

ลักษณะเฉพาะของพลอยแซปไฟร์จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

นายหมื่น โชค เห็นวงศ์ประเสริฐ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559

CHARACTERISTICS OF SAPPHIRE FROM BAW MAR DEPOSIT, MYANMAR

Mister Muenchok Henvongprasert

A Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Science Program in Geology
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2016

หัวข้องานวิจัย: ลักษณะเฉพาะของพลอยแซปไฟร์จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า
นิสิตผู้ทำการวิจัย: นายหมื่นโชค เห็นวงศ์ประเสริฐ
ภาควิชา: ธรณีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์
ปีการศึกษา: 2559

วันที่ส่ง

____/____/____

วันที่อนุมัติ

____/____/____

ลงชื่อ _____

(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หมื่นโชค เห็นวงศ์ประเสริฐ : ลักษณะเฉพาะของพลอยแซปไฟร์จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า.
(CHARACTERISTICS OF SAPPHIRE FROM BAW MAR DEPOSIT, MYANMAR) อ.ที่
ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์, 62 หน้า.

โครงการวิจัยครั้งนี้ ได้นำตัวอย่างแซปไฟร์แหล่งบ่อมา ประเทศพม่า มาศึกษาเพื่อเก็บข้อมูลพื้นฐานทางอัญมณีและลักษณะเฉพาะของแหล่ง โดยการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ขั้นพื้นฐานและเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูงของสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ถือเป็นการพัฒนาฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการตรวจสอบพลอยที่ไม่ทราบแหล่งกำเนิดแน่ชัด และใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพพลอยในอนาคต พลอยแซปไฟร์แหล่งบ่อมา ประเทศพม่า ได้พบบริเวณแนวหินโมกก (Mogok Stone Tract) หรือที่เรียกว่าแนวหินแปรโมกก (Mogok Metamorphic Belt)

ตัวอย่างแซปไฟร์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีทั้งสิ้น 14 ตัวอย่าง เนื้อพลอยมีลักษณะค่อนข้างขุ่นและมีรอยแตกภายในมาก ซึ่งมีการเรืองแสงภายใต้รังสีเหนือม่วงช่วงคลื่นยาวเล็กน้อยและไม่มีมีการเรืองแสงในช่วงคลื่นสั้น พบมลทินผลึกของแร่ โปแทสเซียม-เฟลด์สปาร์ และแร่รูไทล์ นอกจากนี้ยังพบมลทินลักษณะต่างๆเช่น มลทินแตกผสานลายนิ้วมือ มลทินรูปเข็ม มลทินรูปหนอน เป็นต้น

จากผลวิเคราะห์เครื่องมือขั้นสูง แสดงลักษณะแถบสเปกตรัมการดูดกลืนช่วงแสง UV-Vis-NIR พบว่ามีการดูดกลืนของ Fe^{2+}/Ti^{4+} และ Fe^{3+} ซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดสีน้ำเงินของแซปไฟร์ สำหรับการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรดพบว่าพลอยแซปไฟร์จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า แสดงการดูดกลืนของ OH group ณ ความยาวคลื่น 3185, 3311, 3623 และ 3698 cm^{-1} นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ห้อยค์ประกอบทางเคมีพบว่ามีธาตุร่องรอยที่เด่นชัด คือ Fe_2O_3 การวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่าง Cr_2O_3/Ga_2O_3 และ Fe_2O_3/TiO_2 แสดงถึงแนวโน้มที่บ่งชี้แหล่งกำเนิดจากกระบวนการแปรสภาพ และเทียบอัตราส่วนระหว่าง Fe, Mg และ V พบว่าแสดงให้เห็นถึงปริมาณเหล็กที่สูงกว่าพลอยแซปไฟร์จากแหล่งกำเนิดจากกระบวนการแปรสภาพอื่นๆ ซึ่งถือเป็นลักษณะเฉพาะของแหล่งนี้

ภาควิชา _____ ธรณีวิทยา _____ ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา _____ ธรณีวิทยา _____ ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก _____

ปีการศึกษา _____ 2559 _____ ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์ร่วม _____

5632747423: MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS: SAPPHIRE / MOGOK METAMORPHIC BELT / MINERAL INCLUSIONS / TRACE ELEMENT

MUENCHOK HENVONGPRASERT: CHARACTERISTICS OF SAPPHIRE FROM BAW MAR DEPOSIT, MYANMAR. ADVISOR: ASSOC. PROF.CHAKKAPHAN SUTTHIRAT, Ph.D., 62 pp.

Sapphire samples from Baw Mar deposit, Myanmar, were collected for basic analyses and characterization. The study was carried out using basic and advanced gem-testing instruments at The Gem and Jewelry Institute of Thailand. The objective of this study is to develop database for further investigation of sapphires' origin and their treatments. Sapphires in Baw Mar deposit in Myanmar is located on the Mogok Stone Tract in association with Mogok Metamorphic Belt

Fourteen sapphire samples under this study are opaque with obvious internal crack. Their luminescences are weak under long wave and inert under short wave UV lamps. Mineral inclusions are identified as K-feldspar and rutile. In addition, various types of inclusions such as fracture, worm-shape, and fingerprint are often found.

Based on advanced analyses, UV-Vis-NIR absorption spectra show absorptions of $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ and Fe^{3+} which cause blue color of sapphire. For absorption under Infrared, Baw Mar sapphire usually show absorption of OH group at 3185, 3311, 3623 and 3908 cm^{-1} . Furthermore, trace element analyses contain relatively high contents of Fe_2O_3 . Proportional plots between $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Ga}_2\text{O}_3$ and $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ show trend of metamorphic origin; in addition, from other deposits plots of Fe, Mg and V have higher iron content, compared to metamorphic sapphires from elsewhere.

Department Geology Student's Signature _____

Field of Study Geology Advisor's Signature _____

Academic Year 2016 Co-advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์จาก รองศาสตราจารย์ ดร. จักรพันธ์ สุทธิรัตน์ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย) ผู้คอยให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษา ตั้งแต่เริ่มวางแผนโครงการดำเนินการวิจัย วางแผนการทำงานที่เป็นขั้นตอน ตามลำดับความสำคัญ ช่วยตรวจสอบความถูกต้องของผลวิเคราะห์ จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือต่างๆ และการอภิปรายผลร่วมกับผลการวิเคราะห์ รวมถึงติดตามการทำงาน และให้กำลังใจ อีกทั้งยังช่วยแก้ไขปัญหา และข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดการทำงาน ทำให้โครงการวิจัยเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ตามเวลาที่คาดหวังไว้ จึงขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์ เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.อภิสิทธิ์ ซาลา ที่คอยชี้แนะทางการทำงาน ให้ความรู้ข้อมูลที่สำคัญ ตรวจสอบความถูกต้องของงาน และให้คำแนะนำเพื่อปรับปรุงแก้ไขให้งานดีขึ้น เปรียบเสมือนอาจารย์ที่ปรึกษาอีกคนที่คอยช่วยเหลือ ดูแลในช่วงเวลาที่อาจารย์ที่ปรึกษาไม่สะดวก

ขอขอบคุณนางสาวนาคยา นิลฮัด, นายทัศนรา ศรีบุญจันและ พี่ๆจากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) (GIT) ที่คอยสอนวิธีการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ ให้ความรู้ และคำแนะนำ รวมถึงตรวจสอบความถูกต้องของผลวิเคราะห์ ตลอดการดำเนินโครงการวิจัย นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) (GIT) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือตรวจวิเคราะห์ต่างๆ

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณคณะอาจารย์ และบุคลากร ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมไปถึงบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำโครงการวิจัยเล่มนี้ เป็นผลให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ | ฉ |
| สารบัญรูปภาพ | ฉ |
| สารบัญตาราง | ฐ |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 สมมุติฐาน | 2 |
| 1.4 ขอบเขตการศึกษา | 2 |
| 1.5 พื้นที่ศึกษา | 2 |
| 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 4 |
| บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | |
| 2.1 ธรณีแปรสัณฐาน และธรณีโครงสร้างบริเวณประเทศพม่า | 5 |
| 2.2 ลักษณะทางธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา | 15 |
| 2.3 แนวทางวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะพลอยแซปไฟร์ | 19 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย | |
| 3.1 ระเบียบวิธีวิจัย | 22 |
| 3.2 เครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ | 23 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง วิเคราะห์และสรุปผล | |
| 4.1 ลักษณะทั่วไป | 28 |
| 4.2 มลทินภายใต้กล้องจุลทรรศน์ | 29 |
| 4.3 การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-Vis-NIR | 33 |
| 4.4 การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรด (FTIR) | 35 |
| 4.5 องค์ประกอบทางเคมี | 35 |
| 4.6 อภิปรายและสรุปผล | 41 |
| เอกสารอ้างอิง | 42 |
| ภาคผนวก ก | 43 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|-----------|------|
| ภาคผนวก ข | 47 |
| ภาคผนวก ค | 55 |

สารบัญรูปภาพ

| | | หน้า |
|-------------|---|------|
| รูปที่ 1.1 | ภาพจากดาวเทียมแสดงบริเวณพื้นที่ศึกษา แหล่งบ่อมา ประเทศพม่า (จาก Google Earth วันที่ 18 มกราคม 2559) | 3 |
| รูปที่ 1.2 | แสดงแผนที่ธรณีวิทยา ประเทศพม่า (Pramumijoyo, 2010) | 3 |
| รูปที่ 2.1 | แผนที่แสดงธรณีแปรสัณฐานบริเวณตะวันออกเฉียงของแผ่นเปลือกโลก หิมาลัย (Himalaya Plate). (Pramumijoyo, 2010) | 6 |
| รูปที่ 2.2 | แผนภาพแสดงหน่วยการแปรธรณีสัณฐานของประเทศพม่า (Pramumijoyo, 2010) | 6 |
| รูปที่ 2.3 | แผนที่แสดงธรณีโครงสร้างของประเทศพม่า (Pramumijoyo, 2010) | 7 |
| รูปที่ 2.4 | ตารางแสดงความสัมพันธ์ในชั้นหินของประเทศพม่า (Pramumijoyo, 2010) | 15 |
| รูปที่ 2.5 | แสดงแนวเชื่อมต่อระหว่าง leucogranite, pecmatite veins และ weathered gniess (ภาพถ่ายโดย Kyaw Thu) | 16 |
| รูปที่ 2.6 | แสดงแซปไฟร์ใน clay lens (ภาพถ่ายโดย Kyaw Thu) | 16 |
| รูปที่ 2.7 | ภาพรวมเหมืองบ่อมา สิงหาคม, 2013 (ภาพถ่ายโดย Kyaw Thu) | 17 |
| รูปที่ 2.8 | ภาพถ่าย:คนเหมืองกำลังขุดชั้น gravel ที่พบแซปไฟร์ ภาพขวา:การพัดพาของ gravel (ภาพถ่ายโดย Hpone-Phyo Kan-Nyunt) | 17 |
| รูปที่ 2.9 | ภาพอุโมงค์ภายในเหมืองบ่อมา (ภาพถ่ายโดย Hpone-Phyo Kan-Nyunt) | 18 |
| รูปที่ 2.10 | ภาพ washing plant (ภาพถ่ายโดย Daniel Nyfeler) | 18 |
| รูปที่ 2.11 | ภาพการคัด การตัดและ การขัด พลอยภายในเหมืองบ่อมา | 19 |

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

| | | |
|-------------|---|----|
| รูปที่ 2.12 | แสดงองค์ประกอบของแซปไฟร์จากที่ราบลุ่มมอนตানা (alluvial Montana sapphires) 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่แบ่งแยกระหว่างแซปไฟร์จากหินแปร (metamorphic sapphires) และแซปไฟร์จากหินอัคนี (magmatic sapphires) สีเหลี่ยมสีฟ้า เขียว และแดง ซึ่งแสดงถึงธาตุมลทินที่แตกต่างกัน (Zwaan et al., 2015) | |
| รูปที่ 3.1 | แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา | 23 |
| รูปที่ 3.2 | Hydrostatic Balance จากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) | 24 |
| รูปที่ 3.3 | Refractometer จากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) | 24 |
| รูปที่ 3.4 | Gemological microscope จากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) | 25 |
| รูปที่ 3.5 | เครื่อง FTIR Spectrophotometer รุ่น NICOLET6700 จากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) | 25 |
| รูปที่ 3.6 | เครื่อง UV-VIS-NIR รุ่น Perkin-Elmer จากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) | 26 |
| รูปที่ 3.7 | เครื่อง Laser Raman Spectroscopy รุ่น Model 1000, Ranishaw จากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณี และเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) | 26 |
| รูปที่ 3.8 | เครื่อง EDXRF รุ่น EAGLE III จากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) | 27 |
| รูปที่ 3.9 | เครื่อง EPMA รุ่น JEOL JXA-8100 จากภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย | 27 |
| รูปที่ 4.1 | ภาพตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า (Bo_B1, Bo_B2, Bo_B3, Bo_B4) | 28 |
| รูปที่ 4.2 | มลทินรอยนิ้วมือแบบต่างๆ ในตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า | 29 |
| รูปที่ 4.3 | มลทินโกรทูป ในตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า (ซ้าย) | 30 |
| รูปที่ 4.4 | มลทินมลทินรูปหนอน ในตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า(ขวา) | 30 |

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| | | หน้า |
|-------------|--|------|
| รูปที่ 4.5 | มลทินรูปเข็ม ในตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า | 30 |
| รูปที่ 4.6 | มลทินมลทินลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง ในตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า | 31 |
| รูปที่ 4.7 | มลทินรูปผลึก ในตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า | 31 |
| รูปที่ 4.8 | รามานสเปกตรัมของมลทินแร่โพแทสเซียม-เฟลด์สปาร์(K-feldspar) ของตัวอย่าง Bo_B13 | 32 |
| รูปที่ 4.9 | รามานสเปกตรัมของมลทินแร่รูไทล์ (Rutile) ของตัวอย่าง Bo_B12 | 32 |
| รูปที่ 4.10 | ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า (Bo_B5) | 33 |
| รูปที่ 4.11 | ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของพลอยแซปไฟร์ จากจันทบุรี ประเทศไทย ที่มีแหล่งกำเนิดสัมพันธ์กับ <u>หินบะชอลต์</u> (Saeseaw, 2017) | 34 |
| รูปที่ 4.12 | ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งอิลากากา ประเทศมาดากัสการ์ ที่มีแหล่งกำเนิดสัมพันธ์กับ <u>หินแปร</u> (อินทโสภา, 2545) | 34 |
| รูปที่ 4.13 | ตัวอย่างการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรด ของพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า(Bo_B1) | 35 |
| รูปที่ 4.14 | องค์ประกอบทางเคมีของแซปไฟร์จากแหล่งกำเนิดหินแปร (ข้อมูลแหล่งพลอยอื่นจากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน), สวอ. หรือ GIT) | 37 |

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| | | หน้า |
|-------------|--|------|
| รูปที่ 4.15 | องค์ประกอบทางเคมีของเซปไฟร์จากแหล่งกำเนิดหินแปร (ข้อมูลแหล่งพลอยอื่นจากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน), สวอ. หรือ GIT) | 37 |
| รูปที่ 4.16 | สัดส่วนขององค์ประกอบธาตุรองรอย แสดงการกระจายตัวของเหล็ก วานาเดียม และแมกนีเซียม (ข้อมูลแหล่งพลอยอื่นจากสถาบันวิจัยและ พัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน), สวอ. หรือ GIT) | 40 |

สารบัญตาราง

| | | หน้า |
|--------------|---|------|
| ตารางที่ 4.1 | ลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า | 29 |
| ตารางที่ 4.2 | สรุปผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดย EDXRF จากพลอยทแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า | 36 |
| ตาราง 4.3 | สรุปผลวิเคราะห์ทางเคมีโดย EPMA จากพลอยทแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า | 38 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นแหล่งวัตถุดิบพลอยคอร์ันดัมที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ได้แก่ ทับทิม(ruby) ไพลิน (blue sapphire) นุษราคัม (yellow sapphire) และเขียวส่อง (green sapphire) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ทับทิมและไพลินที่ได้รับความนิยมอย่างมาก แม้ว่าปัจจุบันแหล่งวัตถุดิบในประเทศไทยจะลดจำนวนลงไปเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยยังคงเป็นผู้นำในอุตสาหกรรมการผลิตอัญมณีและการค้าพลอยที่สำคัญที่สุดแห่งหนึ่งของโลก จึงมีการนำเข้าวัตถุดิบพลอยชนิดต่างๆ จากแหล่งอื่น เช่น พม่า กัมพูชา เวียดนาม จีน ซึ่งพลอยจากแต่ละแหล่งจะมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน เช่น มลทินภายใน ชาติรูปร่างรอย ลักษณะทางเคมี ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับลักษณะการเกิดของพลอยนั้นๆ ในแต่ละแหล่ง

คอร์ันดัมเกิดขึ้นโดยกระบวนการทางธรณีวิทยา สามารถแบ่งแหล่งกำเนิดของคอร์ันดัมได้เป็น 2 แบบ คือ การกำเนิดแบบปฐมภูมิ และการกำเนิดแบบทุติยภูมิ โดยการกำเนิดแบบปฐมภูมิจะพบพลอยอยู่กับหินต้นกำเนิด ส่วนการกำเนิดแบบทุติยภูมิมักสัมพันธ์กับการผุพังสลายตัวของเนื้อหินต้นกำเนิด และมีการพัดพาไปสะสมตัวเป็นแหล่งพลอยแหล่งใหม่ ทั้งนี้อาจพบพลอยคอร์ันดัมในลักษณะเป็นผลึกฝังอยู่ในเนื้อหินต้นกำเนิด หรือเกิดเป็นแร่องค์ประกอบของหินต้นกำเนิด (สุพร อินทโสภา, 2544; Levinson and Cook, 1994)

ในปัจจุบันกิจกรรมเหมืองและตลาดการค้าวัตถุดิบอัญมณีในประเทศพม่ายังคงเป็นอย่างมากเป็นผลมาจากนโยบายการเปิดประเทศ ซึ่งประเทศพม่าจัดว่าเป็นแหล่งอัญมณีที่สำคัญมากอีกแหล่งของอุตสาหกรรมอัญมณีไทย ซึ่งในปัจจุบันแหล่งที่มีชื่อเสียงมาก เช่น พลอยแซปไฟร์ พลอยทับทิม จากแหล่งโมกก ประเทศพม่า พม่าจึงเป็นประเทศที่น่าสนใจในการศึกษาด้านแหล่งอัญมณี ซึ่งจะประกอบประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมอัญมณีของประเทศ ดังนั้น การศึกษาลักษณะเฉพาะทางอัญมณีของแซปไฟร์ (sapphire) จากแหล่งบ่อมา โดยเฉพาะการศึกษาองค์ประกอบธาตุร่องรอย (trace elements) ซึ่งส่งผลต่อการดูดกลืนคลื่นแสงและการเรืองแสงภายใต้ช่วงแสงต่างๆ และการศึกษามลทิน (inclusion) ภายในของแซปไฟร์ ถือเป็นข้อมูลที่สำคัญที่สามารถเก็บเป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ประโยชน์ด้านการตรวจสอบแหล่งกำเนิดอัญมณีอย่างต่อเนื่อง เพื่อประโยชน์อุตสาหกรรมอัญมณีและการค้าพลอยของไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะ ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ (Physical Properties) ลักษณะทางแสง (Optical properties) และองค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition) ของพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

1.3 สมมติฐาน

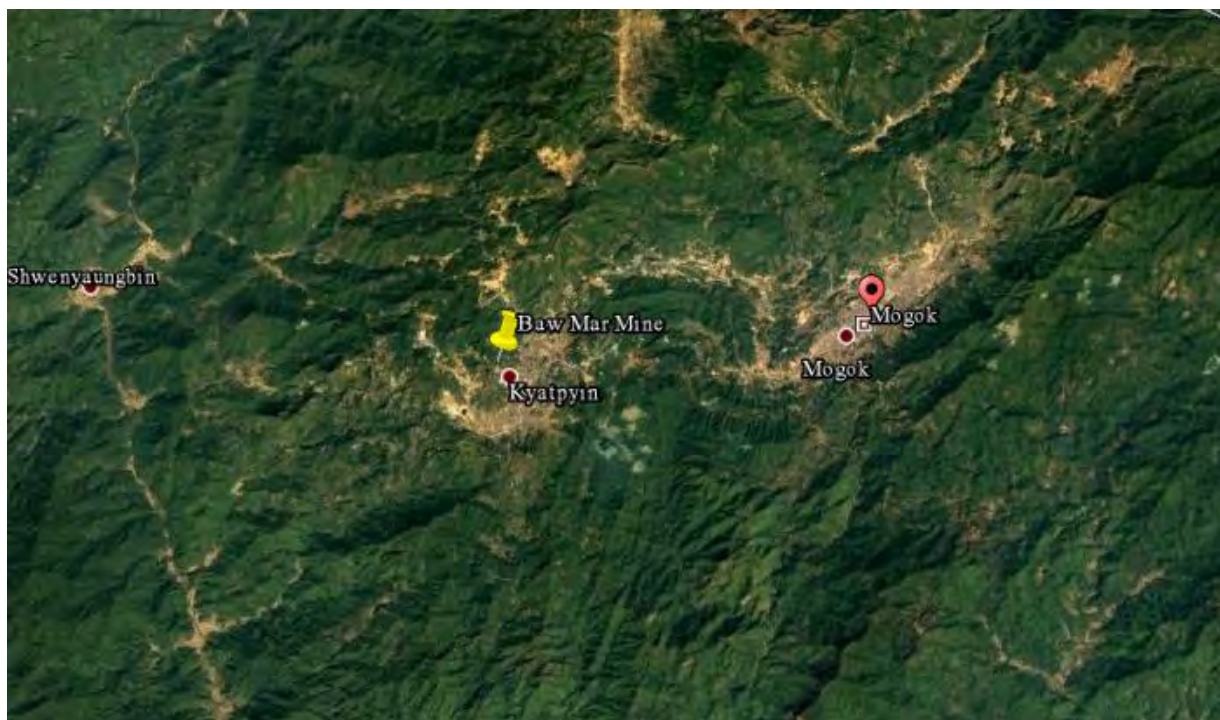
พลอยแซปไฟร์จากบ่อมา ประเทศพม่า มีลักษณะเฉพาะทางอัญมณีที่แตกต่างจากแหล่งพลอยแซปไฟร์อื่น

1.4 ขอบเขตการศึกษา

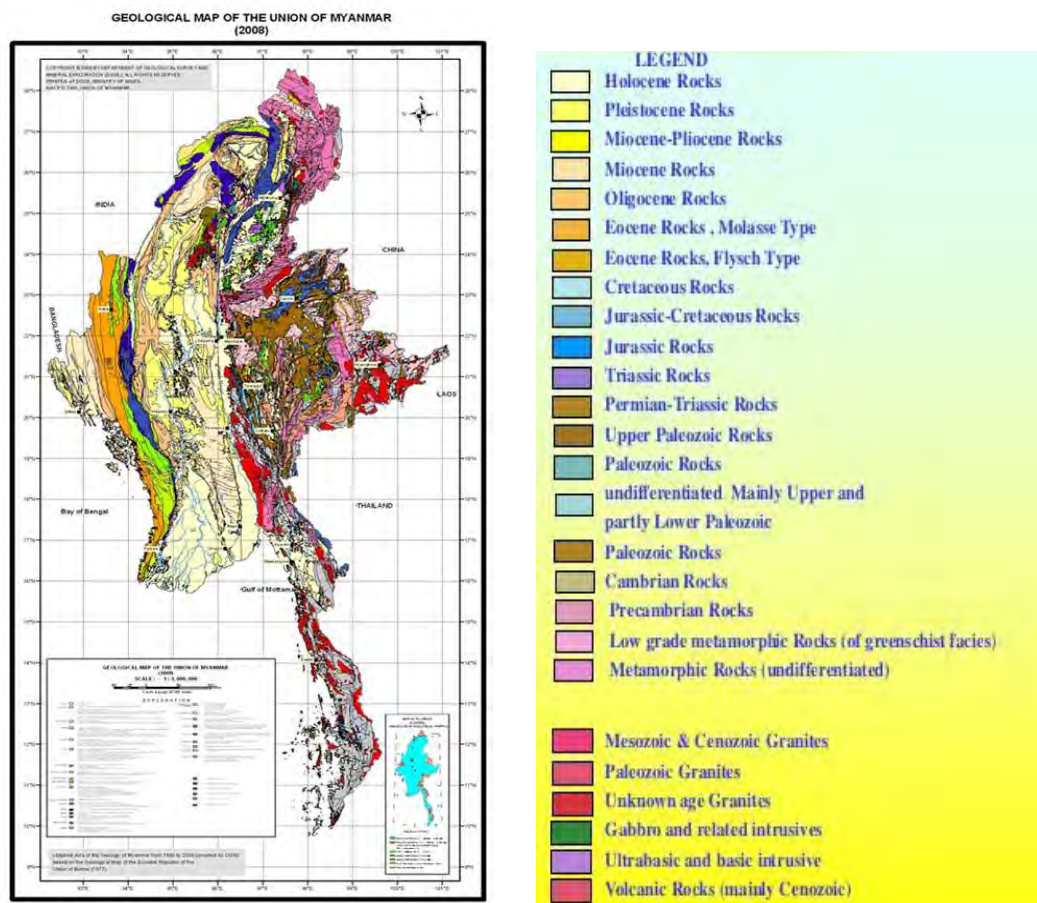
ศึกษาตัวอย่างพลอยแซปไฟร์จาก แหล่งบ่อมา ประเทศพม่า จำนวน 14 ตัวอย่าง โดยศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางอัญมณีของพลอย ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ (physical properties) ลักษณะทางแสง (optical properties) และองค์ประกอบทางเคมี (chemical composition) โดยใช้เครื่องมือทางอัญมณีขั้นพื้นฐาน และเครื่องมือทางอัญมณีขั้นสูง

