

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)

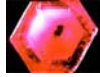


รายงานผลการวิจัย

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 จากแหล่งต่างๆในประเทศสมาคมค้าสารได้เข้ามาสู่ตลาดอัญมณีในบ้านเราอย่างมากมาย ทำให้การระบุแหล่งที่มาของพลอยมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้น
- ต้องติดตามและจัดหาตัวอย่างมาทำการศึกษาวิเคราะห์ตามแหล่งของวัตถุดิบแหล่งใหม่ๆของพลอยที่ได้นำเข้ามามีในประเทศไทยอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาในช่วงนี้ โดยเฉพาะพลอยจากแหล่งในประเทศสมาคมค้าสาร ทำให้งานการวิเคราะห์ตัวอย่างมีจำนวนมาก เวลาจึงเป็นปัจจัยสำคัญของการศึกษา
- เนื่องจากตัวอย่างพลอยที่นำมาทำศึกษานั้น 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. วิสุทธิ์ พิสุทธิอาณนัท ; Assoc. Prof. Dr. Visut Pisutha-Armond)

4. งบประมาณทั้งโครงการ 1,228,185 ล้านบาท

5. ระยะเวลาที่ดำเนินงาน 1 ปี

ได้เสนอโครงการนี้ หรือโครงการที่มีส่วนเหมือนกับเรื่องนี้บางส่วนเพื่อขอทุนต่อแหล่งทุนอื่นที่ใดบ้าง ไม่ได้เสนอต่อแหล่งทุนอื่น

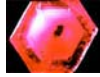


เสนอต่อ

ชื่อโครงการที่เสนอ

กำหนดทราบผล(หรือสถานภาพเท่าที่ทราบ)

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



แผนงานโครงการวิจัยในปีที่ 3

1. ชื่อโครงการการศึกษามลทินในพลอยคอร์ันดัมเพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดและมาตรฐาน

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 ที่พบอยู่ในพลอยตระกูลคอร์ันดัม (ทับทิมและไพลิน) รวมทั้งความรู้เกี่ยวกับการกำเนิด และแนวทางการกำหนดมาตรฐานคุณภาพของพลอยตระกูลคอร์ันดัม ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถ นำมา ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานร่วมกับข้อมูลทางด้านอัญมณีศาสตร์อื่น ๆ ในการจัดแบ่งแหล่งกำเนิด (origin determination) ของพลอยคอร์ันดัมเพื่อประโยชน์ต่อการจัดมาตรฐานคุณภาพ และราคาพลอยในตลาดอัญมณี ในการพัฒนาวิธีการเพิ่มคุณภาพพลอยที่เหมาะสม และในการ พัฒนาหาแหล่งแร่พลอยแหล่งใหม่

7. วัตถุประสงค์ของโครงการ

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

7.2 ศึกษา วิเคราะห์ และรวบรวม ชนิดและลักษณะเฉพาะของมลทิน ในพลอยคอร์ันดัม ของแต่ละแหล่ง เพื่อเป็นมาตรฐานในการระบุแหล่งที่มาของพลอยคอร์ันดัม

7.3 ศึกษาการกำเนิดของพลอยคอร์ันดัม



โครงการ“การศึกษามลทินในพลอยคอร์นดัมเพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดและมาตรฐาน”

8. ระยะเวลาที่คาดว่าจะต้องใช้ 1 ปี (ดำเนินการต่อเนื่องมาแล้ว 2 ปี)

9. วิธีการวิจัย

9.1 สำนักรวณปริมาตรและเก็บตัวอย่างพลอยคอร์นดัมในแต่ละแหล่ง

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 ซึ่งโครงการฯยังมิได้ทำการศึกษาวินิจฉัยเช่นกัน

การศึกษาวิจัยตัวอย่างพลอยจากแหล่งที่จะเข้ามามีบทบาททางการตลาดในประเทศไทยในปัจจุบัน และในอนาคตอันใกล้ จะช่วยให้อุตสาหกรรมอัญมณีไทยได้ข้อมูลที่จะเป็นประโยชน์ และทันต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมอัญมณีของประเทศ โครงการวิจัยฯ จึงเล็งเห็นว่าควรจะทำการศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างเพิ่มเติมนอกเหนือจากส่วนที่วางแผนไว้เดิม โดยในช่วงเวลานี้ควรทำการศึกษาตัวอย่างจากแหล่ง ในประเทศมาดากัสการ์ และแทนซาเนีย

