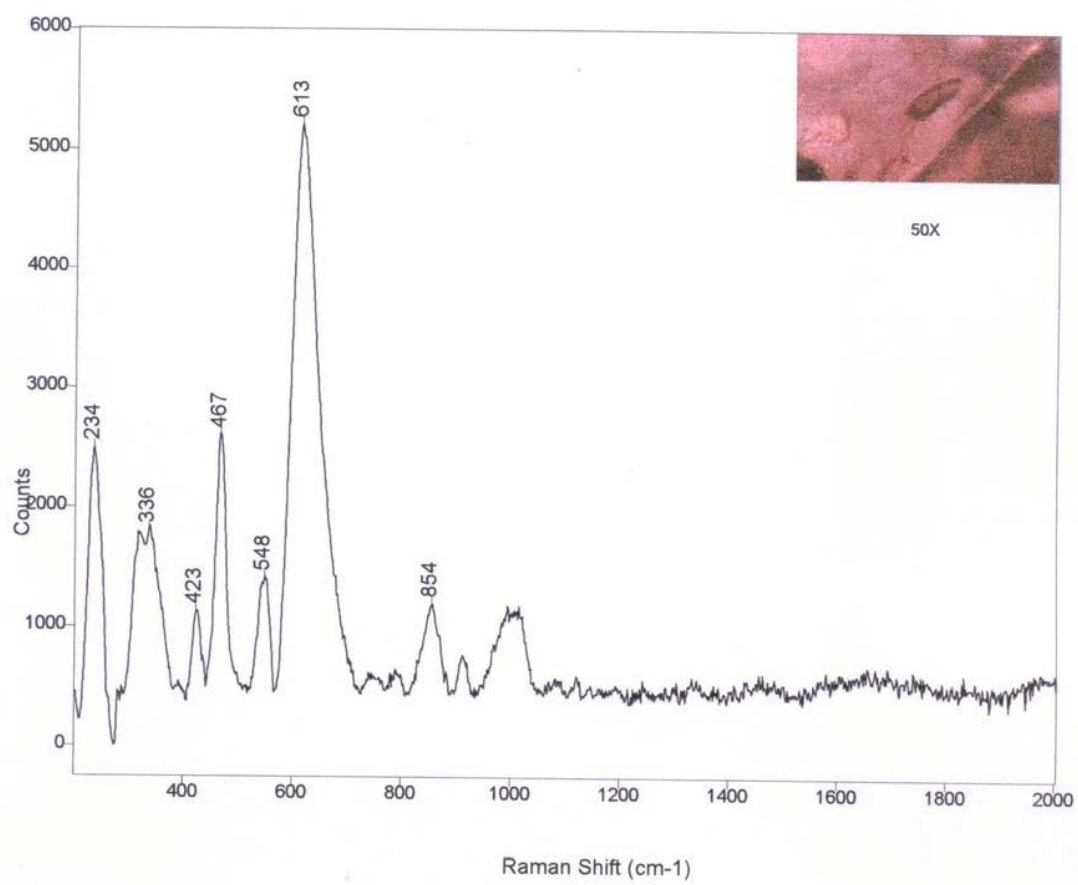


Figure 4.35 Locality : Mogok, Myanmar.

Inclusion : Sphene

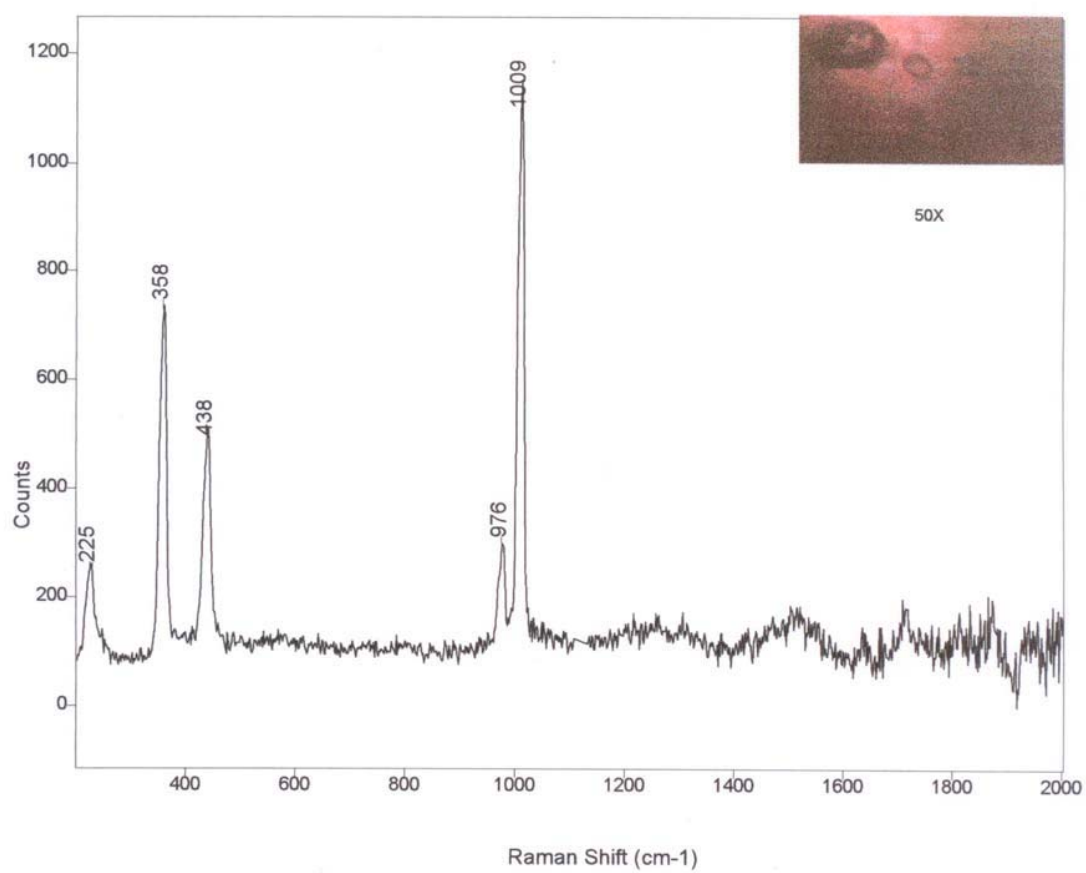


Figure 4.36 Locality : Mogok, Myanmar. Inclusion : Zircon

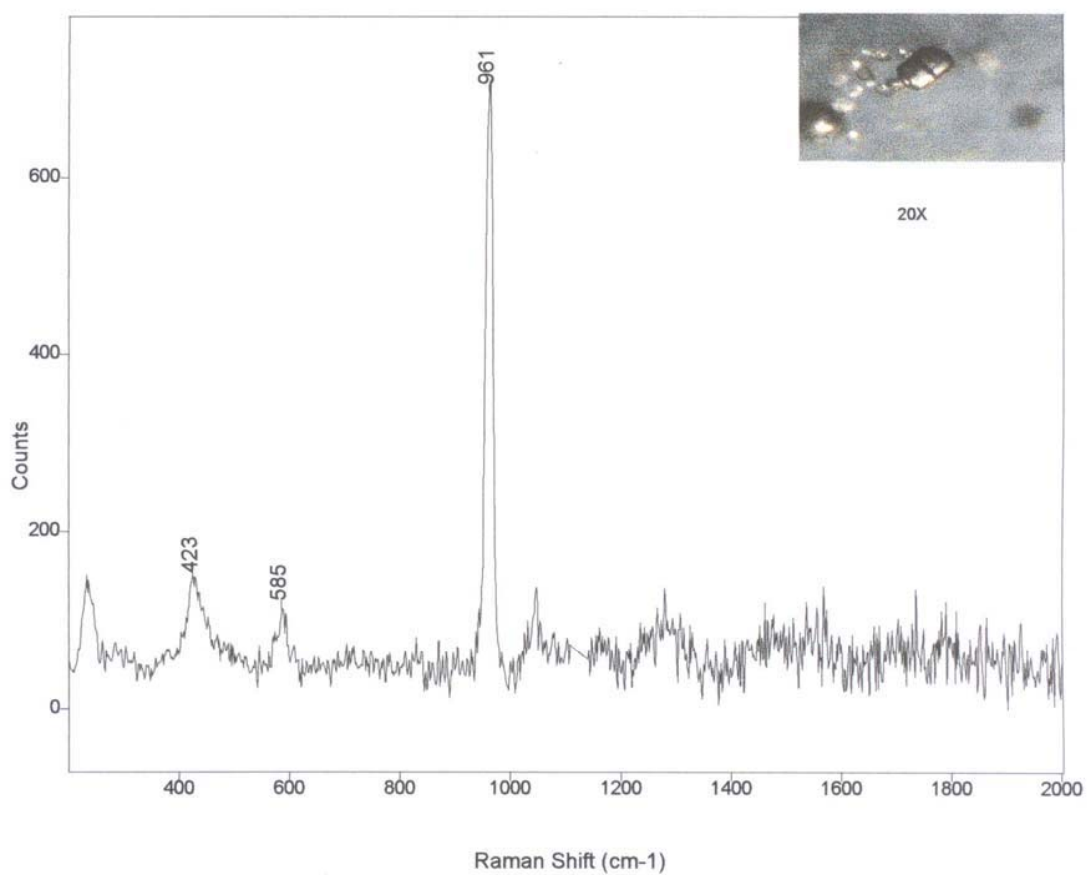


Figure 4.37 Locality : Umba, Tanzania. Inclusion : Apatite

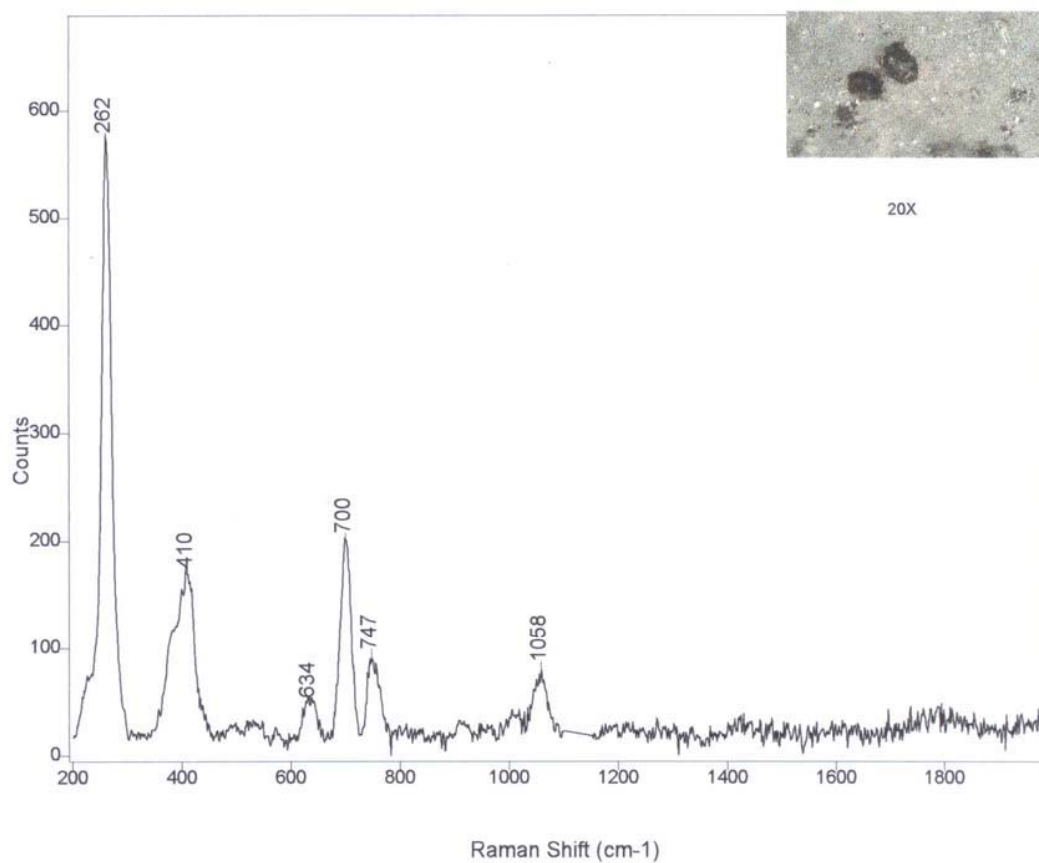


Figure 4.38 Locality : Umba, Tanzania. Inclusion : Mica

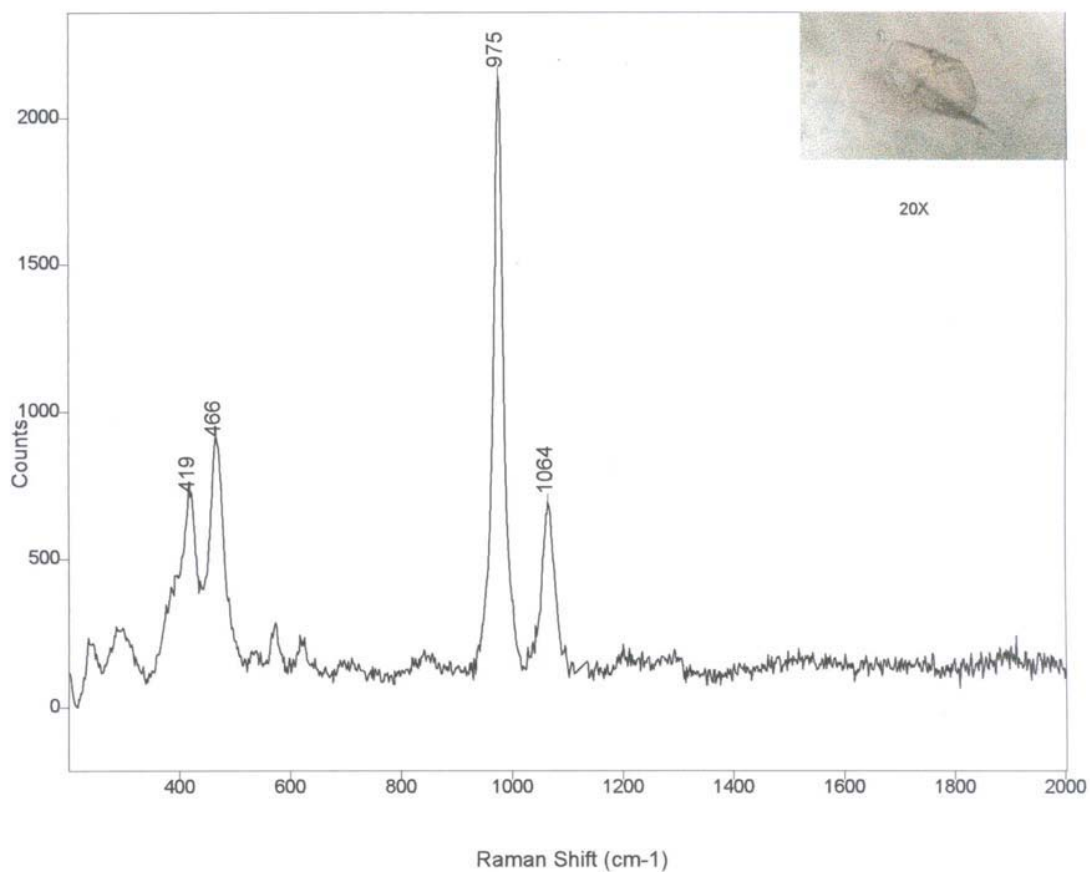
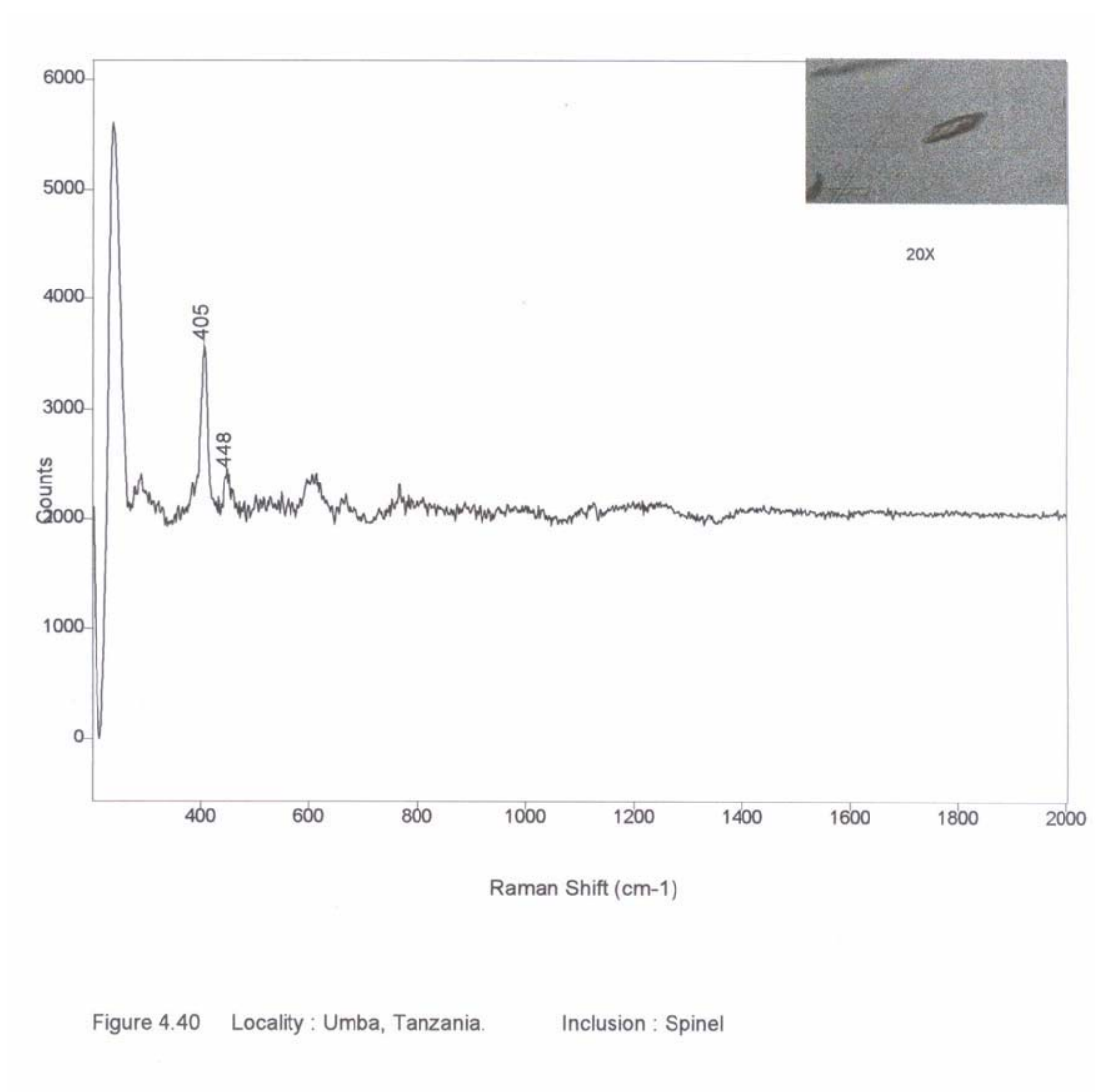


Figure 4.39 Locality : Umba, Tanzania. Inclusion : Monazite



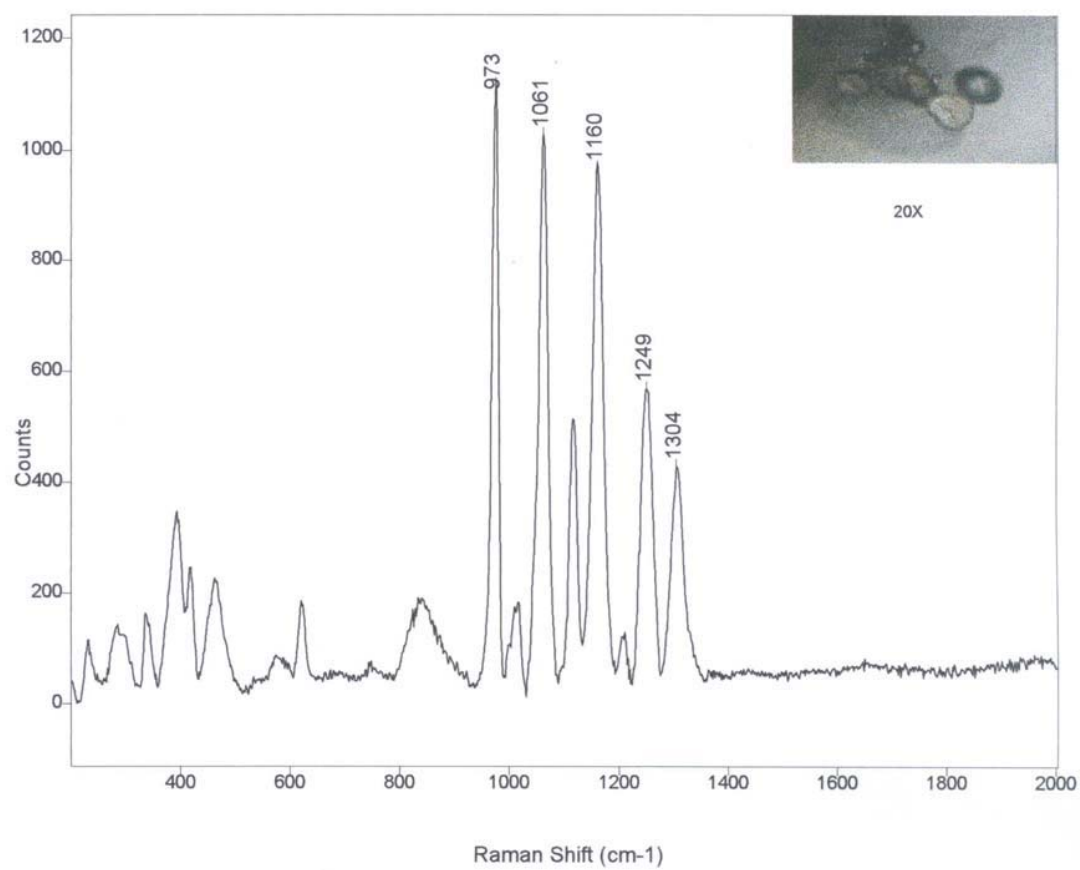


Figure 4.41 Locality : Umba, Tanzania.

Inclusion : Xenotime

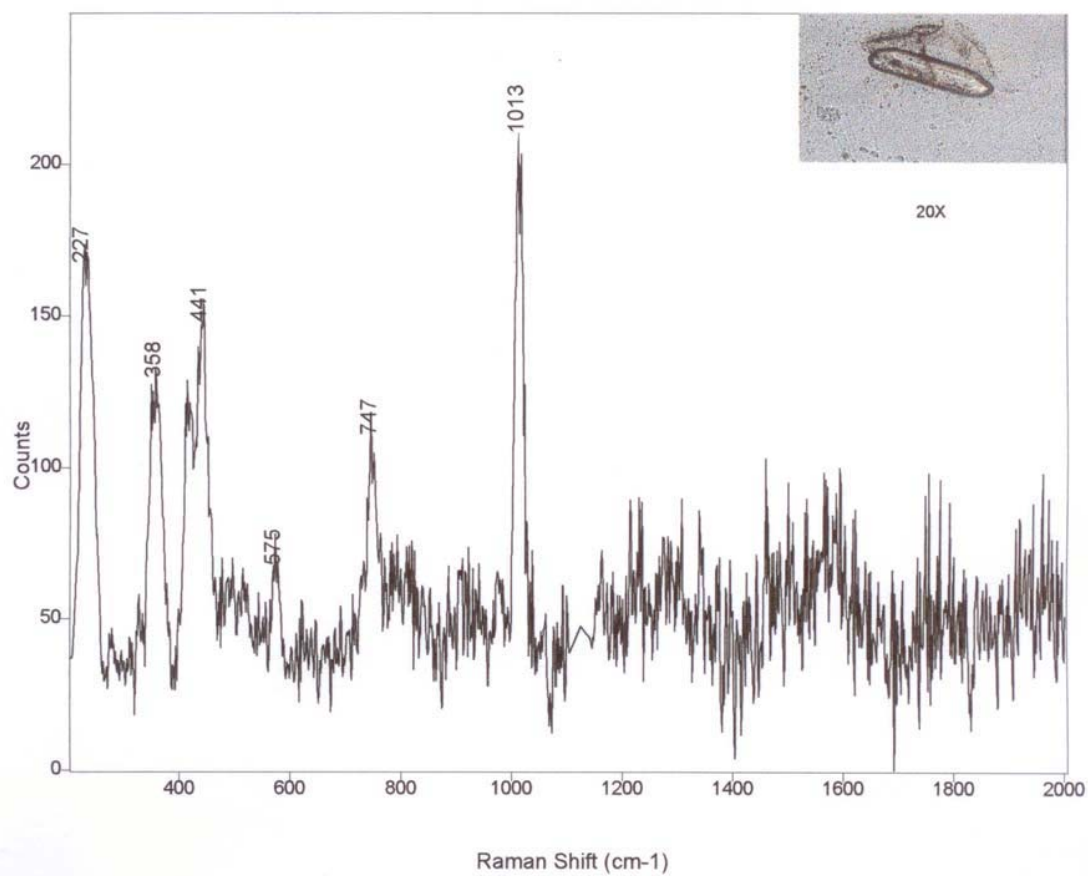


Figure 4.42 Locality : Umba, Tanzania.

Inclusion : Zircon

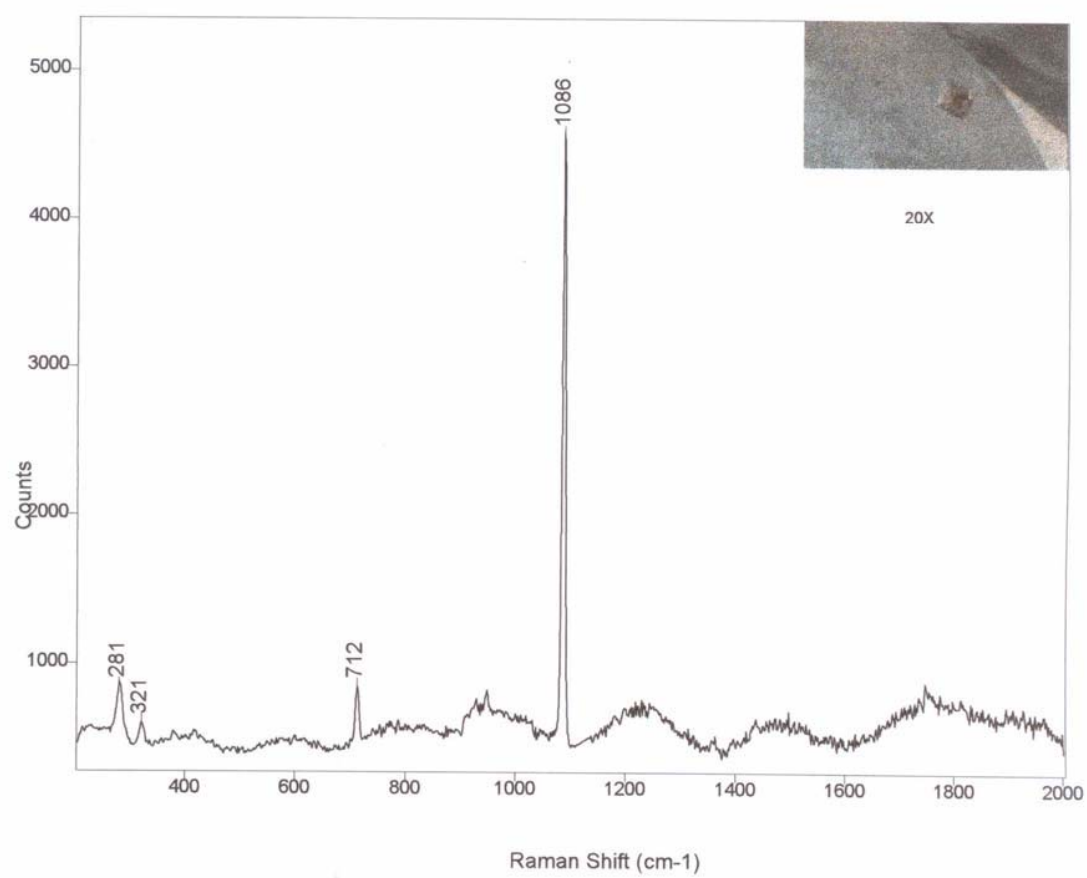


Figure 4.43 Locality : Ilakaka, Madagascar. Inclusion : Calcite

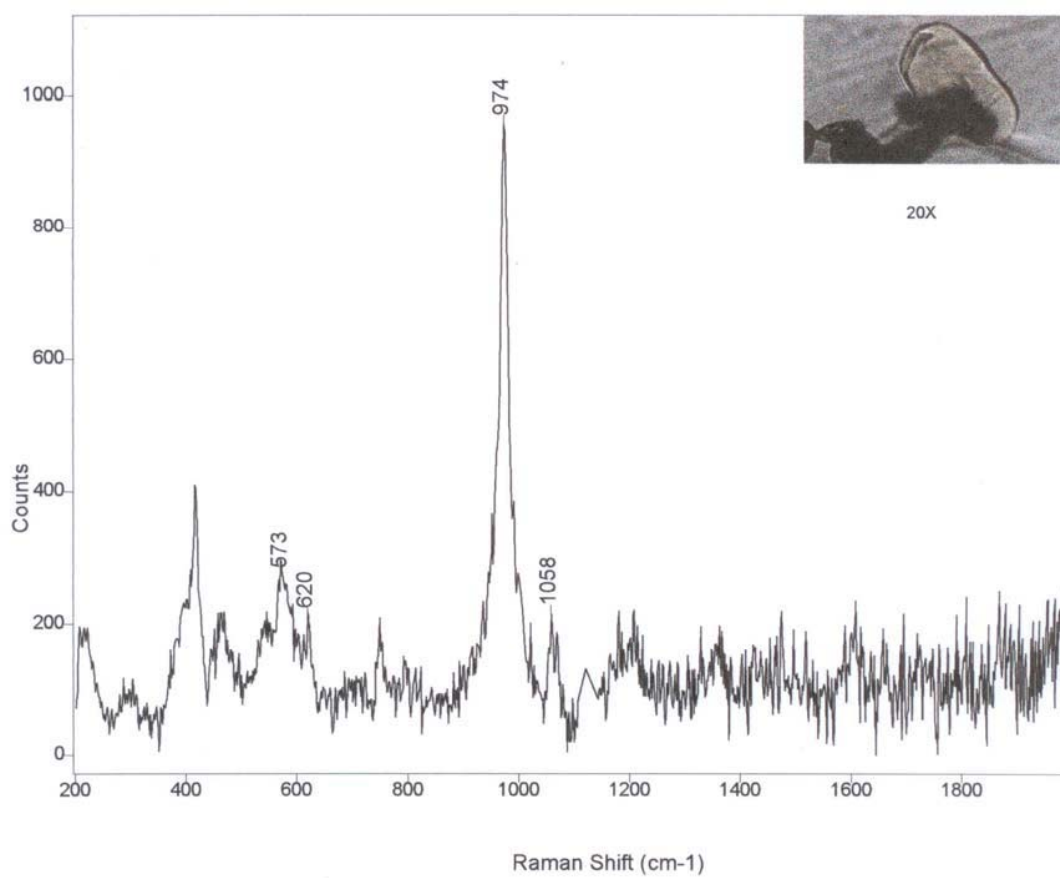


Figure 4.44 Locality : Ilakaka, Madagascar. Inclusion : Monazite

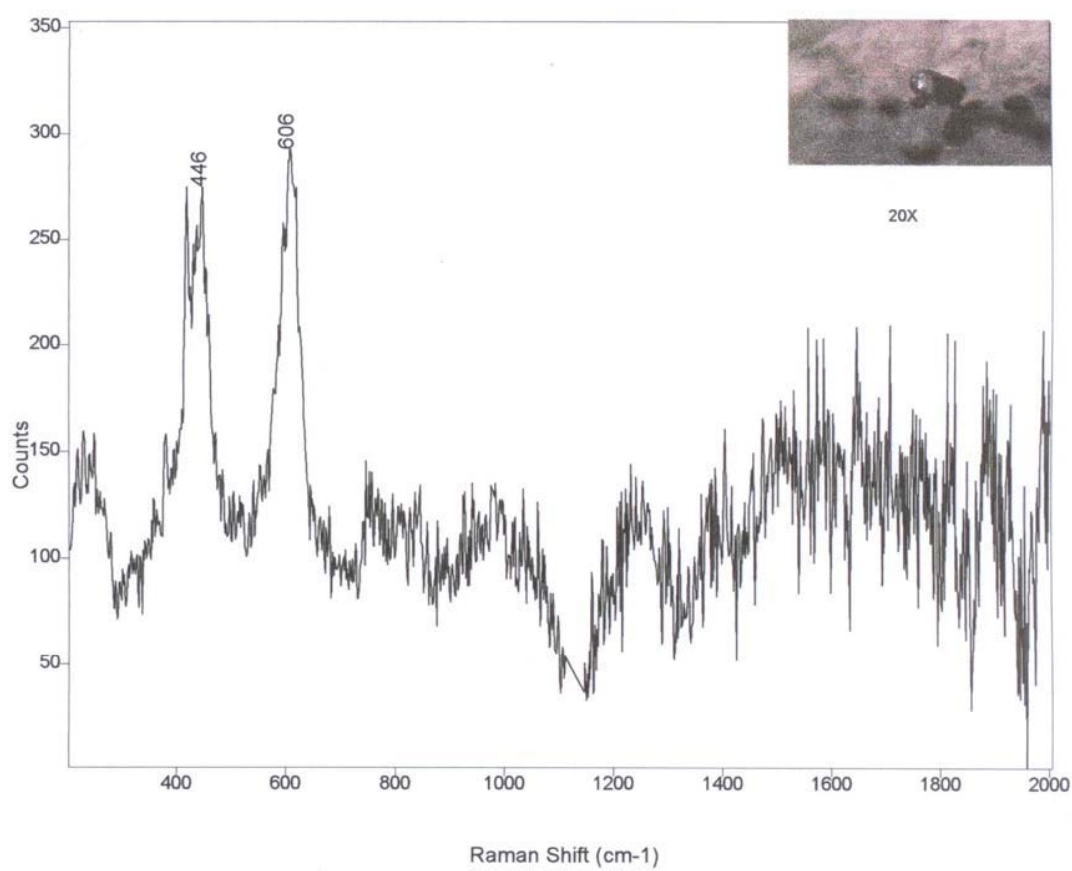


Figure 4.45 Locality : Ilakaka, Madagascar.

Inclusion: Rutile

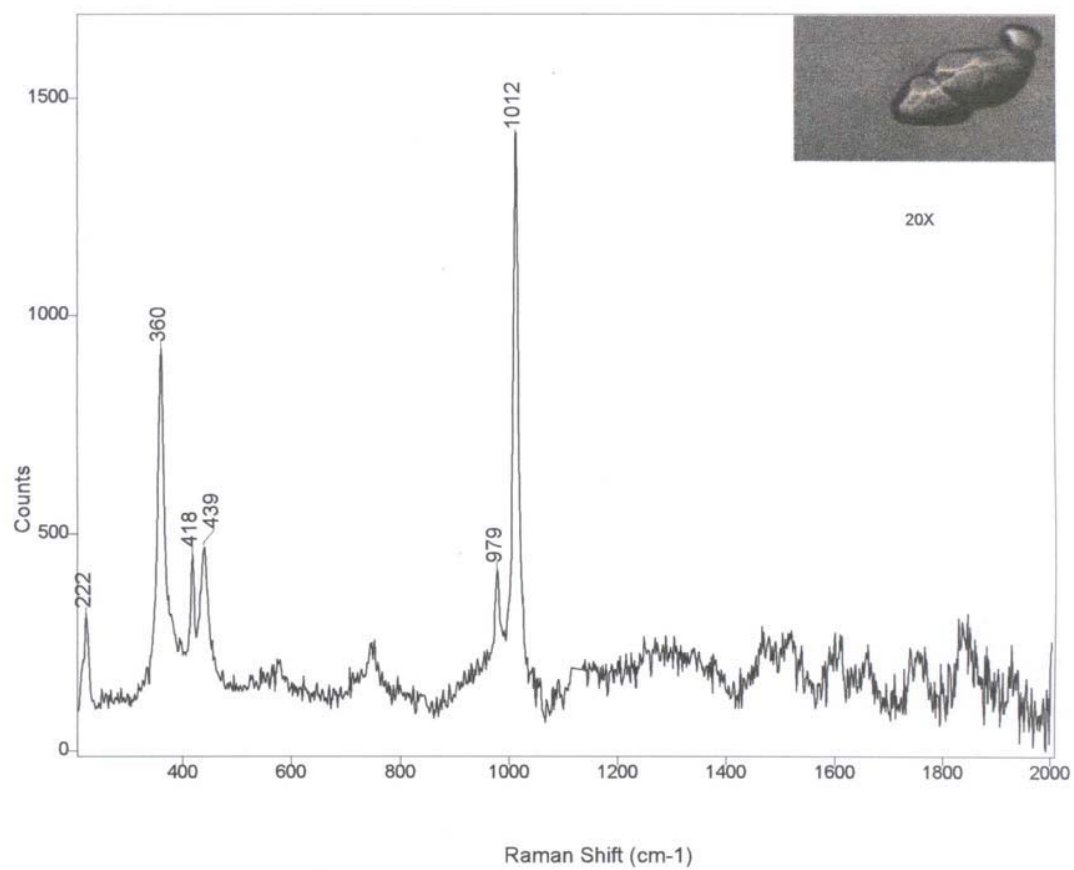


Figure 4.46 Locality : Ilakaka, Madagascar.

Inclusion: Cluster of Zircon

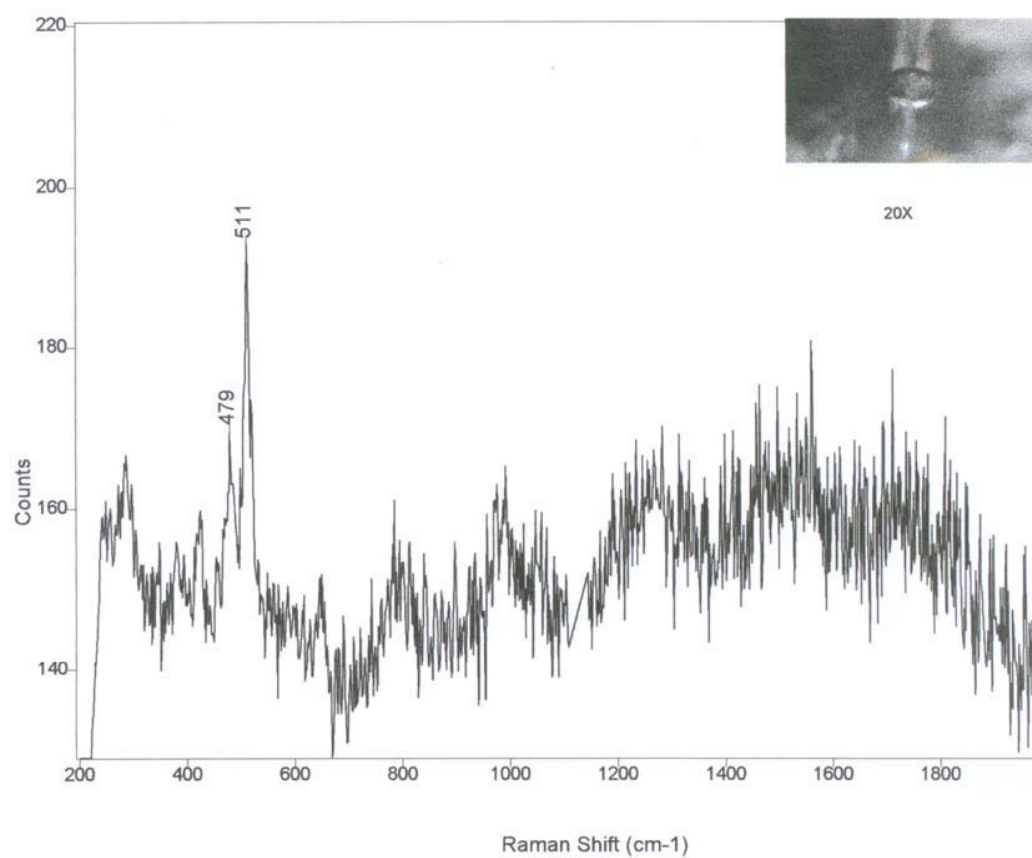


Figure 4.47 Locality :Antsiranana,Madagascar.

Inclusion : Feldspar

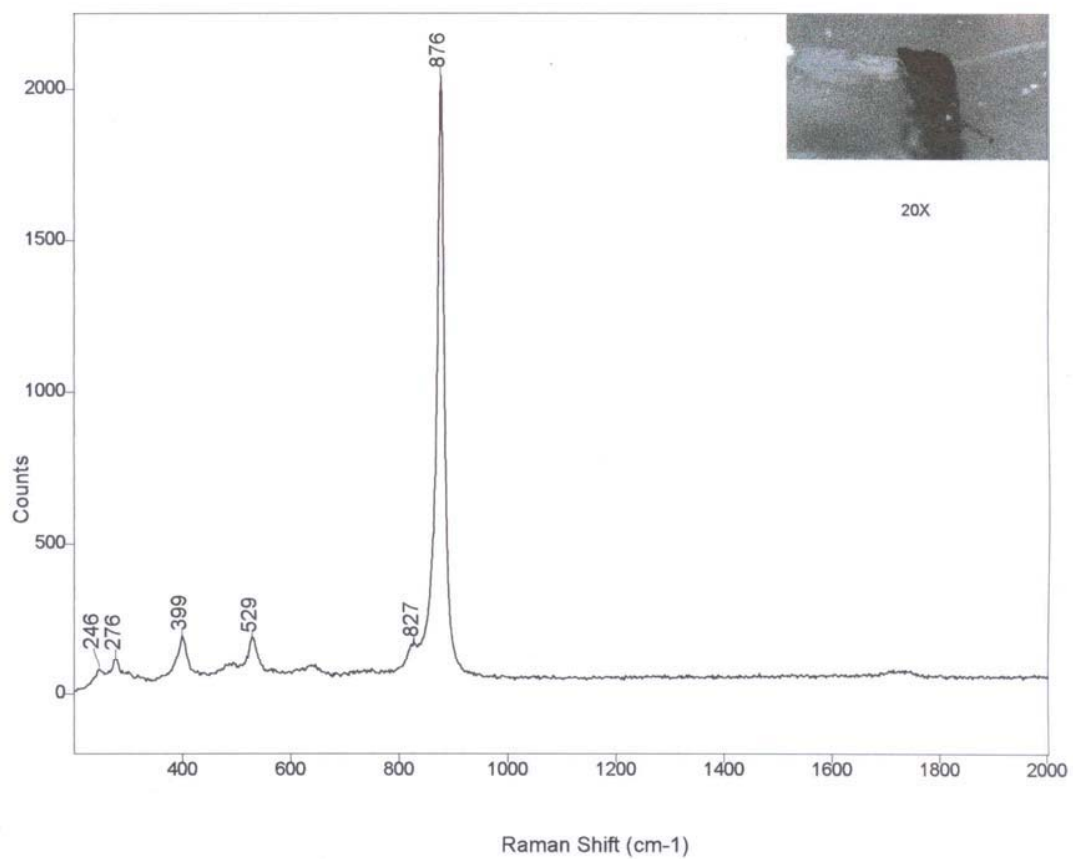


Figure 4.48 Locality :Antsiranana,Madagascar.

Inclusion : Ferrocolumbite

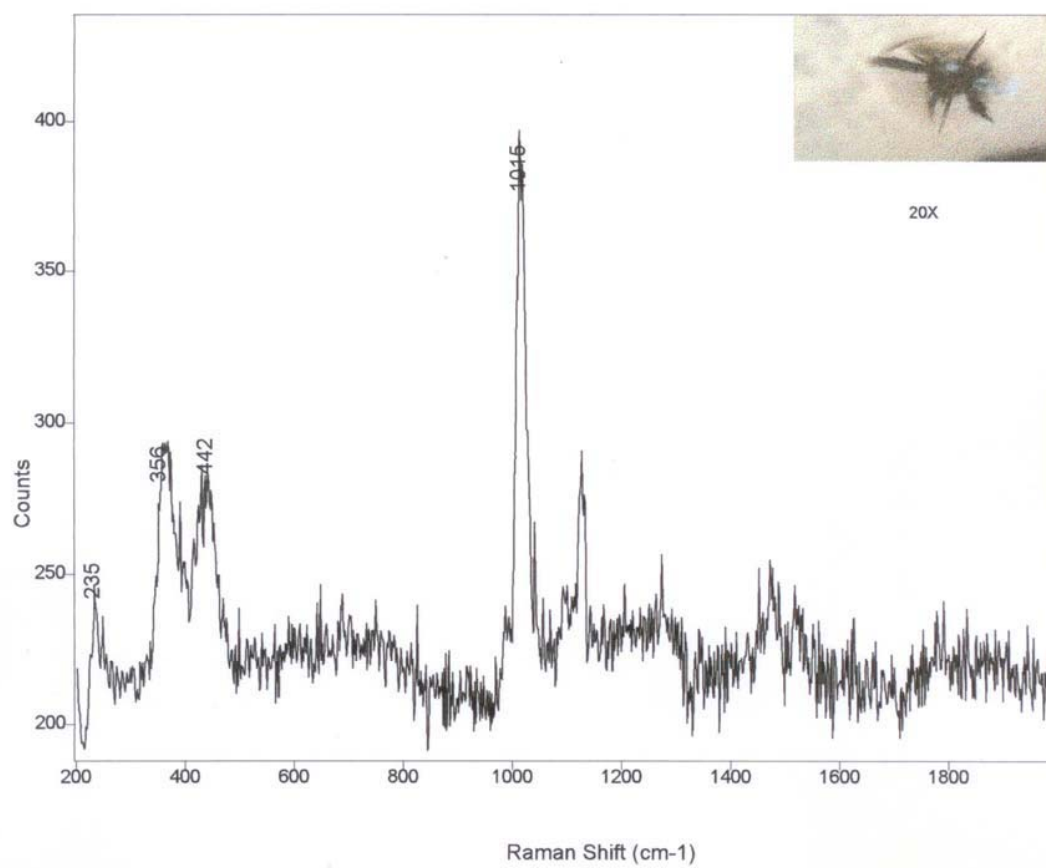


Figure 4.49 Locality : Antsiranana, Madagascar.