1.5 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ ณ แหล่งบ่อมา บริเวณพื้นที่จาดพิน (Kyat Pyin Area) ทางทิศตะวันตกของเมืองโมกก (Mogok) ไปประมาณ 20 กิโลเมตร ประเทศพม่า ละติจูดที่ $22^{\circ}54'37.60''\text{N}$ ลองจิจูดที่ $96^{\circ}24'55.02''\text{E}$ (รูปที่ 1.1) ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา เป็นพื้นที่ในแนวของ Mogok Stone Tract ซึ่งตั้งอยู่บริเวณตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศพม่า หินในระบบนี้ ประกอบไปด้วยหินแปร และหินอัคนีแทรกซอน โดยมีหินต้นกำเนิดของพลอยแซปไฟร์จากแหล่งบ่อมาสัมพันธ์กับ หินซายีนท์ (Syenite)



รูปที่ 1.1 ภาพจากดาวเทียมแสดงบริเวณพื้นที่ศึกษา แหล่งบ่อมา ประเทศพม่า (จาก Google Earth วันที่ 18 มกราคม 2559)



รูป 1.2 แสดงแผนที่ธรณีวิทยา ประเทศพม่า (Pramumijoyo, 2010)

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลักษณะเฉพาะของพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า เพื่อนำไปสู่การพัฒนาข้อมูลสำหรับการสนับสนุนการตรวจแหล่งกำเนิดพลอยแซปไฟร์
2. เรียนรู้วิธีการใช้เครื่องมือตรวจสอบวิเคราะห์อัญมณี โดยใช้เครื่องมือทางอัญมณีขั้นพื้นฐาน และเครื่องมือทางอัญมณีขั้นสูง
3. ทักษะในการทำงานวิจัย

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

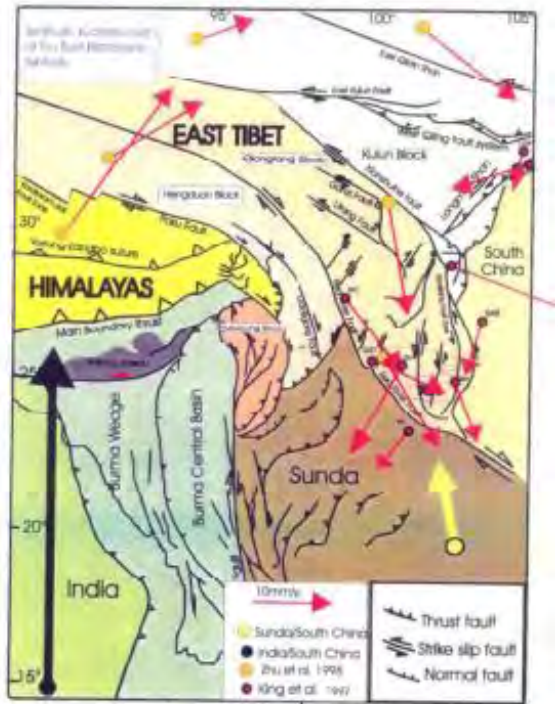
2.1 ธรณีแปรสัณฐาน และธรณีโครงสร้างบริเวณประเทศพม่า

จากการศึกษาธรณีวิทยาประเทศพม่าของ Subagyo Pramumijoyo ทำให้ทราบว่าประเทศพม่ามีต้นกำเนิดมาจาก 2 สาเหตุหลัก คือ

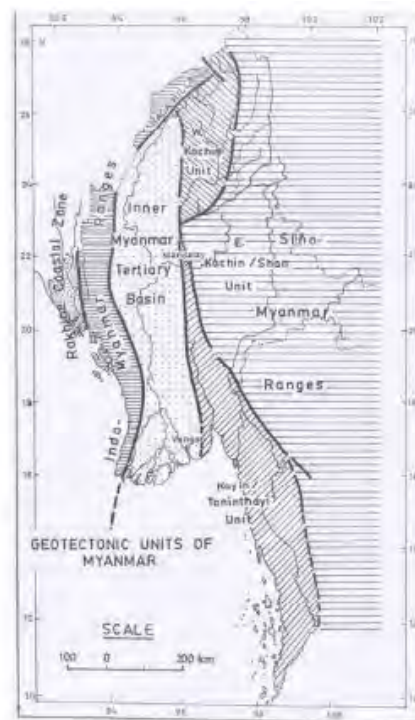
1. การมุดตัว (เฉพาะการชนกันทางตอนเหนือ) ไปทางทิศเหนือของแผ่นเปลือกโลกอินเดีย (India Plate) ภายใต้อแผ่นเปลือกโลกเบอร์มา (Burma Plate) โดยมีค่าเฉลี่ยการมุดตัวอยู่ที่ 4-6 เซนติเมตรต่อปี ตามแนวบริเวณรอยต่อขนาดใหญ่อันดามัน (Andaman Megathrust Zone)
2. การเคลื่อนที่ไปทางเหนือของแผ่นเปลือกโลกเบอร์มา (Burma Plate) จากการเคลื่อนที่ออกจากศูนย์กลางของแผ่นเปลือกโลก (spreading centre) ในทะเลอันดามัน (Andaman Sea) โดยมีค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ 2.5 – 3 เซนติเมตรต่อปี

แรงผลักดันขนาดใหญ่ตามแนวหิ้งคดโค้งตะวันตก (Western Fold Belt) เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่แบบแรก รอยเลื่อนสะแกง (*Sagaing fault*) หรือรอยเลื่อนอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เกิดจากการเคลื่อนที่แบบที่สอง

ประเทศพม่าสามารถแบ่งหน่วยได้ 6 หน่วย ตามขอบเขตการแปรสัณฐาน (Tectonic domains) แนวเหนือ-ใต้ : จากตะวันตกไปตะวันออก ได้แก่ 1. The Arakan (Rakhine) Coastal Strip 2. The Indo-Buraman Ranges 3. The Western Inner-Burma Tertiary Basin 4. The Central Volcanic Belt 5. The Eastern Inner-Burma Tertiary Basin 6. The Sino-Burma Ranges ซึ่งรอยเลื่อนสะแกง (*Sagaing fault*) เกิดจากขอบเขตการแปรสัณฐานของ The Eastern-Burma Tertiary Basin และ The Sino-Burma Ranges. (Pramumijoyo, 2010)



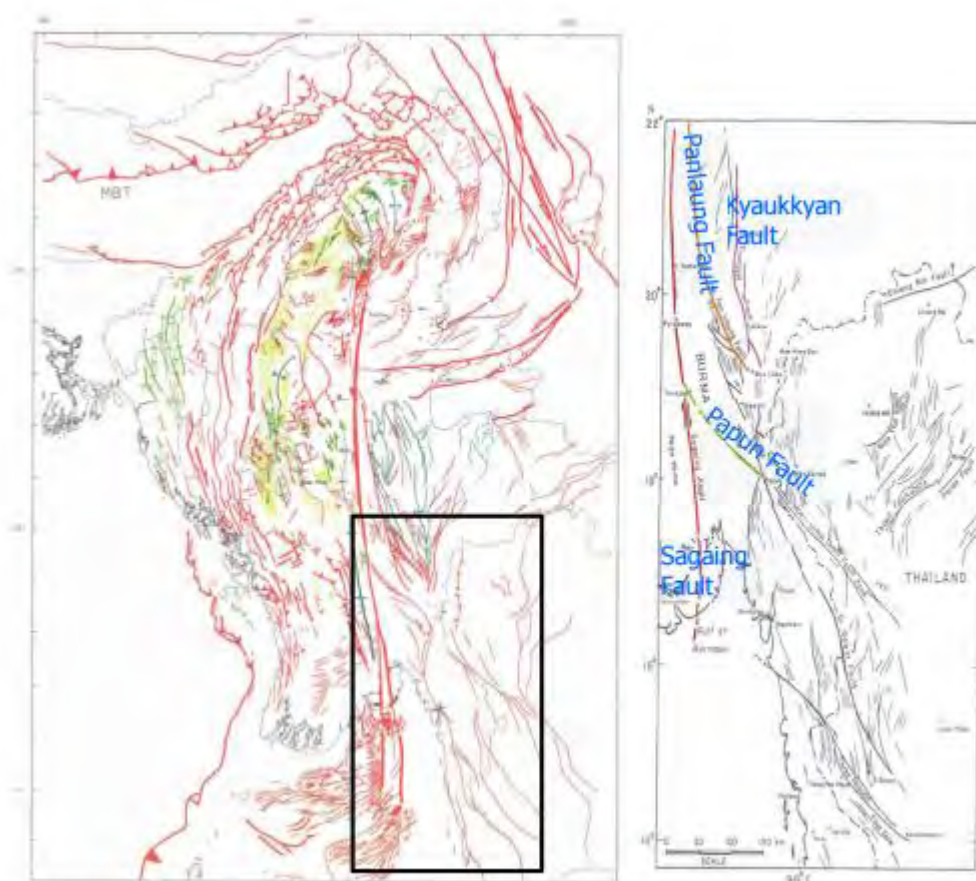
รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงธรณีแปรสัณฐานบริเวณตะวันออกของแผ่นเปลือกโลกหิมาลัย (Himalaya Plate). (Pramumijoyo, 2010)



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงหน่วยการแปรธรณีฐานของประเทศพม่า (Pramumijoyo, 2010)

ธรณีโครงสร้างของประเทศพม่ามีลักษณะไม่ซับซ้อน โดยหนึ่งในธรณีโครงสร้างที่สำคัญและควบคุมธรณีโครงสร้างของประเทศพม่า คือ รอยเลื่อนสะแกง (Sagaing fault)

รอยเลื่อนสะแกง (Sagaing fault) เป็นรอยเลื่อนแปรสภาพขนาดใหญ่ (transform fault) ที่อยู่บนแผ่นเปลือกโลกทวีป ระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินเดีย (India Plate) และแผ่นเปลือกโลกซุนดา (Sunda Plate) ที่ติดกับศูนย์กลางรอยแยก (Spreading centre) ในทะเลอันดามัน และบริเวณการชนกันของแผ่นเปลือกโลกทวีปตามแนวคาน้ำหน้าของหิมาลัย (Himalayan front) ซึ่งเกิดแผ่นดินไหวมากกว่า 7 ครั้ง ขึ้นตามแนวของรอยเลื่อนนี้ในช่วงร้อยปีที่ผ่านมา และมีอัตราการลื่นด้านข้าง (right-lateral slip) 18 มิลลิเมตรต่อปี ประมาณครึ่งหนึ่งของการแทนที่ของแผ่นเปลือกโลกอินเดีย-ซุนดา 35 มิลลิเมตรต่อปี (Pramumijoyo, 2010)



รูปที่ 2.3 แผนที่แสดงธรณีโครงสร้างของประเทศพม่า (Pramumijoyo, 2010)

ลักษณะทางธรณีวิทยาของประเทศพม่า สามารถบอกให้ทราบถึงประวัติการเปลี่ยนแปลงตัวเองของแผ่นเปลือกโลกของประเทศพม่า จากหลักฐานธรณีสัณฐานที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่มหายุคพรีแคมเบรียน (Precambrian era) จนถึงปัจจุบัน ซึ่ง (Pramumijoyo,2010) ได้สรุปเหตุการณ์การเปลี่ยนแปลงในแต่ละยุคไว้ดังนี้

พรีแคมเบรียนตอนปลาย (Late Precambrian)

การดำรงอยู่ของผลึกฐานธรณีในตะวันออกเฉียงเหนือของ Proto-Myanmar (Eastern Kachin Metamorphics) ที่ขยายไปทางเหนือใน Proto- Yunan ซึ่งรวมถึงขยายไปทางตะวันออกเฉียงใต้เข้าสู่ The Mogok Gneiss.

หลังจากนั้นเกิดการสะสมตัวของตะกอนช่องมาจี (Chaung Magyi) ใต้ทะเลลึกใน Proto-Shan region

เกิดบรรพตรังสรรค์ในพรีแคมเบรียนตอนปลายเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างมากมาย การแปรสภาพไพศาลระดับต่ำ (low-grade regional metamorphism) และการยกตัว (Uplift) ด้วยเหตุนี้ส่วนหนึ่งของตะวันออกเฉียงเหนือของ Proto-Myanmar กลายเป็นแผ่นดินแรกของประเทศพม่า

พาลีโอโซอิกตอนต้น (Early Paleozoic)

แผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรโบราณเคลื่อนที่จากตะวันออกเฉียงเหนือไปตะวันตกเฉียงใต้และมุดตัวลงใต้(Subduction) Sinoburmalya จากนั้นตะกอนทะเลน้ำตื้น (Shallow marine sediment) ได้ตกสะสมตัวบริเวณ Passive continental margin ของ Sinoburmalya

การสะสมตัวของ Ngwetaung and Pangyun sandstone และ Molohein sandstone ในตอนเหนือและตอนใต้ของภูมิภาค Proto-San ตามลำดับ บนสภาวะคงที่ช่วงแคมเบรียนตอนปลาย (Late Cambrian) เกิดการประทุของ Bawdwin volcanics ซึ่งสัมพันธ์กับการสะสมตัวของ volcanogenic massive sulphide (VMS) ตะกั่ว-สังกะสี-เงิน ในยุคเดียวกัน

การสะสมตัวของ Ordovician limestone และ siltstone ภายใต้อายุขัยและไหล่ทวีปในภูมิภาค Proto-Shan ร่วมกันกับแหล่งแร่ตัดขวางล้อมชั้น (Stratabound) โดยตะกั่วและสังกะสีสะสมตัวในคาร์บอนเนต เช่น ที่ Bawzaing และการสะสมตัวของ Barite เช่น ที่ Ani-sakan และ Kyauktup

การตกสะสมตัวต่อเนื่องของ Silurian phacoidal limestones และเศษหิน (Clastics) ซึ่งภายในมีหิน
 ถ้ำภูเขาไฟ (Tuff) และชั้นถ้ำภูเขาไฟ (Ash bed) ในตอนใต้ของภูมิภาค Proto-Shan และการตกสะสมตัว
 ของตะกอน Mergui เริ่มสะสมตัวในช่วง Silurian ในภูมิภาค Proto-Tanintharyi

ดีโวเนียน (Devonian)

การตกตะกอนอย่างต่อเนื่องจาก Silurian ถึง Devonian ในบางส่วนของภูมิภาค Proto-Shan
 เช่น black limestone , black shale และ reefal limestone ได้สะสมตัวที่ชั้นบางๆของการกระจายตัวอย่าง
 จำกัดภายใต้ทะเลสาบน้ำเค็ม และภายใต้เงื่อนไขทางทะเลที่จำกัด

การสะสมตัวของ limestone unit เริ่มในภูมิภาค Proto-Shan โดยเฉพาะทางตอนเหนือ ที่ตก
 สะสมตัวต่อเนื่องจนถึง Carboniferous

การสะสมตัวของตะกอน Mergui อย่างต่อเนื่องในภูมิภาค Proto-Tanintharyi

คาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น (Early Carboniferous)

การแยกของ Sinoburmalaya จาก Gondwanaland และเริ่มต้นเคลื่อนที่ไปทาง
 ตะวันออกเฉียงเหนือ ในทะเลโบราณ (Paleo-Tethys) ในยุคคาร์บอนิเฟอรัส

การตกสะสมตัวอย่างต่อเนื่องของตะกอน Mergui ซึ่งภายในเป็นหินถ้ำภูเขาไฟ (Tuff) และ
 ชั้น Agglomerate ใต้ทะเลลึกในภูมิภาค Proto-Tanintharyi-Mon

เกิดบรรพตรังสรรค์ขึ้นในคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการ
 แปรสภาพไพศาลระดับต่ำ (Low-grade regional metamorphism) ของกลุ่มหิน Mergui และมีการแทรกซอน
 ขึ้นมาของแกรนิตพลูตอน (Granite pluton) เช่น Taung-baing Granite การแผ่ขยายอย่างไม่มากนักของการ
 ตกผลึกของพลวงใน Lebyin and Taungnyo clastics เช่น ที่เหมือง Lebyin และ Natsan ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับ
 Igneous activity นี้

คาร์บอนิเฟอรัสตอนปลาย-ไทรแอสซิกตอนกลาง (Late Carboniferous – Middle

Triassic)

การสะสมตัวของชั้น limestone หนา ต่อมา dolomitized ในทะเลน้ำตื้นที่ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของภูมิภาค Proto-Shan-Kayah-Kayin

การเคลื่อนที่ของเปลือกโลก และการแทรกซอนของหินแกรนิตในตะวันออกของภูมิภาค Proto-Shan และจุดเริ่มต้นของภูมิภาค Proto-Shan-Tanintharyi ที่สุดสิ้นสุดของไทรแอสซิกตอนกลาง

ไทรแอสซิกตอนกลาง-ตอนปลาย (Middle-Late Triassic)

การเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องไปทางตะวันออกเฉียงเหนือของ Sinoburmalaya ใน Neo-Tethys ตะวันตกเฉียงใต้ของบริเวณที่ชนกันใต้ทะเลลึกที่ flysch beds แผลออกไป การเคลื่อนที่ของพื้นมหาสมุทรไปทางตะวันออกเฉียงเหนือเริ่มมุดตัว4ภายใต้บริเวณแผ่นดินที่ชนกันของ Proto-Shan-Tanintharyi

การสะสมตัวหนาในทะเลลึกของ flysch unit ประกอบด้วย ฟอสซิลของ *Halobia* และ *Daonella* และ locally ophiolites (Thanbaya Formation) ตามแนวขอบทางตะวันออกเฉียงเหนือของภูมิภาค Proto-Rakhine-Chine

ในขณะเดียวกัน การสะสมตัวของหน่วยหินของ evaporates (lower) และ shales และ bone beds (upper) ในแอ่งปิดทางตอนเหนือของภูมิภาค Proto-Shan ซึ่งบางส่วนได้กลายเป็นแผ่นดิน

จูแรสซิก (Jurassic)

การสะสมตัวอย่างต่อเนื่องของ Flysch เกิดขึ้นมาในภูมิภาค Proto-Rakhine-Chin

ในขณะเดียวกันมีการสะสมตัวของตะกอนทะเลน้ำตื้นและตะกอนดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ (Deltaic sediment) ในแอ่งที่เกิดจากรอยเลื่อนระหว่างภูเขา (downfaulted intermontane basins) ในทะเลน้ำตื้นและตามแนวบางส่วนของฝั่งตะวันตกยังคงเคลื่อนตัวขึ้นจนเป็น ที่ราบสูง Proto-Shan ซึ่งพบการปั่นป่วนกับสายแร่ของถ่านหินในแอ่ง Proto-Kalaw พบ sandstone ,shale และlimestone ในพื้นที่ Proto-Kinda-Kyaukse พบ limestone และชั้นหินสีแดง (red beds)ในแอ่ง Proto-Lasio

การมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก (subduction) สัมพันธ์กับการแทรกซอนของแกรนิตพลูตอน (granite pluton) และหินอัคนีมวลไพศาล (batholith) ซึ่งสัมพันธ์กับการตกผลึกของแร่ดีบุก-ทังสแตน ตามแนวของ Proto-Tanintharyi และขอบของเขตแดนทางตะวันตกของที่ราบสูง Proto-Shan เช่น ที่ Hermyingyi, Mawchi, Padatchaung) ในช่วงจูแรสซิกตอนปลาย

เกิดบรรพตดั้งสรรคขึ้นในช่วงจูแรสซิกตอนปลาย เนื่องจากเกิดแนวหินคดโค้งอย่างหนาแน่นของชั้นหินจูแรสซิก จำกัดการแปรสภาพตามแนวขอบทางตะวันตกของที่ราบสูง Proto-Shan

ครีเทเชียส (Cretaceous)

ในช่วงครีเทเชียสตอนปลาย การเคลื่อนที่ไปชนกันในทางตะวันออกเฉียงเหนือของ Sinoburmalaya และรวมกันกับแผ่นอินโดจีน (Indochina block) ตามแนวรอยต่อหน้า (Nan suture) เกิดเป็น Proto-Southeast Asian Peninsula ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian Plate) ในขณะเดียวกัน แผ่นเปลือกโลกอินเดีย (India Plate) เริ่มที่จะเคลื่อนที่ขึ้นไปทางตะวันออกเฉียงเหนือ และมีการมุดตัวของเปลือกโลกมหาสมุทรใต้ Sinoburmalaya

การตกสะสมตัวอย่างต่อเนื่องของ flysch กับ *Globo truncana*-bearing limestone ในส่วนบนของร่องของการมุดตัว และมีการตกสะสมตัวของ *Orbitolina*-bearing limestone ในบางแห่งของบริเวณทะเลน้ำตื้น (fore-arc basin) ที่อยู่ระหว่าง ร่องการมุดตัว (subduction trench) และที่ราบ Proto-Shan

ในทางตรงกันข้าม หน่วยหินของ red fanglomerate และ siltstone (Kalaw Red Beds) ที่สะสมตัวอยู่บนภาคพื้นทวีปที่เกิดออกซิไดซิ่ง (Oxidizing) ในแอ่ง Kalaw ในตะวันตกของทางใต้ในที่ราบสูง Proto-Shan

พบการแทรกซอนของแกรนิต พลูตอน (Granite pluton) มากขึ้นซึ่งสัมพันธ์กับการตกผลึกของดีบุกและทังสแตนอีกครั้งตามแนว Proto-Tanintharyi และทางขอบเขตตะวันตกของที่ราบสูง Proto-Shan ในช่วงครีเทเชียสตอนปลาย

ในทางตรงกันข้าม ระหว่างครีเทเชียสตอนปลายถึงพาลีโอซีนตอนต้น เกิดการแทรกซอนของ Ultramafic bodies ขนาดเล็กถึงขนาดปานกลาง ตามแนวปีกทางตะวันออกของภูมิภาค Proto-Rakhine-Naga (Serpentinite Line) และในภูมิภาค Proto-Kachin ซึ่งสัมพันธ์กับการตกผลึกของแร่ निकเกิล-โครเมียม ในตอนเหนือของภูเขา Proto-Chin และการตกผลึกของเจดไคท์ (Jadeite) ในตะวันตกของพื้นที่ Proto-Khanti และ Proto-Tawmaw

การเริ่มต้นของ igneous activity ในตอนเหนือของ Central Igneous Line เช่น ในพื้นที่ Proto-Wuntho ที่การสิ้นสุดของยุคครีเทเชียส

ปรากฏหลักฐานการยกตัวของทวีปและการยกตัวครั้งสุดท้ายของภูมิภาค Proto-Shan-Tanintharyi ที่เกิดเป็นแผ่นดินในช่วงสุดท้ายของครีเทเชียส

พาลีโอซีน-อีโอซีน (Paleocene-Eocene)

การสะสมตัวหนาอย่างต่อเนื่องของ flysch กับ radiolarite และ ophiolite ในร่อง Proto-Rakhine-Chin ที่ถอยกลับไปทางตะวันตกเฉียงใต้ที่ค่อยๆปรากฏขึ้นของ flysch ในทิศทางเดียวกัน

ในขณะเดียวกัน ชั้นบนของตะกอน Paleocene-Eocene molassic วางตัวขยายไปด้านข้าง tecto-facies ใน Proto-Chindwin และแอ่ง Proto-Minbu ซึ่งวางตัวอยู่ระหว่างร่องและที่ราบสูง Proto-Shan ในแอ่ง Chindwin ตะกอนอีโอซีนได้ตกสะสมตามธารน้ำพา (fluvial) และดินดอนสามเหลี่ยม (deltaic) โดยแม่น้ำ Proto-Ayeyarwady และ Proto-Chindwin ในแอ่ง Minbu ชั้นหนามากของตะกอนอีโอซีนวางตัวในดินดอนสามเหลี่ยม (delta) และทะเลน้ำตื้นในตอนเหนือ ทะเลน้ำลึกในตอนใต้ โดยพบ anthropoid primates (*Amphipithecus* and *Pondaungia*) ที่อาศัยอยู่ตามหุบเขาแม่น้ำในพื้นที่ Proto-Pondaung ช่วงปลายยุคอีโอซีน

เกิดการแทรกซอนของ แกรนิตอยด์ (granitoid) มากขึ้นตามแนวขอบตะวันตกของแผ่นดิน ตะวันออกในช่วงอีโอซีนตอนต้น

การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกอินเดีย (India plate) ไปทางตะวันออกเฉียงเหนือชนกับตอนใต้ของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian plate) ทำให้เกิดบรรพตรังสรรค์ของ หิมาลัย (Himalayan) และเริ่มเกิดการเคลื่อนที่หมุนตามเข็มนาฬิกาในทิศตะวันตกของ Proto-Southeast Asian Peninsular การเกิดบรรพตรังสรรค์นั้นทำให้เกิดชั้นหินคดโค้งและ Overthrusting ขนาดใหญ่ การขึ้นมาของช่วงตะวันตก การยกตัวของ Central Belt และหมวดหินก่อนโอลิโกซีนเป็นชั้นไม่ต่อเนื่องกัน

โอลิโกซีน (Oligocene)

การพัฒนาขึ้นของแอ่ง Chidwin และ Minbu ในการทรุดตัวลงที่อยู่ระหว่างสองแผ่นดินในสมัยโอลิโกซีน และการตกสะสมตัวของตะกอนโอลิโกซีน (Lower Pegu Group) ในแอ่ง Minbu มีรูปแบบ facies เหมือนชั้นอีโอซีน (Eocene sequence)

ในช่วงโอลิโกซีนตอนปลาย ช่วงกลางของบรรพตวรรษที่สาม (Himalayan) เกิดการแปรสภาพ (metamorphism) อย่างรุนแรง ตามแนว narrow belt (Mogok Belt) ซึ่งเกิดทับทิม (Ruby) และแซปไฟร์ (Sapphire) ขึ้นตามแนว Mogok Stone Tract การยกตัวของ Central Belt และหมวดหินก่อนไมโอซีนเป็นชั้นไม่ต่อเนื่องกัน

ไมโอซีน (Miocene)

