

**HEAT TREATMENT OF RUBY FROM MONTEPUEZ,  
MOZAMBIQUE**

**Miss Tamtawan Phantia**

**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE  
REQUIREMENT FOR THE BACHELOR OF SCIENCE, DEPARTMENT  
OF GEOLOGY, CHULALONGKORN UNIVERSITY, 2011**

การปรับปรุงคุณภาพพลอยทับทิม แหล่งมอญเตปวยซ์

ประเทศโมแซมบิก

นางสาว ตามตะวัน พันธุ์เดี่ยว

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พุทธศักราช 2554

วันที่ส่ง ...../...../.....

วันที่อนุมัติ ...../...../.....

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรพันธ์ สุทธิรัตน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

# การปรับปรุงคุณภาพพลอยทับทิม แหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก

ตามตะวัน พันธุ์เตี้ย

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์ 089-6857724 e-mail: Tamtawan.p@gmail.com

## บทคัดย่อ

พลอยทับทิมแหล่งมอญเตปวยซ์ ทางตอนเหนือของประเทศโมแซมบิก จัดเป็นแหล่งพลอยทับทิมแหล่งใหม่ในแอฟริกาตะวันออกเฉียงใต้ แต่ภายในเนื้อพลอยเหล่านี้มักพบรอยแตกค่อนข้างมากจากการศึกษาพลอยทับทิมจำนวน 74 ตัวอย่างจากแหล่งนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ พลอยคุณภาพปานกลาง-สูง มี รอยแตกน้อย-รอยแตกปานกลางได้ถูกนำไปปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมสารประกอบบอแรกซ์ และพลอยกลุ่มคุณภาพต่ำมีรอยแตกในเนื้อพลอยมากถูกนำไปปรับปรุงคุณภาพโดยการเติมแก้วตะกั่ว โดยส่วนใหญ่มีลักษณะพบมลทินเส้นเข็ม มลทินผลึกแร่ แอคทิโนไลต์ แร่แคลไซต์ และแร่ฟลูออไรต์ ตามลำดับ อีกทั้งพบมลทินรอยนิ้วมือ มลทินรูปท่อ และ มลทินสีขาวขุ่น หลังการปรับปรุงคุณภาพพบว่าพลอยกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง มีสมบัติทางกายภาพค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงนัก แต่อาจมีน้ำหนักของพลอยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อีกทั้งพบว่าการดูดกลืนของ AIOOH ในสเปกตรัม FTIR ของบางตัวอย่างหายไปหลังการปรับปรุงคุณภาพ โดยภายในพลอยทับทิมมีการเชื่อมประสานกันของรอยแตกเล็กน้อย แต่กลับมีมลทินตกค้างเพิ่มมากขึ้น พลอยจึงมีความใสขึ้นไม่มากนัก เป็นส่วนน้อยเท่านั้นที่พลอยใสขึ้น พบธาตุองค์ประกอบมี Si เพิ่มขึ้น สำหรับพลอยกลุ่มคุณภาพต่ำ หลังการปรับปรุงคุณภาพ พบสมบัติทางกายภาพค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกัน แต่น้ำหนักของพลอยเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด การดูดกลืนของ AIOOH ในสเปกตรัม FTIR น้อยลงแต่มีการดูดกลืนของแก้วตะกั่วเพิ่มเข้ามา ภายในพลอยพบแก้วตะกั่วเข้าไปอุดตามรอยแตกและมีบางส่วนเคลือบผิว พบลักษณะวาวแสงสีน้ำเงิน และฟองก๊าซในบางตัวอย่าง รอยแตกในเนื้อพลอยมองเห็นได้น้อย พลอยมีความโปร่งใสเพิ่มขึ้น องค์ประกอบธาตุ Pb และ Si มีปริมาณสูงขึ้นชัดเจน โดยพลอยทั้ง 2 กลุ่มมีการเปลี่ยนแปลงทำให้เห็นสีแดงเข้มขึ้น โดยสรุปพลอยทับทิมแหล่งมอญเตปวยซ์จัดว่าสามารถนำไปปรับปรุงคุณภาพได้ทั้ง 2 รูปแบบ ทั้งนี้ขึ้นกับคุณภาพเริ่มต้นของพลอย โดยส่วนมากทับทิมแหล่งมอญเตปวยซ์นี้จะเหมาะกับการปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมแก้วตะกั่วมากกว่า แต่พลอยคุณภาพสูงกว่าอาจจะปรับปรุงโดยบอแรกซ์ได้เช่นกัน

# HEAT TREATMENT OF RUBY FROM MONTEPUEZ, MOZAMBIQUE

Tamtawan Phantia

Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Tel: 0896857724; E-mail: Tamtawan.p@gmail.com

---

## **Abstract:**

Ruby deposits have been recently found in Montepuez, Northern Mozambique, Southeast Africa. Seventy four ruby samples from this deposit were collect and divided, based on their quality and fractures, into 2 groups. The first group is medium-high quality of transparency with some fractures and some inclusions. This group was enhanced thermally with borax glass. The other group is low quality of transparency with many fractures and many inclusions. Heat treatment with lead glass was then applied for this group. Mostly found mineral inclusions are actinolite, calcite and fuchsite. Fingerprint, tube and cloud inclusions are also observed in these rubies. After enhancement, the first group still shows consistency of physical properties with weight increasing, slightly. Their transparencies are slightly improved because some fractures are healed but many residual inclusions are developed. For the low quality rubies, they also show consistent physical properties but their weights were increased extremely. These rubies are changed to better transparency with blue flash and some cloud inclusions are clearly observed. Lead glass-filled fractures are recognized significantly and their surfaces are also partly covered by the lead glass. Absorptions of AlOOH, observed in FTIR spectra, are disappeared after treatment in both groups. Their colors appear to have intensified in red shade. Therefore, heat treatments using borax glass and lead glass can be used to enhance Montepuez rubies; however, their initial qualities should be taken into consideration for both treatments. Heat treatment with lead glass may be more suitable of these stones although some higher quality rubies may also be improved by borax-assisted heat.

**Keywords:** Montepuez, Borax, Heat Treatment, Lead-glass.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์ เป็นอย่างสูง ที่คอยให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือตลอดจนงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ให้ความรู้ และประสบการณ์ในด้านต่างๆ ตลอดจนบุคลากรทุกท่านที่คอยช่วยเหลือ สละเวลาอำนวยความสะดวกตลอดการทำงานวิจัย และขอบคุณเจ้าที่สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้คำแนะนำในเรื่องการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลเป็นอย่างดี

ขอบคุณ คุณ ทศนรา ศรีปุ่นจั่น คุณ นาทยา นิลฮัต และคุณ จรัชญา เอื้อวงศ์สิน ที่ช่วยดูแลตลอดการดำเนินงาน สุดท้ายขอขอบคุณสมาชิกครอบครัวของข้าพเจ้าและเพื่อนๆ ธรณีวิทยา รุ่น 52 ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนตลอดการทำงาน โดยเฉพาะ น.ส. พัชราพรณ์ ศิริวัฒนากกร ที่ช่วยเหลือจนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

# สารบัญ

IV

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VIII

## บทที่ 1 บทนำ

1.1	กล่าวนำ	1
1.2	วัตถุประสงค์	2
1.3	ขอบเขตการศึกษา	3
1.4	ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.5.1	ลักษณะทั่วไปของพลอยทับทิม	3
1.5.2	แหล่งพลอยทับทิมมอญตอนใต้	4
1.5.3	การปรับปรุงคุณภาพพลอย	5
1.5.4	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6

## บทที่ 2 วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1	การศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.2	เตรียมตัวอย่างพลอยและเครื่องมือสำหรับการวิจัย	8
2.3	ศึกษาตัวอย่างพลอยทับทิมก่อนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน	8
2.4	จัดกลุ่มของพลอยทับทิม	8
2.5	ปรับปรุงคุณภาพพลอยทับทิม	9
2.6	ศึกษาตัวอย่างพลอยทับทิมหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน	9

## สารบัญ (ต่อ)

2.7	ผลข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัย วิเคราะห์ แปลความหมาย	9
2.8	สรุปและเสนอผลงานวิจัย	9
2.9	เครื่องมือช่วยในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล	11
<b>บทที่ 3 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล</b>		
3.1	ตัวอย่างพลอยทับทิม	15
3.2	ข้อมูลก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	17
3.2.1	ลักษณะพื้นฐานของพลอยทับทิม	17
3.2.2	ลักษณะการดูดกลืนแสงและมลทิน	18
3.2.3	องค์ประกอบเคมีของพลอยทับทิม	25
3.3	ข้อมูลหลังการปรับปรุงคุณภาพ	28
3.3.1	ลักษณะพื้นฐานของพลอยทับทิม	28
3.3.2	ลักษณะการดูดกลืนแสงและมลทิน	31
3.3.3	องค์ประกอบเคมีของพลอยทับทิม	38
<b>บทที่ 4 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา</b>		
4.1	อภิปรายผล	40
4.2	สรุปผลการศึกษา	41
เอกสารอ้างอิง		43
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก	ข้อมูลก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	45
ภาคผนวก ข	ข้อมูลหลังการปรับปรุงคุณภาพ	102



## สารบัญตาราง

VI

ตารางที่ 3-1	สรุปลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของ ตัวอย่างพลอยทับทิม แหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)	17
ตารางที่ 3-2	สรุปลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของ ตัวอย่างพลอยทับทิม แหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก กลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)	18
ตารางที่ 3-3	แสดงข้อมูลลักษณะมลทินและปริมาณที่พบ เปรียบเทียบระหว่าง พลอยกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง กับ พลอยกลุ่มคุณภาพต่ำ	21
ตารางที่ 3-4	แสดงค่าสถิติของผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิม จากประเทศโมแซมบิก กลุ่มพลอยคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T )	25
ตารางที่ 3-5	แสดงค่าสถิติของผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิม จากประเทศโมแซมบิก กลุ่มพลอยคุณภาพปานต่ำ (กลุ่ม S )	26
ตารางที่ 3-6	แสดงค่าจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิม ในบางตัวอย่าง โดยเครื่อง EPMA แสดงในบางส่วน	27
ตารางที่ 3-7	สรุปลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของ ตัวอย่างพลอยทับทิม เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)	30
ตารางที่ 3-8	สรุปลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของ ตัวอย่างพลอยทับทิม เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ กลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)	30
ตารางที่ 3-9	แสดงค่าสถิติของผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิม เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ ตัวอย่างพลอยกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)	39

## สารบัญตาราง(ต่อ)

VII

ตารางที่ 3-10	แสดงค่าสถิติของผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิม เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ ตัวอย่างพลอยกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)	39
---------------	---	----

## สารบัญรูปภาพ

VIII

รูปที่ 1.1	แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่สะสมตัวของพลอยทับทิมทางตอนเหนือของประเทศโมแซมบิกและตอนใต้ประเทศแทนซาเนีย (จาก Hughes, 2009 อ้างอิงใน GIT-GTL 2010)	2
รูปที่ 1.2	แผนที่ประเทศโมแซมบิกแสดงเมืองต่างๆและแม่น้ำสายหลัก (Department of Peacekeeping Operations Cartographic Section, June 2004) เมืองมอนเตปวยร์แสดงในกรอบสีแดง	4
รูปที่ 2.1	ภาพแสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน	10
รูปที่ 2.2	ภาพเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาลักษณะพื้นฐาน	11
รูปที่ 2.3	ภาพเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาลักษณะภายในและองค์ประกอบเคมี ของสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)	13
รูปที่ 2.4	ภาพเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาองค์ประกอบเคมี	14
รูปที่ 3.1	พลอยทับทิมคุณภาพปานกลาง –สูง (กลุ่ม T) ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	16
รูปที่ 3.2	พลอยทับทิมคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S) ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ	16
รูปที่ 3.3	FTIR Spectrum ของตัวอย่างทับทิมจากประเทศโมแซมบิก กลุ่ม T (ตัวอย่าง T2-6)	18
รูปที่ 3.4	FTIR Spectrum ของตัวอย่างทับทิมจากประเทศโมแซมบิก กลุ่ม S (ตัวอย่าง S4-3)	19
รูปที่ 3.5	การดูดกลืนช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิมจากประเทศโมแซมบิก กลุ่ม T (ตัวอย่าง T4-12)	20
รูปที่ 3.6	การดูดกลืนช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิมจากประเทศโมแซมบิก กลุ่ม S (ตัวอย่าง S2-1)	20
รูปที่ 3.7	ภาพลักษณะภายในของพลอยทับทิม แสดงรอยแตก (บนซ้าย) มลทินเส้นเข็ม (บนกลาง) มลทินรูปผลึก (บนขวา) มลทินรอยนิ้วมือ (ล่างซ้าย) มลทินรูปท่อ (ล่างกลาง) และมลทินสีขาวขุ่น (ล่างขวา)	22

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

IX

รูปที่ 3.8 ภาพตัวอย่างแสดงลักษณะภายในของพลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)	22
รูปที่ 3.9 ภาพตัวอย่างแสดงลักษณะภายในของพลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)	23
รูปที่ 3.10 Raman spectrum ของผลึกแร่แอกทิโนไลต์ (Actinolite) ในตัวอย่างพลอยทับทิม T2-3	23
รูปที่ 3.11 Raman spectrum ของผลึกแร่แคลไซต์ (Calcite) ในตัวอย่างพลอยทับทิม T6-3	24
รูปที่ 3.12 Raman spectrum ของผลึกแร่ฟุกไซต์ (Fuchsite) ในตัวอย่างพลอยทับทิม S1-2	24
รูปที่ 3.13 Raman spectrum ของแร่ฟุกไซต์ (Fuchsite) ในหินต้นกำเนิดพลอยทับทิม แหล่ง มอนเตปายซ์ ประเทศโมแซมบิก	24
รูปที่ 3.14 พลอยทับทิมคุณภาพปานกลาง – สูง (กลุ่ม T) เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ	28
รูปที่ 3.15 พลอยทับทิมคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S) เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ	29
รูปที่ 3.16 พลอยทับทิมหลังการเจียรระไน ตัวอย่างพลอยทับทิม T1-10 และ T1-11 ตามลำดับ	29
รูปที่ 3.17 FTIR Spectrum เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพกลุ่ม T (ตัวอย่าง T2-6)	32
รูปที่ 3.18 FTIR Spectrum เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพกลุ่ม S (ตัวอย่าง S4-3)	33
รูปที่ 3.19 การดูดกลืนช่วง UV-VIS-NIR เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ กลุ่ม T (ตัวอย่าง T4-12)	34
รูปที่ 3.20 การดูดกลืนช่วง UV-VIS-NIR เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ กลุ่ม S (ตัวอย่าง S2-1)	34
รูปที่ 3.21 ภาพเปรียบเทียบก่อนและหลังการเผาของพลอยกลุ่ม T	36

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

X

รูปที่ 3.22 ภาพแสดงลักษณะภายในของพลอยทับทิมกลุ่ม T หลังการปรับปรุงคุณภาพ	36
รูปที่ 3.23 ภาพเปรียบเทียบก่อนและหลังการเผาของพลอยกลุ่ม S	37
รูปที่ 3.24 ภาพแสดงลักษณะวาบแสงสีน้ำเงิน และ ความวาวที่แตกต่างกันที่ผิว พลอยทับทิมกลุ่ม S	38

# บทที่ 1

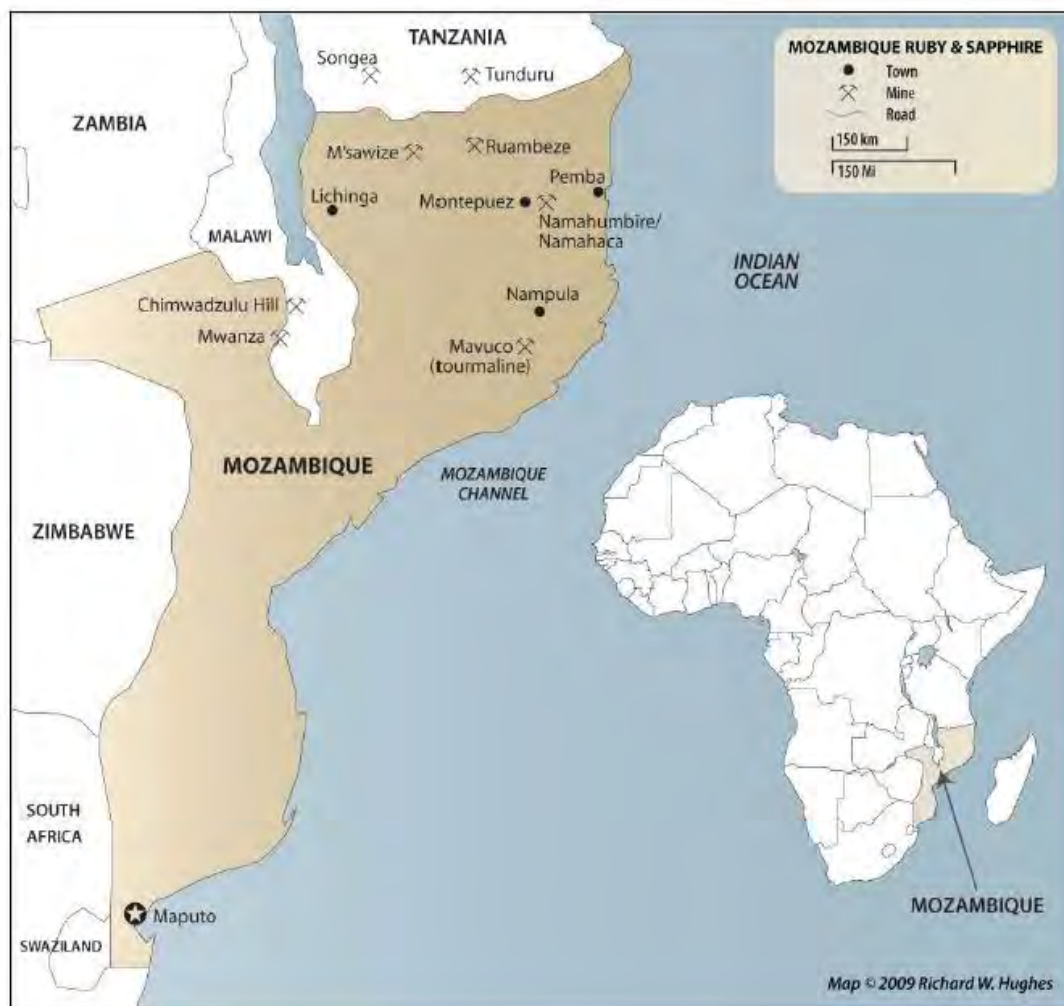
## บทนำ

### 1.1 กล่าวนำ

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่มีชื่อเสียงในด้านการปรับปรุงคุณภาพอัญมณี เพื่อเพิ่มมูลค่าเป็นเวลานาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับปรุงคุณภาพพลอยทับทิม (ruby) พลอยไพลิน (blue sapphire) และอื่นๆ ด้วยความร้อน ในปัจจุบันแหล่งอัญมณีในประเทศไทยมีปริมาณลดลง และหายากมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการหาแหล่งอัญมณีแหล่งใหม่จึงมีความสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจการค้าอัญมณีของประเทศ ซึ่งการเพิ่มมูลค่าพลอยด้วยความร้อนนี้เป็นส่วนหนึ่งในการช่วยพิจารณา ความเป็นไปได้ในการลงทุนในแหล่งพลอยแหล่งใหม่

มอนเตปวยร์เป็นชื่อเมืองหนึ่งในจังหวัด Cabo Delgado บริเวณตอนเหนือทางด้านตะวันออกของประเทศโมซัมบิก เป็นบริเวณพื้นที่ที่ติดกับชายแดนด้านใต้ของประเทศแทนซาเนีย (รูปที่ 1.1 และ 1.2) จัดเป็นแหล่งพลอยทับทิมแหล่งใหม่ในแอฟริกาตะวันออกเฉียงใต้ โดยพลอยจากแหล่งนี้จะถูกส่งเข้ามาในตลาดค้าพลอยของไทยประมาณ 2-3 ปีมาแล้ว จากลักษณะโดยทั่วไปของพลอยแหล่งนี้คาดว่าน่าจะมีคุณสมบัติสัมพันธ์กับแนวหินแปรชั้นสูง ซึ่งเป็นส่วนของแนวการแปรสภาพโมซัมบิก (Mozambique belt) ต่อเนื่องจากทางด้านตะวันตกและใต้ของประเทศแทนซาเนีย พลอยแหล่งนี้จึงเป็นที่น่าสนใจในการนำมาศึกษาปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน เพื่อดูศักยภาพในการเพิ่มมูลค่า ช่วยในการประเมินการลงทุนในแหล่งพลอยนี้พร้อมกับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของพลอยตลอดช่วงการทดลองปรับปรุงคุณภาพสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การเผาแบบต่างๆในห้องปฏิบัติการทดสอบอัญมณีต่อไป

สำหรับกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของทับทิม พบว่าพลอยทับทิมแต่ละแหล่งมีการใช้วิธีในการปรับปรุงคุณภาพที่แตกต่างกัน ในบางครั้งพลอยทับทิมจากแหล่งเดียวกันอาจปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและลักษณะของทับทิม (Themelis, 1992) เนื่องจากลักษณะของตัวอย่างพลอยทับทิมจากแหล่งดังกล่าวมีรอยแตกในบริเวณผิวและเนื้อในของพลอยมาก (Pardieu et al., 2009) การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาลักษณะของพลอยจากการปรับปรุงคุณภาพโดยการเติมสารเคมีเพื่อเพิ่มคุณภาพ และเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้ โดยแบ่งการเผาเป็น 2 รูปแบบ คือ การเผาพลอยโดยเติมแก้วตะกั่ว (Lead-Glass heating) และการเผาพลอยโดยการเติมสารประกอบบอแรกซ์ (Borax heating)



รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่สะสมตัวของพลอยทับทิมทางตอนเหนือของประเทศโมแซมบิกและตอนใต้ประเทศแทนซาเนีย (จาก Hughes, 2009 อ้างอิงใน GIT-GTL 2010)

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของตัวอย่างพลอยทับทิมที่เหมาะสมต่อการเพิ่มคุณภาพด้วยความร้อนประเภทต่างๆ
2. เพื่อศึกษาลักษณะของพลอยทับทิมก่อนและหลังการเผา ทั้งลักษณะพื้นฐาน และลักษณะภายในของพลอย

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

การวิจัยนี้เน้นศึกษาคุณภาพ ลักษณะพื้นฐาน และลักษณะภายในของพลอยทับทิมจากการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนด้วยการเติมแก้วตะกั่วและแก้วบอแรกซ์

### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยความร้อน ของแหล่งพลอยทับทิม มอนเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก
2. ทราบศักยภาพของพลอยหลังจากการผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน

### 1.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1.5.1 ลักษณะทั่วไปของพลอยทับทิม

“ ทับทิม ” พลอยสีแดงในแร่ตระกูลคอรัันดัม (Corundum) มีความแข็งรองจากเพชร ซึ่งเคยได้รับการขนานนามว่าเป็นสุดยอดแห่งอัญมณี ทับทิมที่ไร้ตำหนิและสีล้วนสวยงามมีราคาสูง ทับทิมที่ได้จากธรรมชาติส่วนมากเนื้อจะขุ่น มีตำหนิมาก ฉะนั้นทับทิมที่พบเห็นในท้องตลาดทั่วไปจะผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเกือบทั้งสิ้น

พลอยทับทิมจัดอยู่ในตระกูลคอรัันดัม (Corundum) เช่นเดียวกับพลอยไพลิน มีส่วนประกอบทางเคมีเป็นอะลูมิเนียมออกไซด์ ( $Al_2O_3$ ) มีโครงสร้างผลึกอยู่ในระบบฐานสามเหลี่ยม (Trigonal system) ดังนั้นคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางแสง ของทับทิมจึงเหมือนกันกับไพลิน คือ ความแข็ง 9 ตามโมห์สเกล ค่าดัชนีหักเหแสง 1.76-1.77 และค่าความถ่วงจำเพาะ 4.0 แต่แตกต่างกันตรงที่ ทับทิมใช้เรียกพลอยในตระกูลคอรัันดัมที่มีสีแดงเท่านั้น ส่วนพลอยในตระกูลคอรัันดัมสีอื่นจัดอยู่ในกลุ่มของไพลินทั้งหมด

สีแดงของทับทิมมาจากธาตุโครเมียม (Cr) ที่แทรกเข้ามาได้ถึงร้อยละ 1 ของปริมาณธาตุทั้งหมด ซึ่งปริมาณธาตุโครเมียมจะเป็นตัวทำให้ทับทิมมีสีแดงมากน้อยแตกต่างกัน



### 1.5.2 แหล่งพลอยทับทิมมอนเตปวยซ์



รูปที่ 1.2 แผนที่ประเทศโมซัมบิกแสดงเมืองต่างๆและแม่น้ำสายหลัก (Department of Peacekeeping Operations Cartographic Section, June 2004) เมืองมอนเตปวยซ์แสดงในกรอบสีแดง

มอนเตปวยซ์เป็นชื่อเมืองในจังหวัด Cabo Delgado เป็นแหล่งพลอยทับทิมแหล่งใหม่ของแอฟริกาตะวันออกเฉียงใต้ สำหรับพลอยทับทิมแหล่งนี้ (รูปที่ 1.2) ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 100 ตารางกิโลเมตร (Pardieu et al., 2009) เนื่องจากเป็นแหล่งพลอยทับทิมแหล่งใหม่จึงมีผู้ที่ย้ายเข้ามาทำการค้าทั้งจากประเทศแทนซาเนียและประเทศอื่นๆเป็นจำนวนมาก โดยทำการค้าในตลาดค้าพลอย Nanhupo ในเมืองมอนเตปวยซ์ สำหรับตลาดค้าพลอย Nanhupo รับพลอยทับทิมเพื่อทำการค้าจากสองแหล่งพลอยทับทิมหลักคือ แหล่ง Lichinga จังหวัด Niassa และแหล่งมอนเตปวยซ์ จังหวัด Cabo Delgado สำหรับพลอยแหล่ง Lichinga

ทำการเปิดเหมืองในปี 2008 และมีการส่งพลอยทับทิมข้ามไปยังเมือง Songea ตอนใต้ของ ประเทศเทศาเนีย หลังจากนั้นในปี 2009 ได้มีการย้ายมาทำเหมืองทางตะวันออกของเมือง มอนเตปวยซ์ พลอยทับทิมจากแหล่งใหม่นี้เริ่มมีชื่อเสียงมากขึ้นและพลอยทับทิมคุณภาพดีได้ ถูกส่งเข้ามาทำการค้าในประเทศไทย พลอยที่มีรอยแตกเล็กน้อยก็จะถูกนำมาปรับปรุงคุณภาพ ก่อนทำการเจียรระไน (GIT-GTL, 2010)

### 1.5.3 การปรับปรุงคุณภาพพลอย

สำหรับการปรับปรุงคุณภาพพลอยทับทิมจากแหล่งศึกษาจะเน้นไปที่การปรับปรุง คุณภาพเรื่องของรอยแตกในเนื้อพลอยเนื่องจากพลอยทับทิมธรรมชาติมักมีเนื้อขุ่น มีรอยแตก ค่อนข้างมากจึงเน้นการปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมสารเคมีลงไปในพลอย

**การปรับปรุงคุณภาพพลอยโดยการเติมสารประกอบแก้วบอแรกซ์ (Borax treatment)**

การปรับปรุงคุณภาพพลอยโดยการเติมสารประกอบแก้วบอแรกซ์ เป็นหนึ่งในการ ปรับปรุงคุณภาพ โดยการเติมสารหลอมละลาย (Flux Treatment) เป็นการเผาพลอยโดยการ เติมสารจำพวกบอแรกซ์ (sodium tetra borate) ผสมแก้วในการปรับปรุงคุณภาพ เพื่อที่สารนี้ จะไปช่วยในการประสานรอยร้าวของพลอย โดยสารนี้จะช่วยลดอุณหภูมิในการเกิดการหลอม ติดกันของเนื้อพลอย ด้วยความหนืดของสารนี้ทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาสูง มากกว่า 1400 องศาเซลเซียส เพื่อให้สารแทรกซึมไปตามรอยแตกของพลอยได้ เรียกการเผาในรูปแบบนี้ว่า “การเผาเก่า”

**การปรับปรุงคุณภาพพลอยโดยการเติมแก้วตะกั่ว (Lead-Glass Filling treatment)**

การเผาพลอยโดยเติมแก้วตะกั่ว เป็นการเผาพลอยโดยการเติมสารจำพวก Lead acetate หรือสารจำพวกแก้วตะกั่วลงไปในการปรับปรุงคุณภาพ สารนี้มีความหนืดน้อยทำให้ สามารถที่จะแทรกเข้าไปตามรอยแตกของเนื้อพลอยได้ดี อุณหภูมิที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ ต่ำ ประมาณ 1000-1200 องศาเซลเซียส โดยสารนี้จะเข้าไปอุดรอยแตกของพลอย ด้วยดัชนีหัก แสงของสารที่มีมากกว่าพลอย ทำให้บดบังรอยแตกในเนื้อพลอย พลอยดูมีความใสมาก ยิ่งขึ้น เรียกกันว่า “การเผาใหม่”

### 1.5.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Pardieu et al. (2009) ศึกษาเปรียบเทียบพลอยทับทิมจากแหล่ง Lichinga และ Montapuez พบว่าพลอยทับทิมจากแหล่ง Lichinga 10% ที่มีคุณภาพดีไม่จำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพ อาจจะเป็นเฉพาะที่พบเพียงชั้นดินบน ตอนเริ่มการทำเหมือง อีก 85% ต้องได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยแก้วตะกั่ว และ 5% ใช้สารบอแรกซ์ในการปรับปรุงคุณภาพ อีกทั้งยังมีรูปร่างของพลอยที่ดีกว่าไม่แบนราบ ส่วนพลอยทับทิมจากแหล่ง Montapuez มีสีแดงเข้มมากกว่า แต่มักมีรูปร่างแบนราบเรียบและมีมลทินภายในที่เป็น มลทินขาวขุ่น และมลทินเส้น เข้มมากกว่าแหล่ง Lichinga พบว่าพลอยทับทิมแหล่ง Montepuez น้อยกว่า 5% ที่ไม่จำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพ ในขณะที่อีก 70% เป็นพลอยสีสวยแต่มีรอยแยกรอยแตกมาก จึงเหมาะกับการปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมแก้วตะกั่ว และ 25% เป็นพลอยที่มีมลทินขาวขุ่น สามารถปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมสารบอแรกซ์ ปัญหาหลักที่พบจากการเพิ่มคุณภาพโดยการเติมสารบอแรกซ์คือทำให้เกิดมลทินในพลอยมากขึ้น และทำให้เคมีของพลอยแตกต่างกัน จึงทำให้มีปัจจัยในการปรับปรุงคุณภาพแตกต่างกัน พลอยที่ผ่านการปรับปรุงจึงมีระดับความใสไม่มากนัก

สุทธาทิพย์ ศิริไพศาลพิพัฒน์ และคณะ (2543) ศึกษาลักษณะของทับทิมมอญประเทศพม่า จากการเผาด้วยเตาไฟฟ้าแบบไม่เติมสารเคมีใดๆ ภายใต้สภาพบรรยากาศแบบออกซิเดชัน ในช่วงอุณหภูมิต่ำ ประมาณ 900-1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมงแถบสีน้ำเงินของพลอยจางลงเล็กน้อย ในช่วงอุณหภูมิที่สูงขึ้นประมาณ 1300-1600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง แถบสีน้ำเงินจางลงมาก เห็นหย่อมสีส้มบริเวณต่างๆชัดเจนขึ้น เกิดของแข็งสีขาวตามรอยแตกและที่ผิว ซึ่งทำให้ทับทิมมีความใสลดลง และจากการตรวจสอบผิวที่เป็นสารสีขาวด้วย SEM พบว่าประกอบด้วย Al, Si และ Mg เล็กน้อย จากการศึกษาลักษณะทางแสงสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางสเปกโตรสโคปีต่างๆก่อนและหลังการเผา การเผาทับทิมมอญในสภาพบรรยากาศออกซิเดชัน ทำให้เกิดสารสีขาวเสมอ ดังนั้นการเผาในสภาพดังกล่าวโดยไม่ใส่สารเคมีใดๆไม่เหมาะสมกับทับทิมมอญ

บุญนิจัน ปาตัน (2548) ศึกษาลักษณะเฉพาะของพลอยทับทิม จากการปรับปรุงคุณภาพโดยการเติมแก้วผสมตะกั่ว ผลการวิเคราะห์พบว่าเป็น lead acetate hydrate และทำการตรวจสอบตัวอย่างพลอยที่ได้รับการเติมแก้วผสมตะกั่วด้วยเครื่อง SEM พบว่ามีสารคล้ายแก้วหรือน้ำเชื่อมเคลือบบริเวณผิว โดยสารคล้ายแก้วนี้บางส่วนมีการตกผลึกเป็นแท่งๆ แพร่รัศมีบนผิวของพลอยบางกลุ่ม พบมีลักษณะวาวแสงสีน้ำเงิน-ส้มและประกายเงินในบริเวณรอยแตกที่ถูกอุดด้วยแก้วผสมตะกั่ว จากการตรวจสอบโดย EDS พบว่าสารคล้ายแก้วเป็นสารประกอบของตะกั่วซิลิกา ซึ่งจะมีลักษณะเข้มกว่าเนื้อพลอย และในตัวอย่างที่ได้รับการเผาแล้วเติมธาตุเบริลเลียมก่อนการเติมแก้วผสมตะกั่ว จากการตรวจสอบโดยเครื่อง LIBS พบว่าบริเวณผิวขรุขระด้านนอกของพลอยที่เคลือบด้วยสารคล้ายแก้วมีธาตุตะกั่วสูง แต่มีเบริลเลียมต่ำ ส่วนบริเวณผิวเรียบในเนื้อพลอย มีค่าตะกั่วต่ำ แต่ปริมาณเบริลเลียมสูง จึงสรุปว่ามีการนำพลอยที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมเบริลเลียมไปเติมแก้วผสมตะกั่วอุดในรอยแตกจริง

ภัทรา ศรีทุนะโยธิน (2551) ตรวจสอบพลอยแซปไฟร์สีดำนอกจากการปรับปรุงคุณภาพโดยการเติมแก้วตะกั่ว ได้นำตัวอย่างไปตรวจสอบด้วยภาพเอกซเรย์ (X-Radiography) จากภาพ positive พบพื้นที่สีเข้มตามแนวรอยแตกแตกต่างจากความเข้มของเนื้อพลอยอย่างชัดเจน ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะที่พบได้ในพลอยทับทิมที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแก้วตะกั่ว อันเป็นผลจากคุณสมบัติของธาตุตะกั่วที่ไม่ยอมให้ลำแสงเอกซเรย์ส่องผ่าน ยืนยันผลการตรวจสอบโดยการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของสารที่อุดในรอยแตกด้วยเครื่อง EDXRF พบว่ามีปริมาณธาตุตะกั่ว เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยในสารที่อุดในรอยแตกของพลอยอย่างชัดเจน

## บทที่ 2

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานตลอดการศึกษาวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 2.1 โดยมีรายละเอียดต่างๆดังนี้

#### 2.1 การศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องรวมถึงงานวิจัยเก่าๆที่ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพในรูปแบบต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาเลือกใช้รูปแบบของการปรับปรุงคุณภาพพลอยแหล่งมอเนตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิค ข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ประกอบกับการจัดจำแนกกลุ่มพลอยที่คาดว่าจะเหมาะสมกับการปรับปรุงคุณภาพในรูปแบบนั้นๆ เพื่อเป็นประโยชน์ในการประเมินศักยภาพของพลอยแหล่งมอเนตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิคได้เหมาะสมมากที่สุด

1. ศึกษารายงานและการวิจัยที่เคยมีผู้ศึกษามาแล้ว และข้อมูลจากผู้มีประสบการณ์
2. รวบรวมข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่จะทำการศึกษา

#### 2.2 เตรียมตัวอย่างพลอยและเครื่องมือสำหรับการวิจัย

ตัวอย่างของพลอยทับทิมที่นำมาวิเคราะห์เป็นตัวอย่างของพลอยทับทิมแหล่งใหม่ในแอฟริกาตะวันออกเฉียงใต้ ชื่อแหล่งมอเนตปวยซ์ ซึ่งเป็นพลอยในโครงการของสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) จำนวนตัวอย่างพลอยทับทิมที่นำมาศึกษามีจำนวน 74 ตัวอย่างโดยเป็นพลอยที่ไม่ผ่านการเจียรไนทั้งสิ้น

#### 2.3 ศึกษาตัวอย่างพลอยทับทิมก่อนการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน

1. ศึกษาลักษณะพื้นฐานของพลอยทับทิมด้วยเครื่องมือ Specific gravity balance, Refractometer และ UV Lamp
2. ศึกษาลักษณะภายในของพลอยทับทิมด้วย Gemological microscope, UV-VIS-NIR, FTIR และ Laser Raman Spectroscopy
3. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิมโดยใช้เครื่อง EDXRF และ EPMA

#### 2.4 จัดกลุ่มของพลอยทับทิม

จัดจำแนกพลอยทับทิมจากข้อมูลพื้นฐานและจัดจำแนกสีของพลอยทับทิมตาม Standard Color Code ของ GIA โดยจัดจำแนกพลอยออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม T และกลุ่ม S

## 2.5 ปรับปรุงคุณภาพพลอยทับทิม

นำพลอยที่ได้จากการจัดจำแนกทั้ง 2 กลุ่มไปปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนดำเนินการโดยผู้ประกอบการในจังหวัดจันทบุรี โดยทำการปรับปรุงคุณภาพพลอยทับทิม 2 รูปแบบ คือ

1. ปรับปรุงคุณภาพแบบที่ 1 เติมสารประกอบบอแรกซ์
2. ปรับปรุงคุณภาพแบบที่ 2 เติมแก้วตะกั่ว

## 2.6 ศึกษาตัวอย่างพลอยทับทิมหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน

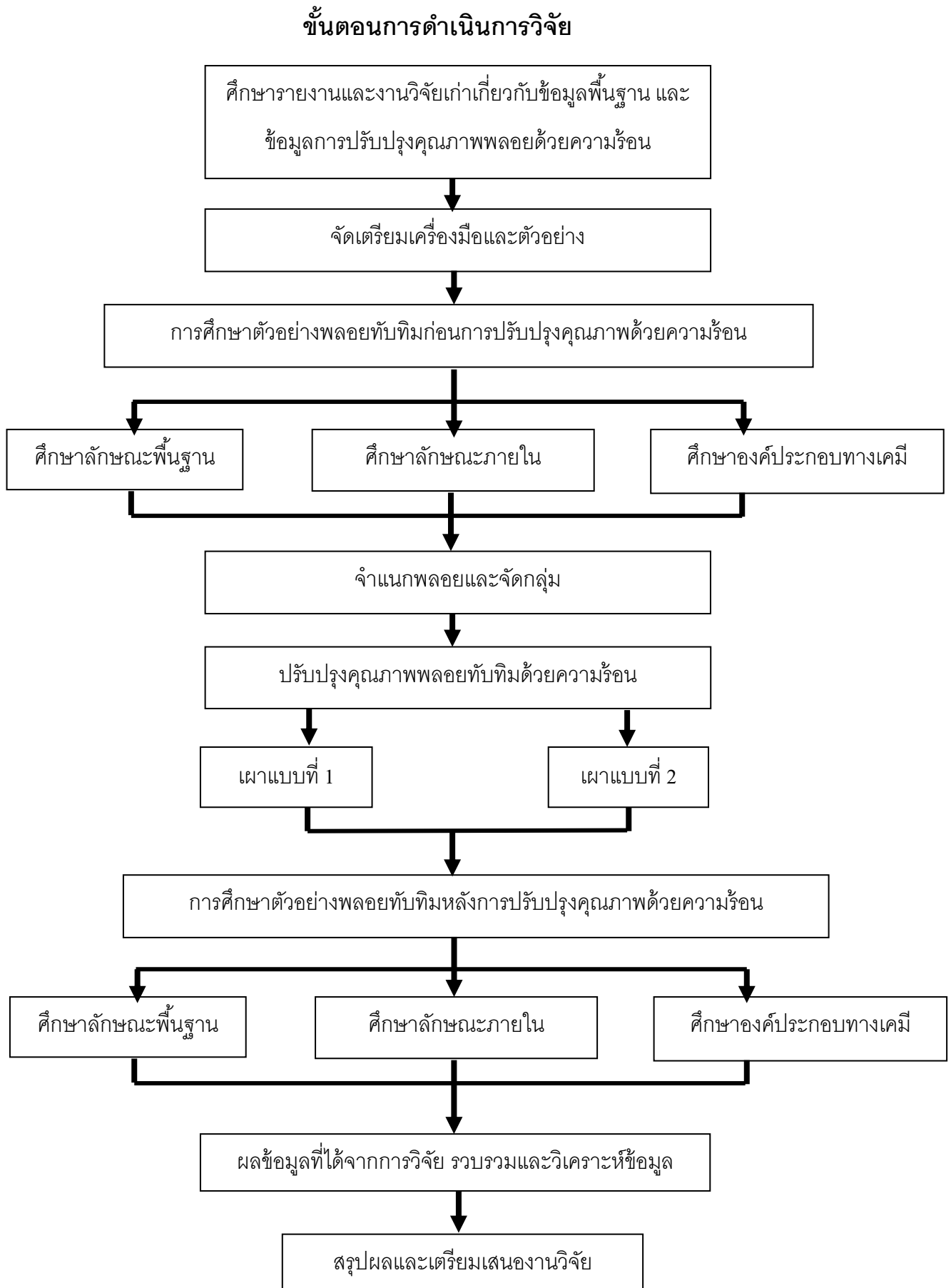
1. ศึกษาลักษณะพื้นฐานของพลอยทับทิมด้วยเครื่องมือ Specific gravity balance และ Refractometer
2. ศึกษาลักษณะภายในของพลอยทับทิมด้วย Gemological microscope, UV-VIS-NIR และ FTIR และ Laser Raman Spectroscopy
3. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิมโดยใช้เครื่อง EDXRF และ EPMA

## 2.7 ผลข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัย วิเคราะห์ แปลความหมาย

นำข้อมูลจากการศึกษามาประมวลผลการวิจัย มาทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังการปรับปรุงคุณภาพโดยเน้นไปที่ลักษณะพื้นฐานและลักษณะภายในของพลอยทับทิม รวมถึงประเมินศักยภาพในการปรับปรุงคุณภาพของพลอยแหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมซัมบิก

## 2.8 สรุปและเสนอผลงานวิจัย

1. สรุปคุณภาพของสี ลักษณะพื้นฐานและลักษณะภายในของพลอยทับทิม
2. เปรียบนำเสนอผลงาน
3. ส่งผลงานการวิจัย จัดทำเป็นรูปเล่ม และส่งตามกำหนดเวลาที่วางไว้



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

## 2.9 เครื่องมือช่วยในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล (Aids to Data Collection and Analysis)

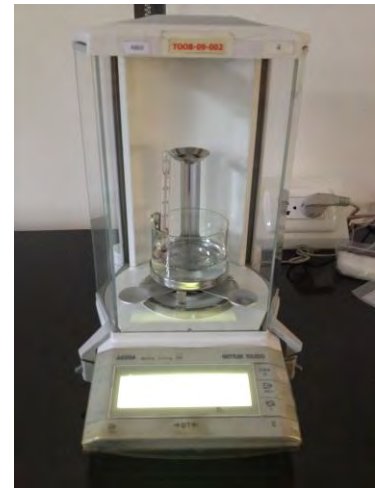
ศึกษาลักษณะพื้นฐาน (ดูรูปที่ 2.2) ประกอบด้วย

1. Standard Color Code ของ GIA เพื่อให้เป็นมาตรฐานของสีในการจำแนกและจัดกลุ่มของพลอยทับทิม ก่อนทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพพลอยทับทิมด้วยความร้อน
2. Specific gravity balance เครื่องมือชั่งน้ำหนักอัญมณีและหาค่าความถ่วงจำเพาะ
3. Refractometer เครื่องมือวัดค่าดรรชนีหักเหของแสง
4. UV Lamp หลอดรังสีเหนือม่วงคลื่นสั้นและคลื่นยาว



ชุดมาตรฐานสี

Standard Color Code ของ GIA



เครื่องชั่งน้ำหนักและหาค่าความถ่วงจำเพาะ

Specific gravity balance



หลอดรังสีเหนือม่วงคลื่นสั้นและคลื่นยาว

UV Lamp



เครื่องมือวัดค่าดรรชนีหักเหของแสง

Refractometer

รูปที่ 2.2 ภาพเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาลักษณะพื้นฐาน



### ศึกษาลักษณะภายใน ประกอบด้วย

1. Gemological microscope กล้องจุลทรรศน์อัญมณี เพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวและลักษณะภายในอัญมณี (รูปที่ 2.3)
2. UV-VIS-NIR เพื่อศึกษารูปแบบการดูดกลืนด้วยแสง วิเคราะห์ปริมาณและชนิดของสารตัวอย่าง โดยอาศัยความแตกต่างของการดูดซับแสงในแต่ละสาร ในช่วงความยาวคลื่นช่วง Ultraviolet (UV), Visible (VIS) และ near infrared (NIR) เพื่อให้ทราบสาเหตุที่ทำให้เกิดสีในอัญมณี โดยใช้เครื่องมือรุ่น U-4001 (รูปที่ 2.3)
3. FTIR (Fourier Transform Infrared) เป็นการวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorption) หรือการให้แสงผ่าน (transmission) หรือ ค่าการสะท้อนแสง (reflectance) เนื่องจากการสั่นของอะตอมในโมเลกุลของพลอยเมื่อได้รับแสงอินฟราเรด เช่น bending หรือ stretching เป็นต้น เพื่อใช้ตรวจสอบชนิดของอัญมณี ดูรูปแบบการดูดกลืนหรือการผ่านคลื่นแสงอินฟราเรด บอกความเป็นไปได้ของแหล่งกำเนิด และการปรับปรุงคุณภาพ เครื่องมือที่ใช้คือ รุ่น NEXUS 670 (รูปที่ 2.3)
4. Laser Raman Spectroscopy เพื่อศึกษารูปแบบของกราฟ จากการ stretching หรือ bending หรือมีการหลุดกระเด็นของอนุภาค เมื่ออะตอมหรือโมเลกุล เมื่อได้รับพลังงานแสง LASER พลังงานแสงที่มีความถี่มากขึ้นและน้อยลงนี้ เป็นความถี่ที่เปลี่ยนไปจากความถี่ของแสงตกกระทบเดิม เรียกว่า Raman shift ซึ่งพลอยแต่ละชนิดก็จะมี รูปแบบ Raman shift patterns กราฟที่แตกต่างกันไป และบ่งบอกชนิดของมลทินในพลอยจาก patterns ของกราฟ (รูปที่ 2.3)

### ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วย

1. EDXRF (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence) รุ่น Modal EAGLE III เพื่อใช้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ในเชิงคุณภาพ โดยใช้การวัดค่าของพลังงานของรังสีเอกซ์ที่การกระจายออกมาจากธาตุที่ประกอบอยู่ในพลอยเมื่อถูกกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์จากหลอดเอกซเรย์ เพื่อตรวจสอบธาตุองค์ประกอบเพื่อบ่งบอกแหล่งกำเนิดทางอัญมณี (รูปที่ 2.3)

2. EPMA (Electron Probe Micro analyzer) เพื่อศึกษาธาตุองค์ประกอบในพลอยและองค์ประกอบของแร่มลทิน ในเชิงปริมาณ โดยใช้เครื่องมือรุ่น JEOL Model JXA 8100 (รูปที่ 2.4)



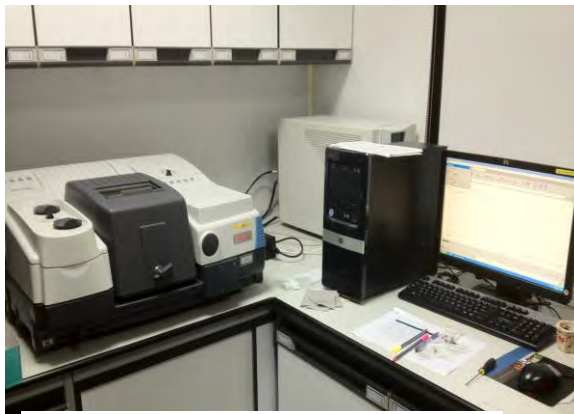
กล้องจุลทรรศน์อัญมณี

Gemological microscope



ศึกษารูปแบบการดูดกลืนด้วยแสง

UV-VIS-NIR



ศึกษาการดูดกลืนด้วยแสง

FTIR (Fourier Transform Infrared)



Laser Raman Spectroscopy



EDXRF

(Energy Dispersive X-Ray Fluorescence)

รูปที่ 2.3 ภาพเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาลักษณะภายในและองค์ประกอบเคมี ของสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน)



EPMA (Electron Probe Micro analyzer)

รูปที่ 2.4 ภาพเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาองค์ประกอบเคมี

## บทที่ 3

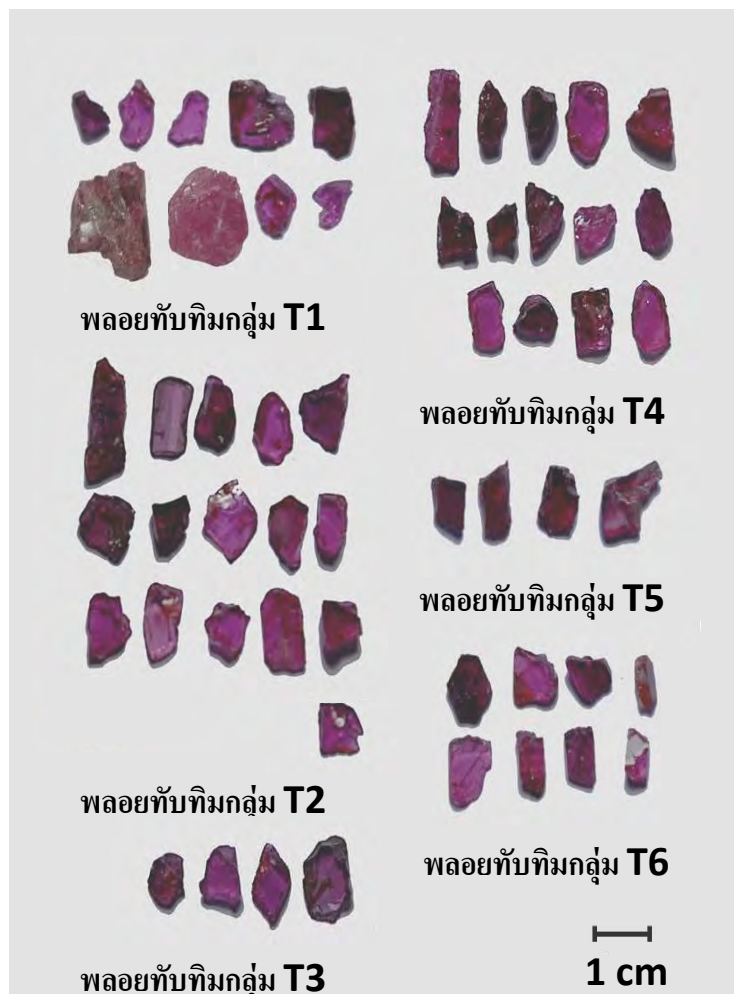
### ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล

#### 3.1 ตัวอย่างพลอยทับทิม

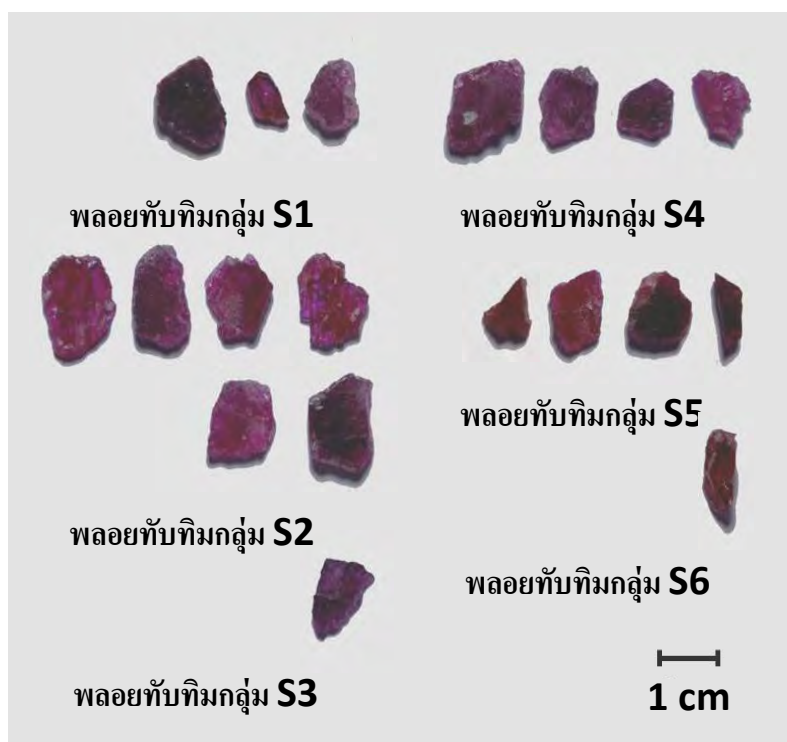
พลอยทับทิมจากแหล่งมอนเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก ที่นำมาทำการศึกษา เป็นพลอยทับทิม ในโครงการวิจัยของสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) จำนวน 74 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นพลอยที่ไม่ผ่านการเจียรไนทั้งสิ้น เมื่อนำมาทำการศึกษาข้อมูลก่อนการปรับปรุงคุณภาพ ทั้งการศึกษาลักษณะพื้นฐาน ลักษณะภายใน และองค์ประกอบทางเคมี ทำให้สามารถ จำแนกพลอยทับทิมแหล่งดังกล่าวเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือพลอยคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T) และพลอยคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S) โดยจำแนกจากคุณภาพของพลอยที่ได้จากการศึกษาข้อมูลก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

**พลอยคุณภาพปานกลาง – สูง (กลุ่ม T)** จำนวน 55 มีลักษณะโปร่งใส รอยแตกในเนื้อพลอยปานกลาง แตกเป็นริ้วประกอบบกับมีออกไซด์ของเหล็กเข้าแทรกตามรอยแตก ภายในประกอไปด้วยมลทินเส้นเข็ม มลทินรอยนิ้วมือ มลทินสีขาวขุ่น และมลทินผลึกแร่โดยส่วนมากเป็นผลึกของแร่แอคทิโนไลต์ พลอยมีสีตั้งแต่ส้มถึงแดง จากการเทียบสีกับ Standard Color Code จึงจัดกลุ่มของพลอยในกลุ่มนี้เป็นกลุ่มย่อย ได้ 6 กลุ่มสีคือ กลุ่มT1 สีแดง (9 ตัวอย่าง) กลุ่มT2 สีแดงอมม่วง(16 ตัวอย่าง) กลุ่มT3 สีแดง-ม่วง(4 ตัวอย่าง) กลุ่มT4 สีแดงอมส้ม(14 ตัวอย่าง) กลุ่มT5 สีแดง-ส้ม(4 ตัวอย่าง) และกลุ่มT6 สีส้มอมแดง(8 ตัวอย่าง) (ดูรูปที่ 3.1)

**พลอยกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)** จำนวน 19 ตัวอย่าง มีลักษณะโปร่งแสง รอยแตกในเนื้อพลอยมีมากจนทำให้พลอยไม่มีความใส รอยแตกยับไม่เป็นระบบ บางตัวอย่างลักษณะเป็นพลอยตัน ภายในประกอไปด้วยมลทินของเหลวขนาดเล็ก มลทินเส้นเข็ม มลทินรูปผลึกสีดำและสีส้ม พลอยกลุ่มนี้มีสีส้มถึงแดง จากการเทียบสีกับ Standard Color Code จัดกลุ่มของพลอยในกลุ่มนี้ได้ 6 กลุ่มสี เช่นเดียวกับพลอยในกลุ่ม T คือ กลุ่มS1 สีแดง(3 ตัวอย่าง) กลุ่มS2 สีแดงอมม่วง(6 ตัวอย่าง) กลุ่มS3 สีแดง-ม่วง(1 ตัวอย่าง) กลุ่มS4 สีแดงอมส้ม(4 ตัวอย่าง) กลุ่มS5 สีแดง-ส้ม(4 ตัวอย่าง) และกลุ่มS6 สีส้มอมแดง(1 ตัวอย่าง) (ดูรูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.1 ผลิตทับทิมคุณภาพปานกลาง –สูง (กลุ่ม T) ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ



รูปที่ 3.2 ผลิตทับทิมคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S) ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

## 3.2 ข้อมูลก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

### 3.2.1 ลักษณะพื้นฐานของพลอยทับทิม

ศึกษาลักษณะพื้นฐานของพลอยจากแหล่งมอเนตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก (Specific gravity balance) เครื่องวัดค่าดัชนีหักเห (Refractometer) และหลอดรังสีเหนือม่วง (UV Lamp) และจัดจำแนกสีตาม Standard Color Code ของพลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T) และพลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S) แสดงข้อมูลพื้นฐานของพลอยกลุ่ม T และกลุ่ม S ทั้งหมดไว้ใน ภาคผนวก ก-1 และ ก-2 ตามลำดับ

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T) มีสีแดงอมม่วงจนถึงแดง ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 3.91 – 4.18 ค่าดัชนีหักเหของลำแสงปกติ ( $n_o$ ) อยู่ในช่วง 1.764 - 1.778 และ ค่าดัชนีหักเหของลำแสงพิเศษ ( $n_e$ ) อยู่ในช่วง 1.756 - 1.772 พลอยทับทิมกลุ่มนี้แสดงการเรืองแสงระดับปานกลางถึงสูง เมื่อสังเกตภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตคลื่นยาว (longwave ultraviolet) และไม่แสดงการเรืองแสงถึงเรืองแสงระดับปานกลาง เมื่อสังเกตภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตคลื่นสั้น (shortwave ultraviolet) แสดงข้อมูลโดยสรุปดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 สรุปลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทับทิม แหล่งมอเนตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

Size(ct.)	RI		Birefringence	SG	Fluorescence	
	$n_e$	$n_o$			SW	LW
0.24-7.24	1.756-1.772	1.764-1.778	0.002-0.011	3.91-4.18	Weak (Red)	Strong (Red)

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S) มีสีแดงอมม่วงจนถึงแดงเช่นเดียวกับกลุ่ม T ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 3.908 – 4.132 ค่าดัชนีหักเหของลำแสงปกติ ( $n_o$ ) อยู่ในช่วง 1.768 - 1.772 และ ค่าดัชนีหักเหของลำแสงพิเศษ ( $n_e$ ) อยู่ในช่วง 1.759 - 1.768 พลอยทับทิมกลุ่มนี้แสดงการเรืองแสงระดับปานกลางถึงสูง เมื่อสังเกตภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตคลื่นยาว (longwave ultraviolet) และไม่แสดงการเรืองแสงถึงเรืองแสงระดับปานกลาง เมื่อสังเกตภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตคลื่นสั้น (shortwave ultraviolet) แสดงข้อมูลโดยสรุปดังตารางที่ 3-2

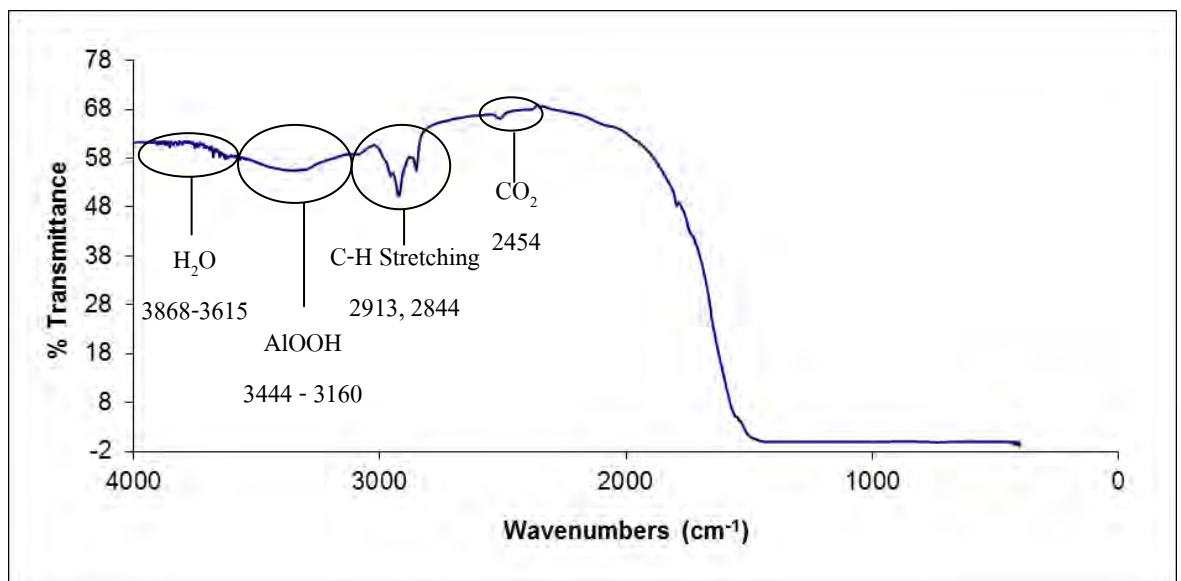
ตารางที่ 3-2 สรุปลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทับทิม แหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก กลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)

Size(ct.)	RI		Birefringence	SG	Fluorescence	
	$n_e$	$n_o$			SW	LW
0.997-4.172	1.759-1.768	1.768-1.772	0.003-0.010	3.908-4.132	Weak (Red)	Strong (Red)

### 3.2.2 ลักษณะการดูดกลืนแสงและมลทิน

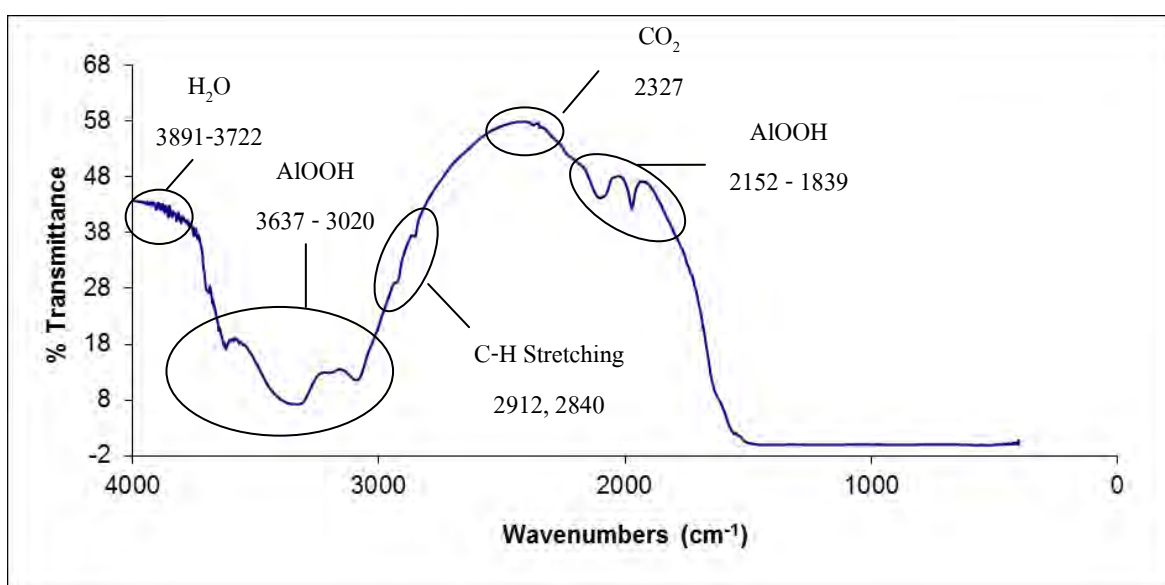
FTIR ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก ของพลอยทับทิมกลุ่ม T และ กลุ่ม S แสดงข้อมูลทั้งหมดในภาคผนวก ก-3 และ ก-4 ตามลำดับ

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T) ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนแสง FTIR ของพลอยทับทิมกลุ่มนี้ ยกมาแสดงเฉพาะลักษณะสเปกตรัมที่เด่นดังรูปที่ 3.3 พบว่าพลอยกลุ่ม T โดยทั่วไปมีการแสดงการดูดกลืนอย่างต่อเนื่องของ  $H_2O$  ที่บริเวณ  $3868 - 3615 \text{ cm}^{-1}$  การดูดกลืนของ C-H Stretching ที่ตำแหน่ง  $2913$  และ  $2844 \text{ cm}^{-1}$  และการดูดกลืนของ  $CO_2$  ที่ตำแหน่งประมาณ  $2454 \text{ cm}^{-1}$  อีกทั้งพบการดูดกลืนของ AIOOH แสดงแถบการดูดกลืนในช่วงประมาณ  $3444 - 3160 \text{ cm}^{-1}$



รูปที่ 3.3 FTIR Spectrum ของตัวอย่างทับทิมจากประเทศโมแซมบิก กลุ่ม T (ตัวอย่าง T2-6)

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S) ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนแสง FTIR ของพลอยทับทิมกลุ่มนี้ ยกมาแสดงเฉพาะลักษณะสเปกตรัมที่เด่นดังรูปที่ 3.4 พบว่าพลอยกลุ่ม S โดยทั่วไปมีการแสดงการดูดกลืนอย่างต่อเนื่องของ  $H_2O$  ที่บริเวณ  $3891 - 3722 \text{ cm}^{-1}$  การดูดกลืนของ C-H Stretching ที่ตำแหน่ง  $2912$  และ  $2840 \text{ cm}^{-1}$  และการดูดกลืนของ  $CO_2$  ที่ตำแหน่งประมาณ  $2372 \text{ cm}^{-1}$  ทั้งนี้ในบางตัวอย่างพลอยพบการดูดกลืนของ AIOOH ที่ชัดเจน โดยแสดงแถบการดูดกลืนอย่างรุนแรงใน 2 ช่วงคือช่วงประมาณ  $2152 - 2840 \text{ cm}^{-1}$  และช่วงประมาณ  $2152 - 1839 \text{ cm}^{-1}$

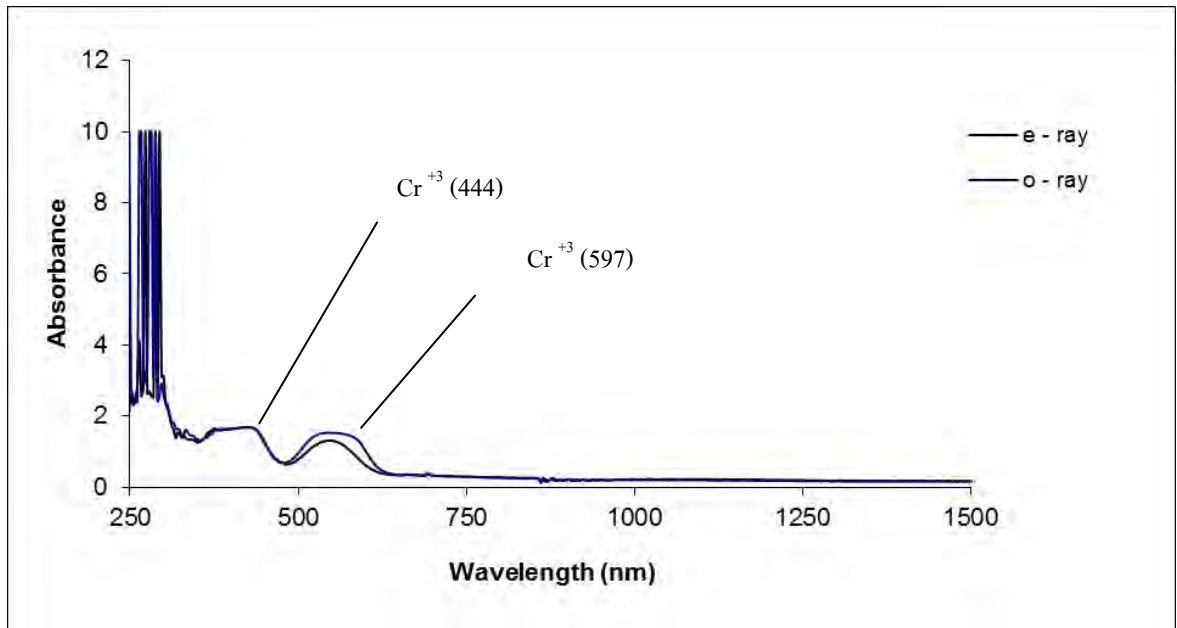


รูปที่ 3.4 FTIR Spectrum ของตัวอย่างทับทิมจากประเทศโมแซมบิก กลุ่ม S (ตัวอย่าง S4-3)

UV-VIS-NIR ค่าจากการศึกษารูปแบบการดูดกลืนด้วยแสงด้วยเครื่องมือ UV-VIS-NIR จากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของพลอยทับทิมแล่งมอนเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก กลุ่ม T และ กลุ่ม S แสดงข้อมูลทั้งหมดในภาคผนวก ก-5 และ ก-6 ตามลำดับ

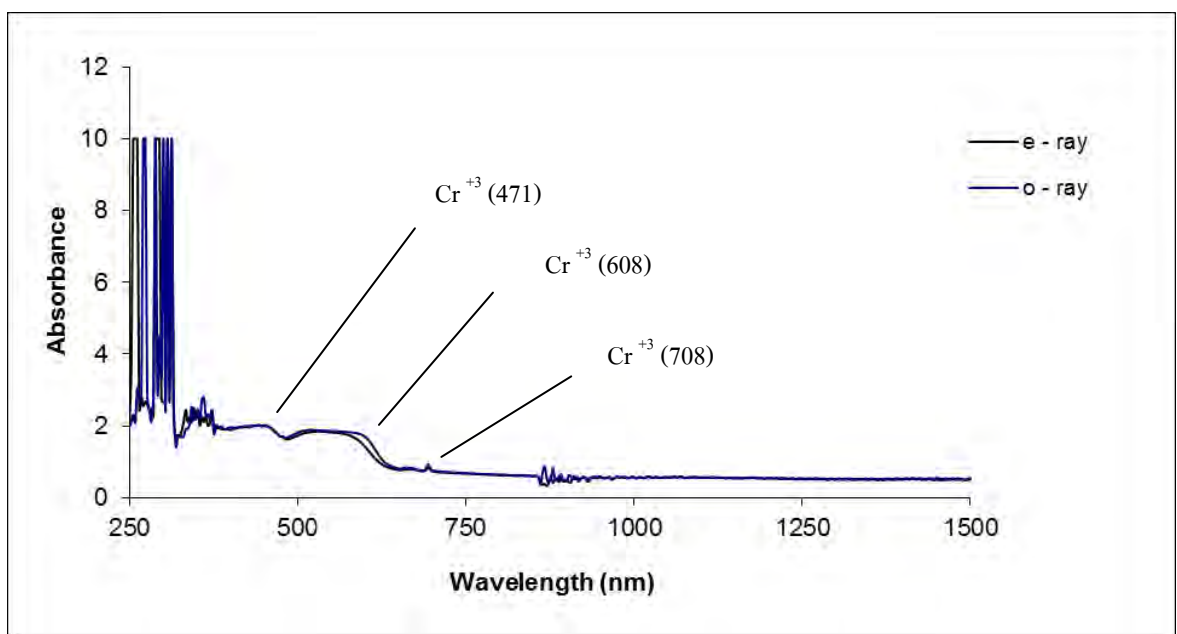
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T) ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR กลุ่ม T แสดงตัวอย่างไว้ในรูป 3.5 โดยทั่วไปพบเพียงการดูดกลืนของ  $Cr^{3+}$  ที่ตำแหน่งประมาณ  $444$  และ  $597 \text{ nm}$  อย่างชัดเจน





รูปที่ 3.5 การดูดกลืนช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิมจากประเทศโมแซมบิก กลุ่ม T (ตัวอย่าง T4-12)

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S) ตัวอย่างสเปคตรัมการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR กลุ่ม S แสดงตัวอย่างไว้ในรูป 3.6 โดยทั่วไปพบเพียงการดูดกลืนของ  $\text{Cr}^{3+}$  ที่ตำแหน่งประมาณ 471 และ 608 nm อย่างชัดเจน และยอดการดูดกลืนขนาดเล็กบริเวณ 708 nm



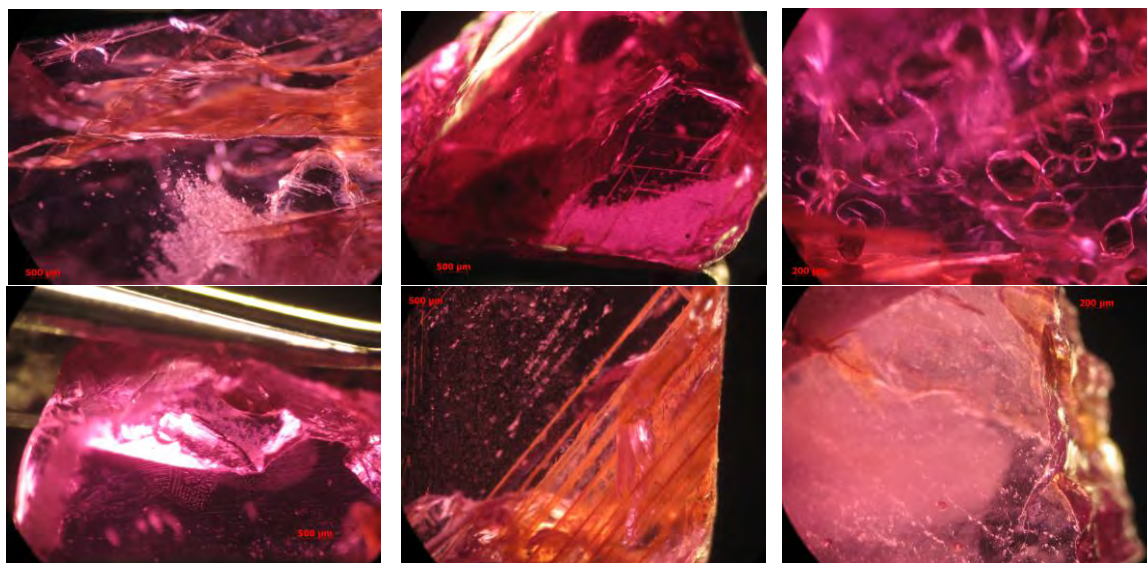
รูปที่ 3.6 การดูดกลืนช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิมจากประเทศโมแซมบิก กลุ่ม S (ตัวอย่าง S2-1)

Gemological microscope จากการศึกษาลักษณะภายในของพลอยทับทิมด้วย เครื่องมือ Gemological microscope พบลักษณะรอยแตกในเนื้อพลอย ในบางรอยแตกมี ลักษณะเป็นสีส้มเนื่องจากเหล็กออกไซด์ที่แทรกไปตามรอยแตก ภายในตัวอย่างของพลอยที่ ศึกษาพบมลทินเส้นเข็ม มลทินผลึกแร่ มลทินรอยนิ้วมือ มลทินรูปท่อ และ มลทินสีชาวชุ่น (ดู ตารางที่ 3-3 และรูปที่ 3.7 ประกอบ) พลอยส่วนหนึ่งมีลักษณะใสโปร่งใสรอยแตกปานกลาง จัดเป็นพลอยคุณภาพปานกลาง-สูง กลุ่ม T แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.8 อีกส่วนหนึ่งมีลักษณะ โปร่งแสงรอยแตกมากจนบดบังความใสของพลอยจัดเป็นพลอยคุณภาพต่ำกลุ่ม S แสดง ตัวอย่างดังรูปที่ 3.9 ในส่วนของรูปพลอยทับทิมตัวอย่างอื่นๆแสดงในภาคผนวก ก-7

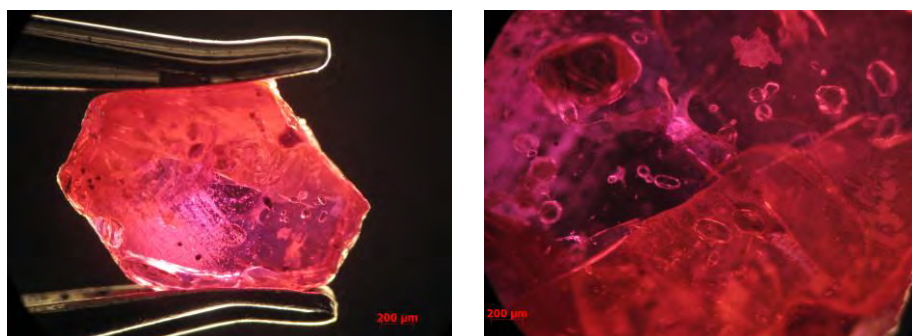
ตารางที่ 3-3 แสดงข้อมูลลักษณะมลทินและปริมาณที่พบ เปรียบเทียบระหว่างพลอยกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง กับ พลอยกลุ่มคุณภาพต่ำ

ชนิดมลทิน	พลอยทับทิมกลุ่ม T คุณภาพ ปานกลาง-สูง	พลอยทับทิม กลุ่ม S คุณภาพ ต่ำ
ปริมาณรอยแตก	**	***
มลทินเส้นเข็ม	**	*
มลทินรูปท่อ	**	-
มลทินรอยนิ้วมือ	**	*
มลทินสีชาวชุ่น	*	-
มลทินผลึกแร่แอคทีโนไลต์	***	**
มลทินผลึกแร่แคลไซต์	*	-
มลทินผลึกแร่ฟุกไซต์	*	-

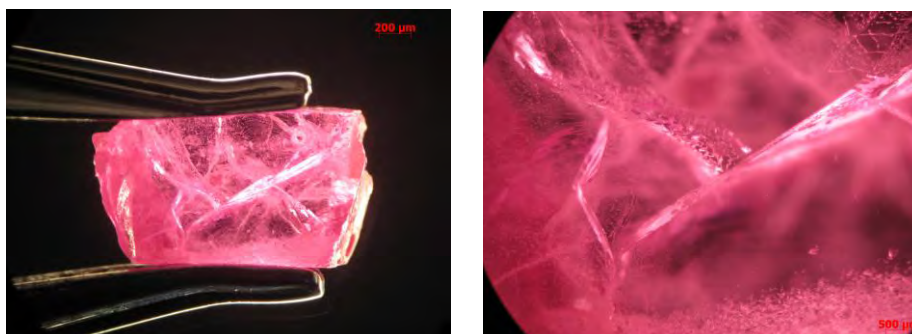
- ไม่พบ            \*\*    พบน้อย  
\* พบบ้าง            \*\*\*    พบมาก



รูปที่ 3.7 ภาพลักษณะภายในของพอลอยทบิเทียม แสดงรอยแตก (บนซ้าย) มลทินเส้นเข็ม (บนกลาง) มลทินรูปผลไม้ (บนขวา) มลทินรอยนิ้วมือ (ล่างซ้าย) มลทินรูปท่อ (ล่างกลาง) และมลทินสีขาวขุ่น (ล่างขวา)

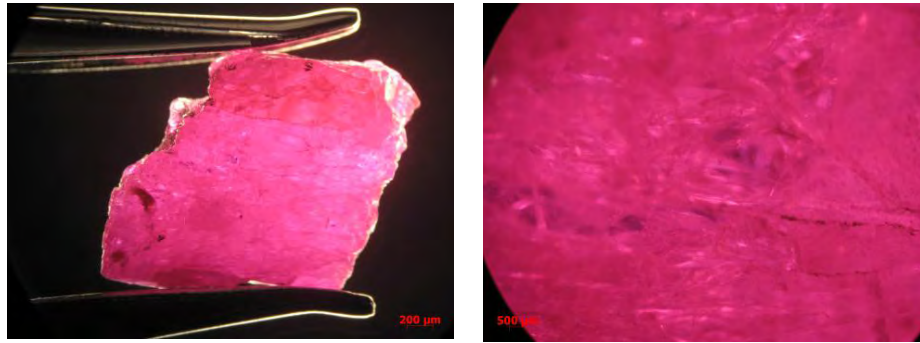


ตัวอย่างพอลอยทบิเทียม T6-3

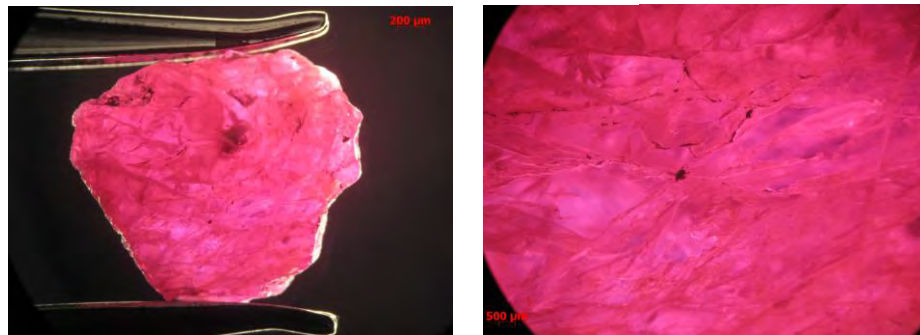


ตัวอย่างพอลอยทบิเทียม T6-7

รูปที่ 3.8 ภาพตัวอย่างแสดงลักษณะภายในของพอลอยทบิเทียมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)