Inclusion : Zircon

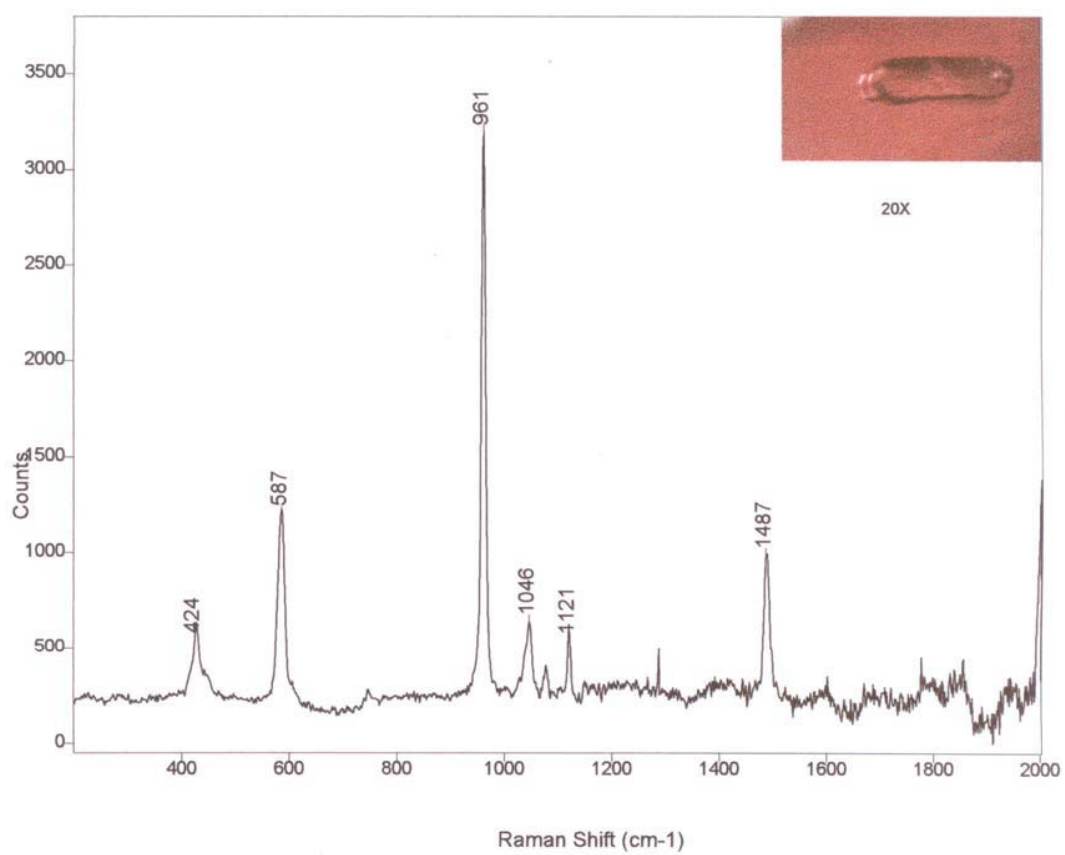


Figure 4.50 Locality : Tamatave, Madagascar. Inclusion : Apatite

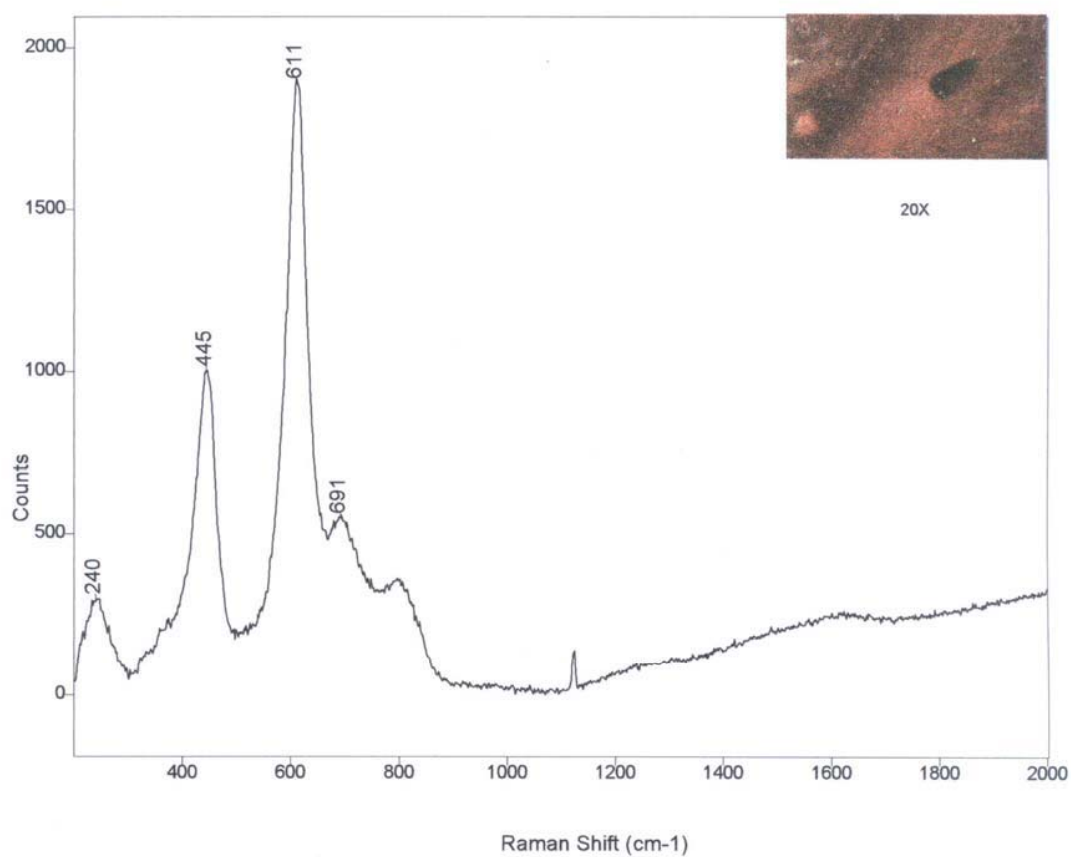


Figure 4.51 Locality : Tamatave, Madagascar. Inclusion : Rutile

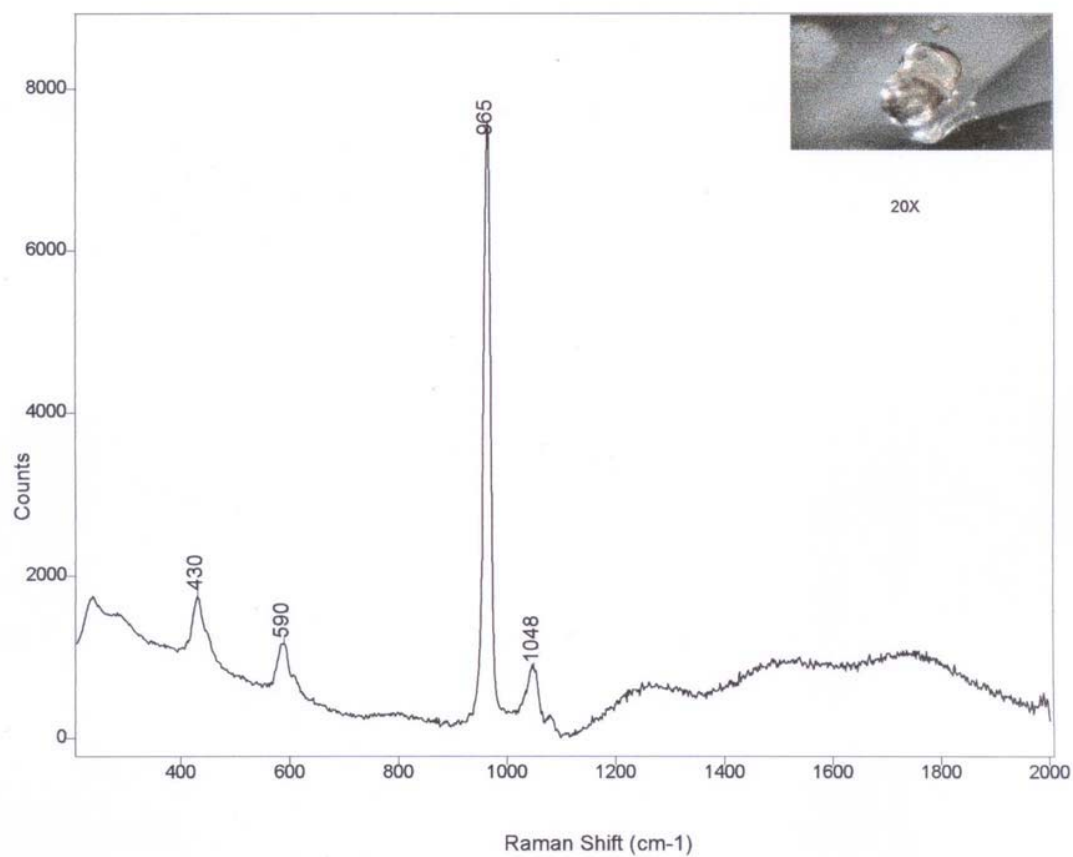


Figure 4.52 Locality : Andilamena , Madagascar.

Inclusion : Apatite

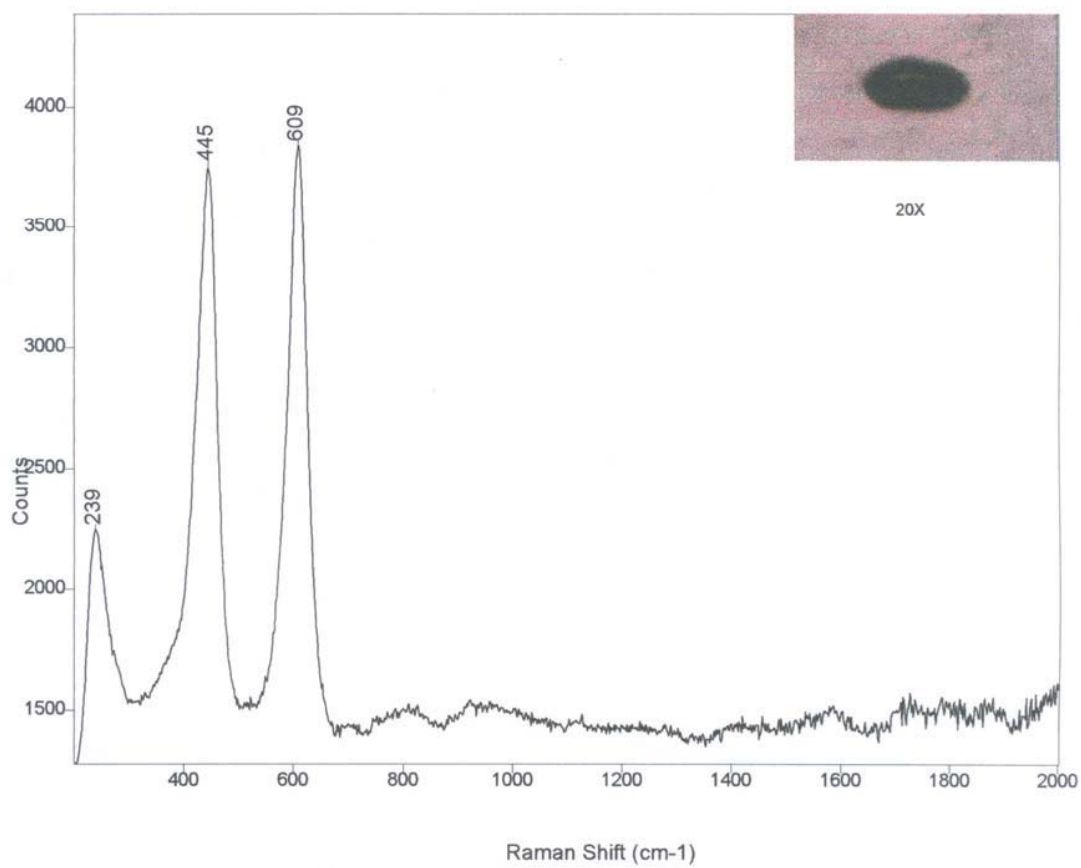


Figure 4.53 Locality : Andilamena, Madagascar. Inclusion : Rutile

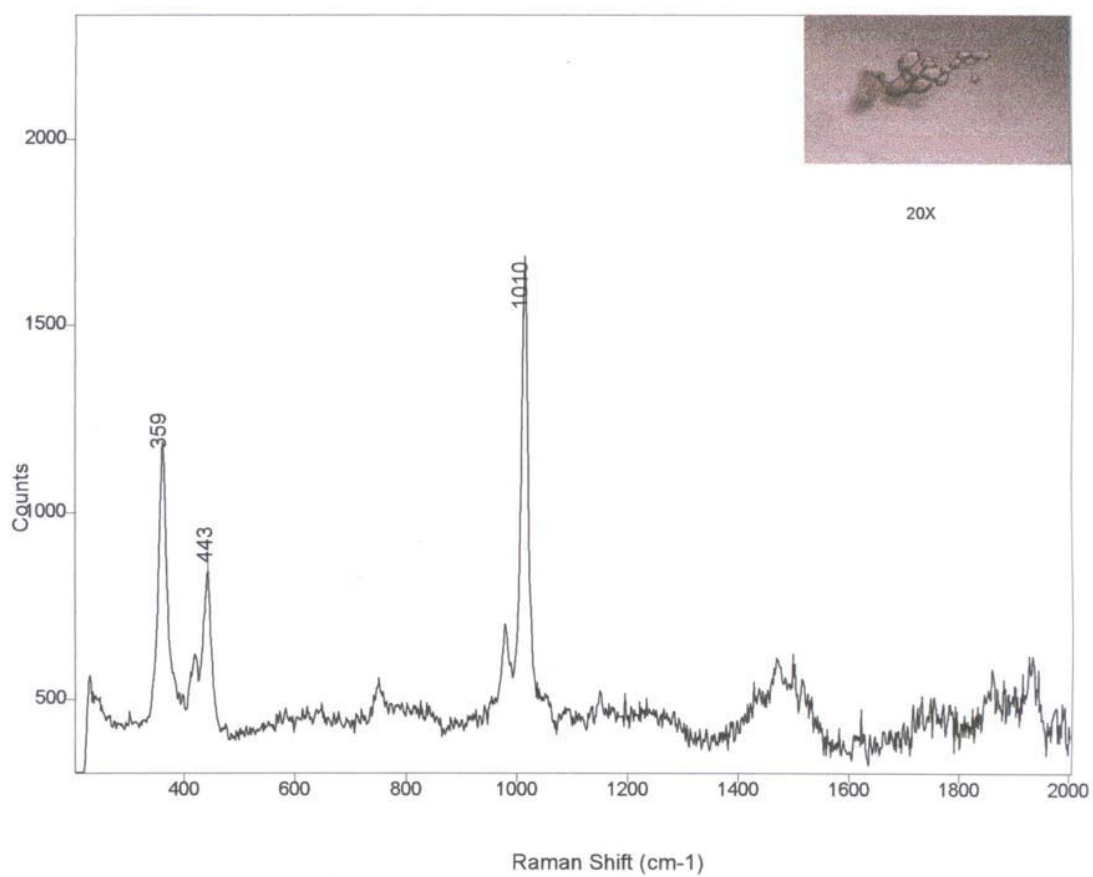


Figure 4.54 Locality : Andilamena, Madagascar.

Inclusion : Zircon

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ในการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิตินั้น จะนำผลวิเคราะห์ของตัวอย่างทั้งหมดในระหว่างการดำเนินการนี้ และผลวิเคราะห์ของตัวอย่างจากปีที่ 2 มาทำการประเมินผลทางสถิติโดยใช้วิธีคำนวณทางสถิติเพื่อกำจัดค่าผลวิเคราะห์ที่ไม่อยู่ในเกณฑ์ออกไป โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้คือ

$$\begin{aligned} \text{ค่าเฉลี่ย (Mean)} &= \frac{\text{ค่าสูงสุด} + \text{ค่าต่ำสุด}}{2} \\ \text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)} &= \sqrt{\frac{\sum (\bar{X} - X)^2}{N}} \\ X &= \text{ข้อมูลแต่ละตัว} \\ \bar{X} &= \text{ค่าเฉลี่ย} \\ N &= \text{จำนวนตัวอย่าง} \\ \text{Variance} &= \text{Standard deviation}^2 \\ \text{ค่าที่ยอมรับได้ (ZScore)} &= \frac{\text{ข้อมูลดิบ} - \text{ค่าเฉลี่ย}}{\text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน}} \\ \text{Limit ค่า Z (Score) ที่ Z 95} &= 1.96 \end{aligned}$$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation=SD) และความแปรปรวนของข้อมูล (Variance) คือลักษณะการกระจายของข้อมูล ถ้าข้อมูลมีการกระจายมาก ค่า SD จะมีค่ามากตามไปด้วย แต่ถ้าข้อมูลไม่มีการกระจาย ผลก็คือ ค่า SD จะเท่ากับ 0

ผลวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างที่ทำการศึกษาวิเคราะห์จากแหล่งต่างๆ ทั้งหมดจำนวน 792 ตัวอย่าง (ตารางที่ 4.10) ได้นำมาคำนวณผลทางสถิติ ทั้งนี้เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดช่วงค่าของปริมาณธาตุร่องรอย ที่มีผลสัมฤทธิ์ต่อการนำไปใช้ในการจัด แบ่งแหล่งกำเนิดของตัวอย่างพลอยคอร์ันดัม ตามวัตถุประสงค์การของโครงการวิจัยนี้ต่อไป ค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างจากแหล่งต่างๆ ได้แสดงดังไว้ในตารางที่ 4.11-4.27 นอกจากนี้ยังแสดงค่าของอัตราส่วนระหว่าง V/Ga, Ti/Fe, Ti/V, Cr/Ga, Fe/Ti, Ti+V/Ga, Ga:Fe และ Ga:Ti เพื่อเป็นข้อมูลเสริมช่วยในการพิจารณาเลือกแหล่งที่ถูกต้อง ค่าช่วงเปอร์เซ็นต์ (Percentage Range) ของธาตุร่องรอยต่างๆ เหล่านี้ อาจใช้เป็นตัว กำหนดที่มียุทธศาสตร์ของแหล่งแต่ละแหล่งได้ แหล่งที่มาและจำนวนของตัวอย่างจากแหล่งต่างๆ ที่นำมาศึกษา

ตารางที่ 4. 10 แสดงแหล่งและจำนวนของตัวอย่างที่ทำการศึกษาค่าทางสถิติ

แหล่ง	จำนวนตัวอย่าง	แหล่ง	จำนวนตัวอย่าง
1. โพลิน จ. จันทบุรี-ตราด	56	10. โพลิน อีลากากา	77
2. โพลิน จ. กาญจนบุรี	87	11. โพลิน เดียโก	63
3. โพลิน จ. แพร่	6	12. ทับทิม จันทบุรี-ตราด	11
4. โพลิน ประเทศพม่า	116	13. ทับทิม กัมพูชา	20
5. โพลิน ประเทศกัมพูชา	21	14. ทับทิม โมกก	197
6. โพลิน ประเทศลาว	40	15. ทับทิม มองซู	17
7. โพลิน ประเทศออสเตรเลีย	17	16. ทับทิม ตามาตาฟ	8
8. โพลิน ประเทศไนจีเรีย	9	17. ทับทิม แอนดิลามินา	32
9. โพลินอุмба แทนซาเนีย	15	รวมตัวอย่างทั้งหมด	<u>792</u>

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของโพลิน จังหวัดจันทบุรี-ตราด

Oxides	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / TiO ₂
Minimum	0.006	0.005	0.000	0.462	0.009	97.511	0.008	0.474
Maximum	0.050	0.017	0.000	2.429	0.037	99.490	0.062	2.643
Mean	0.020	0.009	0.000	1.243	0.019	98.709	0.017	0.983
St.Deviation	0.008	0.003	0.000	0.362	0.006	0.367	0.010	0.364
Variance	0.000	0.000	0.000	0.131	0.000	0.134	0.000	0.133
Range accepted	0.012- 0.028	0.006- 0.012	0.000	0.881- 1.605	0.013- 0.025	-	-	-
No samples	56	56	56	56	56	56	56	56

Oxides values	V ₂ O ₅ / Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	TiO ₂ / V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃ / Ga ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / TiO ₂	TiO ₂ + V ₂ O ₅ +Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + V ₂ O ₅	TiO ₂ / Cr ₂ O ₃
Minimum	0.135	0.483	0.909	0.000	22.000	0.021	0.011	0.000
Maximum	1.111	2.457	6.000	0.000	196.833	0.093	0.059	0.000
Mean	0.532	1.263	2.495	0.000	67.804	0.048	0.029	0.000
St.Deviation	0.237	0.365	1.274	0.000	29.686	0.013	0.009	0.000
Variance	0.056	0.133	1.624	0.000	881.283	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของไพลิน จังหวัดกาญจนบุรี

Oxides	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / TiO ₂
Minimum	0.010	0.005	0.000	0.141	0.004	99.149	0.018	0.250
Maximum	0.049	0.022	0.000	0.787	0.053	99.812	0.220	1.800
Mean	0.022	0.012	0.000	0.427	0.015	99.523	0.039	0.740
St.Deviation	0.007	0.004	0.000	0.156	0.007	0.160	0.024	0.334
Variance	0.000	0.000	0.000	0.024	0.000	0.026	0.001	0.112
Range accepted	0.015- 0.029	0.008- 0.016	0.000	0.271- 0.583	0.008- 0.022	-	-	-
No samples	87	87	87	87	87	87	87	87

Oxide values	V ₂ O ₅ / Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	TiO ₂ / V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃ / Ga ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / TiO ₂	TiO ₂ + V ₂ O ₅ +Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + V ₂ O ₅	TiO ₂ / Cr ₂ O ₃
Minimum	0.278	0.160	0.778	0.000	6.103	0.025	0.015	0.000
Maximum	2.800	0.810	5.167	0.000	48.938	0.102	0.065	0.000
Mean	0.891	0.450	2.063	0.000	20.809	0.050	0.034	0.000
St.Deviation	0.494	0.157	0.866	0.000	9.368	0.013	0.010	0.000
Variance	0.244	0.025	0.751	0.000	87.753	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของไพลิน จังหวัดแพร่

Oxides	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / TiO ₂
Minimum	0.017	0.005	0.000	0.336	0.013	99.394	0.028	0.148
Maximum	0.088	0.014	0.000	0.529	0.023	99.618	0.058	0.941
Mean	0.047	0.009	0.000	0.418	0.017	99.510	0.041	0.478
St.Deviation	0.025	0.004	0.000	0.074	0.004	0.087	0.011	0.303
Variance	0.001	0.000	0.000	0.005	0.000	0.008	0.000	0.092
Range accepted	0.022- 0.072	0.005- 0.013	0.000	0.344- 0.492	0.013- 0.021	-	-	-
No samples	6	6	6	6	6	6	6+	6

Oxide values	V ₂ O ₅ / Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	TiO ₂ / V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃ / Ga ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / TiO ₂	TiO ₂ + V ₂ O ₅ +Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + V ₂ O ₅	TiO ₂ / Cr ₂ O ₃
Minimum	0.278	0.361	3.167	0.000	5.227	0.038	0.022	0.000
Maximum	1.077	0.583	7.714	0.000	20.235	0.115	0.102	0.000
Mean	0.605	0.465	5.066	0.000	11.264	0.073	0.056	0.000
St.Deviation	0.348	0.087	1.781	0.000	5.763	0.027	0.028	0.000
Variance	0.121	0.008	3.173	0.000	33.208	0.001	0.001	0.000

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของไพลิน ประเทศพม่า

Oxides	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / TiO ₂
Minimum	0.013	0.005	0.000	0.062	0.004	99.497	0.017	0.128
Maximum	0.051	0.021	0.000	0.456	0.042	99.897	0.198	1.133
Mean	0.025	0.012	0.000	0.201	0.012	99.750	0.069	0.518
St.Deviation	0.009	0.004	0.000	0.096	0.005	0.096	0.035	0.233
Variance	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.009	0.001	0.054
Range accepted	0.016- 0.034	0.008- 0.016	0.000	0.105- 0.297	0.007- 0.017	-	-	-
No samples	116	116	116	116	116	116	116	116

Oxide values	V ₂ O ₅ / Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	TiO ₂ / V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃ / Ga ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / TiO ₂	TiO ₂ + V ₂ O ₅ +Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + V ₂ O ₅	TiO ₂ / Cr ₂ O ₃
Minimum	0.262	0.078	0.765	0.000	2.441	0.031	0.020	0.000
Maximum	3.000	0.479	8.400	0.000	23.765	0.085	0.067	0.000
Mean	1.142	0.227	2.360	0.000	8.741	0.049	0.037	0.000
St.Deviation	0.621	0.096	1.215	0.000	4.822	0.011	0.010	0.000
Variance	0.386	0.009	1.476	0.000	23.249	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของไพลิน ประเทศกัมพูชา

Oxides	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / TiO ₂
Minimum	0.017	0.008	0.000	0.265	0.018	99.291	0.042	0.421
Maximum	0.057	0.017	0.000	0.641	0.033	99.686	0.087	1.316
Mean	0.031	0.012	0.000	0.391	0.023	99.543	0.060	0.837
St.Deviation	0.013	0.003	0.000	0.078	0.004	0.085	0.011	0.270
Variance	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.007	0.000	0.073
Range accepted	0.018- 0.044	0.009- 0.015	0.000	0.313- 0.469	0.019- 0.027	-	-	-
No samples	21	21	21	21	21	21	21	21

Oxide values	V ₂ O ₅ / Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	TiO ₂ / V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃ / Ga ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / TiO ₂	TiO ₂ + V ₂ O ₅ +Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + V ₂ O ₅	TiO ₂ / Cr ₂ O ₃
Minimum	0.333	0.282	1.188	0.000	7.246	0.047	0.027	0.000
Maximum	0.773	0.666	4.625	0.000	25.640	0.097	0.070	0.000
Mean	0.532	0.422	2.640	0.000	14.317	0.066	0.043	0.000
St.Deviation	0.106	0.082	1.164	0.000	5.096	0.015	0.013	0.000
Variance	0.011	0.007	1.354	0.000	25.969	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของไพลิน ประเทศลาว

Oxides	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / TiO ₂
Minimum	0.006	0.005	0.000	0.193	0.007	99.125	0.015	0.175
Maximum	0.106	0.017	0.000	0.797	0.094	99.770	0.310	6.267
Mean	0.035	0.007	0.000	0.484	0.021	99.453	0.046	0.851
St.Deviation	0.022	0.003	0.000	0.140	0.016	0.149	0.046	1.068
Variance	0.001	0.000	0.000	0.020	0.000	0.022	0.002	1.140
Range accepted	0.013- 0.057	0.004- 0.010	0.000	0.-344- 0.624	0.005- 0.037	-	-	-
No samples	40	40	40	40	40	40	40	40

Oxide values	V ₂ O ₅ / Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	TiO ₂ / V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃ / Ga ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / TiO ₂	TiO ₂ + V ₂ O ₅ +Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + V ₂ O ₅	TiO ₂ / Cr ₂ O ₃
Minimum	0.085	0.209	1.200	0.000	4.217	0.033	0.011	0.000
Maximum	1.667	0.841	21.200	0.000	113.667	0.138	0.111	0.000
Mean	0.475	0.519	5.402	0.000	19.206	0.063	0.042	0.000
St.Deviation	0.312	0.146	4.041	0.000	17.006	0.028	0.023	0.000
Variance	0.098	0.021	16.331	0.000	289.201	0.001	0.001	0.000

ตารางที่ 4.17 ค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของไพลิน จากประเทศออสเตรเลีย

Oxides	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Total	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / TiO ₂
Minimum	0.017	0.010	0.000	0.437	0.016	0.542	98.297	0.013	0.268
Maximum	0.074	0.026	0.000	1.644	0.035	1.703	99.458	0.064	1.750
Mean	0.037	0.014	0.000	0.876	0.023	0.949	99.051	0.029	0.762
St.Deviation	0.018	0.004	0.000	0.284	0.006	0.276	0.276	0.013	0.381
Variance	0.000	0.000	0.000	0.081	0.000	0.076	0.076	0.000	0.145
Range accepted	0.019- 0.055	0.010- 0.018	0.000	0.592- 1.160	0.017- 0.029	-	-	-	-
No samples	17	17	17	17	17	17	17	17	17

Oxides values	V ₂ O ₅ / Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	TiO ₂ / V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃ /Ga ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / TiO ₂	TiO ₂ + V ₂ O ₅ +Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + V ₂ O ₅	TiO ₂ / Cr ₂ O ₃
Minimum	0.343	0.508	1.313	0.000	6.155	0.047	0.029	0.000
Maximum	0.789	1.665	5.000	0.000	78.286	0.133	0.100	0.000
Mean	0.619	0.912	2.658	0.000	31.083	0.074	0.051	0.00
St.Deviation	0.124	0.276	1.161	0.000	19.487	0.023	0.021	0.00
Variance	0.015	0.076	1.348	0.000	379.742	0.001	0.000	0.00

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของไพลิน ประเทศไนจีเรีย

Oxides	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / TiO ₂
Minimum	0.025	0.005	0.000	0.458	0.016	98.924	0.025	0.173
Maximum	0.133	0.018	0.000	0.902	0.033	99.457	0.057	0.889
Mean	0.055	0.012	0.000	0.695	0.024	99.214	0.036	0.557
St.Deviation	0.035	0.004	0.000	0.169	0.005	0.194	0.012	0.249
Variance	0.001	0.000	0.000	0.028	0.000	0.038	0.000	0.062
Range accepted	0.020- 0.090	0.008- 0.016	0.000	0.526- 0.864	0.019- 0.029	-	-	-
No samples	9	9	9	9	9	9	9	9

Oxide values	V ₂ O ₅ / Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	TiO ₂ / V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃ / Ga ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / TiO ₂	TiO ₂ + V ₂ O ₅ +Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + V ₂ O ₅	TiO ₂ / Cr ₂ O ₃
Minimum	0.152	0.504	2.250	0.000	6.782	0.056	0.036	0.000
Maximum	0.783	1.035	10.143	0.000	32.815	0.174	0.151	0.000
Mean	0.513	0.750	4.991	0.000	15.874	0.091	0.067	0.000
St.Deviation	0.205	0.191	2.873	0.000	7.979	0.039	0.038	0.000
Variance	0.042	0.037	8.257	0.000	63.672	0.002	0.001	0.000

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของไพลิน แหล่งอุมาบา ประเทศแทนซาเนีย

Oxides	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / TiO ₂
Minimum	0.012	0.011	0.000	0.089	0.004	99.139	0.007	0.227
Maximum	0.022	0.018	0.014	0.807	0.010	99.877	0.045	0.833
Mean	0.017	0.014	0.002	0.441	0.007	99.519	0.020	0.441
St.Deviation	0.003	0.002	0.004	0.174	0.002	0.176	0.011	0.162
Variance	0.000	0.000	0.000	0.030	0.000	0.031	0.000	0.026
Range accepted	0.014- 0.020	0.012- 0.016	0.000- 0.006	0.267- 0.615	0.005- 0.009	-	-	-
No samples	15	15	15	15	15	15	15	15

Oxide values	V ₂ O ₅ / Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	TiO ₂ / V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃ / Ga ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / TiO ₂	TiO ₂ + V ₂ O ₅ +Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + V ₂ O ₅	TiO ₂ / Cr ₂ O ₃
Minimum	1.200	0.104	0.923	0.000	5.933	0.031	0.025	0.000
Maximum	3.750	0.826	2.000	1.750	42.474	0.045	0.037	2.111
Mean	2.051	0.458	1.258	0.192	25.427	0.039	0.032	0.222
St.Deviation	0.650	0.174	0.312	0.519	9.764	0.004	0.003	0.609
Variance	0.422	0.030	0.097	0.270	95.332	0.000	0.000	0.371

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของตัวอย่างแชปไฟร์
จากแหล่งอิลากากา ประเทศมาดากัสการ์

Oxides	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / TiO ₂
Minimum	0.006	0.005	0.000	0.025	0.001	99.543	0.014	0.034
Maximum	0.074	0.022	0.047	0.392	0.022	99.930	0.269	2.000
Mean	0.027	0.012	0.008	0.151	0.010	99.792	0.089	0.460
St.Deviation	0.013	0.004	0.014	0.094	0.004	0.095	0.059	0.318
Variance	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.009	0.003	0.101
Range accepted	0.014- 0.040	0.008- 0.016	0.000- 0.022	0.057- 0.245	0.006- 0.014	-	-	-
No samples	77	77	77	77	77	77	77	77

Oxide values	V ₂ O ₅ / Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	TiO ₂ / V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃ / Ga ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / TiO ₂	TiO ₂ + V ₂ O ₅ +Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + V ₂ O ₅	TiO ₂ / Cr ₂ O ₃
Minimum	0.417	0.044	0.917	0.000	1.316	0.021	0.011	0.000
Maximum	12.000	0.413	10.571	7.667	30.000	0.092	0.082	10.800
Mean	1.634	0.178	2.310	0.956	7.208	0.049	0.039	0.489
St.Deviation	1.449	0.094	1.409	1.644	6.321	0.014	0.015	1.486
Variance	2.099	0.009	1.987	2.704	39.953	0.000	0.000	2.208

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของตัวอย่างแชปไฟร์
จากแหล่งเตียโก ประเทศมาดากัสการ์

Oxides	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / TiO ₂
Minimum	0.006	0.005	0.000	0.285	0.010	98.884	0.017	0.208
Maximum	0.058	0.023	0.000	1.068	0.040	99.682	0.111	5.833
Mean	0.024	0.011	0.000	0.702	0.024	99.238	0.036	1.248
St.Deviation	0.012	0.003	0.000	0.165	0.007	0.165	0.014	0.804
Variance	0.000	0.000	0.000	0.027	0.000	0.027	0.000	0.646
Range accepted	0.012- 0.036	0.008- 0.014	0.000	0.537- 0.867	0.017- 0.031	-	-	-
No samples	63	63	63	63	63	63	63	63

Oxide values	V ₂ O ₅ / Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	TiO ₂ / V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃ / Ga ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / TiO ₂	TiO ₂ + V ₂ O ₅ +Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + V ₂ O ₅	TiO ₂ / Cr ₂ O ₃
Minimum	0.143	0.297	0.652	0.000	10.146	0.032	0.011	0.000
Maximum	1.400	1.085	6.444	0.000	148.667	0.098	0.069	0.000
Mean	0.503	0.727	2.367	0.000	36.964	0.060	0.035	0.000
St.Deviation	0.240	0.163	1.326	0.000	22.693	0.014	0.013	0.000
Variance	0.058	0.026	1.758	0.000	514.971	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของตัวอย่างทับทิม
จากแหล่งจังหวัดจันทบุรี-ตราด

Oxides	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / TiO ₂
Minimum	0.023	0.010	0.037	0.305	0.003	99.189	0.006	0.081
Maximum	0.037	0.017	0.282	0.645	0.009	99.609	0.021	0.391
Mean	0.031	0.013	0.142	0.444	0.006	99.364	0.014	0.192
St.Deviation	0.004	0.002	0.068	0.091	0.002	0.124	0.005	0.083
Variance	0.000	0.000	0.005	0.008	0.000	0.015	0.000	0.007
Range accepted	0.029- 0.035	0.009- 0.015	0.074- 0.210	0.353- 0.535	0.004- 0.008			
No samples	11	11	11	11	11	11	11	11

Oxide values	V ₂ O ₅ / Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	TiO ₂ / V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃ / Ga ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / TiO ₂	TiO ₂ + V ₂ O ₅ +Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + V ₂ O ₅	TiO ₂ / Cr ₂ O ₃
Minimum	1.222	0.333	1.706	7.400	9.514	0.043	0.034	0.103
Maximum	5.000	0.676	3.200	47.000	20.806	0.056	0.052	0.757
Mean	2.639	0.475	2.407	26.219	14.427	0.050	0.045	0.279
St.Deviation	1.207	0.091	0.526	12.296	3.631	0.004	0.005	0.176
Variance	1.457	0.008	0.277	151.190	13.186	0.000	0.000	0.031

ตารางที่ 4.23 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของตัวอย่างทับทิม
จากแหล่งโมกก ประเทศพม่า

Oxides	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / TiO ₂
Minimum	0.006	0.005	0.000	0.004	0.003	99.133	0.036	0.051
Maximum	0.117	0.105	0.743	0.113	0.020	99.929	2.000	2.000
Mean	0.025	0.045	0.234	0.025	0.010	99.661	0.596	0.488
St.Deviation	0.015	0.018	0.176	0.019	0.003	0.185	0.341	0.243
Variance	0.000	0.000	0.031	0.000	0.000	0.034	0.117	0.059
Range accepted	0.010- 0.040	0.027- 0.063	0.058- 0.410	0.006- 0.041	0.007- 0.013	-	-	-
No samples	197	197	197	197	197	197	197	197

Oxide values	V ₂ O ₅ / Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	TiO ₂ / V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃ / Ga ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / TiO ₂	TiO ₂ + V ₂ O ₅ +Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + V ₂ O ₅	TiO ₂ / Cr ₂ O ₃
Minimum	0.714	0.017	0.152	0.000	0.077	0.025	0.018	0.000
Maximum	12.167	0.214	4.875	90.600	10.333	0.189	0.180	21.000
Mean	4.558	0.050	0.661	24.104	1.112	0.080	0.070	0.461
St.Deviation	1.949	0.027	0.536	19.499	1.049	0.026	0.025	1.834
Variance	3.797	0.001	0.288	380.208	1.101	0.001	0.001	3.364

ตารางที่ 4.24 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของตัวอย่างทับทิม
จากแหล่งมอซุ ประเทศพม่า

Oxides	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / TiO ₂
Minimum	0.049	0.023	0.286	0.009	0.005	98.467	0.062	0.030
Maximum	0.371	0.108	1.284	0.161	0.019	99.369	2.000	0.246
Mean	0.167	0.064	0.652	0.039	0.013	99.066	0.791	0.103
St.Deviation	0.092	0.022	0.225	0.046	0.004	0.223	0.592	0.066
Variance	0.008	0.000	0.051	0.002	0.000	0.050	0.351	0.004
Range accepted	0.075- 0.254	0.042- 0.086	0.427- 0.877	0.000- 0.085	0.009- 0.017			
No samples	17	17	17	17	17	17	17	17

Oxide values	V ₂ O ₅ / Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	TiO ₂ / V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃ / Ga ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / TiO ₂	TiO ₂ + V ₂ O ₅ +Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + V ₂ O ₅	TiO ₂ / Cr ₂ O ₃
Minimum	2.938	0.061	0.926	26.000	0.037	0.106	0.096	0.062
Maximum	7.100	0.403	6.435	103.600	1.278	0.442	0.431	1.297
Mean	4.999	0.205	2.885	53.551	0.275	0.244	0.231	0.316
St.Deviation	1.040	0.104	1.824	21.101	0.315	0.097	0.096	0.298
Variance	1.082	0.011	3.327	445.268	0.099	0.009	0.009	0.089

ตารางที่ 4.25 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของตัวอย่างทับทิม
จากประเทศกัมพูชา

Oxides	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / TiO ₂
Minimum	0.019	0.005	0.004	0.283	0.004	98.412	0.006	0.111
Maximum	0.063	0.018	0.514	1.115	0.013	99.659	0.021	0.320
Mean	0.035	0.012	0.228	0.568	0.007	99.151	0.013	0.200
St.Deviation	0.011	0.003	0.134	0.191	0.002	0.279	0.004	0.056
Variance	0.000	0.000	0.018	0.037	0.000	0.078	0.000	0.003
Range accepted	0.024- 0.046	0.009- 0.015	0.094- 0.362	0.377- 0.759	0.005- 0.009			
No samples	20	20	20	20	20	20	20	20

Oxide values	V ₂ O ₅ / Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	TiO ₂ / V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃ / Ga ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / TiO ₂	TiO ₂ + V ₂ O ₅ +Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + V ₂ O ₅	TiO ₂ / Cr ₂ O ₃
Minimum	0.692	0.317	2.100	0.667	8.324	0.028	0.024	0.071
Maximum	2.750	1.167	5.778	85.000	35.842	0.083	0.076	8.500
Mean	1.803	0.603	3.175	35.603	17.095	0.054	0.047	0.612
St.Deviation	0.562	0.197	1.025	22.592	6.422	0.014	0.013	1.862
Variance	0.316	0.039	1.050	510.378	41.241	0.000	0.000	3.466

ตารางที่ 4.26 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของตัวอย่างทับทิม
จากแหล่งตามตาฟ ประเทศมาดากัสการ์

Oxides	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / TiO ₂
Minimum	0.036	0.007	0.127	0.331	0.006	98.561	0.010	0.024
Maximum	0.293	0.020	0.658	0.713	0.010	99.413	0.027	0.167
Mean	0.125	0.015	0.322	0.487	0.008	99.043	0.018	0.101
St.Deviation	0.105	0.004	0.185	0.151	0.001	0.294	0.007	0.060
Variance	0.011	0.000	0.034	0.023	0.000	0.087	0.000	0.004
Range accepted	0.020- 0.230	0.011- 0.019	0.137- 0.507	0.336- 0.638	0.007- 0.009			
No samples	8	8	8	8	8	8	8	8

Oxide values	V ₂ O ₅ / Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	TiO ₂ / V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃ / Ga ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / TiO ₂	TiO ₂ + V ₂ O ₅ +Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + V ₂ O ₅	TiO ₂ / Cr ₂ O ₃
Minimum	0.875	0.387	2.450	14.111	1.446	0.056	0.050	0.091
Maximum	3.000	1.006	41.286	65.800	15.250	0.314	0.307	2.187
Mean	1.968	0.612	11.030	40.569	6.339	0.148	0.140	0.581
St.Deviation	0.647	0.204	13.622	19.609	4.794	0.102	0.102	0.697
Variance	0.419	0.042	185.565	384.522	22.986	0.010	0.010	0.486

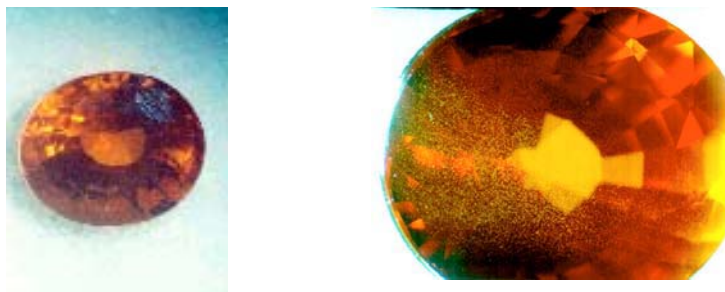
ตารางที่ 4.27 แสดงค่าทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของตัวอย่างทับทิม
จากแหล่งแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์

Oxides	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ / TiO ₂
Minimum	0.015	0.005	0.069	0.166	0.003	97.753	0.007	0.006
Maximum	1.142	0.042	1.360	0.655	0.010	99.726	0.031	0.400
Mean	0.239	0.016	0.574	0.381	0.006	98.784	0.019	0.114
St.Deviation	0.298	0.007	0.289	0.129	0.002	0.463	0.006	0.115
Variance	0.089	0.000	0.084	0.017	0.000	0.215	0.000	0.013
Range accepted	0.000- 0.537	0.009- 0.023	0.285- 0.863	0.252- 0.510	0.004- 0.008	-	-	-
No samples	32	32	32	32	32	32	32	32

Oxide values	V ₂ O ₅ / Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	TiO ₂ / V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃ / Ga ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / TiO ₂	TiO ₂ + V ₂ O ₅ +Ga ₂ O ₃	TiO ₂ + V ₂ O ₅	TiO ₂ / Cr ₂ O ₃
Minimum	0.833	0.188	1.320	12.857	0.322	0.026	0.020	0.022
Maximum	7.000	1.565	81.571	174.167	25.000	1.163	1.156	5.844
Mean	2.734	0.619	13.364	91.675	7.122	0.262	0.255	0.693
St.Deviation	1.385	0.335	16.791	44.993	7.490	0.302	0.301	1.240
Variance	1.919	0.112	281.933	2024.347	56.102	0.091	0.091	1.537

4.6 การทดสอบตัวอย่างกับชุดผลวิเคราะห์ที่ต้นแบบ โดยใช้ตัวอย่างพลอยคอร์นดัมที่ทราบแหล่งที่มา (Known sample test)

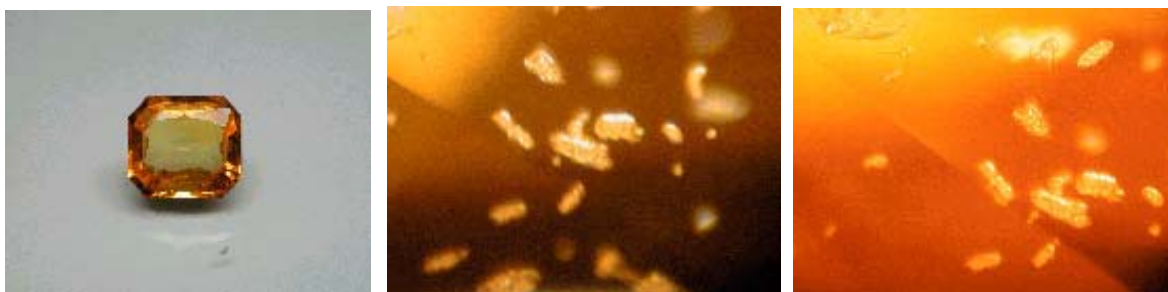
1. ตัวอย่างบุษราคัม แหล่งศรีลังกา สีเหลืองอมส้ม น้ำหนัก 5.01 กระรัต (YSCLON-01)



(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างบุษราคัม (ข) มลทินอนุภาคเล็กๆ ทั่วผิวนกระจายอยู่ทั่วเม็ดพลอย (15X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.011	0.009	0.000	0.052	0.007	ไม่เข้าแหล่ง	ขาดข้อมูลพลอยศรีลังกา

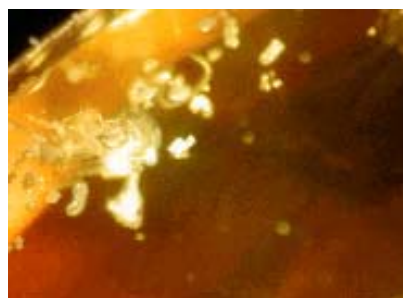
2. ตัวอย่างบุษราคัมแหล่ง อาฟริกา สีเหลืองอมส้ม น้ำหนัก 2.62 กระรัต (YS-102904)



(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างบุษราคัม (ข) ผลึกแร่เซอร์คอนกระจายอยู่ทั่วไป (70X) (ค) ผลึกแร่เซอร์คอน และมลทินของไหล 2 สถานะ (70X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.016	0.012	0.000	0.088	0.008	ไม่เข้าแหล่งใด	ขาดข้อมูลพลอยศรีลังกา

3. ตัวอย่างบุษราคัม แหล่ง อาฟริกา สีเหลืองอมส้ม น้ำหนัก 2.20 กระรัต (YS-102903)

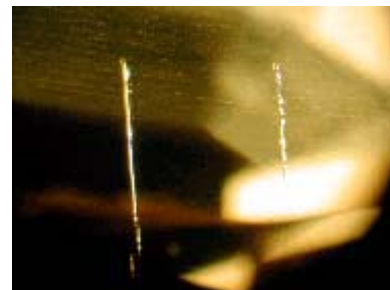


(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างบุษราคัม

(ข) กลุ่มของฟลักแร่เซอร์คอน
เกิดรวมกันเป็นกระจุก (50X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.017	0.011	0.000	0.234	0.014	อิลากากา	ผลวิเคราะห์อยู่ในช่วง ข้อมูลแหล่งไม่ชัดเจน

4. ตัวอย่างบุษราคัมแหล่งอาฟริกา สีเหลืองอมส้ม น้ำหนัก 2.16 กระรัต (YS-102902)



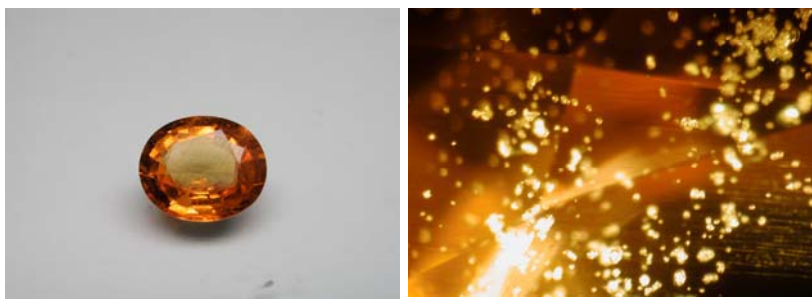
(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างบุษราคัม

(ข) ฟลักแร่เซอร์คอน ล้อมรอบด้วย
รอยแตก รูปร่างคล้ายแผ่นจาน (50X)

(ค) มลทินรูปร่างคล้ายท่อ และลักษณะ
ของมลทินของไหลจุดเล็ก ๆ (Dotted
fluid inclusions) วางตัวเป็นทางยาว
(40X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.014	0.011	0.000	0.283	0.007	อุมบา	- ผลวิเคราะห์เคมีสอดคล้อง - สเปกตรัม FTIR คล้ายคลึง

5. ตัวอย่างบุษราคัมแหล่ง อาฟริกา สีเหลืองอมส้ม น้ำหนัก 2.21 กระรัต (YS-102901)



(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างบุษราคัม (ข) กลุ่มของผลึกแร่เซอร์คอน (48X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.019	0.011	0.000	0.635	0.010	แอนทซิรานานา (เดี่ยโก)	-ผลวิเคราะห์เคมีสอดคล้อง -สเปกตรัม UV-VIS คล้ายคลึง -แหล่งอาฟริกาครอบคลุมกว้าง

6. ตัวอย่างทับทิมแหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์ ส้มแดงอมม่วง น้ำหนัก 0.98 กระรัต (RU-102606)



(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิม (ข) ผลึกแร่อะพาไทต์ (70X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.017	0.013	0.103	0.268	0.006	ตามาตาฟ / แอนดิลามินา	-ผลวิเคราะห์คาบเกี่ยว -สเปกตรัม UV-VIS คล้าย แอนดิลามินา

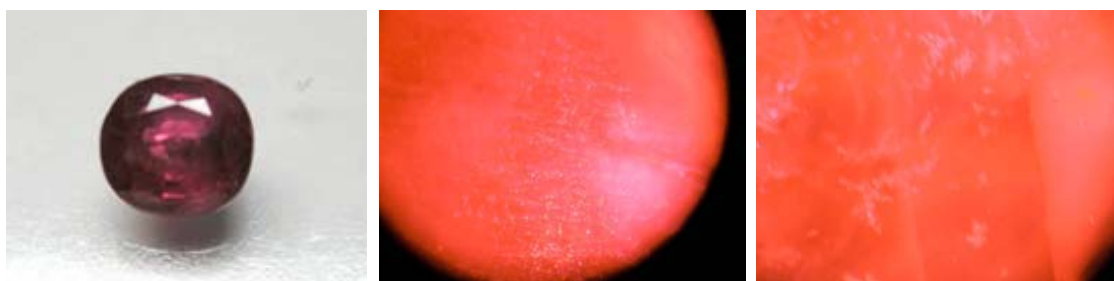
7. ตัวอย่างทับทิม ตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์ สีแดงอมส้ม น้ำหนัก 1.51 กะรัต (RU-102605)



(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิม (ข) ผลึกแร่รูไทล์ (60X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.018	0.011	0.105	0.171	0.008	ตามาตาฟ / แอนดิลามินา	-ผลวิเคราะห์เคมีคาบเกี่ยว -สเปกตรัม UV-VIS คล้ายตามาตาฟ

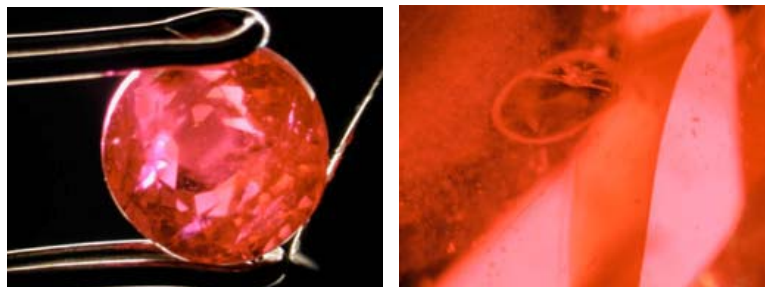
8. ตัวอย่างทับทิม ตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์ สีแดงอมส้ม น้ำหนัก 1.96 กะรัต (RU-102604)



(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิม (ข) ผลึกเข็มเล็ก ๆ คล้ายหัวเข็มหมุด (PINPOINT) และมลทินคล้ายฝุ่น (70X) (ค) ผลึกแร่เซอร์คอนจับตัวกันเป็นกลุ่ม (40X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.015	0.016	0.190	0.288	0.007	แอนดิลามินา	-ผลวิเคราะห์เคมีสอดคล้อง -แหล่งตามาตาฟและแอนดิลามินา มีกำเนิดที่คล้ายกัน

9. ตัวอย่างทับทิมตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์ สีแดงดำ น้ำหนัก 0.93 กะรัต (RU-102603)



(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิม (ข) ผลึกเซอร์คอนวางตัวบนรอยแตก รูปร่างคล้ายแผ่นจาน 70X

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.019	0.016	0.275	0.199	0.005	วาโตแมนดรี	-ผลวิเคราะห์เคมีสอดคล้อง -แหล่งตามาตาฟและแอนดิลามินา มีกำเนิดคล้ายกัน