การเคลื่อนที่ที่หมุนเพิ่มมากขึ้นของ Southeast Asian Peninsula ในไมโอซีนตอนต้นได้เข้าใกล้ตำแหน่งปัจจุบัน

การมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก (subduction) สัมพันธ์กับการเกิดภูเขาไฟ (volcanism) ตามแนว Central Igneous Line ในสมัยไมโอซีนเกิด volcanic arc ขึ้น นั่นกลายเป็นอุปสรรคในการแยกตะกอนไมโอซีน (Upper Pegu Group) ที่ทำให้เกิดการแยกออกเป็นสองชั้น ในขณะที่เดียวกันตะกอน molassic เกิดขึ้นในตอนเหนือของ Rakhine Coastal Belt การแผ่ขยายทางใต้ของแอ่ง Assam ใน northeast India

การเคลื่อนที่ไปทางเหนือของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรจากศูนย์กลางรอยแยก (spreading center) ในทะเลอันดามันตั้งแต่ไมโอซีน ส่งผลให้เกิดแผ่นเปลือกโลกเบอร์มา (Burma plate) ซึ่งทางตะวันออกติดกับรอยเลื่อนสะแกง (Sagaing fault) และตะวันตกติดกับรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ (Thrust) อันดามัน

ในช่วงสุดท้ายของบรรพตวรรษที่สาม (Himalayan) ในสมัยไมโอซีนตอนปลาย ผลทำให้เกิดชั้นหินคดโค้งและการยกตัวของ Central Belt โดยเฉพาะที่ Bago Yomas น้ำมันและแก๊สธรรมชาติได้เคลื่อนที่และสะสมในชั้นหินคดโค้งอีโอซีนนี้ และ Pegu sandstone ตามแนวตะวันออกของแอ่ง Minbu เช่นที่ Chauk, Mann, Letpando และเกิดการแทรกซอนของหินแกรนิตอายุน้อย (younger granite) (โดยเฉพาะ microgranite เช่น Kabaing granite) ตามแนว Mogok Belt

พลีโอซีน (Pliocene)

การเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องไปทางเหนือของแผ่นเปลือกโลกเบอร์มา (Burma plate) ที่มี Irrawady sandstone กับ ซากดึกดำบรรพ์ต้นไม้มากมายและสัตว์มีกระดูกสันหลังที่อยู่ภายใต้ตะกอนน้ำพา

(fluvial) ตามหุบแม่น้ำ Ayeyarwady และ Chindwin เช่นเดียวกับ Central Belt ที่ถูกเดิมจนเต็มอ้อม เป็นโครงร่างของประเทศพม่าในปัจจุบัน

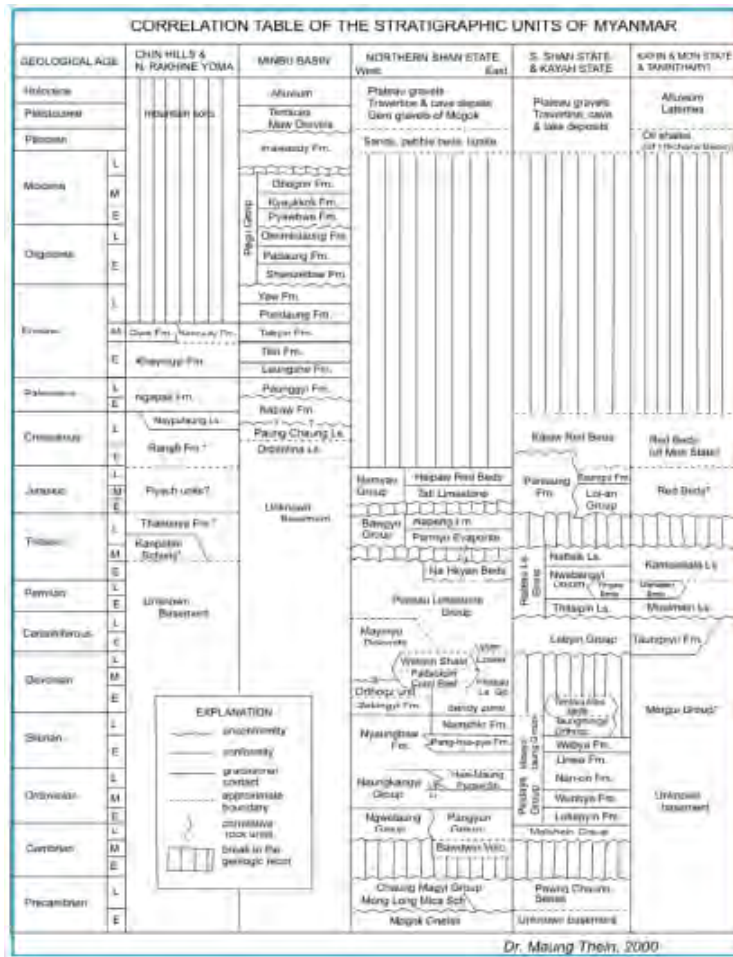
เกิดภูเขาไฟมากขึ้น(volcanism) ตามแนว Central Igneous Line มีการตกผลึกดอกของทองแดงใน dacites และ andecites บริเวณพื้นที่ Monywa

ควอเทอร์นารี (Quaternary)

การตกสะสมตัวของ Uny boulder conglomerate, ที่ราบสูง gravels และ ตะพักแม่น้ำ (river terraces) ตามแนวหุบแม่น้ำขนาดใหญ่ในตอนเหนือของ Central Belt ในสมัยไพลสโตซีน

ภูเขาไฟที่เกิดขึ้นใหม่ (volcanism) (โดยเฉพาะ andecites และ basalts) ตามแนว Central Igneous Line เช่นที่ภูเขา Popa และ Twindaung ในสมัยไพลสโตซีนถึงโฮโลซีนตอนต้น

การสะสมตัวของตะกอนน้ำพาใหม่ (newer alluvium) และค่อยๆสะสมตัวทีละเล็กทีละน้อยเริ่มตั้งแต่สมัยโฮโลซีนจนถึงปัจจุบัน ทำให้ป็นภูมิทัศน์ปัจจุบันของประเทศพม่า



รูปที่ 2.4 ตารางแสดงความสัมพันธ์ในชั้นหินของประเทศพม่า (Pramumijoyo, 2010)

2.2 ลักษณะทางธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา

เหมืองบ่อมาตั้งอยู่บริเวณพื้นที่จำกัดพิน (Kyat Pyin Area) ทางทิศตะวันตกของเมืองโมกก (Mogok) ไปประมาณ 20 กิโลเมตร ประเทศพม่า ละติจูดที่ $22^{\circ}54'37.60''N$ ลองจิจูดที่ $96^{\circ}24'55.02''E$ ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา เป็นพื้นที่ในแนวของ Mogok Stone Tract ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีความซับซ้อนทางธรณีวิทยามาก โดยประกอบด้วยหินแปรสภาพแปรไพศาลระดับสูง (high-grade regional metamorphism rocks), garnet-biotite gneiss, calc-silicate rocks และ graphite marble โดยพบ leucogranite dike และ granite pegmatite veins ได้แทรกซอนขึ้นมาบนหิน ไนส์ที่ผุพัง (weathered gneiss) (รูปที่ 2.5) ซึ่งสามารถพบเห็นได้ในระดับพื้นผิว ในพื้นที่เหมืองปัจจุบันได้แสดงให้เห็นแนวรอยต่อ(contact)ระหว่าง leucogranite และ syenite boulder ซึ่งเข้าไปสัมผัสกับหิน syenite ซึ่งเหมือนกับ pegmatite ซึ่งแทรกซอนขึ้นมาผ่านหิน

ไนส์ที่ผุพัง ที่มีลักษณะเป็นกระเปาะที่แสดงใน leucogranite ซึ่งแชปไฟร์ได้ฝังตัวใน clay lens และล้อมรอบด้วย biotite mica และ chlorite (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.5 แสดงแนวเชื่อมต่อระหว่าง leucogranite, pegmatite veins และ weathered gneiss (ภาพถ่ายโดย Kyaw Thu)



รูปที่ 2.6 แสดงแชปไฟร์ใน clay lens (ภาพถ่ายโดย Kyaw Thu)

เหมืองบ่อมาได้ติดตั้งเครื่องมือ เครื่องจักรหนัก โรงคัดแยก และเครื่องตัดไม้เองภายในเหมือง ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าผู้ผลิตรายอื่นๆ ในบริเวณเขตเหมืองแร่โมกก (Mogok mining area) เหมืองบ่อมา มีการรวมกันระหว่างการทำเหมืองแบบเปิด (รูปที่ 2.7) และมีลักษณะเป็นอุโมงค์ ที่ 10-20 เมตร ของชั้นที่มี ดินส่วนเกินได้ถูกนำออกไปโดยรถปราบดิน (bullozers) และเครื่องขุดเจาะ (excavators) ชั้นอุ้มพลอยของ gravel ถูกเรียกว่า byone ซึ่งมีความหนา 2-3 เมตร จะถูกพัดพาโดยน้ำ (รูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.7 ภาพรวมเหมืองบ่อมา สิงหาคม, 2013 (ภาพถ่ายโดย Kyaw Thu)



รูปที่ 2.8 ภาพซ้าย: คนเหมืองกำลังขุดชั้น gravel ที่พบแซปไฟร์ ภาพขวา: การพัดพาของ gravel

(ภาพถ่ายโดย Hpone-Phyo Kan-Nyunt)

ที่จุดสิ้นสุดของอุโมงค์ ซึ่งมีความลึก 80 เมตร (รูปที่ 2.9) คนเหมืองใช้ชุดและเจาะให้เป็นช่องเล็กในหิน และแตกในหินระหว่างช่องโดยใช้ค้อนที่อุทุบในหิน หินในกระเป๋าก็ถูกส่งต่อไปให้คนเหมืองคนอื่นเมื่อหินถูกส่งถึงพื้นผิวจะนำไปล้างในเครื่อง washing plant (รูปที่ 2.10) เพื่อที่จะเลือกและคัดขนาดพลอยโดยการ sieves หลังจากนั้น แชปไฟร์จะถูกขัดและตัดภายในเหมือง (รูปที่ 2.11) โดยจะขัดแชปไฟร์ที่มีขนาดมากกว่า 15 กะรัต การดำเนินงานทั้งหมดรวมถึง เหมือง, การคัดขนาด และการตัด คนงานในเหมืองทั้งหมดประมาณ 300 คน



รูปที่ 2.9 ภาพอุโมงค์ภายในเหมืองป้อมมา (ภาพถ่ายโดย Hpone-Phyo Kan-Nyunt)



รูปที่ 2.10 ภาพ washing plant (ภาพถ่ายโดย Daniel Nyfeler)

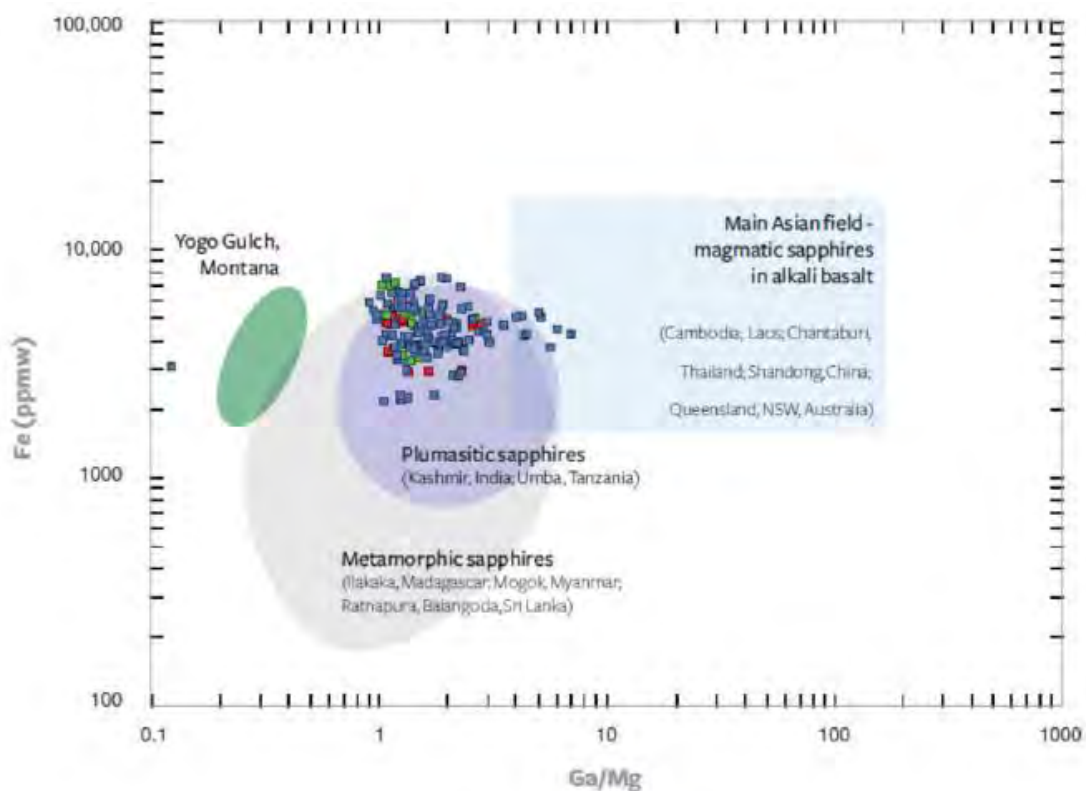


รูปที่ 2.11 ภาพการคัด การตัดและ การขัด พลอยภายในเหมืองปอมา

(ภาพถ่ายโดย Lore Kiefert (บนซ้าย), Daniel Nyfeler (ล่างซ้าย), และ Hpone-Phyo Kan-Nyunt (บนและล่างขวา)

2.3 แนวทางวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะพลอยแซฟไฟร์

จากงานวิจัยของ Diep (2015) ได้ใช้เครื่องเครื่องวัดการดูดกลืนแสงในย่านแสงเหนือม่วง-มองเห็น-ได้แดงไกล (UV-Vis-NIR) ตรวจสอบการดูดกลืนของแสง ที่เกิดจากธาตุร่องรอย เพื่อให้ได้รูปร่างของสเปกตรัมการดูดกลืนที่ส่งผลให้เกิดสี การใช้เครื่องฟลูออเรสเซนซ์ฟอรัม อินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ (FTIR) สังเกตการกระตุ้นตัวอย่างพลอยด้วยพลังงานแสงช่วงแสงใต้แดง (infrared light) ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ให้ทราบถึงโครงสร้างของหมู่ฟังก์ชัน เช่น hydroxyl (-OH) โดยเฉพาะ AIOOH สามารถตรวจสอบการปรับปรุงคุณภาพได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังใช้เครื่องรามานสเปกโตรมิเตอร์ (Raman Spectrometer) เพื่อระบุชนิดของมลทินภายในเม็ดพลอย และท้ายที่สุดเป็นการประยุกต์ใช้เครื่อง EPMA (Electron Probe Micro Analyzer) เพื่อหาธาตุองค์ประกอบเคมีเชิงปริมาณ ด้วยการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องและความแม่นยำสูง



รูปที่ 2.12 แสดงองค์ประกอบของแซปไฟร์จากที่ราบลุ่มมอนตানা (alluvial Montana sapphires) กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่แบ่งแยกระหว่างแซปไฟร์จากหินแปร (metamorphic sapphires) และแซปไฟร์จากหินอัคนี (magmatic sapphires) สีเหลี่ยมสีฟ้า เขียว และแดง ซึ่งแสดงถึงธาตุมลทินที่แตกต่างกัน (Zwaan et al., 2015)

นอกจากนี้ยังมีรายงานของ Zwaan et al. (2015) ที่ได้นำ ค่าปริมาณธาตุองค์ประกอบ แยกแยะระหว่าง แซปไฟร์จากหินแปร (metamorphic sapphires) และแซปไฟร์จากหินอัคนี (magmatic sapphires) เช่นที่พบในหินอัลคาไลบะซอลต์ (alkali basalts) และหินไซยีนิต (syenite) แซปไฟร์จากแปรสภาพแบบแทนที (metasomatic) (หรือเรียกอย่างเฉพาะเจาะจงว่า “plumasitic”) ก็สามารแยกด้วยกราฟนี้ได้เช่นกัน โดยจะสัมพันธ์กับของเหลวที่มีการแลกเปลี่ยนระหว่างหินอัลตราแมฟิก หรือหินเมฟิก เช่น หินเซอร์เพนทีไนต์ (serpentinites) หินแอมฟีโบไลต์ (amphibolites) และหินอ่อน (marbles) กับหินเฟลสิก ที่มีปริมาณอลูมิเนียมสูง (aluminum-rich rocks) เช่น หินแกรนิต (granites) หินเพกมาไทต์ (pegmatites) และหินพาราไนส์ (paragneisses) จากแผนภาพระบบ 3 องค์ประกอบ (ternary phase diagram) แสดงองค์ประกอบระหว่าง Fe-Mg-Ti (ppm) จะเห็นว่าตัวอย่างแซปไฟร์จากที่ราบลุ่มมอนตানা (alluvial Montana sapphires) มีแนวโน้มขององค์ประกอบไปในทิศทางเดียวกันกับแซปไฟร์จากอุมบา (Umba) ริโอ มาโย (Rio Mayo) และโคลอมเบีย (Colombia) แม้ว่าแซปไฟร์จากที่ราบลุ่มมอนตานาจะแสดงออกมาทั้งสองฝั่งของเส้นแบ่งแยก

ระหว่างแซปไฟร์จากหินแปร (metamorphic sapphires) และแซปไฟร์จากหินอัคนี (magmatic sapphires) แต่เห็นได้ชัดว่าไม่ได้อยู่ในบริเวณที่เป็นแนวโน้มของฝั่งแซปไฟร์จากหินอัคนี ในด้าน Fe-Ti จึงมีแนวโน้มที่จะเป็นแซปไฟร์จากหินแปรมากกว่า นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าแม้จะมีการซ้อนทับกันกับแซปไฟร์จากโมกก (Mogok) แต่ก็สามารถแยกได้จากแซปไฟร์จากแคชเมียร์ (Kashmir sapphires) ที่มีองค์ประกอบของ Ti สูงได้อย่างชัดเจน การซ้อนทับกันนี้สามารถใช้แบ่งแหล่งกำเนิดได้อีกในแผนภาพระบบ 3 องค์ประกอบ ที่แสดงองค์ประกอบระหว่าง Fe-(Cr+V)-Ti (ppm) จะมีแนวโน้มขององค์ประกอบไปในทิศทางเดียวกันกับแซปไฟร์จากโคลอมเบีย (Colombia) และอุมบา (Umba) แต่สามารถแยกแซปไฟร์จากโมกก (Mogok) ออกได้อย่างชัดเจน เช่นเดียวกับแผนภาพที่แสดงองค์ประกอบระหว่าง Fe-Mg-Ga (ppm) ที่สามารถแยกแซปไฟร์จากมอนทานา (Montana) ริโอ มาโย (Rio Mayo) และจากอุมบา (Umba) ออกจากกันอย่างชัดเจน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 9 ขั้นตอน ตามแผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา (รูป 3.1) โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอน ดังนี้

3.1.1 รวบรวมและศึกษาข้อมูล ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รวบรวมและศึกษารายงาน เอกสารและงานวิจัยเก่าที่ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของพลอยแซปไฟร์จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นและเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลสรุปที่น่าเชื่อถือและผิดพลาดน้อยที่สุด

3.1.2 วางแผนการดำเนินงาน คัดเลือกและจัดเตรียมตัวอย่างพลอยให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นพื้นฐานและเครื่องมือขั้นสูง

ตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ ที่นำมาศึกษาเป็นตัวอย่างพลอยจากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า จำนวนทั้งหมด 14 ตัวอย่าง

3.1.3 ตรวจสอบสมบัติพื้นฐานทางอัญมณี

3.1 ลักษณะทางกายภาพ (physical properties) ด้วยเครื่อง Hydrostatic Balance, UV lamp, Refractometer และ Gemological Microscope และ Laser Raman Spectroscopy

3.2 ลักษณะทางแสง (optical properties) ด้วยเครื่องมือ UV-VIS-NIR Spectrophotometer และ Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)

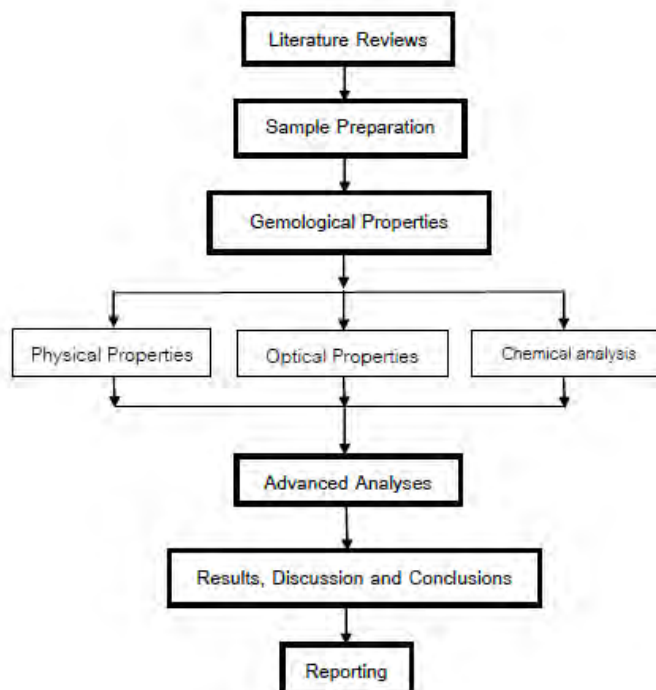
3.3 องค์ประกอบทางเคมี (chemical composition) เพื่อวัดปริมาณธาตุองค์ประกอบหลัก และธาตุองค์ประกอบรองด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (EDXRF) Spectrometer และ Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA)

3.1.4 รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิเคราะห์และแปลความหมาย

นำข้อมูลจากการศึกษาในแต่ละขั้นตอนมาทำการแปลความหมายข้อมูลและวิเคราะห์ผลเพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะของแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

3.1.5 สรุปและนำเสนอโครงการวิจัย

สรุปผลการวิเคราะห์ นำเสนอในรูปแบบสัมมนาและจัดทำรูปเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา

3.2 เครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ

ศึกษาลักษณะทางกายภาพ (Physical properties) ประกอบด้วย

Hydrostatic Balance: ใช้เป็นเครื่องมือชั่งน้ำหนักและค่าความถ่วงจำเพาะอัญมณี (รูปที่ 3.2)

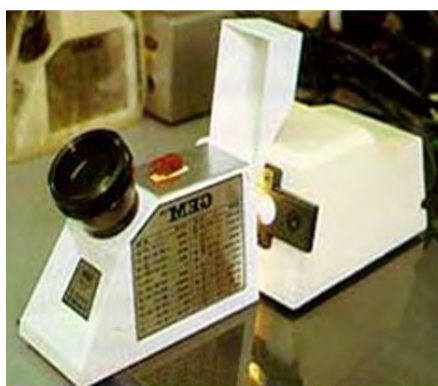
Refractometer: เป็นเครื่องมือวัดค่าดัชนีหักเหของแสง (รูปที่ 3.3)

UV Lamp: หลอดรังสีเหนือม่วงคลื่นสั้น และคลื่นยาว ใช้ตรวจสอบการเรืองแสงของอัญมณี



รูปที่ 3.2 Hydrostatic Balance

จากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)



รูปที่ 3.3 Refractometer

จากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

ศึกษาลักษณะทางแสง (Optical properties) ประกอบด้วย

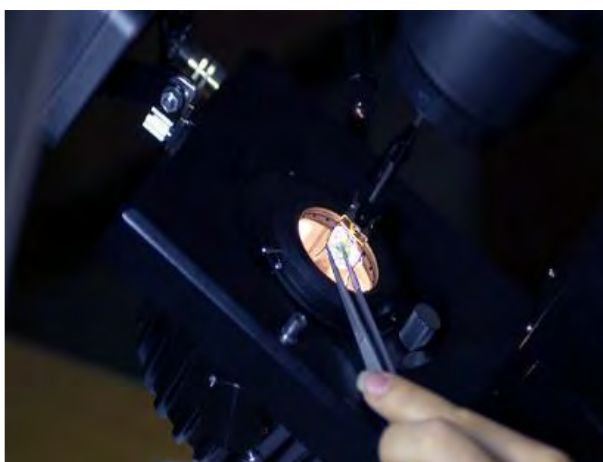
กล้องจุลทรรศน์อัญมณี (Gemological microscope): ใช้ศึกษาลักษณะผิวและลักษณะภายในของอัญมณี ถ้าหากมองด้วยแสงไฟแบบธรรมดาที่ส่องผ่านเข้าไปในตัวอย่างจะแยกความแตกต่างระหว่างมลทินกับตัวอย่างได้ยากเพราะตัวอย่างมักจะมีควมใสหรือโปร่งแสงเช่นเดียวกับมลทิน ดังนั้น กล้องจุลทรรศน์นี้จึงมีระบบ dark field เพื่อใช้แยกมลทินออกได้อย่างชัดเจน (รูปที่3.4)

Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR): ใช้วัดค่าการดูดกลืนแสง(absorption) หรือการให้แสงผ่าน (transmission) เนื่องจากปฏิกิริยาระดับอะตอมขององค์ประกอบใน โมเลกุลของพลอยเมื่อ

ได้รับแสงอินฟราเรด ใช้ในการตรวจสอบชนิดของพลอยและบอกความเป็นไปได้ของแหล่งที่มาทางภูมิศาสตร์ โดยพิจารณาจากรูปแบบการดูดกลืนหรือการผ่านคลื่นแสงอินฟราเรด (รูปที่ 3.5)

Ultraviolet - Visible - Near Infrared Spectrophotometer (UV-VIS-NIR): ใช้วัดค่าการส่องผ่านของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นต่างย่าน Ultraviolet (UV), Visible (ViS) และ Near Infrared (NIR) เมื่อตกกระทบตัวอย่างทดสอบ ใช้ในการศึกษาสาเหตุการเกิดสีในอัญมณีและธาตุร่องรอยบางชนิด อาจบ่งบอกถึงแหล่งกำเนิดได้ (รูปที่ 3.6)