แหล่งพลอยคอรัันดัมที่ทำการศึกษาในปีที่ 3 มี 7 แหล่งดังนี้

แหล่งที่ทำการศึกษาเพิ่มเติม	ชนิดของคอรัันดัม	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 มาตรฐานการระบุแหล่งที่มาของพลอยคอรัันดัม

11.2 วิธีการวิเคราะห์มลทินที่เหมาะสม และรวดเร็ว

11.3 ชนิดของมลทิน และส่วนประกอบทางเคมีของพลอยแต่ละแหล่งที่สามารถนำมา ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาวิธีการเพิ่มคุณภาพพลอยที่เหมาะสมของแต่ละแหล่งพลอย และพัฒนาวิธีการตรวจพลอย

11.4 ทราบสถานะแวดล้อมทางธรณีวิทยาของการกำเนิดพลอยคอรัันดัม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์เพื่อการพัฒนาหาแหล่งแร่พลอยแหล่งใหม่ในประเทศ

12. ประโยชน์ของงานวิจัยมลทินในพลอยคอรัันดัม ต่อโครงการวิจัยอื่น ๆ

- โครงการวิจัยนี้ จะได้ข้อมูลทางแร่วิทยาของพลอยคอรัันดัม และมลทินที่อยู่ภายใน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในโครงการวิจัยเรื่อง “การวิจัยและพัฒนา สภาวะของการเผาพลอยทับทิม” 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 อธิบายภาพกับนิสัรูปผลึกจำลองของแร่พลอยคอร์ันดัม	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 มลทินผลึกกลวงและเหลี่ยมออกไซด์ 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 แอนท์ซิริรานานา 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 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของไพลินจากแหล่งอุ้มบา 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 จากแหล่งมองชู	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 และมองชู ประเทศพม่า	205
5.7	แสดงช่วงปริมาณธาตุร่องรอยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากผลการคำนวณค่า ทางสถิติ (Z score=95) ของพลอยคอร์นดัม จากโมกกและมองชู 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” ในช่วงเวลาที่ผ่านมาโครงการวิจัยนี้ได้เน้นทำการศึกษาสภาพธรณีวิทยา แหล่งเหมืองแร่พลอย และศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างแร่พลอยคอรัณดัมจากแหล่งต่างๆในประเทศมาดากัสการ์ มากกว่าแหล่งอื่นๆ เนื่องจากในขณะนี้แหล่งพลอยในประเทศมาดากัสการ์เป็นแหล่งวัตถุดิบแร่รัตนชาติที่สำคัญ ของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของประเทศไทย และนอกจากนี้การศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติตัวอย่างพลอยและอื่นๆที่เกี่ยวข้องของแหล่งเหล่านี้ ยังเป็นการปฏิบัติงานที่ดำเนินการตามแผนงานที่วางไว้ด้วยเช่นกัน

โครงการวิจัยได้รายงานผลการศึกษาในรูปของผลการศึกษาตัวอย่างพลอยจากแหล่งต่างๆเพิ่มเติม และได้รายงานสภาพธรณีวิทยา กฎและระเบียบต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทำธุรกิจ 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 ประกอบด้วยผืนดินส่วนที่ในปัจจุบัน 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

แร่คอร์ันดัมที่มีคุณภาพระดับพลอยนั้น 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

นอกจากนี้ยังพบพลอยคอร์ันดัมทางด้านตะวันออกของเกาะที่เมือง Tamatav จังหวัด Taomasina พบทับทิม และทางตอนเหนือที่เมือง Diego จังหวัด Antsiranana พบแซปไฟร์สีน้ำเงิน น้ำเงินอมม่วง เหลือง และเขียว ในบางพื้นที่อาจพบแหล่งพลอยที่มีรูปแบบของการกำเนิดได้ ทั้งสองแบบใน พื้นที่เดียวกันหรือใกล้เคียงกัน แหล่งแร่พลอยชนิดนี้จะมีการเกิดที่สัมพันธ์กับการผุพัง สลายตัวของ เนื้อหินต้นกำเนิด และการพัดพาแร่ออกไปจากแหล่งต้นกำเนิดโดยทางน้ำไปสะสมตัวเป็นแหล่ง แร่แหล่งใหม่ ซึ่งหินต้นกำเนิดอาจเป็นหินแปร หรือหินอัคนีก็ได้ บางครั้งอาจพบพลอยหรือชิ้น กะสะเกษพลอยอยู่ในระดับผิวดิน 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