10. ตัวอย่างทับทิม ตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์ สีแดงดำ น้ำหนัก 1.30 กะรัต (RU-102602)



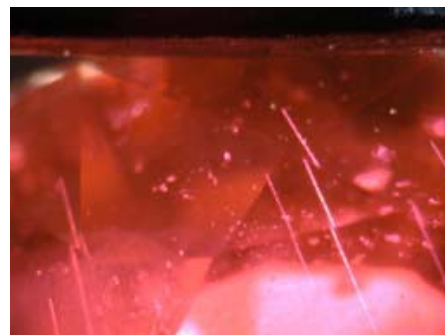
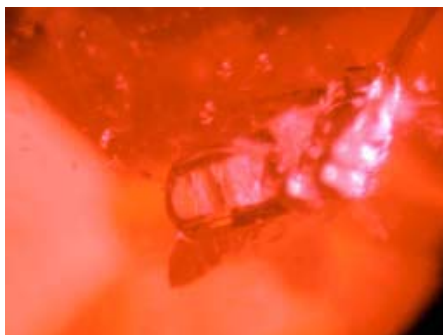
(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิม (ข) ผลึกแร่เซอร์คอน และผลึกเข็มเล็กๆ (70X)



(ค) ลักษณะของโซนสี แสดงการเจริญเติบโตของผลึก (35X) (ง) แอปส์และผลึกเข็มเล็กๆเป็นแท่งสมบูรณ์ และเป็นจุด (45X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.017	0.021	0.466	0.263	0.008	แอนดิลามินา	-ผลวิเคราะห์เคมีสอดคล้อง -แหล่งตามาตาฟและแอนดิลามินา มีกำเนิดคล้ายกัน

11. ตัวอย่างทับทิม แหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์ สีแดงดำ น้ำหนัก 2.02 กระรัต (RU-102601)



(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิม (ข) ผลึกแร่อะพาไทต์ (45X) (ค) ผลึกเข็มยาวของแร่เบอห์ไมต์ (30X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.022	0.010	0.438	0.271	0.007	แอนดิลามินา	-ผลวิเคราะห์เคมีสอดคล้อง -แหล่งตามาตาฟและแอนดิลามินา มีกำเนิดคล้ายกัน

12. ตัวอย่างแซปไฟร์ แหล่งอุมบา ประเทศแทนซาเนีย สีน้ำเงินอมเขียว น้ำหนัก 11.99 กระรัต (BSUMBA-01)



(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างแซปไฟร์ (ข) ผลึกแร่เซอร์คอนกระจายอยู่ทั่วไป (20X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.015	0.014	0.000	0.424	0.012	อุมบา/กาญจนบุรี	-ผลวิเคราะห์คาบเกี่ยว -ข้อมูลแหล่งอุมบามีน้อย

13. ตัวอย่างทับทิม แหล่งในประเทศไทย สีแดงอมม่วง น้ำหนัก 0.46 กระรัต (RTH-01)

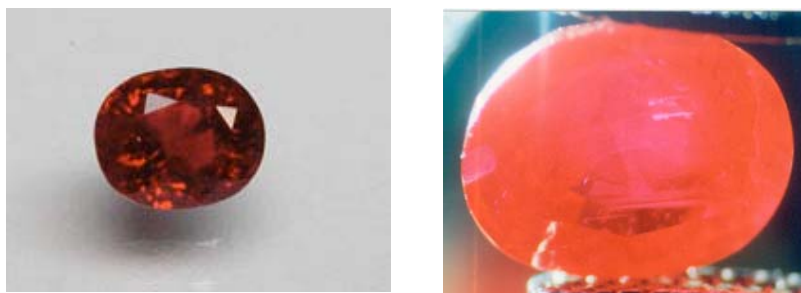


(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิม

(ข) มลทินของไหลคล้ายลายไทย
ผลึกแร่สีเหลืองชน (5.5X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.017	0.011	0.12	0.443	0.005	จันทบุรี-ตราด / เขมร	-ผลวิเคราะห์คาบเกี่ยว -มีการกำเนิดเหมือนกัน

14. ตัวอย่างทับทิม แหล่งมอญ ประเทศเมียนมาร์ สีแดง น้ำหนัก 0.80 กระรัต (MHCS-01)



(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิม

(ข) มลทินอนุภาคเล็กๆ คล้ายฝุ่น (2.25X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.019	0.037	1.093	0.002	0.006	มอญ/โมกก	-ผลวิเคราะห์คาบเกี่ยว -มลทินคล้ายแหล่งมอญ

15. ตัวอย่างทับทิม แหล่งมอญ ประเทศเมียนมาร์ สีแดง น้ำหนัก 0.40 กระรัต (MHCS-04)



- (ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิม (ข) มลทินของไหลคล้ายหมอกควัน (ค) มลทินรอยแตกมีสารแปลกปลอม
อนุภาคเล็กๆ คล้ายฝุ่น (2.25X) มลทินเข็มเล็กเหมือนปูย (5.5X)

ปริมาณธาตุรอรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.047	0.052	0.376	0.006	0.012	มอญ/โมกก	-ผลวิเคราะห์คาบเกี่ยว -มลทินคล้ายแหล่งมอญ

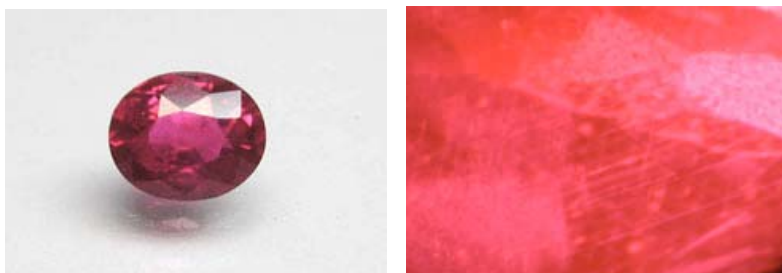
16. ตัวอย่างทับทิม แหล่งในประเทศเคนยา สีแดงอมชมพู น้ำหนัก 0.69 กระรัต (KTMC-01)



- (ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิม (ข) ผลึกแร่เซอร์คอนอยูรวมกัน เป็นกระจุก (50X) (ค) มลทินอนุภาคเล็กๆ ลักษณะ คล้ายฝุ่น (60X)

ปริมาณธาตุรอรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.028	0.020	0.061	0.006	0.030	ไม่เข้าแหล่งใดๆ	ขาดข้อมูลเคนยา

17. ตัวอย่างทับทิม แหล่งในประเทศเคนยา สีแดงดำ น้ำหนัก 0.81 กะรัต (KTMC-04)



(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิม (ข) ผลึกเข็ม เรียงตัว 3 ทิศทาง (58X)

ปริมาณธาตุร่อย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.024	0.035	0.246	0.097	0.016	ไม่เข้าแหล่งใดๆ	ขาดข้อมูลเคนยา

18. ตัวอย่างแซปไฟร์ แหล่งแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์ สีน้ำเงินอ่อนอมเขียวเล็กน้อย น้ำหนัก 1.61 กะรัต (ANDISP-01)



(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างแซปไฟร์ (ข) มลทินผลึกแร่เซอร์คอน และแร่อะพาไทต์ (2X) (ค) มลทินคล้ายฝุ่น ผลึกเข็มยาว ตัดกัน (7X)

ปริมาณธาตุร่อย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.017	0.012	0.000	0.379	0.007	อุมบา / กาญจนบุรี	-ผลวิเคราะห์เคมีคาบเกี่ยว -ข้อมูลแหล่งไม่ชัดเจน

19. ตัวอย่างทับทิม แหล่งแอนดิลามีน่า ประเทศมาดากัสการ์ สีม่วงอมชมพู น้ำหนัก 0.69 กระรัต (ANDISP-02)



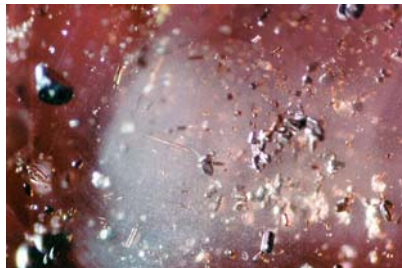
(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิม

(ข) มลทินผลึกแร่รูไทล์ และแร่เซอร์คอน (3.5X)

(ค) มลทินผลึกเข็มยาว และผลึกแร่รูไทล์ (7X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.063	0.022	0.111	0.388	0.009	แอนดิลามีน่า / ตามาตาฟ	-ผลวิเคราะห์เคมีคาบเกี่ยว -มีการกำเนิดคล้ายกัน

20. ตัวอย่างทับทิม แหล่งแอนทิดิลามีน่า ประเทศมาดากัสการ์ สีชมพูม่วง น้ำหนัก 1.41 กระรัต (ANDISP-03)



(ก) ลักษณะปรากฏของตัวอย่างทับทิม

(ข) มลทินผลึกแร่รูไทล์อยู่ในกลุ่มฝุ่น (5.5X)

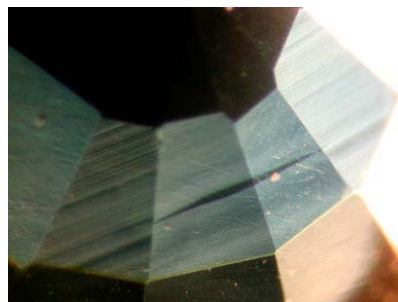
(ค) มลทินกลุ่มของผลึกแร่รูไทล์ (7X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.084	0.029	0.088	0.325	0.009	แอนดิลามีน่า / ตามาตาฟ	-ผลวิเคราะห์เคมีคาบเกี่ยว -มีการกำเนิดคล้ายกัน

21. ตัวอย่างฟิล์มแหล่งออสเตรเลีย สีนํ้าเงินอมเขียว น้ำหนัก 0.92 กระรัต (AUSP-01)



(ก) ลักษณะของฟิล์มสีนํ้าเงินอมเขียว



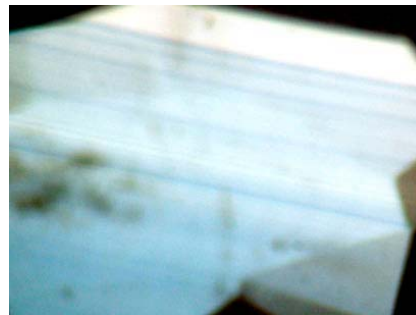
(ข) ลักษณะของแถบสี (40X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.020	0.011	0.000	0.867	0.015	ออสเตเรีย / จันทบุรี	ผลวิเคราะห์เคมีออสเตเรีย และไทยคาบเกี่ยว

22. ตัวอย่างฟิล์มแหล่งออสเตรเลีย สีนํ้าเงินอมเขียว น้ำหนัก 0.96 กระรัต (AUSP-02)



(ก) ลักษณะของฟิล์มสีนํ้าเงินอมเขียว



(ข) ลักษณะของแถบสี (35X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.018	0.010	0.000	0.793	0.015	ออสเตเรีย / จันทบุรี	ผลวิเคราะห์เคมีออสเตเรีย และไทยคาบเกี่ยว

23. ตัวอย่างฟิล์มแหล่งไนจีเรีย สีน้ำเงิน น้ำหนัก 0.90 กระรัต (NGSP-01)



(ก) ฟิล์มสีน้ำเงิน น้ำหนัก 0.90 กระรัต



(ข) มลทินผลึกกลาง
(Negative crystal; 70X)



(ค) ลักษณะของแถบสี (30X)

ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.083	0.011	0.000	0.454	0.032	ไนจีเรีย/ลาว	ผลวิเคราะห์เคมีคาบเกี่ยว

24. ตัวอย่างฟิล์มแหล่งไนจีเรีย สีน้ำเงิน น้ำหนัก 0.80 กระรัต (NGSP-02)



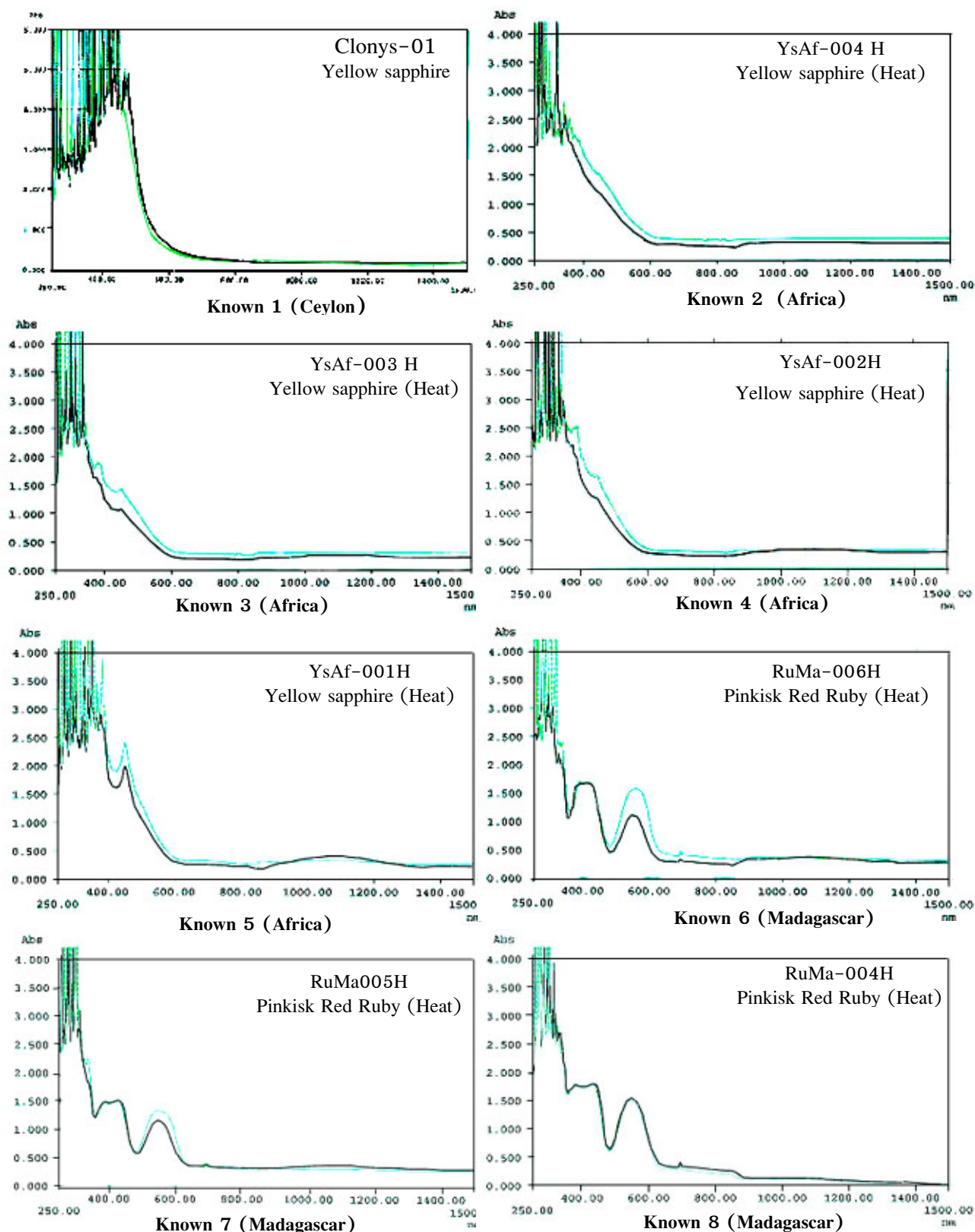
(ก) ลักษณะปรากฏของฟิล์ม



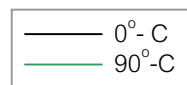
(ข) กลุ่มของผลึกแระเซอร์คอน และมลทินของไหล
รูปร่างคล้ายลายนิ้วมือ(70X)

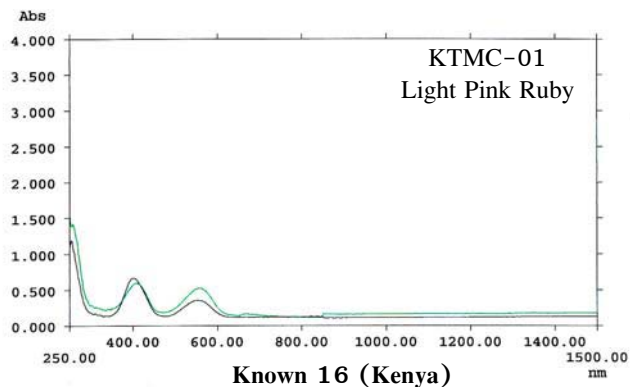
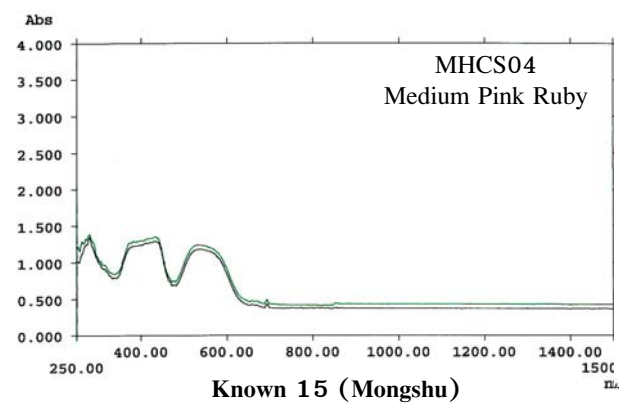
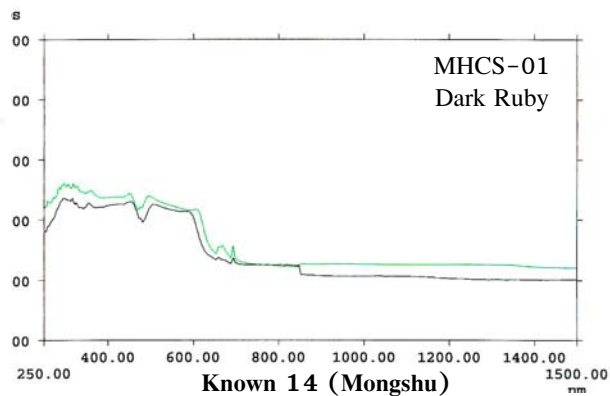
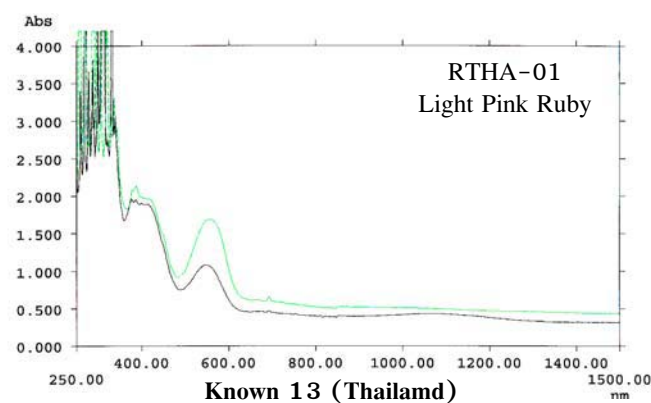
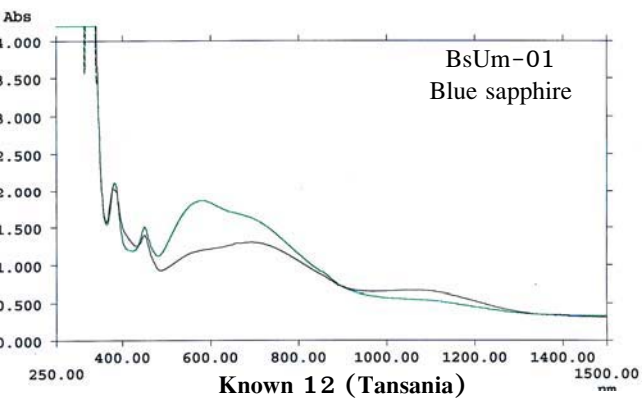
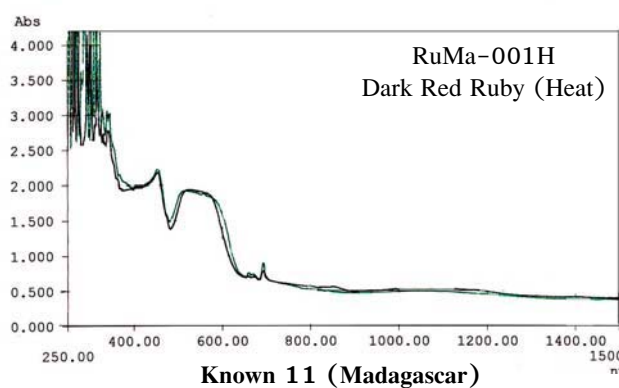
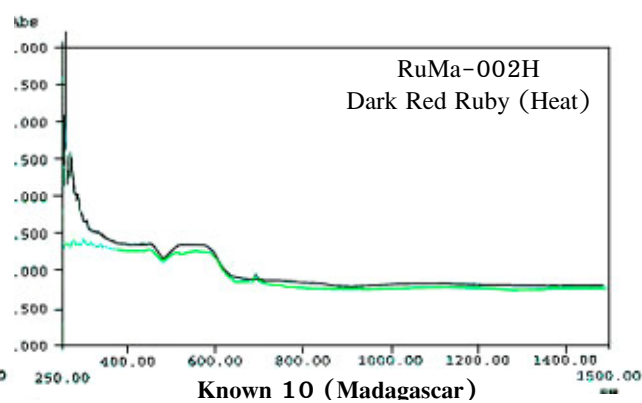
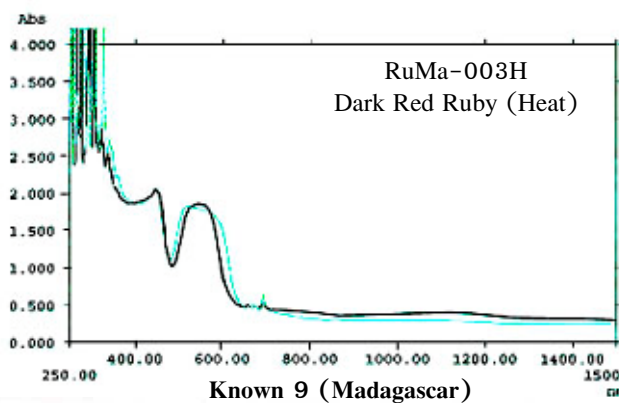
ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.040	0.010	0.000	0.381	0.015	เขมร/ลาว	-ผลวิเคราะห์เคมีคาบเกี่ยว -แหล่งที่มาระบุผิด

แสดงลักษณะสเปกตรัม
การดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR
และลักษณะสเปกตรัมเฉพาะตัวของรังสีอินฟราเรด
ของชุดตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมที่ทราบแหล่งที่มา

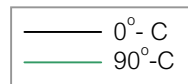


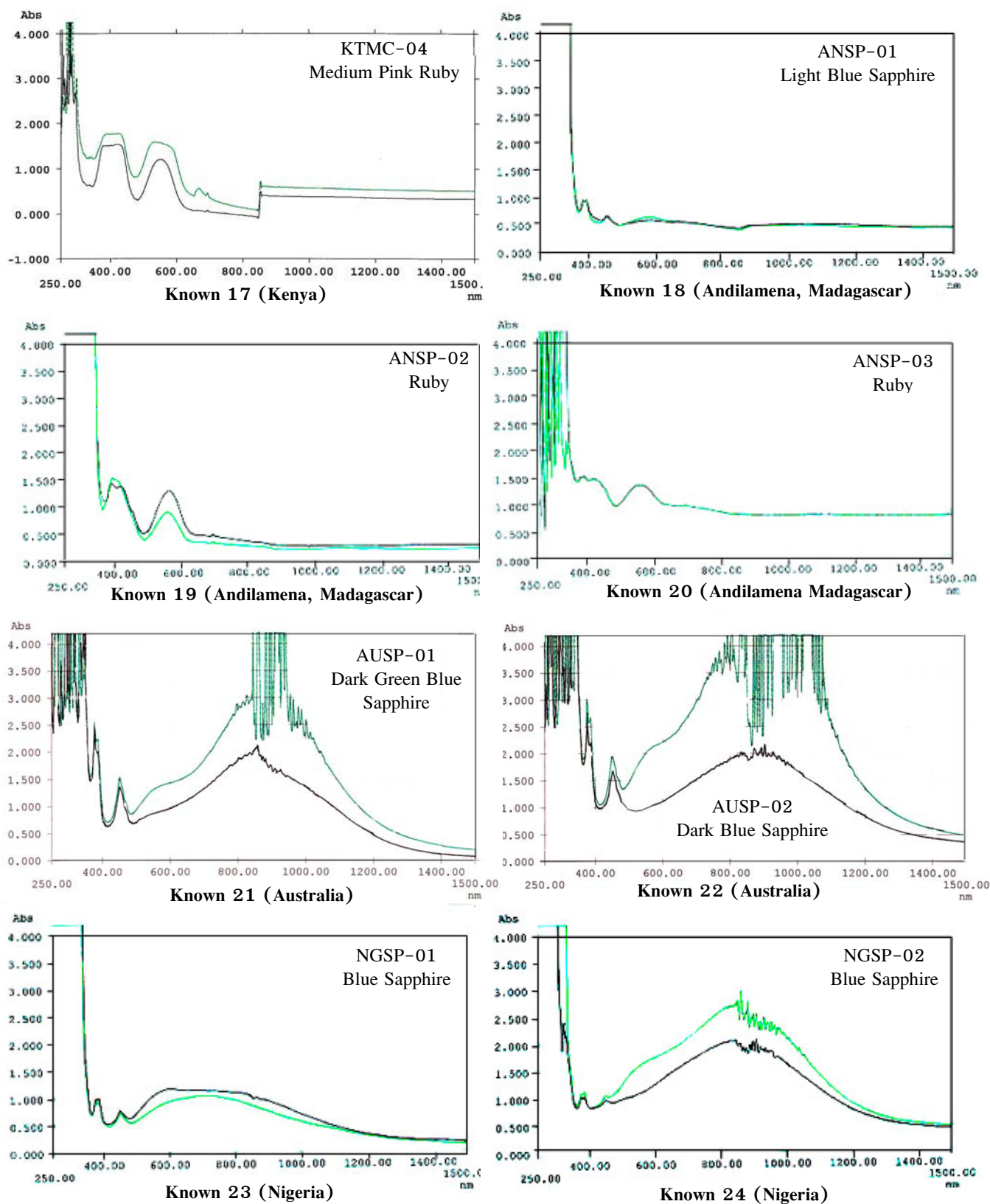
รูปที่ 4.55 ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมที่ทราบแหล่งที่มา จำนวน 8 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 24 ตัวอย่าง





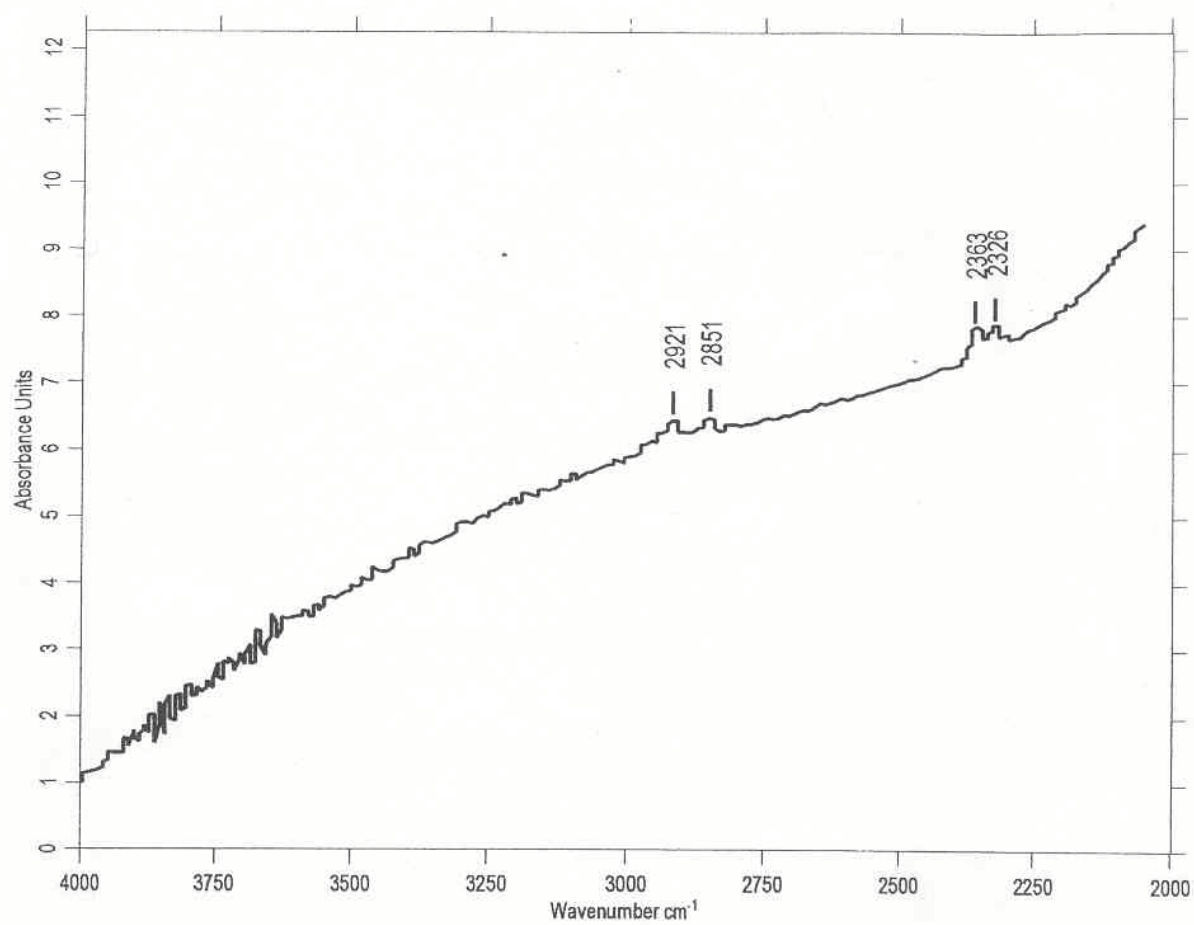
รูปที่ 4.56 ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมที่ทราบแหล่งที่มา จำนวน 8 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 24 ตัวอย่าง





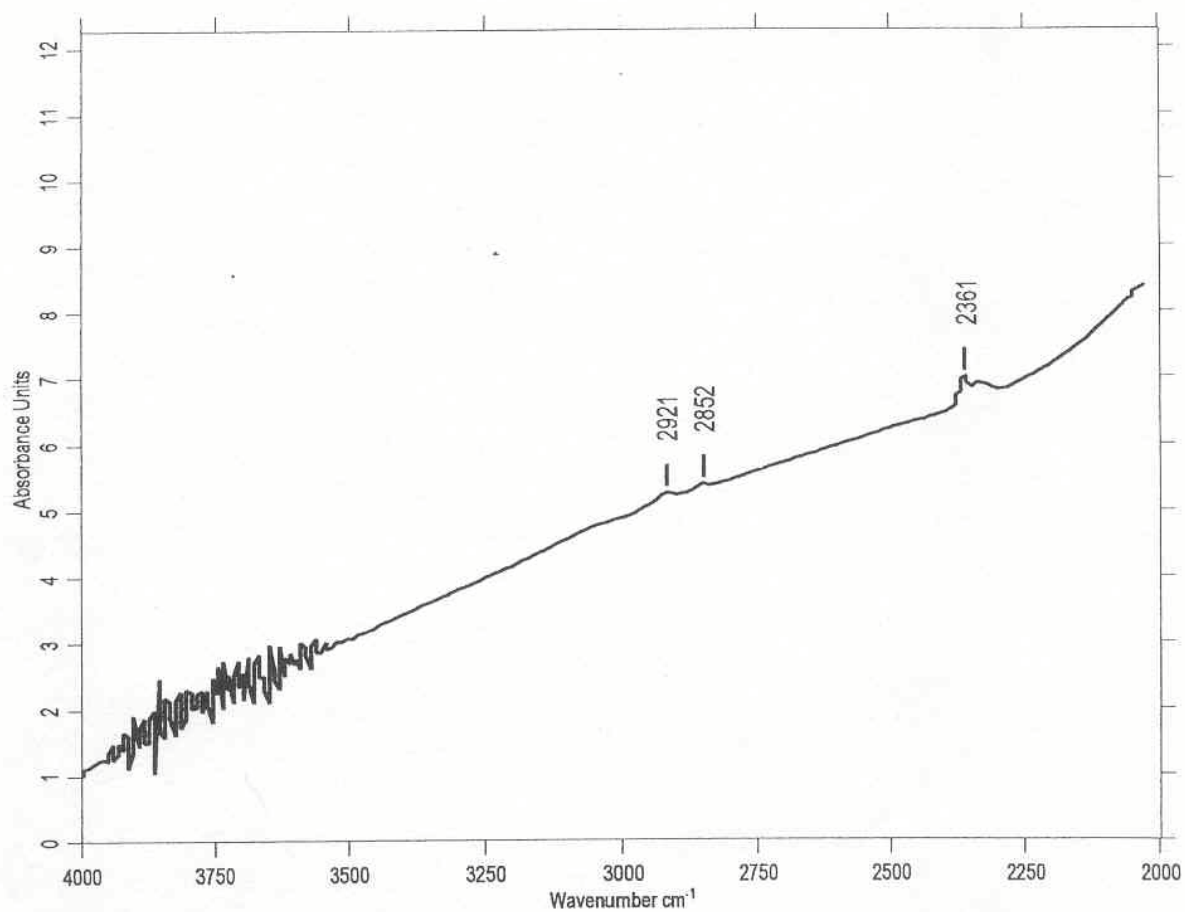
รูปที่ 4.57 ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมที่ทราบแหล่งที่มา จำนวน 8 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 24 ตัวอย่าง

— 0°C
— 90°C



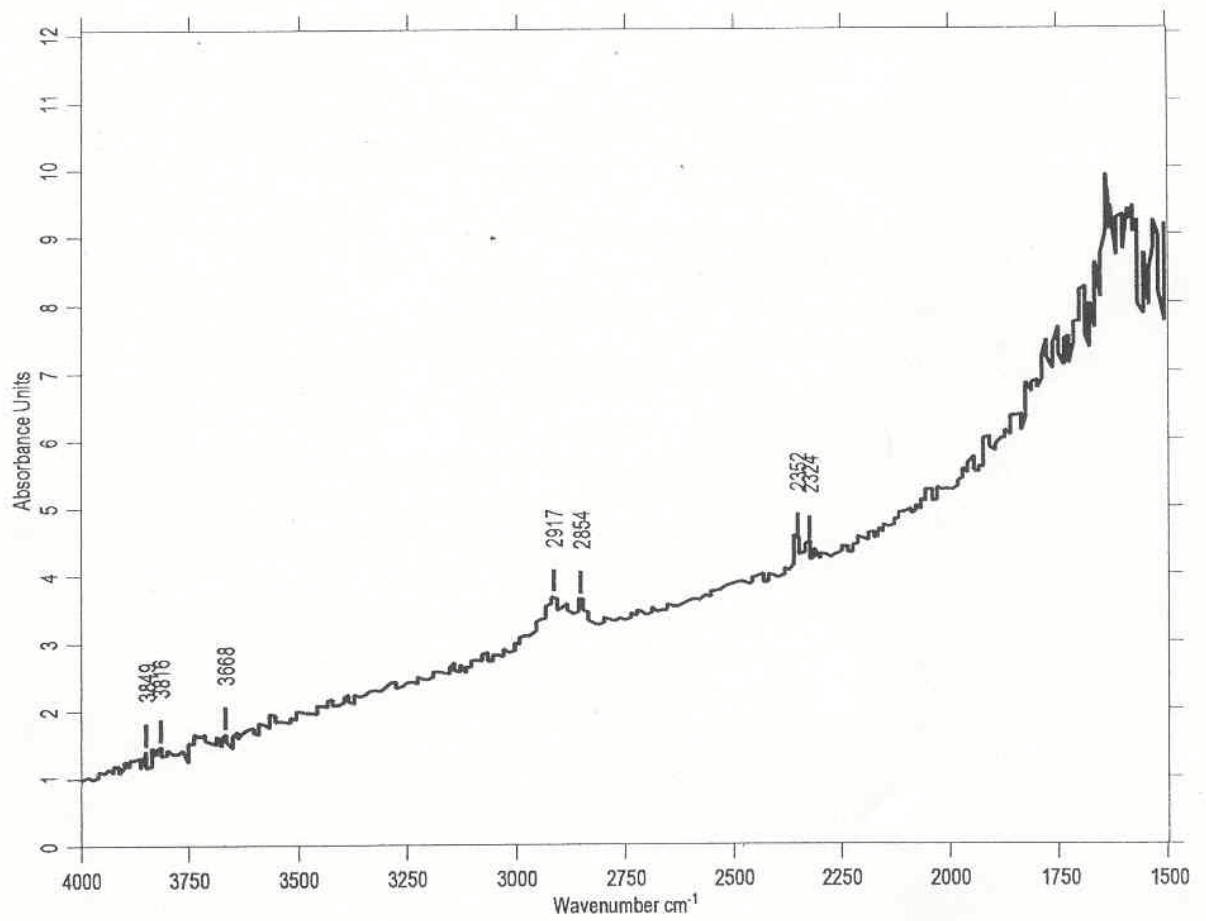
Known sample1 Yellow sapphire Oval mixed cut 5.01 Cts. Sri Lanka

รูปที่ 4.58 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัมจากแหล่งศรีลังกา



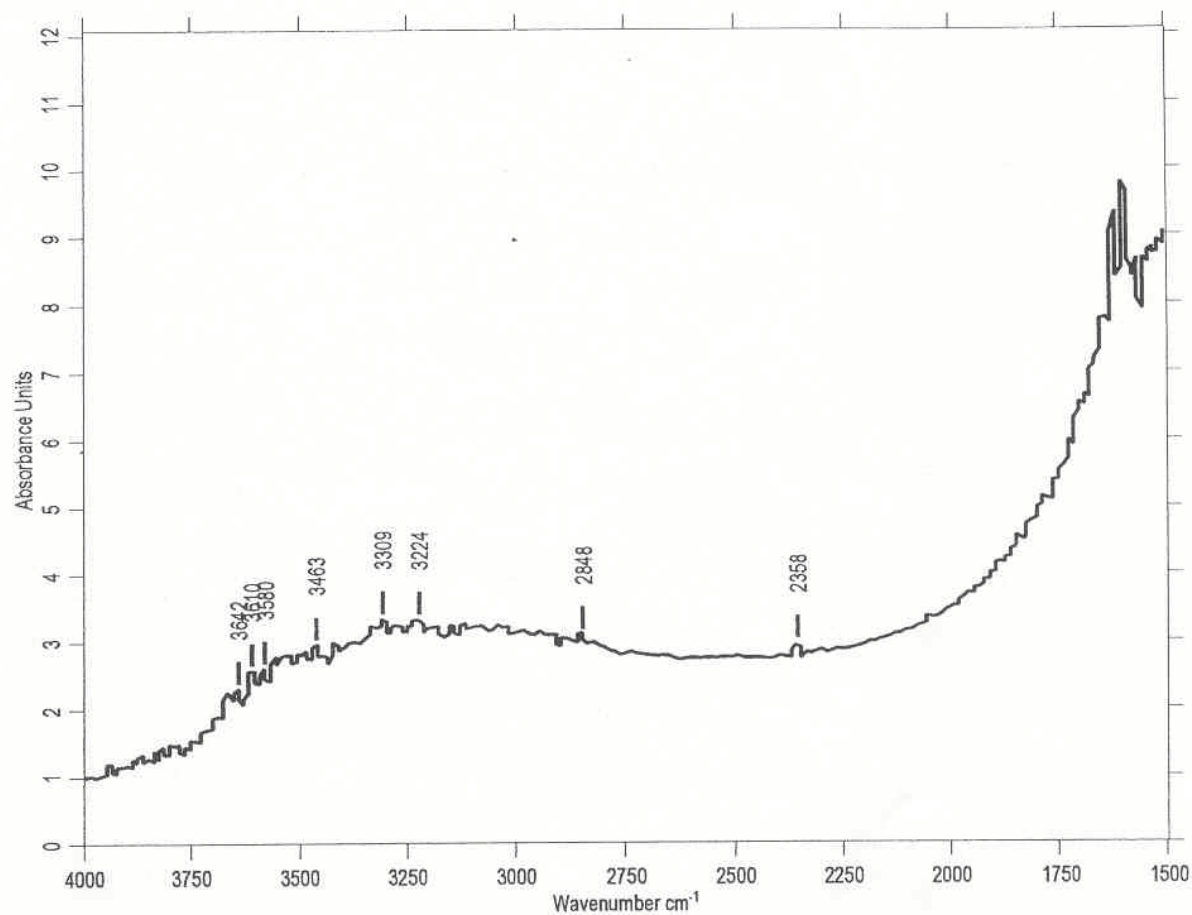
Known sample2 Yellow sapphire Emerald step cut 2.62 Cts. Africa

รูปที่ 4.59 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัมจากแอฟริกา



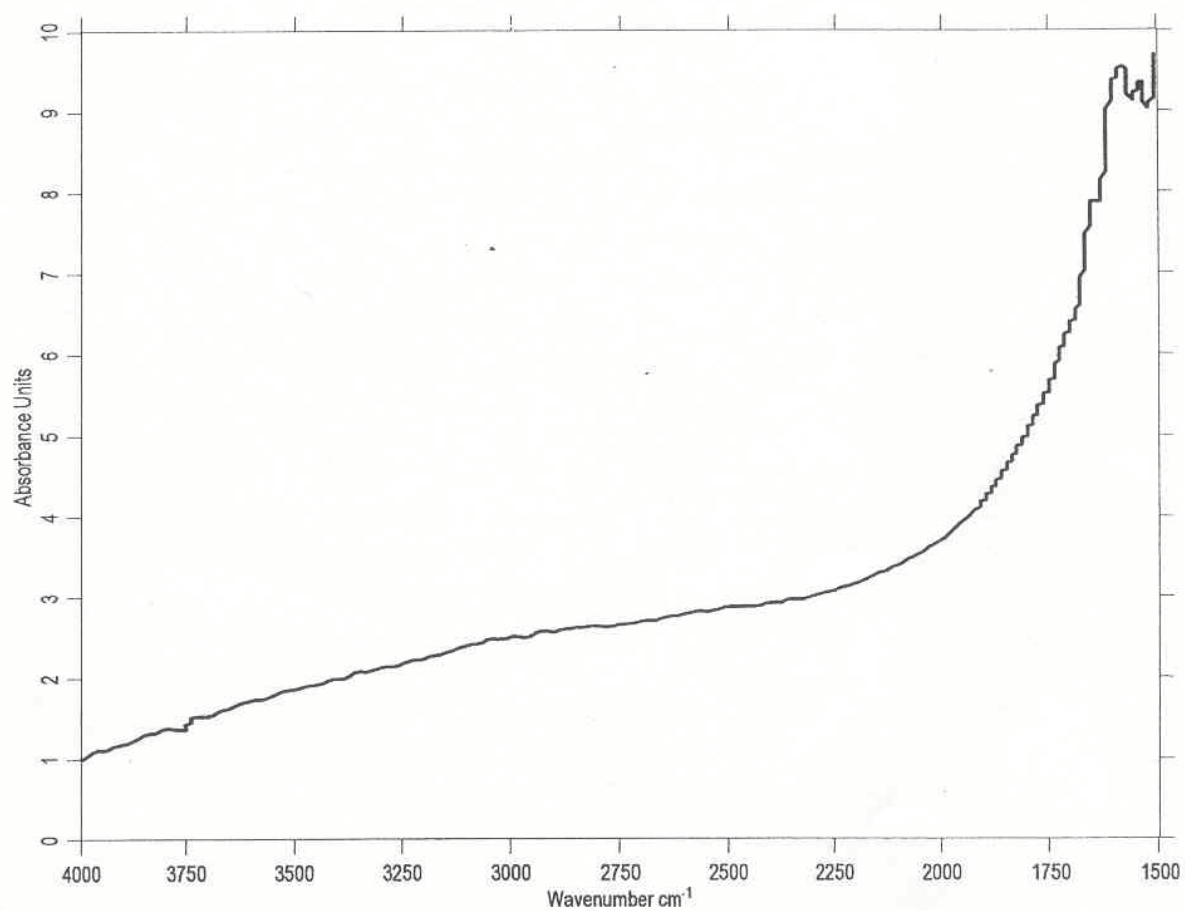
Known sample3 Yellow sapphire Pear mixed cut 2.20 Cts. Africa

รูปที่ 4.60 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัมจากแอฟริกา



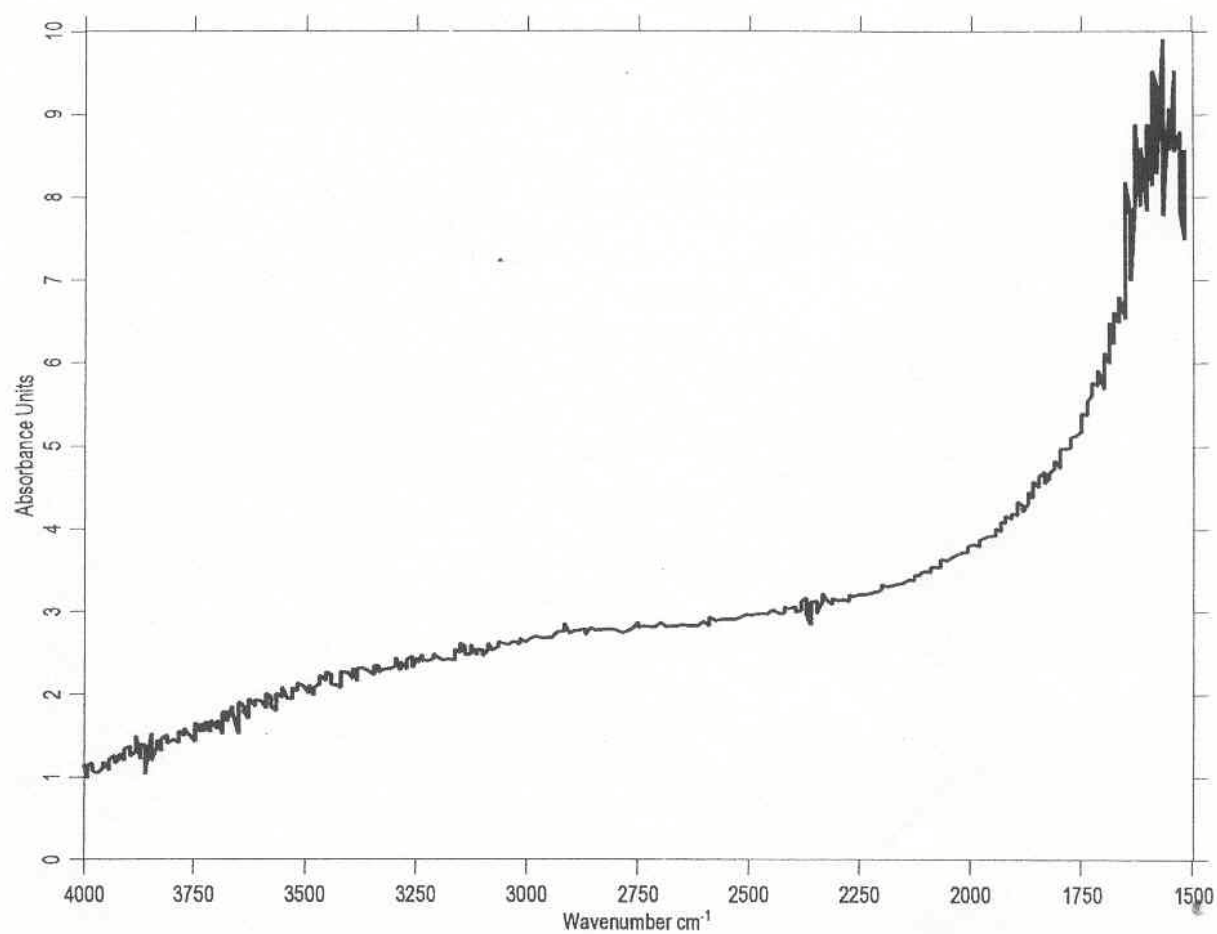
Known sample4 Yellow sapphire Oval mixed cut 2.16 Cts. Africa

รูปที่ 4.61 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัมจากแอฟริกา



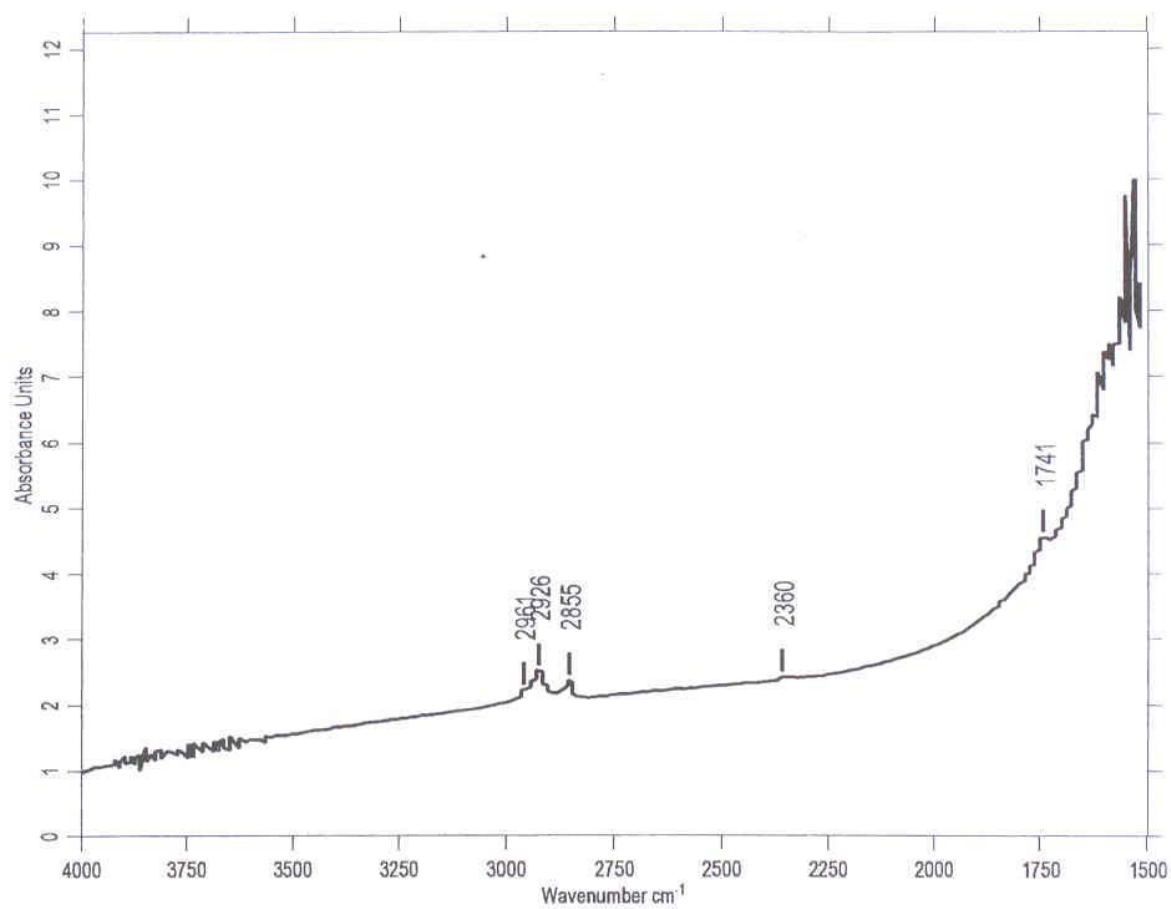
Known sample5 Yellow sapphire Oval mixed cut 2.21 Cts. Africa