Laser Raman Spectroscope: ศึกษารูปแบบปรากฏการณ์ Raman Shift จากการ stretching หรือ bending เมื่ออะตอมหรือ โมเลกุลใน โครงสร้างพลอยได้รับพลังงานจากแสงเลเซอร์ ทำให้อะตอมหรือ โมเลกุล เกิดการสั่นมีความถี่เปลี่ยนไปจากความถี่ของแสงตกกระทบเดิม เรียกว่า การเลือนตัวของรามาน (Raman Shift) โดยอัญมณีและมลทินแต่ละชนิดจะมีรูปแบบ Raman Shift แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้น อยู่กับการจัดเรียงของ โครงสร้างของ โมเลกุล Raman Shift Patterns จึงสามารถใช้บอกชนิดแร่ของมลทินในอัญมณีได้ (รูปที่ 3.7)



รูปที่ 3.4 Gemological microscope จากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)



รูปที่ 3.5 เครื่อง FTIR Spectrophotometer รุ่น NICOLET6700 จากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)



รูปที่ 3.6 เครื่อง UV-VIS-NIR รุ่น Perkin-Elmer จากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)



รูปที่ 3.7 เครื่อง Laser Raman Spectroscopy รุ่น Model 1000, Renishaw จากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี (Chemical analysis)

Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (EDXRF) Spectrometer: ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบทางเคมีเชิงคุณภาพ สามารถวิเคราะห์ได้ตั้งแต่ธาตุโซเดียมจนถึงธาตุยูเรเนียม หลักการคือให้รังสีเอ็กซ์จากแหล่งกำเนิดเข้าไปชนตัวอย่าง ทำให้อิเล็กตรอนวงในของอะตอมของธาตุหลุดออกไป อิเล็กตรอนวงนอกถัดมาจะเข้ามาแทนที่และคายพลังงานออกมาในลักษณะของเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ ซึ่งจะมีค่าพลังงานเป็นค่าเฉพาะของธาตุนั้น เป็นพื้นฐานการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (รูปที่ 3.8)

Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA): ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเชิงปริมาณที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถทำการวิเคราะห์ตัวอย่างได้ถึงระดับไมโครเมตร (microanalysis) หลักการคือยิงลำอิเล็กตรอนไปบนผิวของตัวอย่าง จะทำให้องค์ประกอบภายในตัวอย่าง ปล่อยอิเล็กตรอนและรังสีเอ็กซ์เรย์ในลักษณะเฉพาะขององค์ประกอบในตัวอย่าง (รูปที่ 3.9)



รูปที่ 3.8 เครื่อง EDXRF รุ่น EAGLE III จากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)



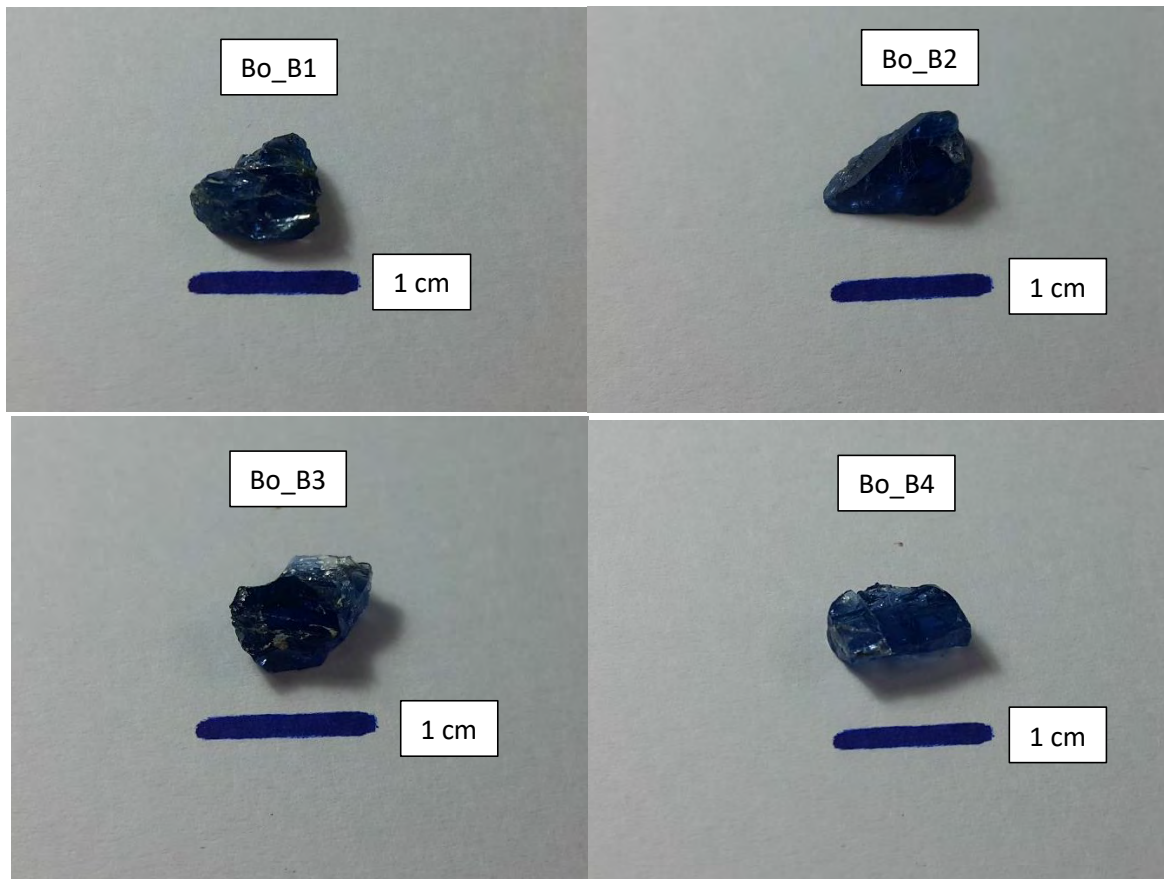
รูปที่ 3.9 เครื่อง EPMA รุ่น JEOL JXA-8100 จากภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ลักษณะทั่วไป

ตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ที่นำมาศึกษานั้นเป็นตัวอย่างพลอยจากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า จำนวนทั้งหมด 14 ตัวอย่าง มีลักษณะเป็นสีน้ำเงิน ความโปร่งใส (Transparency) หรือระดับของการยอมให้แสงส่องผ่าน คือ กึ่งทึบแสง (Semi-opaque) ถึงโปร่งแสง (Translucent) คุณภาพค่อนข้างต่ำ เพราะเนื้อพลอยค่อนข้างหยาบ มีรอยแตกภายในค่อนข้างมาก โดยตัวอย่างพลอยนี้ผ่านการขัดเงาด้านเรียบ 2 ด้าน ซึ่งตั้งฉากแกนแสงของพลอยแต่ละเม็ด ตัวแทนกลุ่มตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมาประเทศพม่า แสดงไว้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า (Bo_B1, Bo_B2, Bo_B3, Bo_B4)

ตัวอย่างทั้งหมดถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือพื้นฐานทางอัญมณีเพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ และสมบัติเฉพาะทางอัญมณี ดังได้สรุปไว้ในตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

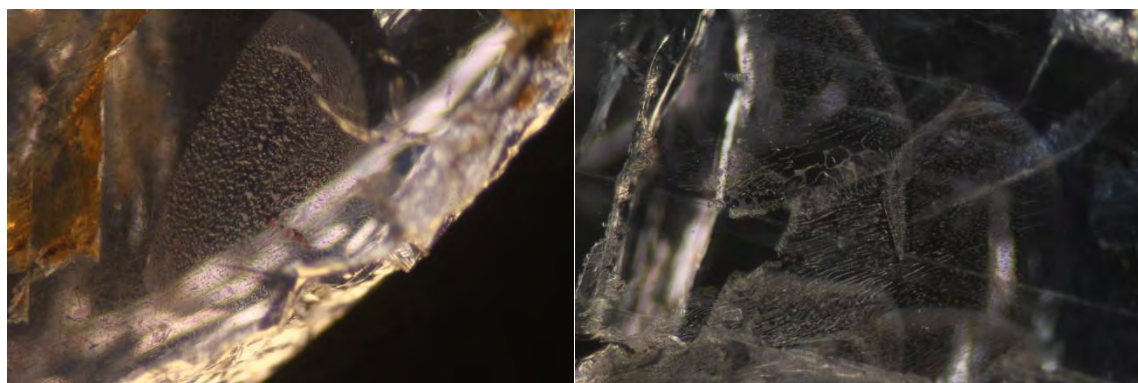
| Colour | Transparent | weight | SG | RI | | Birefringence | Fluorescence | |
|---------|-------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|--------------|-------|
| | | | | no | ne | | LW | SW |
| น้ำเงิน | กึ่งทึบแสง- โปร่งแสง | 1.145-9.06 (3.33) | 3.901-4.4045 (3.96) | 1.761-1.171 (1.767) | 1.766-1.776 (1.770) | 0.001-0.011 (0.01) | Weak blue | Inert |

4.2 มลทินภายใต้กล้องจุลทรรศน์

การศึกษามลทินเนื้อในภายใต้กล้องจุลทรรศน์อัญมณี ในตัวอย่างพลอยทแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า พบว่าเนื้อพลอยค่อนข้างขุ่น มีรอยแตกภายในค่อนข้างมาก และมีปริมาณมลทินภายในค่อนข้างน้อย และมองเห็นได้ยาก เนื่องจากเนื้อพลอยมีลักษณะค่อนข้างใสและมลทินภายในมีสีค่อนข้างอ่อน โดยในเม็ดพลอยกลุ่มที่มีมลทินผลึกแร่ มักมีลักษณะค่อนข้างโปร่งแสง มลทินที่พบส่วนมากเป็นมลทินลายนิ้วมือ (fingerprint), มลทินรูปเข็ม (needle), และมลทินอื่นๆที่พบ ได้แก่ รอยแตก (Fracture), มลทินผลึกแร่ (crystal), มลทินโกรททูป (growth-tube), มลทินรูปหนอน (worm-shaped) มลทินแผ่นฟิล์มบาง (thin film)

มลทินที่พบทั่วไป ประกอบด้วย

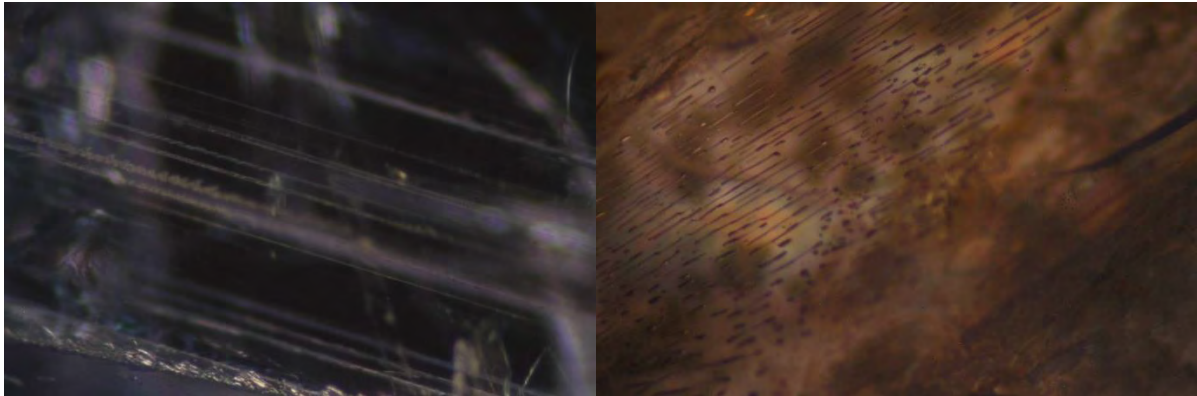
มลทินลายนิ้วมือ (fingerprint) เป็นมลทินที่พบอยู่บ่อยครั้ง ในแซปไฟร์ สามารถพบได้ในแทบทุกตัวอย่าง



รูปที่ 4.2 มลทินรอยนิ้วมือแบบต่างๆ ในตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

มลทินโกรททูป (growth-tube) ที่พบในตัวอย่างแชปไฟร์มีลักษณะดัง ภาพที่ 4.3

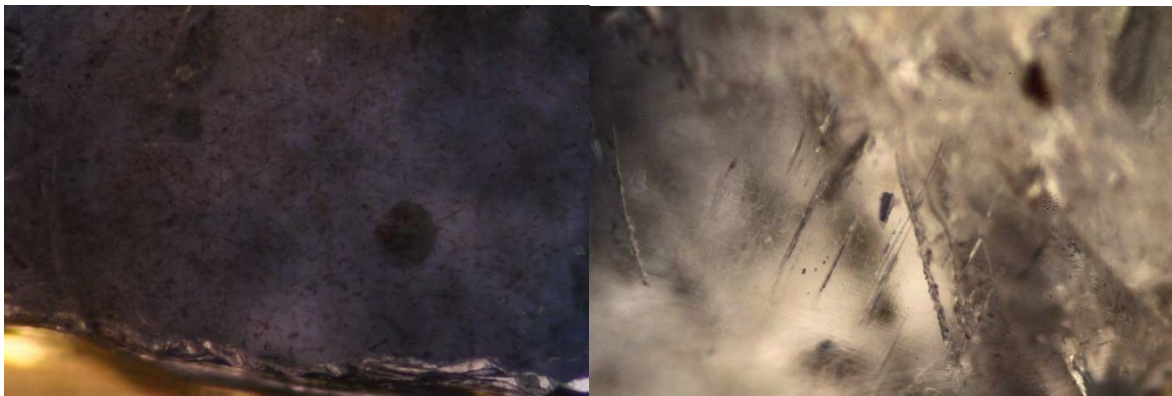
มลทินรูปหนอน (worm-shape) ที่พบในตัวอย่างแชปไฟร์มีลักษณะดัง ภาพที่ 4.4



รูปที่ 4.3 มลทินโกรททูป ในตัวอย่างพลอยแชปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า (ซ้าย)

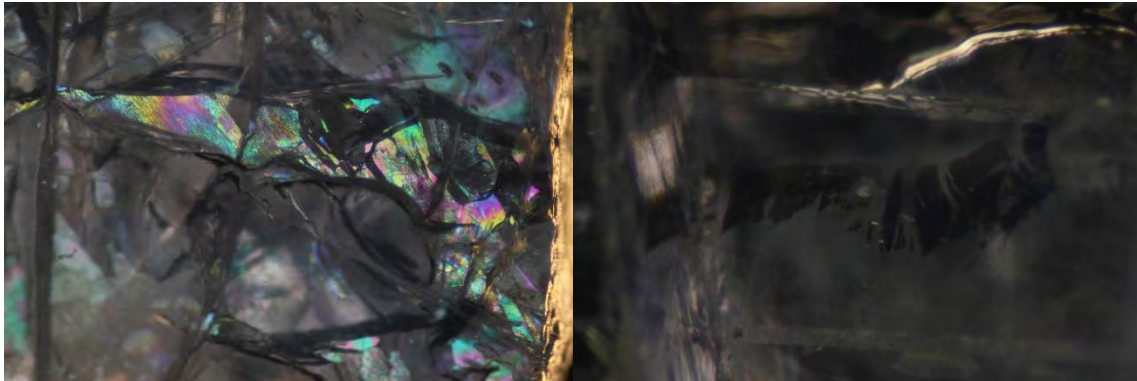
รูปที่ 4.4 มลทินมลทินรูปหนอน ในตัวอย่างพลอยแชปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า(ขวา)

มลทินรูปเข็ม (needle)



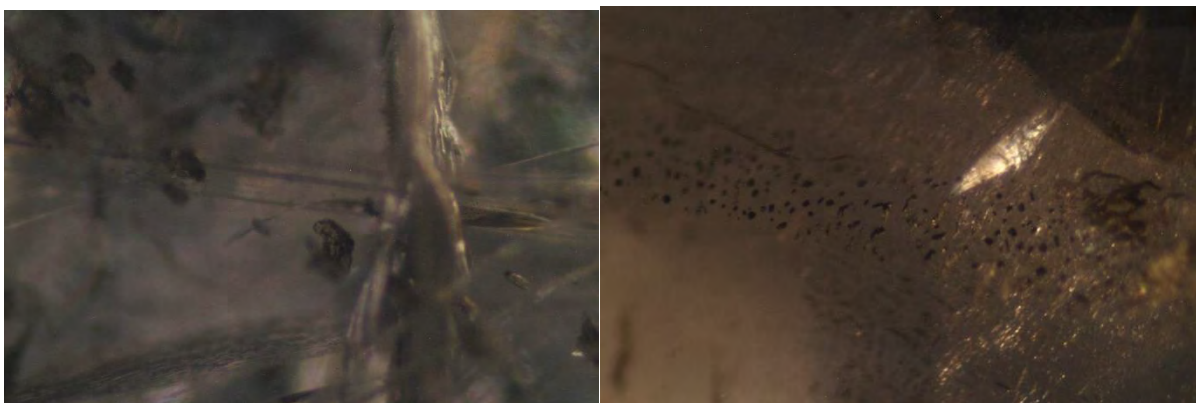
รูปที่ 4.5 มลทินรูปเข็ม ในตัวอย่างพลอยแชปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

มลทินลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง (*thin film*) มีลักษณะคล้ายแผ่นฟิล์มบางมีลักษณะเป็นสีดำและลักษณะเรืองแสง ดังรูปที่ 4.6



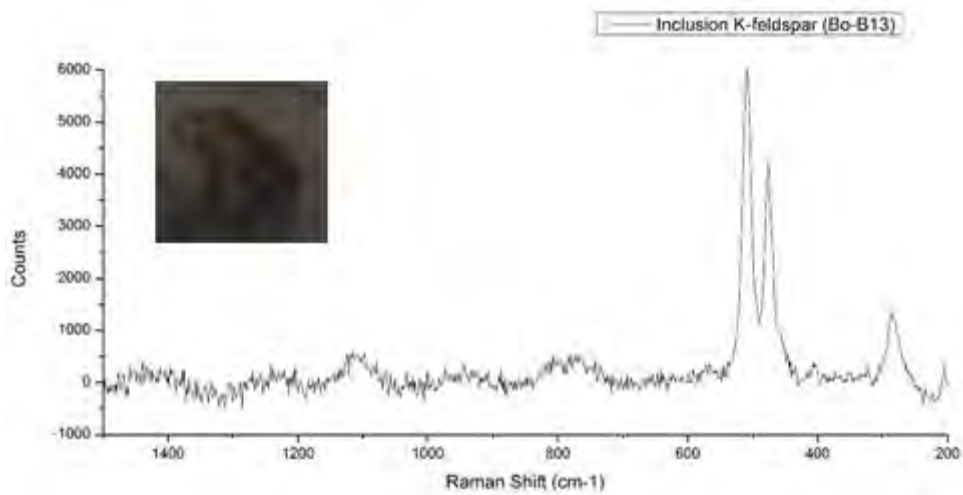
รูปที่ 4.6 มลทินมลทินลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง ในตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

มลทินรูปผลึก (*crystal*) ที่พบในตัวอย่างแซปไฟร์จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า ประกอบด้วย มลทินผลึกใส มลทินผลึกสีดำ รูปร่างไม่แน่นอน บางตัวอย่างมีลักษณะเป็นแท่ง บางตัวอย่างถูกล้อมรอบด้วยมลทินรอยนิ้วมือหรือมลทินรูปเข็ม

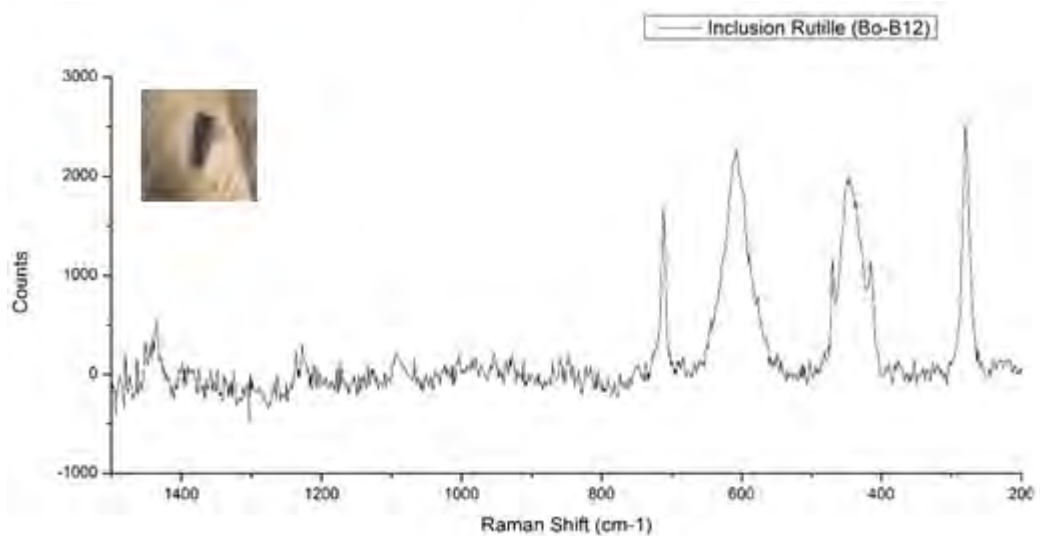


รูปที่ 4.7 มลทินรูปผลึก ในตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

วิเคราะห์หุ้มหินผลึกแร่ด้วยเครื่อง Raman Spectroscopy และเปรียบเทียบรูปแบบการเลือนตัวของรามาน ทำให้ทราบว่าผลึกแร่ที่พบบ่อยในพลอยแซปไฟร์ แหล่งบ่อมา ประเทศพม่า ได้แก่ รูไทล์ (Rutile), โพแทสเซียม-เฟลด์สปาร์(K-feldspar) โดยอ้างอิงรูปแบบการเลือนตัวของรามานจากฐานข้อมูล GIT-GTL Spectral Database Libraries และฐานข้อมูล Renishaw Minerals and Inorganic Materials Database



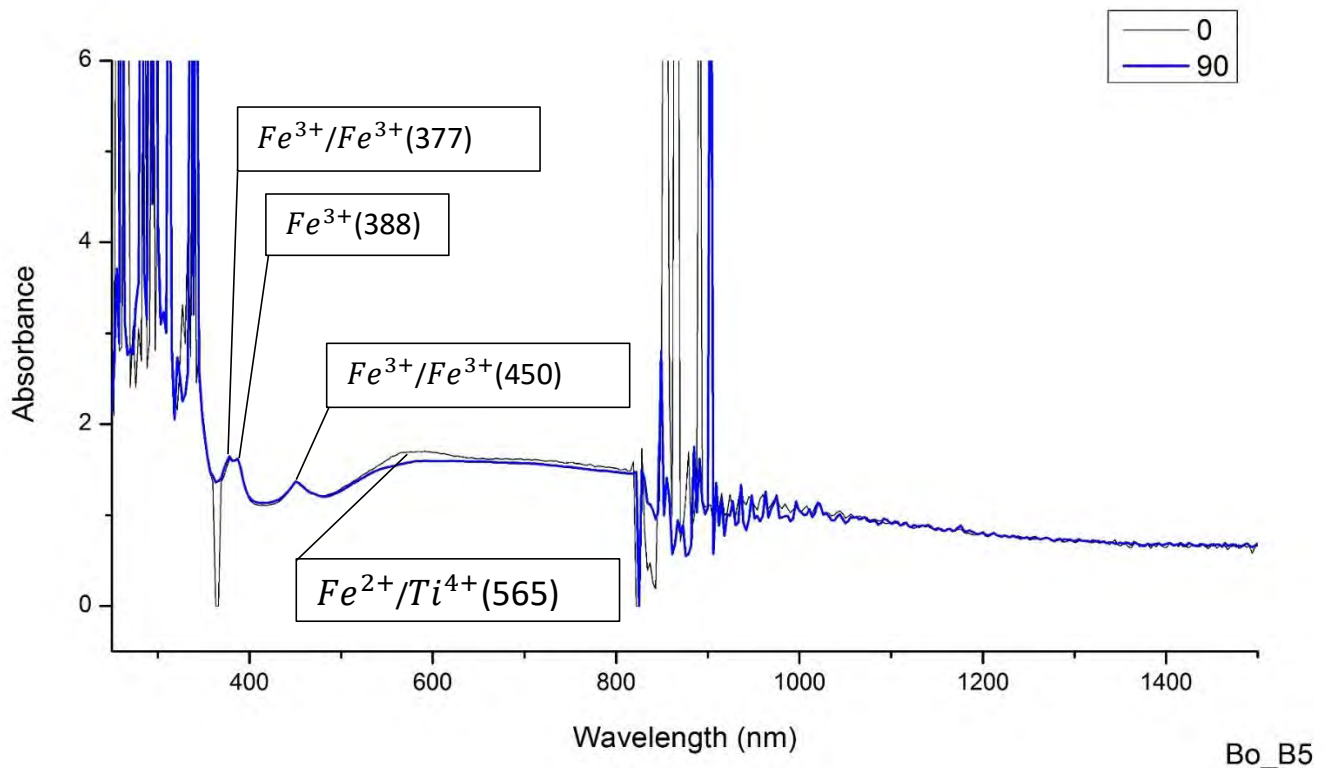
รูปที่ 4.8 รามานสเปกตรัมของผลึกแร่โพแทสเซียม-เฟลด์สปาร์(K-feldspar) ของตัวอย่าง Bo_B13