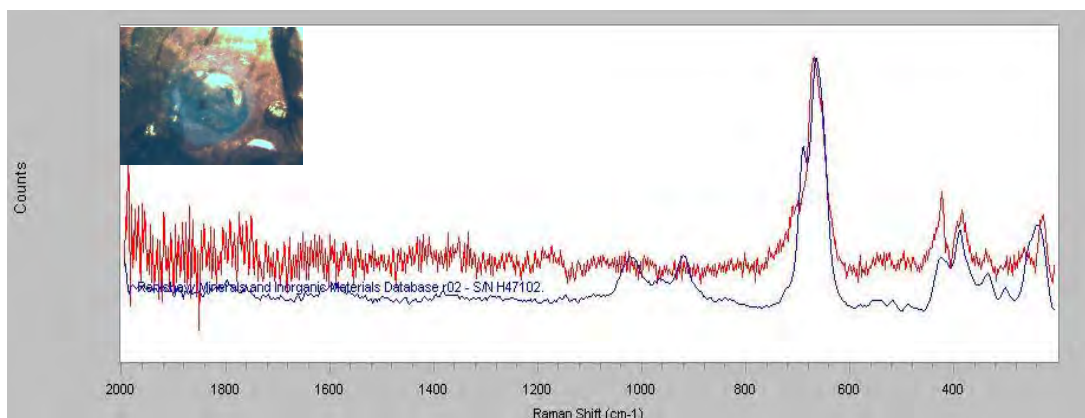
ตัวอย่างพลอยทับทิม S4-1



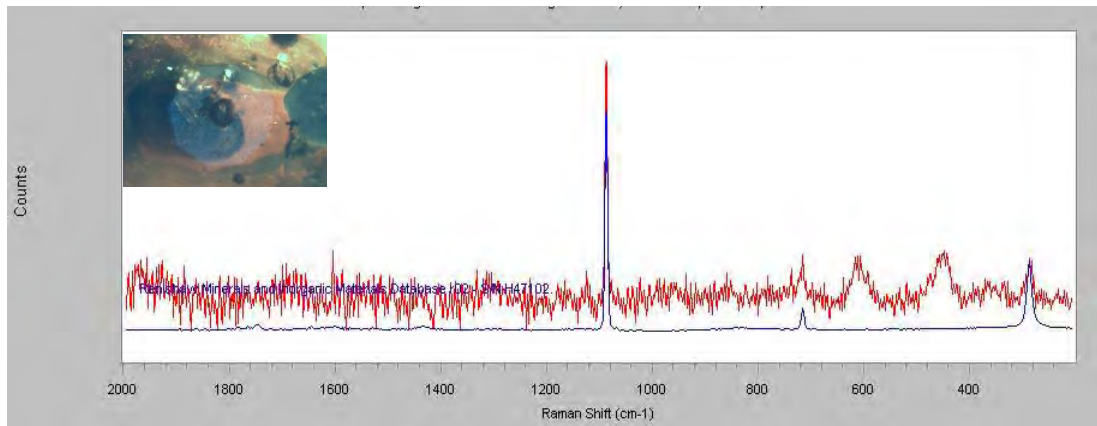
ตัวอย่างพลอยทับทิม S5-2

รูปที่ 3.9 ภาพตัวอย่างแสดงลักษณะภายในของพลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)

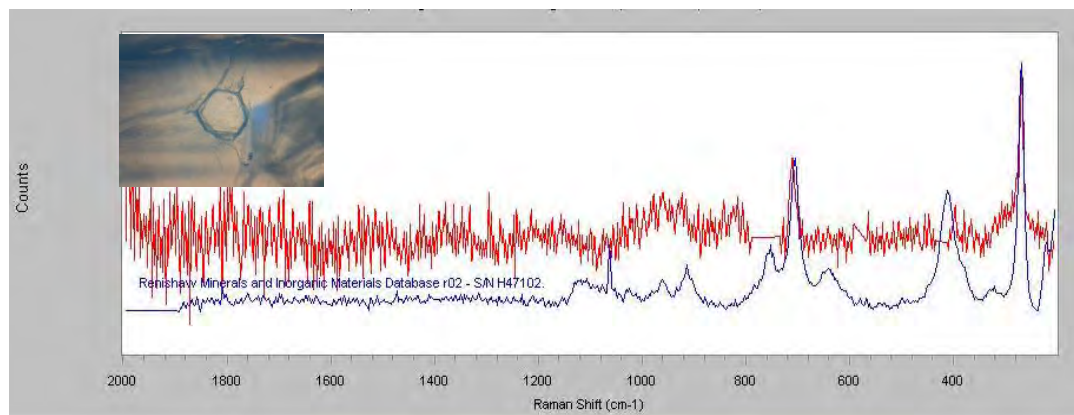
Laser Raman Spectroscopy เมื่อทำการวิเคราะห์หมลทินแร่ด้วยเครื่องมือ Laser Raman Spectroscopy ทำให้ทราบหมลทินแร่ภายในพลอยทับทิมที่ทำการศึกษา โดยพบเป็นแร่ แอคติโนไลต์ (Actinolite) แร่แคลไซต์ (Calcite) และแร่ฟูกไซต์ (Fuchsite) แสดงดังรูปที่ 3.10 ถึงรูปที่ 3.12 ตามลำดับ โดยข้อมูลจาก Laser Raman Spectroscopy ทั้งหมดแสดงใน ภาคผนวก ก-8



รูปที่ 3.10 Raman spectrum ของผลึกแร่แอคติโนไลต์ (Actinolite) ในตัวอย่างพลอยทับทิม T2-3

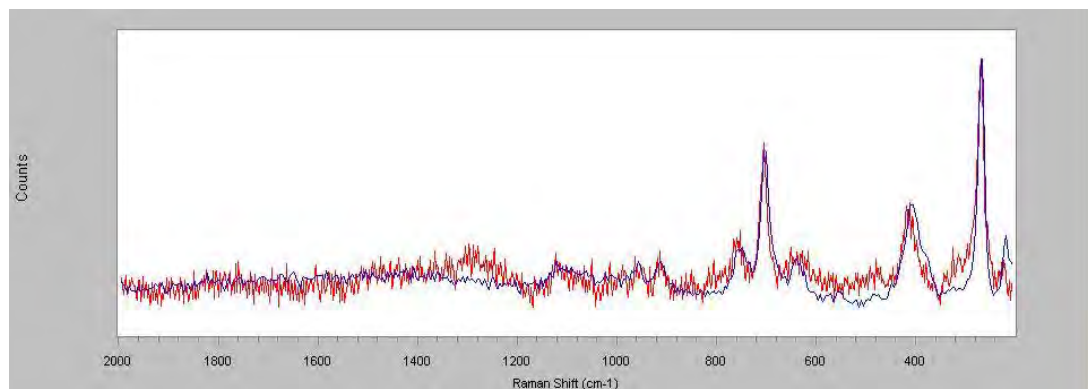


รูปที่ 3.11 Raman spectrum ของผลึกแร่แคลไซต์ (Calcite) ในตัวอย่างพลอยทับทิม T6-3



รูปที่ 3.12 Raman spectrum ของผลึกแร่ฟุกไซต์ (Fuchsite) ในตัวอย่างพลอยทับทิม S1-2

นอกจากนี้ได้ทำการตรวจสอบแร่แผ่นที่ติดกับหินต้นกำเนิดของพลอยแหล่งมอญเตปวยซ์ ด้วยเครื่อง Laser Raman Spectroscope พบว่าแร่แผ่นดังกล่าวเป็นแร่ฟุกไซต์ (Fuchsite) ในตระกูลไมก้า (Mica Group) เช่นกัน แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 Raman spectrum ของแร่ฟุกไซต์ (Fuchsite) ในหินต้นกำเนิดพลอยทับทิม แหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก

### 3.2.3 องค์ประกอบเคมีของพลอยทับทิม

EDXRF ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องมือ Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF) รุ่น EAGLE III ของพลอยทับทิมของพลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง กลุ่ม T และกลุ่มพลอยทับทิมคุณภาพต่ำ กลุ่ม S โดยเครื่อง ผลทั้งหมดในภาคผนวก ก-9 และ ก-10 ตามลำดับ และสรุปผลค่าสถิติของผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลอยได้ดังนี้

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T) พบว่าธาตุร่องรอยที่สำคัญส่วนใหญ่ประกอบด้วย  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  สูงกว่าธาตุร่องรอยอื่นๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.145-1.586% และ 0.109 - 0.634% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ขณะที่  $\text{G}_2\text{O}_3$  และ  $\text{V}_2\text{O}_5$  มีแนวโน้มต่ำกว่าธาตุร่องรอยอื่นๆ มีค่าอยู่ในช่วง 0.003 - 0.018% และ 0.000 - 0.018% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ขณะที่  $\text{TiO}_2$  มีปริมาณสูงกว่า  $\text{G}_2\text{O}_3$  และ  $\text{V}_2\text{O}_5$  เล็กน้อย (ดูตารางที่ 3-4 )

ตารางที่ 3-4 แสดงค่าสถิติของผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิมจากประเทศโมแซมบิก กลุ่มพลอยคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T )

ธาตุ	Min - Max (wt %)	Mean (wt %)	S.D.
$\text{Al}_2\text{O}_3$	98.104 - 99.652	99.155	0.365
$\text{TiO}_2$	0.006 – 0.063	0.024	0.013
$\text{V}_2\text{O}_5$	0.000 - 0.018	0.006	0.005
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0.145 – 1.586	0.580	0.308
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.109 - 0.634	0.227	0.115
$\text{Ga}_2\text{O}_3$	0.003 - 0.018	0.007	0.003

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S) พบว่าธาตุรองรอยที่สำคัญส่วนใหญ่ประกอบด้วย  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  สูงกว่าธาตุรองรอยอื่นๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.138-0.754% และ 0.145 - 0.280% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ขณะที่  $\text{G}_2\text{O}_3$  และ  $\text{V}_2\text{O}_5$  มีแนวโน้มต่ำกว่าธาตุรองรอยอื่นๆ มีค่าอยู่ในช่วง 0.003 - 0.013% และ 0.000 - 0.019% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ขณะที่  $\text{TiO}_2$  มีปริมาณสูงกว่า  $\text{G}_2\text{O}_3$  และ  $\text{V}_2\text{O}_5$  เล็กน้อย (ดูตารางที่ 3-5)

ตารางที่ 3-5 แสดงค่าสถิติของผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิมจากประเทศโมแซมบิก กลุ่มพลอยคุณภาพปานต่ำ (กลุ่ม S)

ธาตุ	Min - Max (wt %)	Mean (wt %)	S.D.
$\text{Al}_2\text{O}_3$	98.959 - 99.670	99.273	0.157
$\text{TiO}_2$	0.004 - 0.080	0.021	0.017
$\text{V}_2\text{O}_5$	0.000 - 0.019	0.007	0.005
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0.138 - 0.754	0.502	0.143
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.145 - 0.280	0.190	0.007
$\text{Ga}_2\text{O}_3$	0.003 - 0.013	0.007	0.003

EPMA ค่าจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิมในบางตัวอย่างโดยเครื่อง EPMA ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ก-11 แสดงบางส่วนดังตารางที่ 3-6 พบว่าปริมาณธาตุที่มีมากที่สุดในการศึกษาคือ Al ซึ่งเป็นธาตุหลัก ส่วนธาตุรองรอยที่มีปริมาณรองลงมาคือธาตุ Cr และ Fe ตามลำดับ ส่วนปริมาณธาตุอื่น พบในปริมาณน้อย ซึ่งค่าที่ได้มีความสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ EDXRF

ตารางที่ 3-6 แสดงค่าจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิมในบางตัวอย่าง โดยเครื่อง EPMA แสดงในบางส่วน

Code	T2-1	T2-1	T2-3	T2-3	T2-3	T2-7	T2-7	T2-7	T2-8	T2-8	T2-8	T2-10	T2-10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99.34	98.875	99.429	99.868	100.022	100.155	99.791	100.019	100.054	99.833	99.831	99.530	99.256
SiO <sub>2</sub>	0.02	0.030	0.119	0.020	0.000	0.021	0.014	0.000	0.003	0.023	0.010	0.006	0.000
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.001	0.010	0.009	0.012	0.005	0.007	0.021	0.020	0.049	0.012	0.000	0.014
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.55	0.618	0.409	0.397	0.374	0.396	0.438	0.391	0.498	0.479	0.386	0.133	0.161
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.007	0.003	0.000	0.027	0.000	0.004	0.000	0.025	0.000	0.000	0.000	0.025
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.000	0.029	0.061	0.000	0.028	0.000	0.015	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000
CaO	0.01	0.002	0.000	0.005	0.000	0.003	0.004	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.016
FeO	0.16	0.211	0.140	0.129	0.127	0.130	0.152	0.136	0.084	0.139	0.085	0.224	0.219
MgO	0.00	0.002	0.036	0.019	0.000	0.000	0.001	0.012	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
MnO	0.01	0.014	0.000	0.017	0.011	0.000	0.000	0.011	0.017	0.000	0.000	0.014	0.005
K <sub>2</sub> O	0.00	0.000	0.010	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.004
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.014	0.009	0.000	0.007	0.001	0.002	0.001
Total	100.11	99.768	100.206	100.542	100.573	100.772	100.439	100.628	100.719	100.539	100.336	99.922	99.724

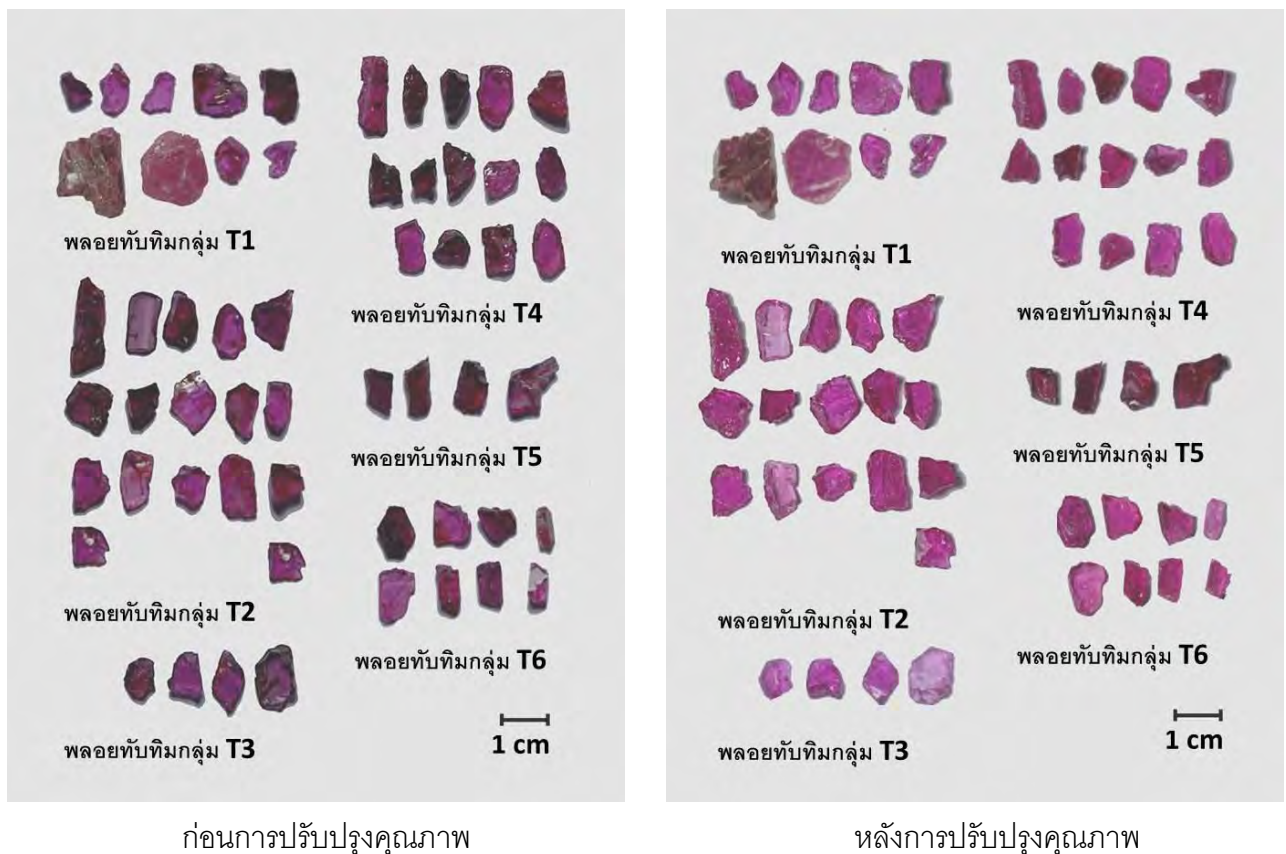
Al	1.990	1.989	1.989	1.992	1.993	1.993	1.992	1.993	1.992	1.991	1.994	1.996	1.995
Si	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Cr	0.007	0.008	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006	0.005	0.007	0.006	0.005	0.002	0.002
V	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ga	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.003	0.003
Mg	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	2.001	2.001	2.000	2.001	2.001	2.001	2.001	2.001	2.000	2.000	2.000	2.001	2.001



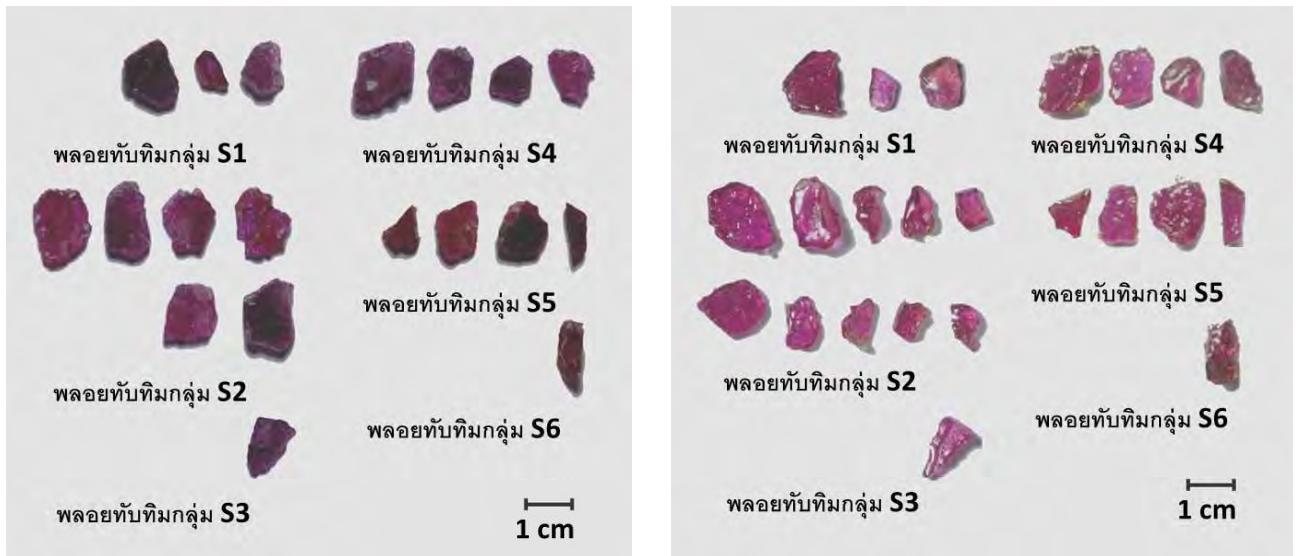
### 3.3 ข้อมูลหลังการปรับปรุงคุณภาพ

#### 3.3.1 ลักษณะพื้นฐานของพลอยทับทิม

นำพลอยทับทิมที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพมาศึกษาลักษณะพื้นฐาน ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก (Specific gravity balance) เครื่องวัดค่าดัชนีหักเห (Refractometer) และหลอดรังสีเหนือม่วง (UV Lamp) และเปรียบเทียบสีของพลอยทับทิมหลังการปรับปรุงคุณภาพโดย Standard Color Code ทั้งพลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T) (รูปที่ 3.14) และพลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S) (รูปที่ 3.15) แสดงข้อมูลพื้นฐานของพลอยกลุ่ม T และกลุ่ม S ทั้งหมดไว้ใน ภาคผนวก ข-1 และ ข-2 ตามลำดับ อีกทั้งพลอยทับทิมในบางตัวอย่างได้ถูกนำไปเจียระไน (รูปที่ 3.16)



รูปที่ 3.14 พลอยทับทิมคุณภาพปานกลาง – สูง (กลุ่ม T) เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ



ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

หลังการปรับปรุงคุณภาพ

รูปที่ 3.15 พลอยทับทิมคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S) เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ



รูปที่ 3.16 พลอยทับทิมหลังการเจียรระไน ตัวอย่างพลอยทับทิม T1-10 และ T1-11 ตามลำดับ

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T) หลังการปรับปรุงคุณภาพ พลอยทับทิมมีสีแดงอมม่วงจนถึงแดงสีเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 3.86 – 4.03 ค่าดัชนีหักเหของลำแสงปกติ ( $n_o$ ) อยู่ในช่วง 1.764 - 1.778 และ ค่าดัชนีหักเหของลำแสงพิเศษ ( $n_e$ ) อยู่ในช่วง 1.756 - 1.773 พลอยทับทิมกลุ่มนี้แสดงการเรืองแสงระดับปานกลางถึงสูง เมื่อสังเกตภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตคลื่นยาว (longwave ultraviolet) และไม่แสดงการเรืองแสงถึงเรืองแสงระดับปานกลาง เมื่อสังเกตภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตคลื่นสั้น (shortwave ultraviolet) แสดงข้อมูลโดยสรุปเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ ดังตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 สรุปลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทับทิม  
เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

Size(ct.)		RI				Birefringence	
		$n_e$		$n_o$			
Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
0.24-7.24	0.24-7.12	1.756-1.772	1.756-1.773	1.764-1.778	1.764-1.778	0.002-0.011	0.002-0.010

SG		Fluorescence			
		SW		LW	
Before	After	Before	After	Before	After
3.91-4.18	3.86-4.03	Weak (Red)	Weak (Red)	Strong (Red)	Strong (Red)

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S) หลังการปรับปรุงคุณภาพ พลอยทับทิมมีสีแดงอมม่วงจนถึงแดงเช่นเดียวกับกลุ่ม T ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 3.96 – 4.17 ค่าดัชนีหักเหของลำแสงปกติ ( $n_o$ ) อยู่ในช่วง 1.769 - 1.773 และ ค่าดัชนีหักเหของลำแสงพิเศษ ( $n_e$ ) อยู่ในช่วง 1.759 - 1.768 พลอยทับทิมกลุ่มนี้แสดงการเรืองแสงระดับปานกลางถึงสูง เมื่อสังเกตรายภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตคลื่นยาว (longwave ultraviolet) และไม่แสดงการเรืองแสงถึงเรืองแสงระดับปานกลาง เมื่อสังเกตรายภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตคลื่นสั้น (shortwave ultraviolet) แสดงข้อมูลเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ สรุปดังตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-8 สรุปลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทับทิม  
เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ กลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)

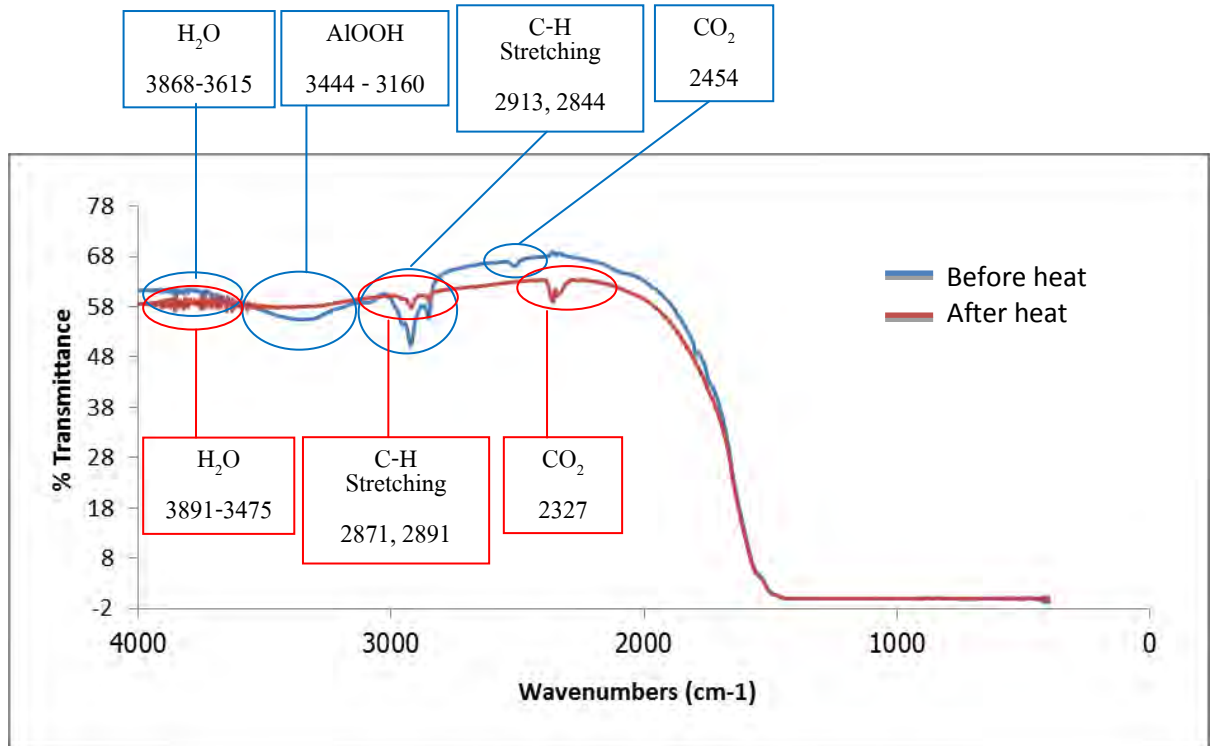
Size(ct.)		RI				Birefringence	
		$n_e$		$n_o$			
Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
0.10-4.17	0.90-4.58	1.759-1.768	1.760-1.768	1.768-1.772	1.769-1.773	0.003-0.010	0.005-0.010

SG		Fluorescence			
		SW		LW	
Before	After	Before	After	Before	After
3.91-4.13	3.96-4.17	Weak (Red)	Weak (Red)	Strong (Red)	Strong (Red)

### 3.3.2 ลักษณะการดูดกลืนแสงและมลทิน

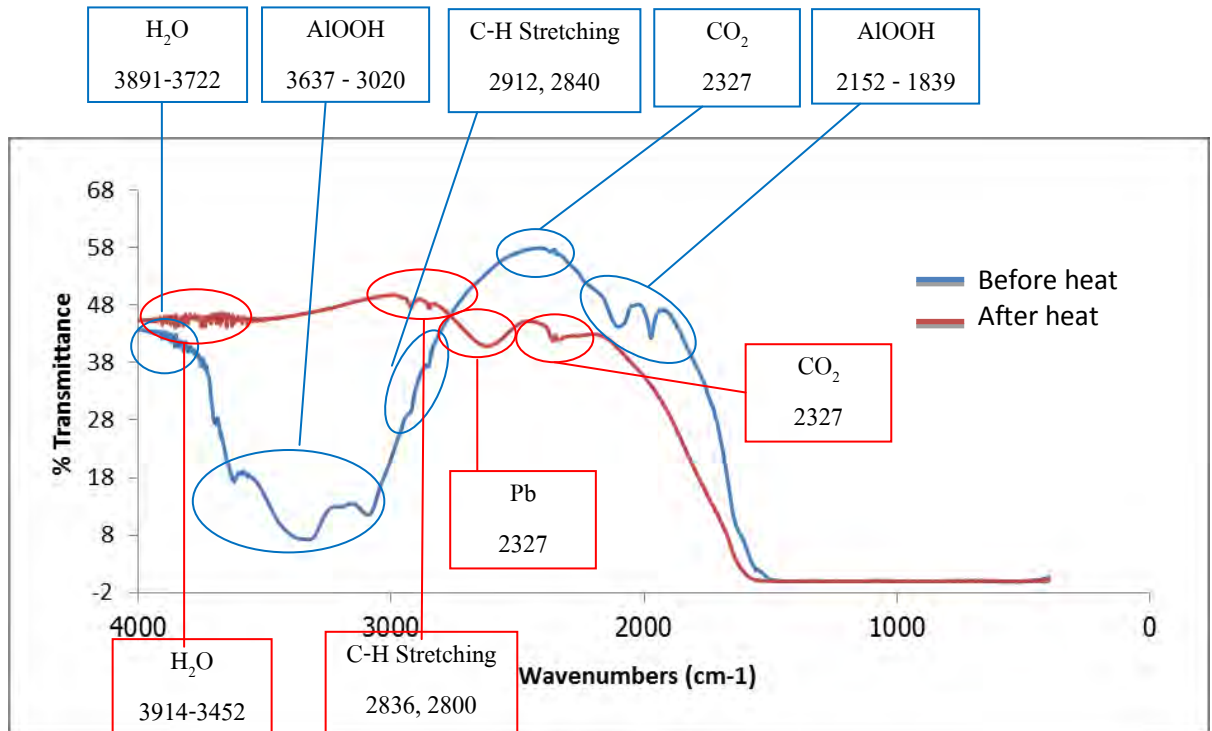
FTIR ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมซัมบิก ของพลอยทับทิมกลุ่ม T และ กลุ่ม S หลังการเผาแสดงข้อมูลของตัวอย่างพลอยบางส่วนในภาคผนวก ข-3 และ ข-4 ตามลำดับ