รูปที่ 4.62 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัมจากแอฟริกา



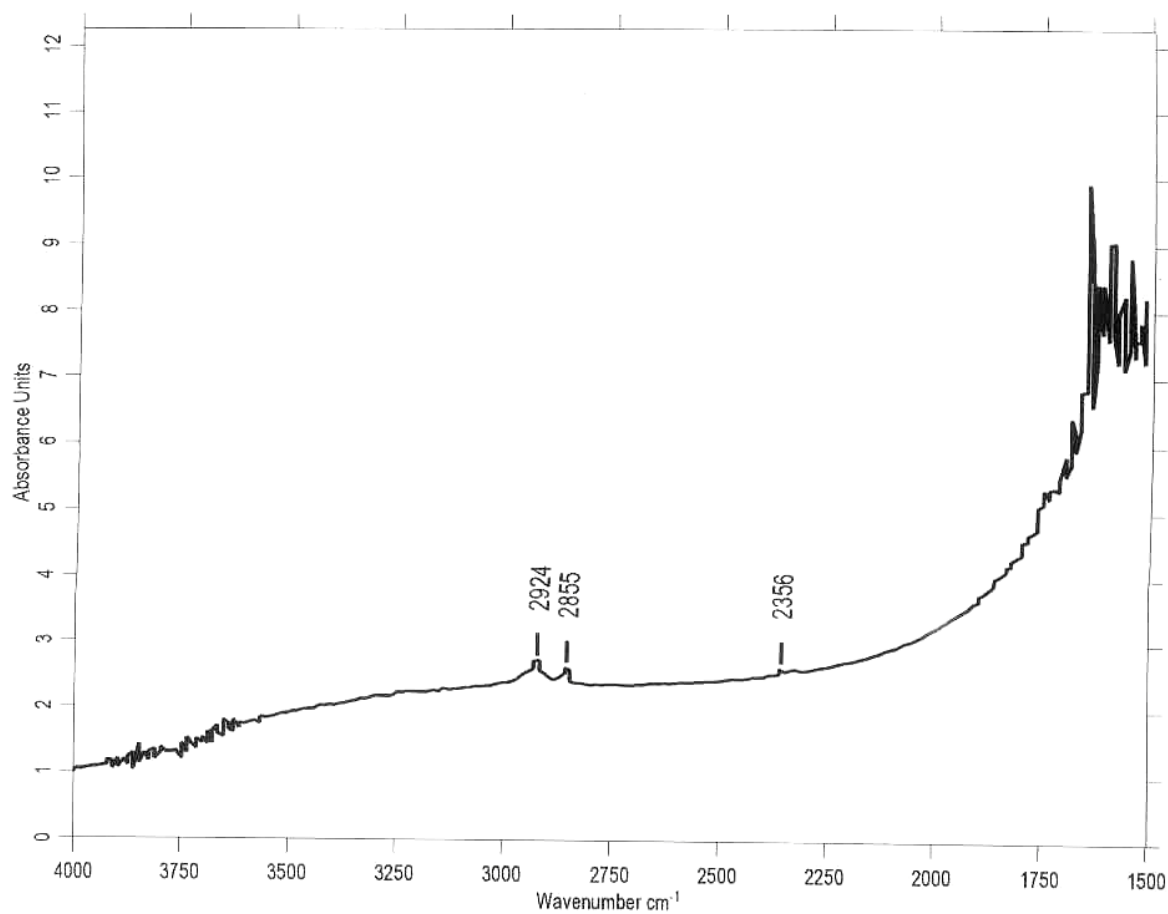
Known sample6 Ruby Round brilliance cut 0.98 Cts. Tamatave Madagascar

รูปที่ 4.63 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งตามาตาฟ
ประเทศมาดากัสการ์



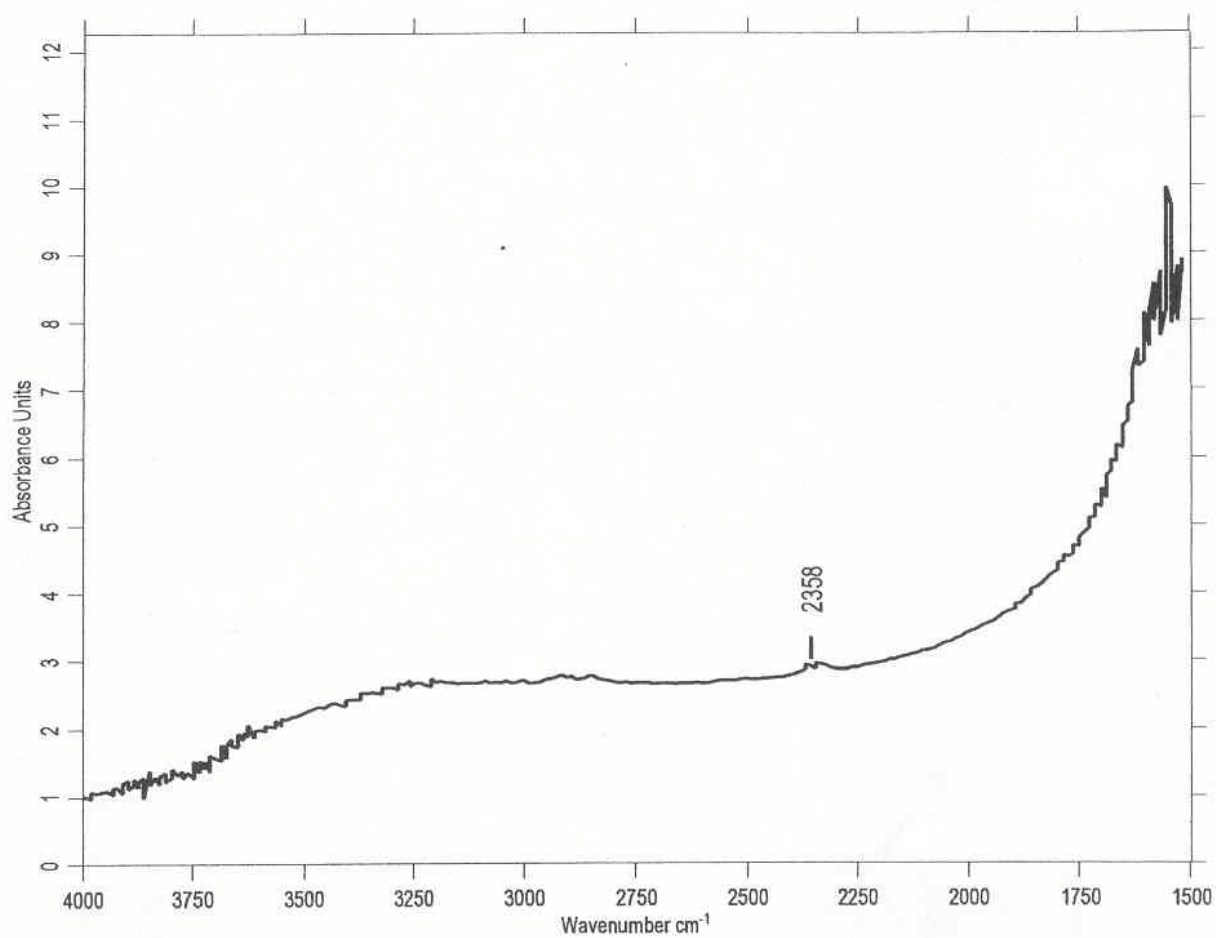
Known sample7 Ruby Oval mixed cut 1.51 Cts. Tamatave Madagascar

รูปที่ 4.64 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์



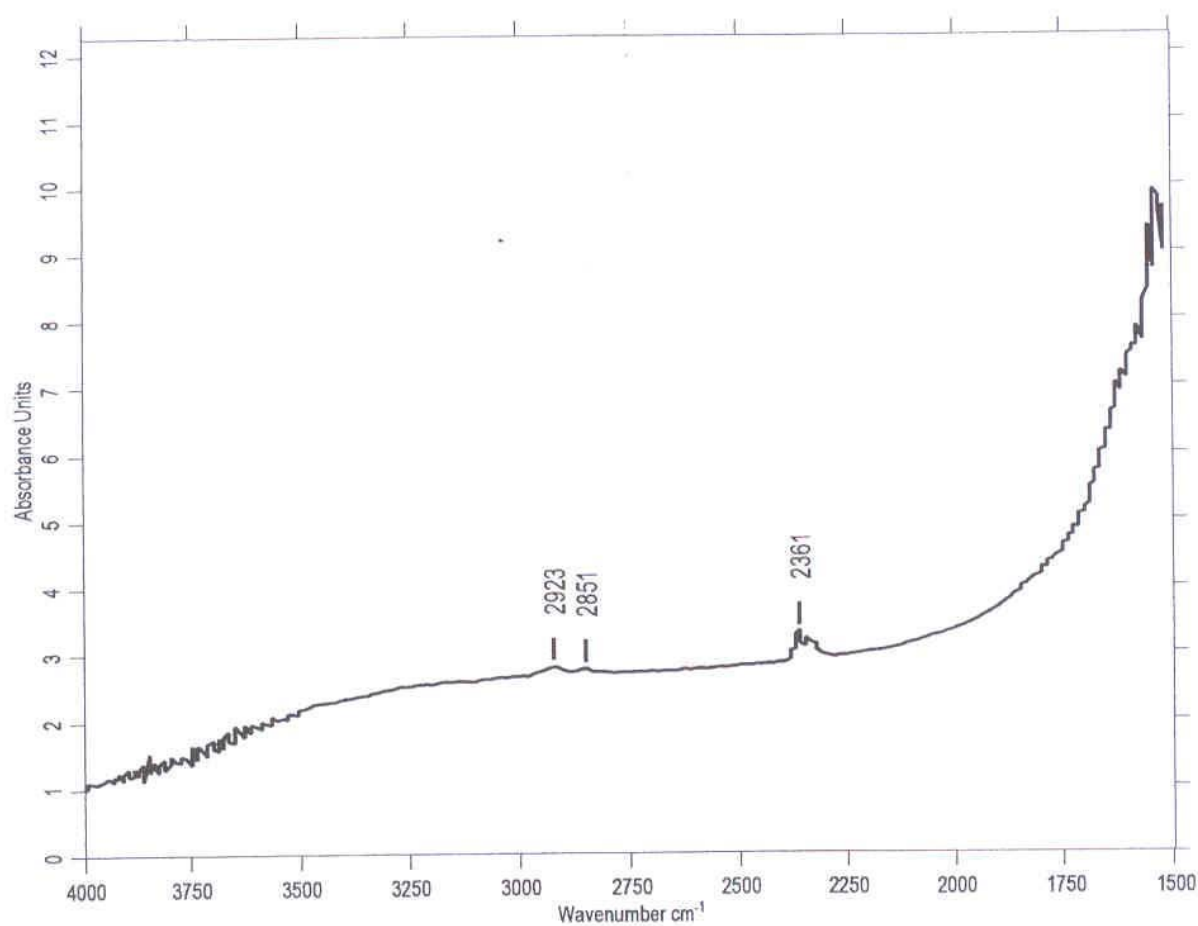
Known sample8 Ruby Cushion mixed cut 1.96 Cts. Tamatave Madagascar

รูปที่ 4.65 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์



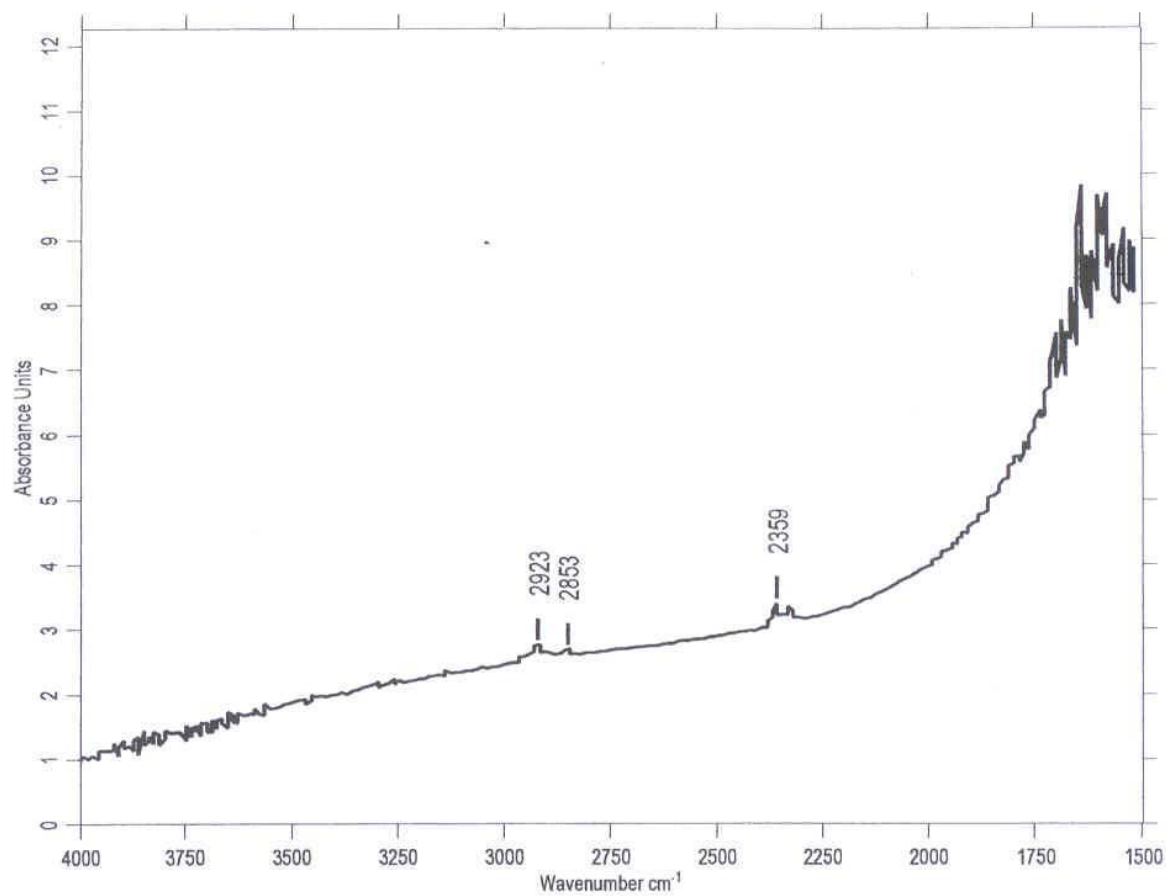
Known sample9 Ruby Round brilliance cut 0.93 Cts. Tamatave Madagascar

รูปที่ 4.66 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์



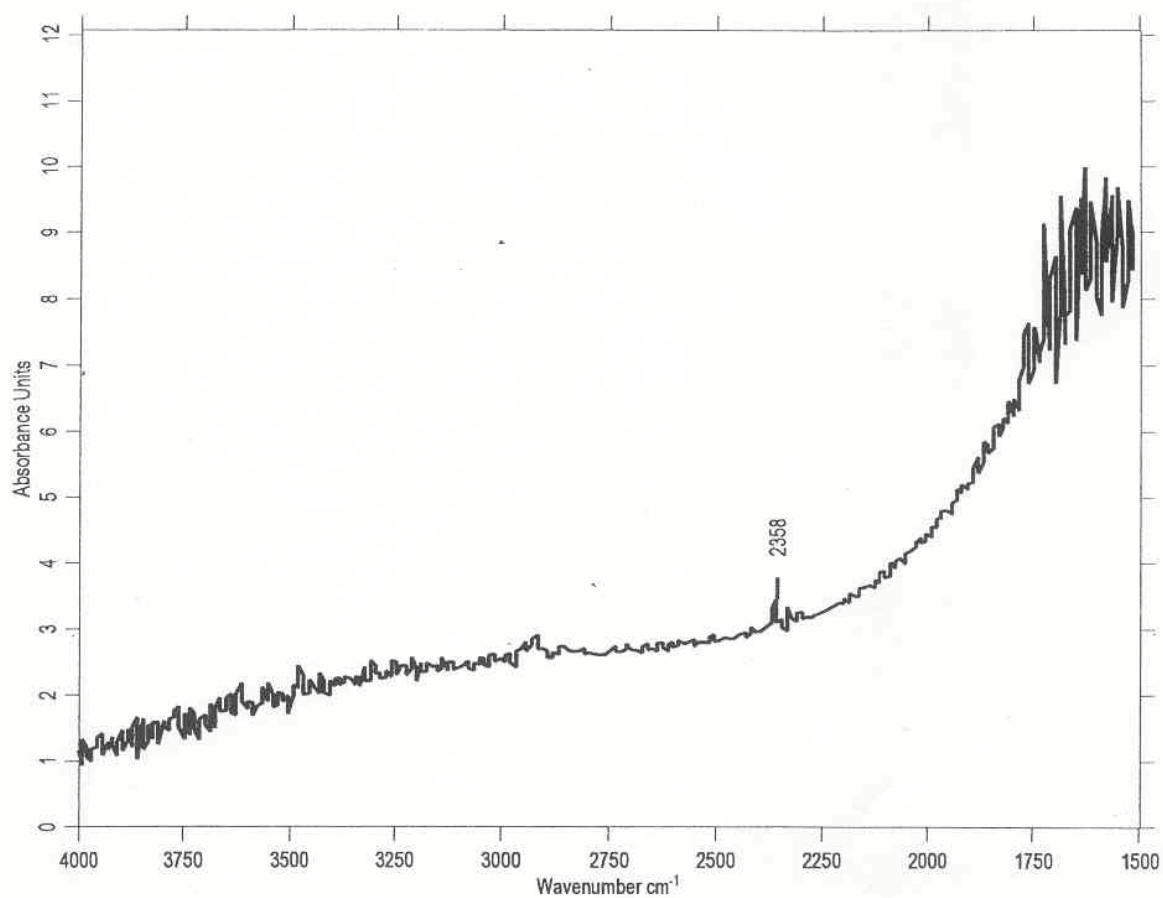
Known sample10 Ruby Oval mixed cut 1.30 Cts. Tamatave Madagascar

รูปที่ 4.67 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์



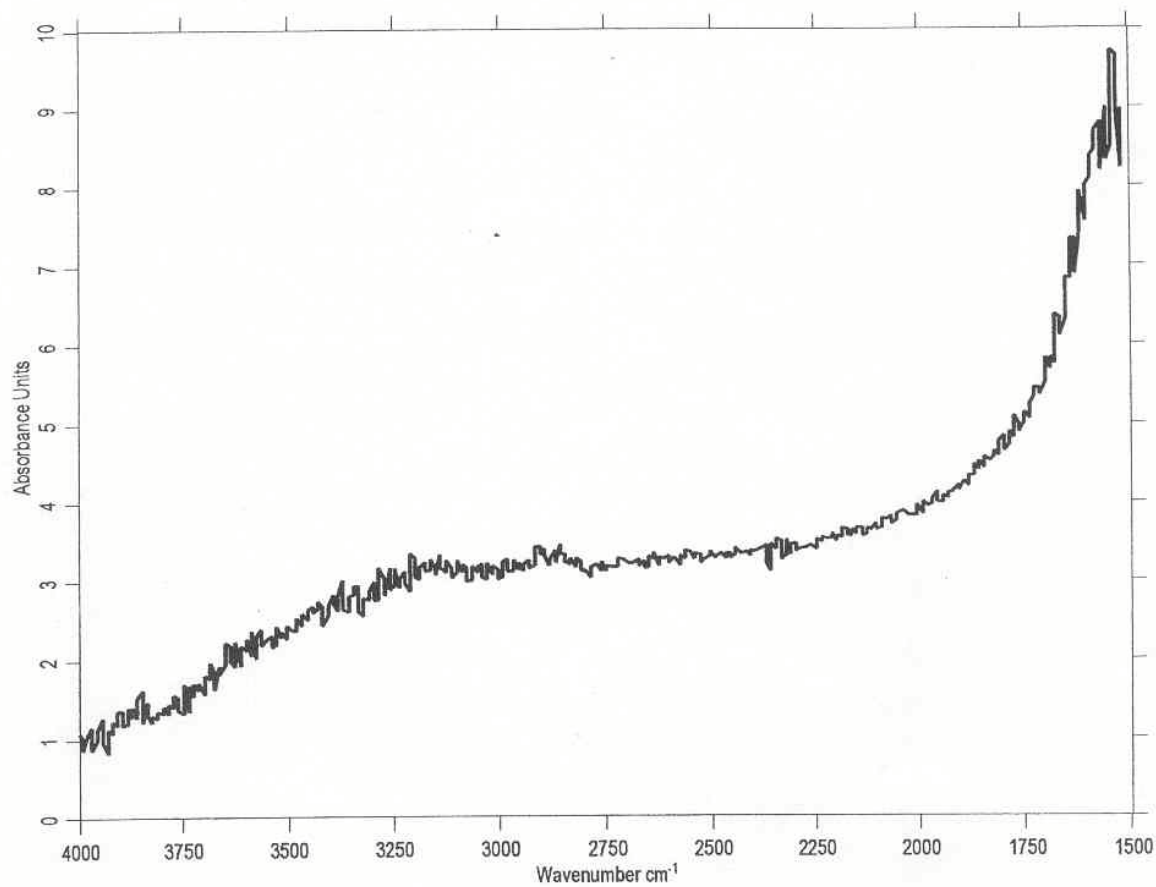
Known sample11 Ruby Cushion mixed cut 2.02 Cts. Tamatave Madagascar

รูปที่ 4.68 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์



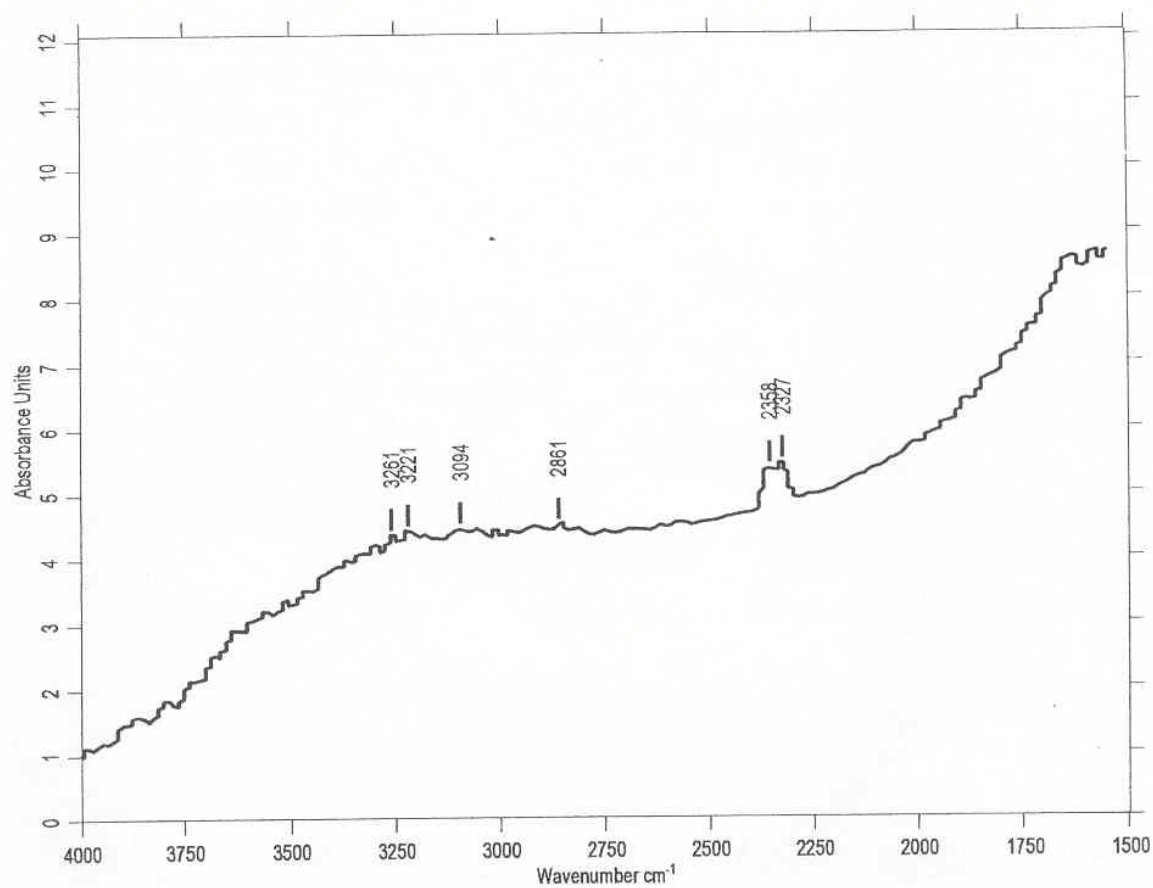
Known sample12 Blue sapphire Pear mixed cut 11.99 Cts. UMBA TANZANIA

รูปที่ 4.69 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของฟิล์มจากแหล่งอุมา
ประเทศแทนซาเนีย



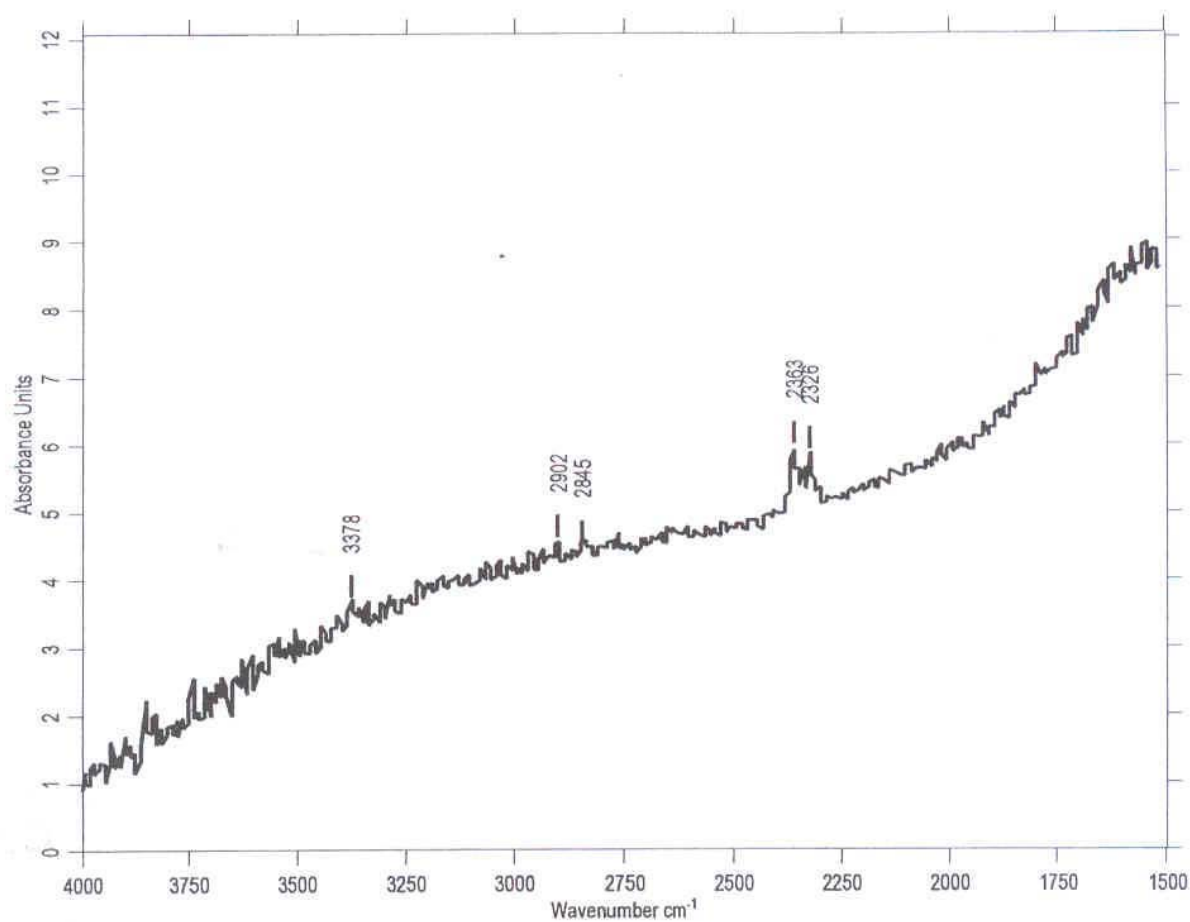
Known sample13 Ruby Oval mixed cut 0.46 Cts. Thai

รูปที่ 4.70 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งจันทบุรี-ตราด



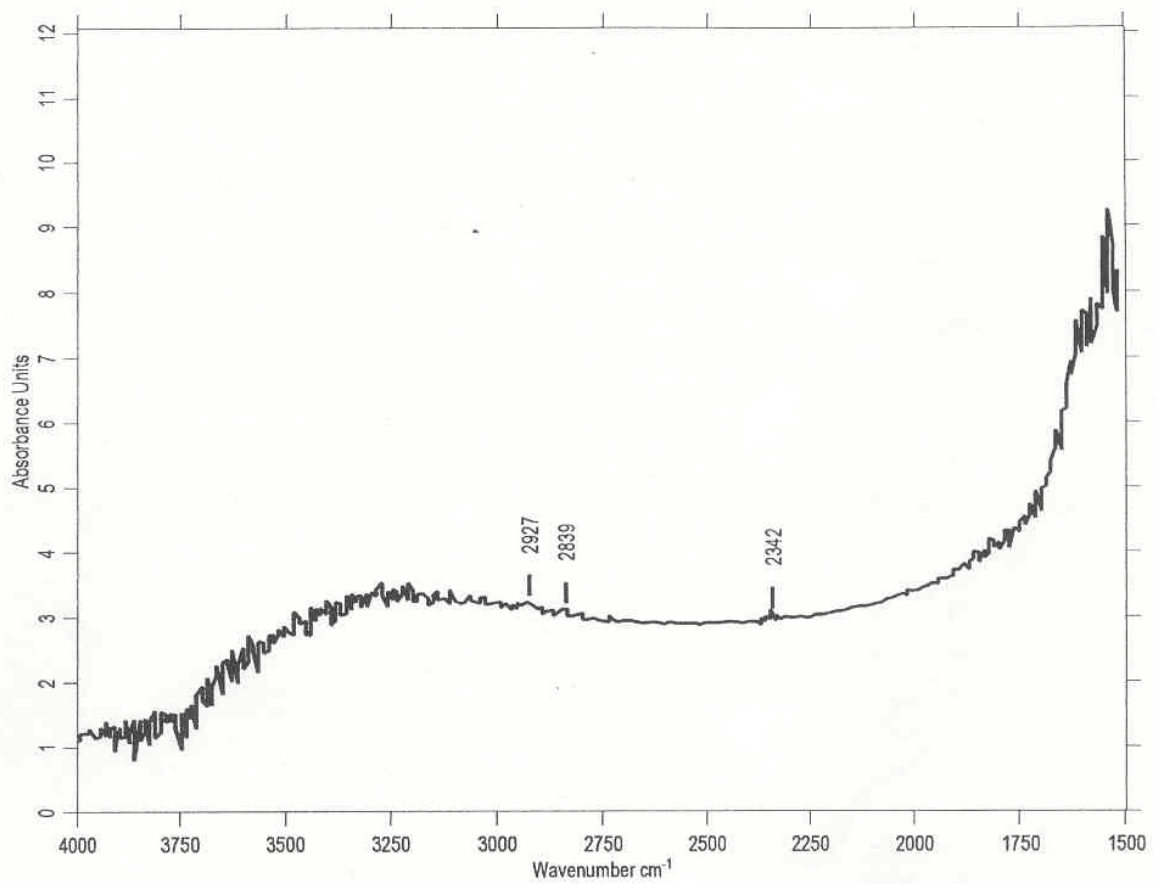
Known sample14 Ruby Oval mixed cut 0.80 Cts. Mongshu

รูปที่ 4.71 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งมอญ
ประเทศพม่า



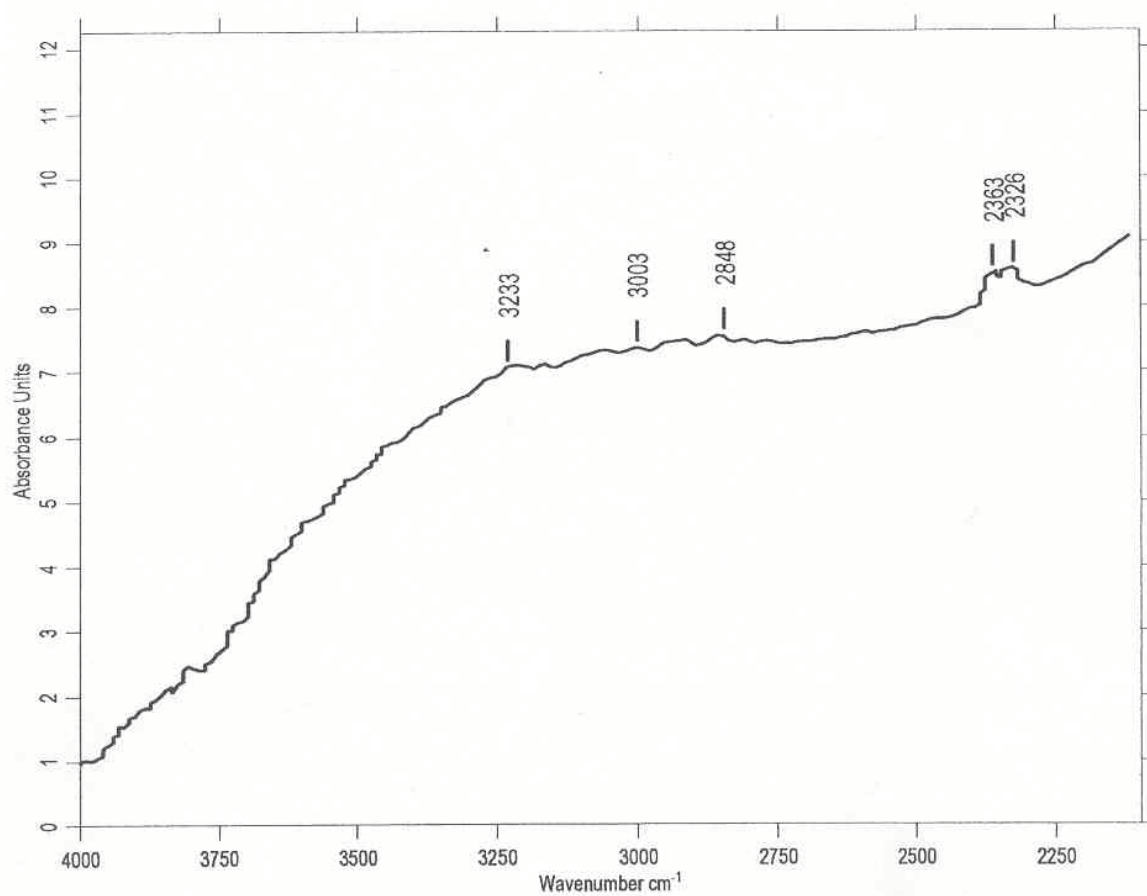
Known sample15 Ruby Oval mixed cut 0.40 Cts. Mongshu

รูปที่ 4.72 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งมอญ
ประเทศพม่า



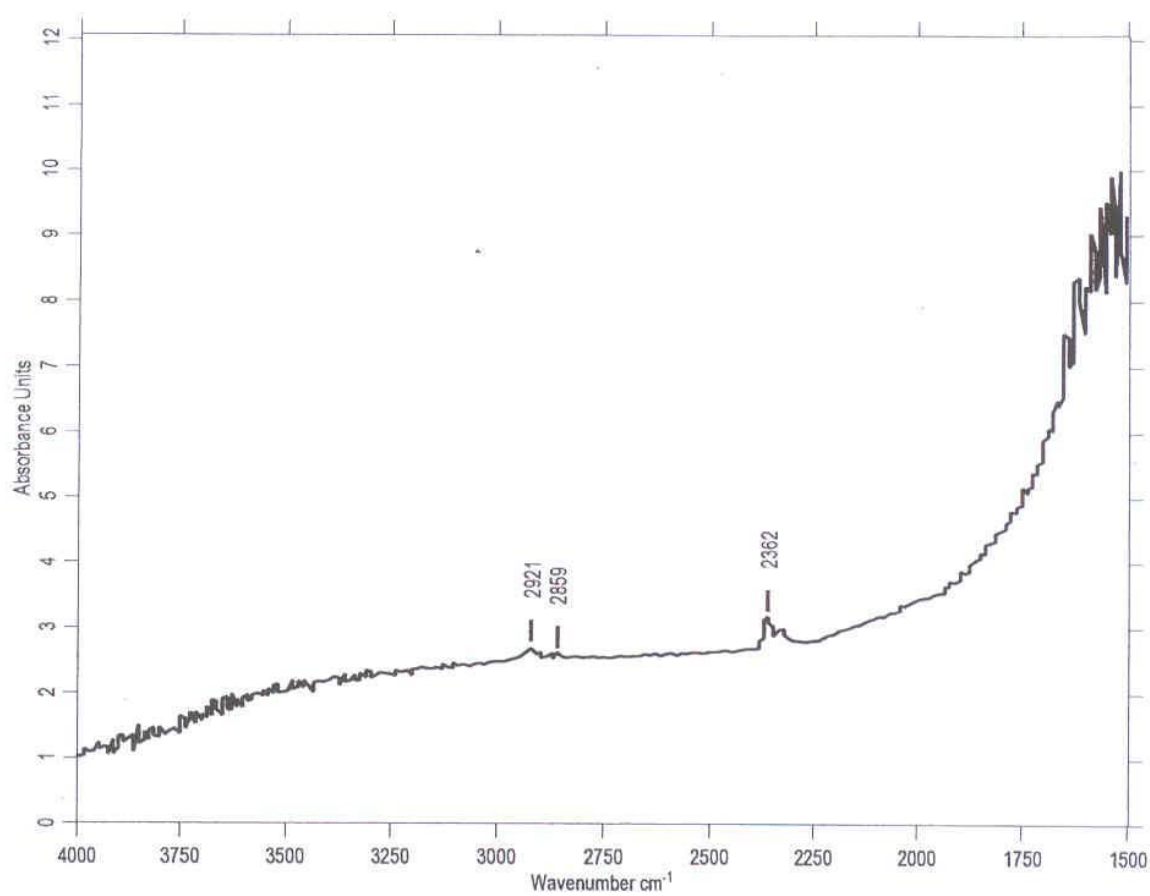
Known sample16 Ruby Oval mixed cut 0.70 Cts. Tanzania

รูปที่ 4.73 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งประเทศแทนซาเนีย



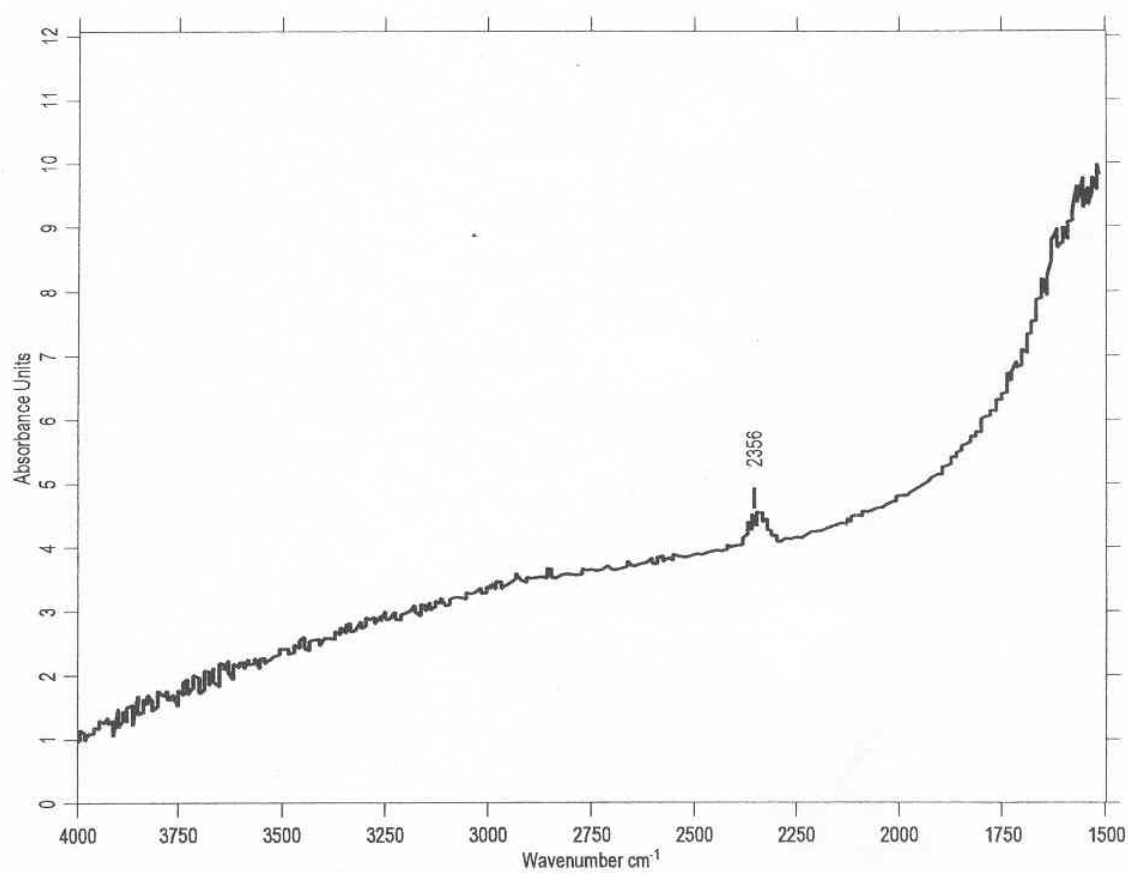
Known sample17 Ruby Oval mixed cut 0.81 Cts. Tanzania

รูปที่ 4.74 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิมจากแหล่งประเทศแทนซาเนีย



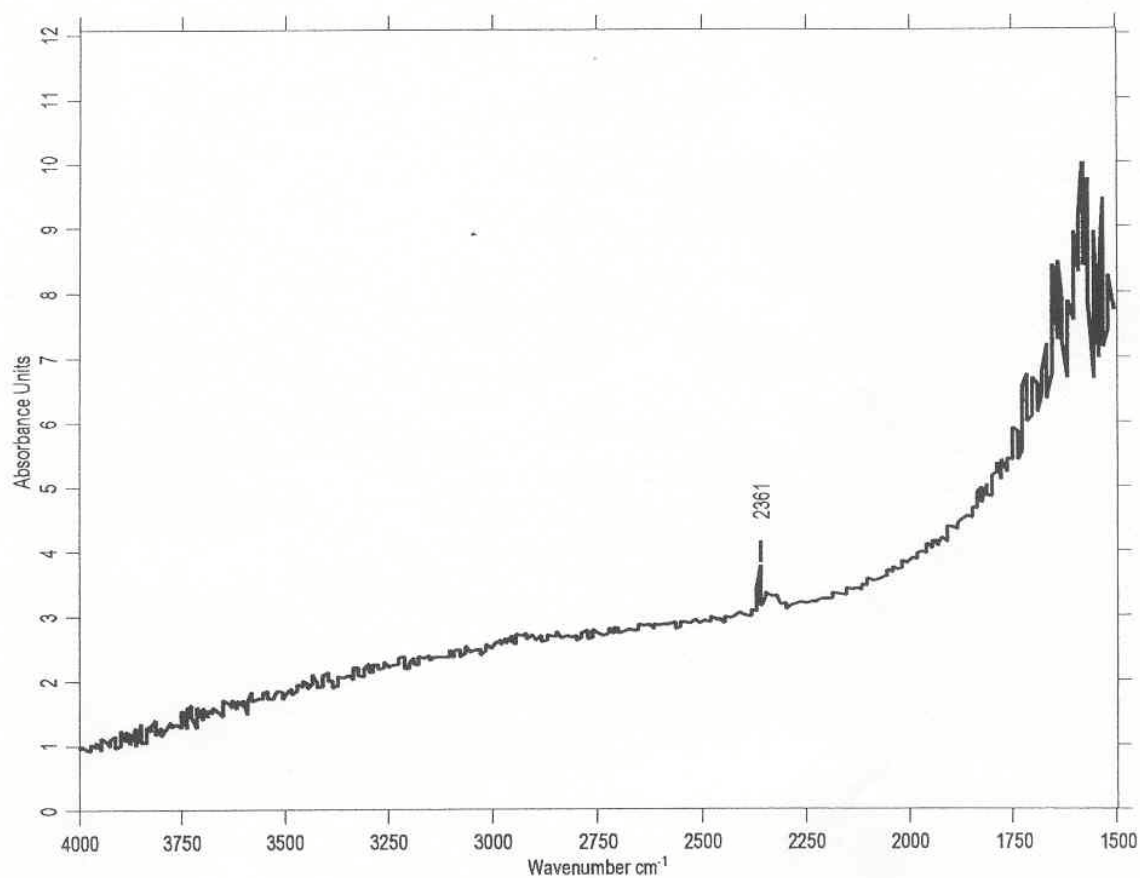
Known sample18 Blue sapphire Oval mixed cut 1.61 Cts. Andilamena Madagascar

รูปที่ 4.75 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไฟล์นจากแหล่งแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์



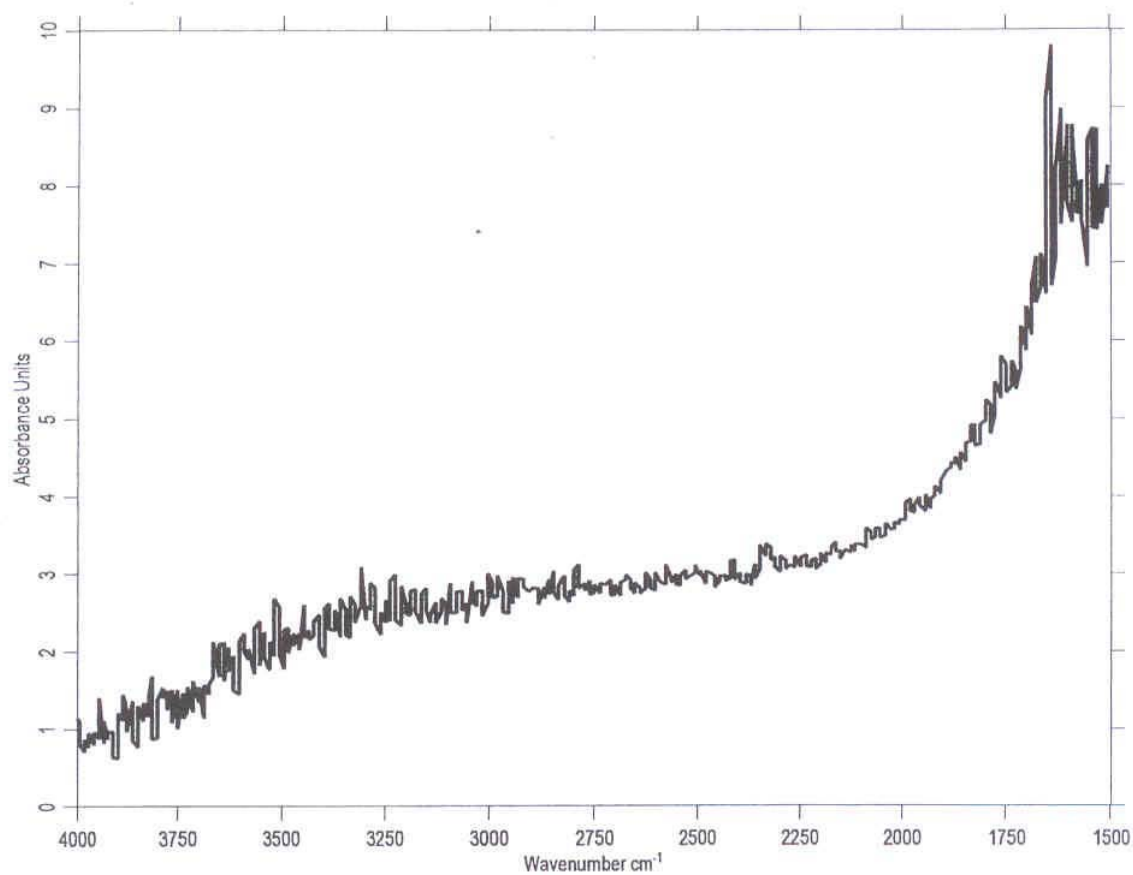
Known sample19 Pink sapphire Oval mixed cut 0.69 Cts. Andilamena Madagascar