พลอยคอร์ันดัม (Corundums) Ruby, Sapphires สีต่างๆ

โกเมน (Garnet) almandine, rhodolite, spessartine

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

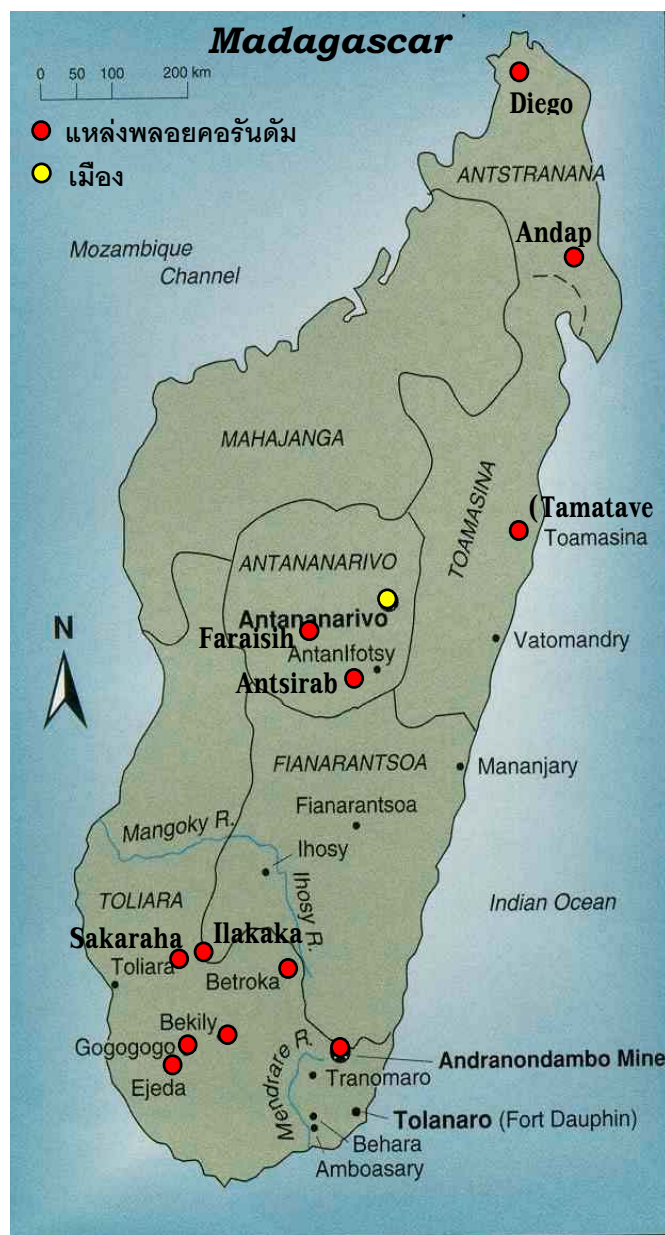
1.5.1. พลอยแซปไฟร์อันดรานอนแดมโบ (Andranondambo)

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 ภายใต้อุปโลก 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 ชนิดฟิโลโกไพต์ (phlogopite) และไบโอไทต์ แร่อีปีโดต แอมฟิโบล และเหล็กออกไซด์



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

มลทินผลึกแร่ที่พบในแร่คอร์รันดัม (แซปไฟร์) เช่นผลึกแร่แคลไซต์ สปีเนล อะพาไทต์ และมลทิน 3 สถานะ (ของเหลว ก๊าซ และแร่ไดอะสเปอร์) เหล่านี้เป็นตัวบ่งบอกว่า แซปไฟร์ เกิดในสภาพแวดล้อมที่มีแคลเซียมและอลูมิเนียมสูง และมีของไหลที่ทำให้เกิดการแปรสภาพ โดยการแทนที่ (metasomatic fluid) เข้ามาเกี่ยวข้อง

Gubelin and Peretti (1997) พบแร่คอร์รันดัม ในหินอ่อนและหินแคลก์ซิลิเกตที่ประกอบด้วยแร่แคลไซต์ อะนอร์ไทต์, ไฮโบไนต์ (hibonite; $\text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$) และสปีเนล โดยเฉพาะบริเวณแนวสัมผัสระหว่างหินแกรนิตที่แทรกดันเข้ามาในหินอ่อน ในบริเวณพื้นที่อันตรานอนแดมโบ เช่นเดียวกัน ซึ่งบ่งบอกว่าแร่คอร์รันดัมนั้นเกิดจากขบวนการแปรสภาพโดยการแทนที่ตามแนวสัมผัส ดังกล่าว

1.5.2. พลอยแซปไฟร์อิลากากา-ซาคาราฮา (Ilakaka-Sakaraha)