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T) ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนแสง FTIR ของพลอยทับทิมกลุ่มนี้ ยกมาแสดงเฉพาะลักษณะสเปกตรัมที่เด่นดังรูปที่ 3.17 พบว่าพลอยกลุ่ม T โดยทั่วไปมีการแสดงการดูดกลืนอย่างต่อเนื่องของ H<sub>2</sub>O ที่บริเวณ 3868 - 3615 cm<sup>-1</sup> การดูดกลืนของ C-H Stretching ที่ตำแหน่ง 2914 และ 2844 cm<sup>-1</sup> และการดูดกลืนของ CO<sub>2</sub> ที่ตำแหน่ง 2454 cm<sup>-1</sup> อีกทั้งพบการดูดกลืนของ AIOOH แสดงแถบการดูดกลืนในช่วงประมาณ 3444 - 3160 cm<sup>-1</sup> หลังการปรับปรุงคุณภาพพบการดูดของ H<sub>2</sub>O ที่บริเวณ 3891 - 3475 cm<sup>-1</sup> การดูดกลืนของ C-H Stretching ที่ตำแหน่ง 2891 และ 2871 cm<sup>-1</sup> และการดูดกลืนของ CO<sub>2</sub> ที่ตำแหน่ง 2327 cm<sup>-1</sup> แถบการดูดกลืนของ AIOOH หายไป



รูปที่ 3.17 FTIR Spectrum เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพกลุ่ม T (ตัวอย่าง T2-6)

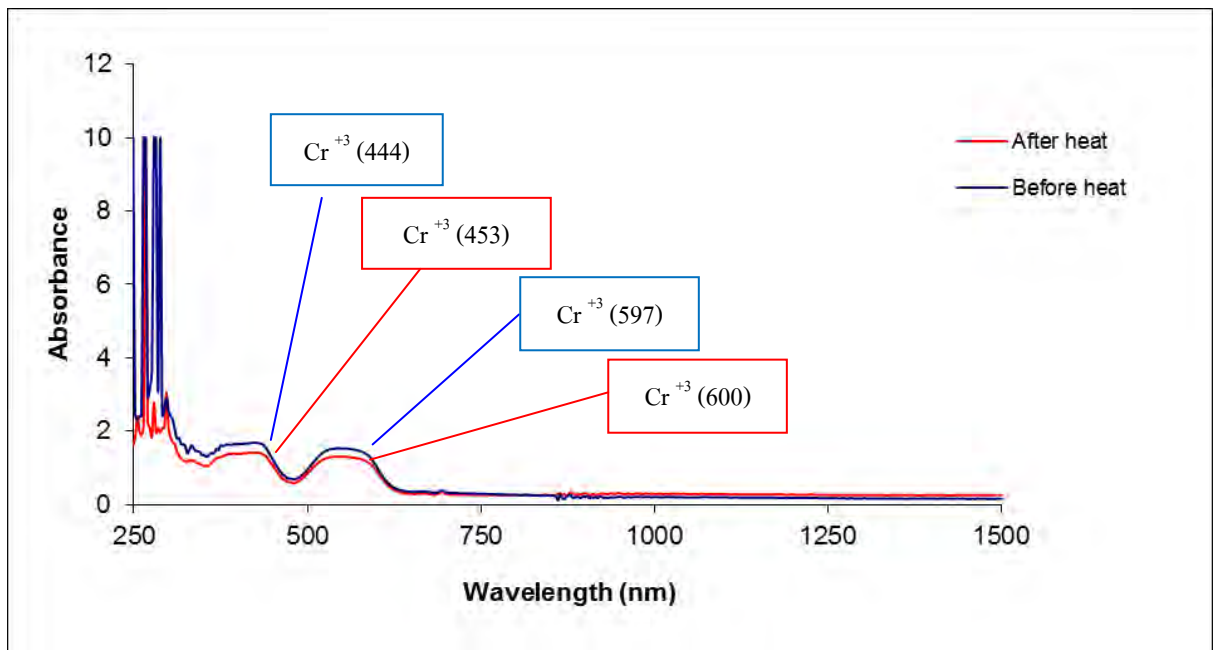
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S) ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนแสง FTIR ของพลอยทับทิมกลุ่มนี้ ยกมาแสดงเฉพาะลักษณะสเปกตรัมที่เด่นดังรูปที่ 3.18 พบว่าพลอยกลุ่ม S โดยทั่วไปมีการแสดงการดูดกลืนอย่างต่อเนื่องของ  $\text{H}_2\text{O}$  ที่บริเวณ  $3891 - 3722 \text{ cm}^{-1}$  การดูดกลืนของ C-H Stretching ที่ตำแหน่ง  $2912$  และ  $2840 \text{ cm}^{-1}$  และการดูดกลืนของ  $\text{CO}_2$  ที่ตำแหน่ง  $2327 \text{ cm}^{-1}$  อีกทั้งพบการดูดกลืนของ AIOOH แสดงแถบการดูดกลืนในช่วงประมาณ  $3637 - 3020 \text{ cm}^{-1}$  และช่วง  $2152 - 1839 \text{ cm}^{-1}$  หลังการปรับปรุงคุณภาพพบการดูดของ  $\text{H}_2\text{O}$  ที่บริเวณ  $3914 - 3452 \text{ cm}^{-1}$  การดูดกลืนของ C-H Stretching ที่ตำแหน่ง  $2836$  และ  $2800 \text{ cm}^{-1}$  และการดูดกลืนของ  $\text{CO}_2$  ที่ตำแหน่ง  $2327 \text{ cm}^{-1}$  แถบการดูดกลืนของ AIOOH หายไปและมีการดูดกลืน Pb จากการปรับปรุงคุณภาพเพิ่มเข้ามา



รูปที่ 3.18 FTIR Spectrum เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพกลุ่ม S (ตัวอย่าง S4-3)

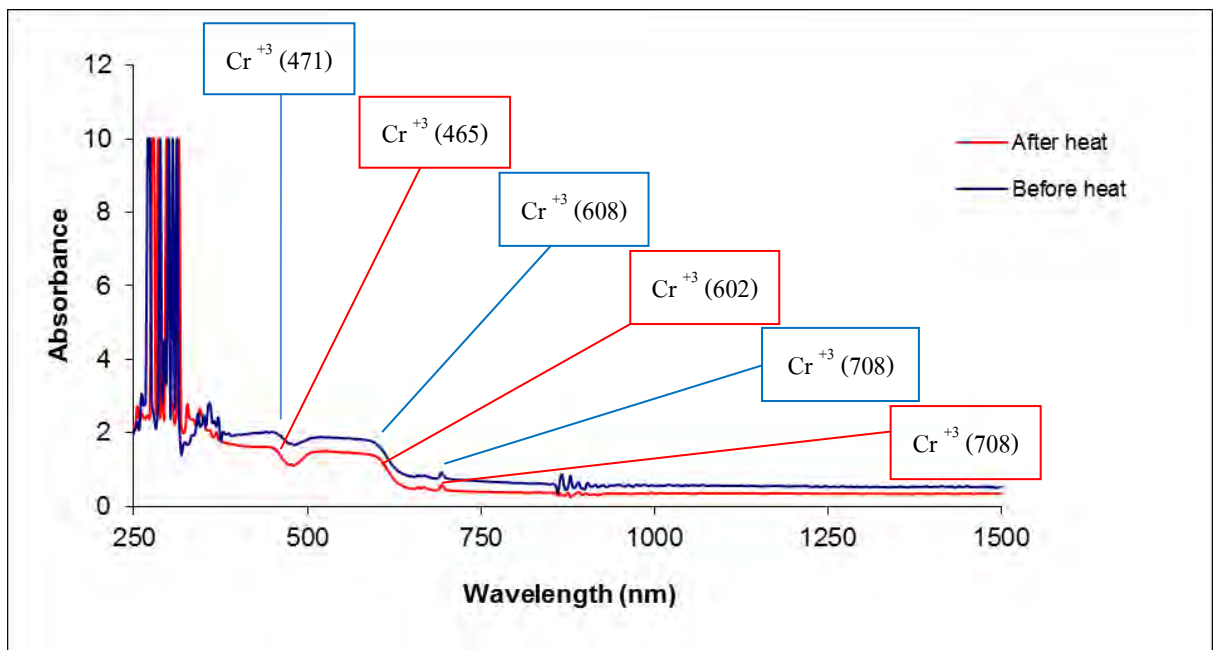
**UV-VIS-NIR** ค่าจากการศึกษารูปแบบการดูดกลืนด้วยแสงด้วยเครื่องมือ UV-VIS-NIR จากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR หลังการเผาของพลอยทับทิมแลงมอนเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก กลุ่ม T และ กลุ่ม S แสดงข้อมูลบางส่วนในภาคผนวก ข-5 และ ข-6 ตามลำดับ

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T) ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR กลุ่ม T แสดงตัวอย่างไว้ในรูป 3.19 โดยทั่วไปพบเพียงการดูดกลืนของ  $\text{Cr}^{3+}$  ที่ตำแหน่งประมาณ 444 และ 597 nm อย่างชัดเจน หลังการปรับปรุงคุณภาพตำแหน่งการดูดกลืน  $\text{Cr}^{3+}$  อยู่ที่ประมาณ 453 และ 600



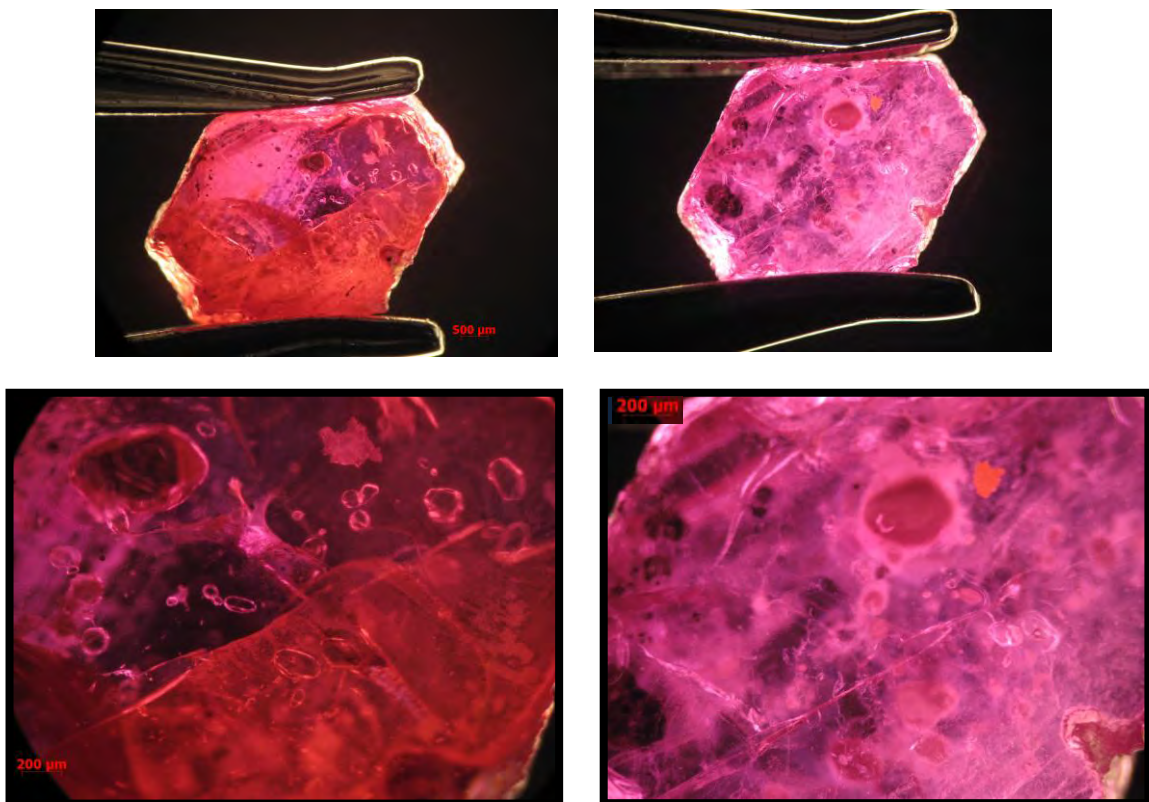
รูปที่ 3.19 การดูดกลืนช่วง UV-VIS-NIR เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพกลุ่ม T (ตัวอย่าง T4-12)

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S) ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR กลุ่ม T แสดงตัวอย่างไว้ในรูป 3.20 โดยทั่วไปพบเพียงการดูดกลืนของ Cr<sup>3+</sup> ที่ตำแหน่งประมาณ 471 608 และ 708 nm อย่างชัดเจน หลังการปรับปรุงคุณภาพตำแหน่งการดูดกลืน Cr<sup>3+</sup> อยู่ที่ประมาณ 463 602 และ 708



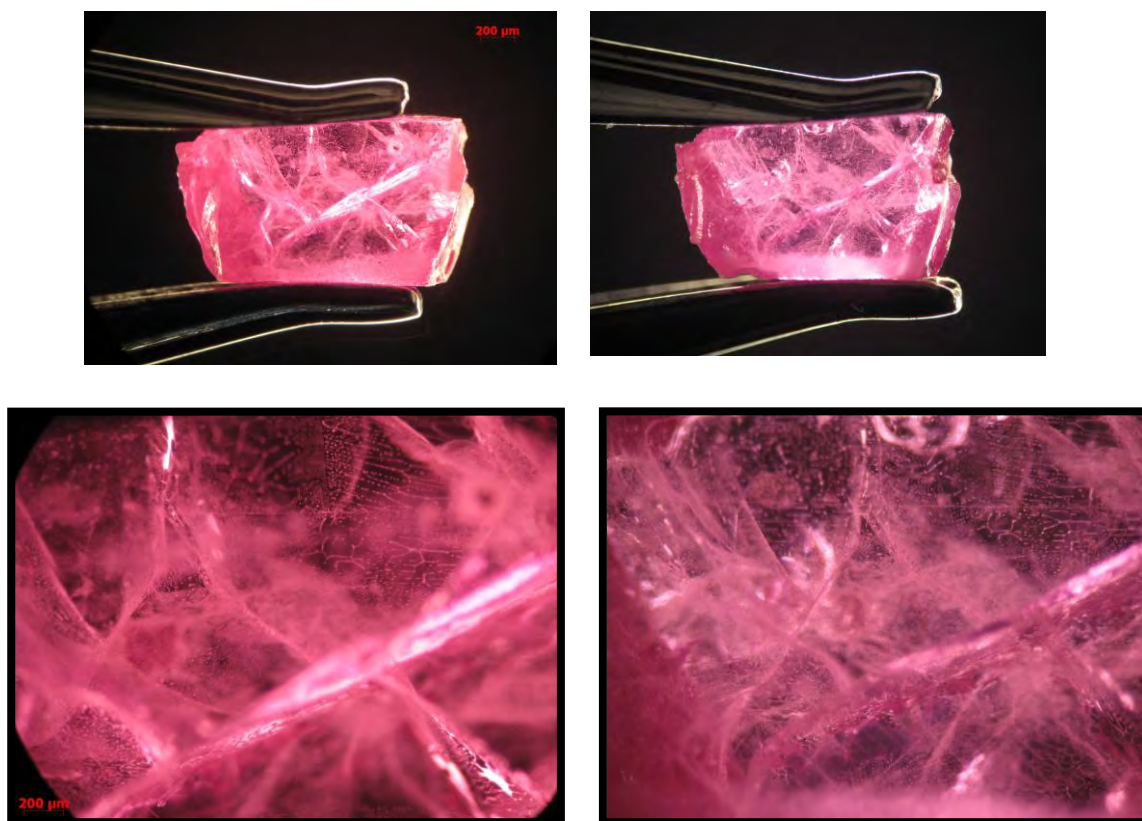
รูปที่ 3.20 การดูดกลืนช่วง UV-VIS-NIR เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพกลุ่ม S (ตัวอย่าง S2-1)

Gemological microscope จากการศึกษาลักษณะมลทินภายในของพลอยทับทิมด้วยเครื่องมือ Gemological microscope หลังการปรับปรุงคุณภาพพบว่าพลอยในกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูงภายในมีการประสานกันของรอยแตกเล็กน้อยเท่านั้นทำให้พลอยใสขึ้นไม่มากนัก มีเพียงบางตัวอย่างเท่านั้นที่พลอยมีความใสโดยสมบูรณ์ พบการพัฒนาของสารคงค้างของสารประกอบแก้วบอแรกซ์ ทำให้พลอยมีความขุ่นมากขึ้นกว่าเดิม (รูปที่ 3.21 และ รูปที่ 3.22) พลอยกลุ่มคุณภาพต่ำ พบว่ารอยแตกในเนื้อพลอยดูลดลงพลอยมีความโปร่งใสมากยิ่งขึ้น แสดงลักษณะการวาบแสงสีน้ำเงิน และที่ผิวพลอยแสดงความวาวที่แตกต่างกันระหว่างเนื้อพลอยและแก้วตะกั่วที่เข้าไปแทรกตามรอยแตกของพลอย (รูปที่ 3.23 และรูปที่ 3.24) แสดงภาพตัวอย่างอื่นๆในภาคผนวก ข-7



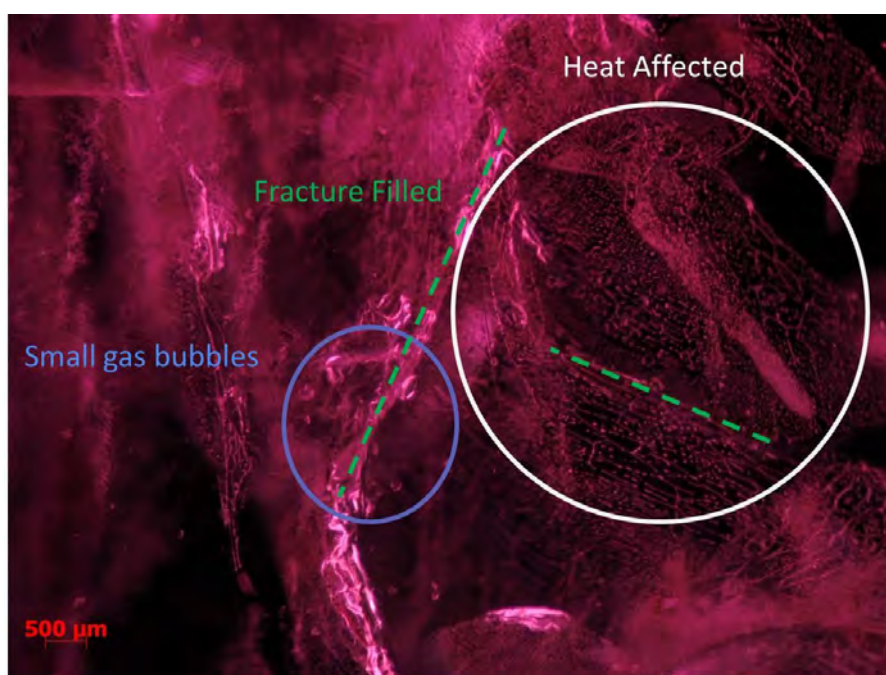
ตัวอย่างพลอยทับทิม T6-3



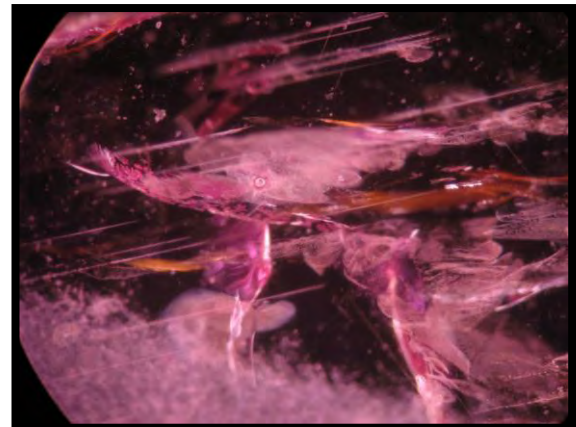
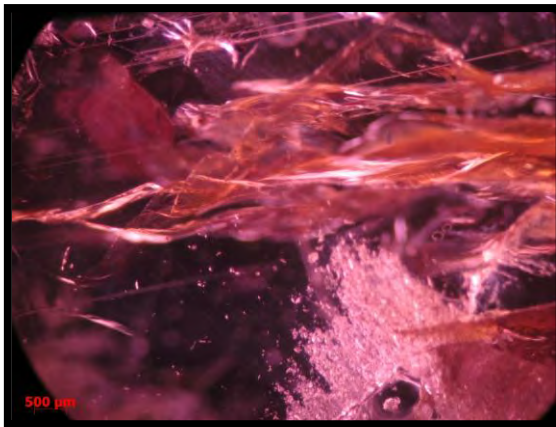
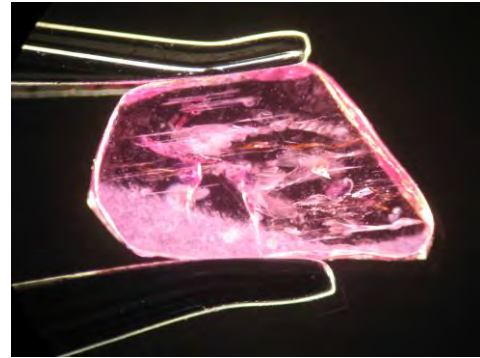
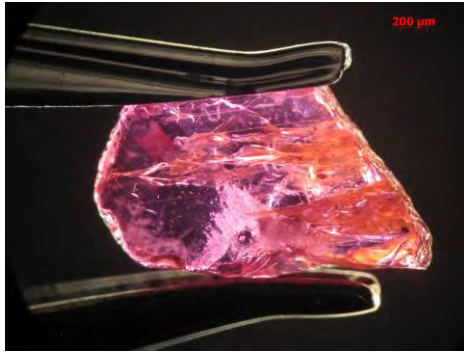


ตัวอย่างพลอยทับทิม T6-7

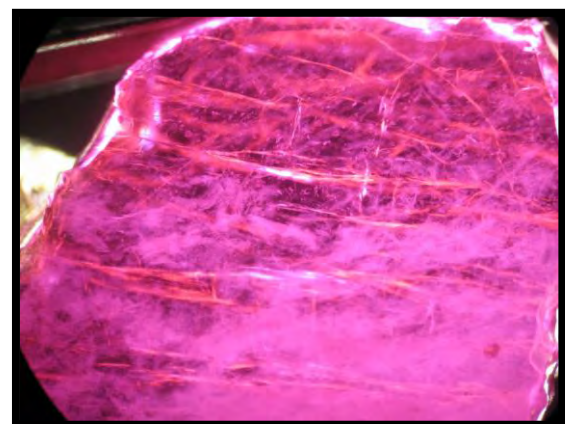
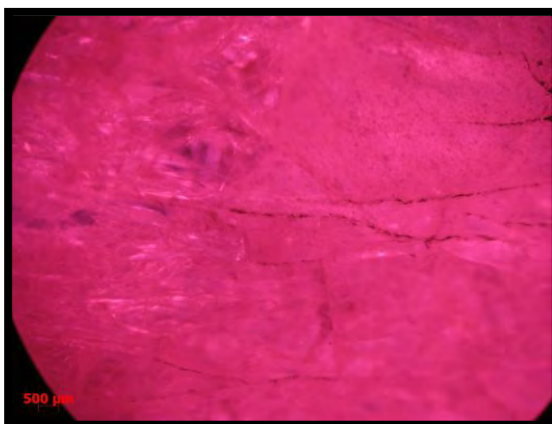
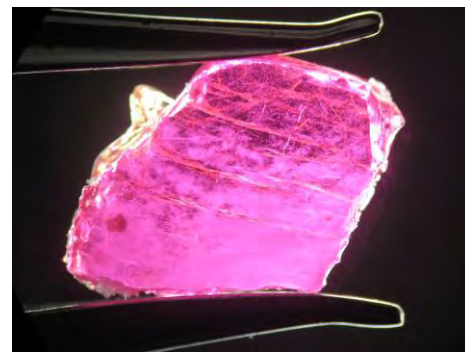
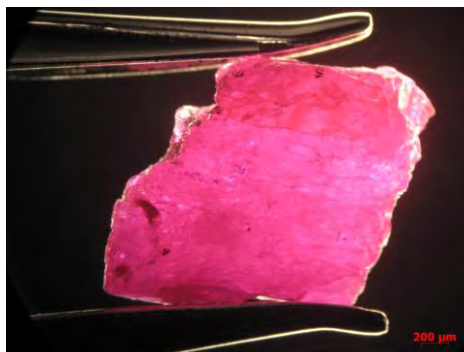
รูปที่ 3.21 ภาพเปรียบเทียบก่อนและหลังการเผาของพลอยกลุ่ม T



รูปที่ 3.22 ภาพแสดงลักษณะภายในของพลอยทับทิมกลุ่ม T หลังการปรับปรุงคุณภาพ

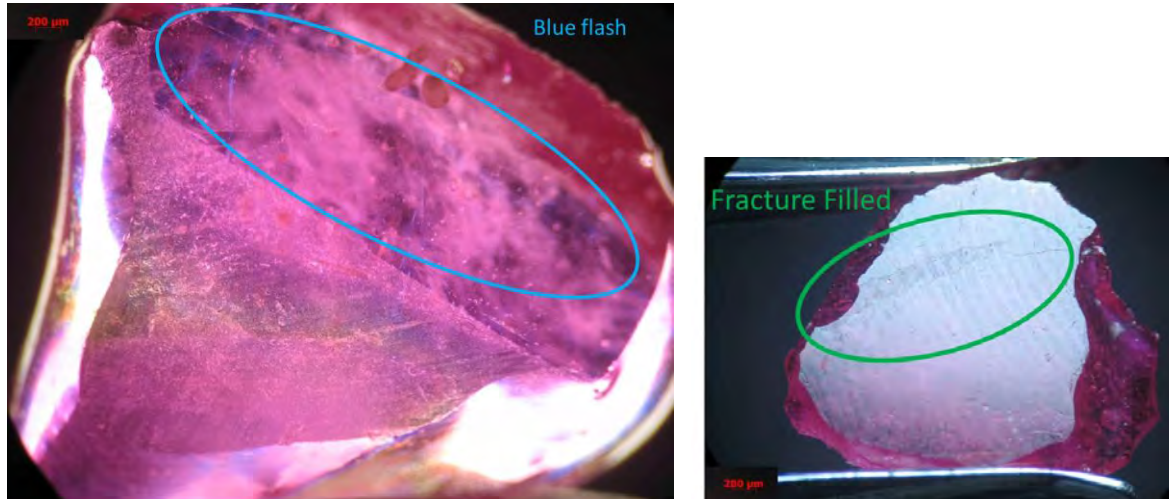


ตัวอย่างพลอยทับทิม S4-1



ตัวอย่างพลอยทับทิม S5-2

รูปที่ 3.23 ภาพเปรียบเทียบก่อนและหลังการเผาของพลอยกลุ่ม S



รูปที่ 3.24 ภาพแสดงลักษณะวาบแสงสีน้ำเงิน และ ความวาวที่แตกต่างกันที่ผิวพลอยทับทิมกลุ่ม S