รูปที่ 4.76 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของแซฟไฟร์สีชมพูจากแหล่งแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์



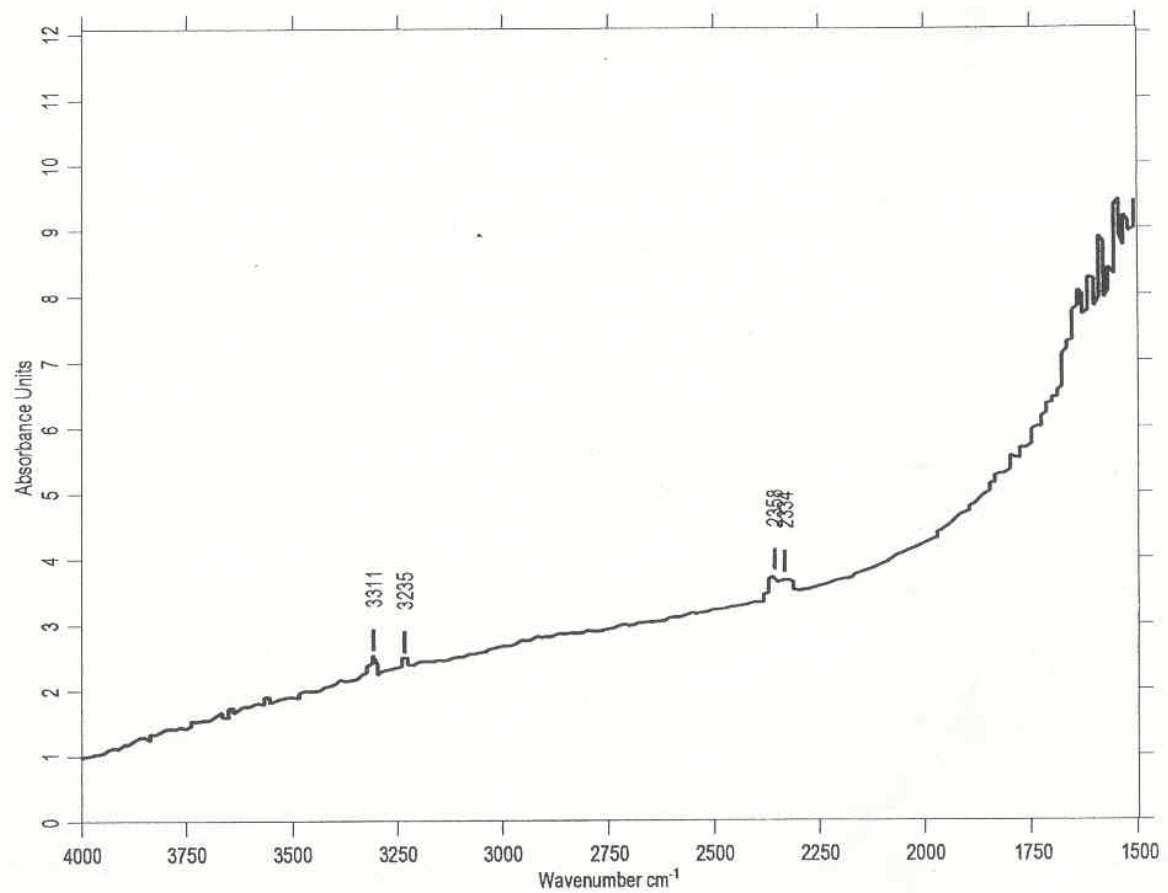
Known sample20 Pink sapphire Oval mixed cut 1.41 Cts. Andilamena Madagascar

รูปที่ 4.77 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของแซปไฟร์สีชมพูจากแหล่งแอนดิลามิना ประเทศมาดากัสการ์



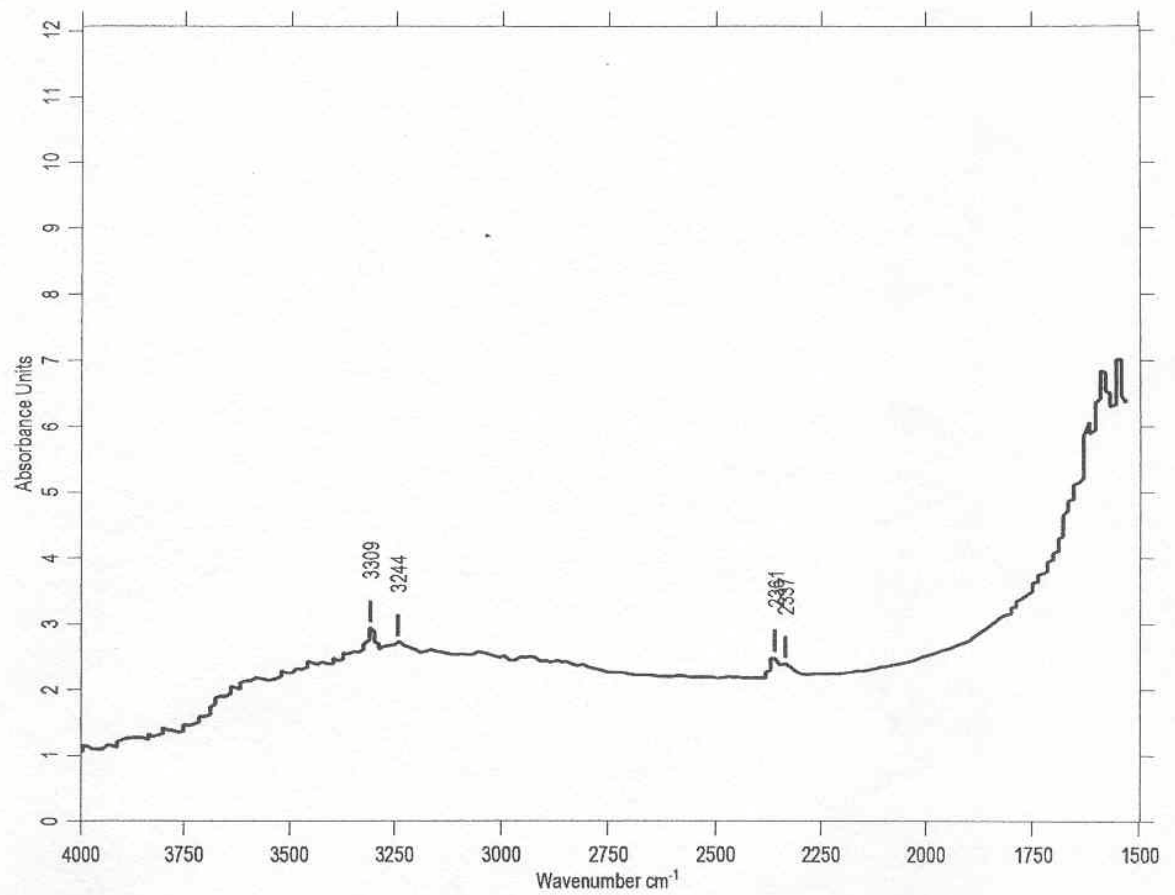
Known sample21 Blue sapphire Oval mixed cut 0.92 Cts. Australia

รูปที่ 4.78 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลินจากแหล่งประเทศออสเตรเลีย



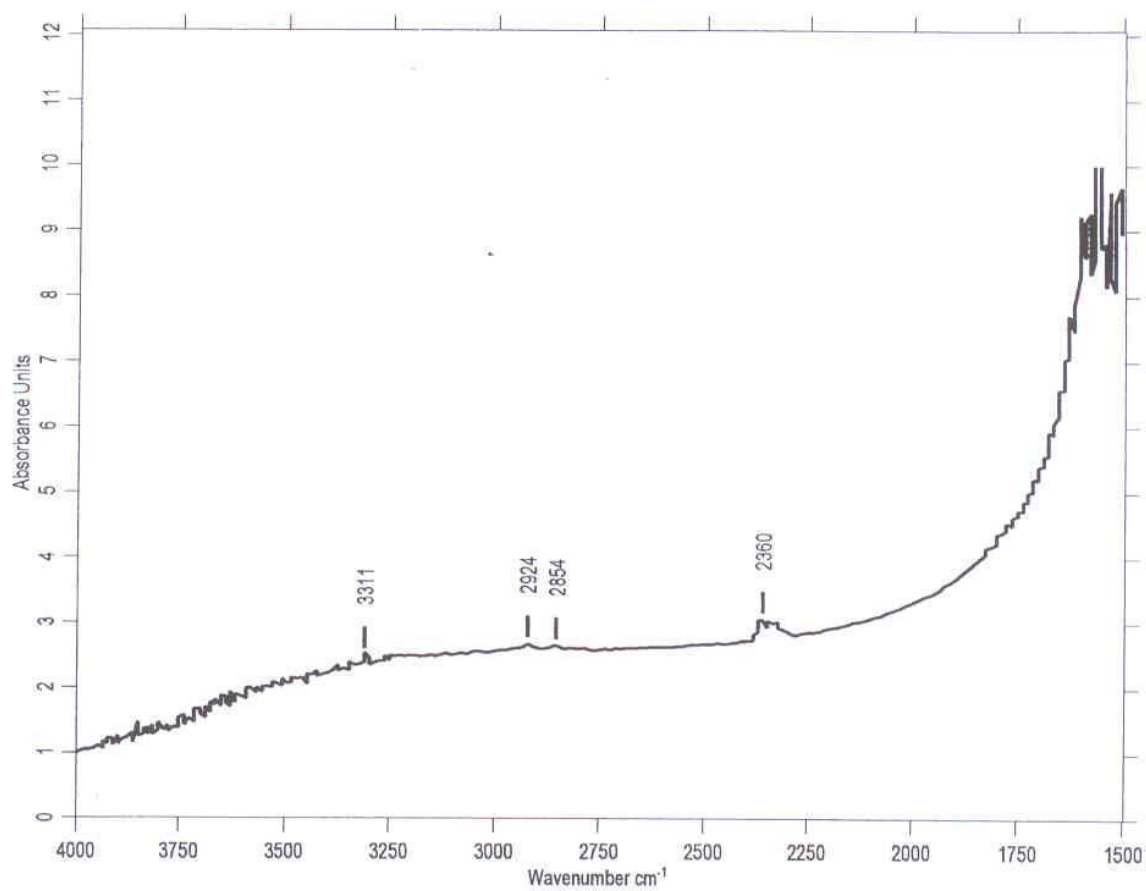
Known sample22 Blue sapphire Oval mixed cut 0.96 Cts. Australia

รูปที่ 4.79 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลินจากแหล่งประเทศออสเตรเลีย



Known sample23 Blue sapphire Oval mixed cut 0.90 Cts. Nigeria

รูปที่ 4.80 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลินจากแหล่งประเทศไนจีเรีย



Known sample24 Blue sapphire Oval mixed cut 0.80 Cts. Nigeria

รูปที่ 4.81 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลินจากแหล่งประเทศไนจีเรีย

4.7 การทดสอบตัวอย่างกับชุดผลวิเคราะห์ต้นแบบ โดยใช้ตัวอย่างพลอยคอรันด์

จากแหล่งที่ไม่ทราบที่มา (Unknown sample test)

1. ตัวอย่างบุษราคัมสีเหลืองอ่อน น้ำหนัก 2.67 กะรัต (BGYS-002)



(ก) ลักษณะปรากฏของบุษราคัม



(ข) มลทินอนุภาคเล็ก ๆ ปลายฝุ่น

ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.017	0.009	0.000	0.031	0.005	ไม่เข้ากับแหล่งใด	- ขาดข้อมูลครีลังกา - มลทิน และสเปคตรัมเป็นครีลังกา

2. ตัวอย่างบุษราคัม สีเหลืองอ่อน น้ำหนัก 5.12 กะรัต (BGYS-003)



(ก) ลักษณะปรากฏของบุษราคัม



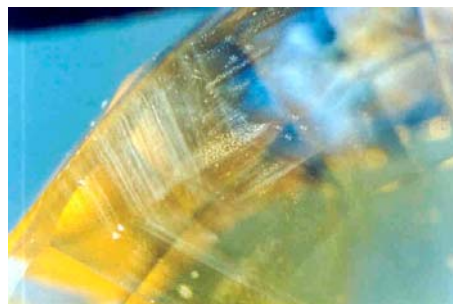
(ข) รอยแตกที่ถูกละลายด้วยของไหล รูปร่างคล้ายลายนิ้วมือ

ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.015	0.011	0.000	0.044	0.007	ไม่เข้ากับแหล่งใด	- ขาดข้อมูลครีลังกา - มลทิน และสเปคตรัมเป็นครีลังกา

3.บุษราคัมสีเหลือง น้ำหนัก 2.62 กะรัต (BGYS-004)



(ก) ลักษณะปรากฏของบุษราคัม



(ข) แดบสีที่มีผลึกคล้ายเข็มเล็ก ๆ และผลึกเข็มปุยเรียงตัวตัดกัน (30X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.021	0.014	0.000	0.023	0.007	ไม่เข้ากับแหล่งใด	- ขาดข้อมูลศรีลังกา - มลทิน และสเปคตรัมเป็นศรีลังกา

4.ไพลินสีน้ำเงิน น้ำหนัก 2.13 กะรัต (BS-44019)



(ก) ลักษณะปรากฏทั่วไปของไพลิน



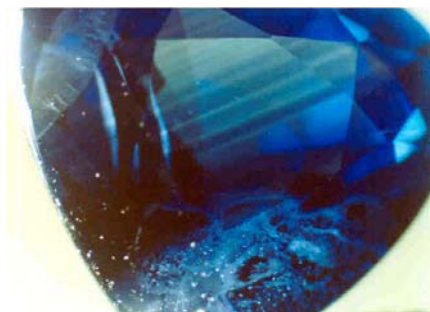
(ข) มลทินอนุภาคเล็ก ๆ คล้ายฝุ่นกระจายอยู่ตามแถบสี (20X)

ปริมาณธาตุร่องรอย(%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.027	0.012	0.000	0.471	0.014	กาญจนบุรี/แพร่	- ผลวิเคราะห์เคมีคาบเกี่ยว - มลทินเข้าแหล่งกาญจนบุรี

5. โพลินสีน้ำเงินเข้ม น้ำหนัก 1.58 กะรัต (BSAF-4401)



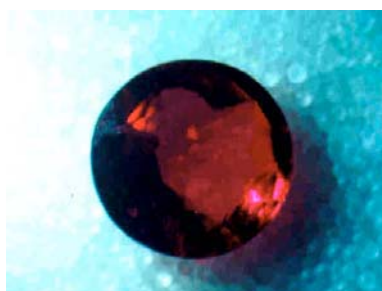
(ก) ลักษณะปรากฏของโพลิน



(ข) แลปสี มลทินของไหลคล้ายขนนก ปลายนิ้วมือ (22X)

ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.020	0.013	0.000	0.367	0.006	อุมบา/ลาว	- ผลวิเคราะห์เคมีคาบเกี่ยว - มลทินเข้าแหล่งอุมบา

6. ทับทิมสีแดงอมม่วง น้ำหนัก 1.01 กะรัต (R-44022)



(ก) ลักษณะปรากฏ ของทับทิม



(ข) รอยแตกที่ถูกสมานด้วยของไหล
ผลึกเข็มยาวของแร่เบอห์ไมต์ (40X)

ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.019	0.013	0.276	0.270	0.007	ตามาตาฟ	เข้ากับผลวิเคราะห์

7.ทับทิมสีแดงอมชมพู น้ำหนัก 1.61 กะรัต (R-44027)



(ก) ลักษณะปรากฏของทับทิม



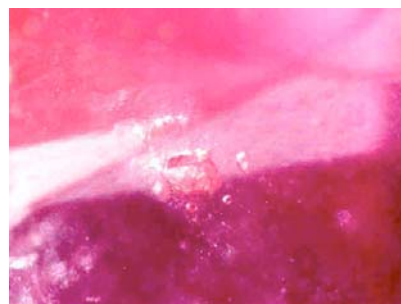
(ข) มลทินอนุภาคเล็กๆ คล้ายฝุ่นกระจายเป็นกลุ่ม และผลึกเข็มยาวของแร่เบอห์ไมต์ (20X)

ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.034	0.022	0.060	0.016	0.006	โมกก	เข้ากับผลวิเคราะห์

8.ทับทิมสีแดงอมม่วง น้ำหนัก 1.10 กะรัต (RMDP-003)



(ก) ลักษณะปรากฏของทับทิม



(ข) มลทินผลึกแร่แคลไซต์ และมลทินคล้ายฝุ่นเล็กๆ กระจายอยู่ (70X)

ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.026	0.015	0.029	0.234	0.006	ตามาตาฟ	เข้ากับผลวิเคราะห์

9. ทับทิมสีแดงอมม่วง น้ำหนัก 1.79 กะรัต (RPT-002)



(ก) ลักษณะปรากฏของทับทิม

(ข) มลทินผลึกเชื่อมวางเรียงตัวในทิศทาง 60 และ 120 องศา มีผลึกเข็มรูทิลเป็นรูปร่างคล้ายลูกศร (40X)

ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.016	0.032	0.403	0.165	0.009	โมกก/ มงชู	- ผลวิเคราะห์คาบเกี่ยว - มลทินเข้าแหล่งโมกก

10. ทับทิมสีแดง น้ำหนัก 4.55 กะรัต (RPT-018)



(ก) ลักษณะปรากฏของทับทิม

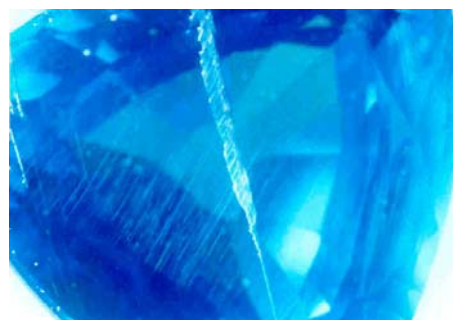
(ข) มลทินผลึกแร่มีรอยแตกรูปร่างคล้ายแผ่นจาน ล้อมรอบผลึกแร่เซอร์คอน และสายของ มลทินของไหล (25X)

ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.028	0.027	0.607	0.008	0.012	มงชู/โมกก	- ผลวิเคราะห์คาบเกี่ยว - มลทินเข้าแหล่งโมกก

11. ไพลินสีน้ำเงิน น้ำหนัก 0.89 กระรัต(SNILARH-1)



(ก) ลักษณะปรากฏของไพลิน



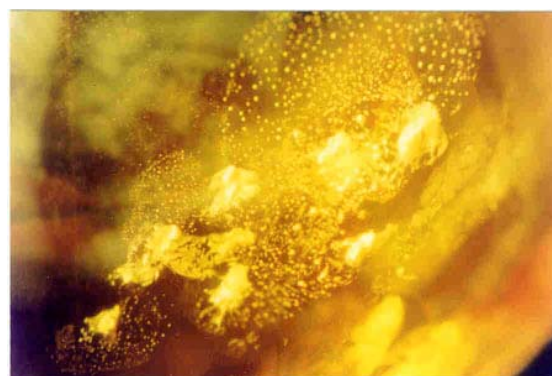
(ข) ผลึกเข็มยาว ลักษณะของท่อที่มีมลทินของไหลอยู่ (50X)

ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.016	0.013	0.607	0.255	0.011	พม่า/อิลากากา	ผลวิเคราะห์คาบเกี่ยว

12. บุษราคัมสีส้มอมเหลือง น้ำหนัก 1.06 กระรัต (MDSP-01)



(ก) ลักษณะปรากฏของบุษราคัม



(ข) มลทินผลึกแร่เซอร์คอนถูกหลอมวางตัวอยู่บนรอยแตกที่มีมลทินของไหล (58X)

ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.015	0.010	0.607	0.093	0.005	อิลากากา	สอดคล้องกับผลวิเคราะห์

13. แซปไฟร์สีม่วง ชมพู น้ำหนัก 0.85 กะรัต (MDSP-02)

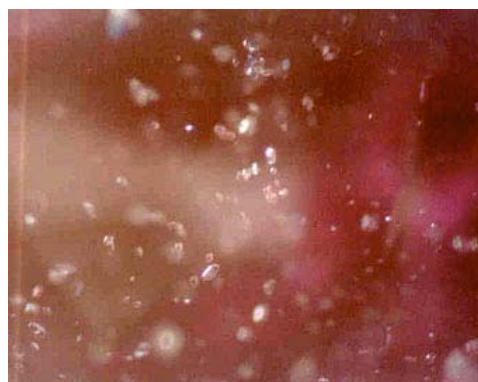


(ก) ลักษณะปรากฏของแซปไฟร์

(ข) แถบสีและระนาบผลึกแฝดที่มีมลทินคล้ายฝุ่นสีขาว
บรรจุอยู่ (25X)

ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.046	0.013	0.046	0.133	0.007	อิลากากา	สอดคล้องกับผลวิเคราะห์

14. แซปไฟร์สีม่วง น้ำหนัก 0.47 กะรัต (MDSP-03)



(ก) ลักษณะปรากฏของแซปไฟร์

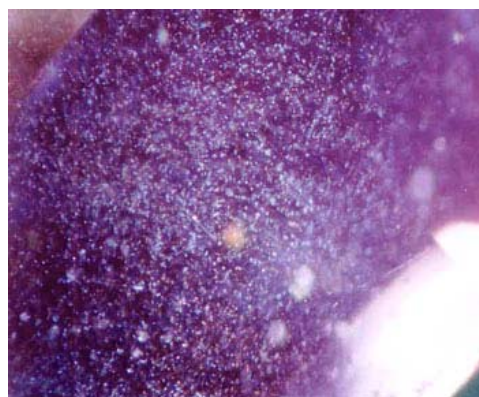
(ข) ผลึกแร่ขนาดเล็ก ๆ ของ เซอร์คอน และอะพาไทต์ (60X)

ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.025	0.018	0.031	0.188	0.010	อิลากากา	- สอดคล้องกับผลวิเคราะห์ - มลทินเข้ากับแหล่งอิลากากา

15 แซปไฟร์สีน้ำเงินอมม่วง น้ำหนัก 1.30 กะรัต (MDSP-04)



(ก) ลักษณะปรากฏของแซปไฟร์



(ข) มลทินอนุภาคเล็กๆ ทั่วผิวยุติและผลึกเข็มเล็กๆ (70X)

ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.016	0.008	0.021	0.116	0.013	อิลากากา	- สอดคล้องกับผลวิเคราะห์ - มลทินเข้ากับแหล่งอิลากากา

16. ไพลินสีน้ำเงิน น้ำหนัก 0.90 กะรัต (MDSP-05)



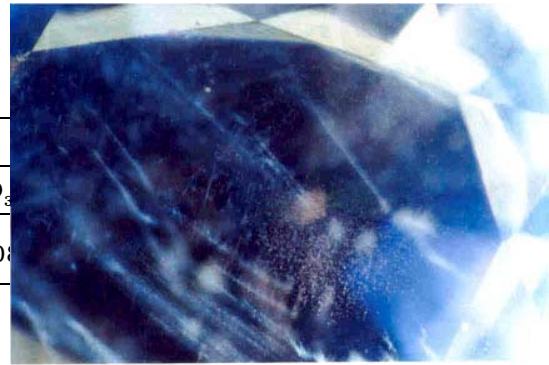
(ก) ลักษณะปรากฏของไพลิน



(ข) หย่อมของมลทินคล้ายฝุ่น (30X)

ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.032	0.011	0.000	0.111	0.008	อิลากากา	- ผลวิเคราะห์สอดคล้อง - สเปกตรัม UV-VIS คล้ายแหล่งอิลากากา

17. ไพลินสีน้ำเงิน น้ำหนัก 0.65 กระรัต (TANSP-01)



18. ไพลินสีน้ำเงิน น้ำหนัก 0.73 กระรัต (TANSP-02) (ก) ลักษณะปรากฏของไพลิน (ข) หย้อมของมลทินคล้ายฝุ่น และ ผลึกเข็มยาว เป็นชุย (50X)



(ก) ลักษณะปรากฏของไพลิน

(ข) มลทินคล้ายแผ่นจาน และรอยแตกที่ถูก สمانด้วยของไหล (50X)

ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.020	0.005	0.001	0.135	0.007	พม่า/อิลากากา	-ผลวิเคราะห์คาบเกี่ยว -มลทินเข้ากับแหล่งอิลากากา

19. ทับทิมสีแดง น้ำหนัก 1.06 กะรัต (MDWS-14)



(ก) ลักษณะปรากฏของทับทิม

(ข) รอยแตกที่ถูกสมานด้วยของไหล และ
สายของมลทินของไหลขนาดเล็ก (60X)

ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.014	0.012	0.270	0.208	0.004	แอนดิลามินา/ อิลากากา	- ผลวิเคราะห์คาบเกี่ยว - สเปกตรัม UV-VIS คล้ายแหล่งแอนดิลามินา

20. ทับทิมสีแดง น้ำหนัก 0.88 กะรัต (MDWS-15)

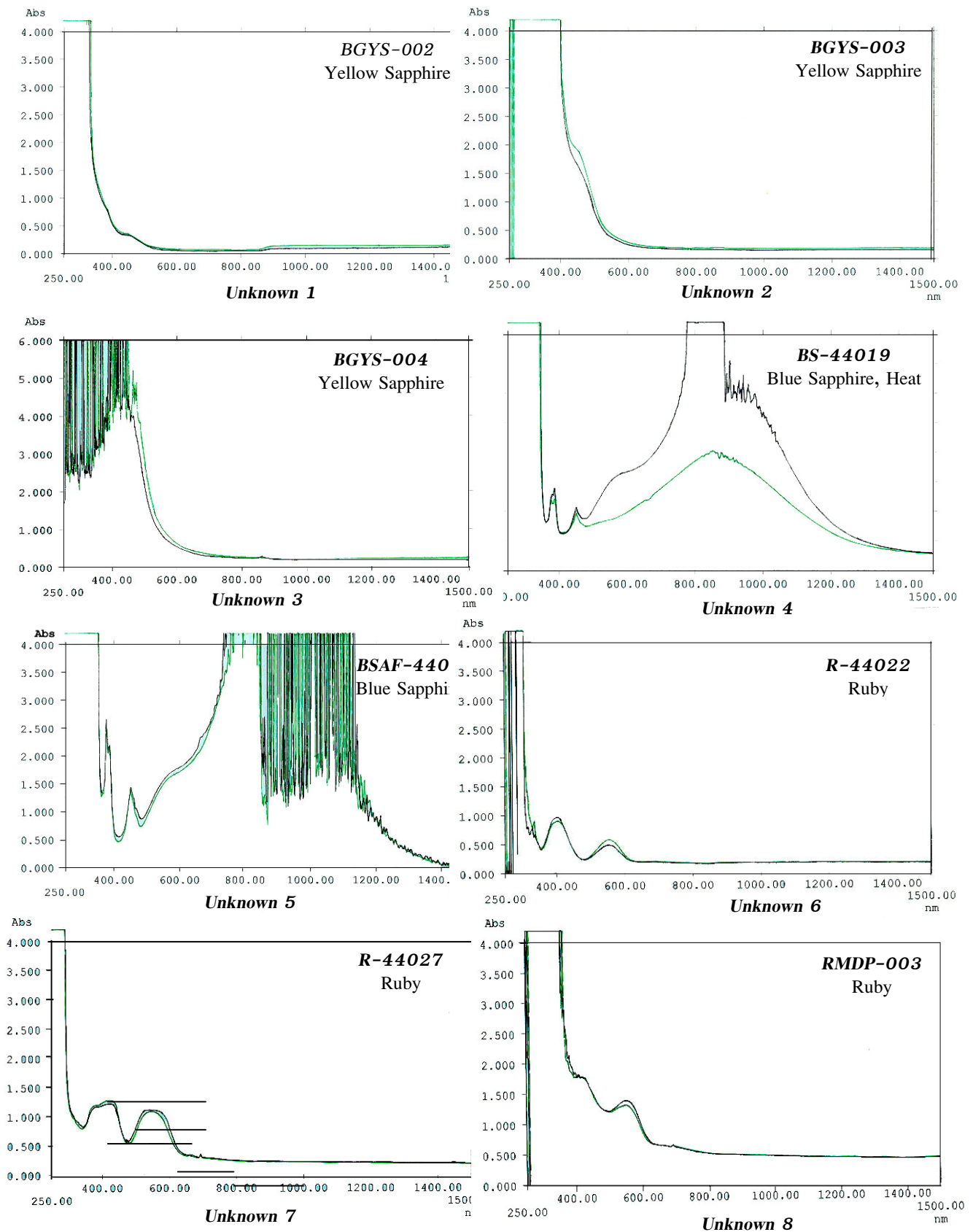


(ก) ลักษณะปรากฏของทับทิม

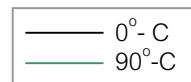
(ข) รอยแตกที่ถูกสมานด้วยของไหล และ
ผลึกเข็มยาวของแร่เบอห์ไมต์ (30X)

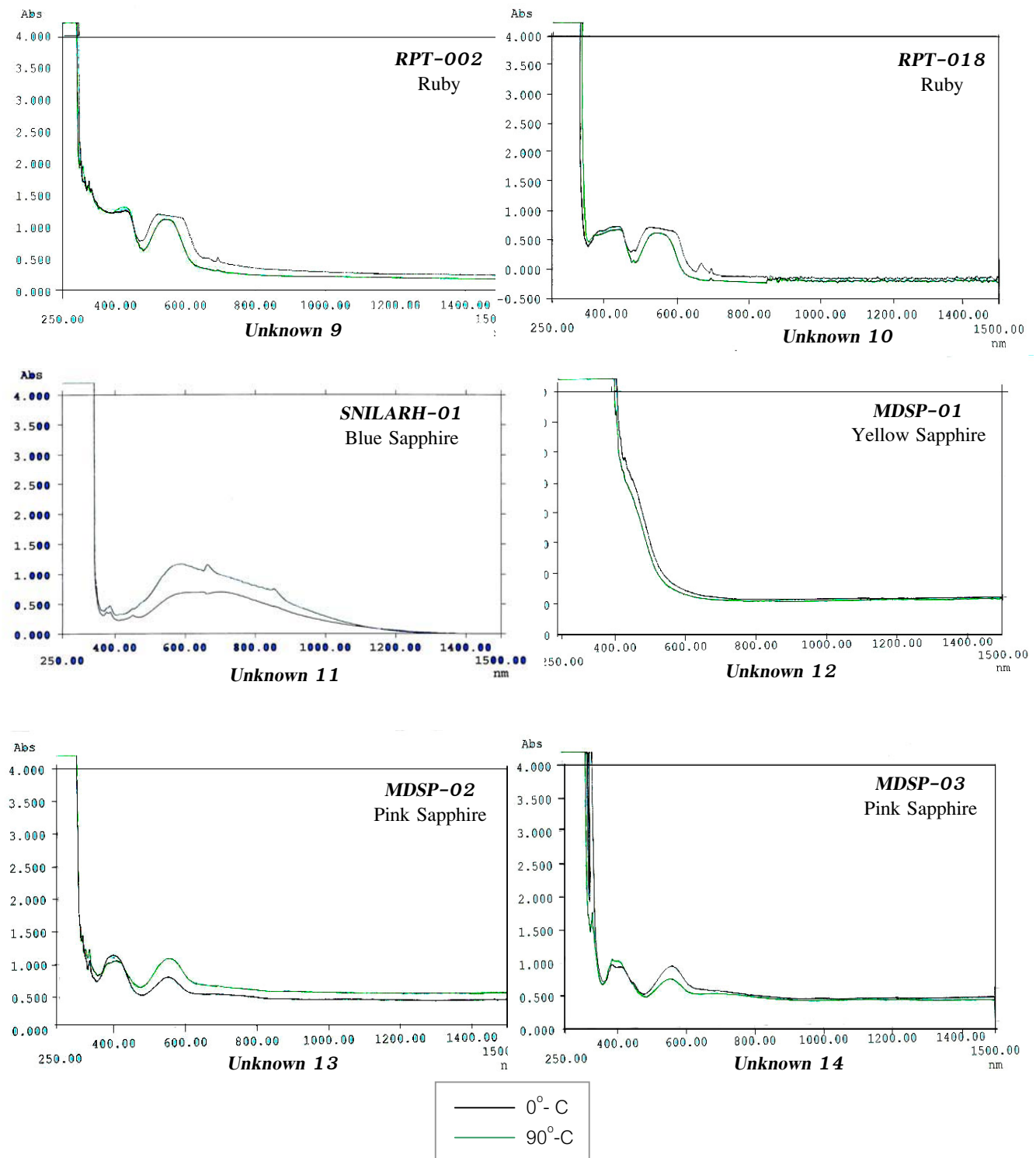
ปริมาณธาตุร่องรอย (%)					แหล่งที่น่าจะเป็น	เหตุผล
TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃		
0.024	0.012	0.139	0.406	0.008	อิลากากา/ ตามาตาฟ	- ผลวิเคราะห์คาบเกี่ยว - สเปกตรัม UV-VIS คล้ายแหล่งตามาตาฟ

**ลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR
และลักษณะสเปกตรัมเฉพาะตัวของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด
ของชุดตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมที่ทราบแหล่งที่มา**

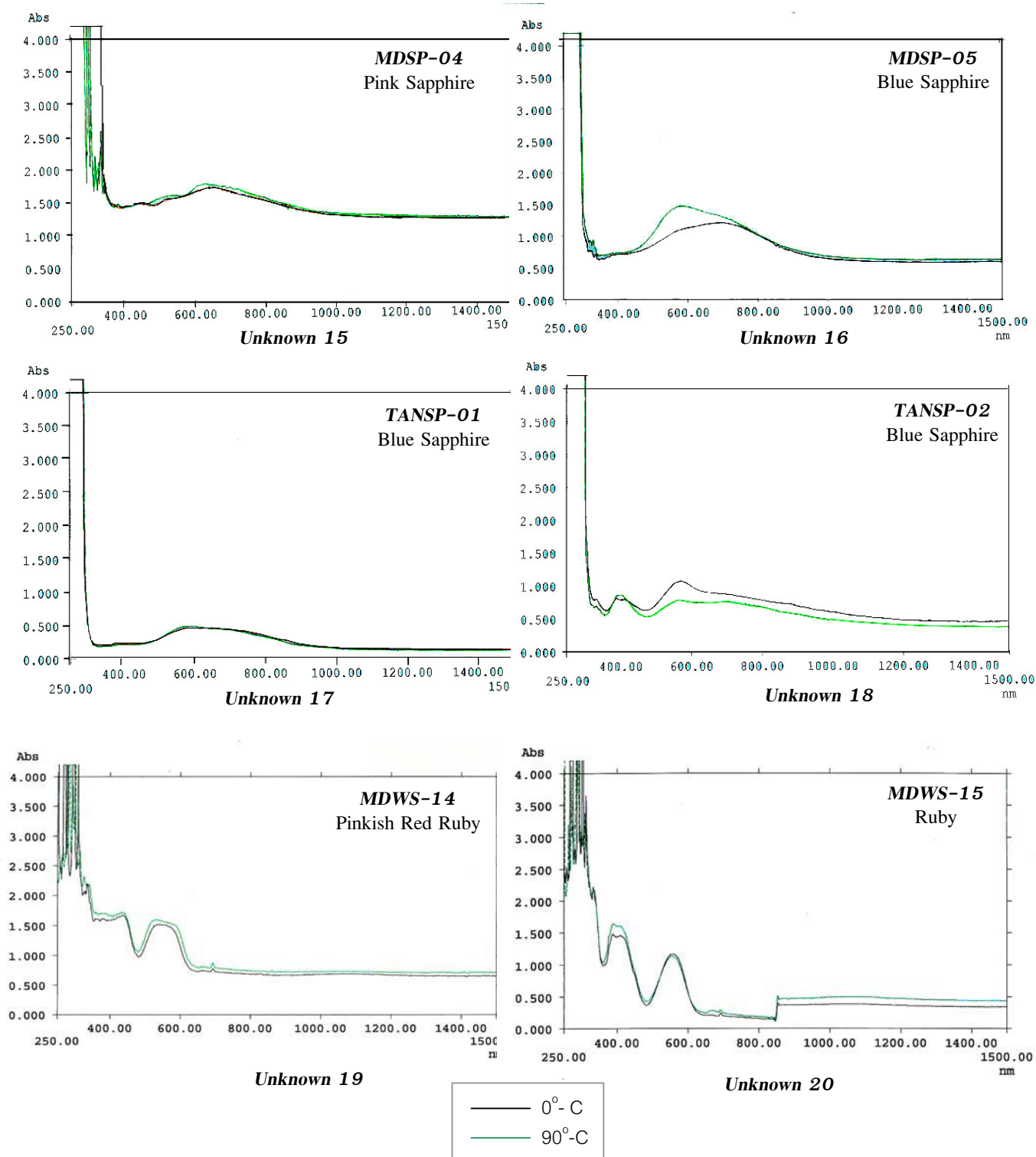


รูปที่ 4.82 ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมที่ไม่ทราบแหล่งที่มา จำนวน 8 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 20 ตัวอย่าง

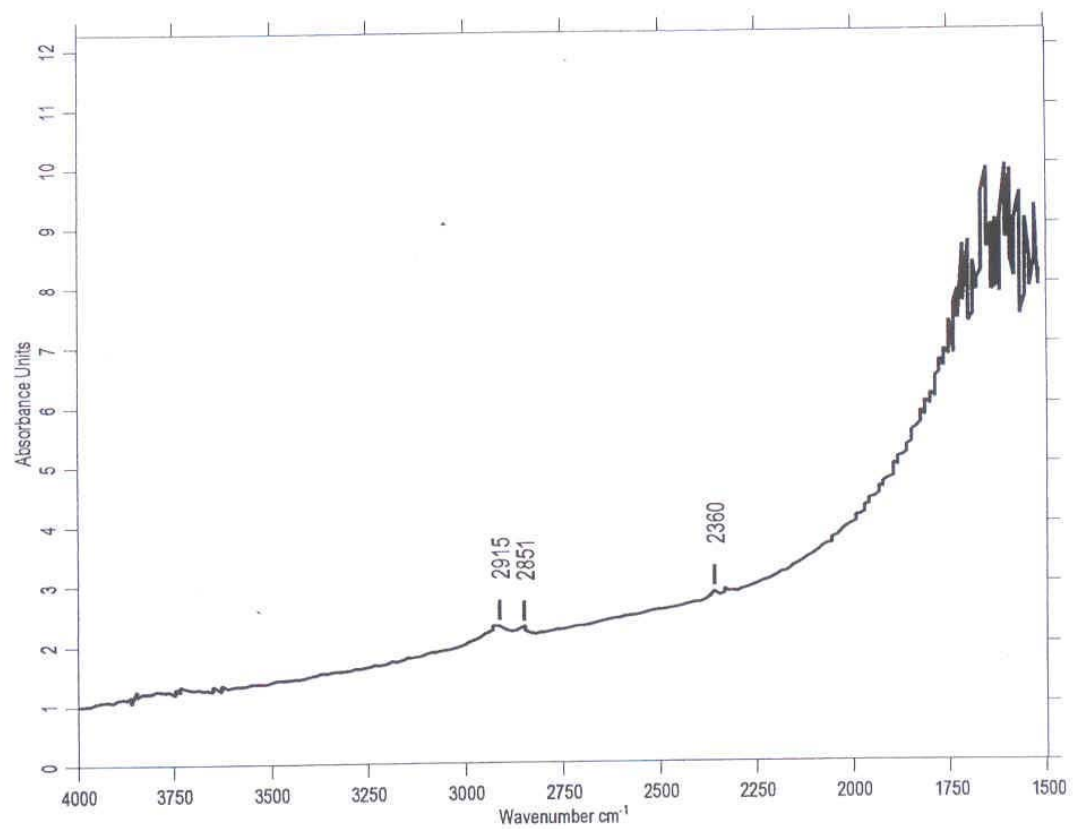




รูปที่ 4.83 ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมที่ไม่ทราบแหล่งที่มา จำนวน 6 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 20 ตัวอย่าง

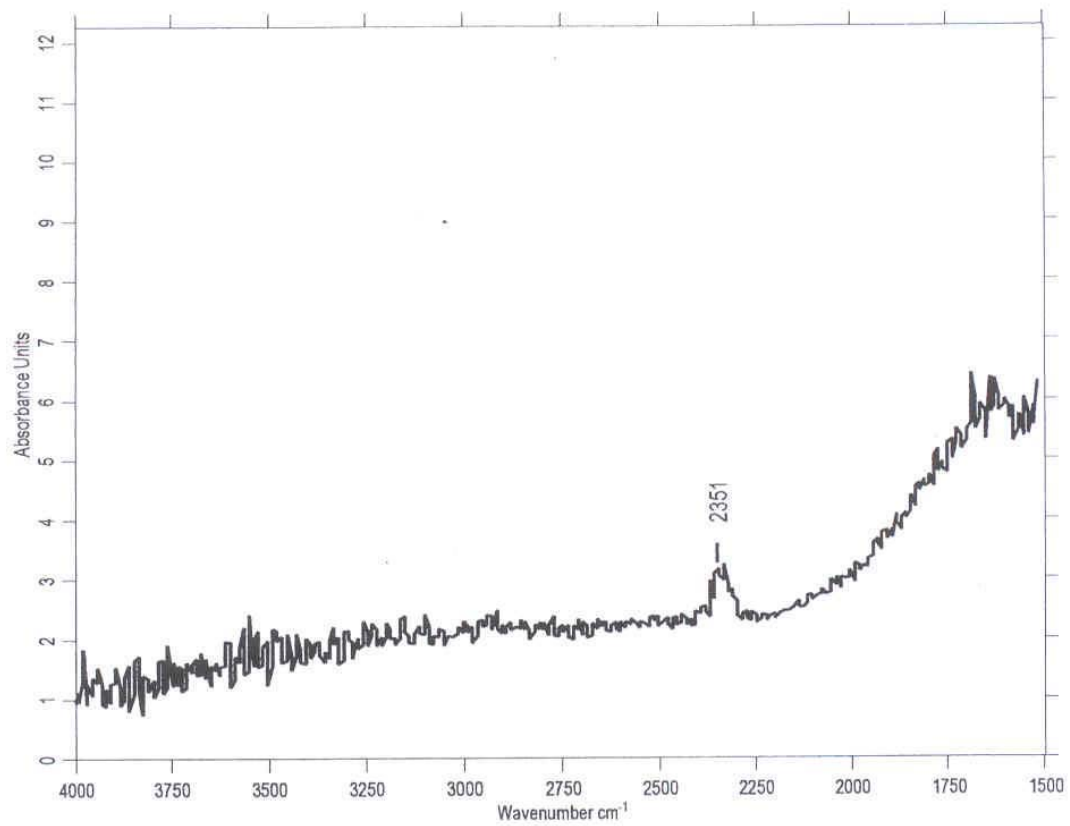


รูปที่ 4.84 ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมที่ไม่ทราบแหล่งที่มา จำนวน 6 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 20 ตัวอย่าง



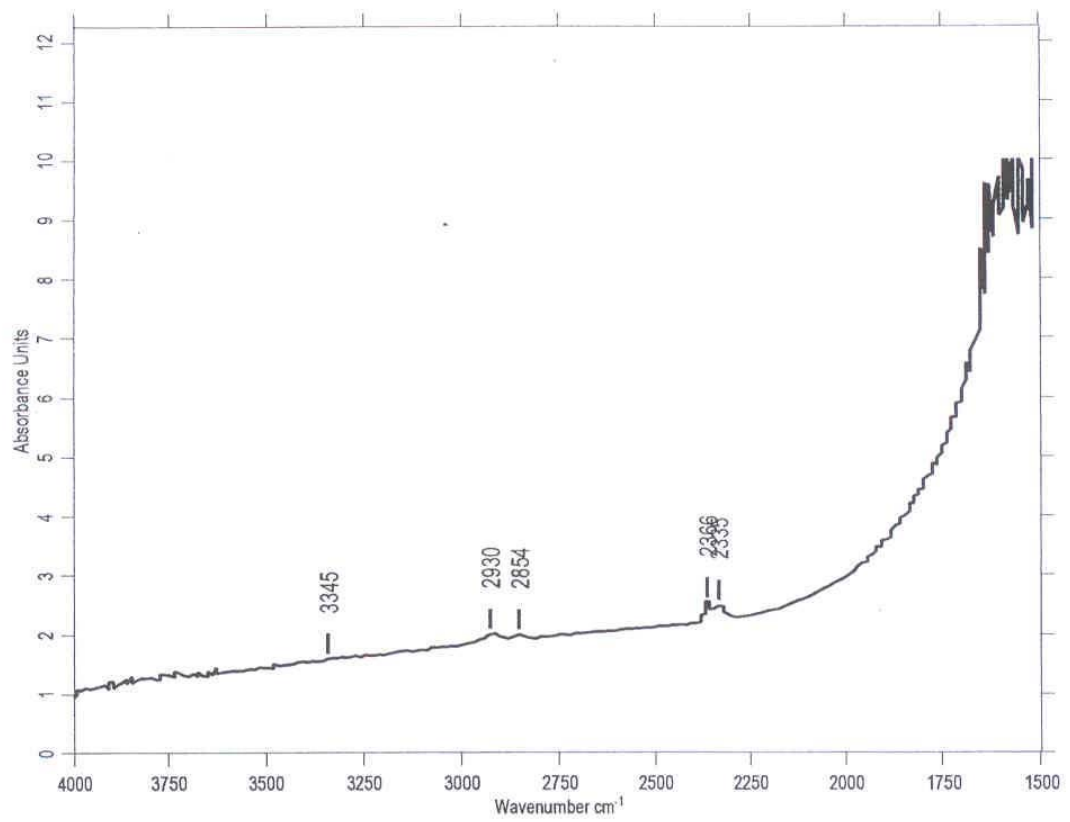
Unknown sample1 Yellow sapphire Triangular mixed cut 2.67 Cts.

รูปที่ 4.85 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัม ไม่ทราบแหล่งที่มา



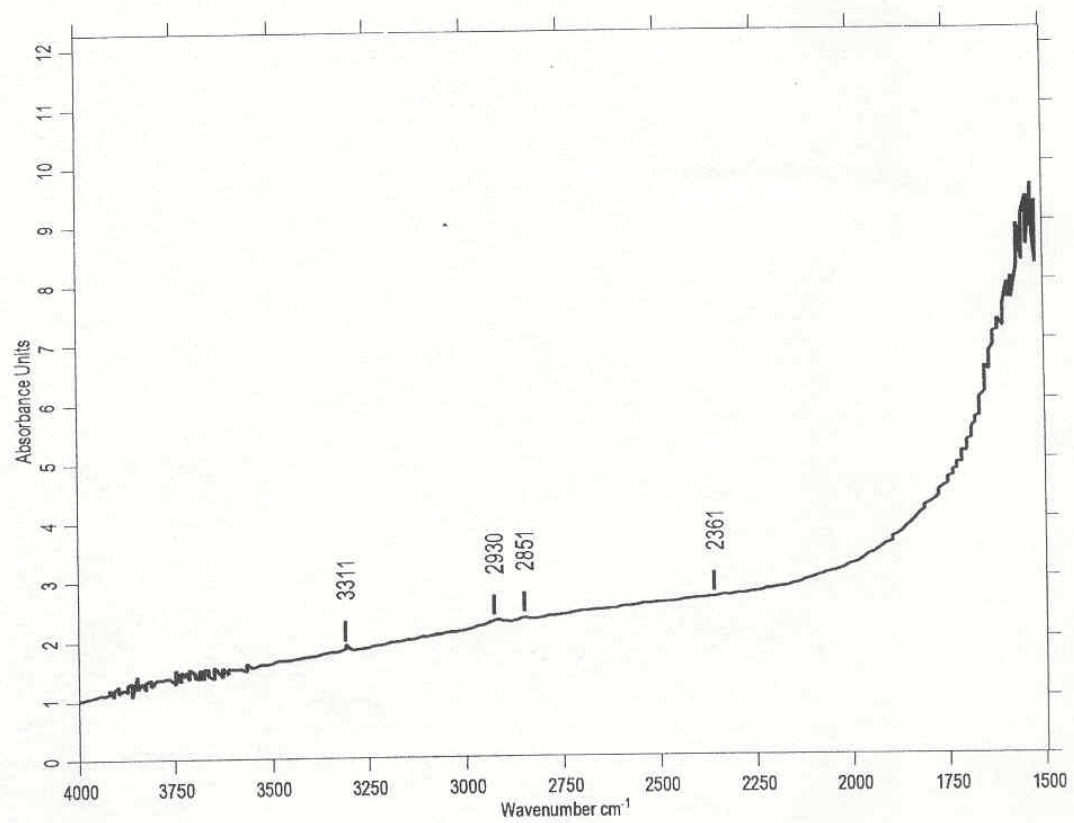
Unknown sample2 Yellow sapphire Oval mixed cut 5.12 Cts.