รูปที่ 4.9 รามานสเปกตรัมของผลึกแร่รูไทล์ (Rutile) ของตัวอย่าง Bo_B12

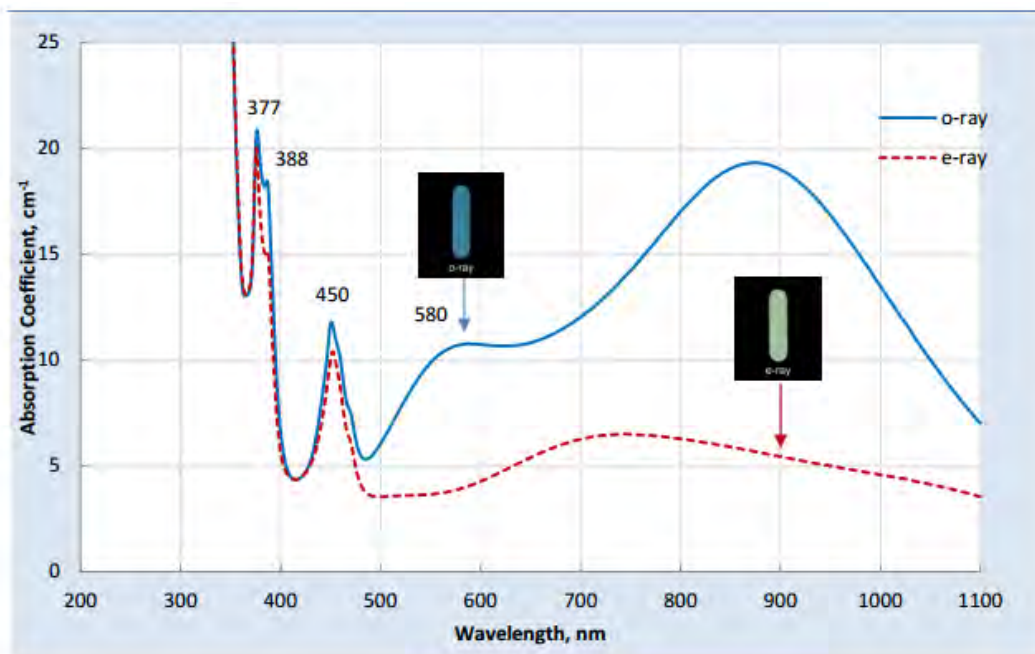
4.3 การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-Vis-NIR

ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

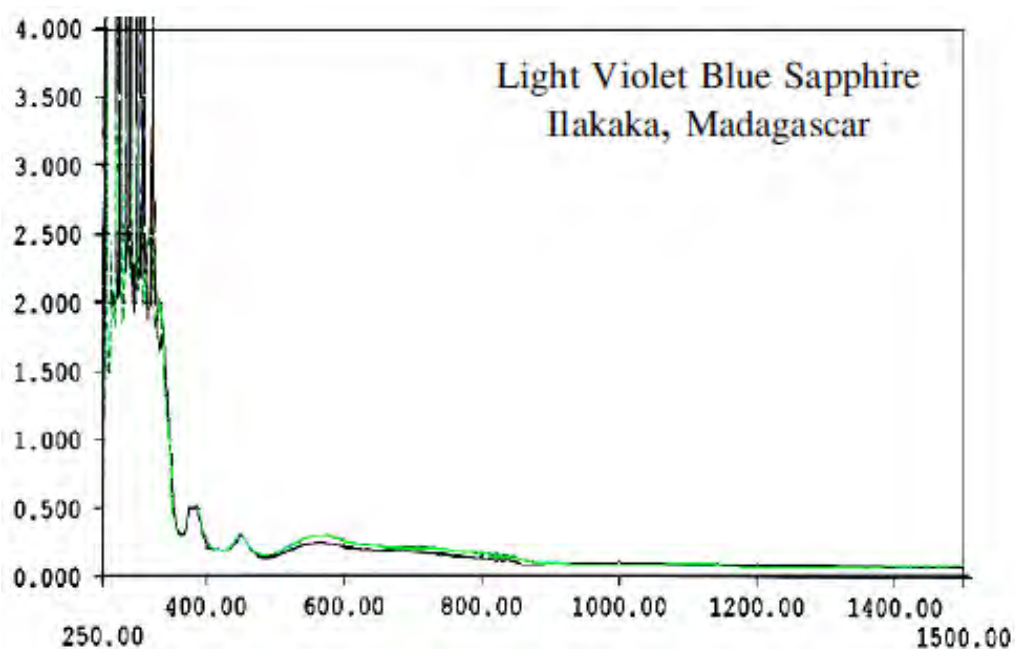


รูปที่ 4.10 ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า (Bo_B5)

โดยตัวอย่างทั้งหมดแสดงรูปแบบการดูดกลืนที่คล้ายคลึงกัน โดยพิจารณาที่รูปที่ ด้วยยอดการดูดกลืนที่ 565 nm ซึ่งเป็นผลมาจากธาตุมลทิน Fe^{2+}/Ti^{4+} และการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงดังกล่าว มีผลให้แซปไฟร์เกิดสีน้ำเงินขึ้น โดยจะเห็นว่า ณ ตำแหน่งที่ความยาวคลื่น 565 nm จะมีการดูดกลืนของรังสีโอ (O-Rays) มากกว่า และ ณ ตำแหน่งที่ความยาวคลื่น 565 nm จะมีการดูดกลืนของรังสีอี (E-Rays) มากกว่า ซึ่งการดูดกลืนของแต่ละรังสีในช่วงคลื่นที่ต่างกันนี้ ส่งผลให้เกิดสีที่แตกต่างกันนั่นเอง นอกจากนี้ยังสามารถบอกแหล่งกำเนิดจากลักษณะการดูดกลืนของ Fe^{2+}/Ti^{4+} ในบริเวณความยาวคลื่น 565 nm เนื่องจากถ้ามีแหล่งกำเนิดจากหินแปรจะมีการดูดกลืนในช่วงนี้สูงสุดที่ 565 nm แต่ถ้ามีต้นกำเนิดจากหินบะซอลต์จะพบว่าการดูดกลืนของ Fe^{2+}/Ti^{4+} สูงที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 850 nm (อินท โสภา, 2545)



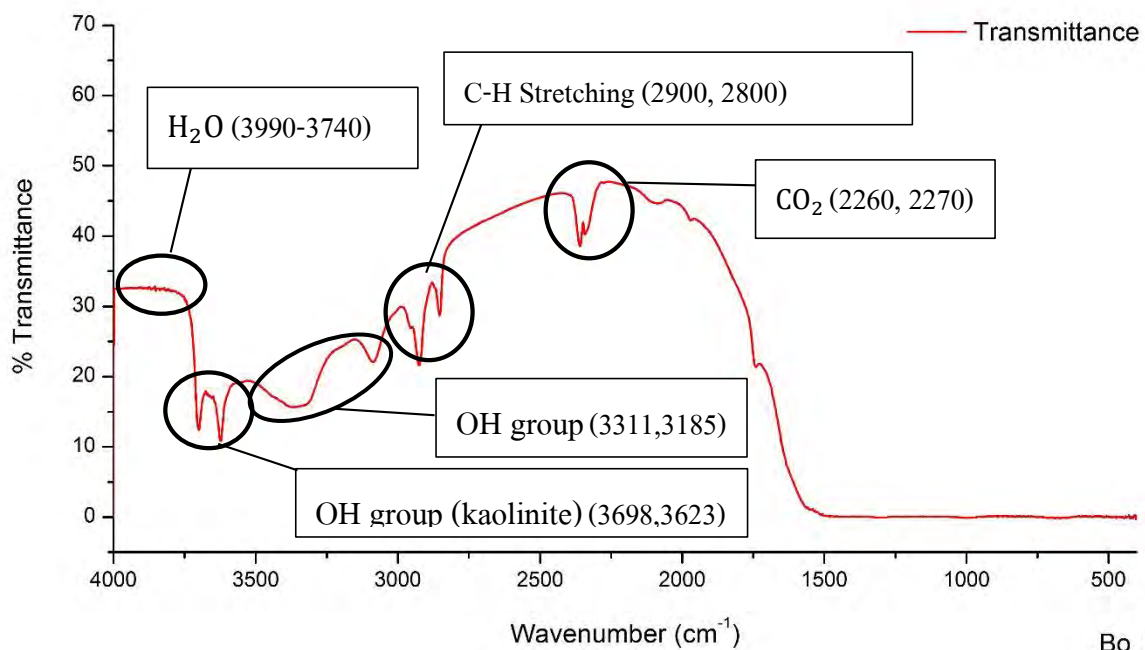
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของพลอยแซปไฟร์ จากจันทบุรี ประเทศไทย ที่มีแหล่งกำเนิดสัมพันธ์กับ หินบะชอลต์ (Saeseaw, 2017)



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งอิลากากา ประเทศมาดากัสการ์ ที่มีที่แหล่งกำเนิดสัมพันธ์กับ หินแปร (อินทโสภา, 2545)

4.4 การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรด (FTIR)

ลักษณะทั่วไปของการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรด (FTIR) แสดงการดูดกลืนของ H_2O จากความชื้นในอากาศ ในช่วงประมาณ $3400 - 3980 \text{ cm}^{-1}$ การดูดกลืนของของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ CO_2 ในช่วงประมาณ $2300 - 2400 \text{ cm}^{-1}$ การดูดกลืนของ C-H Stretching เนื่องมาจากความสกปรกของสารไฮโดรคาร์บอนบนผิว หรือภายในรอยแตก ที่ตำแหน่งประมาณ 2850 และ 2920 cm^{-1} ซึ่งสามารถพบลักษณะการดูดกลืนที่กล่าวมานี้ได้ในทุกแหล่งพลอย ถือเป็นการดูดกลืนทั่วไป ซึ่งแสดงการดูดกลืนของ OH groups ซึ่งโดยปกติจะแสดงค่าการดูดกลืน ในช่วงประมาณ $3100 - 3400 \text{ cm}^{-1}$ ที่เกิดจาก O-H Stretching ของอนุมูลไฮดรอกซิลอิสระ (free OH) ซึ่งมักพบในพลอยแซปไฟร์ที่ไม่ผ่านการเผา



รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรด ของพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า(Bo_B1)

4.5 องค์ประกอบทางเคมี

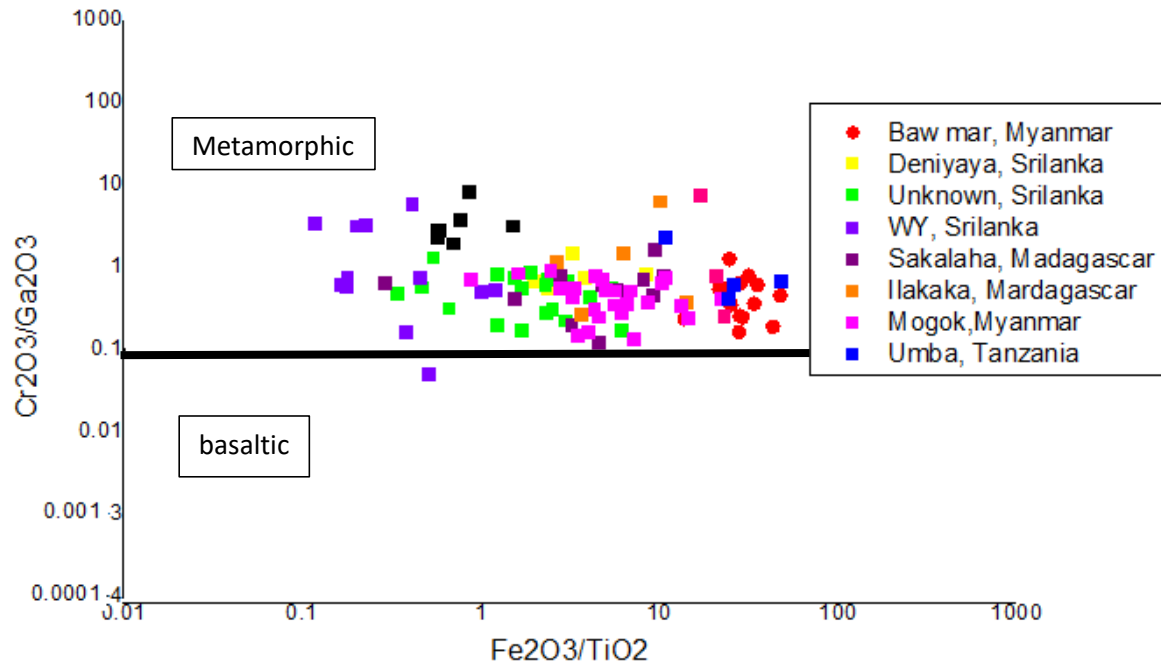
ผลวิเคราะห์โดย EDXRF

แสดงการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า ซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ Al_2O_3 และองค์ประกอบของธาตุร่องรอยในตัวอย่างหลายชนิด จากการศึกษาได้เลือกวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยที่สำคัญ ตามรูปแบบขององค์ประกอบออกไซด์ที่มักพบบ่อยในพลอยแซปไฟร์ ซึ่งธาตุบางธาตุ ถือเป็นสาเหตุสำคัญในการเกิดสี

ตารางที่ 4.2 สรุปผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดย EDXRF จากพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

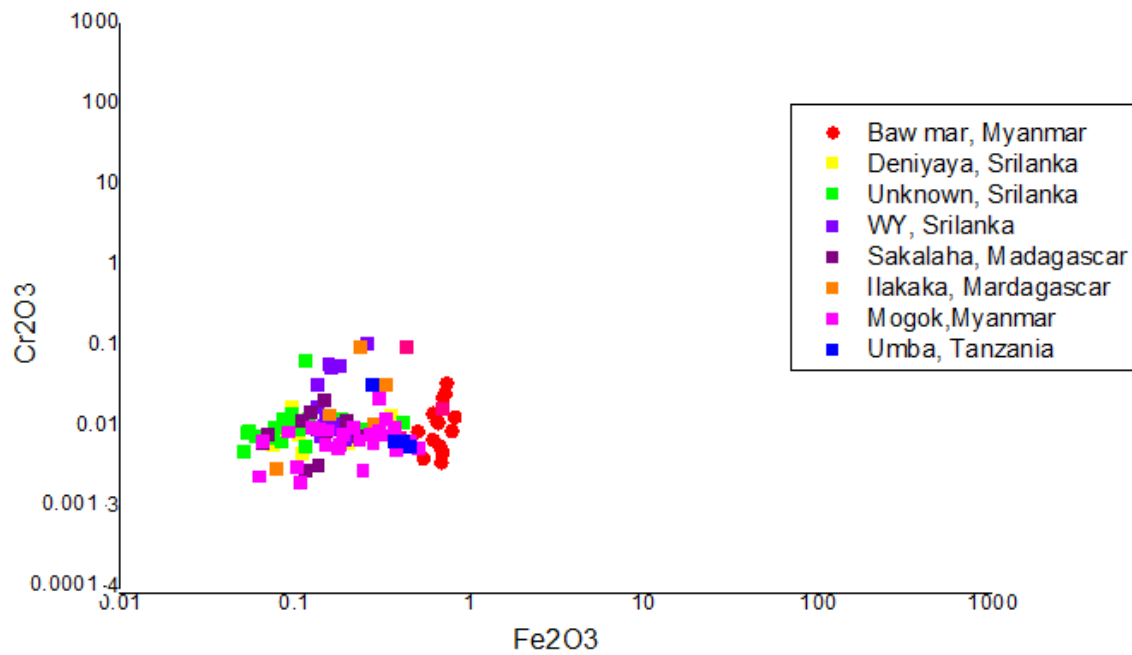
| Sample | Al ₂ O ₃ (%wt) | TiO ₂ (%wt) | V ₂ O ₅ (%wt) | Cr ₂ O ₃ (%wt) | Fe ₂ O ₃ (%wt) | Ga ₂ O ₃ (%wt) |
|--------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Bo_B1 | 99.16 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.74 | 0.03 |
| Bo_B2 | 99.16 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.71 | 0.04 |
| Bo_B3 | 99.16 | 0.02 | 0.05 | 0.03 | 0.73 | 0.03 |
| Bo_B4 | 99.16 | 0.04 | 0.02 | 0.01 | 0.62 | 0.06 |
| Bo_B5 | 99.16 | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.69 | 0.02 |
| Bo_B6 | 99.16 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.70 | 0.02 |
| Bo_B7 | 99.16 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.79 | 0.02 |
| Bo_B8 | 99.16 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.51 | 0.02 |
| Bo_B9 | 99.16 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.62 | 0.02 |
| Bo_B10 | 99.16 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.66 | 0.02 |
| Bo_B11 | 99.16 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.65 | 0.02 |
| Bo_B12 | 99.16 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.67 | 0.02 |
| Bo_B13 | 99.16 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.54 | 0.02 |
| Bo_B14 | 99.16 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.82 | 0.02 |
| avg | 99.16 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.68 | 0.03 |

ตัวอย่างแซปไฟร์จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า ที่นำมาวิเคราะห์ พบว่าแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า เป็นแหล่งที่มีปริมาณ โครเมียม ไทเทเนียมและวานเดียมต่ำ มีปริมาณเหล็กและแกดเลียมค่อนข้างสูง จากการศึกษาค่าความสัมพันธ์ของแหล่งกำเนิดแซปไฟร์พบว่า ตัวอย่างแซปไฟร์จากแหล่งกำเนิดหินบะซอลต์ มีปริมาณ โครเมียมต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง แซปไฟร์ที่มาจากแหล่งกำเนิดหินแปร (Zaw et al, 2006) จึงสามารถใช้ปริมาณ โครเมียมในการแยกแหล่งกำเนิดหินบะซอลต์กับแหล่งกำเนิดหินแปรได้



รูปที่ 4.14 องค์ประกอบทางเคมีของแซปไฟร์จากแหล่งกำเนิดหินแปร

(ข้อมูลแหล่งพลอยอื่นจากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน), สวอ. หรือ GIT)



รูปที่ 4.15 องค์ประกอบทางเคมีของแซปไฟร์จากแหล่งกำเนิดหินแปร

(ข้อมูลแหล่งพลอยอื่นจากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน), สวอ. หรือ GIT)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของแหล่งกำเนิดระหว่างเหล็กและโครเมียม จะเห็นได้ว่า แหล่งบ่อมา ประเทศพม่า มีปริมาณเหล็กมากที่สุด (รูป 4.15) ในขณะที่แหล่งกำเนิดหินแปรอื่นๆ จะมีปริมาณเหล็กน้อยกว่าอย่างชัดเจน จึงสามารถใช้เหล็กในการแยกแหล่งบ่อมา ประเทศพม่าออกจากแหล่งกำเนิดแปรอื่นๆ ได้

ผลวิเคราะห์โดย EPMA

แสดงการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า ซึ่งผลวิเคราะห์มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับผลวิเคราะห์จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EDXRF คือ มีองค์ประกอบหลักคือ Al_2O_3 ได้เลือกวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยที่สำคัญ โดยได้สรุปผลวิเคราะห์ EPMA ในตาราง 4.3

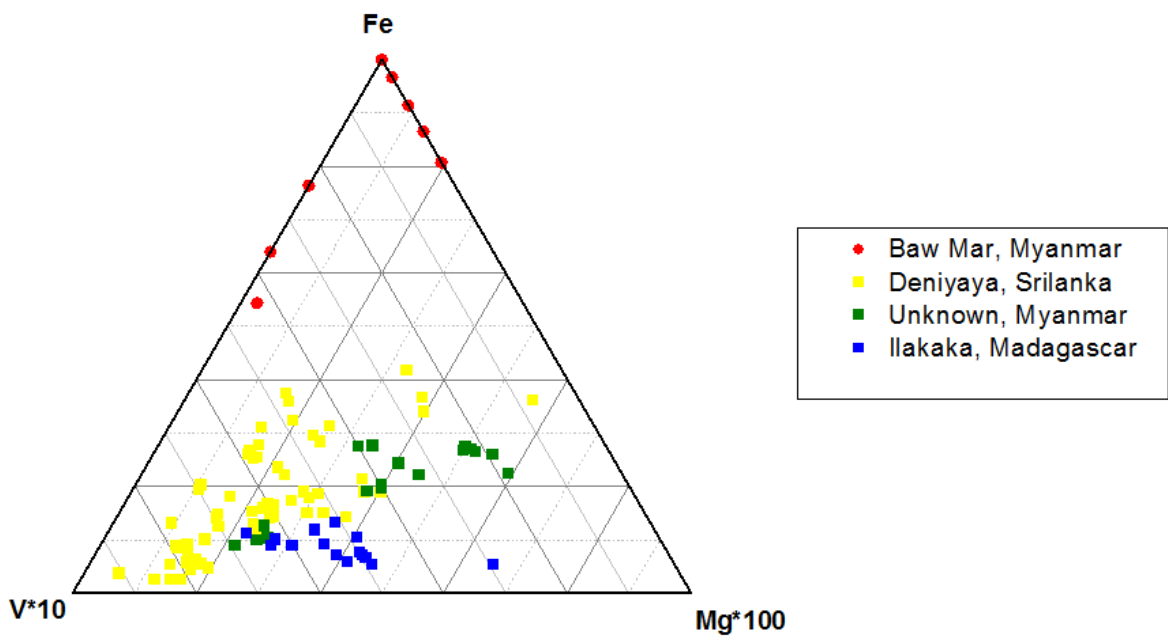
ตาราง 4.3 สรุปผลวิเคราะห์ทางเคมีโดย EPMA จากพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

| Sample | SiO ₂ (mass%) | Al ₂ O ₃ (mass%) | CaO (mass%) | Cr ₂ O ₃ (mass%) | Ga ₂ O ₃ (mass%) | TiO ₂ (mass%) | MgO (mass%) | K ₂ O (mass%) | FeO (mass%) | V ₂ O ₃ (mass%) | MnO (mass%) | Total (mass%) |
|--------|-----------------------------|---|----------------|---|---|-----------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|--|----------------|------------------|
| Bo_B1 | 0.02 | 98.26 | 0 | 0.02 | 0.01 | 0 | 0.01 | 0.01 | 0.66 | 0 | 0 | 98.96 |
| Bo_B2 | 0.04 | 99.77 | 0 | 0 | 0.06 | 0 | 0 | 0.01 | 0.63 | 0.03 | 0.02 | 100.53 |
| Bo_B3 | 0 | 98.77 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0 | 0 | 0.74 | 0 | 0 | 99.54 |
| Bo_B4 | 0.02 | 98.31 | 0.01 | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.01 | 0 | 0.44 | 0 | 0 | 98.94 |
| Bo_B5 | 0.04 | 99.19 | 0 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0.01 | 0 | 0 | 0.01 | 99.26 |
| Bo_B6 | 0 | 98.46 | 0.01 | 0 | 0.01 | 0 | 0 | 0.01 | 0.50 | 0 | 0 | 98.99 |

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|--------|
| Bo_B7 | 0.01 | 99.29 | 0.01 | 0 | 0.01 | 0.04 | 0 | 0.01 | 0.651 | 0 | 0.01 | 100.01 |
| Bo_B8 | 0.06 | 98.92 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0 | 0.45 | 0 | 0 | 99.48 |
| Bo_B9 | 0.02 | 98.25 | 0.02 | 0.01 | 0 | 0 | 0 | 0.01 | 0.49 | 0 | 0.01 | 98.81 |
| Bo_B10 | 0.03 | 98.27 | 0.02 | 0 | 0.08 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.35 | 0 | 0 | 98.79 |
| Bo_B11 | 0.06 | 99.97 | 0.01 | 0 | 0.03 | 0.03 | 0 | 0 | 0.55 | 0 | 0.02 | 100.68 |
| Bo_B12 | 0.04 | 98.45 | 0 | 0.04 | 0 | 0 | 0 | 0.01 | 0.51 | 0.01 | 0 | 99.06 |
| Bo_B13 | 0.01 | 97.59 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0 | 0.42 | 0 | 0.01 | 98.09 |
| Bo_B14 | 0.04 | 98.87 | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.63 | 0.01 | 0 | 99.68 |
| avg | 0.03 | 98.74 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.50 | 0.01 | 0.01 | 99.34 |

จากผลการวิเคราะห์ในตาราง 4.3 ของตัวอย่างเซปไฟร์แหล่งบ่อมา ประเทศพม่า พบว่ามีปริมาณ
เหล็กสูง มีปริมาณแคลเซียม โครเมียมและไทเทเนียมปานกลาง และมีปริมาณแคลเซียม วานเดียม
แมงกานีสและแมกนีเซียมต่ำ ส่วนธาตุร่องรอยตัวอื่นๆ พบในตัวยานี้ปริมาณน้อยมาก



รูปที่ 4.16 สัดส่วนขององค์ประกอบธาตุร่องรอย แสดงการกระจายตัวของเหล็ก วาเนเดียมและแมกนีเซียม (ข้อมูลแหล่งพลอยอื่นจากสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน), สวอ. หรือ GIT)

จากการศึกษาปริมาณธาตุร่องรอยของแซปไฟร์จากแหล่งกำเนิดหินแปร (รูป 4.16) พบว่าสามารถแยกแซปไฟร์ที่มีจากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า จากแซปไฟร์ที่มาจากแหล่งกำเนิดหินแปรได้อย่างชัดเจน เนื่องจากปริมาณธาตุร่องรอยของเหล็ก มีค่าสูงกว่าแหล่งกำเนิดหินแปรอื่นๆ ในขณะที่ปริมาณธาตุร่องรอยจึงสามารถใช้ปริมาณของธาตุร่องรอยในการแยกแหล่งกำเนิดของแซปไฟร์ได้

4.6 อภิปรายผล และสรุปผล

จากการศึกษาตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ แหล่งบ่อมา ประเทศพม่า ทั้ง 14 ตัวอย่าง สีน้ำเงิน พบว่ามีคุณภาพค่อนข้างต่ำ เนื้อพลอยค่อนข้างขุ่น เนื่องจากการมีรอยแตกมาก และมลทินภายใน พลอยนี้มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางแสงอยู่ในช่วงปกติของพลอยแซปไฟร์ทั่วไปคือ ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 3.96 ค่าดัชนีหักเห 1.767-1.770 ค่าไบรีฟรินเจนซ์ (Birefringence) เท่ากับ 0.01 และการเรืองแสงภายใต้แสงฟลูออเรสเซนส์ โดยไม่เรืองแสง ที่ความยาวคลื่นสั้น แต่เรืองแสงสีน้ำเงินเล็กน้อย ที่ความยาวคลื่นยาว มลทินที่พบส่วนมากเป็น มลทินลายนิ้วมือ (fingerprint), มลทินรูปเข็ม (needle), และมลทินอื่นๆที่พบ ได้แก่ รอยแตก (Fracture), มลทินผลึกแร่ (crystal), มลทินรูปหนอน (worm-shape) มลทินแผ่นฟิล์มบาง (thin film) และจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมลทินผลึกแร่ โดยเครื่อง Raman Spectroscopy พบว่า ได้แก่ รูไทล์ (Rutile), โพแทสเซียม-เฟลสปาร์ (K-feldspar)

การดูดกลืนคลื่นแสงช่วง UV-Vis-NIR แสดงยอดการดูดกลืน Fe^{2+}/Ti^{4+} มีความยาวคลื่น 565 ซึ่งยอดการดูดกลืน Fe^{2+}/Ti^{4+} ส่งผลให้พลอยแซปไฟร์ แหล่งบ่อมา ประเทศพม่า มีสีน้ำเงิน การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรด โดยเครื่อง FTIR แสดงรูปแบบและช่วงการดูดกลืนของ H_2O , CO_2 , CH-Stretching และ OH group ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าพลอยแซปไฟร์จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่ามีต้นกำเนิดมาจากหินแปร

ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี จากเครื่อง EDXRF และ EPMA ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่าธาตุองค์ประกอบหลักคือ Al_2O_3 ส่วนธาตุร่องรอยที่มีปริมาณรองลงมาคือ Cr_2O_3 และ Fe_2O_3 ตามลำดับ ส่วนธาตุร่องรอยอื่นๆที่พบปริมาณน้อย ได้แก่ V_2O_5 , Ga_2O_3 และ TiO_2 ซึ่งสามารถแยกพลอยแซปไฟร์จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่าได้เนื่องจากมีปริมาณเหล็กที่สูงกว่าแหล่งแซปไฟร์ที่มีต้นกำเนิดจากหินแปรอื่นๆ ซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดพลอยแซปไฟร์ในบริเวณนี้ เนื่องจากนอกจากมลทินที่พบเป็นแร่โพแทสเซียม-เฟลสปาร์และแร่รูไทล์ อธิบายเพิ่มเติมร่วมกับผลเคมี โยงเข้าธรณีวิทยา นอกจากนี้ยังได้ศึกษาองค์ประกอบเคมีเพิ่มเติม

จากผลวิเคราะห์ทางกายภาพ ทางแสงและองค์ประกอบทางเคมีที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าลักษณะเฉพาะของอัญมณีในแต่ละแหล่งอาจจะสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกแหล่งที่มาของอัญมณีที่ไม่ทราบแหล่งกำเนิดแน่ชัดได้

บรรณานุกรม

สุพร อินทโสภา., วิลาวัณย์ อดิชาติ., วิสุทธิ์ พิสุทธิอานนท์., บุญทวี ศรีประเสริฐ. 2545. "รายงานการวิจัยฉบับบูรณ:

โครงการศึกษามลทินในพลอยคอร์ันดัมเพื่อการจัดแบ่งแหล่งกำเนิดและมาตรฐาน." กรุงเทพมหานคร: กรม
ทรัพยากรธรณี.