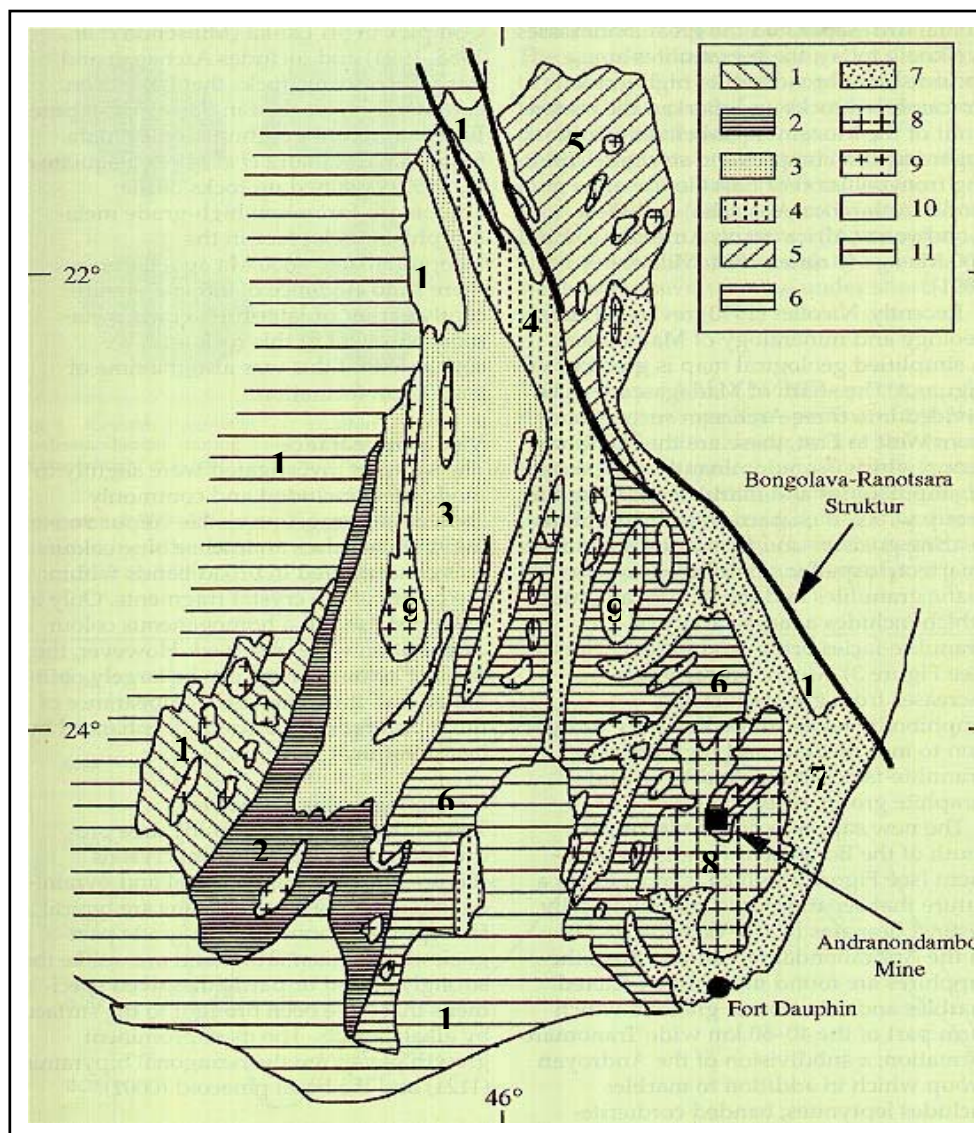
ซาคาราฮา และ อิลากากา เป็นพื้นที่อยู่ทางด้านตะวันออกของเมืองทูลีเยรา ในจังหวัด ทูลีเยรา หรือทูลีเยร์ (Toliara or Tulear; รูปที่ 1.3 และ 1.5) แหล่งพลอยแซปไฟร์ ในบริเวณนี้เป็นแหล่งที่มีการกำเนิดแบบทุติยภูมิ พลอยหลุดออกมาจากเนื้อหินต้นกำเนิด และถูก พัดพามาโดยทางน้ำในลักษณะตะกอนน้ำพา มาสะสมตัวในที่ลุ่ม บางบริเวณพบปนอยู่กับตะกอน 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 แพลเตอร์รี่ 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) ทางตอนเหนือใต้เดียดโกลงมา และ ที่ ฟาแรทซิโฮ (Faratsiho) และ แอนท์ซิริเบ (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
 รอยเลื่อนของโกลาวารานอตซ์ซารา (Bongolava-Ronatsara)