### 3.3.3 องค์ประกอบเคมีของพลอยทับทิม

EDXRF ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องมือ Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF) รุ่น EAGLE III ของพลอยทับทิมของพลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง กลุ่ม T และกลุ่มพลอยทับทิมคุณภาพต่ำ กลุ่ม S หลังการปรับปรุงคุณภาพ ผลข้อมูลบางส่วนแสดงในภาคผนวก ข-8 และ ข-9 ตามลำดับ และสรุปผลค่าสถิติของผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลอยได้ดังนี้

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T) พบว่าหลังการปรับปรุงคุณภาพมี  $\text{SiO}_2$  เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.96% และมีการปนเปื้อนของ  $\text{PbO}_2$  ต่ำมาก แสดงข้อมูลเปรียบเทียบดังตารางที่

3-9

ตารางที่ 3-9 แสดงค่าสถิติของผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิม เปรียบเทียบก่อนและ  
หลังการปรับปรุงคุณภาพ ตัวอย่างพลอยกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

ธาตุ	ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ			หลังการปรับปรุงคุณภาพ		
	Min - Max (wt %)	Mean (wt %)	S.D.	Min - Max (wt %)	Mean (wt %)	S.D.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	98.104 - 99.641	99.132	0.388	93.298 - 98.755	97.455	1.483
SiO <sub>2</sub>	-	-	-	0.705 - 6.151	1.961	1.493
PbO <sub>2</sub>	-	-	-	0.000 - 0.038	0.018	0.011
TiO <sub>2</sub>	0.006 - 0.063	0.024	0.013	0.000 - 0.020	0.013	0.006
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.000 - 0.018	0.006	0.005	0.000 - 0.014	0.005	0.004
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.145 - 1.725	0.603	0.342	0.145 - 0.902	0.355	0.200
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.109 - 0.634	0.228	0.116	0.121 - 0.383	0.184	0.073
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.003 - 0.018	0.007	0.003	0.006 - 0.011	0.009	0.002

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S) หลังการปรับปรุงคุณภาพมี SiO<sub>2</sub> เพิ่มขึ้นมา เฉลี่ย  
12.35% และมีการปนเปื้อนของเหล็ก PbO<sub>2</sub> 76.24% แสดงข้อมูลเปรียบเทียบ ดังตารางที่ 3-10

ตารางที่ 3-10 แสดงค่าสถิติของผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิม เปรียบเทียบก่อนและ  
หลังการปรับปรุงคุณภาพ ตัวอย่างพลอยกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)

ธาตุ	ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ			หลังการปรับปรุงคุณภาพ		
	Min - Max (wt %)	Mean (wt %)	S.D.	Min - Max (wt %)	Mean (wt %)	S.D.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	98.887 - 99.670	99.275	0.183	10.169 - 13.063	11.141	1.046
SiO <sub>2</sub>	-	-	-	11.307 - 14.572	12.345	1.246
PbO <sub>2</sub>	-	-	-	71.972 - 78.154	76.239	2.356
TiO <sub>2</sub>	0.004 - 0.080	0.020	0.016	0.000 - 0.089	0.047	0.029
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.000 - 0.019	0.006	0.005	0.000 - 0.051	0.030	0.020
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.138 - 0.851	0.482	0.179	0.037 - 0.083	0.058	0.017
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.110 - 0.486	0.209	0.080	0.067 - 0.090	0.076	0.008
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.003 - 0.013	0.007	0.003	0.028 - 0.145	0.065	0.046

## บทที่ 4

### อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

#### 4.1 อภิปรายผล

จากการศึกษาพลอยทับทิมจำนวน 74 ตัวอย่างจากแหล่งนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ พลอยคุณภาพปานกลาง-สูง มีรอยแตกน้อย-รอยแตกปานกลาง พลอยมีความโปร่งใสไม่มากนัก ได้ถูกนำไปปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมสารประกอบบอแรกซ์ และพลอยกลุ่มคุณภาพต่ำ มีรอยแตกในเนื้อพลอยมากโดยพลอยส่วนมากโปร่งแสงและทึบตันถูกนำไปปรับปรุงคุณภาพโดย การเติมแก้วตะกั่ว ก่อนการปรับปรุงคุณภาพพบว่าในพลอยทั้งสองกลุ่มโดยส่วนใหญ่มักพบมลทินเส้นเข็ม มลทินผลึกแร่ แอคทิโนไลต์ (Actinolite) แร่แคลไซต์ (Calcite) และแร่ฟุกไซต์ (Fuchsite) ตามลำดับ อีกทั้งพบมลทินรอยนิ้วมือ มลทินรูปท้อ และ มลทินสีขาวขุ่น ลักษณะโดยทั่วไปของพลอยทั้งสองกลุ่มมีสมบัติทางกายภาพและทางแสงที่แสดงในช่วงปกติของพลอยคอรัันดัมทั่วไป การดูดกลืนแสงโดยเครื่อง FTIR แสดงการดูดกลืนของ  $H_2O$  แสดงถึงการความชื้นในโครงสร้าง, C-H Stretching แสดงถึงอาจมีคราบไขมันหรือน้ำมันติดกับผิวตัวอย่าง,  $CO_2$  จากช่องว่างในพลอย และ การดูดกลืนของ AIOOH ในช่วงของ Boemite สำหรับการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR แสดงการดูดกลืนของ  $Cr^{3+}$  ซึ่งเป็นธาตุร่องรอยที่ทำให้เกิดสีแดงในพลอยทับทิม การศึกษาองค์ประกอบเคมีพบ  $Al_2O_3$  ปริมาณสูง ซึ่งเป็นธาตุหลักในพลอยคอรัันดัม อีกทั้งพบว่าธาตุร่องรอยที่สำคัญส่วนใหญ่ประกอบด้วย  $Cr_2O_3$  และ  $Fe_2O_3$  สูงกว่าธาตุร่องรอยอื่นๆซึ่ง  $Fe_2O_3$  นี้เองทำให้พลอยมีสีอมส้ม ขณะที่  $G_2O_3$  และ  $V_2O_5$  มีแนวโน้มต่ำกว่าธาตุร่องรอยอื่นๆ และ  $TiO_2$  มีปริมาณสูงกว่า  $G_2O_3$  และ  $V_2O_5$  เพียงเล็กน้อย จากการจำแนกสีของทั้งสองกลุ่มตามมาตรฐานสีของ GIA แบ่งออกเป็น 6 กลุ่มสี คือ กลุ่มสีแดง กลุ่มสีแดง-ม่วง กลุ่มสีแดงอมม่วง กลุ่มสีแดง-ส้ม กลุ่มสีแดงอมส้ม และกลุ่มสีส้มอมแดง

หลังการปรับปรุงคุณภาพพบว่าพลอยกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง มีสมบัติทางกายภาพค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงนัก แต่อาจมีน้ำหนักของพลอยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย พบว่าการดูดกลืนของ AIOOH ในสเปกตรัม FTIR ของบางตัวอย่างหายไปหลังการปรับปรุงคุณภาพอันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพรูปแบบนี้ค่อนข้างสูงทำให้ Boemite (AIOOH) สลายตัวได้ ภายในเนื้อพลอยทับทิม มีการเชื่อมประสานกันของรอยแตกเล็กน้อย ยังคงมีการแสดงร่องรอยของสารคงค้างที่แทรกตามรอยแตก อีกทั้งมีการพัฒนามลทินจากสารคงค้างในเนื้อพลอยเพิ่มมากขึ้น พลอยจึงมีความใสขึ้นไม่มากนัก บางตัวอย่าง

ทำให้พลอยมีความขุ่นมากขึ้นกว่าเดิม เป็นส่วนน้อยเท่านั้นที่พลอยใสโดยสมบูรณ์ พบธาตุองค์ประกอบมี Si เพิ่มขึ้นสาเหตุจากสารที่เข้าไปมีส่วนประกอบของ Si นั้นเอง สำหรับพลอยกลุ่มคุณภาพต่ำ หลังการปรับปรุงคุณภาพ พบสมบัติทางกายภาพค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกัน แต่น้ำหนักของพลอยเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเพราะมีน้ำหนักของแก้วตะกั่วจากการปรับปรุงคุณภาพเข้าไปตามรอยแตก การดูดกลืนของ AIOOH ในสเปกตรัม FTIR น้อยลงเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพรูปแบบนี้ค่อนข้างต่ำทำให้ AIOOH สลายตัวไปได้ไม่หมด แต่มีการดูดกลืนของแก้วตะกั่วเพิ่มเข้ามา ภายในเนื้อพลอยพบแก้วตะกั่วเข้าไปอุดตามรอยแตกของพลอยด้วยดัชนีหักเหแสงของแก้วที่มีมากกว่าพลอยทำให้บดบังรอยแตกของพลอยไว้ และมีแก้วตะกั่วบางส่วนเคลือบที่ผิวพลอย เกิดลักษณะวาบแสงสีน้ำเงินเนื่องจากสารแก้วตะกั่วที่แทรกตามรอยแตกในเนื้อพลอย พบฟองก๊าซในบางตัวอย่าง รอยแตกในเนื้อในพลอยมองเห็นได้น้อย พลอยมีความโปร่งใสเพิ่มขึ้นชัดเจน องค์ประกอบธาตุ Pb และ Si มีปริมาณสูงขึ้นชัดเจน โดยพลอยทั้ง 2 กลุ่มมีการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ไม่มากนักทำให้เห็นสีแดงเข้มขึ้น แต่ก็เข้มขึ้นไม่มากนักเช่นเดียวกัน

## 4.2 สรุปผลการศึกษา

1. พลอยทับทิมแล่งมอนเตปวยซ์ พบลักษณะมลทินเส้นเข็ม มลทินผลึกแร่ แอคทีโนไลต์ (Actinolite) แร่แคลไซต์ (Calcite) และแร่ฟุกไซต์ (Fuchsite) ตามลำดับ อีกทั้งพบมลทินรอยนิ้วมือ มลทินรูปท่อ และ มลทินสีขาวขุ่น
2. หลังการปรับปรุงคุณภาพพบว่าพลอยกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง มีสมบัติทางกายภาพค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงนัก แต่อาจมีน้ำหนักของพลอยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อีกทั้งพบว่าการดูดกลืนของ AIOOH ในสเปกตรัม FTIR ของบางตัวอย่างหายไปหลังการปรับปรุงคุณภาพ โดยภายในพลอยทับทิม มีการเชื่อมประสานกันของรอยแตกเล็กน้อย แต่กลับมีการพัฒนามลทินจาก residual เพิ่มขึ้น พลอยจึงมีความใสขึ้นไม่มากนัก เป็นส่วนน้อยเท่านั้นที่พลอยใสโดยสมบูรณ์ พบธาตุองค์ประกอบมี Si เพิ่มขึ้น

3. สำหรับพลอยกลุ่มคุณภาพต่ำ หลังการปรับปรุงคุณภาพ พบสมบัติทางกายภาพค่อนข้างคงที่ เช่นเดียวกัน แต่น้ำหนักของพลอยเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด การดูดกลืนของ AIOOH ในสเปกตรัม FTIR น้อยลง แต่มีการดูดกลืนของแก้วตะกั่วเพิ่มเข้ามา ภายในพลอยพบแก้วตะกั่วเข้าไปอุดตามรอยแตกของพลอยและมีบางส่วนเคลือบผิวพลอยไว้ เกิดลักษณะวาบแสงสีน้ำเงิน รอยแตกในเนื้อในพลอยมองเห็นได้น้อย พลอยมีความโปร่งใสเพิ่มขึ้นชัดเจน องค์ประกอบธาตุ Pb และ Si มีปริมาณสูงขึ้นชัดเจน
4. พลอยทั้ง 2 กลุ่มมีการเปลี่ยนแปลงสีทำให้เห็นมีสีแดงที่เข้มขึ้นเล็กน้อย
5. พลอยทับทิมแหล่งมอญเตปวยซ์จึงจัดว่าสามารถนำไปปรับปรุงคุณภาพได้ทั้ง 2 รูปแบบ ทั้งนี้ ขึ้นกับคุณภาพเริ่มต้นของตัวอย่างพลอย โดยส่วนมากพลอยทับทิมแหล่งมอญเตปวยซ์นี้จะเหมาะกับการปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมแก้วตะกั่วมากกว่าเพราะทำให้พลอยมีความใสขึ้นมากกว่า รอยแตกดูลดลง

## เอกสารอ้างอิง

- บุญนิจน์ ปาตัน. 2548. ลักษณะเฉพาะของพลอยทับทิมที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพโดยการเติมแก้วผสมตะกั่ว. ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภัทรา ศรีทุนะโยธิน. 2551. แซปไฟร์สีดำนับปรับปรุงคุณภาพโดยการเติมสารชนิดแก้วตะกั่วในรอยแตก. สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) จาก [www.git.or.th](http://www.git.or.th) ( สิงหาคม , 2554 ).
- สุรชาติ ศิริไพศาลพัฒน์ ศุภกิจ อาชีวะวานิช เมทินี พรหมสุรินทร์ นัทธมน คุณแสง สุรพล ภัทราคร สุดจิตร สงวนเรือง ทิพยมนต์ ภัทราคร. 2543. การเผาทับทิมมอซุมบิกในสภาพบรรยากาศออกซิเดชัน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 38 สาขาประมงและสาขาวิทยาศาสตร์ 1-4 กุมภาพันธ์ 2543. กรุงเทพฯ : หน้า 447-453.
- Department of Peacekeeping Operations, Cartographic Section., 2004. Map No. 3706 Rev. 5 United Nation. Available at <http://www.un.org/depts/Cartographic/map/profile/mozambiq.pdf> (August, 2011)
- GIT Gem Testing Laboratory (GIT-GTL)., 2010. New ruby deposits in Mozambique. The Gem and Jewelry Institute of Thailand (Public Organization). Available at [www.git.or.th](http://www.git.or.th) (August, 2011).
- Pardieu, V., Jacquat, S., Senoble, J.B., Bryl, L.P., Hughes, R.W. and Smith, M., 2009. Expedition report to the Ruby mining sites in Northern Mozambique (Niassa and Cabo Delgalo provinces). On-going Research. The Gem and Jewelry Institute of America. Available at [www.giathai.net/lab.php](http://www.giathai.net/lab.php) (August, 2011).
- Pekkala, Y., Lehto, T. and Lehtonen, M. I., 2008. Introduction to GTK projects in Mozambique 2002–2007. Geological Survey of Finland, Special Paper 48: page 7 – 22.
- Themelis, T., 1992. The heat treatment of ruby and sapphire. 1<sup>st</sup> edition, Gem lab Inc. U.S.A. page 26-34.



Wathanakul, P., 1998. Advanced Instrumentations in Gemstone Analysis. Earth Sciences, Dept. of General Science Faculty of Science, Kasetsart University. Available at [www.pirun.ku.ac.th/~fscipww/instrutech.html](http://www.pirun.ku.ac.th/~fscipww/instrutech.html) ( August , 2011 )

### ภาคผนวก ก-1

ลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทับทิม แหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมซัมบิก กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

No.	Sample ID.	Size(ct.)	Color	RI		Birefringence	SG	Fluorescence	
				$n_e$	$n_o$			SW	LW
1	T1-1	0.421	R 7/3	1.762	1.769	0.007	3.947	Modurate (Red)	Strong (Red)
2	T1-2	1.080	R 7/3	1.764	1.770	0.006	3.971	Modurate (Red)	Strong (Red)
3	T1-3	1.280	R 7/3	1.761	1.769	0.008	3.974	Weak (Red)	Modurate (Red)
4	T1-4	0.480	R 7/3	1.760	1.770	0.010	4.004	Weak (Red)	Strong (Red)
5	T1-6	0.679	R 5/3	1.766	1.769	0.003	3.969	Weak (Red)	Strong (Red)
6	T1-8	0.245	R 7/3	1.768	1.772	0.004	4.021	Innert (Red)	Strong (Red)
7	T1-9	0.757	R 7/3	1.762	1.770	0.008	3.954	Weak (Red)	Strong (Red)
8	T1-10	7.244	R 6/5	1.765	1.773	0.008	3.952	Weak (Red)	Modurate (Red)
9	T1-11	6.377	R 6/5	1.760	1.768	0.008	3.968	Weak (Red)	Strong (Red)
10	T2-1	0.620	stpR 6/4	1.760	1.768	0.008	4.068	Modurate (Red)	Strong (Red)
11	T2-3	1.545	stpR 5/4	1.762	1.770	0.008	3.931	Weak (Red)	Modurate (Red)
12	T2-4	0.790	stpR 6/4	1.760	1.769	0.009	3.974	Modurate (Red)	Strong (Red)
13	T2-5	0.810	stpR 6/4	1.761	1.770	0.009	4.019	Modurate (Red)	Strong (Red)

ลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทับทิม แหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมซัมบิก กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

No.	Sample ID.	Size(ct.)	Color	RI		Birefringence	SG	Fluorescence	
				$n_e$	$n_o$			SW	LW
14	T2-6	0.805	stpR 6/3	1.760	1.770	0.010	3.994	Weak (Red)	Strong (Red)
15	T2-7	0.745	stpR6/3	1.761	1.769	0.008	4.050	Weak (Red)	Strong (Red)
16	T2-8	0.850	stpR 6/4	1.762	1.770	0.008	3.999	Modurate (Red)	Strong (Red)
17	T2-10	0.870	stpR 2/3	1.767	1.770	0.003	3.951	Weak (Red)	Strong (Red)
18	T2-11	0.418	stpR 6/4	1.759	1.770	0.011	3.920	Innert (Red)	Strong (Red)
19	T2-12	0.846	stpR 2/3	1.762	1.770	0.008	4.018	Weak (Red)	Strong (Red)
20	T2-13	0.655	slpR 6/3	1.760	1.770	0.010	3.967	Weak (Red)	Strong (Red)
21	T2-14	0.684	slpR 6/3	1.761	1.770	0.009	4.039	Modurate (Red)	Strong (Red)
22	T2-15	0.898	slpR 6/3	1.765	1.771	0.006	3.937	Weak (Red)	Strong (Red)
23	T2-16	0.537	slpR 6/3	1.761	1.769	0.008	3.950	Weak (Red)	Strong (Red)
24	T2-17	0.488	slpR 6/3	1.759	1.769	0.010	4.038	Weak (Red)	Strong (Red)
25	T2-18	0.758	slpR 6/3	1.760	1.770	0.010	3.992	Weak (Red)	Strong (Red)
26	T3-1	0.438	PR/RP 5/3	1.762	1.770	0.008	3.940	Weak (Red)	Strong (Red)
27	T3-2	0.768	PR/RP 5/3	1.760	1.770	0.010	3.997	Weak (Red)	Strong (Red)
28	T3-3	1.319	PR/RP 4/2	1.766	1.769	0.003	3.965	Modurate (Red)	Strong (Red)

ลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทับทิม แหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมซัมบิก กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

No.	Sample ID.	Size(ct.)	Color	RI		Birefringence	SG	Fluorescence	
				$n_e$	$n_o$			SW	LW
29	T3-4	0.549	PR/RP 5/3	1.761	1.769	0.008	3.918	Modurate (Red)	Strong (Red)
30	T4-1	0.831	oR 7/4	1.769	1.771	0.002	4.007	Modurate (Red)	Modurate (Red)
31	T4-2	0.897	oR 8/3	1.762	1.768	0.006	3.908	Modurate (Red)	Strong (Red)
32	T4-3	0.703	oR 8/3	1.762	1.770	0.008	3.933	Modurate (Red)	Strong (Red)
33	T4-4	1.465	oR 8/3	1.759	1.769	0.010	3.981	Modurate (Red)	Strong (Red)
34	T4-5	0.955	oR 4/4	1.762	1.770	0.008	4.019	Modurate (Red)	Strong (Red)
35	T4-6	1.320	oR 8/3	1.756	1.764	0.008	3.965	Modurate (Red)	Strong (Red)
36	T4-7	0.610	oR 8/3	1.760	1.770	0.010	4.023	Weak (Red)	Modurate (Red)
37	T4-8	0.635	oR 4/5	1.761	1.770	0.009	4.002	Modurate (Red)	Strong (Red)
38	T4-9	0.490	oR 8/3	1.763	1.770	0.007	3.973	Weak (Red)	Strong (Red)
39	T4-10	0.882	oR 4/5	1.760	1.770	0.010	4.020	Weak (Red)	Strong (Red)
40	T4-11	1.174	oR 8/3	1.762	1.770	0.008	3.974	Modurate (Red)	Strong (Red)
41	T4-12	0.791	oR 8/3	1.763	1.770	0.007	3.985	Weak (Red)	Strong (Red)
42	T4-13	0.662	oR 8/3	1.762	1.769	0.007	3.980	Modurate (Red)	Strong (Red)
43	T4-14	0.701	oR 4/4	1.760	1.770	0.010	3.952	Modurate (Red)	Strong (Red)

ลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทับทิม แหล่งมอนเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

No.	Sample ID.	Size(ct.)	Color	RI		Birefringence	SG	Fluorescence	
				$n_e$	$n_o$			SW	LW
44	T5-2	1.375	RO/OR 7/4	1.763	1.771	0.008	3.965	Weak (Red)	Modurate (Red)
45	T5-3	0.715	RO/OR 7/4	1.768	1.770	0.002	3.997	Weak (Red)	Modurate (Red)
46	T5-4	0.794	RO/OR 7/4	1.763	1.770	0.007	3.964	Innert (Red)	Weak (Red)
47	T5-5	0.646	RO/OR 7/4	1.768	1.771	0.003	3.976	Weak (Red)	Modurate (Red)
48	T6-1	0.760	rO 4/3	1.761	1.770	0.009	4.005	Modurate (Red)	Strong (Red)
49	T6-2	0.830	rO 4/3	1.760	1.769	0.009	4.053	Weak (Red)	Strong (Red)
50	T6-3	0.990	rO 5/4	1.765	1.773	0.008	3.993	Weak (Red)	Modurate (Red)
51	T6-4	0.365	rO 5/4	1.772	1.778	0.006	4.034	Innert (Red)	Modurate (Red)
52	T6-5	0.650	rO 5/4	1.763	1.770	0.007	4.008	Weak (Red)	Strong (Red)
53	T6-6	0.617	rO 5/4	1.762	1.771	0.009	4.050	Weak (Red)	Strong (Red)
54	T6-7	1.056	rO 5/4	1.768	1.771	0.003	3.970	Weak (Red)	Strong (Red)
55	T6-8	0.940	rO 4/3	1.762	1.768	0.006	4.167	Weak (Red)	Strong (Red)

## ภาคผนวก ก-2

ลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทับทิม แหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมซัมบิก กลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)

No.	Sample ID.	Size(ct.)	Color	RI		Birefringence	SG	Fluorescence	
				$n_e$	$n_o$			SW	LW
56	S1-1	4.172	R 8/2	1.762	1.770	0.008	3.943	Modurate (Red)	Strong (Red)
57	S1-2	0.997	R 7/3	1.760	1.769	0.009	4.067	Innert (Red)	Strong (Red)
58	S1-3	2.554	R 5/3	1.762	1.770	0.008	3.908	Weak (Red)	Strong (Red)
59	S2-1	2.478	stpR 6/4	1.765	1.770	0.005	3.959	Weak (Red)	Strong (Red)
60	S2-2	2.590	stpR 8/3	1.761	1.770	0.009	3.983	Weak (Red)	Strong (Red)
61	S2-3	1.949	stpR 6/4	1.763	1.770	0.007	3.994	Weak (Red)	Strong (Red)
62	S2-4	2.000	stpR 6/4	1.766	1.772	0.006	3.974	Weak (Red)	Strong (Red)
63	S2-5	2.884	slpR 6/3	1.761	1.770	0.009	3.967	Modurate (Red)	Strong (Red)
64	S2-6	1.583	slPR 6/3	1.761	1.770	0.009	4.132	Weak (Red)	Strong (Red)
65	S3-1	1.210	PR/RP 5/3	1.760	1.770	0.010	3.986	Weak (Red)	Strong (Red)
66	S4-1	3.994	oR 8/3	1.768	1.771	0.003	3.951	Modurate (Red)	Strong (Red)
67	S4-2	1.831	oR 8/3	1.762	1.770	0.008	3.973	Weak (Red)	Strong (Red)
68	S4-3	1.221	oR 8/3	1.761	1.768	0.007	3.998	Weak (Red)	Strong (Red)

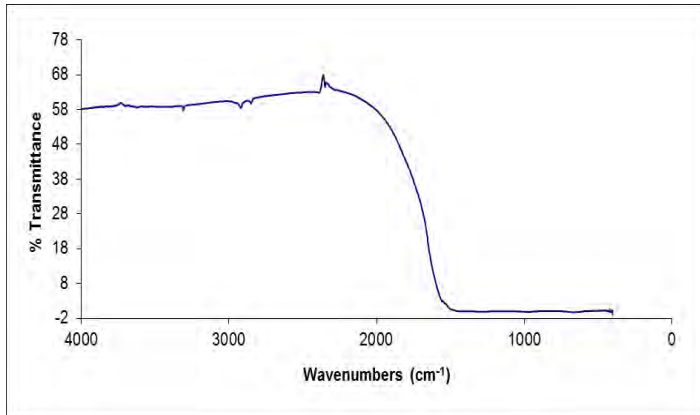
ลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทับทิม แหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมซัมบิก กลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)

No.	Sample ID.	Size(ct.)	Color	RI		Birefringence	SG	Fluorescence	
				$n_e$	$n_o$			SW	LW
69	S4-4	1.228	oR 8/3	1.759	1.769	0.010	3.948	Weak (Red)	Strong (Red)
70	S5-1	1.870	RO/OR 8/2	1.761	1.769	0.008	3.982	Weak (Red)	Modurate (Red)
71	S5-2	3.679	RO/OR 8/2	1.761	1.770	0.009	3.918	Modurate (Red)	Strong (Red)
72	S5-3	1.379	RO/OR 7/4	1.761	1.770	0.009	3.952	Weak (Red)	Modurate (Red)
73	S5-4	2.806	RO/OR 7/4	1.760	1.769	0.009	3.961	Modurate (Red)	Strong (Red)
74	S6-1	1.371	rO 7/3	1.760	1.770	0.010	3.982	Innert (Red)	Modurate (Red)

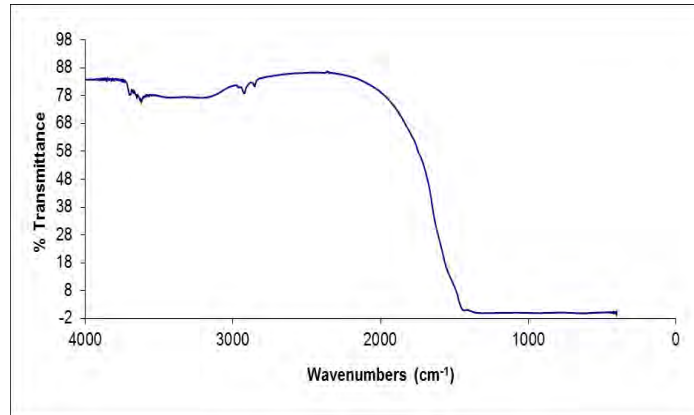
### ภาคผนวก ก-3

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมณฑลยูนนาน ประเทศโมซัมบิก

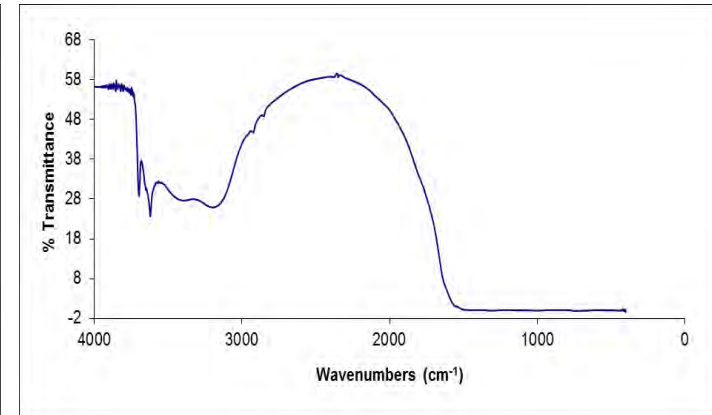
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