Diep, P. 2015. Internal characteristics, chemical compounds and spectroscopy of sapphire as single
crystals. Mainz.

Zwaan, J.C., Buter, E., Mertz-Kraus, R., and Kane, R.E. 2015. Alluvial sapphires from Montana:
inclusions, geochemistry, and indications of a metasomatic origin. Gems & Gemology, v.51, no.4
: 370-391.

Hpone-Phyo Kan-Nyunt, Stefanos Karampelas, Klemens Link, Kyaw Thu, Lore Kiefert, Pierre Hardy.
Blue Sapphires from the Baw Mar Mine in Mogok. Gems & Gemology, 2013, v. 49, no. 4

Wasura Soonthorntantikul et al. An In-Depth Gemological Study of Blue Sapphire from the
Baw Mar Mine (Mogok, Myanmar), February 2017

Subagyo Pramumijoyo, Kyaw Linn Zaw, Kyaw Zin Lat. Regional Geology of Myanmar. Department of
Department of Geological Engineering Faculty of Engineering Gadjah Mada University, 2010

Sudarat Saeseaw et al. A Study of Sapphire From Chanthaburi, Thailand And Its Gemological
Characteristics. April, 2017

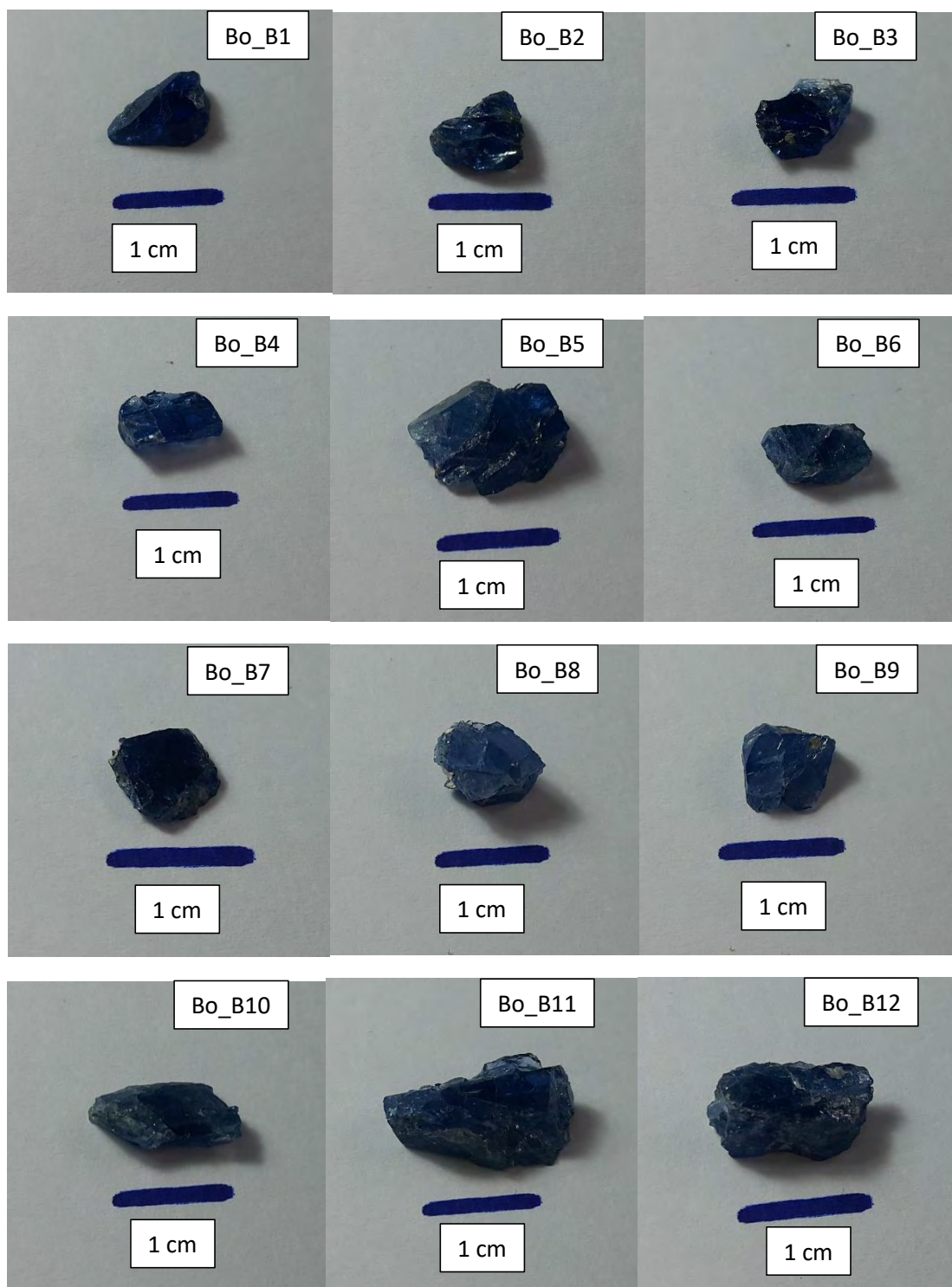
Pavel Uher .Sapphires related to alkali basalts from the CerováHighlands,
Western Carpathians (southern Slovakia):composition and origin. geologica carpathica 63
(February 2012) : 71-82

ภาคผนวก ก

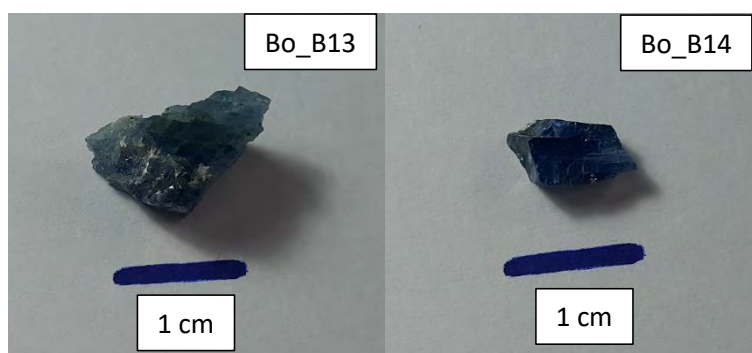
ภาพถ่ายตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

ลักษณะทางกายภาพ และสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

ภาพตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า



ภาพตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า



ลักษณะทางกายภาพ และสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

| Sample | Weight (ct) | SG (g/cm ³) | RI | | Birefringence | fluorescence | |
|--------|----------------|----------------------------|-------|-------|---------------|--------------|-------|
| | | | no | ne | | LW | SW |
| Bo_B1 | 1.64 | 4.4045 | 1.761 | 1.768 | 0.007 | Weak blue | Inert |
| Bo_B2 | 1.993 | 3.932 | 1.769 | 1.77 | 0.001 | Weak blue | Inert |
| Bo_B3 | 1.8515 | 3.958 | 1.769 | 1.77 | 0.001 | Weak blue | Inert |
| Bo_B4 | 2 | 3.954 | 1.769 | 1.77 | 0.001 | Mo. blue | Inert |
| Bo_B5 | 5.3085 | 3.951 | 1.77 | 1.771 | 0.001 | Weak blue | Inert |
| Bo_B6 | 1.8205 | 3.909 | 1.768 | 1.77 | 0.002 | Mo. blue | Inert |
| Bo_B7 | 1.145 | 3.949 | 1.762 | 1.766 | 0.004 | Weak blue | Inert |
| Bo_B8 | 2.996 | 4 | 1.766 | 1.768 | 0.002 | Weak blue | Inert |
| Bo_B9 | 2.103 | 3.942 | 1.768 | 1.77 | 0.002 | Weak blue | Inert |
| Bo_B10 | 2.759 | 3.81 | 1.771 | 1.773 | 0.002 | Mo. blue | Inert |

ลักษณะทางกายภาพ และสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

| | | | | | | | |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|
| Bo_B11 | 9.06 | 3.922 | 1.765 | 1.776 | 0.011 | Weak blue | Inert |
| Bo_B12 | 4.819 | 3.919 | 1.77 | 1.771 | 0.001 | Mo. blue | Inert |
| Bo_B13 | 7.535 | 3.95 | 1.771 | 1.772 | 0.001 | Weak blue | Inert |
| Bo_B14 | 1.7495 | 3.968 | 1.765 | 1.776 | 0.011 | Weak blue | Inert |

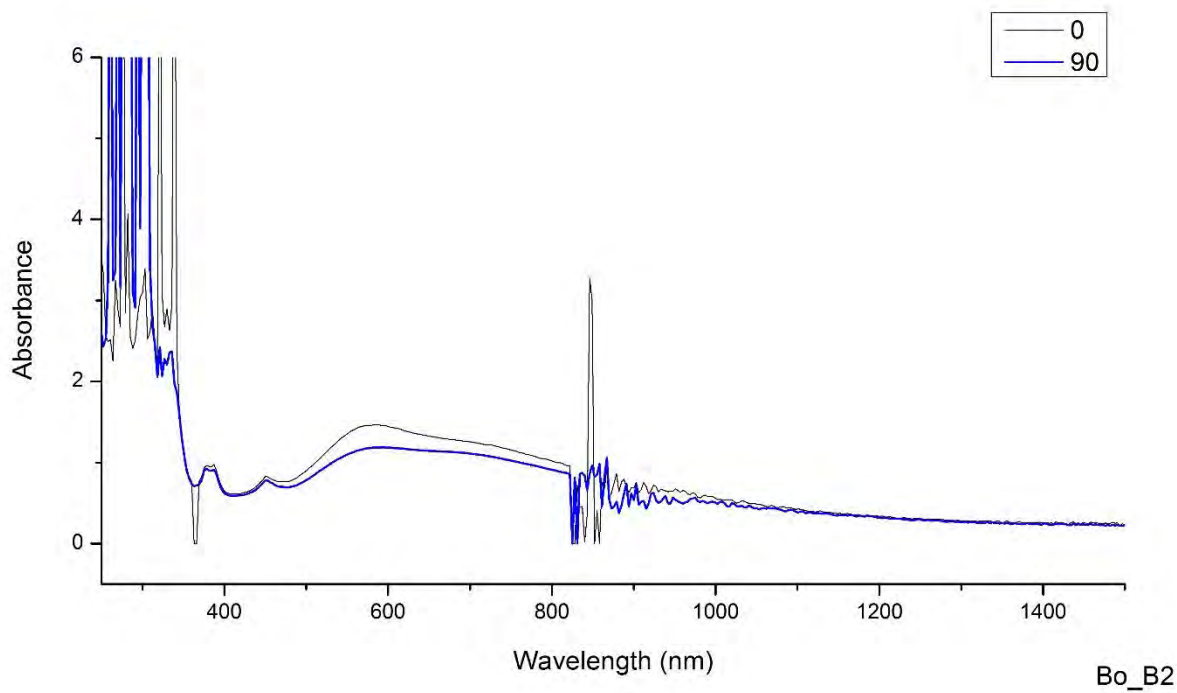
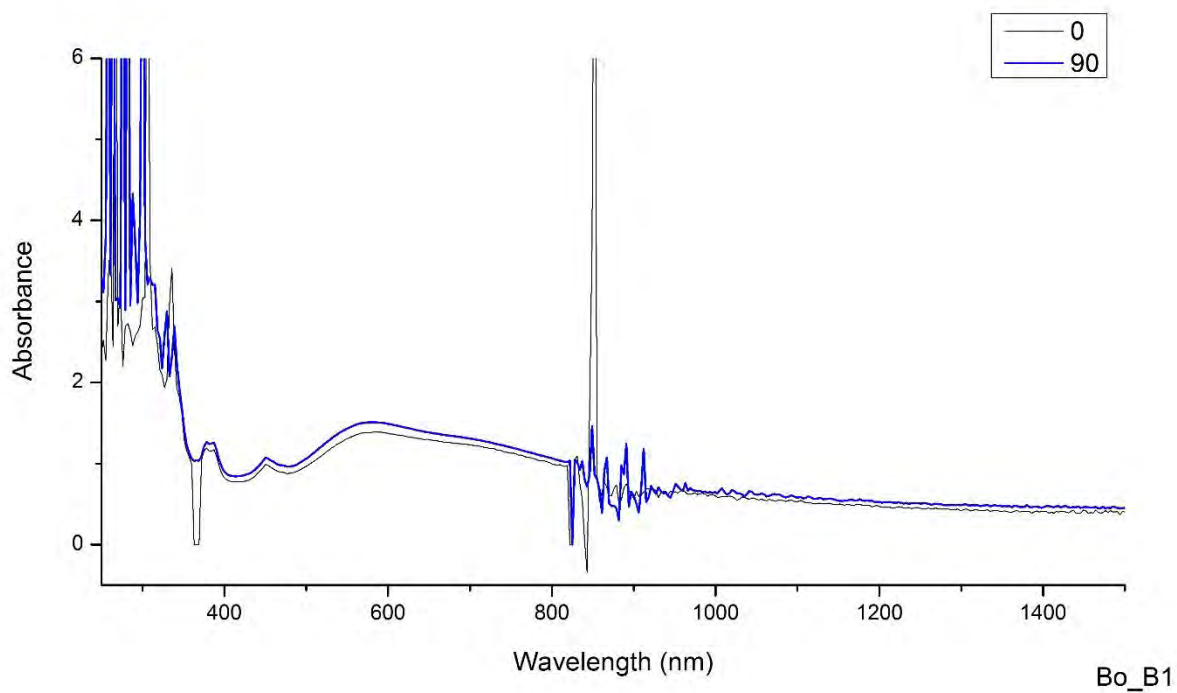
ภาคผนวก ข

ผลวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-Vis-NIR

จากพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

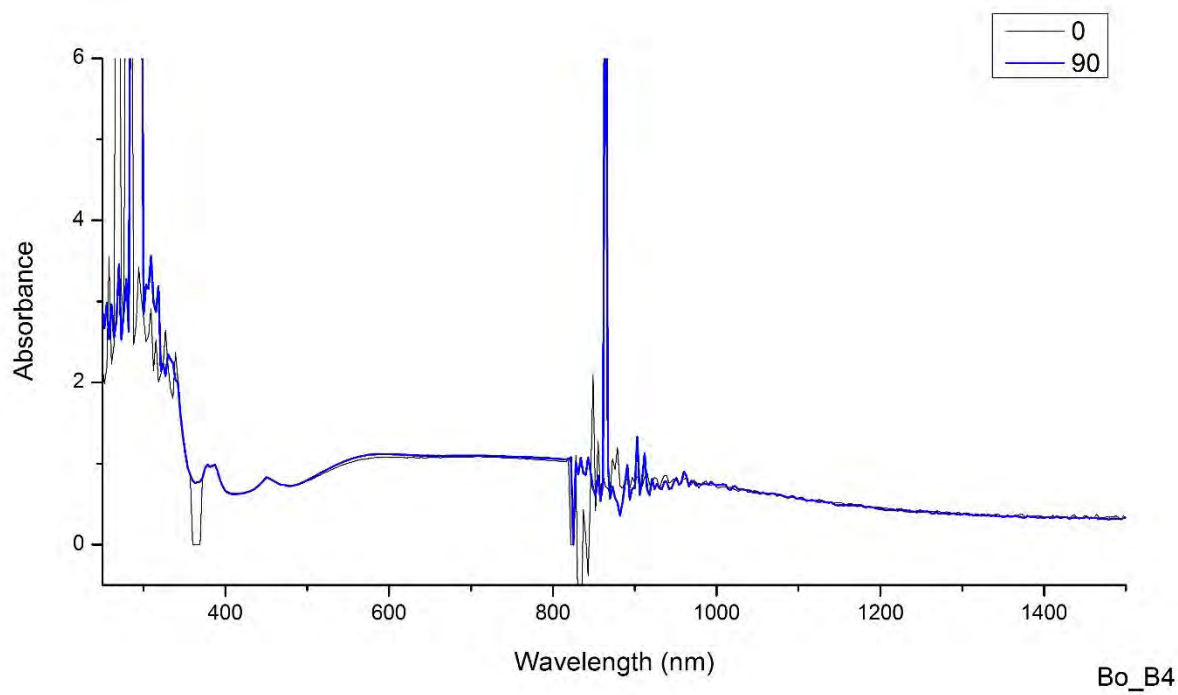
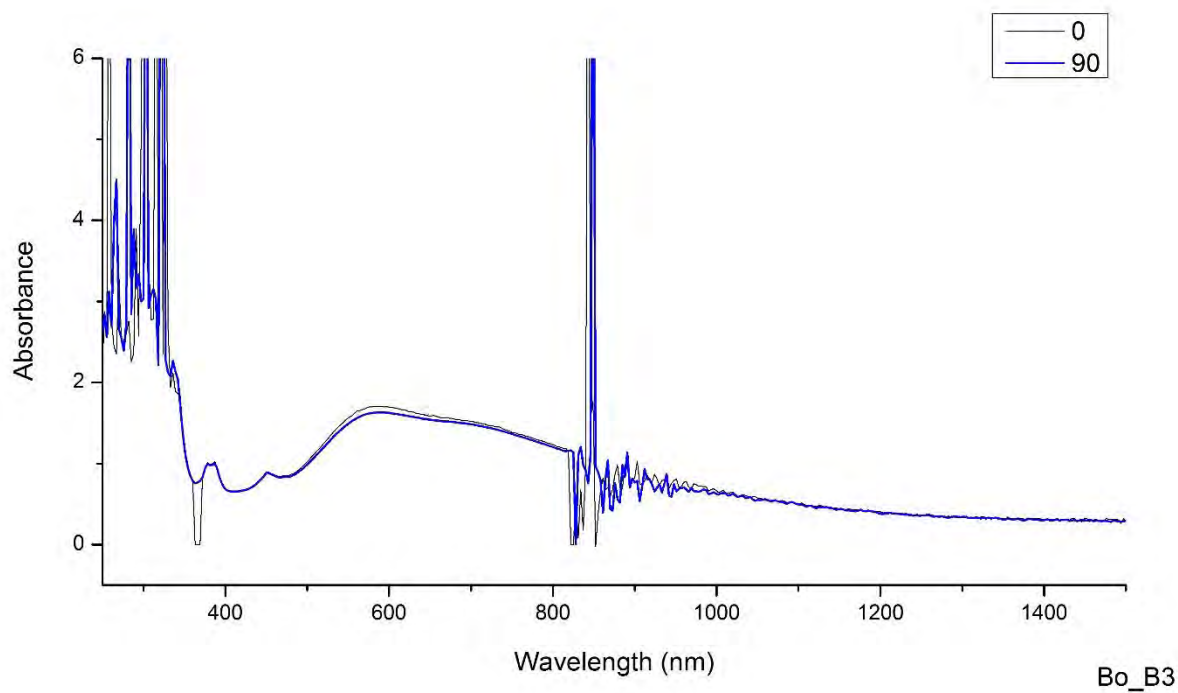
ผลวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-Vis-NIR

จากพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า



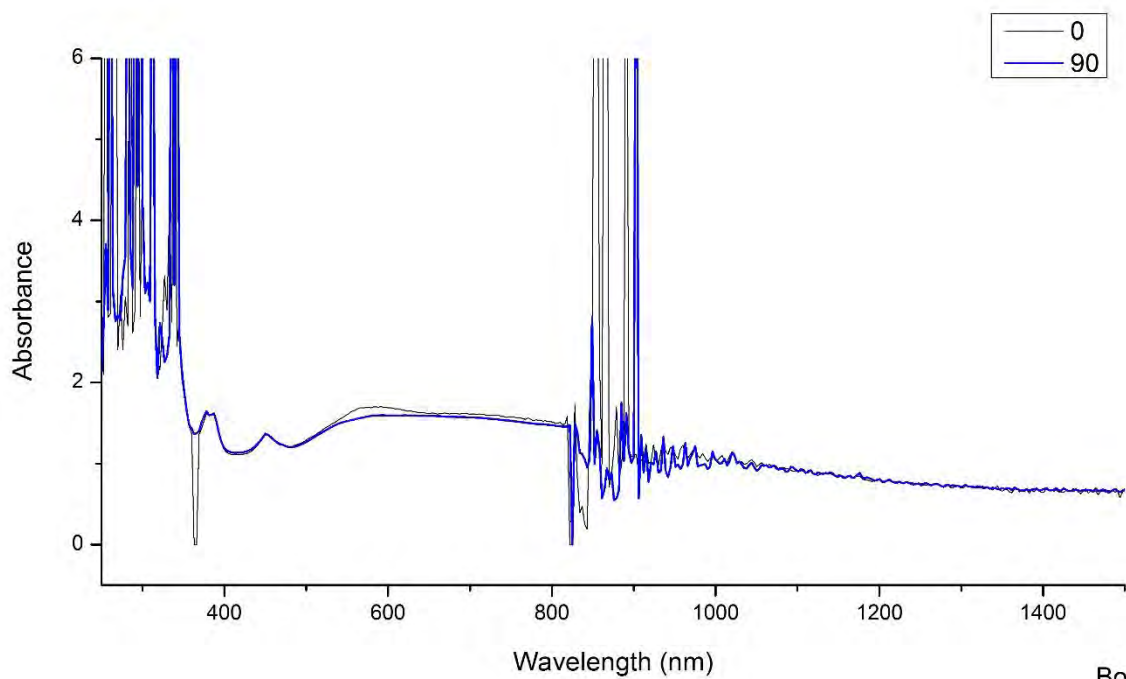
ผลวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-Vis-NIR

จากพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

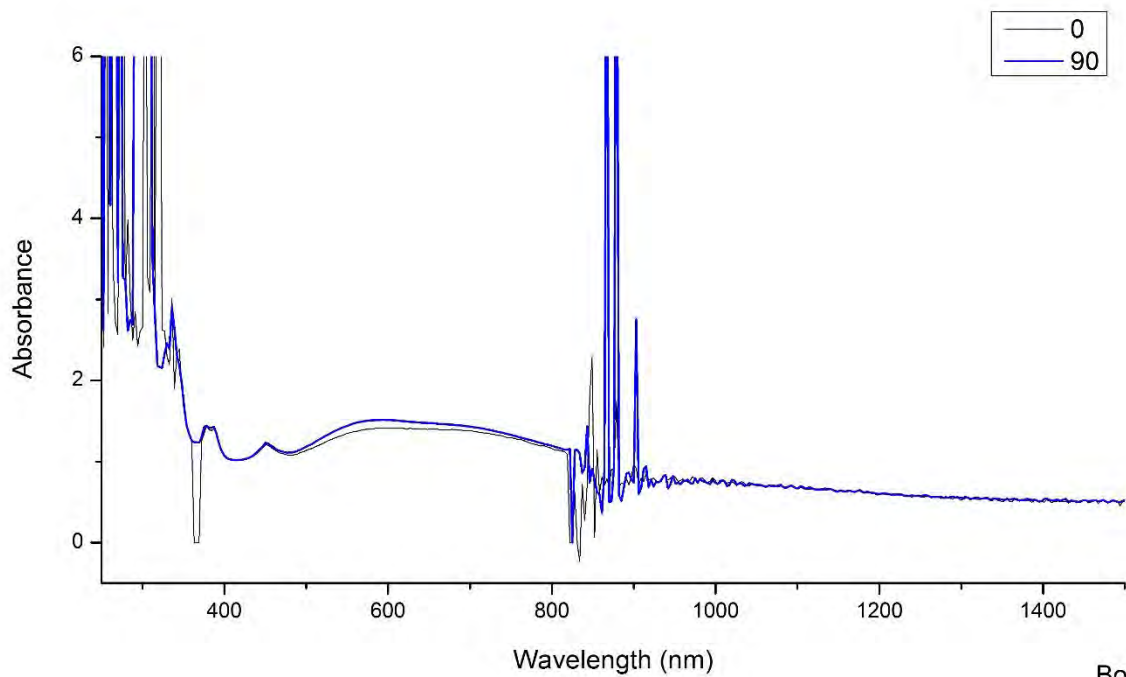


ผลวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-Vis-NIR

จากพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า



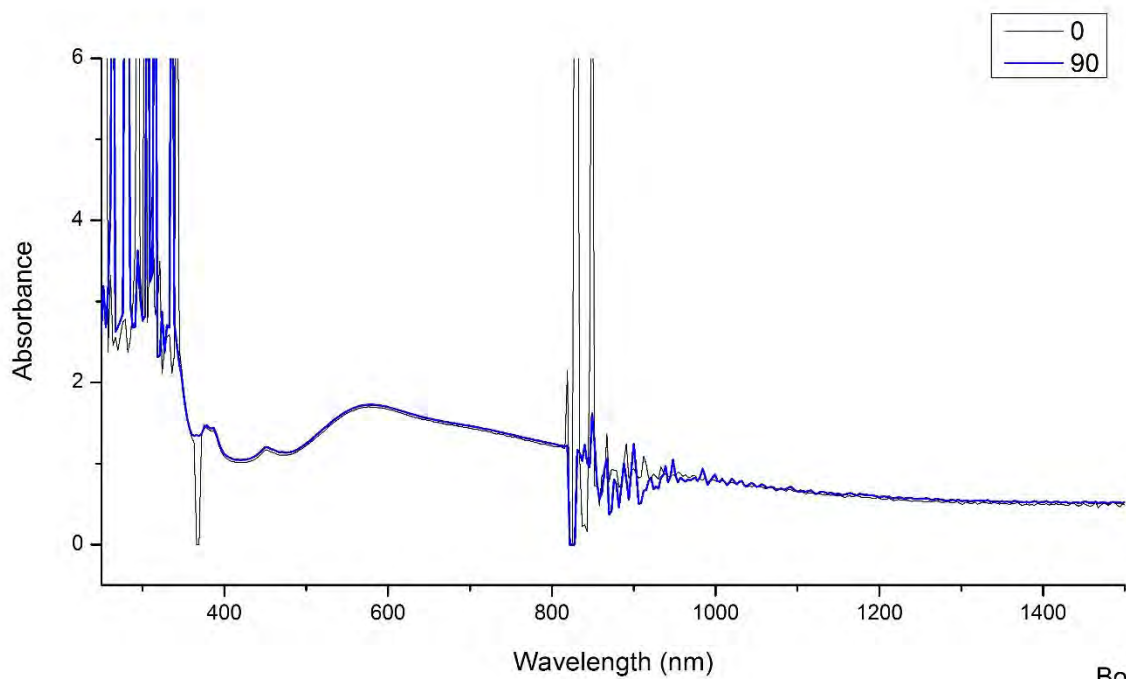
Bo_B5



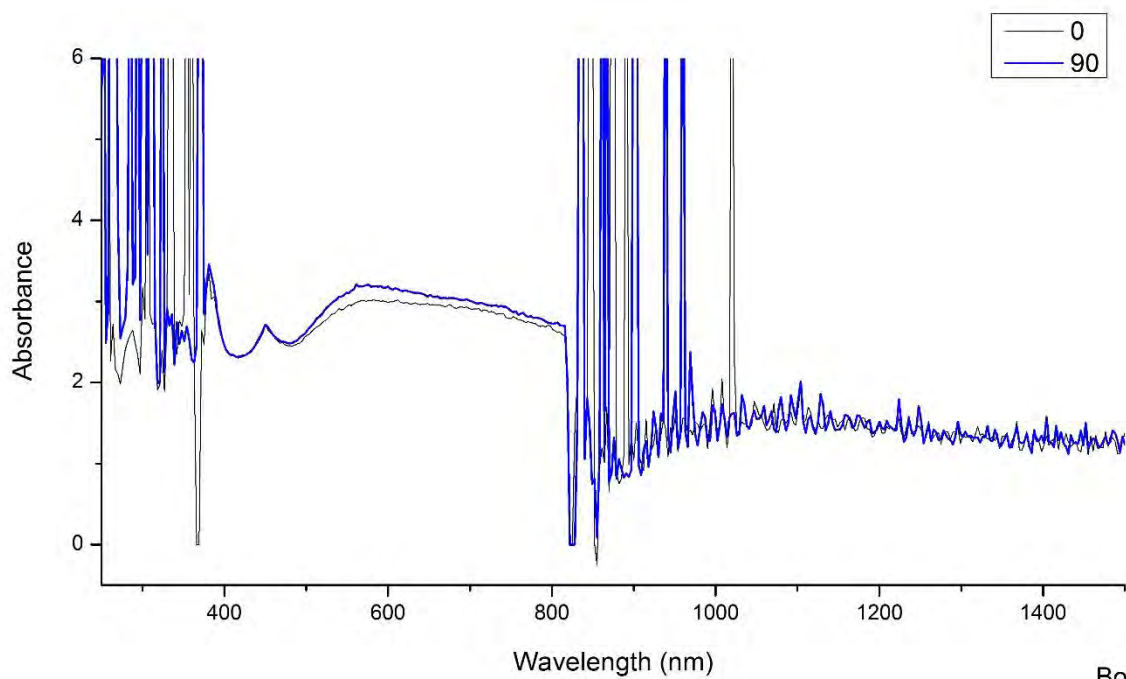
Bo_B6

ผลวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-Vis-NIR

จากพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า



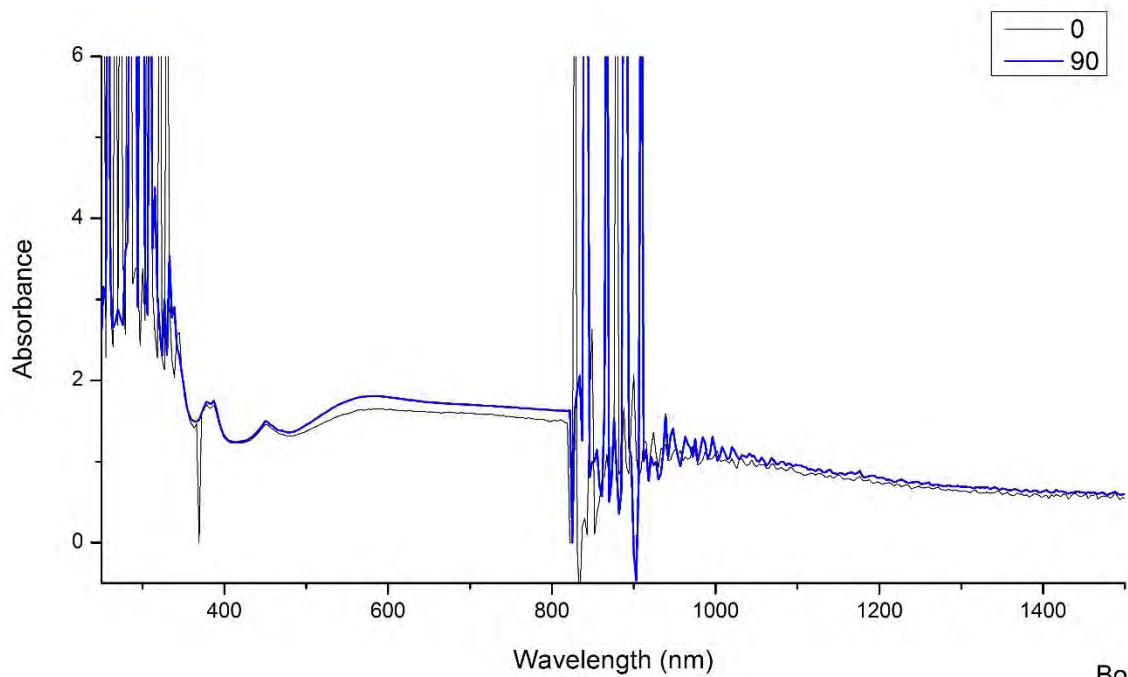
Bo_B7



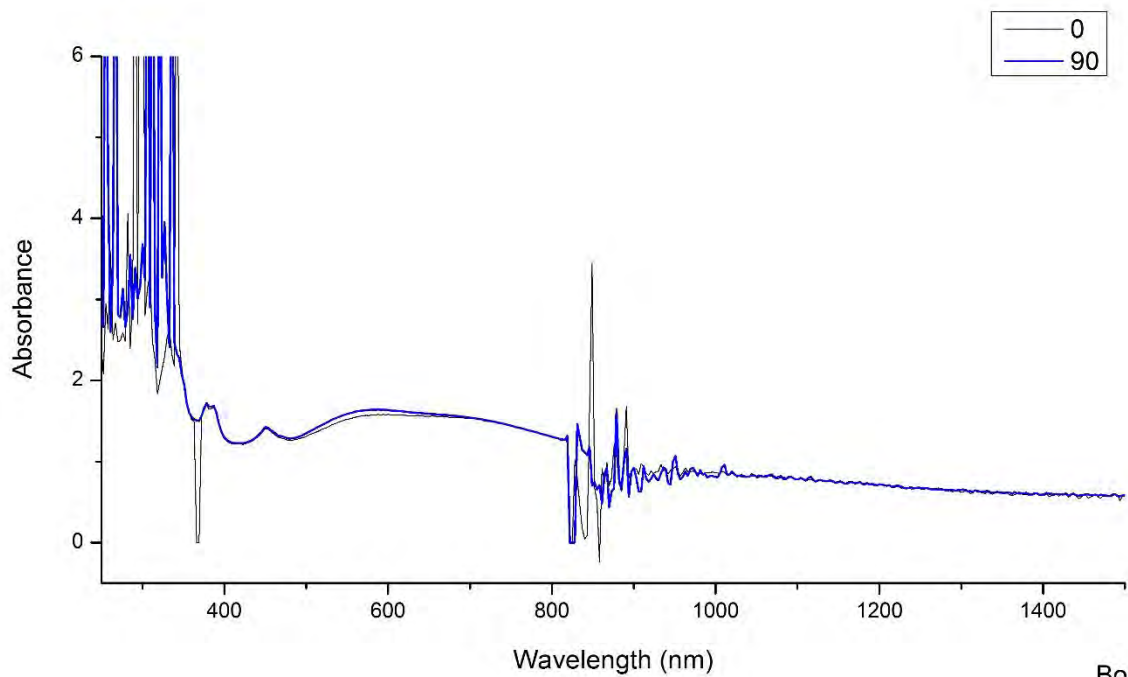
Bo_B8

ผลวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-Vis-NIR

จากพอลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า



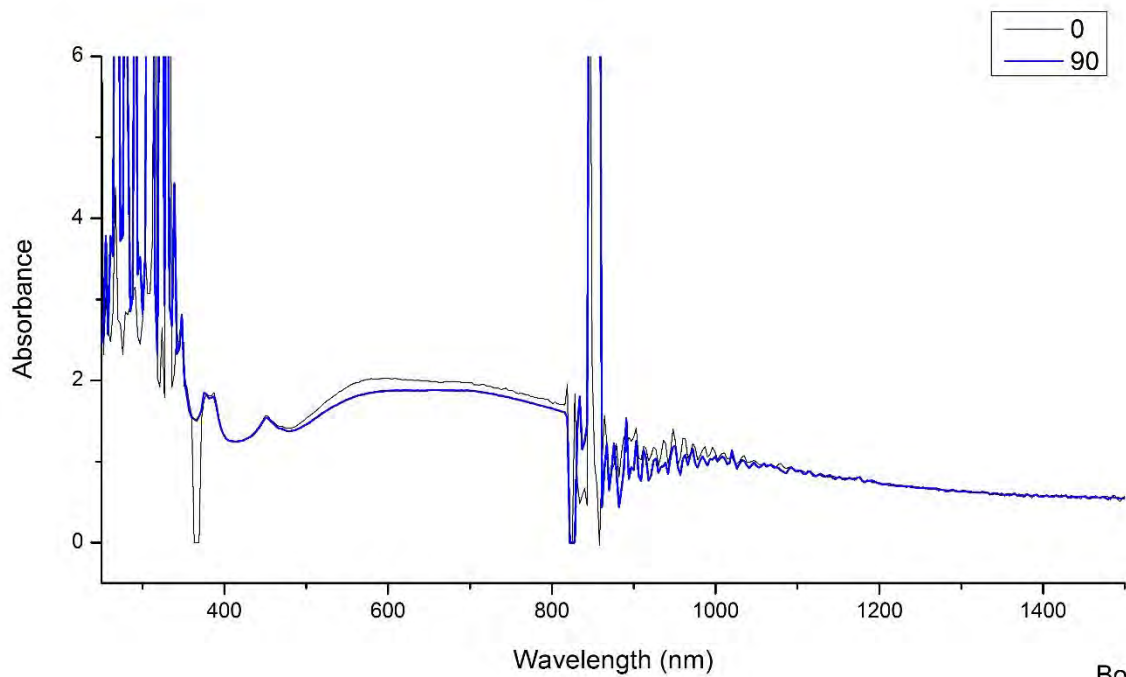
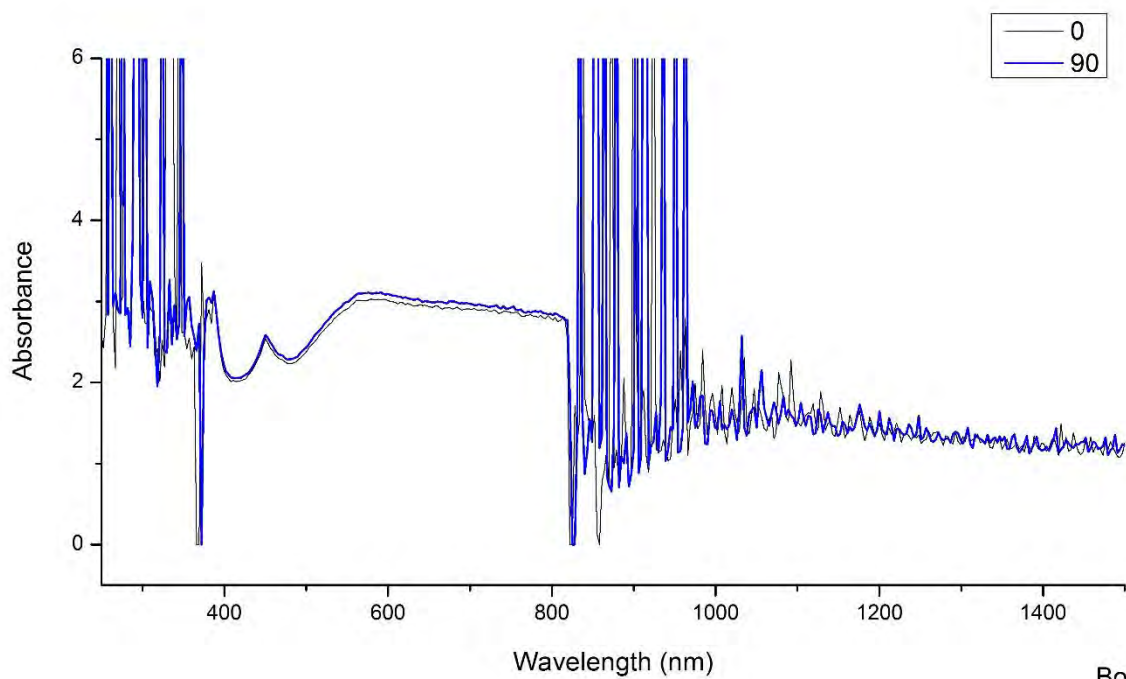
Bo_B9



Bo_B10

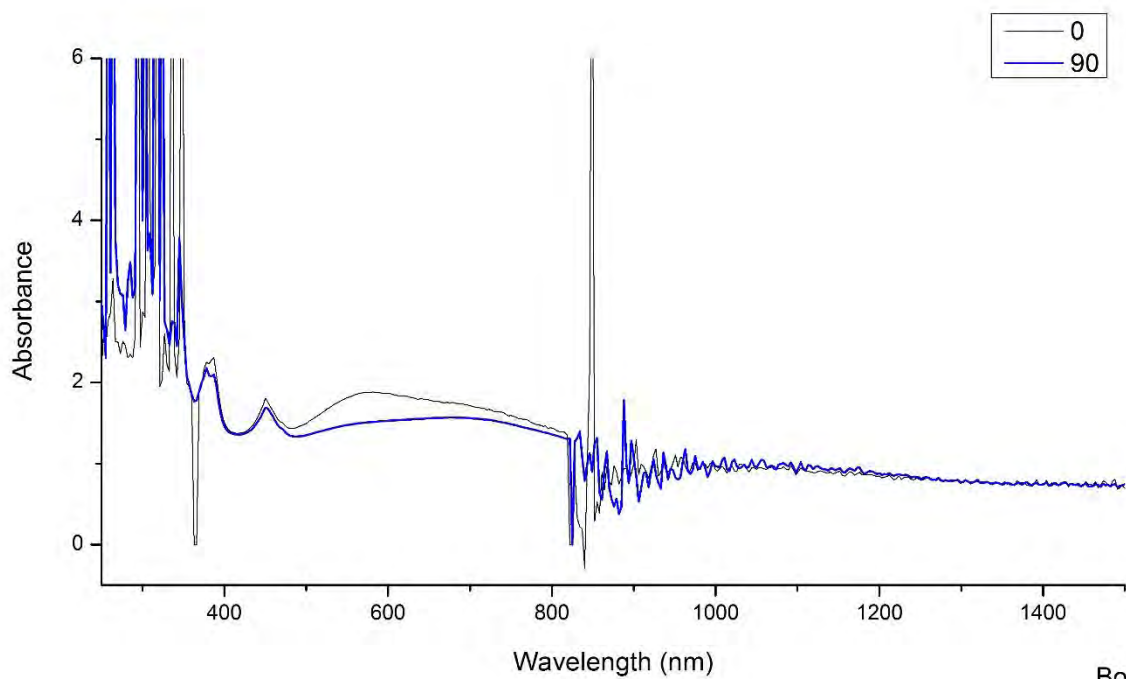
ผลวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-Vis-NIR

จากพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

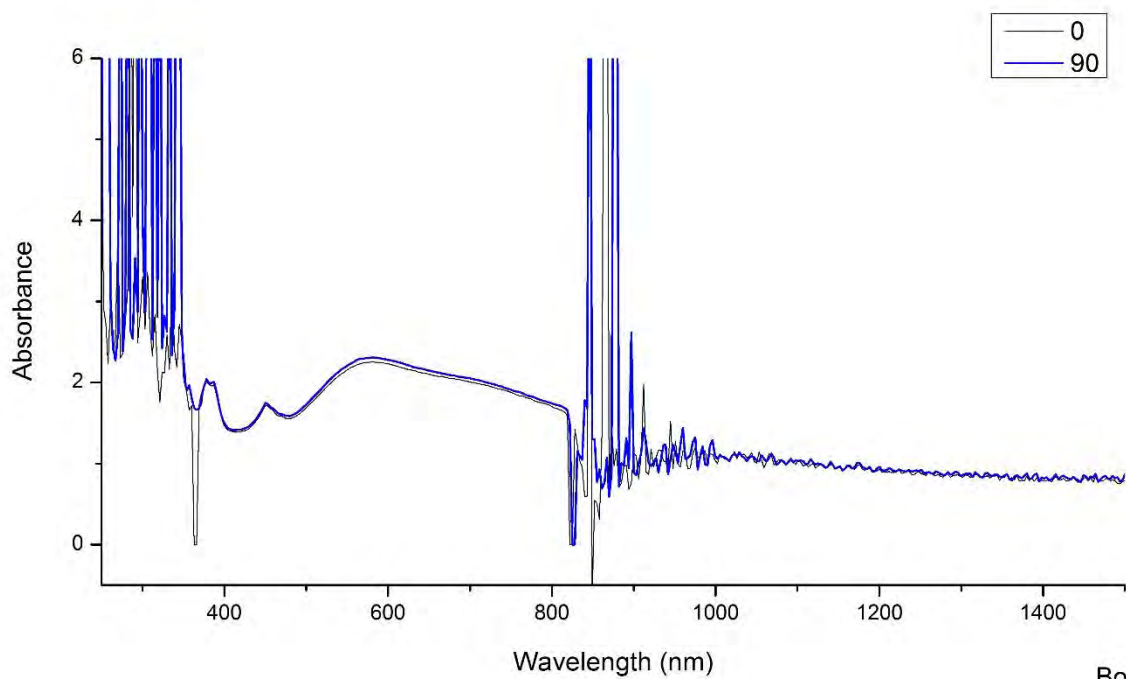


ผลวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-Vis-NIR

จากพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า



Bo_B13



Bo_B14

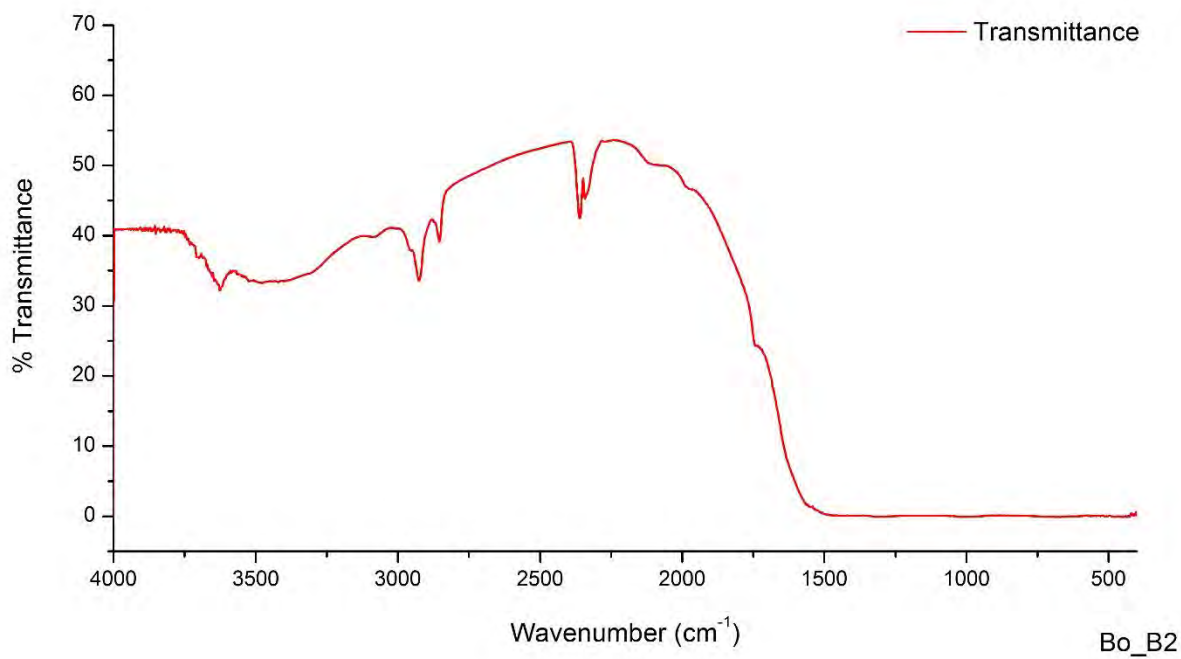
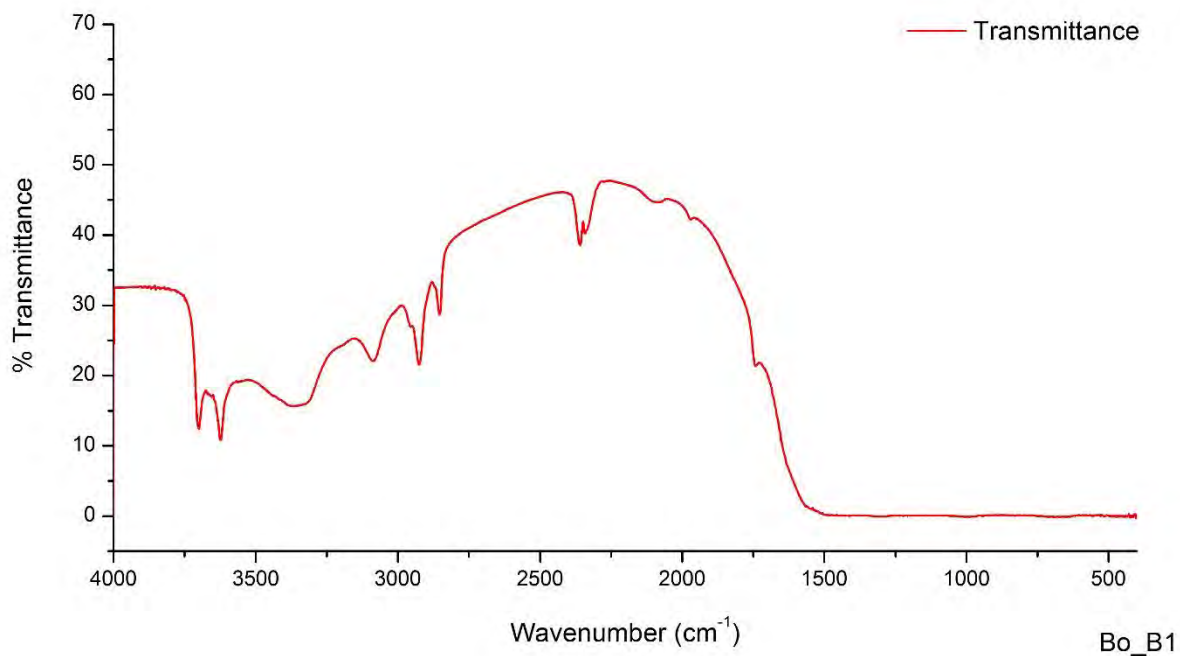
ภาคผนวก ค