รูปที่ 4.86 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัม ไม่ทราบแหล่งที่มา



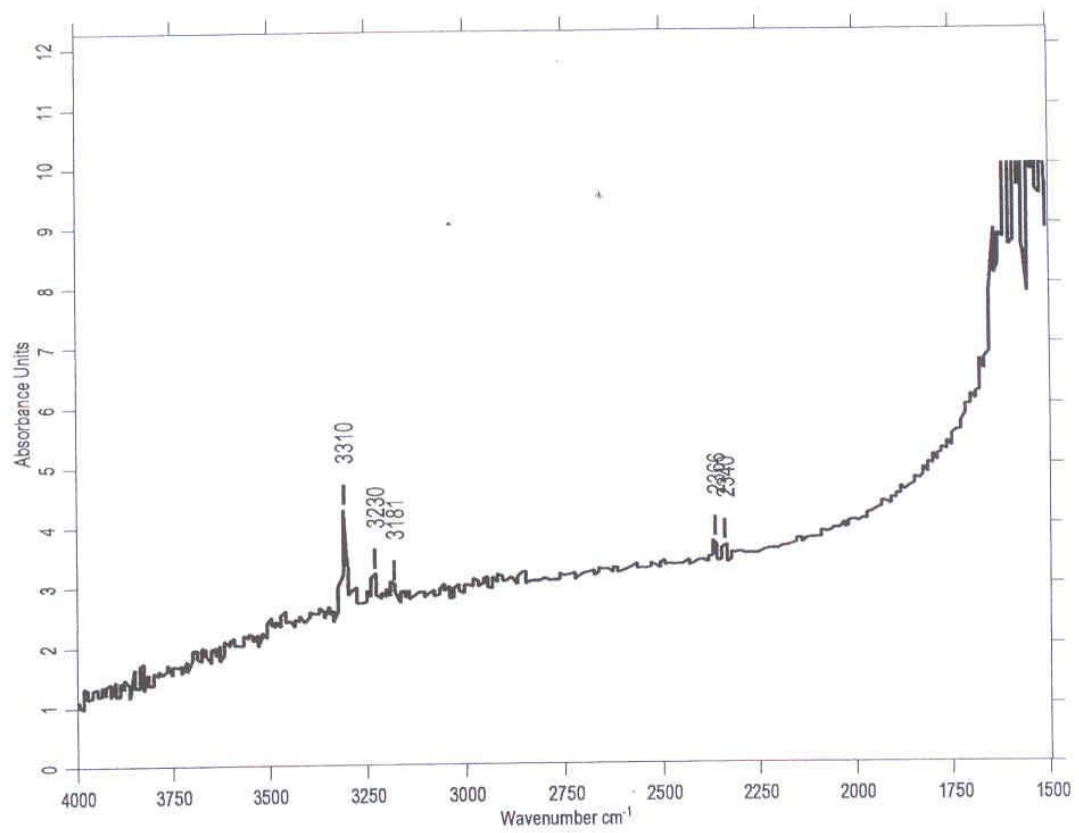
Unknown sample3 Yellow sapphire Triangular mixed cut 2.63 Cts.

รูปที่ 4.87 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัม ไม่ทราบแหล่งที่มา



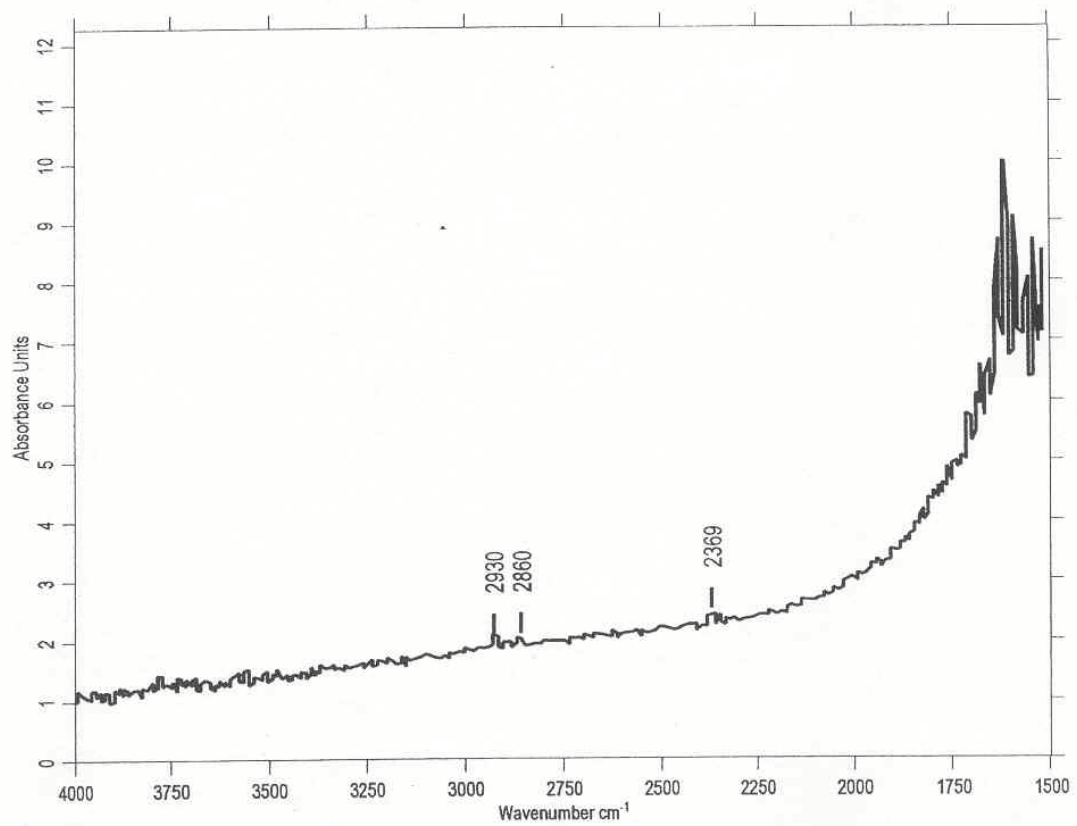
Unknown sample4 Blue sapphire Oval mixed cut 2.13 Cts.

รูปที่ 4.88 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน ไม่ทราบแหล่งที่มา



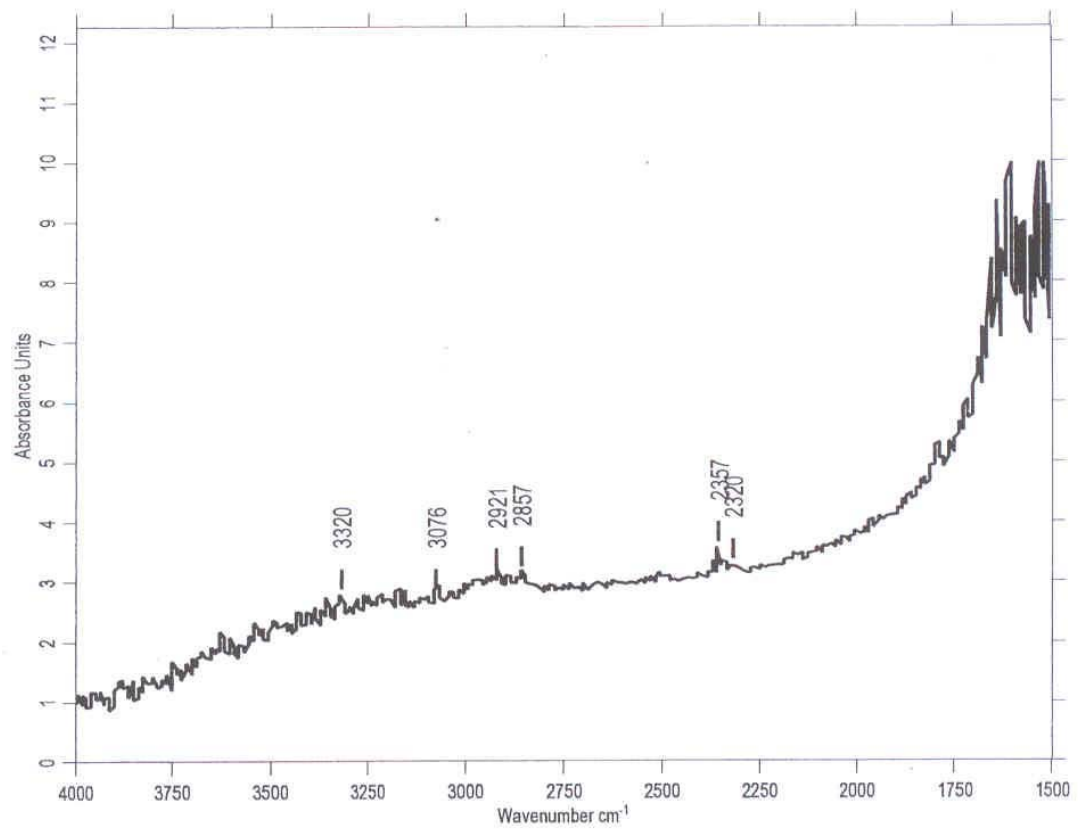
Unknown sample5 Blue sapphire Heart mixed cut 1.59 Cts.

รูปที่ 4.89 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน ไม่ทราบแหล่งที่มา



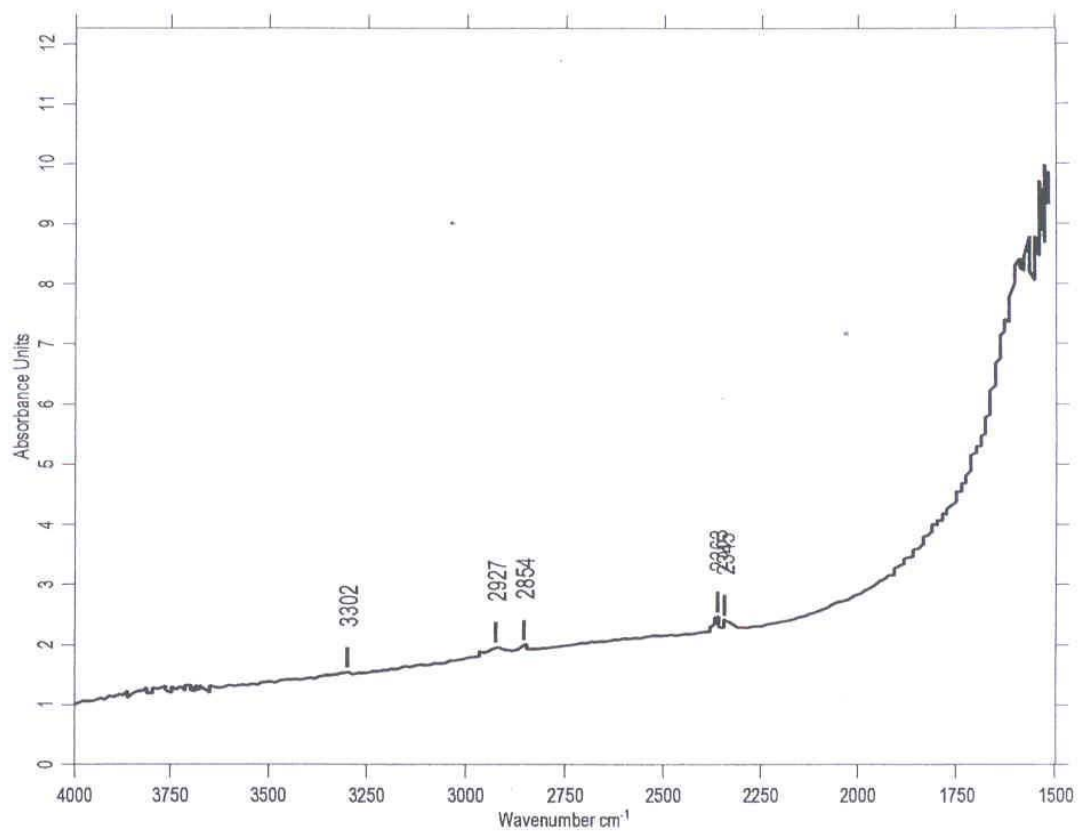
Unknown sample6 Ruby Round mixed cut 1.02 Cts.

รูปที่ 4.90 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม ไม่ทราบแหล่งที่มา



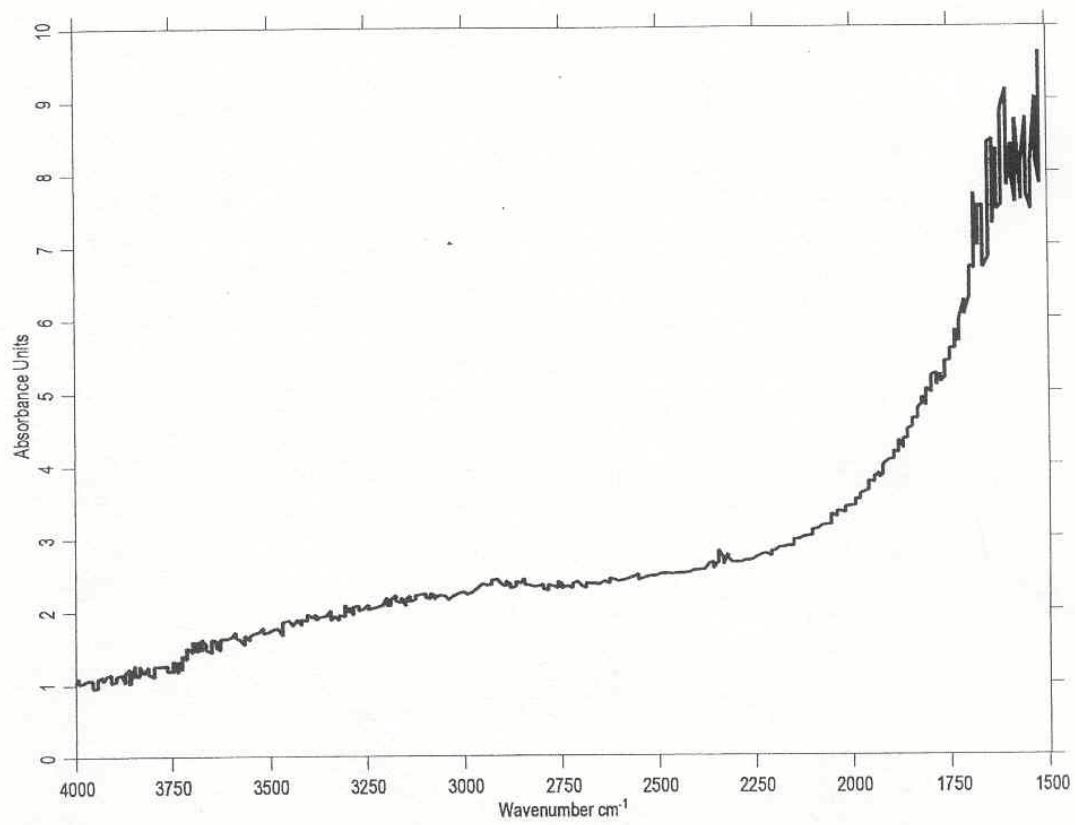
Unknown sample7 Ruby Pear mixed cut 1.61 Cts.

รูปที่ 4.91 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม ไม่ทราบแหล่งที่มา



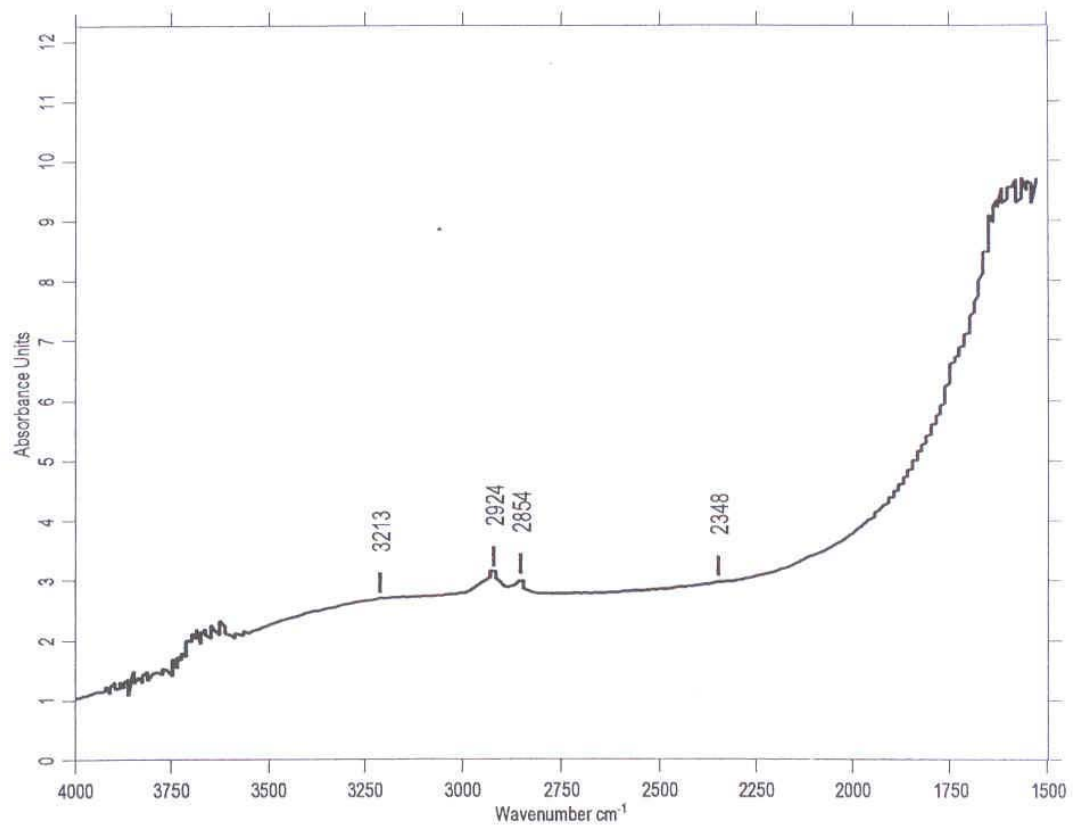
Unknown sample8 Ruby Oval mixed cut 1.10 Cts.

รูปที่ 4.92 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม ไม่ทราบแหล่งที่มา



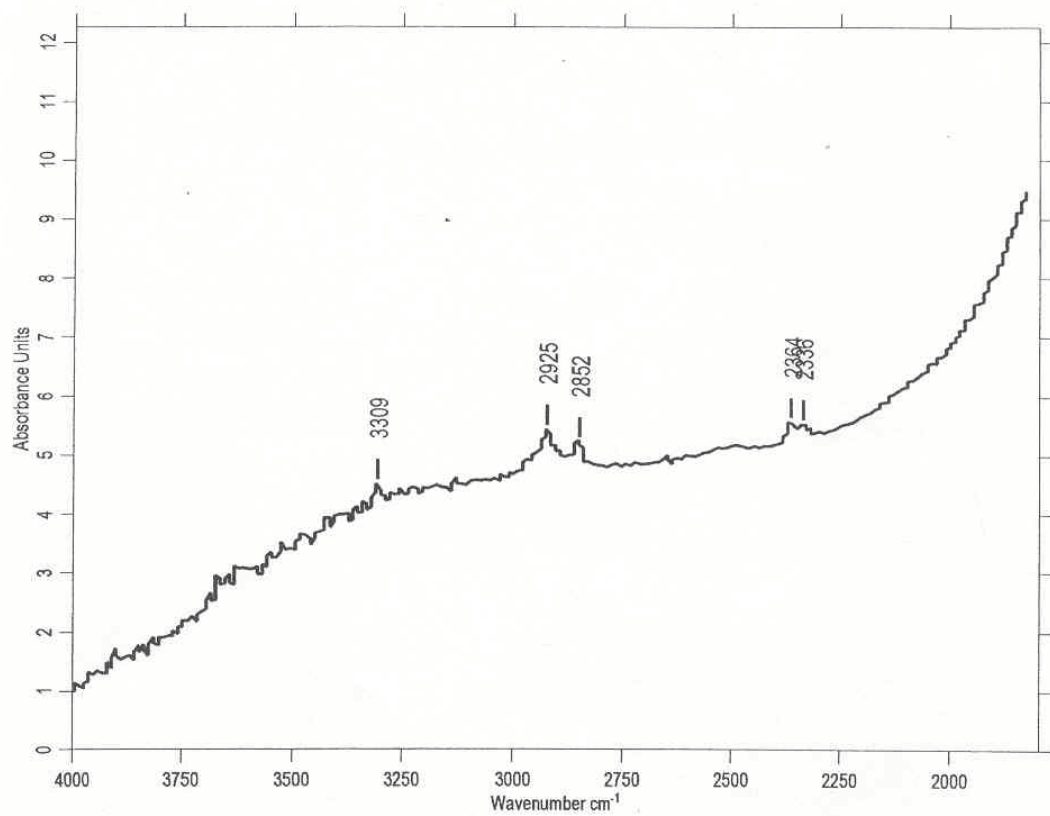
Unknown sample9 Ruby Oval-cushion mixed cut 1.79 Cts.

รูปที่ 4.93 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม ไม่ทราบแหล่งที่มา



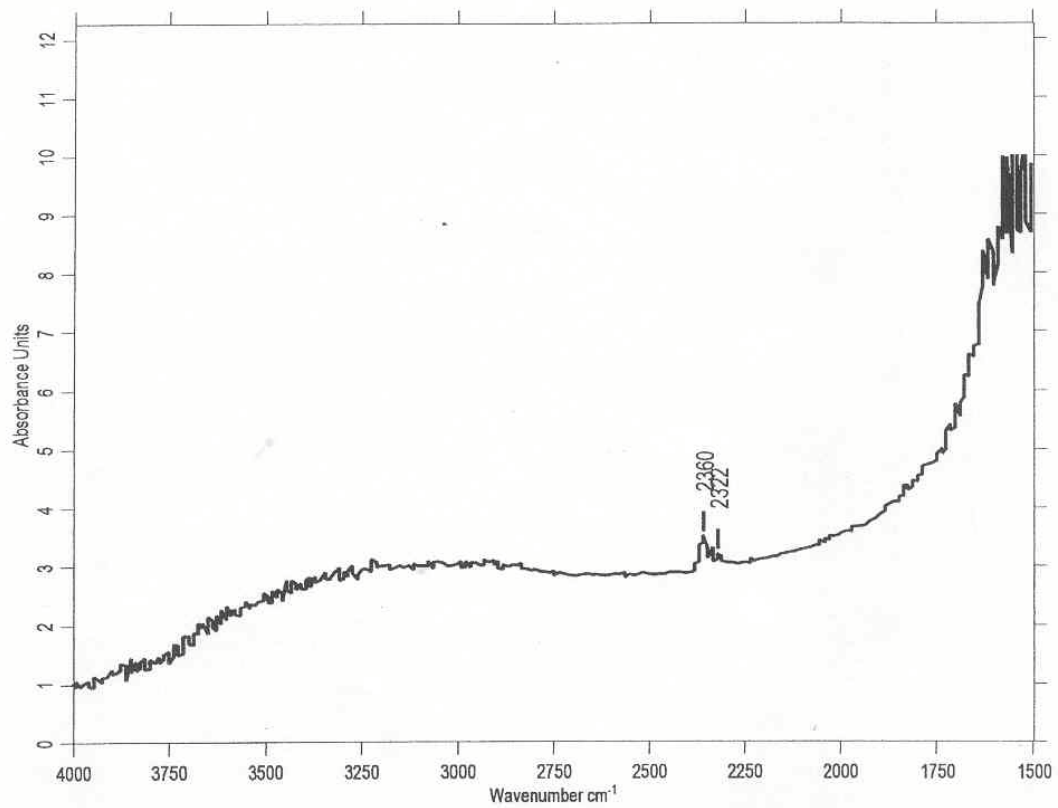
Unknown sample10 Ruby Oval mixed cut 4.55 Cts.

รูปที่ 4.94 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม ไม่ทราบแหล่งที่มา



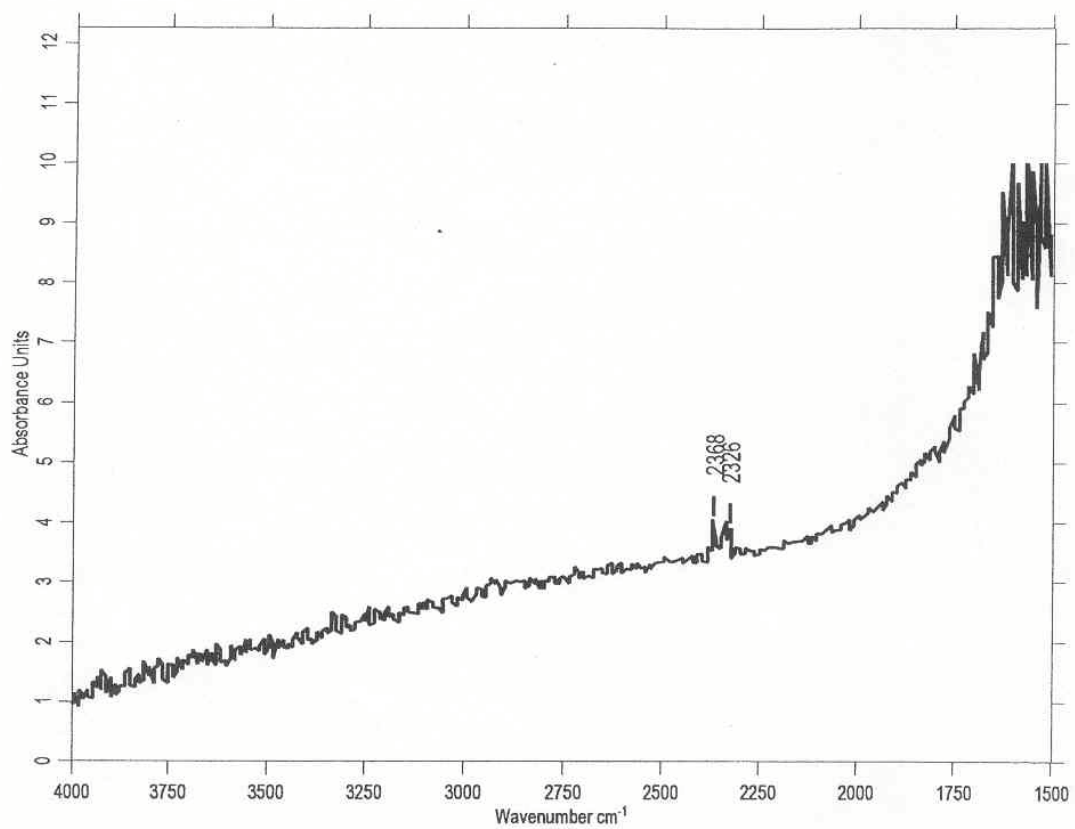
Unknown sample11 Blue sapphire Mixed triangular shape 0.89 Cts.

รูปที่ 4.95 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน ไม่ทราบแหล่งที่มา



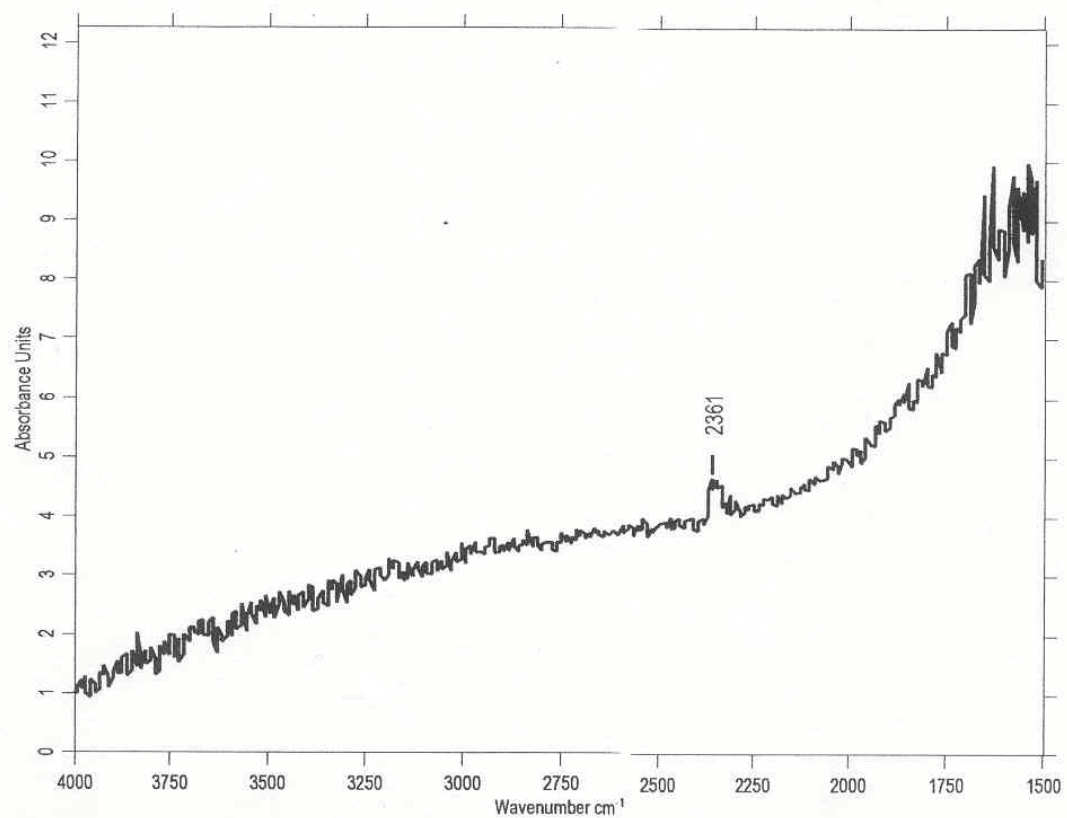
Unknown sample12 Yellow sapphire Oval mixed cut 1.06 Cts.

รูปที่ 4.96 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของบุษราคัม ไม่ทราบแหล่งที่มา



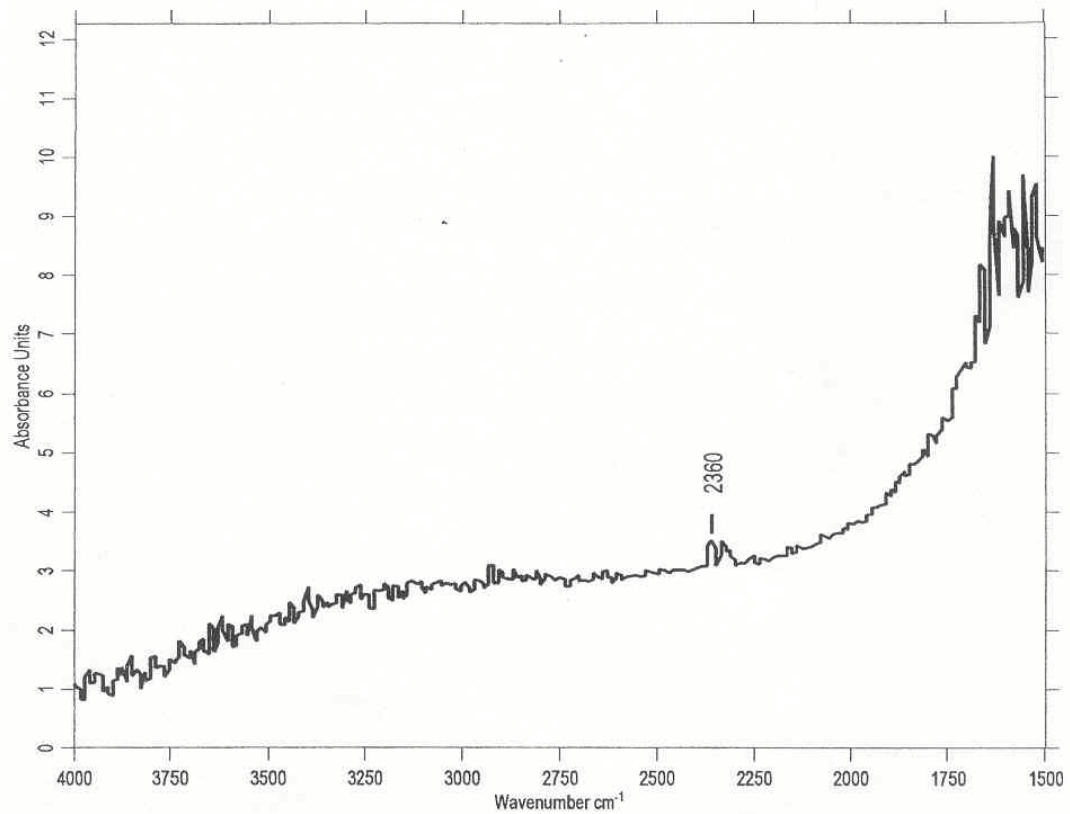
Unknown sample13 Purple sapphire Oval mixed cut 0.85 Cts.

รูปที่ 4.97 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของแซฟไฟร์สีม่วง ไม่ทราบแหล่งที่มา



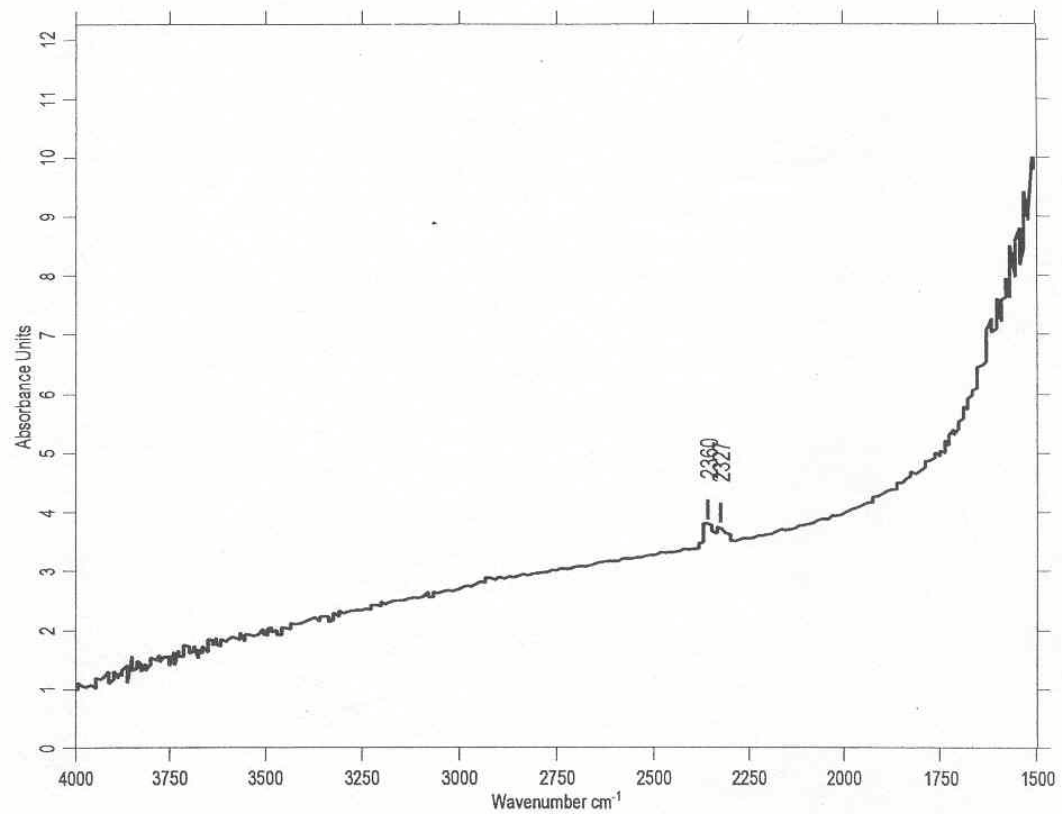
Unknown sample14 Purple sapphire Triangular mixed cut 0.47 Cts.

รูปที่ 4.98 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของแซฟไฟร์สีม่วง ไม่ทราบแหล่งที่มา



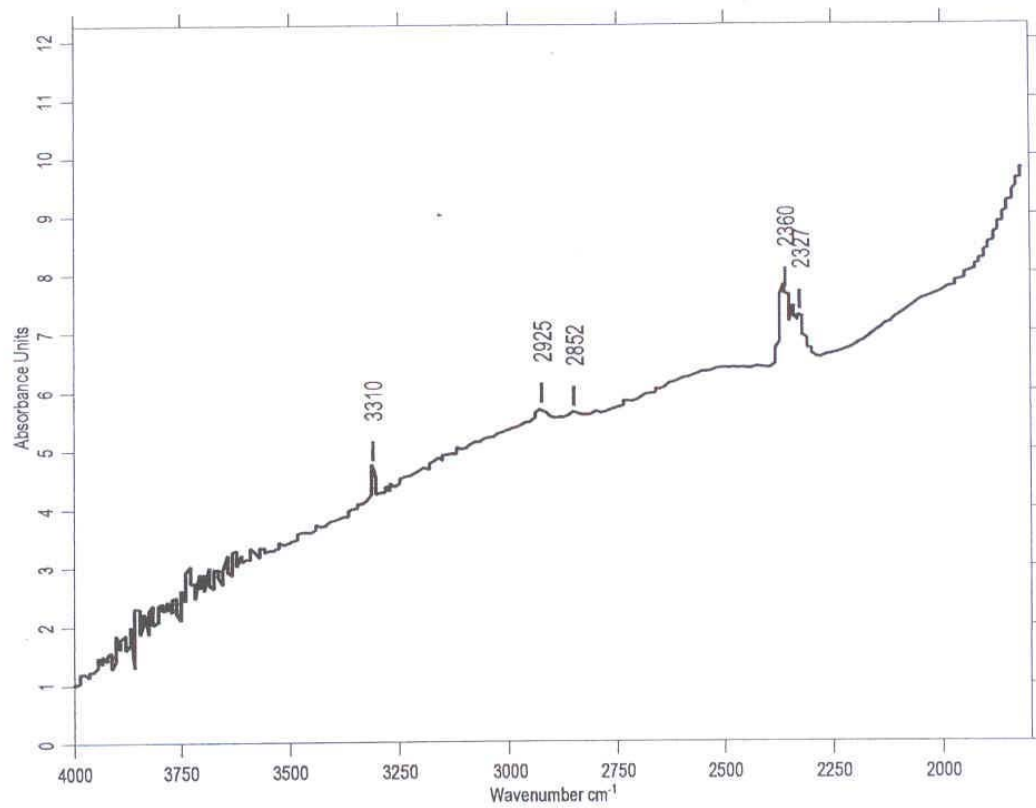
Unknown sample15 Blue sapphire Triangular mixed cut 1.30 Cts.

รูปที่ 4.99 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน ไม่ทราบแหล่งที่มา



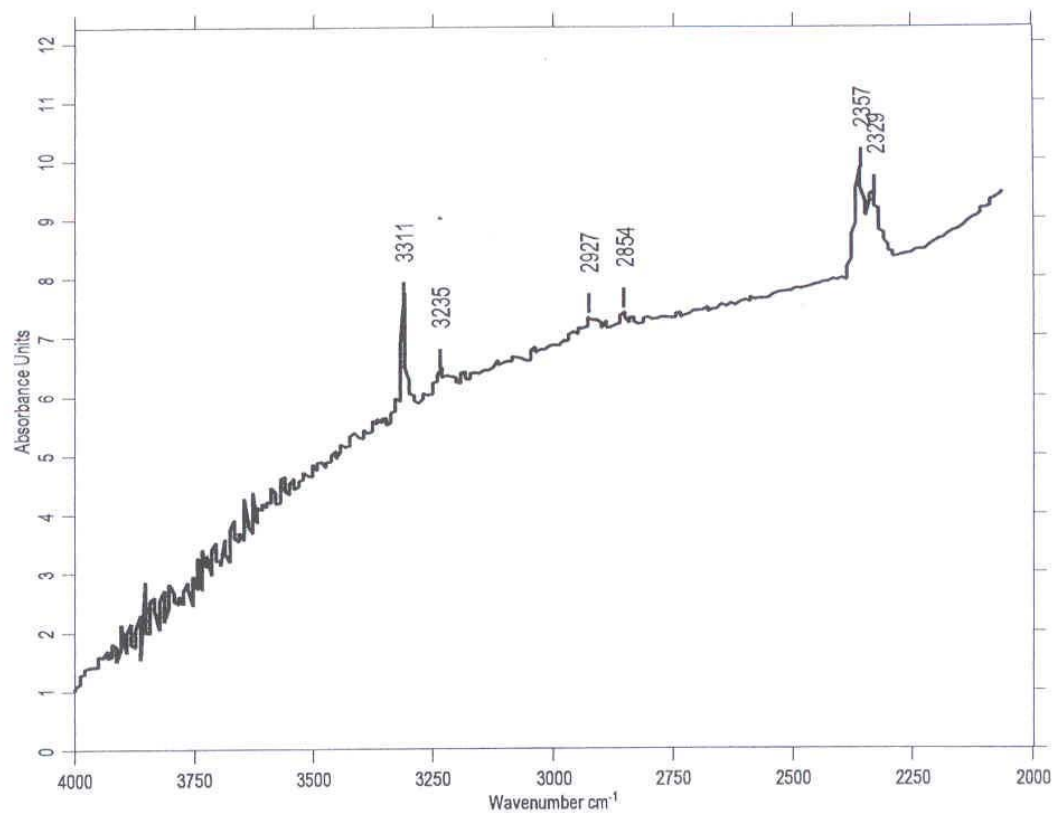
Unknown sample16 Blue sapphire Oval mixed cut 0.90 Cts.

รูปที่ 4.100 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน ไม่ทราบแหล่งที่มา



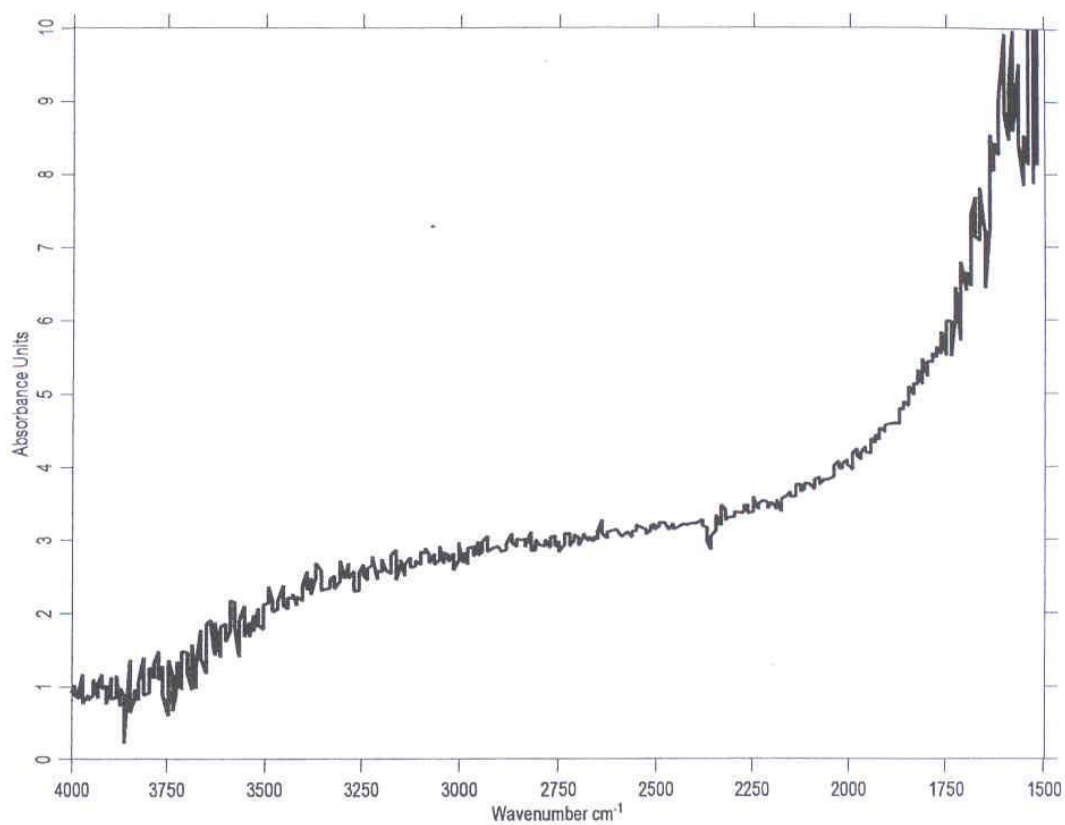
Unknown sample17 Blue sapphire Oval mixed cut 0.65 Cts.

รูปที่ 4.101 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน ไม่ทราบแหล่งที่มา



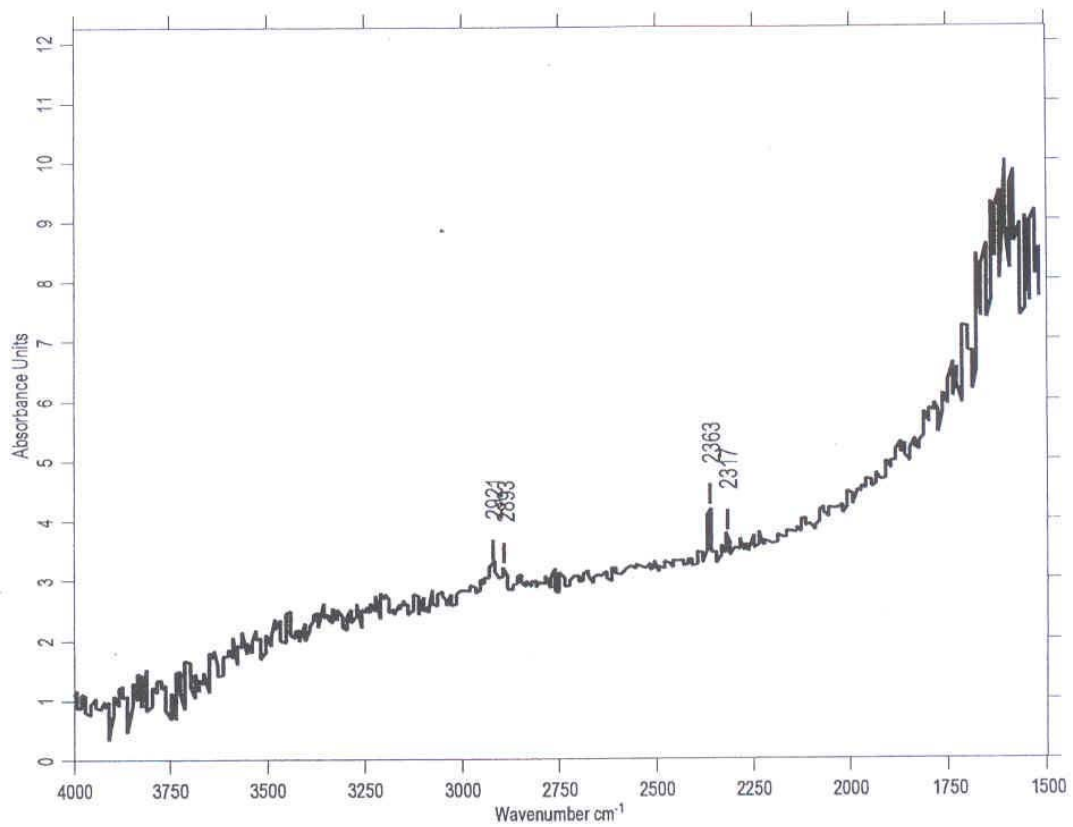
Unknown sample18 Blue sapphire Oval mixed cut 0.73 Cts.

รูปที่ 4.102 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลิน ไม่ทราบแหล่งที่มา



Unknown sample19 Ruby Oval mixed cut 1.065 Cts.

รูปที่ 4.103 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม ไม่ทราบแหล่งที่มา



Unknown sample20 Ruby Oval mixed cut 0.88 Cts.