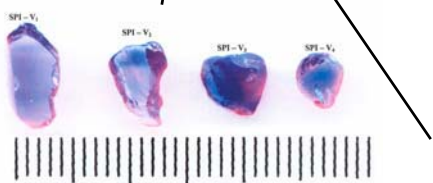
แผนที่ประเทศมาดากัสการ์ (Schwarz et al, 1996)
แสดงจังหวัด และพื้นที่ที่มีการทำเหมืองพลอยที่สำคัญ



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

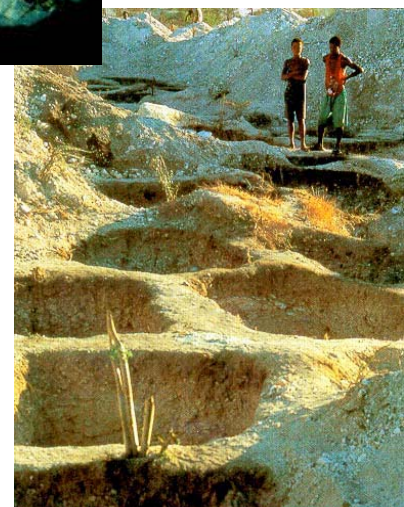


ชาวบ้านเลียงร่อนหาพลอยที่เกิดแบบทุติยภูมิ



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

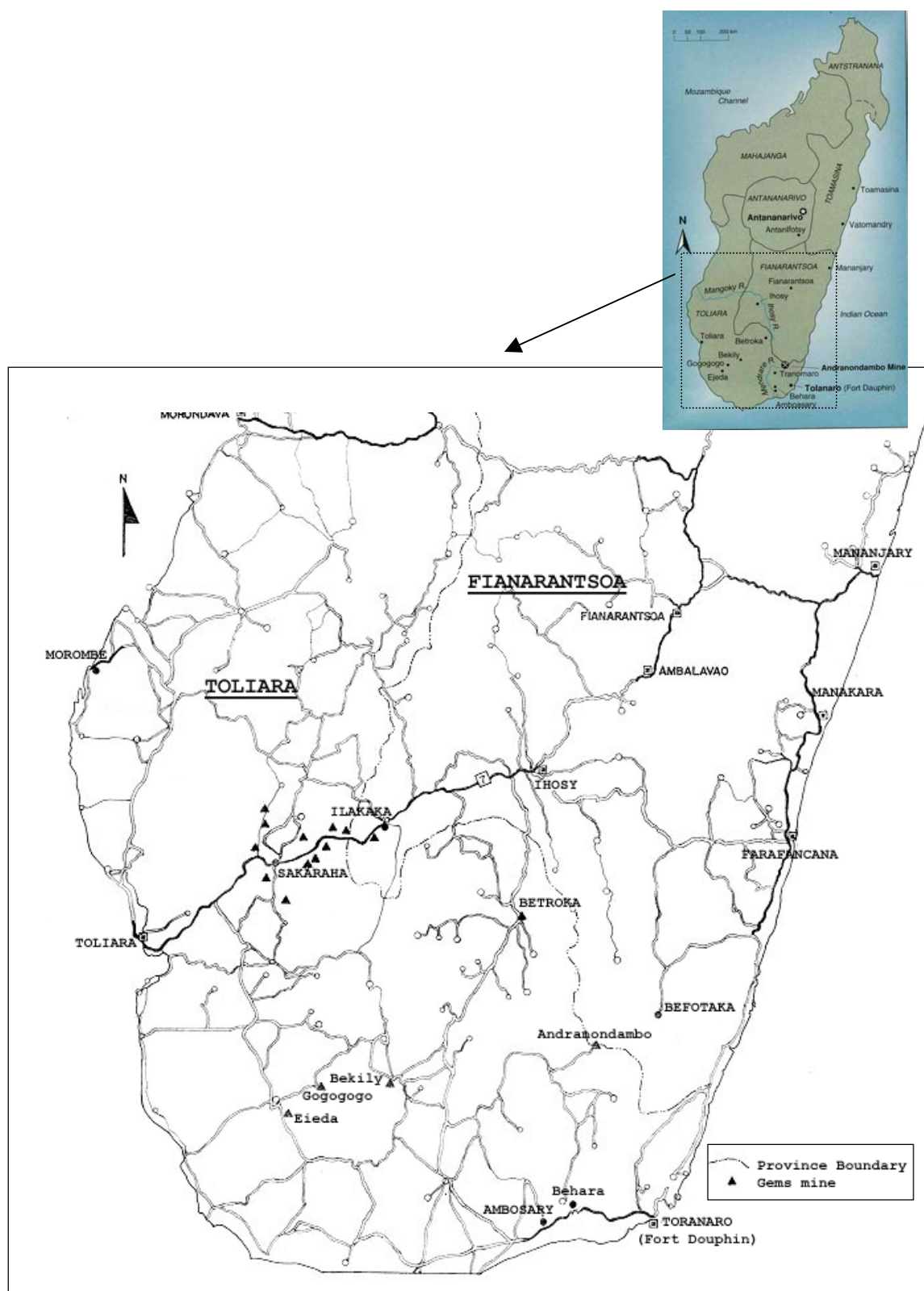
หลุมสี่เหลี่ยมที่ชาวมาลากาใช้ขุดหาพลอยในบริเวณพื้นที่
หมู่บ้านแอนดราอนแดมโบ (Schwarz et al., 1996)