ผลวิเคราะห์การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรด (FTIR)

จากพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

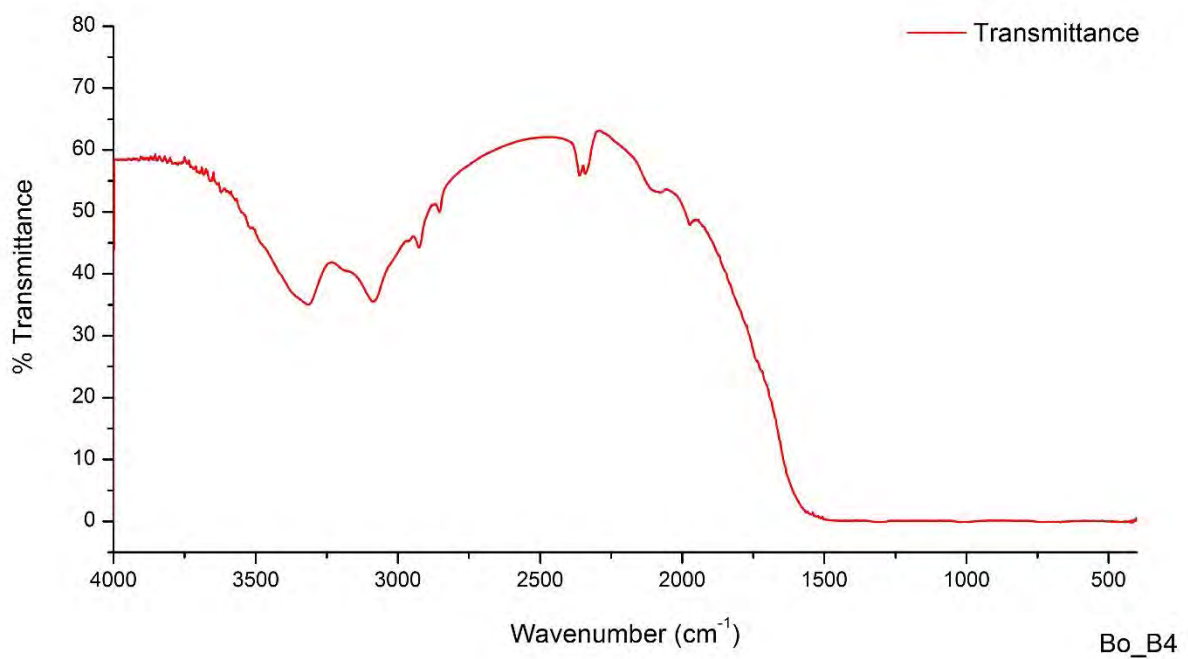
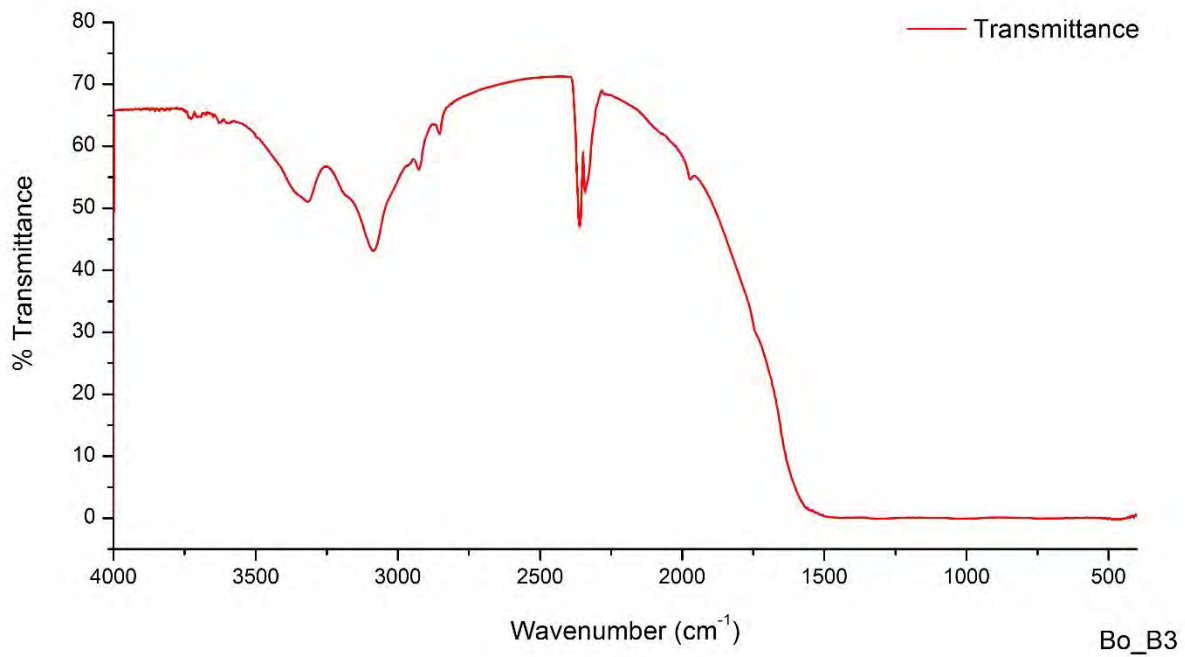
ผลวิเคราะห์การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรด (FTIR)

จากพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า



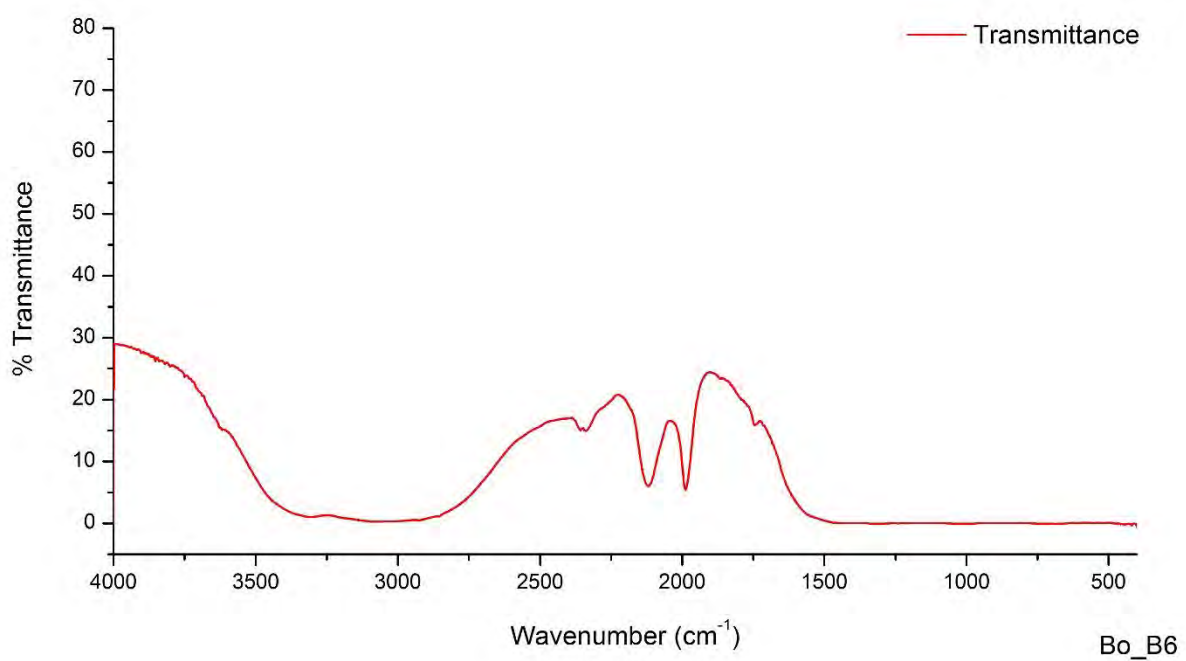
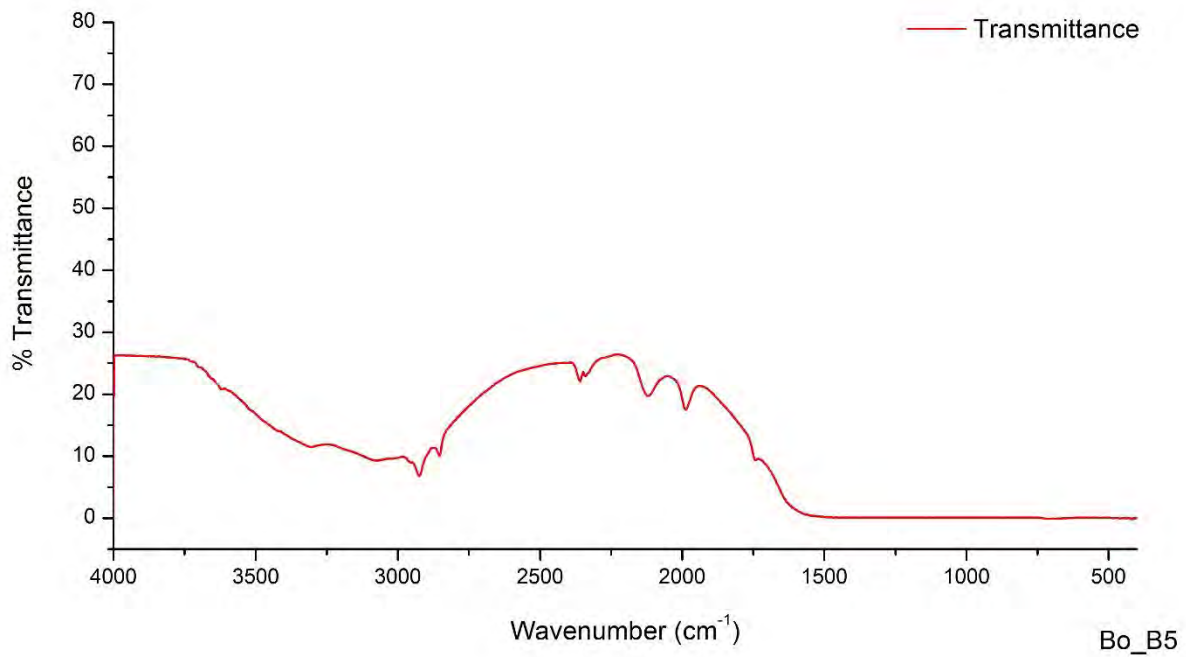
ผลวิเคราะห์การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรด (FTIR)

จากพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า



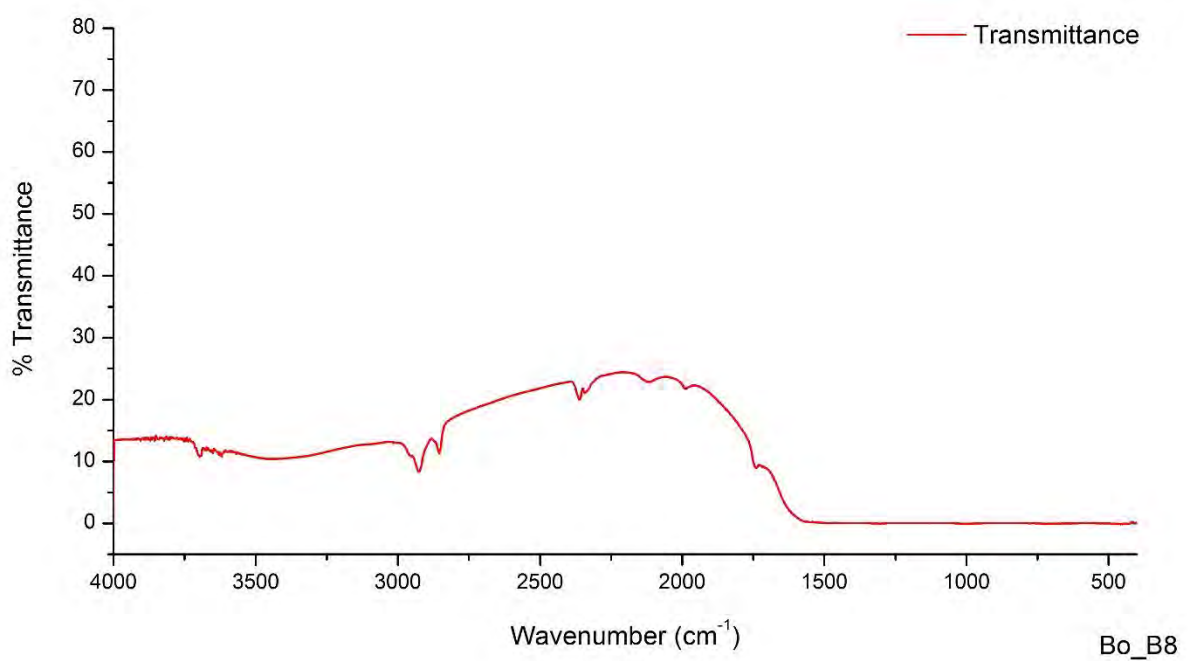
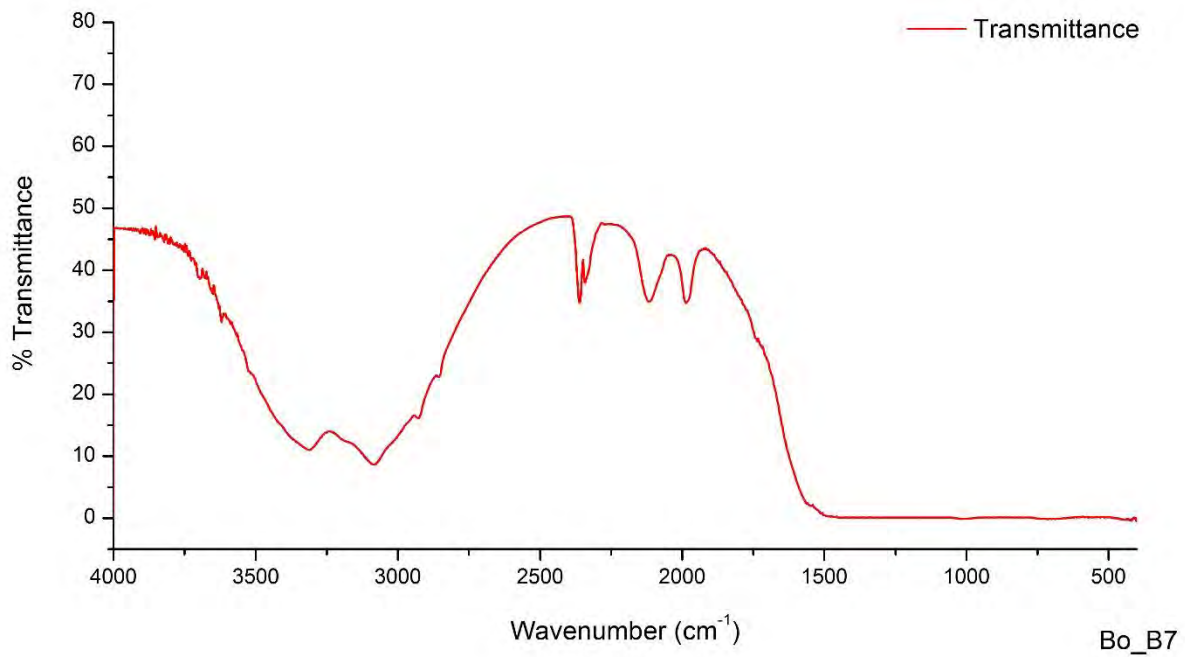
ผลวิเคราะห์การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรด (FTIR)

จากพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า



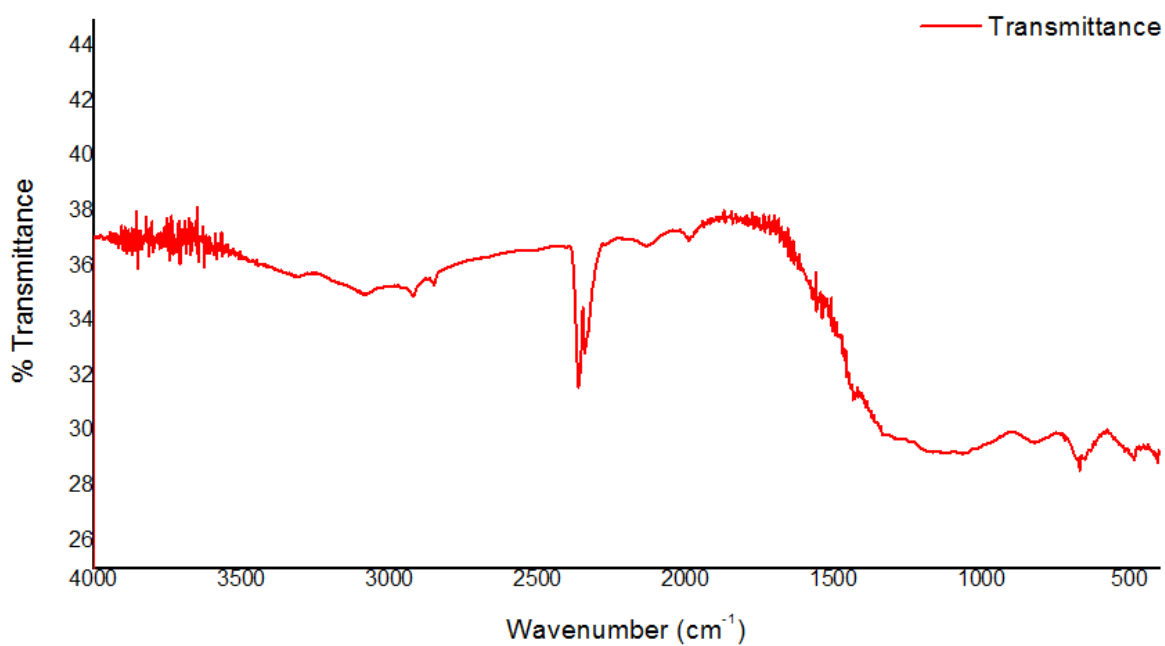
ผลวิเคราะห์การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรด (FTIR)

จากพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

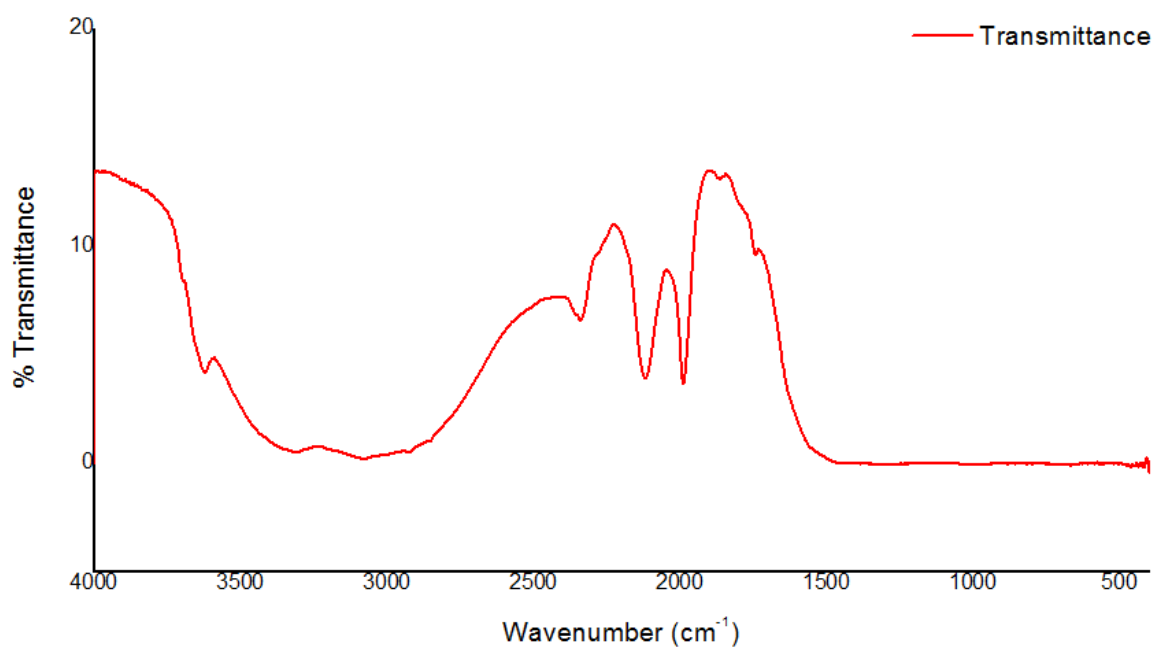


ผลวิเคราะห์การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรด (FTIR)

จากพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า



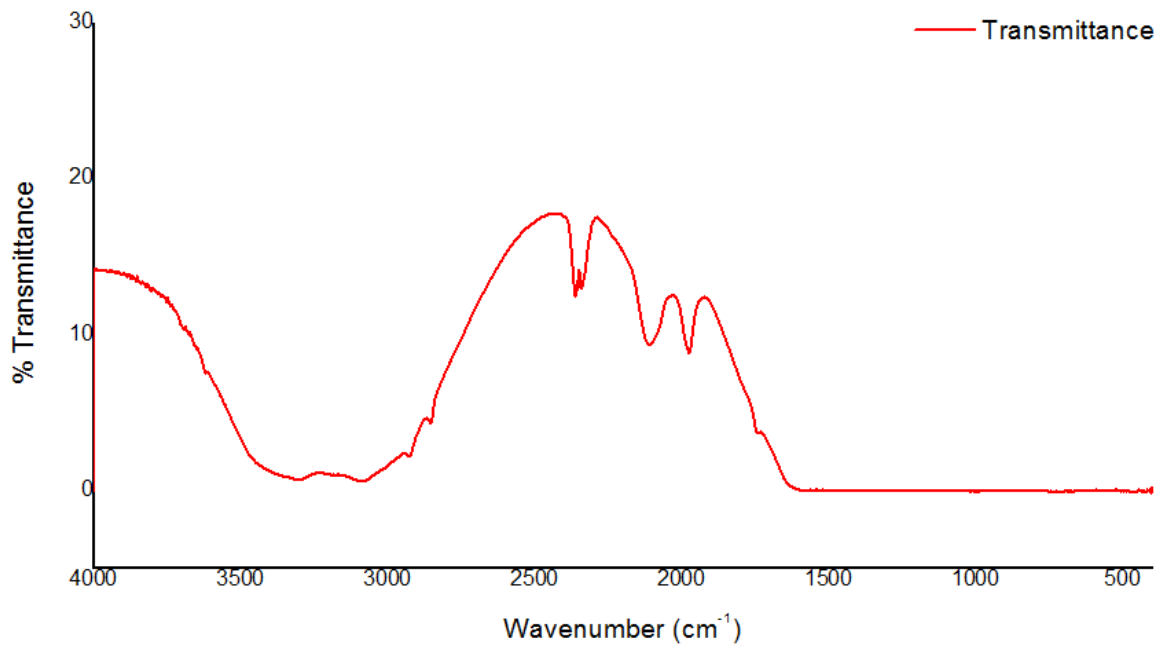
Bo_B9



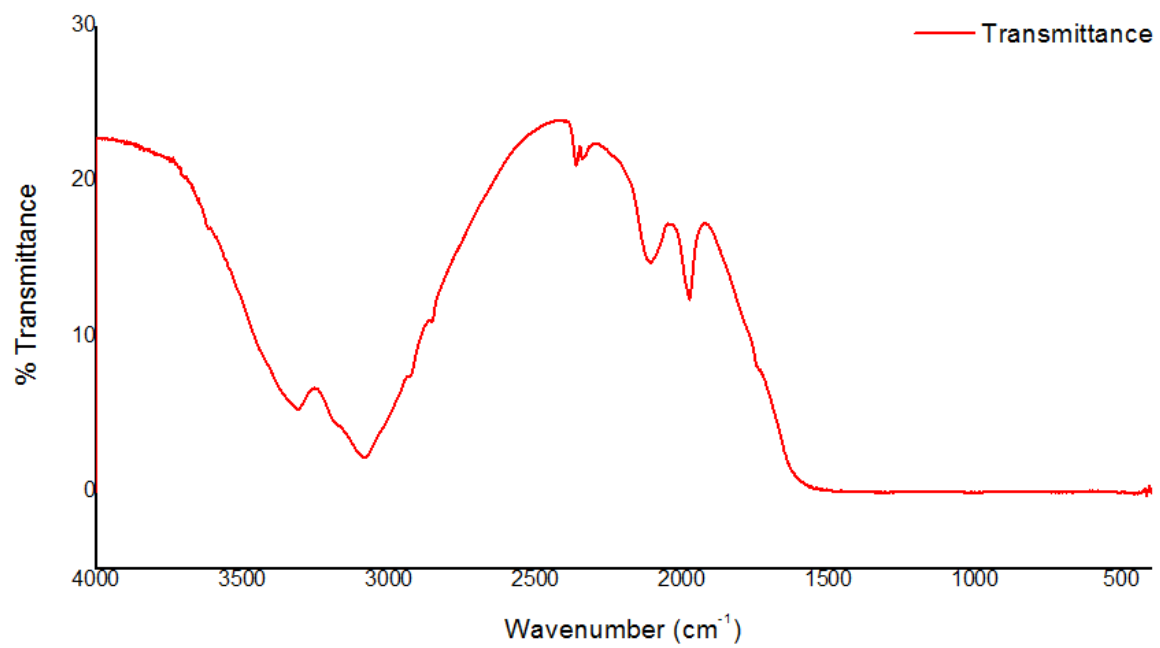
Bo_B10

ผลวิเคราะห์การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรด (FTIR)

จากพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า



Bo_B11



Bo_B12

ผลวิเคราะห์การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรด (FTIR)

จากพลอยแซปไฟร์ จากแหล่งบ่อมา ประเทศพม่า