รูปที่ 4.104 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของทับทิม ไม่ทราบแหล่งที่มา

บทที่ 5

บทสรุปและข้อชี้แนะ

5.1. ที่มาและความคาดหวัง

แร่คอร์รันดัม หรือ พลอยตระกูลคอร์รันดัม ก็คือทับทิม และแซปไฟร์สีต่างๆซึ่งมีการกำเนิดได้หลายแบบ เช่น เกิดอยู่กับหินบะซอลต์ ซึ่งอาจจะพบอยู่ใกล้หรือไกลจาก แหล่งหิน เนื่องจากเกิดการผุพังและถูกพัดพาไปสะสมตัวตามที่ราบลุ่มแม่น้ำ หรือเกิดอยู่กับหินอัคนี Pegmatite เกิดกับหิน Lamprophyric dike, และเกิดอยู่ในหินแปร เช่นหิน Syenite, Marble, Mica schist และหิน Gneiss เป็นต้น แร่คอร์รันดัมพบอยู่ตามประเทศต่างๆในทวีปเอเชีย ตะวันออกเฉียงใต้ และประเทศต่างๆทั่วโลก เช่น ประเทศไทย ศรีลังกา กัมพูชา ลาว พม่า เวียดนาม จีน ออสเตรเลีย แคนาดา เยอรมนี ฝรั่งเศส มาดากัสการ์ เคนยา แทนซาเนีย ไนจีเรีย และ สหรัฐอเมริกา (Montana) เป็นต้น

จากการที่แร่คอร์รันดัมมีสีสวยงามและมีความแข็งแกร่งมาจากเพชร ทำให้แร่ชนิดนี้เป็น ที่นิยมนำมาใช้เป็นอัญมณีและเครื่องประดับกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก ทำให้เกิดการพัฒนา อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ โดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งจัดได้ว่าเป็นศูนย์กลางการค้า อัญมณีที่มีชื่อเสียงแห่งหนึ่งของโลก การศึกษาวิจัยนี้จะเน้นถึงการศึกษาทางด้านอัญมณีศาสตร์ แร่วิทยา ธรณีวิทยา ส่วนประกอบทางเคมี รวมทั้งลักษณะทางกายภาพอื่นๆของพลอยคอร์รันดัม และมลทินที่เกิดขึ้นภายใน

การระบุแหล่งกำเนิด หรือการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดมิได้หมายถึงการกำหนดคุณภาพ เกี่ยวกับ สี ความใส หรือความงดงาม ของพลอยคอร์รันดัมเหล่านั้น แต่เป็นการระบุถึงแหล่งที่มา หรือ แหล่งกำเนิดของพลอยเหล่านั้น โดยใช้สมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และลักษณะของมลทิน รายละเอียดภายในพลอย เป็นกุญแจไขไปสู่แหล่งกำเนิดหรือแหล่งที่มาของพลอยนั้น ผลการ ศึกษาวิจัยที่ได้นั้นอยู่ในรูปของ เกณฑ์มาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดของพลอยคอร์รันดัม (Origin determination) มาตรฐานหรือเกณฑ์ที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดราคากลางของพลอยคอร์รันดัมในตลาดอัญมณี และการจัดมาตรฐาน คุณภาพพลอย (Corundum Grading) นอกจากนี้ผลของการวิจัยยังสามารถ ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในเรื่องของการพัฒนาวิธีการเพิ่มคุณภาพพลอยให้เหมาะกับแหล่งที่มาของพลอยนั้นด้วย ข้อมูล รายละเอียดส่วนประกอบทางเคมีของมลทิน อุณหภูมิ และความดัน ในมลทินที่ถูกกักเก็บอยู่ ภายในพลอยนั้น สามารถนำมาประกอบเพื่ออธิบายการเกิดของพลอยในแหล่งนั้นๆ และยังช่วย ในการวางแผนการสำรวจบริเวณที่มีศักยภาพแหล่งพลอยที่สามารถพัฒนาเป็นเหมืองพลอยแห่งใหม่ได้ในอนาคต

สำหรับในวงการค้าอัญมณี ผู้ค้าและผู้ซื้อ มักจะนำเอาแหล่งกำเนิดของพลอยคอร์รันดัม มาใช้เป็นกลไกสำคัญอย่างหนึ่ง ในการกำหนดราคา ซึ่งโดยหลักการของวิชาอัญมณีนั่น แหล่งกำเนิดไม่ได้นำมาใช้เป็นตัวประกอบในการประเมินราคา (Appraisal) ดังนั้นการศึกษาวิจัย เกี่ยวกับแหล่ง

ที่มาของพลอยคอร์นตำเพื่อจัดแบ่งแหล่งกำเนิดของพลอยคอร์นตำอย่างเป็นระบบที่ดำเนินการอยู่ จะมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับดังนี้คือ

1. สามารถระบุแหล่งที่มาของพลอยคอร์นตำ ในการตรวจรับรองที่มาของตัวอย่าง
2. ช่วยมิให้มีการบิดเบือนแหล่งที่มาของพลอย เพื่อนำไปใช้กำหนดราคาพลอยให้สูงกว่าความเป็นจริง
3. ระวังกรณีพิพาทระหว่างผู้ซื้อ และผู้ขายเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดของพลอยเหล่านั้น
4. เสริมความมั่นใจของผู้ซื้ออัญมณีที่ให้คุณค่าความสำคัญของความเป็นมา หรือแหล่งที่มาของพลอย มากกว่าความสวยงามหรือคุณภาพ

5.2. วิธีการศึกษา

การศึกษามลทินในพลอยคอร์นตำเพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดและมาตรฐานนั้น กระทำโดยการสำรวจธรณีวิทยาเบื้องต้นของแหล่งแร่พลอย และทำการเก็บ/จัดซื้อตัวอย่างจากแหล่ง โดยตรง ตัวอย่างแร่พลอยที่ทำการศึกษานั้นเป็นตัวอย่างที่มาจากแหล่งแร่ภายในประเทศ และ จากบางแหล่งในต่างประเทศดังนี้คือ

1. แหล่งพลอยในจังหวัดจันทบุรี และตราด
2. แหล่งพลอยในจังหวัดกาญจนบุรี
3. แหล่งพลอยในประเทศกัมพูชา
4. แหล่งพลอยบ้านห้วยทราย ประเทศลาว
5. แหล่งพลอยจากโมกก และมองซู ประเทศพม่า
6. แหล่งพลอยแหล่งต่างๆในประเทศมาดากัสการ์
7. แหล่งพลอยบางแหล่งจากประเทศในทวีปอาฟริกา เช่น ไนจีเรีย แทนซาเนีย และเคนยา

ได้ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างหินบะซอลต์และแร่คอร์นตำ ในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี ตราด และกาญจนบุรี ตัวอย่างจากบ่อโพลิน ประเทศกัมพูชา จัดซื้อจากผู้ประกอบการเหมือง ชาวไทยที่มีธุรกิจการทำเหมืองในประเทศกัมพูชา ตัวอย่างพลอยคอร์นตำจากประเทศลาว จัดซื้อจากแหล่งที่ทำเหมืองแร่บ้านห้วยทราย บางส่วนจากพ่อค้าในเมืองเวียงจันทน์ และจากผู้ประกอบการในประเทศไทย ตัวอย่างจากประเทศพม่า จัดซื้อจากแหล่งแร่พลอยโมกก บางตัวอย่างจัดซื้อจากพ่อค้าไทยและพม่าตามแนวชายแดน ไทย-พม่า ที่ อ. แม่สอด จ. ตาก และ อ. แม่สาย จ. เชียงราย และจากแหล่งซื้อ-ขายในกรุงเทพฯ ดังนั้นแหล่งที่มาของตัวอย่างบางส่วน จึงยังไม่เป็นที่แน่ใจ แต่ส่วนใหญ่ซื้อจากแหล่งโดยตรง ตัวอย่างแร่บางส่วน ได้ซื้อจากชาวบ้านที่กำลังเล็งหาพลอยจากดินที่ขุดได้จากหินบะซอลต์ และบางส่วนได้จากเหมืองต่างๆที่ยังคงเปิด ดำเนินการทำเหมืองแบบผิดอยู่ในระดับลึกลงไปจากชั้นหน้าดิน ตัวอย่างพลอยจากแหล่งในประเทศ มาดากัสการ์ซื้อจากผู้ประกอบการไทยในประเทศนั้น และตัวอย่างบางส่วนยืมจากผู้ประกอบการ

ตัวอย่างหินได้นำไปทำการศึกษาด้านธรณีวิทยา ด้วยกล้อง Polarizing microscope และทำการวิเคราะห์เพื่อหาส่วนประกอบทางเคมีโดยวิธี X-ray Fluorescences ส่วนตัวอย่าง แร่พลอยคอร์นตำ ซึ่งมีสีแตกต่างกันตั้งแต่สีแดง แดงอมชมพู น้ำเงิน เหลือง เขียว เขียวปนน้ำเงิน และ ไม่

มีสี ได้นำไปทำการขัดหน้าเรียบ และขัดมัน เพื่อนำมาศึกษาตรวจวิเคราะห์ ลักษณะ ทางแสงและทางกายภาพ ส่วนประกอบทางเคมี และสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรด รวมทั้ง ศึกษาวิเคราะห์ชนิดของมลทินที่พบอยู่ภายในแร่คอร์รันดัม

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

การศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างแร่พลอยคอร์รันดัม และมลทินที่พบอยู่ภายในตัวอย่างทับทิม และไพไรต์ของโครงการนี้ฯ ได้ใช้พื้นฐานวิชาในสาขาแร่วิทยา และธรณีวิทยา โดยอาศัยเครื่องมือ ดังต่อไปนี้

เครื่องมือพื้นฐาน

1. กล้องจุลทรรศน์สองตาชนิดพิเศษที่มีกำลังขยายขนาดสูง (10-140 เท่า) และมี ระบบแสงแบบพิเศษส่องเข้าด้านข้างของพลอย (Gemological Microscope) เพื่อศึกษา

- รูปร่างผลึกและชนิดของมลทิน ที่อาจอยู่ในรูปของแร่ชนิดใดชนิดหนึ่ง
- ลักษณะทางแสงของมลทิน
- ความขัดสีระหว่างมลทินและแร่รัตนชาติ (Relief) ที่ทำให้มองเห็นมลทินนั้นนูนขึ้นมา หรือจมลงไป ในแร่รัตนชาติ
- แถบสี วงสี (Colour Banding) ที่แสดงอัตราการเจริญเติบโตของแร่รัตนชาติ
- รูปร่างผลึก สี การจัดวางตัว และอื่นๆ ของมลทินผลึกแร่
- รูปแบบของมลทินของไหล และรอยแตกสมาน แบบต่างๆ เช่น แบบคล้ายขนนก ลายนิ้วมือ และ/หรือ หมอกควัน
- มลทินของไหล 2 และ 3 สถานะ (2 or 3 phases of solid, liquid and/or gas inclusions)

2. รีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractrometer) ที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบ monochromatic Sodium vapor light ใช้สำหรับวัดค่าดัชนีหักเหของตัวอย่างพลอย เนื่องจากพลอยแต่ละชนิด มีความหนาแน่นต่อการให้แสงเดินทางผ่านไม่เท่ากัน ถึงแม้จะเป็นพลอยชนิดเดียวกันหากต่างสีกัน ก็จะมีค่าดัชนีหักเหที่แตกต่างกันเล็กน้อย

3. ไดโครสโคป (Dichroscope) ใช้สำหรับวัดสีแฝด (Pleochroism) ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางแสงของพลอยที่ปรากฏให้เห็นเป็นสีต่างกันเมื่อมองพลอยในทิศทางที่ต่างกัน

4. สเปกโตรสโคป (Spectroscope) ใช้สำหรับตรวจดูการดูดกลืนแสงของตัวอย่างพลอย เพื่อหาธาตุมลทินในพลอยอย่างง่ายก่อนที่จะนำไปศึกษาด้วยเครื่องมือระดับสูงต่อไป

5. เครื่องชั่งหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Electric Balance with hydrostatic kit) ใช้สำหรับหาค่าความถ่วงจำเพาะของพลอย

6. เครื่องอัลตราไวโอเล็ต คลื่นสั้นและคลื่นยาว (SW-LW Ultraviolet Lamp) ใช้สำหรับตรวจดูการเรืองแสงของพลอยโดยที่พลอยแต่ละแหล่งจะเปล่งแสงต่างกันเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตคลื่นสั้นและคลื่นยาว

เครื่องมือระดับสูง

นอกจากการใช้เครื่องมือพื้นฐานในการศึกษาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของตัวอย่างพลอยคอร์นตำแล้ว โครงการวิจัยยังได้ใช้เครื่องมือระดับสูงในการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยในตัวอย่างแร่คอร์นตำจากแหล่งต่างๆ และวิเคราะห์ชนิดและส่วนประกอบทางเคมีของมลทินผลึกแร่ที่พบในตัวอย่างแร่คอร์นตำ ผลการวิเคราะห์ในช่วง 3 ปี ของโครงการวิจัยนี้ได้จากเครื่องมือขั้นสูงดังต่อไปนี้คือเครื่อง X-ray Fluorescence (XRF), Electron Microprobe Spectrometer, Raman Spectrometer, Fourier Transform Infra-red Spectrometer และ Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF) รายละเอียดของการทำงานและผลที่ได้ของเครื่องมือดังกล่าวแสดงในตาราง

ตารางที่ 5.1 สรุปลักษณะการทำงานของเครื่องมือระดับสูง

Raman Spectrometer	Fourier Transform Infra-red Spectrometer	Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer
ศึกษาการสั่นและการหมุนของโมเลกุลของตัวอย่างพลอย	ศึกษาการสั่นและการหมุนของโมเลกุลของตัวอย่างพลอย	ศึกษาพลังงานที่กระจายออกเมื่อรังสีเอกซ์เรย์วิ่งชนตัวอย่างพลอย
วัดการกระเจิงของแสงเมื่อใช้เลเซอร์ (Argon Ion Laser) วิ่งชนตัวอย่าง	วัดการดูดกลืน หรือส่งผ่านของรังสีอินฟราเรดที่วิ่งผ่านหรือสะท้อนจากตัวอย่าง	วัดพลังงานเมื่อรังสีเอกซ์เรย์วิ่งชน ตัวอย่าง
ใช้เครื่องวัดระบบ CCD	ใช้เครื่องวัด Deuterated Triglycine Sulphate	ใช้เครื่องวัดเป็น Silicon Lithium
ใช้ Argon Ion Laser Source	ใช้ Infra-red Source และ Helium Neon Laser เป็น reference	ใช้ Rhodium เป็น แหล่งของรังสีเอกซ์เรย์
ช่วงคลื่นที่วัดได้ $200-4000\text{ cm}^{-1}$	ช่วงคลื่นที่วัดได้ $370-14,000\text{ cm}^{-1}$	ช่วงพลังงานที่วัดได้ 5-50 อิเล็กตรอนโวลต์
ผลที่ได้เป็นสเปกตรัมเฉพาะของแร่หรือรัตนชาติแต่ละชนิดโดยมี peak ต่างๆที่แต่ละ wave number และใช้ peak ต่างๆเปรียบเทียบกับ peak ของตัวอย่างมาตรฐาน	ผลที่ได้เป็นสเปกตรัมเฉพาะตัวของแร่หรือรัตนชาติแต่ละชนิดโดยเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างของสเปกตรัมกับตัวอย่างมาตรฐาน	ผลที่ได้เป็น peak ของธาตุที่เป็นส่วนประกอบของตัวอย่างโดย เปรียบเทียบกันค่าพลังงานของ ธาตุในตัวอย่างมาตรฐาน
ใช้คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานประมวลผลวิเคราะห์และแสดงผล	ใช้คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงาน ประมวลผล วิเคราะห์และแสดงผล	ใช้คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงาน ประมวลผล วิเคราะห์และแสดงผล
ได้ชนิดของแร่และรัตนชาติ	ได้ชนิดของแร่และรัตนชาติ หรือได้ OH group, และสารอินทรีย์	ได้ชนิดของธาตุตั้งแต่ Na-U และได้ส่วนประกอบเชิงกึ่งปริมาณของธาตุ

5.3. สรุปผลการศึกษาวิจัยของโครงการฯ

5.3.1 ลักษณะทางกายภาพ

โครงการศึกษาวิจัยเรื่อง มลทินในพลอยคอร์นดัม เพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดและมาตรฐาน ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพ ทางแสง ลักษณะโครงสร้าง ชนิดของมลทินผลึกแร่ และมลทินของไหลในพลอยคอร์นดัม ส่วนประกอบทางเคมี คุณสมบัติและลักษณะสเปกตรัม ของการดูดกลืนแสงรังสีใต้แดง รังสีเหนือม่วง และช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นได้ (Infra Red, Ultra Violet and Visible light) ของตัวอย่างแร่พลอยคอร์นดัมจากแหล่งต่างๆในประเทศไทย ลาว กัมพูชา พม่า (เมียนมาร์) แทนซาเนีย และมาดากัสการ์ ผลการศึกษาดังกล่าวได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.2-5.23

5.3.2 ส่วนประกอบทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีที่แสดงไว้ในตารางนั้นมาจากการคำนวณค่าทางสถิติของตัวอย่างที่ทำการศึกษาทั้งหมด 792 ตัวอย่าง การคำนวณค่าทางสถิติเป็นกระบวนการที่สามารถกำจัด ค่าผลวิเคราะห์ที่ไม่อยู่ในเกณฑ์ออกไป ทำให้ได้ค่าปริมาณธาตุร่องรอยที่มีความถูกต้องแม่นยำ และเป็นช่วงปริมาณค่าที่ยอมรับได้ (ตารางที่ 5.3-5.24) และสามารถนำผลที่ได้นั้นมาใช้เป็นชุด มาตรฐานค่าเปรียบเทียบอ้างอิงปริมาณธาตุร่องรอยสำหรับตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบแหล่งที่มา ดังตารางที่ 5.25-5.29 ที่ได้แสดงช่วงของปริมาณและช่วงปริมาณคาบเกี่ยวของออกไซด์ของ ธาตุร่องรอยในพลอยคอร์นดัมจากแหล่งต่างๆที่ทำการศึกษา สำหรับผลการวิเคราะห์ตรวจสอบ ชนิดของมลทินผลึกแร่ และมลทินของไหลในตัวอย่างแร่พลอยคอร์นดัมจากแหล่งต่างๆภายใต้ แผนงานของโครงการวิจัยนี้ ได้ชนิดของมลทินผลึกแร่ทั้งหมด 58 ชนิดแร่ดังที่ได้รวบรวม แสดงผลไว้ในตารางที่ 5.30

5.3.3 ลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรด

การศึกษาลักษณะสเปกตรัมเฉพาะตัวของการดูดกลืนแสงอินฟราเรดในการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดนั้น โครงการวิจัยฯ ได้ศึกษาลักษณะการดูดกลืน ส่องผ่าน หรือสะท้อนของรังสีอินฟราเรด ในตัวอย่างพลอยคอร์นดัมจากแหล่งต่างๆ โดยใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคป Bruker รุ่น Equinox 55 ตัวอย่างพลอยคอร์นดัมที่ทำการศึกษาวิเคราะห์โดย FT-IR แสดงสเปกตรัมที่มีลักษณะเฉพาะตัว (Characteristic Spectrum) ที่สามารถนำมาช่วยในการจัดแยกแยะว่าพลอยคอร์นดัมนั้นมีแหล่งกำเนิดในทางธรณีวิทยาเป็นแบบ Basaltic association หรือแบบ Metamorphic origin ซึ่งผลจากการระบุแหล่งกำเนิดในทางธรณีวิทยาของตัวอย่างพลอยจะนำมาใช้สนับสนุนร่วมกับผลของการแปลความจำแนกแหล่งกำเนิดด้วยปริมาณธาตุร่องรอย

การระบุแหล่งที่มาของพลอยคอร์นดัมโดยใช้ลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืน ส่องผ่าน หรือสะท้อนของรังสีอินฟราเรดนั้น จะใช้ลักษณะสเปกตรัมเฉพาะตัวของกลุ่ม OH ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง $3000-4000\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งจะมีลักษณะเด่นโดยรวมสรุปได้ดังนี้คือ

- ทับทิมจากแหล่ง Metamorphic origin แสดงลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนของ OH ที่ 3310 cm^{-1}

- ทับทิมจากแหล่ง basaltic origin ไม่แสดงลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนของ OH ในช่วง $3000-3500\text{ cm}^{-1}$
- ไพลิน บุษราคัม แซปไฟร์สีเขียว จากแหล่ง Metamorphic origin แสดงลักษณะ สเปกตรัมการดูดกลืนของสเปกตรัม OH ที่ $3185\ 3233\ 3310\ 3368\text{ cm}^{-1}$ และ $3311\ 3437\ 3501\ 3544\ 3564\ 3626\text{ cm}^{-1}$ และ $3527\ 3622\text{ cm}^{-1}$
- ไพลิน บุษราคัม แซปไฟร์สีเขียว จากแหล่ง Basaltic origin ไม่แสดงลักษณะการดูดกลืนของ OH

สรุปลักษณะสเปกตรัมเฉพาะตัวของพลอยคอร์ันดัมจากแหล่งต่าง ๆ

ลักษณะสเปกตรัมเฉพาะตัวของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด ของตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมในแต่ละแหล่งที่โครงการฯ ทำการศึกษานั้น สรุปลักษณะเด่นได้ดังนี้

1. ทับทิม แหล่งมอซุ ประเทศพม่า มักจะปรากฏสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของกลุ่ม OH ในช่วง $3500-3700$ ที่ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากทับทิมจากแหล่งนี้มักจะมีมลทินแร่ไดอะสเปอร์อยู่ ซึ่งเป็นแร่ที่มีกลุ่มของ OH อยู่ในโครงสร้างส่วนประกอบทางเคมี (AlO-OH)

2. ทับทิม แหล่งโมกก ประเทศพม่า มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของกลุ่ม O-H ที่ $3622\ 3697\text{ cm}^{-1}$

3. ไพลิน และ แซปไฟร์ แหล่งแพร์ มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเด่นชัด ที่ $3185\ 3234$ และ 3310 cm^{-1} ซึ่งเป็นสเปกตรัมของ O-H

4. ไพลิน แหล่งอุ้มบา ประเทศแทนซาเนีย มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ $3621\ 3650\ 3693$ และ 3311 cm^{-1} ซึ่งเป็น O-H stretching vibration

5. แซปไฟร์ แหล่งอิลากากา ประเทศมาดากัสการ์ มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ 3310

6. แซปไฟร์ แหล่งเดียโก แอนท์ซิริรานา ประเทศมาดากัสการ์ มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ $3184\ 3236$ และ 3313 cm^{-1}

7. ทับทิม แหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์ มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่เป็นช่วงกว้างที่ 3088 และ 3306 cm^{-1}

8. ทับทิม และแซปไฟร์ แหล่งแอนดิลามีนา ประเทศมาดากัสการ์ ทั้งพลอยที่ไม่ผ่าน การเผาและเผา ไม่แสดงการดูดกลืนแสงในช่วง $3000-4000\text{ cm}^{-1}$ มีการดูดกลืนที่ $2855\ 2923\ 2955\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็น C-H Stretching vibration (มีข้อสังเกตบางประการเกี่ยวกับ ลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่เกิดจาก O-H stretching ที่ตำแหน่ง $3183\ 3232$ และ 3309 cm^{-1} นั้น จะเห็นได้ชัดเจนขึ้นในพลอยคอร์ันดัมบางแหล่งที่ผ่านการเพิ่ม คุณภาพด้วยความร้อน)

5.3.4 ลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสง UV-VIS-NIR

การตรวจสอบหาลักษณะการดูดกลืนแสง UV-VIS-NIR ที่เป็นลักษณะเด่นเฉพาะของพลอยแต่ละแหล่งนั้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้ซึ่งเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งในหลายๆคุณสมบัติ มาประกอบในการระบุแหล่งกำเนิดได้ (significant characteristic of UV-VIS-NIR absorption spectrum) เนื่องจากพลอยคอร์ันดัมในแต่ละแหล่งอาจจะมีสีที่เป็นตัวแทนของแหล่งที่แตกต่างกัน ซึ่งทั้งนี้สามารถตรวจสอบได้จากตำแหน่งและลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงที่เกิดจากธาตุมลทินที่มีอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกันในตัวอย่างของแต่ละแหล่ง และนำมาประยุกต์ใช้ในการระบุแหล่งกำเนิดทางธรณีวิทยา โดยดูจากสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันระหว่างพลอย ที่มีกำเนิดสัมพันธ์กับการเกิดหินแปร และที่มีการกำเนิดสัมพันธ์กับหินภูเขาไฟบะซอลต์ ตัวอย่างเช่น พลอยกลุ่มสีน้ำเงินจากแหล่งอิรากาา ประเทศมาดากัสการ์ มีรูปแบบการดูดกลืนที่คล้ายกับพลอยสีน้ำเงินจากประเทศศรีลังกาที่มีกำเนิดที่สัมพันธ์กับกระบวนการหินแปร แต่จะแตกต่างกับรูปแบบของการดูดกลืนแสงของพลอยสีน้ำเงิน จากแหล่งหินภูเขาไฟแอลคาไลน์บะซอลต์ในประเทศไทย เช่น ไพลิน จากแหล่งจังหวัดแพร่ จันทบุรี และกาญจนบุรี จะแสดงความเข้มของการดูดกลืนของ Fe^{3+}/Fe^{3+} pairs โดยมียอดของกราฟอยู่ที่ตำแหน่ง 377 และ 450 nm และของ Fe^{3+} อีออนที่ 388 nm อย่างชัดเจน ในขณะที่ไพลินที่มีการกำเนิดสัมพันธ์กับหินแปร เช่นที่ โมกก ประเทศพม่า แหล่งศรีลังกา และแหล่ง อิรากาา ประเทศมาดากัสการ์ นั้น แสดงสเปกตรัม การดูดกลืนที่ 377 388 และ 450 nm ของ Fe^{3+}/Fe^{3+} pairs และ Fe^{3+} อีออน ที่ไม่ชัดเจน

5.4 คุณสมบัติที่ใช้ในการระบุแหล่งที่มา

จากผลการศึกษาของโครงการฯ ที่ได้แสดงสรุปไว้ในตาราง จะเห็นได้ว่าชนิดของมลทิน ผลึกแร่ ลักษณะภายในของตัวอย่างพลอยจากแหล่งต่างๆ ลักษณะสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงอินฟราเรด รวมทั้งส่วนประกอบทางเคมีของธาตุร่องรอย นั้น มีความคล้ายคลึงและคาบเกี่ยว กันมาก ดังนั้นการที่จะใช้คุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งที่กล่าวมาแต่เพียงอย่างเดียว นั้น ไม่เพียงพอ ที่จะให้ความมั่นใจในการระบุแหล่งที่มาได้ว่าถูกต้องแม่นยำ ลักษณะเด่นหรือคุณสมบัติที่เป็น ญุณแจสำคัญที่จะช่วยให้เกิดความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นในการระบุแหล่งที่มา ก็คือ ปริมาณธาตุ ร่องรอย ในตัวอย่าง ทั้งนี้ต้องใช้ข้อมูลของคุณสมบัติอื่นๆที่กล่าวมา ประกอบด้วย

ผลจากการศึกษาตัวอย่างของพลอยคอร์ันดัมจากแหล่งต่างๆ ในหลายๆแหล่งของ โครงการวิจัยฯ ทำให้ทราบแนวทางในการที่จะจัดกลุ่มของพลอยคอร์ันดัมของแต่ละแหล่งได้ โดยสังเขป ดังนี้คือ

1. ปริมาณธาตุร่องรอย (Trace element concentrations)
2. ลักษณะสเปกตรัมเฉพาะตัวของการส่องผ่านหรือการดูดกลืนแสงอินฟราเรด
3. ลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต-ช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นได้-อินฟราเรดช่วงใกล้
4. ลักษณะรายละเอียดภายในของแร่พลอยคอร์ันดัม
5. ชนิดของมลทินแร่ (Mineral inclusions) และกลุ่มของมลทินแร่ (Mineral assemblages)

5.5 มาตรฐานการตรวจสอบพลอยคอร์ันดัมเพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิด

1. จัดเตรียม/จัดหาชุดมาตรฐานข้อมูลส่วนประกอบทางเคมี ของตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมจากแหล่งต่างๆ เช่น ชุดมาตรฐานปริมาณธาตุร่องรอยของทับทิม ชุดมาตรฐานปริมาณธาตุ ร่องรอยของไพลินและแซปไฟร์ และชุดมาตรฐานปริมาณธาตุร่องรอยของบุษราคัม โดยข้อมูลปริมาณธาตุร่องรอยของพลอยเหล่านี้ วิเคราะห์ผลโดยเครื่องเอนเนอียิติสเปอร์ซิปเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (Energy Dispersive X-ray Fluorescence=EDXRF) ดังเช่นในตารางที่ 5.25-5.29
2. จัดเตรียม/จัดหาข้อมูลพื้นฐานของสเปกตรัมเฉพาะตัวของการส่องผ่านหรือดูดกลืนแสงอินฟราเรด (Characteristic Infra red spectrum) วิเคราะห์โดยเครื่องฟูเรียร์ทราน ฟอร์มอินฟราเรด (Fourier Transform Infra red spectrometer = FTIR) และลักษณะ สเปกตรัมการดูดกลืนแสง อุลตราไวโอเลต-ช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นได้-อินฟราเรดช่วงใกล้ (UV-VIS-NIR) ซึ่งวิเคราะห์โดยเครื่อง UV-VIS-NIR spectrometer ของตัวอย่าง พลอยคอร์ันดัมจากแหล่งต่างๆ เพื่อใช้เป็นสเปกตรัมชุดมาตรฐานในการเปรียบเทียบ
3. จัดเตรียม/จัดหา/รวบรวม ชนิด และกลุ่มของมลทินผลึกแร่ที่พบอยู่ภายในพลอยคอร์ันดัมจากแหล่งต่างๆ รวมทั้งลักษณะภายในที่เป็นลักษณะเด่นของพลอยแต่ละแหล่ง ดังเช่นใน ตารางที่ 5.30
4. นำตัวอย่างพลอยทับทิม ไพลิน แซปไฟร์สีต่างๆ และบุษราคัม ที่ต้องการตรวจสอบแหล่งที่มาทำการตรวจวิเคราะห์ สี เนื้อพลอย ความโปร่ง ลักษณะรายละเอียดภายใน การเรืองแสง คุณสมบัติทางแสงและลักษณะรูปร่างผลึกของมลทินผลึกแร่ ให้ได้มาซึ่งข้อมูลพื้นฐาน เบื้องต้นมากเท่าที่จะหาได้ทั้งนี้เพื่อยังผลให้การคาดเดาแหล่งที่มาแคลง โดยพิจารณาว่า ตัวอย่างพลอยนั้นอยู่ในข่ายที่น่าจะมาจากแหล่งใดบ้าง บันทึกผลที่ได้
5. จากนั้นจึงนำตัวอย่างพลอยนั้นไปทำการวิเคราะห์โดยเครื่องมือระดับสูง เช่น EDXRF, FT-IR Spectrometer, UV-VIS-NIR Spectrometer, และ Raman Spectrometer
6. นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลชุดมาตรฐาน ในข้อ 1, 2 และ 3 พร้อมตรวจสอบผล ที่ได้กับบันทึกผลในข้อ 4
7. ถ้าผลการตรวจสอบในข้อ 6 มีการคาบเกี่ยวในคุณสมบัติลักษณะอื่นแต่ให้ผลที่เด่นชัดในส่วนประกอบปริมาณธาตุร่องรอยให้ยึดผลของการเปรียบเทียบปริมาณธาตุร่องรอยเป็นเกณฑ์
8. ถ้าหากยังมีการคาบเกี่ยวของข้อมูลในขั้นตอนสุดท้าย และจำเป็นต้องทำการตัดสินใจ ให้ใช้ประสบการณ์และวิจารณญาณของการเป็นนักอัญมณี และนักแร่วิทยา มาประกอบ

ตารางที่ 5.2 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์ันดัม จากแหล่งต่าง ๆ ในประเทศไทย

พลอยคอร์ันดัม ในประเทศไทย	
Mode of Origin : Xenocrysts in alkaline basalt	
แหล่งจันทบุรี-ตราด	
ลักษณะทั่วไป:- สี- พลอยสีน้ำเงิน และสีแดง แดงอมส้ม แดงชมพู แดงอมม่วง เขียว เขียวปนน้ำเงิน และเหลือง ส่วนใหญ่พลอยมีเนื้อโปร่งใส กึ่งโปร่งใส ถึงโปร่งแสง ค่อนข้างสะอาด เมื่อมองทางด้านหน้าพลอยจะเป็นสีน้ำเงินเข้ม (มองในทิศทางตั้งฉากกับเหลี่ยมหน้ากระดาน) แต่เมื่อมองทางด้านข้างจะเห็นเป็นสีน้ำเงินอมเขียว หรือน้ำเงินอ่อนกว่าเล็กน้อย ส่วนใหญ่พลอยไทยจะมีสีน้ำเงินค่อนข้างมืด มีมลทินไม่มากนัก ถ้ามีจะเห็นได้ชัดเจนด้วยตาเปล่า	
ลักษณะทั่วไป:- มักพบแถบสีและโซนสีรูปร่างหกเหลี่ยม แถบสีบรรจุด้วยผลึกเข็มขนาดเล็ก ๆ ระบายผลึกแผ่ซ้อน ๆ กัน มลทินผลึกเข็มวางตัวตัดกันเป็นมุม 60° และ 120° มลทินผลึกปนน้อย มักมีลักษณะคล้ายแผ่นจานล้อมรอบ อาจเกิดจากแรงกดดันระหว่างการเกิด พบ two-phase silicate glass inclusions แร่ boehmite tubes มักพบอยู่ตามแนวระนาบผลึกแผ่ มักมีคราบเหล็กออกไซด์ตามรอยแตก มลทินของไหลแบบทุติยภูมิรูปร่างคล้ายขนนกและลายนิ้วมือ ไม่แสดงปฏิกิริยาการเรืองแสง พบแนวแตกแยก (parting) บ้าง ผิวพลอยไม่เรียบ มีรอยกัดกร่อน (Etching) หรือมีรู (Pit) มลทินที่มักพบเสมอ:- เช่น spinel, pyroxene, yellow apatite, feldspar, rutile zircon, ilmenite, black metallic pyrrhotite, a corroded almandine garnet (with decrepitated halo), pale sharp-edged plagioclase long boehmite needles ตามแนวระนาบผลึกแผ่ตัดกัน 3 ทิศทาง 2-phase inclusions, fingerprints, tension haloes, และ negative crystals, ในพลอยมักพบผลึก columbite ที่มี tension fissure อยู่รอบ ๆ, black niobites, rutile needles, pyrrhotite, และ chalcopyrite. (ดูเพิ่มเติมในตารางที่ 5.26)	
แชปไฟร์บางกะจะ-เขาวัว	ทับทิมบ้านหนองบอน-บ่อไร่
- ส่วนใหญ่เป็นพลอย สีน้ำเงิน น้ำตาล ดำ และสีเขียว สีเหลืองมีน้อย ความเข้มของสีปานกลางถึงสูง พลอยส่วนใหญ่มีขนาด 6-20 มิลลิเมตร ลักษณะที่สังเกตเห็นชัดเจนของพลอยจากแหล่งนี้คือมีแถบสีและโซนสีเด่นชัดเห็นได้ด้วยตาเปล่า - เป็นแท่งแบน แท่งรูปหกเหลี่ยมยาว และสั้น รูปร่างคล้ายกระสวย พบผลึกแตกหัก ที่มีรอยแตกคล้าย กัน หอย บางผลึกรูปร่างกึ่งเหลี่ยมถึงกึ่งกลม ผลึกมี แนวแตกแยกตามหน้า Basal pinacoid - พลอยสีน้ำเงิน-น้ำเงินเขียว เขียว ค่าดัชนีหักเห $N_g = 1.762-1.768$ และ $N_o = 1.770-1.776$ พลอยสีเหลืองมีค่าดัชนีหักเห $N_g = 1.758-1.760$ และ $N_o = 1.766-1.768$ ถ.พ. = $4.00-4.01$ สีแผด สีน้ำเงิน และน้ำเงินอมเขียว ดูดกลืนแสงเป็นแถบที่ 4500-4700 อังสตรอม ชัดเจน	- ส่วนใหญ่เป็น ทับทิม เป็นสี ชมพูอ่อน แดง แดงมืด คล้ายโกเมน แดงม่วง ความเข้มของสีปานกลางถึงสูง ขนาด 3-6 มิลลิเมตร ทับทิมบ่อไร่ มีลักษณะรูปพรรณสัณฐานเป็นแท่งแบนหกเหลี่ยม บางผลึกไม่มีหน้าผลึกผิวไม่เรียบ มักพบคราบเหล็ก ออกไซด์ตามรอยแตก หนองบอน ผิวไม่เรียบ (waterworn) มีเส้นที่ผิวผลึกเป็นแผ่นบางผลึกแตกหัก มักแตกหักตามแนวระนาบผลึก ทำให้ที่ผิวปรากฏเป็น ช่องว่างรูปร่างของผลึก กลางที่หลุดไป พบเส้นที่แสดง ลักษณะผลึกแผ่ที่ผิว - ค่าดัชนีหักเห $N_g = 1.762-1.768$ $N_o = 1.770-1.776$ ถ.พ. = $3.9-4.00$ สีแผด สี แดงอมส้ม และแดง อมม่วง มีปฏิกิริยาการเรืองแสงเล็กน้อย สีแดงอมส้ม มีการดูดกลืนแสงเป็นแถบมืดที่ 5000-5800 อังสตรอม และเป็นเส้นที่ 6900 อังสตรอม

ตารางที่ 5.2 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์นดัม จากแหล่งต่างๆในประเทศไทย (ต่อ)

พลอยคอร์นดัม ในประเทศไทย	
Mode of Origin : Xenocrysts in alkaline basalt	
แซปไฟร์ จ. จันทบุรี	
สี:- พลอยสีน้ำเงิน และเขียว เขียวปนน้ำเงิน และเหลือง ส่วนใหญ่พลอยมีเนื้อโปร่งใส กึ่งโปร่งใส ถึงโปร่งแสงค่อนข้างสะอาด มีมลทินไม่มากนัก ถ้ามีจะเห็นได้ชัดเจนด้วยตาเปล่า ลักษณะเด่น: คุณสมบัติของพลอยจากแหล่งนี้ที่อาจจะเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรือแว่นขยาย 10 เท่าคือ มักจะมีแถบสี (ลายหิน) เป็นแนวตรงแนวเดียว หรือ 2 แนวทำมุมกัน มีมลทินของไหลแบบลายพิมพ์นิ้วมือ มีหน้าเจียรไนที่ไม่ค่อยสึกกร่อนเพราะมีความแข็งดี มักจะมีสีเปลี่ยนแปลงไป (สีเข้มหรืออ่อน) ขณะหมุนพลอยไปตามทิศทางต่างๆ บางครั้งอาจจะเห็นชัดได้ด้วยตาเปล่า (พลอยที่มีสีเข้มจะเห็นคุณสมบัตินี้ได้ชัดเจนกว่าพลอยที่มีสีอ่อน)	
แซปไฟร์ เขาพลอยแหวน จ. จันทบุรี	
ลักษณะทั่วไป:- เป็นพลอยแซปไฟร์ในหินสีน้ำเงิน สีเขียว และน้ำตาลดำ พลอยสตาร์ (star sapphire) และสตาร์ที่มีเนื้อสีเหลือง (สตาร์บุษย์) พบได้ทั่วไปในพื้นที่นี้ ส่วนใหญ่พลอยมีเนื้อโปร่งใส กึ่งโปร่งใส ถึงโปร่งแสง มลทินเห็นชัดด้วยตาเปล่า 1. พลอยแซปไฟร์ สีน้ำเงิน สีน้ำตาลดำ และสีเขียว กึ่งโปร่งใสถึงโปร่งแสง ขนาดของพลอยส่วนใหญ่ประมาณ 10-20 มม 2. ลักษณะรูปพรรณสัณฐาน เป็นแท่งหกเหลี่ยมสั้น (Short hexagonal prismatic) แท่งยาวคล้ายกลอง (Barrel shape) บางผลึกรูปร่างกึ่งเหลี่ยม (Subangular) ผิวไม่เรียบ (Irregular) มีมลทินชัดเจนเห็นกับตา พลอยสีน้ำเงินดำ มีค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง $N_g = 1.762-1.768$ และ $N_o = 1.770-1.776$ ส่วนพลอยสีน้ำตาล-ดำ มีค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง $N_g = 1.762-1.770$ และ $N_o = 1.770-1.778$ ถ.พ. = 3.98-4.01 3. มลทินที่พบ:- rutile	
บุษราคัม เขาพลอยแหวน เขาวัว บางกะจะ จ. จันทบุรี	
ลักษณะทั่วไป:- มีสีเหลืองอ่อนแก่ต่าง ๆ กัน สีที่นิยมและมีราคาแพงจะมีสีเปรียบได้กับน้ำชาแก่ๆ หรือเหล้าแม่โขง หรือดอกจำปา ถ้ามีสีเขียวปนอยู่ในเนื้อจะเรียกว่า บุษย์น้ำแดง ชนิดที่มีสีเหลืองทองจะเรียกว่าบุษย์น้ำทอง ส่วนใหญ่มักจะสะอาดไม่ค่อยมีมลทิน มีผลึกแท่งเข็มขนาดเล็ก และมลทินของไหลคล้ายขนนก แหล่งที่มีชื่อคือ เขาพลอยแหวน เขาวัว และบางกะจะ	
ทับทิม จันทบุรี-ตราด	
ลักษณะทั่วไป:- ทับทิมไทยมีหลายเฉดสี พบมีสีแตกต่างกันออกไปในแต่ละแหล่ง มีตั้งแต่สีขาวอมแดงเรื่อย ๆ แดงสด แดงชมพู แดงอมม่วง ไปจนกระทั่งมีสีเข้มเหมือนโกเมน ส่วนใหญ่จะมีสีแดงอมม่วง แหล่งที่มีชื่อได้แก่ บ่อไร่ บ่อเวฬุ ตกพรหม เป็นต้น ทับทิมบ่อไร่จัดว่ามีสีดีที่สุด สวยที่สุดคือสีแดงสด หรือแดงที่ไม่อมชมพู หรือม่วง แต่มักมีรอยแตกมากกว่าแหล่งอื่น ทางจันทบุรีจะเรียกทับทิมว่าพลอยแดง ทับทิมไทยส่วนใหญ่ มักจะเห็นบริเวณที่มีด (Extinction) มากกว่าทับทิมจากแหล่งอื่น	

ตารางที่ 5.2 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์ันดัม จากแหล่งต่าง ๆ ในประเทศไทย (ต่อ)

พลอยคอร์ันดัม ในประเทศไทย	
Mode of Origin : Xenocrysts in alkaline basalt	
ทับทิม และ ไพลิน แหล่งบ่อเวฬุ ลักษณะทั่วไป:- เป็นพลอยไพลิน และทับทิม ส่วนใหญ่พลอยมีเนื้อโปร่งใส กึ่งโปร่งใส ถึงโปร่งแสง มีมลทินเห็นชัดด้วยตาเปล่า	
ไพลิน (Blue sapphire)	ทับทิม (Ruby)
1. เป็นแท่งยาว สัน สามเหลี่ยม กึ่งเหลี่ยม-กึ่งกลม มีรูและช่องว่างของผลึกกลาง 2. ที่ผิวแตกหัก กึ่งเหลี่ยม-กึ่งกลม	1. เป็นแท่งแบนสัน สามเหลี่ยม บางผลึก 2. ผิวขรุขระ มีช่องว่างของผลึกกลางอยู่
จันทบุรี-ตราด แหล่งบ้านตกรพรม ลักษณะทั่วไป:- เป็นพลอยไพลินและทับทิม จัดเป็นพลอยที่อยู่ในช่วงของความสะอาดเป็น VS (Very slightly inclusion) ส่วนน้อยที่มีมลทินมาก ซึ่งทำให้พลอยมีความโปร่งเป็นแบบโปร่งแสง มลทินที่พบ:- ได้แก่ แร่เฟลด์สปาร์ (ไมโครไคลน์) ไดออปไซด์ เซอร์คอน	
ไพลิน (Blue sapphire)	ทับทิม (Ruby)
1. พลอยสีน้ำเงินมีสีคล้ายพลอยสีน้ำเงินของเขมร สีอยู่ในช่วงจากสีน้ำเงินอ่อน น้ำเงินเขียว ถึงน้ำเงินดำ ความเข้มของสีปานกลางถึงสูงความมืดสว่าง อ่อน ปานกลางถึงมืด 2. ลักษณะรูปพรรณสัณฐานของไพลิน เป็นแท่งคล้ายกระสวย (spindle) แท่งหกเหลี่ยม (hexagonal) แท่งยาวมีหน้าตัด (prismatic with terminated) กึ่งกลม (subrounded) บางผลึกมีลักษณะกร่อน (roiled effect) บางผลึกมีผิวเรียบ (waterworn) มีเส้นที่ผิว (striation) 3. $N_E = 1.760-1.762$ และ $N_O = 1.770-1.772$ ถ.พ.= 3.96-4.08 สีแฝด:- สีน้ำเงิน และน้ำเงินอ่อนอมเขียว มีการดูดกลืนแสงที่ 4500, 4600, และ 4700 อังสตรอม ชัดเจน ไม่เรืองแสง	1. พลอยทับทิมมีสีแดง แดงอมม่วง ชมพูอ่อน ความเข้มของสีปานกลางถึงสูง ความมืดสว่าง อ่อน ปานกลางถึงมืด (Medium light-dark tone) 2. ลักษณะรูปพรรณสัณฐานของทับทิม เป็นแท่งสัน แบนเป็นแผ่น (tabular) ผลึกแตกหัก ผลึกรูป สามเหลี่ยมแบน บางผลึกมีผิวไม่เรียบ 3. $N_E = 1.760-1.768$ และ $N_O = 1.770-1.772$ ถ.พ.= 3.96-4.08 สีแฝด:- สีแดงอ่อน และ แดงอมม่วง มีการดูดกลืนแสงแบบเป็นแถบที่ 5000-5800 อังสตรอม และเป็นเส้นที่ 6900 อังสตรอม

ตารางที่ 5.3 แสดงช่วงปริมาณธาตุร่องรอยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score = 95) ของพลอยคอร์ันดัม จ. จันทบุรี และ ตราด ผลที่ได้อยู่ในช่วงปริมาณดังนี้

ชนิดพลอย	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	V ₂ O ₅ %	Cr ₂ O ₃ %	Ga ₂ O ₃ %
ไพลินและแซปไฟร์	0.881-1.605	0.012-0.028	0.006-0.012	0.000	0.013-0.025
ทับทิม	0.353-0.535	0.029-0.035	0.009-0.015	0.074-0.210	0.004-0.008

ตารางที่ 5.4 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์นดัม จาก อ. บ่อพลอย จ. กาญจนบุรี

พลอยคอร์นดัม ในประเทศไทย	
Mode of Origin : Xenocrysts in alkaline basalt	
แหล่งกาญจนบุรี อ. บ่อพลอย	
ลักษณะทั่วไป:- เป็นพลอยสีน้ำเงิน (Blue Sapphire) หรือน้ำเงินอมม่วงเล็กน้อย น้ำเงินอมเทา มีสีขุ่นขาวปน (milky) มีพลอยคอร์นดัมสีเหลือง น้ำตาลอ่อน และสีเขียว (Green sapphire) ปนเล็กน้อย มีพลอยสปิเนลสีดำ ปนบ้างเล็กน้อย พลอยส่วนใหญ่มีขนาด 8-12 มิลลิเมตร โปร่งใส กึ่งโปร่งใส โปร่งแสง มลทินที่มักพบ:- ได้แก่ spinel, hercynite, pleonaste, zircon, sillimanite, albite, K-feldspar, pyrrhotite, plagioclase	
1. ลักษณะที่สังเกตเห็นชัดเจนของพลอยจากแหล่งนี้คือมักมีสีเทาอ่อน น้ำเงินอ่อนอมเทา มักจะมีสีเทาแฝงอยู่ (พลอยสีเทาเหล่านี้เมื่อผ่านการเพิ่มคุณภาพด้วยความร้อนจะเป็นสีน้ำเงิน และใสขึ้น) พลอยสีสดและใส มีประกายกว่า พลอยจากจันทบุรี แต่สีมักไม่ค่อยสม่ำเสมอ ในพลอยเม็ดหนึ่งอาจมีทั้งสีน้ำเงินเข้มจนถึงสีฟ้าจางๆ เม็ดที่มีสีเข้มสวดย จะเทียบได้กับไพลินของศรีลังกา มักจะเห็นลักษณะโซนสีชัดเจน ความเข้มของสีปานกลาง ที่สังเกตเห็นได้ มีมลทิน ค่อนข้างมาก ถึงปานกลาง พบแถบสีหรือลายหินเป็นแนวตรงแนวเดียวหรือ 2 แนวตัดกันหรือหักมุม 2. ลักษณะรูปพรรณสัณฐานของไพลิน แขนไฟร์สีเขียว และสีเหลืองอ่อน เป็นแท่งคล้ายกระสวย (spindle) แท่งหกเหลี่ยม (hexagonal) แท่งยาวหัวแหลม (prismatic) แท่งแบน (tabular) สั้น รูปร่างกึ่งเหลี่ยม (subangular) บางผลึกแตกหัก (broken crystal) มีลักษณะกร่อน (roiled effect) บางผลึกมีผิวเรียบ (waterworn) บางผลึก ผิวไม่เรียบ มีลักษณะผิวที่ถูกกัดกร่อน (Etching surface) มีเส้นที่ผิว (striation) หรือมีลักษณะของร่องรอย การเจริญเติบโตเป็นรูปสามเหลี่ยม (Triangular Growth Mark) 3. ลักษณะภายในที่พบ:- แถบสีน้ำเงินบรรจุด้วยมลทินขนาดเล็กๆ คล้ายฝุ่น แถบสีน้ำเงินสลับกับแถบสีน้ำตาล มลทินคล้ายหมอกเมฆสีขาว บรรจุอยู่ในแถบสีน้ำเงิน มลทินคล้ายจุดหรือเข็มหมุดเล็กๆ (dot-like inclusion) บรรจุอยู่ในแถบสีอ่อน รอยแตกตาม basal plane มีมลทินของไหล 2 และ 3 สถานะ มลทินของไหลแบบทุติยภูมิ รูปร่างลักษณะคล้ายลายนิ้วมือ และแผ่นจาน มลทินผลึกกลวง 4. ค่าดัชนีหักเห $N_E = 1.762-1.763$ และ $N_O = 1.770-1.771$ ถ.พ. = 3.96-4.02 สีแผดมีความชัดเจนน้อย (Weak Pleochroism) สีน้ำเงิน และน้ำเงินอ่อน ถึงน้ำเงินอมม่วง พลอยคอร์นดัมสีเหลืองได้สีแผดมีความชัดเจนน้อย สีเหลืองและเหลืองอ่อน พลอยคอร์นดัมสีเขียวได้สีแผดมีความชัดเจนปานกลาง สีเขียวและเขียวอ่อน ดูดกลืนแสงที่ 4500, 4600, และ 4700 อังสตรอม ไม่ชัดเจน ไม่มีปฏิกิริยาการเรืองแสง 5. มลทินที่พบ:- rutile, spinel, hercynite, pleonaste, zircon, ilmenite, albite, K-feldspar, pyrrhotite, amphibole, plagioclase (ดูเพิ่มเติมในตารางที่ 5.26)	

ตารางที่ 5.5 แสดงช่วงปริมาณธาตุร่องรอยเป็นเปอร์เซ็นต์ ผลจากการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score = 95) ของไพลินจากแหล่ง อ. บ่อพลอย จ. กาญจนบุรี

ชนิดพลอย	Fe_2O_3 %	TiO_2 %	V_2O_5 %	Ga_2O_3 %
ไพลิน	0.271-0.583	0.015-0.029	0.008-0.016	0.008-0.022

ตารางที่ 5.6 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์นดัม จากแหล่งโมกก และมองชู ประเทศพม่า