รูปที่ 1.3 บริเวณเหมืองพลอย และพลอยแซปไฟร์ที่พบในประเทศมาดากัสการ์



รูปที่ 1.4 พลอยแซปไฟร์หลุดออกมาจากเนื้อหินต้นกำเนิดที่ผุพังถูกพัดพาลงมาโดยทางน้ำ และมารวม สะสมตัวในที่ลุ่ม เกิดเป็นแหล่งแร่แบบทุติยภูมิหรือแบบลานแร่ เช่น แหล่งพลอยในทูลีเยว



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 จำเป็นที่จะต้องมียุติบัตรเป็นของตนเองก่อน เพื่อที่จะใช้บริษัทนั้นขอวีซ่าระยะยาว (Long stay visa) และขอสัมปทานการสำรวจและการทำเหมือง ในขั้นตอนของการขอเปิดบริษัทนี้ใช้เวลาประมาณ 2 อาทิตย์ ถึง 1 เดือน โดยมีเงื่อนไข ในการเปิดบริษัทดังนี้ (เกรียงศักดิ์ เจียรพุด, 2544)

- ต้องมี GERANT หรือหุ้นส่วน ที่เป็นคนมาดากัสการ์ หรือ คนต่างชาติที่มี Resident Card หรือ Long stay visa
- มีการจัดสรรจำนวนผู้ถือหุ้นและตั้งทุนจดทะเบียนของบริษัท
- ทำหนังสือ บริคณัตสนธิ (STATUS)) ของบริษัท ในส่วนนี้ต้องระบุวัตถุประสงค์ด้วย เช่น ถ้าท่านจะเปิดเหมืองแร่พลอย ท่านต้องระบุในหนังสือบริคณัตสนธิด้วยว่าบริษัทของท่านจะดำเนินการกิจการทำเหมืองแร่ 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 แต่ต้องระบุว่ามีจำนวนทั้งสิ้นกี่แปลง 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 ทางราชการ 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 ผู้ที่สามารถจะออกใบเลเซปาเซชนิด 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 วันทำงาน 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
- กรณีที่ไม่ชำระภาษีหรือนำส่งภาษิล่าช้าหรือไม่ได้ส่งรายงานตามกำหนด 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

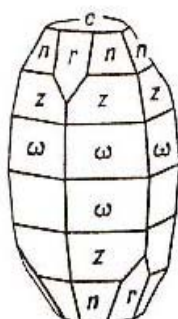
ตัวอย่าง ทั้ง 43 ตัวอย่าง สามารถแบ่งกลุ่มออกได้เป็น 4 กลุ่ม ตามเขตสีหลักๆ คือ

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)

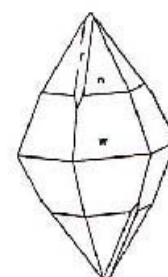
3.4 การเตรียมตัวอย่าง

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

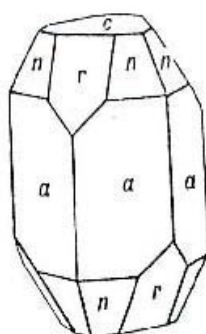
ธาตุร่องรอย ด้วยเครื่องมือ EDXRF ตรวจสอบลักษณะภายใน และชนิดมลทินด้วยกล้องจุลทรรศน์ และ เรเซอร์รามานสเปกโตรสโคป



(ก) รูปถังเบียร์ (barrel-shaped crystals)



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



(ค) รูปปริซึมหกเหลี่ยมยาว (combination
of prism- dipyrnoid 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 แต่มีข้อสังเกตที่ว่า 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)