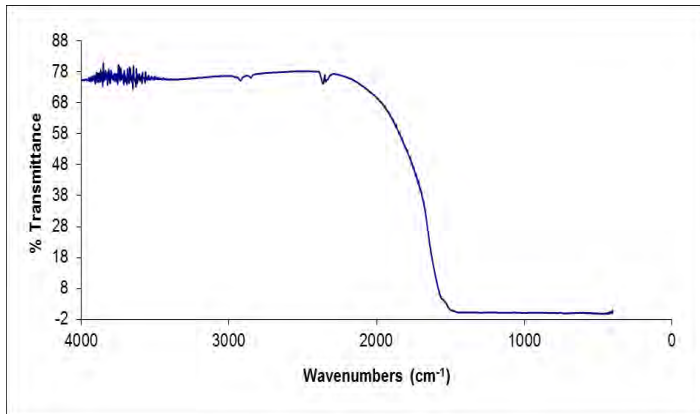
ตัวอย่างทับทิม T1-1



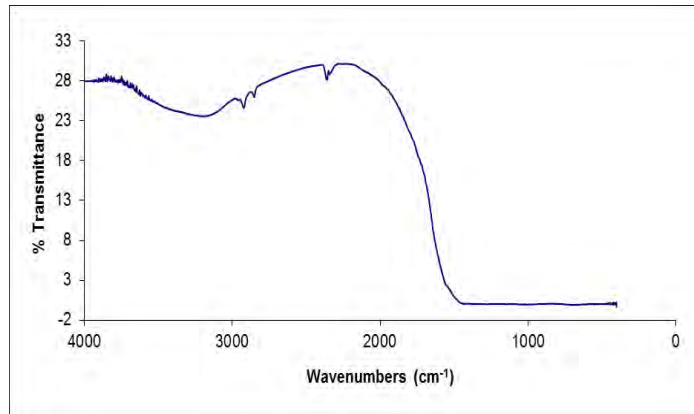
ตัวอย่างทับทิม T1-2



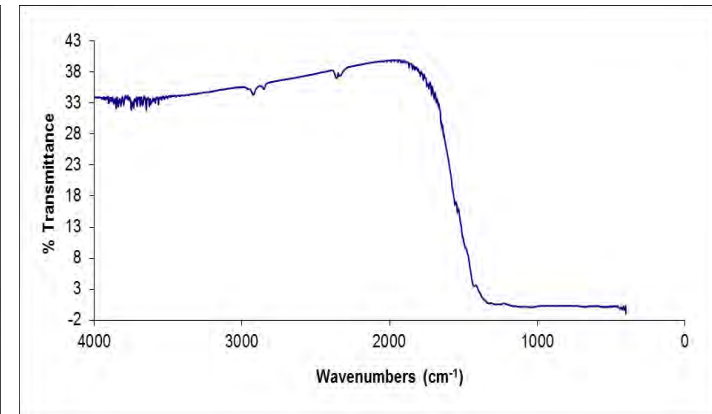
ตัวอย่างทับทิม T1-3



ตัวอย่างทับทิม T1-4



ตัวอย่างทับทิม T1-6

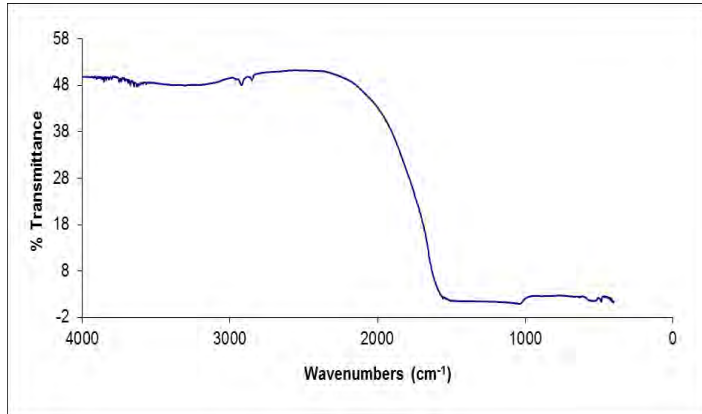


ตัวอย่างทับทิม T1-8

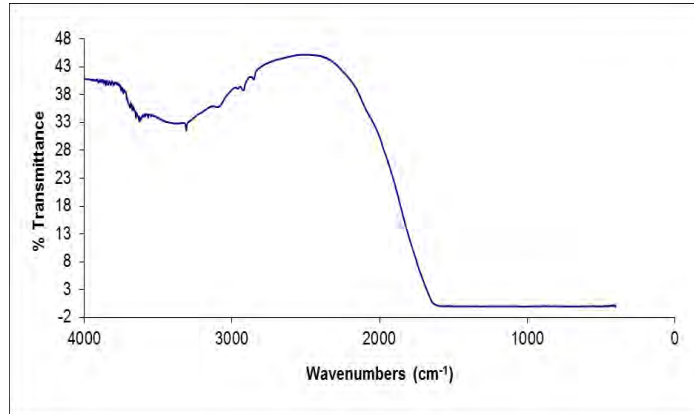


ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมณฑลยวชัย ประเทศโมซัมบิก

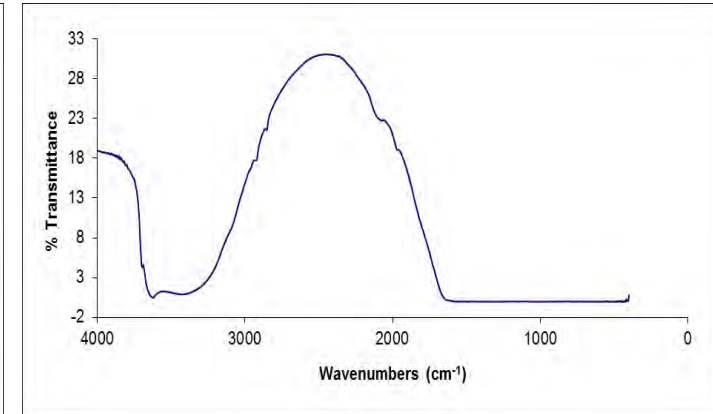
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



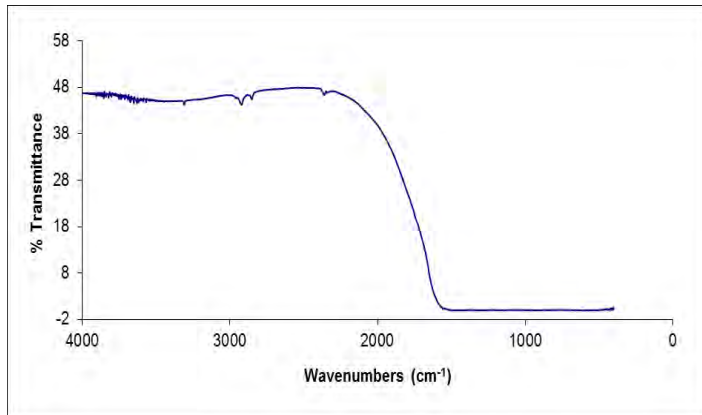
ตัวอย่างทับทิม T1-9



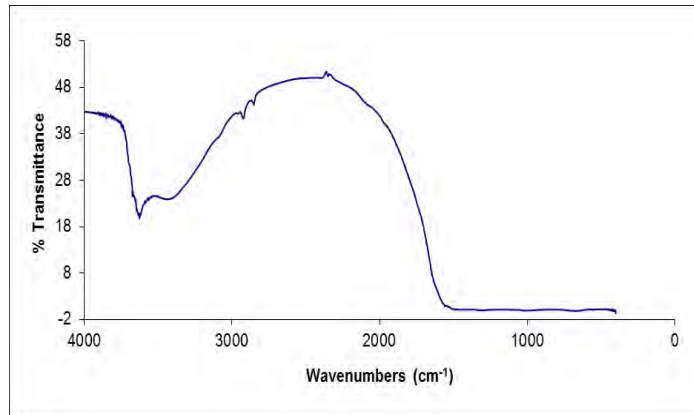
ตัวอย่างทับทิม T1-10



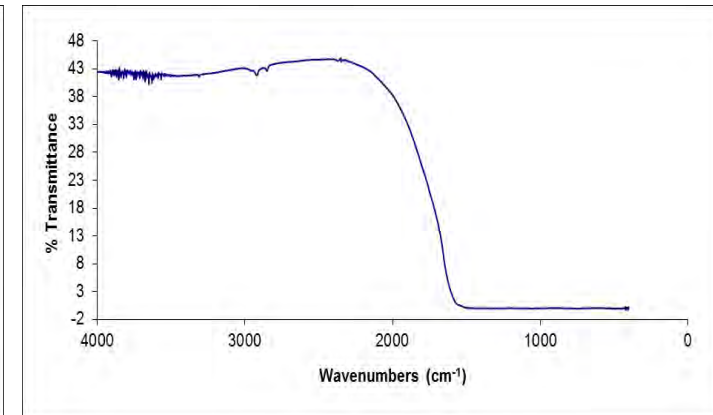
ตัวอย่างทับทิม T1-11



ตัวอย่างทับทิม T2-1



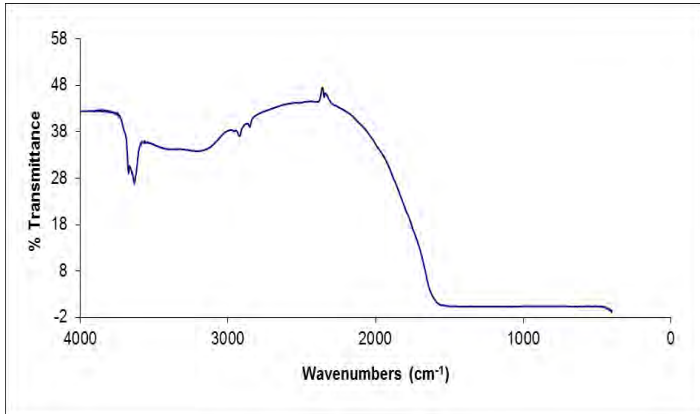
ตัวอย่างทับทิม T2-3



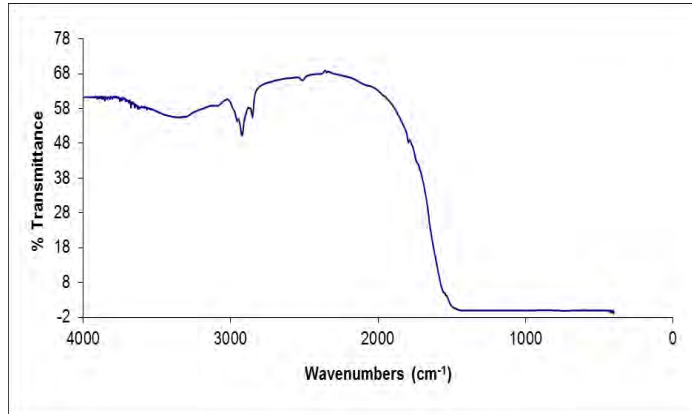
ตัวอย่างทับทิม T2-4

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมณฑลยวชัย ประเทศโมซัมบิก

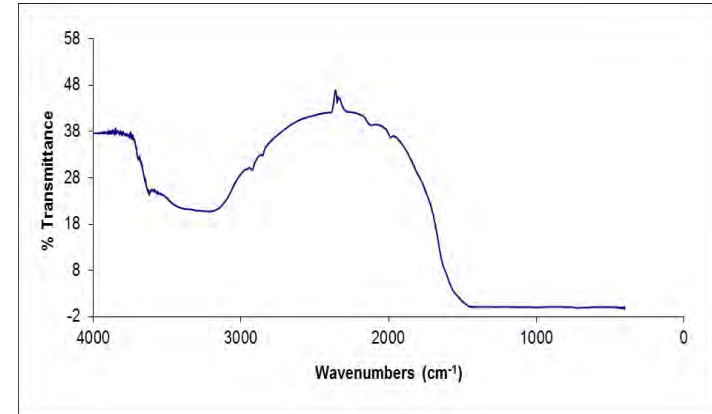
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



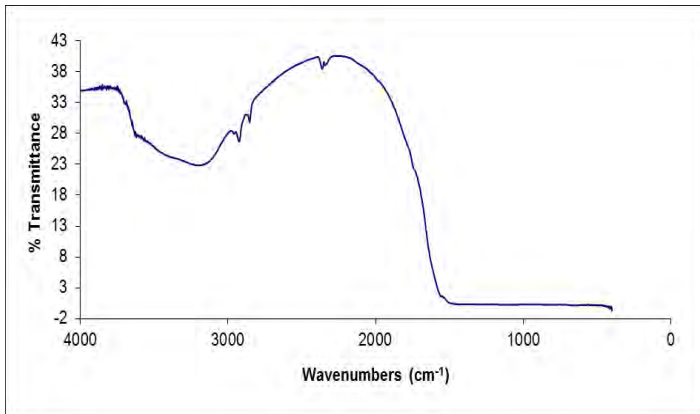
ตัวอย่างทับทิม T2-5



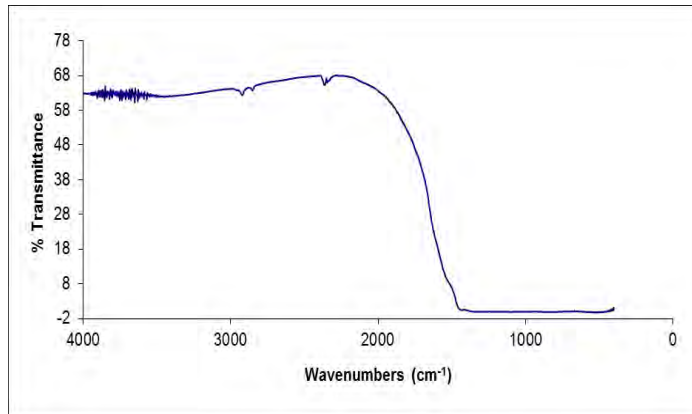
ตัวอย่างทับทิม T2-6



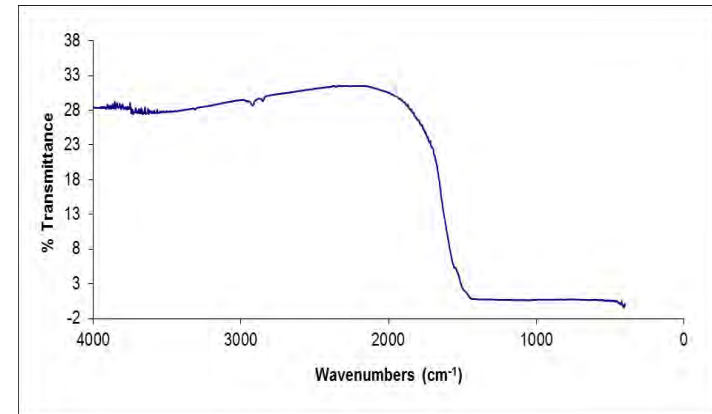
ตัวอย่างทับทิม T2-7



ตัวอย่างทับทิม T2-8



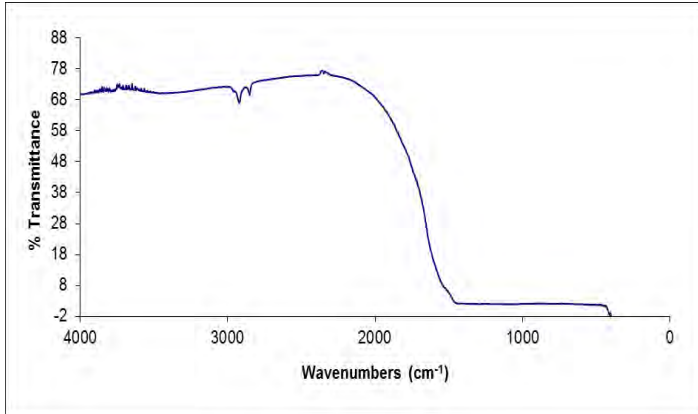
ตัวอย่างทับทิม T2-10



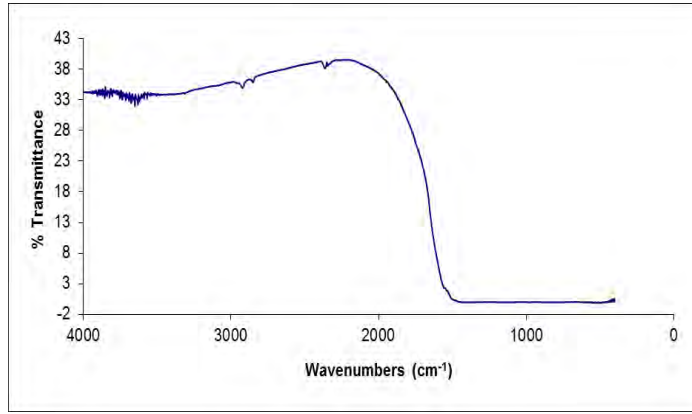
ตัวอย่างทับทิม T2-11

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมณฑลยวชัย ประเทศโมซัมบิก

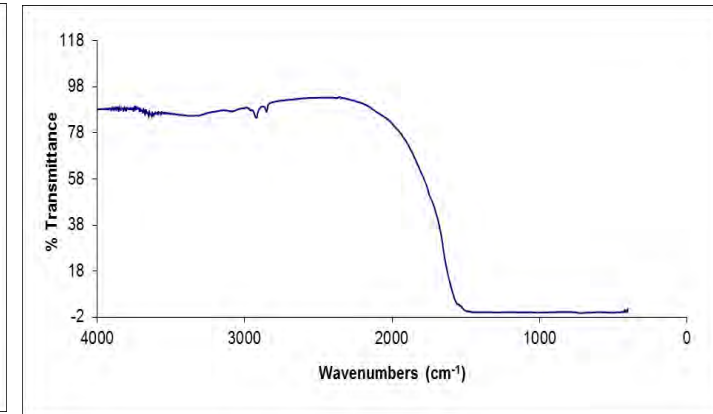
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



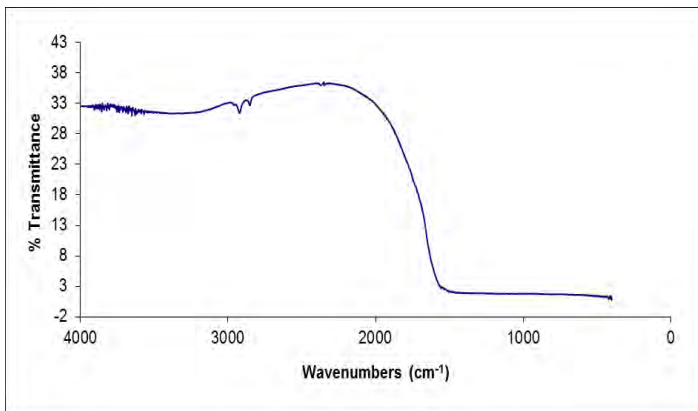
ตัวอย่างทับทิม T2-12



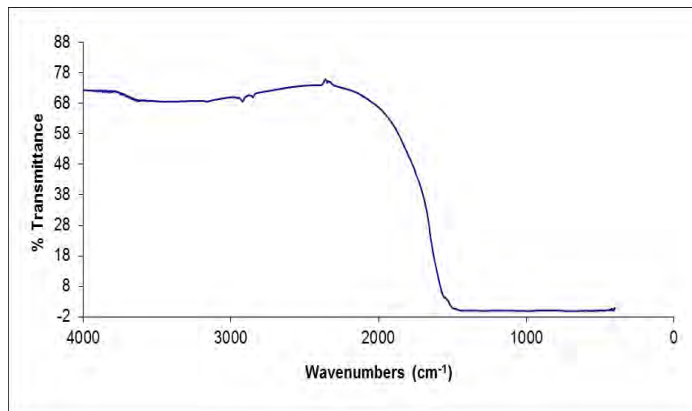
ตัวอย่างทับทิม T2-13



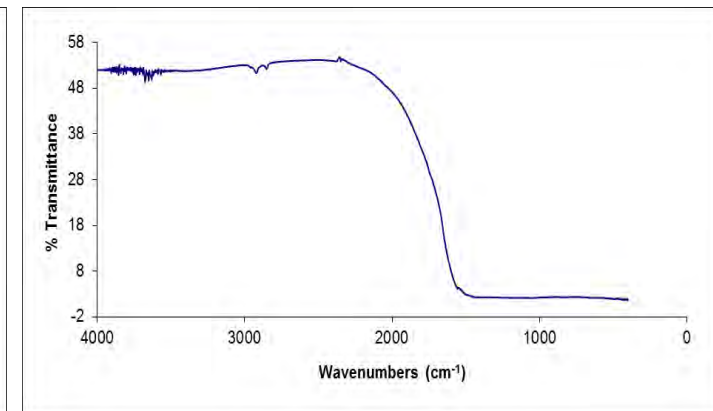
ตัวอย่างทับทิม T2-14



ตัวอย่างทับทิม T2-15



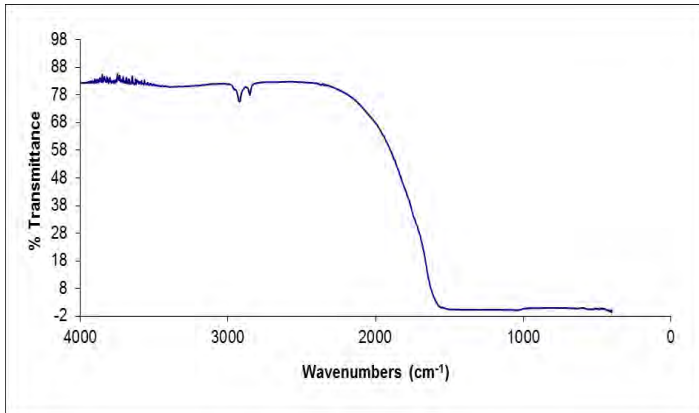
ตัวอย่างทับทิม T2-16



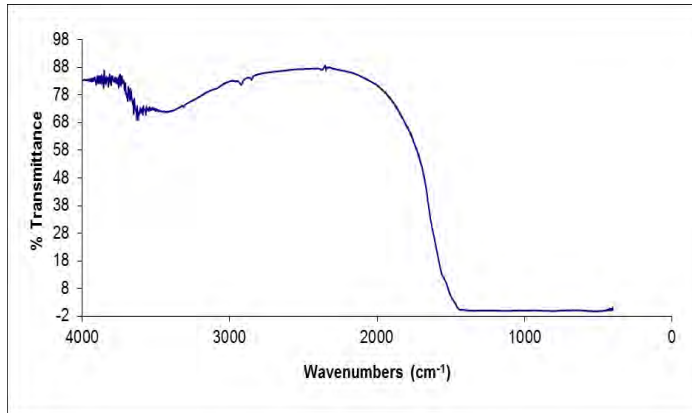
ตัวอย่างทับทิม T2-17

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมณฑลยวชัย ประเทศโมซัมบิก

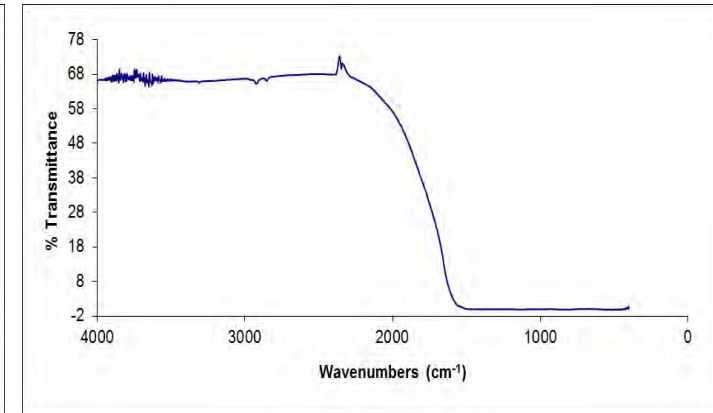
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



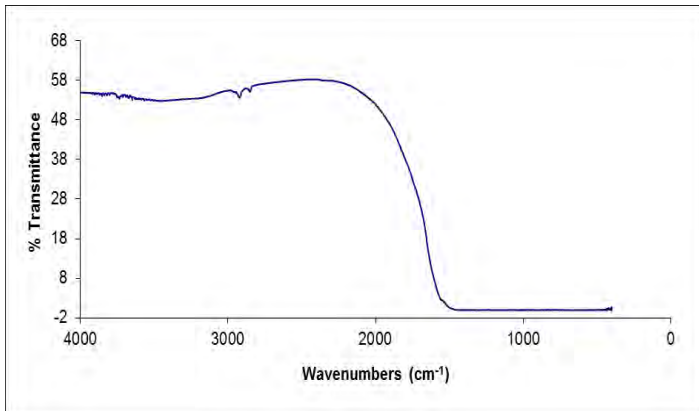
ตัวอย่างทับทิม T2-18



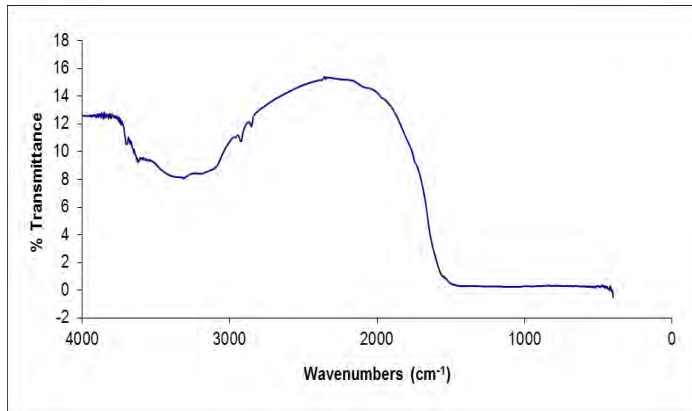
ตัวอย่างทับทิม T3-1



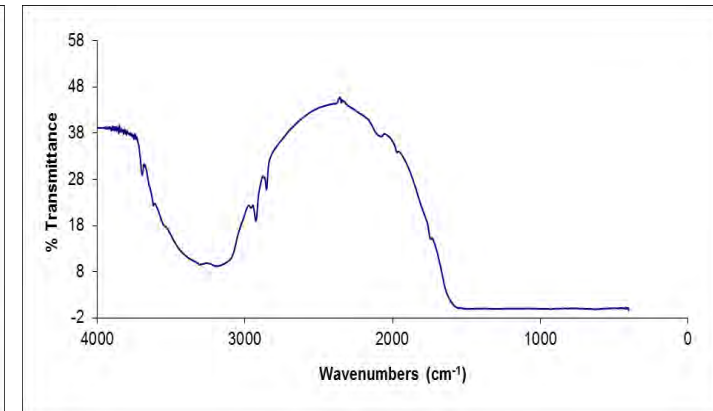
ตัวอย่างทับทิม T3-2



ตัวอย่างทับทิม T3-3



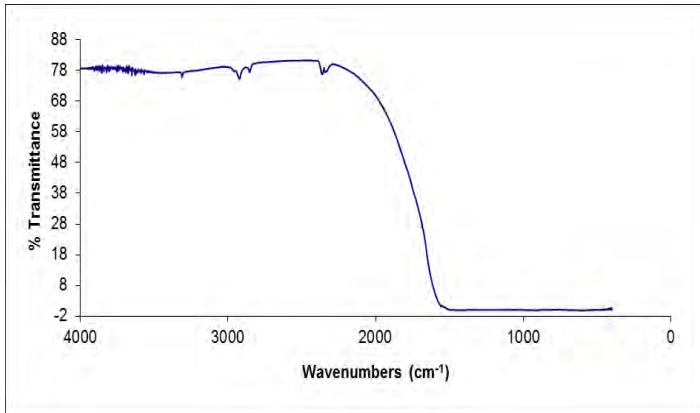
ตัวอย่างทับทิม T3-4



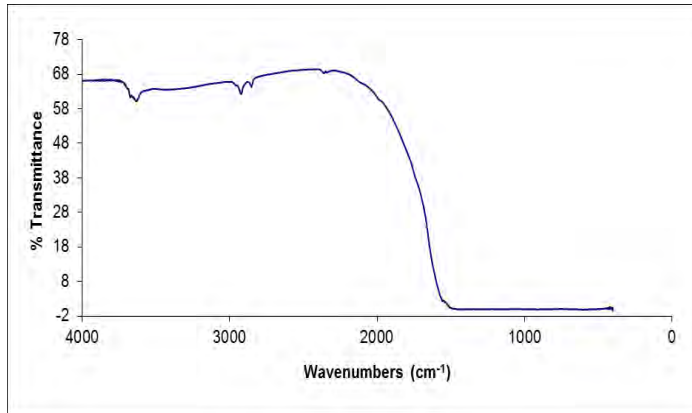
ตัวอย่างทับทิม T4-1

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมณฑลยวชัย ประเทศโมซัมบิก

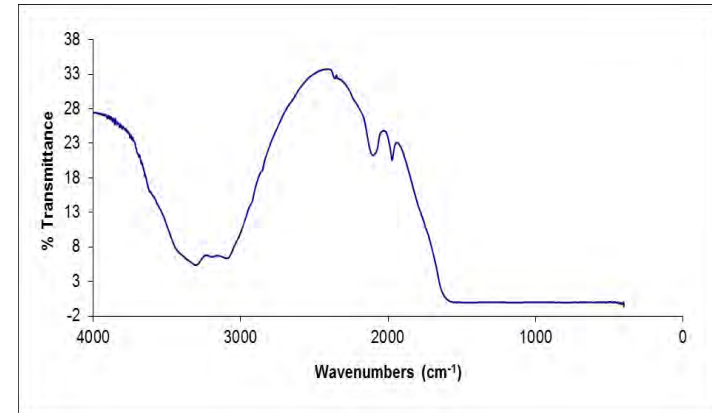
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