พลอยคอร์นดัม ประเทศพม่า	
Mode of Origin : Contact metamorphic, dolomitic limestone, syenitic and feldspartic intrusive rocks	
ลักษณะทั่วไป:- 1. แถบสีและโซนสี (Colour banding and zoning) พบน้อย ระบายผลึกแฝด (Lamellae twinning) มีอนุภาคคล้ายฝุ่นสีขาวขนาดเล็ก กระจายอยู่ พบแร่แคลไซต์ ไมกา และทัวร์มาลีนเกิดร่วมกับพลอยทับทิม	
2. ลักษณะเด่นคือ เรืองแสงสีแดงภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตทั้งคลื่นสั้น และยาว	
3. มลทินของไหลแบบทุติยภูมิ และรอยแตกที่ถูกสมานโดยของไหลรูปร่างคล้ายหมอก คว้น คล้ายน้ำเชื่อมในน้ำ มลทินผลึกกลวง มลทินของไหลเรียงตัวอยู่ตามระนาบผลึกแฝด มลทินของไหลที่สมานตามรอยแตกมีลักษณะต่อกันเป็นท่อ พบคราบสีขาวของแร่มัลลิลต์ (Mullite = $Al_6Si_2O_{13}$) ตามรอยแตก	
แหล่งโมกก (Mogok)	
ทับทิม	แซปไฟร์
1. มีสีแดงเลือดนกแดง แดงอมม่วง แดงอมส้ม แดงอมชมพูอ่อนโทนสีอ่อนกว่าทับทิมไทย มักมีสีไม่เรียบเสมอ (wavy color distribution) ลักษณะคล้ายน้ำเชื่อมในน้ำ (Swirl-like “treacle”)	1. น้ำเงินอมม่วงอ่อน น้ำเงินอมม่วงเข้ม เทา เทาอมม่วงอ่อน สีน้ำเงินเข้ม (Royal blue) สีน้ำเงินอมม่วงอ่อน ๆ
2. คุณสมบัติทางรัตนชาติ:-ค่าดัชนีหักเห= $n_p = 3.90-4.00$ สีแฝด:- แดง แดงอมม่วง และแดง อมส้ม เรืองแสงปานกลางสีแดง ในช่วงคลื่นสั้น (SW) เรืองแสงสว่างสีแดงอมส้มในช่วงคลื่นยาว (LW) ดูดกลืนแสงช่วงคลื่น 5000-5800 เส้นที่ 6900 อังสตรอม	2. คุณสมบัติทางรัตนชาติ:-ดัชนีหักเห= $n_p = 3.95-4.08$ สีแฝด:-น้ำเงินและน้ำเงินอมม่วง ไม่เรืองแสงในช่วงคลื่นสั้น (SW) เรืองแสงเล็กน้อยสีแดงคล้ำในช่วงคลื่นยาว (LW) ดูดกลืนแสงช่วงคลื่น 4500 4600 4700 อังสตรอม ไม่ชัดเจน
3. ผลึกเข็มเล็ก ๆ กระจายทั่วเม็ด (rutile dust) แถบสีมีเข็มเล็ก ๆ (banding with rutile) บางครั้ง เข็มเล็ก ๆ สานคล้ายตาข่ายไหม (rutile silk) หรืออยู่เป็นกระจุก (cluster of short silk) พบ lamellar twinning	3. โซนหรือแถบที่มีผลึกเข็มเล็ก ๆ ของแร่รูไทล์สานกันคล้ายไหม (silk) หรือจัดเรียงตัวเป็นแนวแถว (brown rutile grains) มักพบรอยแตกที่ถูกสมานรูปร่างคล้ายลายนิ้วมือ หรือขนนก
4. มลทินที่พบ:- bayerite, chlorite, anorthite, rutile, bytownite, orthoclas, albite, muscovite, leucite, phlogopite, zircon, spinel, mica, sphene, apatite, calcite, dolomite, diaspore, boehmite, badelleyite, primary fluid inclusion, CO_2 negative crystals, healing cracks, finger print, mullite	4. มลทินที่มักพบ:-pleonaste rutile, zircon, diaspore, brookite, pyrrhotite, apatite, dolomite, CO_2 , มลทินผลึกกลวง
ทับทิมแหล่งมองชู (Mongshu)	
	1. มีแถบสี โซนสี และมักปรากฏโซนสีม่วง/น้ำเงิน อยู่ตรงกลางของผลึก (blue core) เนื้อมักแตกร้าว จึงมักเห็นสารเร่ง การหลอมละลาย (Flux) และสารSilica ได้ชัดเจนตามแนว รอยแตกเนื่องจากการเติมสารนั้นในกระบวนการเพิ่มคุณภาพ เพื่อช่วยสมานรอยแตกร้าว (ช่วยระบุแหล่งได้)
	2. มีมลทินของไหลแบบ 2 และ 3 สถานะตามรอยแตก
	3. มลทินผลึกแร่พบน้อย เช่น biotite, bismuth, clay mineral, chlorite, thorite, soda-rich orthoclase rutile, diaspore, badelleyite
	4. มลทินของไหลรูปร่างคล้ายหมอกคว้นเป็นลักษณะเด่นของทับทิมแหล่งนี้

ตารางที่ 5.7 แสดงช่วงปริมาณธาตุร่องรอยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score = 95) ของพลอยคอร์นดัม จากโมกก และมองชู ประเทศพม่า

ชนิดพลอย	Fe_2O_3 %	TiO_2 %	V_2O_5 %	Cr_2O_3	Ga_2O_3 %
ไพรีนโมกก	0.105-0.297	0.016-0.034	0.008-0.016	0.000	0.007-0.017
ทับทิมโมกก	0.006-0.041	0.010-0.040	0.027-0.063	0.058-0.410	0.007-0.013
ทับทิมมองชู	0.000-0.085	0.075-0.254	0.042-0.086	0.427-0.877	0.009-0.017

ตารางที่ 5.8 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์นดัม จากแหล่งในประเทศกัมพูชา

พลอยคอร์ันดัม ประเทศกัมพูชา	
Mode of Origin: Xenocrysts in Basaltic Rocks ลักษณะทั่วไป:- พบทั้งทับทิมและไพลิน รูปร่างทั่วไปมักพบเป็นแท่งห้วนมน แท่งยาวหัวแหลม บางแท่งมีหน้าตัด แท่งแบน รูปร่างกึ่งเหลี่ยม ผลึกแตกหัก ผลึกหกเหลี่ยม ผิวกร่อน ผิวมน บางผลึกผิวไม่เรียบ ผิวขรุขระ ผิวเป็นร่อง	
ไพลิน	ทับทิม
1. สีน้ำเงิน น้ำเงินเข้ม น้ำตาลอมเขียว สีน้ำเงินคล้ำ พลอยแคชเมียร์ 2. รูปร่างแท่งยาว ผลึกแตกหัก ผลึกหกเหลี่ยม ผิวกร่อน ผิวขรุขระ ผิวเป็นร่อง ผิวมน 3. $N_g = 1.758 - 1.765$, $N_w = 1.768 - 1.775$ ถ.พ. 3.89-4.01 สีแฟต น้ำเงินและน้ำเงินอมม่วง น้ำเงิน และน้ำเงินอมเขียว ไม่เรืองแสง ดูดกลืนแสงที่ 4500 4600 4700 อังสตรอม ชัดเจน 4. มลทินที่พบ:- plagioclase, pink feldspar, uranium and tantalum-rich pyrochlore, ระบายผลึกแฟต, และรอยแตกที่ถูกสมานโดยของไหล รูปร่างคล้าย ลายนิ้วมือ	1. สีแดงชมพูอ่อน แดง แดงม่วง ความเข้มของสี ปาน กลาง ความสะอาดที่สังเกต ได้มีมลทินมาก ปาน กลาง ถึงน้อย ความโปร่งของพลอยเป็นแบบ โปร่ง ใส-กึ่งโปร่งใส-โปร่งแสง ส่วนใหญ่มีขนาด 3-9 มิลลิเมตร 2. รูปร่างทั่วไปมักพบเป็นแท่งห้วนมน แท่งยาวหัวแหลม บางแท่งมีหน้าตัด แท่งแบน รูปร่างกึ่งเหลี่ยม บาง ผลึกผิวมีลักษณะกร่อน ผิวไม่เรียบ 3. ค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง $N_g = 1.760 - 1.762$ และ $N_w = 1.768 - 1.770$ ถ.พ.=3.89-3.98 สีแฟต แดง อมส้มและแดงอมม่วง มีปฏิกิริยาการเรืองแสง เล็ก น้อยในแสง UV คลื่นสั้น และเรืองแสงเล็กน้อย สีแดงอมส้มภายใต้คลื่นยาว มีการดูดกลืนแสง เป็น แถบมืดที่ 5000-5800 อังสตรอม และเป็น เส้นที่ 6900 อังสตรอม 4. มลทินที่พบ:- แร่สปิเนล ไดออปไซด์ รูไทล์ เฟอร์โร โคลัมไบต์ เฟลด์สปาร์ กาทินาต์ การ์เน็ต อะพาไทต์ เซอร์คอน ผลึกเข็มยาววางตัว ตามระบาย ผลึกแฟต ตัดกันเป็นลักษณะคล้ายกล่อง (Boxwork) มลทิน ของไหลแบบทุติยภูมิ และรอย แตกที่ถูกสมานโดย ของไหล ระบายผลึกแฟต มี ผลึกกลวงวางตัวอยู่ตาม ระบายผลึกแฟต

ตารางที่ 5.9 แสดงช่วงปริมาณธาตุร่องรอยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ
 (Z score = 95) ของพลอยคอร์ันดัม จากแหล่งในประเทศกัมพูชา

ชนิดพลอย	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	V ₂ O ₅ %	Cr ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ %
ไพลิน	0.313-0.469	0.018-0.044	0.009-0.015	-	0.019-0.027
ทับทิม	0.377-0.759	0.024-0.046	0.009-0.015	0.094-0.362	0.005-0.009

ตารางที่ 5.10 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์ันดัม จากแหล่งบ้านห้วยทราย ประเทศลาว

พลอยคอร์ันดัม ประเทศลาว	
Mode of Origin : xenocrysts in Basaltic rocks	
ลักษณะทั่วไป:- โพลินบ้านห้วยทรายมีลักษณะโซนสีที่ชัดเจน มีผิวเรียบมน ซึ่งเป็นลักษณะของพลอยที่ถูกพัดพามาจาก แหล่งกำเนิด แสดงลักษณะสีไม่เรียบ มีแถบสี และโซนสีรูปหกเหลี่ยมซ้อนกัน มีมลทินคล้ายฝุ่นสีขาวบรรจุอยู่ บางครั้งพบป็นสีน้ำเงินอยู่ตรงใจกลางของโซนสี	
โพลิน บ้านห้วยทราย	
1. โพลิน สีน้ำเงิน สีน้ำเงินเข้มถึงดำ น้ำเงินอ่อน น้ำเงินอ่อนอมเขียว น้ำเงินเข้ม และน้ำตาลอ่อน ความเข้มของสีปานกลาง ความโปร่งของพลอยเป็นแบบโปร่งใส-กึ่งโปร่งใส -โปร่งแสง 2. พลอยส่วนใหญ่มีขนาด 2-8 มม. ความสะอาด ที่สังเกตได้มีมลทินมาก ปานกลาง ถึงน้อย 3. ลักษณะรูปพรรณสัณฐานของโพลินเป็นแท่งคล้ายกระสวย (spindle) แท่งหกเหลี่ยม แท่งยาวหัวแหลม บางแท่งมีหน้าตัด แท่งแบน รูปร่างกึ่งกลม กึ่งเหลี่ยม บางผลึกแตกหัก บางผลึกมีลักษณะกร่อน บางผลึกมีผิวเรียบ บางผลึกมีผิวไม่เรียบ 4. ค่าดัชนีหักเห $N_g = 1.760-1.762$ และ $N_w = 1.768-1.770$ ถ.พ.= 3.91-4.20 สีแฝดมีความชัดเจน ปานกลาง สีน้ำเงิน และ น้ำเงินอมเขียว มีการดูดกลืนแสงที่ 4500, 4600, และ 4700 อังสตรอม ชัดเจน 5. มลทินที่พบ:- spinel, ilmenite, feldspar, zircon, chlorite, magnetite, tholite, rutile (ผลึกรูปร่างหักข้อศอกสีดำ), pyroxene apatite พบผลึกเข็มยาวอยู่ตามระนาบผลึกแฝด ผลึกเข็มขนาดเล็กๆ บรรจุ อยู่ตาม แถบสี (Dust-like inclusions) มลทินของไหล 2 สถานะเรียงตัวเป็นแนวอยู่ตาม basal plane ระนาบผลึกแฝด มีผลึกเข็มยาวบรรจุอยู่ และรอยแตกที่มีคราบเกลือออกไซด์ รอยแตกที่ถูกสมาน โดยของไหล ผลึกแร่คล้ายผลึกเซอร์คอนสัน ถูกล้อมรอบด้วยรอยแตก (Stress fracture) มลทิน ของไหลรูปร่างต่างๆ และ ผลึกกลวง เรียงตัวเป็นแนว แถบสีขาวขุ่น มีมลทินคล้ายฝุ่นบรรจุอยู่ รอยแตก ที่ถูกสมานโดยของไหลรูปร่างคล้ายขนนก	

ตารางที่ 5.11 แสดงช่วงปริมาณธาตุร่องรอยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score = 95) ของโพลินจากบ้านห้วยทราย ประเทศลาว

ชนิดพลอย	Fe_2O_3 %	TiO_2 %	V_2O_5 %	Cr_2O_3	Ga_2O_3 %
โพลิน	0.344-0.624	0.013-0.057	0.004-0.010	0.000	0.005-0.037

ตารางที่ 5.12 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์ันดัม จากแหล่งในประเทศ ออสเตรเลีย

พลอยคอร์ันดัม ประเทศออสเตรเลีย	
Mode of Origin : xenocryst in alkaline basaltic rock	
ลักษณะทั่วไป:-ไฟลีนสีน้ำเงินเข้ม น้ำเงินอมเขียว แท่งแบน แท่งหกเหลี่ยม แท่งยาว ผลึกแตกหัก ผลึกหกเหลี่ยม ผิวมน ผิวกร่อน	
ไฟลีน ออสเตรเลีย	
1. สีน้ำเงินเข้ม ถึงน้ำเงินอมเขียว 2. ค่าดัชนีหักเห $n_e=1.762-1.767$, $n_o=1.770-1.776$ ถ.พ. = $3.77-4.03$ สีแฝด น้ำเงินและน้ำเงินอมเขียว ไม่เรืองแสง แสดงการดูดกลืนแสงที่ 4500 4600 4700 อังสตรอม ชัดเจน 4500 อังสตรอม 3. มลทินที่พบ:- ilmenite และ feldspar มลทินของไหลแบบทุติยภูมิ และรอยแตกที่ถูกสมานโดยของไหล รูปร่างคล้ายหมอกควันและคล้ายปีกแมลง มลทินของไหลปฐมภูมิ (Primary fluid inclusion) วางตัวอยู่ในระนาบเดียวกับแถบสี มลทินของไหล 2 สถานะ แถบสี และโซนสี บริเวณแถบสีขาว มักมีอนุภาคนาขนาดเล็กๆ บรรจุอยู่ มีผลึกเข็มยาวของแร่เบอห์ไมต์อยู่ในระนาบผลึกแฝด (Lamellae twinning) พบผลึกเข็มขนาดเล็กๆ กระจายอยู่ในเนื้อพลอย	

ตารางที่ 5.13 แสดงช่วงปริมาณธาตุร่องรอยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score = 95) ของไฟลีนจากแหล่งประเทศออสเตรเลีย

ชนิดพลอย	Fe_2O_3 %	TiO_2 %	V_2O_5 %	Cr_2O_3	Ga_2O_3 %
ไฟลีน	0.592-1.160	0.019-0.055	0.010-0.018	0.000	0.017-0.029

ตารางที่ 5.14 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์นดัม จากแหล่งในประเทศอาฟริกา

พลอยคอร์นดัม ประเทศอาฟริกา	
Mode of Origin : Pegmatitic intrusion in gneiss ลักษณะทั่วไป: แท่งหุ้มมน แท่งยาวหัวแหลม แท่งแบน ผิวก้อน ผิวนูนเรียบ	
ทับทิม อาฟริกา	ไพลิน ไนจีเรีย
1. สีแดง และ แดงอมส้ม , แดงและ แดงอมม่วง 2. ค่าดัชนีหักเห $N_e=1.760-1.762$ $N_o=1.768-1.771$ ถ.พ. = 3.89 -3.98 สีแฟด แดงและแดงอมม่วง แดงและแดงอมชมพู ไม่เรืองแสงภายใต้แสง UV ช่วงคลื่นสั้น และเรืองแสงเล็กน้อยสีแดงส้มในช่วงคลื่นยาว ดูดกลืนแสงที่ 5000-5800 อังสตรอม เป็นเส้นที่ 6900 อังสตรอม 3. มลทินที่พบ:- biotite (brown flake), pyrite, ผลึกเข็มยาวของแร่ rutile, zircon with tension cracks, apatite, pyrrhotite, และรอยแตกที่ถูกสมานด้วยของไหลรูปร่างคล้ายลายนิ้วมือ	1. น้ำเงิน น้ำเงินเข้ม 2. แท่งยาวปลายแหลม ปลายมน ปลายตัด ผลึกแตกหัก ผลึกหกเหลี่ยม ผิวก้อน 3. ค่าดัชนีหักเห $N_e= 1.760-1.765$ $N_o = 1.769 - 1.772$ ถ.พ. = 3.96-4.00 สีแฟด = น้ำเงิน น้ำเงินอมม่วง ไม่เรืองแสงภายใต้แสง UV 4. พบแถบสี มลทินผลึกกลาง
ไพลิน และ แซปไฟร์ อูมบา (แทนซาเนีย)	ทับทิม ลองจิโด (แทนซาเนีย)
1. ไพลินสีน้ำเงินเข้ม น้ำเงินอมเขียว สีไม่สด ส่วนใหญ่เป็นแซปไฟร์ 2. พบมลทินผลึกแร่ zircon การกระจายทั่วไป ความสะอาดตั้งแต่ สะอาด ถึง มลทินค่อนข้างมาก ถึงมาก 3. มลทินที่พบ:- แร่ apatite, calcite, feldspar, zircon, monazite, xenotime, mica, spinel ผลึกเข็มแร่รูไทล์ แถบสี แถบสีหักมุม ระนาบ ผลึกแฝด ที่มีแร่เบอห์ไมต์	1. ทับทิมมีสีแดง แดงอมส้ม แดงอมชมพู แดงดำ เนื้อที่บิรรอยแตกในเนื้อ 2. มักพบเกิดร่วมกับแร่ zoisite สีเขียว และแร่ hornblende สีดำ 3. มลทินที่พบ:- spinel, zircon, apatite, graphite, pyrrhotite, spinel, zoisite ฝุ่นผลึกและแท่งเข็มของแร่ rutile ระนาบผลึกแฝด boehmite tube ตามแนว ระนาบผลึกแฝด มลทินของไหลรูปร่างคล้ายลายนิ้วมือ รอยแตกที่ถูกสมานด้วยของไหล

ตารางที่ 5.15 แสดงช่วงปริมาณธาตุร่องรอยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score = 95) ของไพลินจากแหล่งประเทศไนจีเรีย และแหล่งอูมบา ประเทศแทนซาเนีย

ชนิดพลอย	Fe_2O_3 %	TiO_2 %	V_2O_5 %	Cr_2O_3	Ga_2O_3 %
ไพลิน ไนจีเรีย	0.526-0.864	0.020-0.090	0.008-0.016	0.000	0.019-0.029
ไพลิน อูมบา	0.267-0.615	0.014-0.020	0.012-0.016	0.000-0.006	0.005-0.009

ตารางที่ 5.16 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์นดัม จากแหล่งในประเทศไทย

พลอยคอร์นดัม ประเทศไทย Mode of Origin : Pegmatitic intrusion in gneiss ลักษณะทั่วไป: พบมลทินผลึกแร่มาก มลทินแร่ที่มักพบ:- apatite, spinel, mica zircon, rutile needles	
ทับทิม	ไพลิน
1. สีแดงอ่อนหรือแดงอมม่วง 2. พบมลทินแร่ biotite (brown flake), pyrite, ผลึกเข็มยาวของแร่ rutile, zircon with tension cracks, apatite, pyrrhotite, และรอยแตกที่ถูกสมานด้วยของไหลรูปร่างคล้ายลายนิ้วมือ 3. ลักษณะเด่นของทับทิมแหล่งนี้คือ เข็มยาวของแร่ rutile ลักษณะเหมือนไหม (silk) ตัดขวาง ทั่วเม็ดพลอย บางครั้งทำให้เกิดเป็นพลอย Star (6-rayed asterism) มักพบมลทินผลึกแร่ zircon ที่แสดง tension-haloes and fissures	1. สีน้ำเงินอมเทาอ่อน ๆ ถึงน้ำเงินอ่อนอมม่วง มีไฟดีมาก สีไม่สม่ำเสมอ 2. มลทินส่วนใหญ่เป็นไหมละเอียดสานกัน พบมลทินผลึกแร่ apatite, feldspar, hematite platelets, albite, graphite, mica (muscovite, red phlogopite), pyrrhotite, pyrite, spinel, gahnospinel, uraninite, zircon with tension cracks, tension haloes, garnet, hematite, negative crystal, two phase inclusions, และรอยแตกที่ถูกสมานด้วยของไหลรูปร่างคล้ายขนนก และลายนิ้วมือ

ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยของตัวอย่างแร่พลอยคอร์นดัมจากแหล่งในประเทศไทย ไม่สามารถนำมาแสดงได้ เนื่องจากเป็นกลุ่มตัวอย่างที่ไม่อยู่ในแผนงานของโครงการนี้ ทำให้ไม่สามารถจัดซื้อหรือจัดหาตัวอย่างเพื่อนำมาศึกษาได้ สำหรับลักษณะทางกายภาพทั่วไป ที่แสดงไว้ใน ตารางที่ 5.16 นั้น เป็นข้อมูลที่รวบรวมมาจากการวิเคราะห์ตัวอย่างที่มาขอรับ การตรวจสอบที่ฝ่ายวิเคราะห์ทางฟิสิกส์ กองวิเคราะห์ กรมทรัพยากรธรณี

ตารางที่ 5.17 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์นดัม จากแหล่งทางตอนเหนือของ ประเทศมาดากัสการ์

พลอยคอร์นดัม ประเทศมาดากัสการ์	
Mode of Origin : Skarn, Pegmatitic intrusion in gneiss, xenocrysts in Basaltic rocks แหล่งแร่พลอย:- Gogogogo พบทับทิม, Ejeda พบทับทิม, Antsiranana พบแซปไฟร์สีน้ำเงิน เขียว และเหลือง Amboasary พบแซปไฟร์, Antsirabe พบทับทิมและแซปไฟร์, Betroka พบพลอยชนิดหลายสี (Polychrome), Andranondambo พบแซปไฟร์สีน้ำเงิน Tamatav พบทับทิม Ilakaka และ Sakaraha พบทับทิม และแซปไฟร์สีชมพู น้ำเงินอ่อน เหลือง เขียว และขาวนํ้านม Andilamena พบทับทิม (80%) และแซปไฟร์ (20%)	
แหล่งทางตอนเหนือ	
Mode of Origin : xenocrysts in alkaline basaltic rocks ลักษณะทั่วไป:- แท่งยาว ผลึกแตกหัก ผลึกหกเหลี่ยม ผิวกร่อน ส่วนใหญ่เป็นพลอยสีน้ำเงิน น้ำเงินดำ ที่มีเนื้อแบบขุ่นนํ้านม นอกนั้นเป็นพลอยสีน้ำเงินแกมเขียว เขียว เหลือง และเหลืองแกมเขียว มีมลทินในปริมาณที่ไม่มาก พบที่ Diego, Andapa, Faratsiho และที่ Antsirabe มลทินที่พบ: แร่อะพาไทต์ เซอร์คอน รอยแตกที่ถูกสมานด้วยของไหล โซนสี แอปสที่มีฝุ่น ระนาบผลึกแผด การเจริญเติบโตที่ไม่สม่ำเสมอ ผลึกแร่รูไทล์ ลักษณะเด่นคือมักมีแอปสที่เด่นชัด	
บุษราคัม	แซปไฟร์
1. พลอยสีเหลือง เหลืองอมเขียว เหลืองอมน้ำตาล น้ำตาล น้ำตาลอมน้ำเงินความเข้มของสีปานกลาง ความมืดสว่างของพลอยอ่อนปานกลางถึงมืดปานกลางส่วนใหญ่มีขนาด 3-7.5 มิลลิเมตร 2. ลักษณะรูปพรรณสัณฐาน:-เป็นแท่งห้วนแท่ง ยาวหัวแหลม บางแท่งมีหน้าตัด แท่งแบนรูปราง กิ่งเหลี่ยม บางผลึก ผิวมีลักษณะ กร่อน (Roiled effect) ผิวไม่เรียบ 3. ค่อนข้างสะอาด จัดเป็นพลอยที่อยู่ในช่วงของความ สะอาดเป็น VS (Slightly inclusion) เนื้อโปร่งใส-กึ่งโปร่งใส 4. ค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง $N_g = 1.759-1.770$ และ $N_w = 1.768-1.780$ ถ.พ. 3.93-4.07 สี แสด เหลืองและเหลืองอ่อน เหลือง และ เหลืองอมน้ำตาล ไม่เรืองแสง ภายใต้แสง UV คลื่นสั้น เรืองแสงเล็กน้อยถึงสีแดงมืด ภายใต้แสง UV คลื่นยาว ดูดกลืนแสงที่ 4500 อังสตรอม	1. แซปไฟร์สีน้ำเงิน น้ำเงินอมเขียว และสีเขียว ความเข้มของสีปานกลางถึงอ่อน ความมืด-สว่างของตัวอย่าง อ่อนปานกลางถึงมืดปานกลาง พลอยส่วนใหญ่มีขนาด 4.3-12.9 มิลลิเมตร 2. ค่อนข้างสะอาด มีมลทินเล็กน้อย จัดเป็นพลอยที่อยู่ในช่วงของความสะอาดเป็น VS-SI (Very Slightly- Slightly inclusion) ความโปร่ง ของพลอยเป็นแบบโปร่งใส-กึ่งโปร่งใส 3. ค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง $N_g = 1.759-1.762$ และ $N_w = 1.769-1.770$ ถ.พ. 3.99-4.01 สีแสด น้ำเงินและน้ำเงินอ่อน น้ำเงินและน้ำเงินอมเขียว ไม่เรืองแสง ภายใต้แสงช่วงคลื่น UV ดูดกลืนแสงที่ 4500 4600 4700 อังสตรอม

ตารางที่ 5.18 แสดงช่วงปริมาณธาตุร่องรอยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score =95) ของพลอยแซปไฟร์จากแหล่งเตียโก จังหวัดแอนทซิริรานานาประเทศมาดากัสการ์

ชนิดพลอย	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	V ₂ O ₅ %	Cr ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ %
แซปไฟร์	0.537-0.867	0.012-0.036	0.008-0.014	0.000	0.017-0.031

ตารางที่ 5.19 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์นดัม จาก อิลากากา-สการาฮา ประเทศมาดากัสการ์

พลอยคอร์นดัม ประเทศมาดากัสการ์	
Mode of Origin : Skarn, Pegmatitic intrusion in gneiss, xenocrysts in Basaltic rocks แหล่งแร่พลอย:- Gogogogo พบทับทิม, Ejeda พบทับทิม, Antsiranana พบแซปไฟร์สีน้ำเงิน เขียว และเหลือง Amboasary พบแซปไฟร์, Antsirabe พบทับทิมและแซปไฟร์, Betroka พบพลอยชนิดหลายสี (Polychrome), Andranondambo พบแซปไฟร์สีน้ำเงิน Tamatav พบทับทิม Ilakaka และ Sakaraha พบทับทิม และแซปไฟร์สีชมพู น้ำเงินอ่อน เหลือง เขียว และขาวนํ้านม Andilamena พบทับทิม และแซปไฟร์	
แหล่งอิลากากา-สการาฮา (Ilakaka-Sakaraha)	
Mode of Origin : Marble, Skarn (calc-silicate), Pegmatitic intrusion in gneiss แหล่งแร่สะสมตัวแบบทุติยภูมิ ส่วนใหญ่เป็นแซปไฟร์สีชมพู และไพไรต์ ลักษณะทั่วไป:- พลอยคอร์นดัมที่พบเป็นแซปไฟร์สีต่างๆ เช่น น้ำเงิน ม่วง ชมพู ขาวนํ้านม และไม่มีสี ลักษณะเด่นของแหล่งนี้คือมักพบมลทินแร่ zircon อยู่รวมกันเป็นกระจุก พบบ่อยและมีปริมาณค่อนข้างมาก ในกลุ่มขาวนํ้านมจะมีหมอกขาว (Geuda) ของมลทินแร่ rutile ขนาดเล็ก ลักษณะคล้ายพลอยจากศรีลังกา (พลอยขาวนํ้านมเผาแล้วได้สีน้ำเงิน)	
แซปไฟร์ (อิลากากา-สการาฮา)	
1. สีน้ำเงินเข้มถึงอ่อน ม่วง ชมพูเข้มถึงอ่อน ขาวนํ้านม และไร้สี (กลุ่มไร้สีอาจมีแถบสี หรือจุดสีน้ำเงิน หรือเหลือง) โปร่งใส ความวาวแบบแก้ว 2. ลักษณะรูปพรรณสัณฐาน:- ส่วนใหญ่ผลึกรูปปิรามิด หกเหลี่ยมคล้ายถังเบียร์ (barrel shape) ปิรามิดปลายแหลมสองด้าน รูปหกเหลี่ยมยาวปลายสอบ และแบบแผ่นหนาผลึกมีลักษณะมน (water-worn) ขนาดตั้งแต่ 0.5 ถึง 4.5 กะรัต 3. ค่าดัชนีหักเห และค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วงของแร่คอร์นดัมทั่วไป แซปไฟร์สีม่วง และชมพู เรืองแสงสีแดงชมพู ภายใต้แสง UV ช่วงคลื่นยาว 4. มีปริมาณธาตุเหล็กปานกลางถึงค่อนข้างสูง 5. มลทินที่มักพบ:- zircon (รวมอยู่เป็นกลุ่ม เป็นลักษณะเด่นของแหล่ง), apatite, paragonite, monazite, rutile รอยแตกสมานรูปร่างคล้ายลายนิ้วมือ ชนบก และจาน มลทินผลึกกลวงมี CO ₂ และของไหล สองสถานะ มลทินท่อกลวง มลทินฝุ่น	

ตารางที่ 5.20 แสดงช่วงปริมาณธาตุร่องรอยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score= 95) ของแซปไฟร์จากแหล่งอิลากากา-สการาฮา ประเทศมาดากัสการ์

ชนิดพลอย	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	V ₂ O ₅ %	Cr ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ %
แซปไฟร์	0.057-0.245	0.014-0.040	0.008-0.016	0.000-0.022	0.006-0.014

ตารางที่ 5.21 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์นดัม จากตามาตาฟ ประเทศ มาดากัสการ์

พลอยคอร์นดัม ประเทศมาดากัสการ์	
Mode of Origin : Skarn, Pegmatitic intrusion in gneiss, xenocrysts in Basaltic rocks แหล่งแร่พลอย:- Gogogogo พบทับทิม, Ejeda พบทับทิม, Antsiranana พบแซปไฟร์สีน้ำเงิน เขียว และเหลือง Amboasary พบแซปไฟร์, Antsirabe พบทับทิมและแซปไฟร์, Betroka พบพลอยชนิดหลายสี (Polychrome), Andranondambo พบแซปไฟร์สีน้ำเงิน Tamatav พบทับทิม Ilakaka และ Sakaraha พบทับทิมและแซปไฟร์สีชมพู น้ำเงินอ่อน เหลือง เขียว และขาวนํ้านม Andilamena พบทับทิมและแซปไฟร์	
แหล่งตามาตาฟ (Tamatav)	
Mode of Origin : Marble, Skarn (calc-silicate) (?) แหล่งแร่สะสมตัวแบบทุติยภูมิ ลักษณะทั่วไป:- พลอยคอร์นดัมที่พบเป็นทับทิม สีแดงอมม่วง มักพบมลทินแร่ zircon และแร่ rutile ขนาดเล็ก	
ทับทิมตามาตาฟ	
1. เป็นทับทิมสีแดงอมม่วง แดงอมส้ม แดงดำ มีสีแดง ค่อนข้างทึบไทย เขมร 2. มีปริมาณธาตุเหล็กปานกลาง 3. มลทินที่พบ: ผลึกแร่ rutile, apatite, zircon พบผลึกเข็มเล็กๆ เข็มแท่งสมบูรณ์ และมลทินคล้ายฝุ่น แร่ zircon จับตัวเป็นกลุ่ม เข็มยาวของแร่ boehmite แดงสี ระบายผลึกแผด และโซนสีที่แสดงการเจริญเติบโตของผลึก รอยแตกถูกสมานด้วยของไหล และรอยแตกที่มีคราบเหล็ก	

ตารางที่ 5.22 แสดงช่วงปริมาณธาตุร่องรอยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score = 95) ของทับทิมจากแหล่งตามาตาฟ ประเทศมาดากัสการ์

ชนิดพลอย	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	V ₂ O ₅ %	Cr ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ %
ทับทิม	0.336-0.638	0.020-0.230	0.011-0.019	0.137-0.507	0.007-0.009

ตารางที่ 5.23 ลักษณะทั่วไปที่มักพบในตัวอย่างแร่พลอยคอร์ันดัม จากแหล่งแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์

พลอยคอร์ันดัม ประเทศมาดากัสการ์	
Mode of Origin : Skarn, Pegmatitic intrusion in gneiss, xenocrysts in Basaltic rocks แหล่งแร่พลอย:- Gogogogo พบทับทิม, Ejeda พบทับทิม, Antsiranana พบแซปไฟร์สีน้ำเงิน เขียว และเหลือง Amboasary พบแซปไฟร์, Antsirabe พบทับทิมและแซปไฟร์, Betroka พบพลอยชนิดหลายสี (Polychrome), Andranondambo พบแซปไฟร์สีน้ำเงิน Tamatav พบทับทิม Ilakaka และ Sakaraha พบทับทิม และแซปไฟร์สีชมพู น้ำเงินอ่อน เหลือง เขียว และขาวนํ้านม Andilamena พบทับทิมและแซปไฟร์	
แหล่งแอนดิลามินา (Andilamena)	
Mode of Origin : Marble, Skarn (calc-silicate), Pegmatitic intrusion in gneiss แหล่งแร่สะสมตัวแบบทุติยภูมิ ลักษณะทั่วไป:- พลอยคอร์ันดัมที่พบเป็นทับทิมสีแดง ค่อนข้างดำ มีด และแซปไฟร์ สี น้ำเงินอ่อนอมเขียว ม่วงอมชมพู ชมพูม่วง ลักษณะเด่นของแหล่งนี้คือมักพบมลทินแร่ zircon อยู่รวมกันเป็น กระจุก พบบ่อย และมีปริมาณค่อนข้างมาก	
ทับทิม แอนดิลามินา	
1. มีสีแดง ค่อนข้างดำ มีด และมีมลทินค่อนข้างมาก 2. มีปริมาณธาตุเหล็กสูงคล้ายทับทิมไทย เรืองแสงเล็กน้อยภายใต้แสงอัลตราไวโอเลตคลื่นสั้น 3. มลทินที่พบ:- ผลึกแร่ rutile สีน้ำตาล น้ำตาลดำ และสีดำ สั้น อ้วน คล้ายลูกศร กระจุกของแร่ zircon, apatite, garnet, boehmite, monazite, staurolite ผลึกเข็ม ผลึกที่ถูกหลอม แอปไทต์ที่บรรจุด้วย ผลึกเข็ม ขนาดเล็ก ผลึกเข็มยาวตัดกัน ผลึกเข็มไม่สมบูรณ์ รอยแตกที่ถูกสมานด้วย ของไหลสองสถานะ ระนาบ ผลึกแฝดไม่เด่นชัด	
ไพลิน อันตรานอนแดมโบ	
1. มีสีน้ำเงินสด และแกมม่วงเล็กน้อย น้ำเงินดำเข้มก็พบบ้าง ความสะอาดที่สังเกตได้มีมลทินน้อยถึง ปานกลาง ความโปร่งของพลอยเป็นแบบโปร่งใส 2. ลักษณะมลทินภายใน:- แอปไทต์ ซ้อน ๆ กันค่อนข้างถี่ โซนสี รอยแตกที่ถูกสมานด้วยของไหล มลทิน ผลึก กลวง รูปร่างและขนาดต่าง ๆ กัน มลทินอนุภาคเล็ก ๆ สีขาว 3. มลทินผลึกแร่ เช่น calcite, apatite, feldspar, rutile, zircon, mica, amphibole	

ตารางที่ 5.24 แสดงช่วงปริมาณธาตุร่องรอยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากผลการคำนวณค่าทางสถิติ (Z score = 95) ของทับทิมจากแหล่งแอนดิลามินา ประเทศมาดากัสการ์

ชนิดพลอย	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	V ₂ O ₅ %	Cr ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃ %
ทับทิม	0.252-0.510	0.000-0.537	0.009-0.023	0.285-0.863	0.004-0.008

ตารางที่ 5.25 แสดงปริมาณเปรียบเทียบของ Fe_2O_3 ที่วิเคราะห์ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ในตัวอย่างพลอยคอร์นัม จากแหล่งต่างๆ โดยเครื่อง EDXRF

โพลิน/เซปไฟร์		Fe_2O_3 (%)										
แหล่ง		0.050-0.150	0.151-0.250	0.251-0.350	0.351-0.450	0.451-0.550	0.551-0.650	0.651-0.750	0.751-0.850	0.851-0.950	0.951-1.050	1.051->1.150
จันทบุรี-ตราด											(0.881-1.605)	
กาญจนบุรี						(0.271-0.583)						
แพร่					(0.344-0.492)							
โมกก พม่า			(0.105-0.297)									
ห้วยทราย ลาว						(0.344-0.624)						
โพลิน กัมพูชา					(0.313-0.469)							
เดียงโก มาดากัสการ์							(0.537-0.867)					
อิลากา-สการาฮา		(0.057-0.245)										
ออสเตรเลีย									(0.592-1.160)			
ไนจีเรีย								(0.526-0.864)				
อุมบา แทนซาเนีย					(0.267-0.615)							
ทับทิม		Fe_2O_3 (%)										
แหล่ง		0.050-0.150	0.151-0.250	0.251-0.350	0.351-0.450	0.451-0.550	0.551-0.650	0.651-0.750	0.751-0.850	0.851-0.950	0.951-1.050	1.051->1.150
จันทบุรี-ตราด												
โมกก พม่า	(0.006-0.041)				(0.353-0.535)							
มองซู พม่า	(bdl-0.085)		(bdl = below detection limit)									
กัมพูชา							(0.377-0.759)					
ตามาดอฟ						(0.336-0.638)						
แอนดิลมานา					(0.252-0.510)							

ตารางที่ 5.26 แสดงปริมาณเปรียบเทียบของ TiO_2 ที่วิเคราะห์ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ในตัวอย่างพลอยคอร์นัม จากแหล่งต่างๆ โดยเครื่อง EDXRF

โพลิน/แซปไฟร์	TiO ₂ (%)											
	0.000-0.010	0.011-0.020	0.021-0.030	0.031-0.040	0.041-0.050	0.051-0.060	0.061-0.070	0.071-0.080	0.081-0.090	0.091-0.100	0.101- >0.125	
แหล่ง												
จันทบุรี-ตราด		↔ (0.012-0.028) ↔										
กาญจนบุรี		↔ (0.015-0.029) ↔										
แพร่					(0.022-0.072)							
โมกก พม่า												
ห้วยทราย ลาว					(0.013-0.057)							
โพลิน กัมพูชา												
เดี่ยโก มาดากัสการ์												
อิลากา-สการาฮา												
ออสเตรเลีย												
ไนจีเรีย												
อุมบา แทนซาเนีย		↔ (0.014-0.020) ↔					(0.020-0.090)					
ทับทิม												
แหล่ง	0.000-0.010	0.011-0.020	0.021-0.030	0.031-0.040	0.041-0.050	0.051-0.060	0.061-0.070	0.071-0.080	0.081-0.090	0.091-0.100	0.101- >0.125	
จันทบุรี-ตราด												
โมกก พม่า		↔ (0.010-0.040) ↔										
มองซู พม่า										(0.075-0.254)		
กัมพูชา												
ตามาดอฟ							(0.020-0.203)					
แอนดิลมานา									(bdl= below detection limit)			

ตารางที่ 5.27 แสดงปริมาณเปรียบเทียบของ V_2O_5 ที่วิเคราะห์ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ในตัวอย่างพลอยคอร์นดั้ม จากแหล่งต่างๆ โดยเครื่อง EDXRF

โพลิน/เซปไฟร์	V_2O_5 (%)										
	0.001-0.005	0.006-0.010	0.011-0.015	0.016-0.020	0.021-0.025	0.026-0.030	0.031-0.035	0.036-0.040	0.041-0.045	0.046-0.050	0.051- >0.055
จันทบุรี-ตราด	(0.006-0.012)		(0.008-0.016)								
กาญจนบุรี		(0.005-0.013)									
แพร่		(0.005-0.013)									
โมกข์ พม่า											
ห้วยทราย ลาว	(0.004-0.016)										
โพลิน กัมพูชา		(0.009-0.015)									
เดียงโก มาดากัสการ์		(0.008-0.014)									
อิลากา-สการาฮา		(0.008-0.016)									
ออสเตรเลีย		(0.010-0.018)									
ไนจีเรีย		(0.008-0.016)									
อุมบา แทนซาเนีย		(0.012-0.016)									
V_2O_5 (%)											
ทับทิม											
แหล่ง	0.001-0.005	0.006-0.010	0.011-0.015	0.016-0.020	0.021-0.025	0.026-0.030	0.031-0.035	0.036-0.040	0.041-0.045	0.046-0.050	0.051- >0.055
จันทบุรี-ตราด		(0.009-0.015)							(0.027-0.063)		
โมกข์ พม่า											
มองซู พม่า										(0.042-0.086)	
กัมพูชา		(0.009-0.015)									
ตามาตาฟ		(0.011-0.019)									
แอนดิลามินา		(0.009-0.023)									

ตารางที่ 5.28 แสดงปริมาณเปรียบเทียบของ Cr_2O_3 ที่วิเคราะห์ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ในตัวอย่างพลอยคอร์นัม จากแหล่งต่างๆ โดยเครื่อง EDXRF

โพลิน/แซปไฟร์	Cr ₂ O ₃ (%)										
	0.001-0.050	0.060-0.100	0.110-0.150	0.160-0.200	0.210-0.250	0.260-0.300	0.310-0.350	0.360-0.400	0.410-0.450	0.460-0.500	0.510 >0.550
จันทบุรี-ตราด	bdl	(bdl = below detection limit)									
กาญจนบุรี	bdl										
แพร่	bdl										
โมกก พม่า	bdl										
ห้วยทราย ลาว	bdl										
โพลิน กัมพูชา	bdl										
เดียนโก มาดากัสการ์	bdl										
อิลากา-สการาฮา	(bdl-0.022)										
ออสเตรเลีย	bdl										
ไนจีเรีย	bdl										
อุมบา แทนซาเนีย	(bdl-0.006)										
ทับทิม	Cr ₂ O ₃ (%)										
แหล่ง	0.001-0.050	0.060-0.100	0.110-0.150	0.160-0.200	0.210-0.250	0.260-0.300	0.310-0.350	0.360-0.400	0.410-0.450	0.460-0.500	0.510 >0.550
จันทบุรี-ตราด			(0.074-0.210)			(0.058-0.410)					
โมกก พม่า										(0.427-0.877)	
มองซู พม่า					(0.094-0.362)						
กัมพูชา							(0.137-0.507)				
ตามาตาฟ											
แอนดิลามินา									(0.285-0.863)		

ตารางที่ 5.29 แสดงปริมาณเปรียบเทียบของ Ga_2O_3 ที่วิเคราะห์ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ในตัวอย่างพลอยคอร์ันดัม จากแหล่งต่าง ๆ โดยเครื่อง EDXRF

โพลิน/แซปไฟร์	Ga ₂ O ₃ (%)											
	0.001-0.003	0.004-0.006	0.007-0.009	0.010-0.012	0.013-0.015	0.016-0.018	0.019-0.021	0.022-0.024	0.025-0.027	0.028-0.030	0.031-0.033	
จันทบุรี-ตราด					↔		(0.013-0.025)	↔				
กาญจนบุรี			↔			(0.008-0.022)	↔					
แพร่												
โมกก พม่า				↔		(0.013-0.021)	↔					
ห้วยทราย ลาว		↔					(0.005-0.037)					
โพลิน กัมพูชา								(0.019-0.027)	↔			
เดี่ยโก มาดากัสการ์						↔			(0.017-0.031)	↔		
อิลากา-สการาฮา		↔		(0.006-0.014)	↔			(0.017-0.029)				
ออสเตรเลีย						↔		(0.019-0.029)	↔			
ไนจีเรีย							↔		↔			
อุมบา แทนซาเนีย		(0.005-0.009)	↔									
ทับทิม												
แหล่ง	0.001-0.003	0.004-0.006	0.007-0.009	0.010-0.012	0.013-0.015	0.016-0.018	0.019-0.021	0.022-0.024	0.025-0.027	0.028-0.030	0.031-0.033	
จันทบุรี-ตราด		(0.004-0.008)	↔									
โมกก พม่า			↔	(0.007-0.013)								
มองซู พม่า			↔		(0.009-0.017)	↔						
กัมพูชา		(0.005-0.009)	↔									
ตามาดอฟ			(0.007-0.009)	↔								
แอนดัลลิตา		(0.004-0.008)	↔									

5.6 บทวิจารณ์และประเด็นปัญหา

การศึกษาวิจัยของโครงการวิจัย มลทินในพลอยคอรันดัมเพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดและมาตรฐาน ได้ทำการวิจัยมาตั้งแต่ต้นจนถึงปัจจุบันนี้เป็นเวลา 2 ปี 6 เดือน (ไม่รวมเวลาของการจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์) โดยมีประเด็นปัญหาที่สรุปได้ดังนี้

1. เนื่องจากตั้งแต่กลางปีพ.ศ. 2543 เป็นต้นมา พลอยคอรันดัม จากแหล่งต่างๆในประเทศ มาดากัสการ์ได้เข้ามาสู่ตลาดอัญมณีในบ้านเราอย่างมากมาย ทำให้การระบุแหล่งที่มาของพลอย มีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้น เนื่องจากการคาบเกี่ยวของการกำเนิดที่คล้ายคลึงกัน ส่งผลให้ ผลวิเคราะห์ทางเคมี และลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของพลอยแต่ละแหล่งไม่มี ความโดดเด่นเป็นเอกลักษณ์ที่ชัดเจน

2. ผลจากข้อ 1 ทำให้การศึกษาของโครงการฯ ต้องปรับเปลี่ยนแผนงาน เพื่อติดตามและ จัดหาตัวอย่างมาทำการศึกษาวเคราะห์ ตามแหล่งของวัตถุดิบแหล่งใหม่ๆของพลอยที่ได้นำเข้ามาใน ประเทศไทยอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาในช่วงนี้ ส่งผลให้การวิจัยติดขัดและล่าช้า

3. ผลการศึกษาวิจัยที่ได้ ของตัวอย่างที่นำมาทำการทดลอง (Monitoring samples) กับชุด ผลวิเคราะห์มาตรฐาน นั้นบางครั้งได้ผลไม่ถูกต้อง 100% เนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1. แหล่งพลอยในประเทศมาดากัสการ์ มีกระจายอยู่ทั่วเกาะ (แผนที่ รูปที่ 1.1) และแต่ละ แหล่งอยู่ใกล้กัน ซึ่งในแง่ของการกำเนิดแล้ว พลอยในบริเวณนั้นอาจจะมีลักษณะสภาพ ทางธรณีวิทยาแบบเดียวกันหรือคล้ายคลึงกัน ทำให้ค่าผลวิเคราะห์ของปริมาณ ธาตุร่องรอยที่ได้จากตัวอย่างพลอยที่อยู่ในบริเวณใกล้กันนั้น มีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้ยาก ต่อการ ระบุแหล่งที่มาเป็นพื้นที่เฉพาะ เช่น ระบุว่าเป็นพลอยจากแหล่งตามาตาฟ ไม่ใช่ จาก แหล่งแอนดิลามินา เป็นต้น
2. แหล่งที่มาของตัวอย่างที่นำมาทำการศึกษาวเคราะห์นั้น อาจเชื่อถือได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามอาจมีความผิดพลาดได้ เนื่องจากพลอยเหล่านั้นได้ผ่านมือผู้ประกอบการ มากกว่าหนึ่งราย กว่ามาถึงมือผู้วิจัย วิธีที่ดีที่สุดในการวิจัยในลักษณะนี้คือผู้วิจัย เข้าไปยังแหล่งพลอยด้วยตัวเองเพื่อจัดหาหรือจัดซื้อตัวอย่าง
3. สืบเนื่องจากปัญหาในข้อ 3.2 ทำให้เกิดการปะปนกันของตัวอย่างจากแหล่งต่างๆ ซึ่งมี ผลทำให้ผลการทดสอบกับชุดมาตรฐานได้ผลออกมาเป็นแหล่งที่มีข้อมูลคาบเกี่ยว ดังนั้น โครงการวิจัยฯ จึงได้รายงานผล โดยจัดลำดับความน่าจะเป็นของแหล่ง
4. ผลจากการศึกษาวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดพบว่ารูปร่างของสเปกตรัม จากแต่ละ แหล่งกำเนิดมีความคล้ายกัน แต่อย่างไรก็ตามสามารถนำมาใช้เป็นตัวช่วยบ่งชี้แหล่ง กำเนิดได้โดยเฉพาะในรูปร่างของสเปกตรัมที่ได้มาจากการศึกษาตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของ แหล่งในจำนวนที่ค่อนข้างมาก เพื่อให้ได้ลักษณะสเปกตรัมที่เป็นลักษณะตัวแทน ของแหล่งนั้น

5. การศึกษาวิจัยในลักษณะนี้ จะได้ผลการศึกษาที่ดีกว่านี้ ถ้าทำการศึกษาวิจัยจากจำนวนตัวอย่างที่มากกว่านี้ และเป็นกลุ่มตัวอย่างที่ครอบคลุมความหลากหลายของตัวอย่างในแหล่งนั้น ๆ เช่นความหลากหลายในเรื่องโทนสี เป็นต้น

อย่างไรก็ตามโดยรวมแล้วการศึกษาวิจัยของโครงการนี้ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ และมีความเชื่อมั่นว่า ผลการศึกษาวิจัยที่ได้นั้น สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน และใช้เป็นแนวทางของมาตรฐานการระบุแหล่งที่มาของพลอยคอร์ันดัมจากแหล่งต่างๆ ได้ โดยดำเนินการตามขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 5.4 และ 5.5

ระบบหรือเกณฑ์มาตรฐานในการระบุแหล่งที่มาของพลอยคอร์ันดัมที่โครงการวิจัยฯ ได้กำหนดเป็นแนวทางขึ้นนี้ ได้คำนึงถึงความเป็นไปได้ในการที่ผู้ที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมอัญมณี หรือห้องปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์อัญมณีระดับมาตรฐานทั่วไป สามารถนำไปใช้ได้โดยไม่มีความยุ่งยากซับซ้อน และไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และท้ายสุดนี้คณะผู้วิจัยหวังว่าผลการวิจัยนี้จะยังประโยชน์ทั้งทางวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และทางด้านเศรษฐกิจมาให้แก่ประเทศบ้างไม่มากก็น้อย