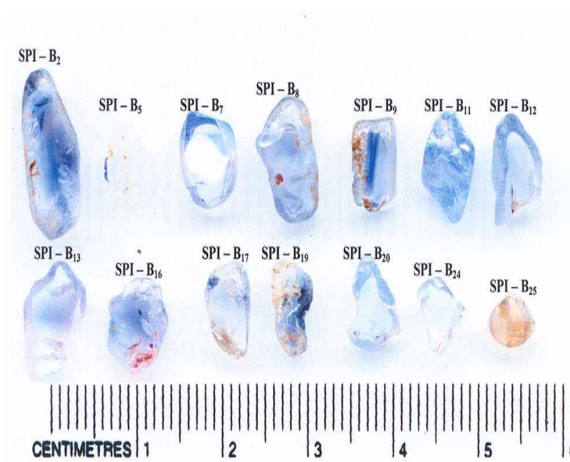
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะตัวอย่างพลอยดิบในกลุ่มสีม่วง (SPI-V)



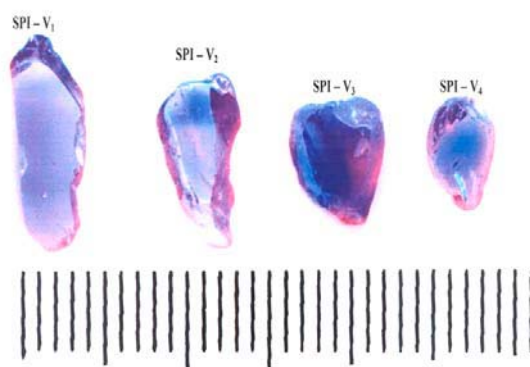
รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะตัวอย่างพลอยดิบในกลุ่มสีชมพู (SPI-P)



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะตัวอย่างพลอยดิบในกลุ่มไร้สี (SPI-CL)



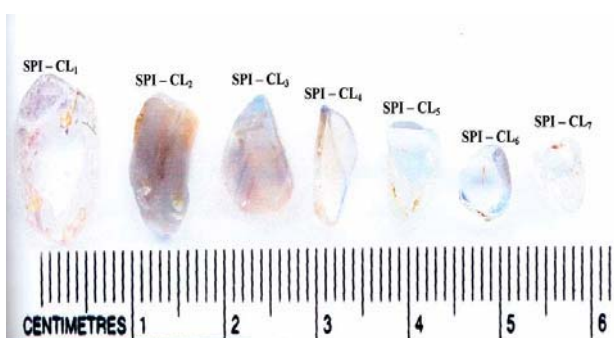
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะพลอยดิบในกลุ่มสีน้ำเงิน (SPI-B)
ที่ได้ทำการขัดเปิดหน้า ตั้งฉากกับแกนแสง



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)

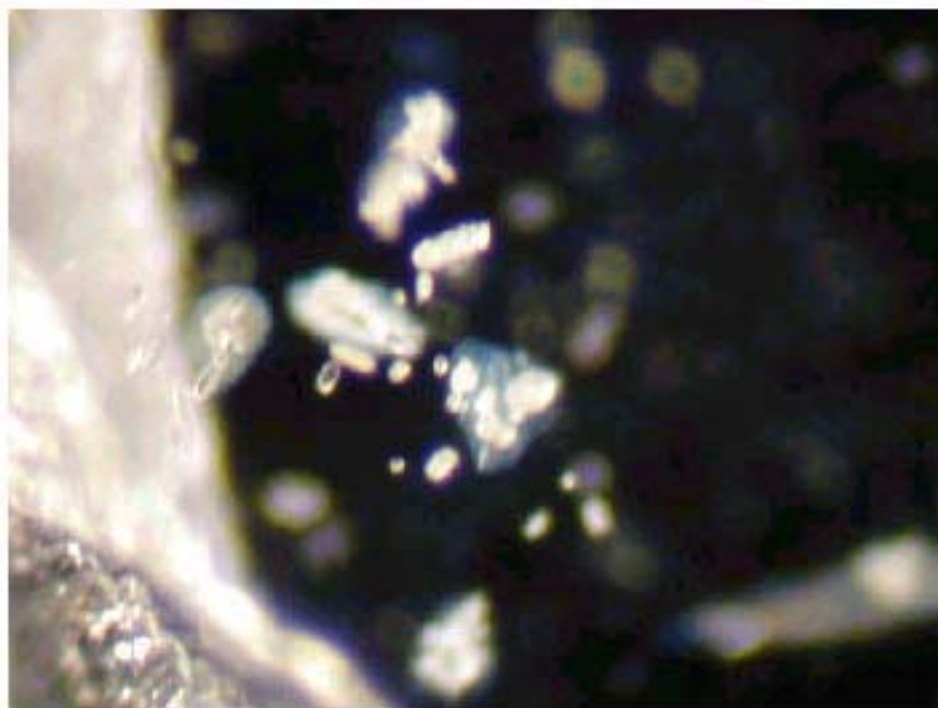
การตรวจสอบศึกษาลักษณะภายในของพลอยแซปไฟร์ทั้ง 4 กลุ่ม ได้กระทำภายใต้กล้องจุลทรรศน์อัญมณีแบบสเตอริโอซุม ทั้งชนิดปกติ และชนิดจุ่มในของเหลวหนืด ภาพทั้งหมดได้ถูกบันทึกโดยกล้องดิจิทัล มลทินผลึกแร่บางผลึกได้นำไปทำการตรวจสอบชนิดแร่ โดยเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง ชนิดเลเซอร์รามานสเปกโตรสโคป ผลการศึกษาสามารถสรุปได้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

กลุ่มที่ 1 แซปไฟร์สีน้ำเงิน (SPI-B)

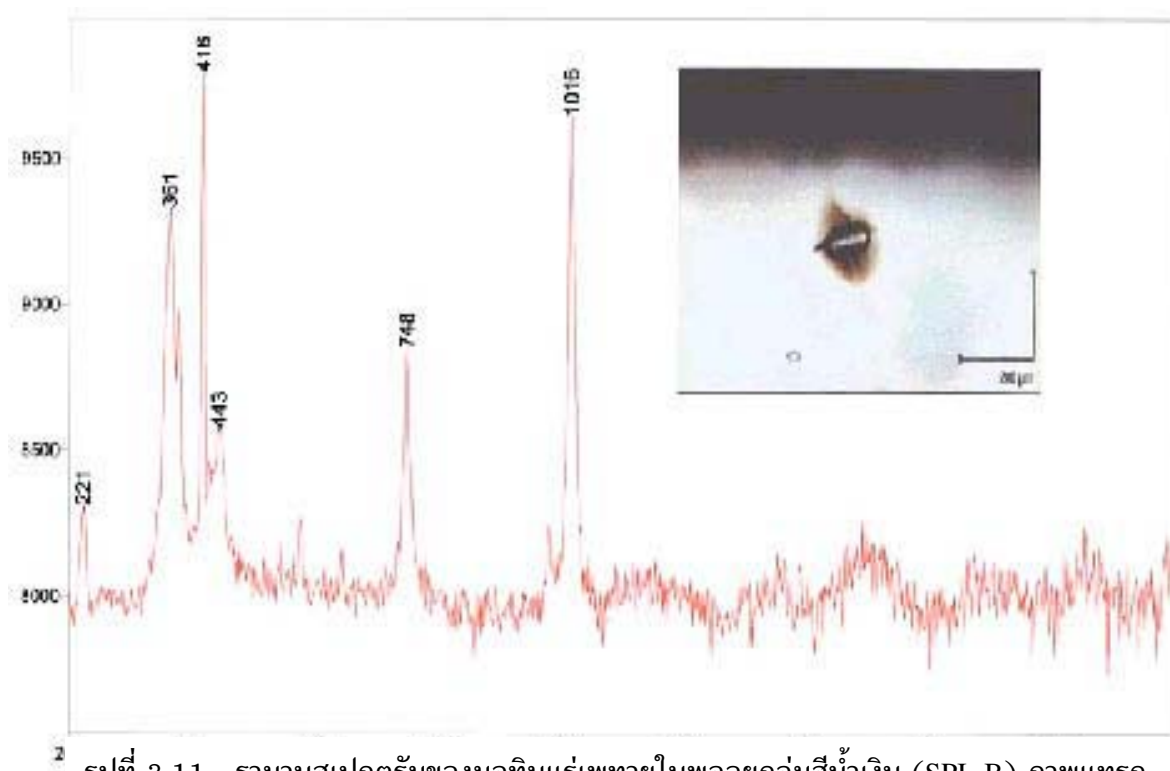
มลทินผลึกแร่ที่พบบ่อยที่สุด คือ มลทินแร่เพทาย (zircon) มักเกิดรวมตัวเป็นกลุ่ม (รูปที่ 3.10 และ 3.11) ลักษณะผลึก เป็นแท่งปริซึมสี่เหลี่ยม ขนาดสั้นถึงยาว ปลายแหลม ทั้งสองด้าน และ ขอบค่อนข้างมน (long and short tetragonal prismatic shape with rounded-off edges on both ends) ผลึกมีลักษณะใส มี relief และ birefringence 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)