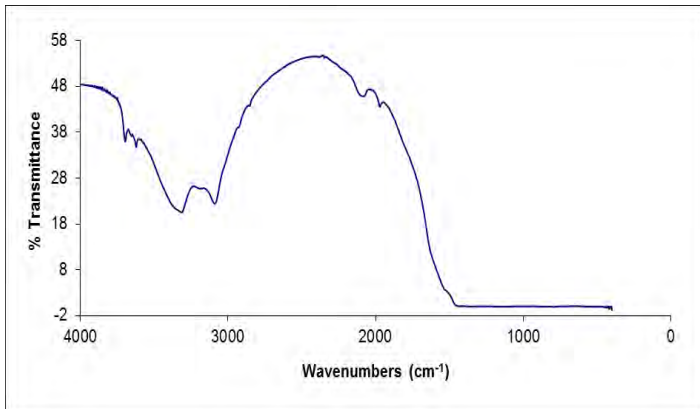
ตัวอย่างทับทิม T4-2



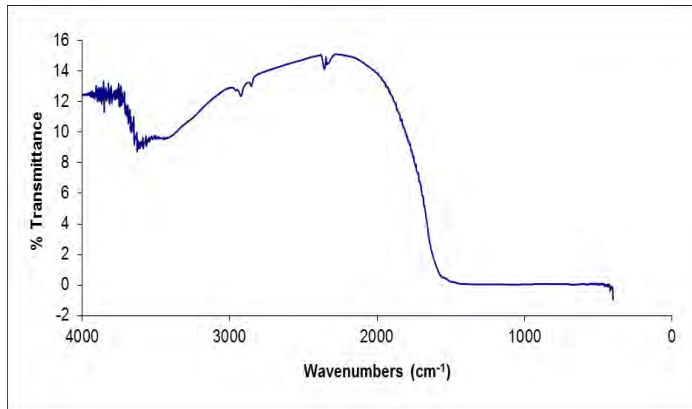
ตัวอย่างทับทิม T4-3



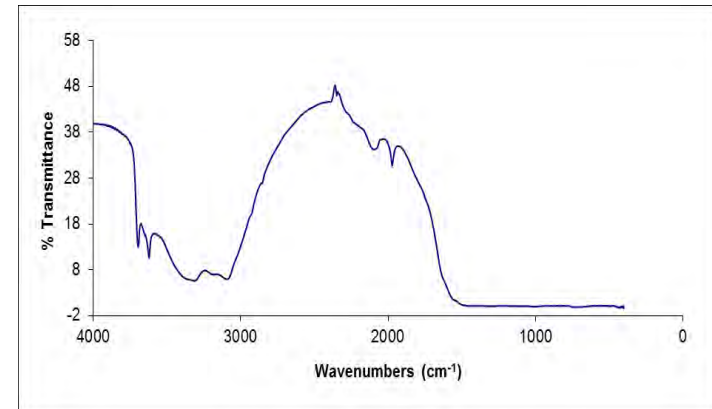
ตัวอย่างทับทิม T4-4



ตัวอย่างทับทิม T4-5



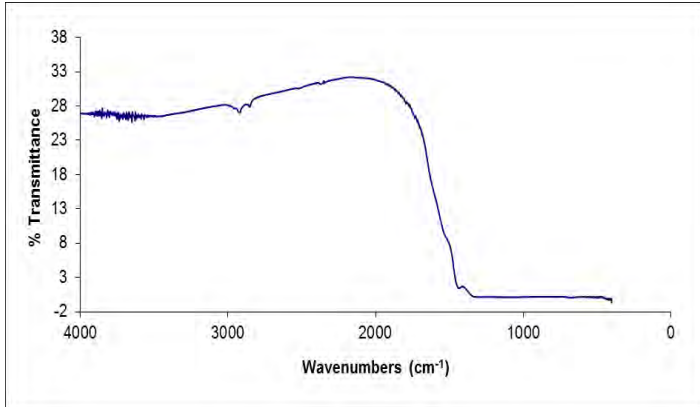
ตัวอย่างทับทิม T4-6



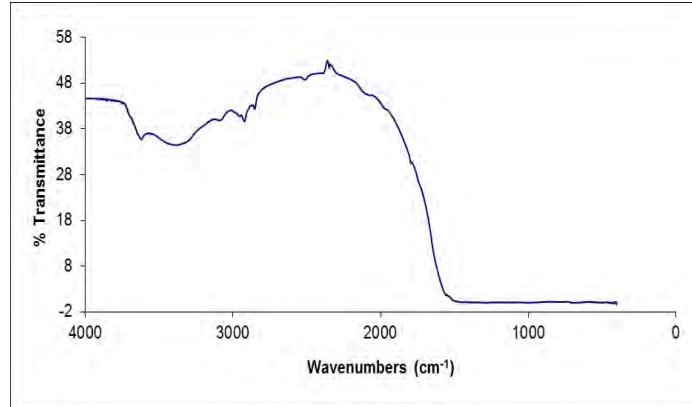
ตัวอย่างทับทิม T4-7

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมณฑลยูนนาน ประเทศโมซัมบิก

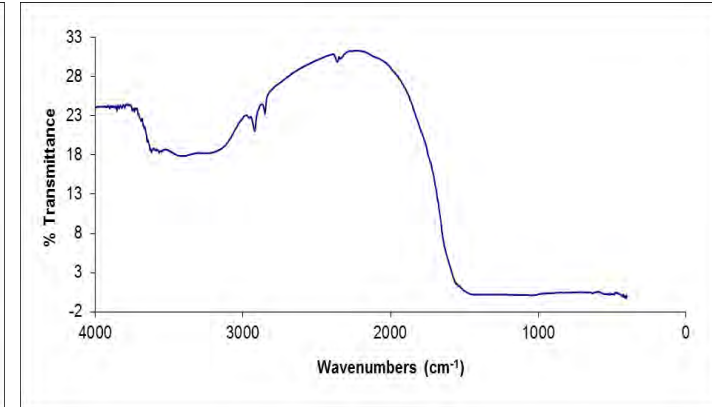
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



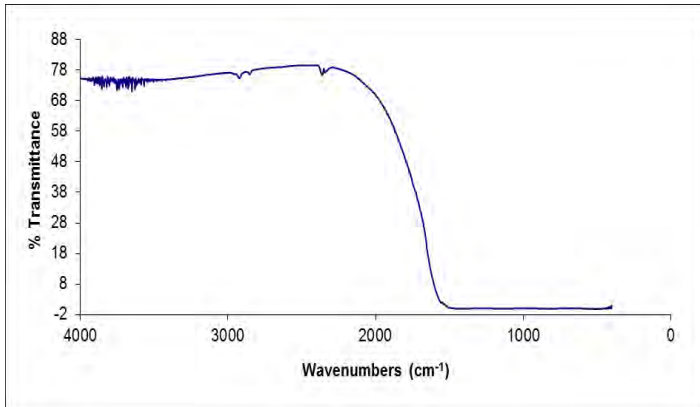
ตัวอย่างทับทิม T4-8



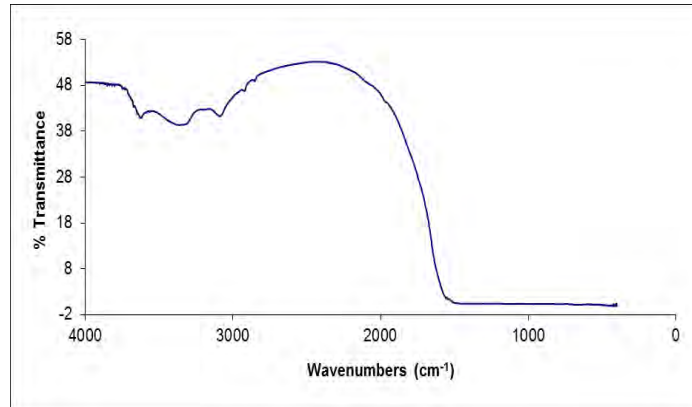
ตัวอย่างทับทิม T4-9



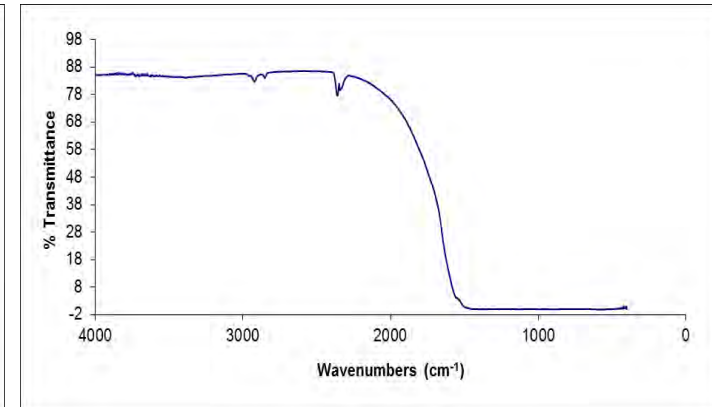
ตัวอย่างทับทิม T4-10



ตัวอย่างทับทิม T4-11



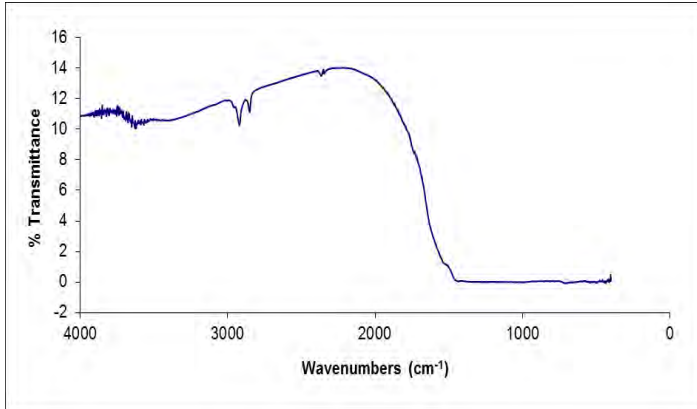
ตัวอย่างทับทิม T4-12



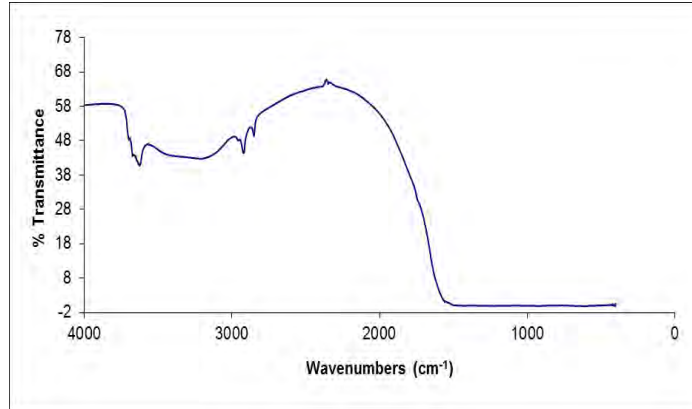
ตัวอย่างทับทิม T4-13

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมณฑลยวชัย ประเทศโมซัมบิก

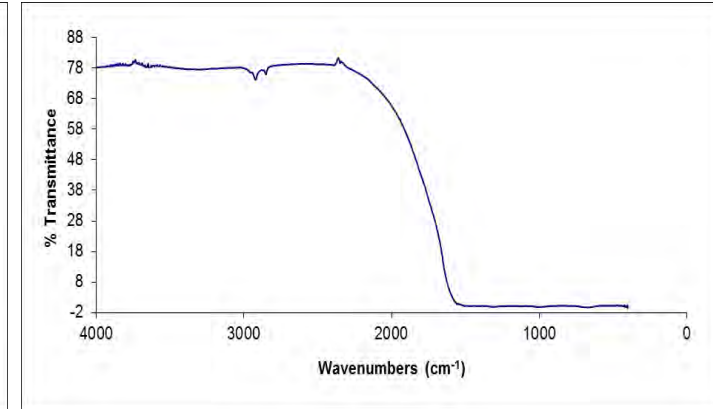
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



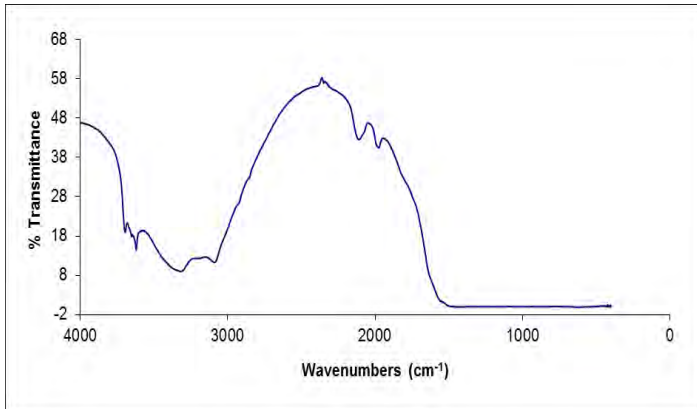
ตัวอย่างทับทิม T4-13



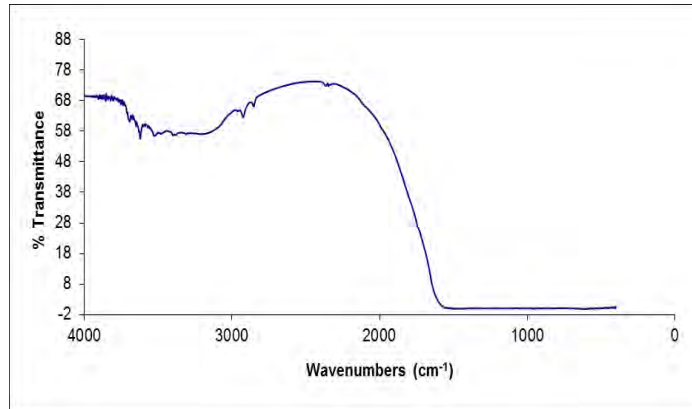
ตัวอย่างทับทิม T5-2



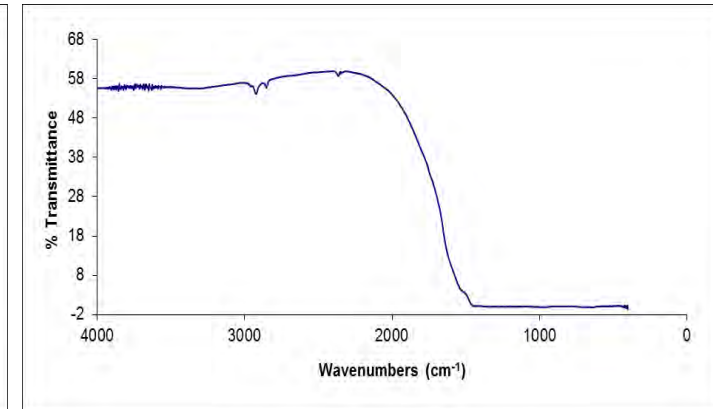
ตัวอย่างทับทิม T5-3



ตัวอย่างทับทิม T5-4



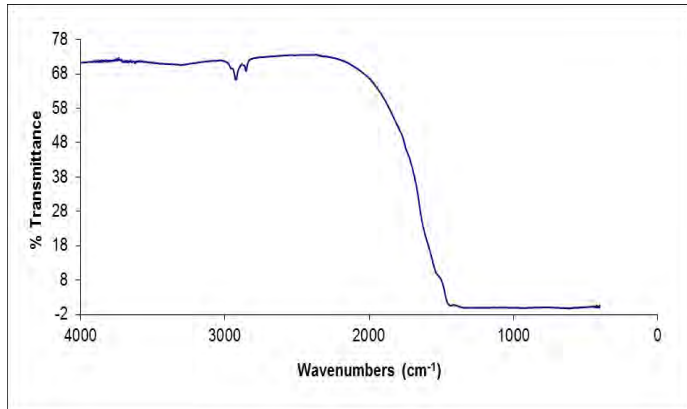
ตัวอย่างทับทิม T5-5



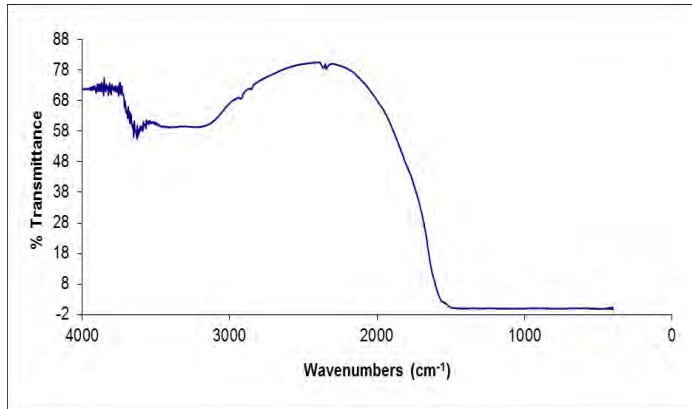
ตัวอย่างทับทิม T6-1

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมณฑลยวชัย ประเทศโมซัมบิก

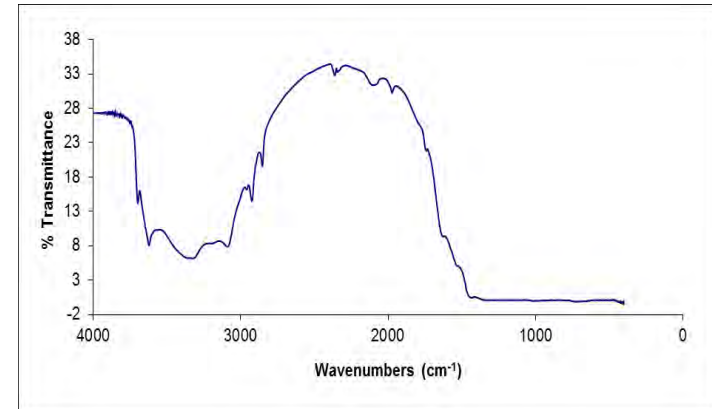
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



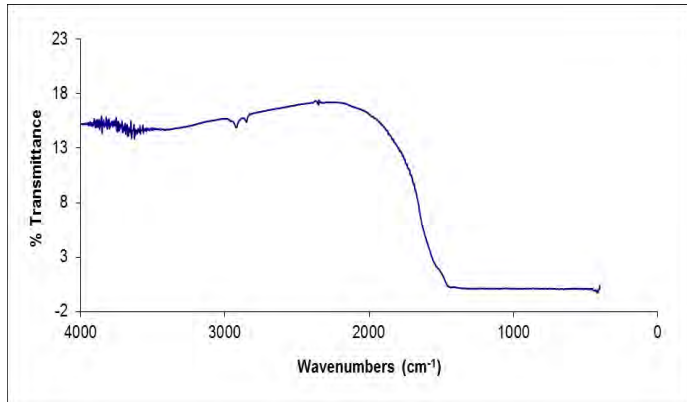
ตัวอย่างทับทิม T6-2



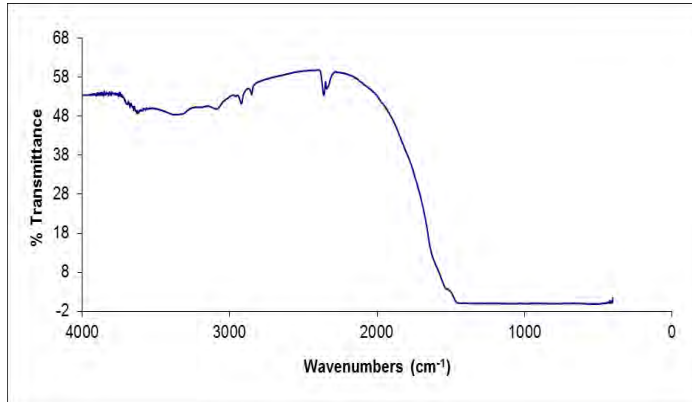
ตัวอย่างทับทิม T6-3



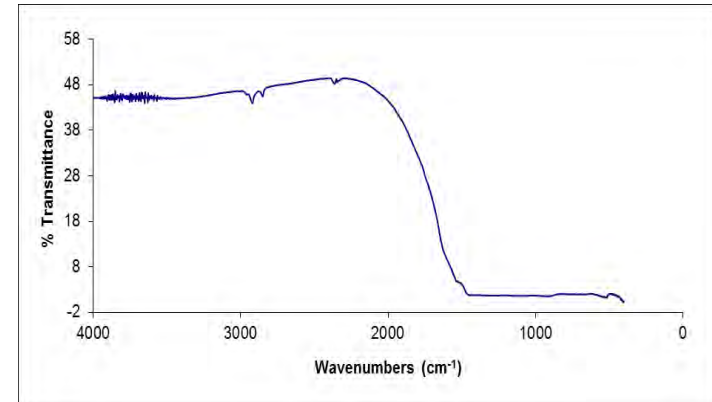
ตัวอย่างทับทิม T6-4



ตัวอย่างทับทิม T6-5



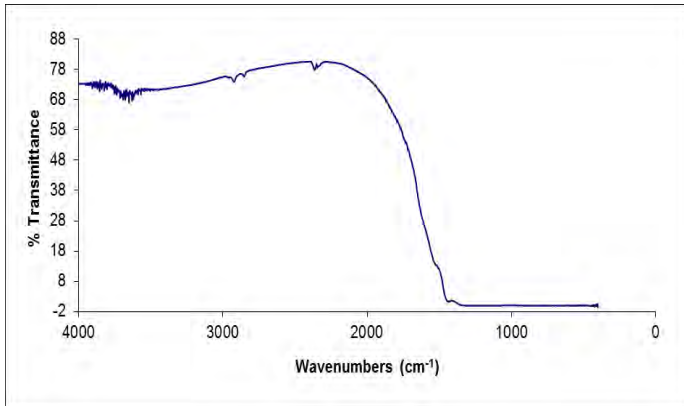
ตัวอย่างทับทิม T6-6



ตัวอย่างทับทิม T6-7



ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมณฑลยวชัย ประเทศโมซัมบิก  
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)

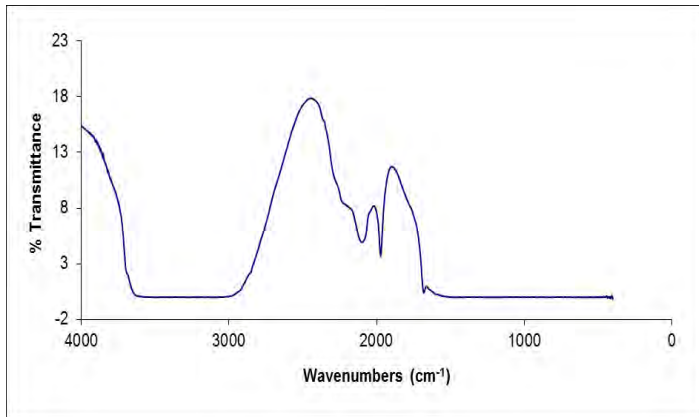


ตัวอย่างทับทิม T6-8

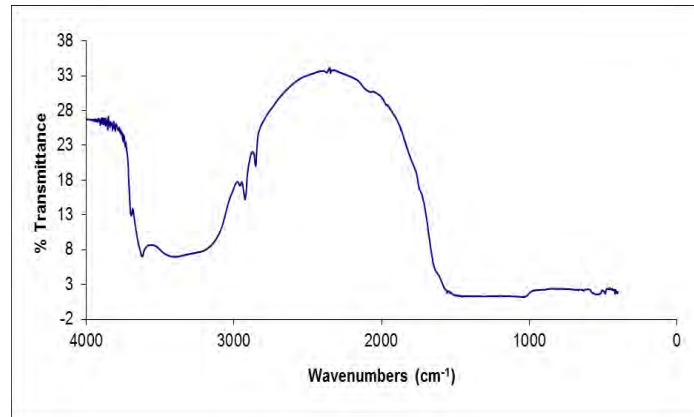
## ภาคผนวก ก-4

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมณฑลยูนนาน ประเทศโมซัมบิก

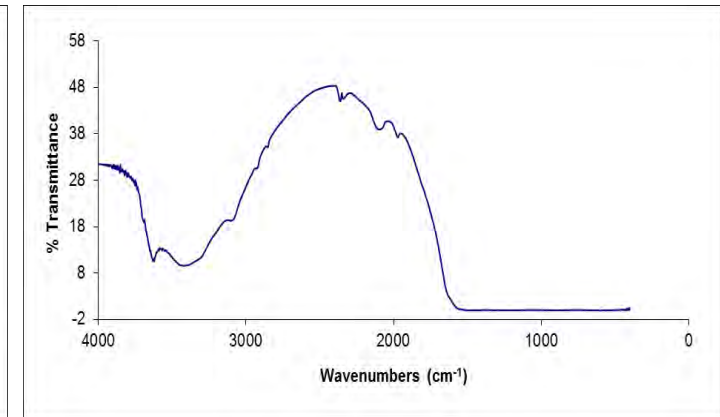
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ(กลุ่ม S)



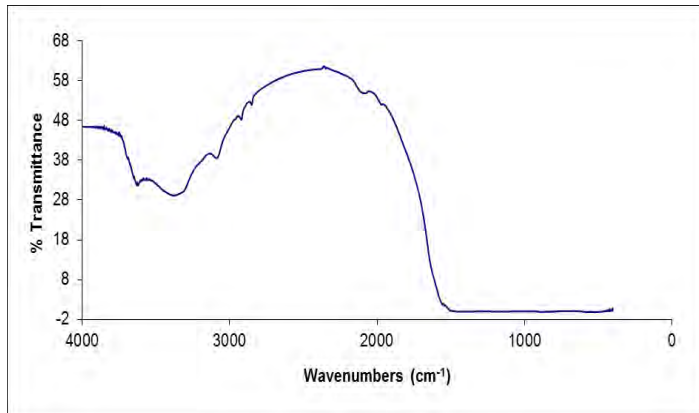
ตัวอย่างทับทิม S1-1



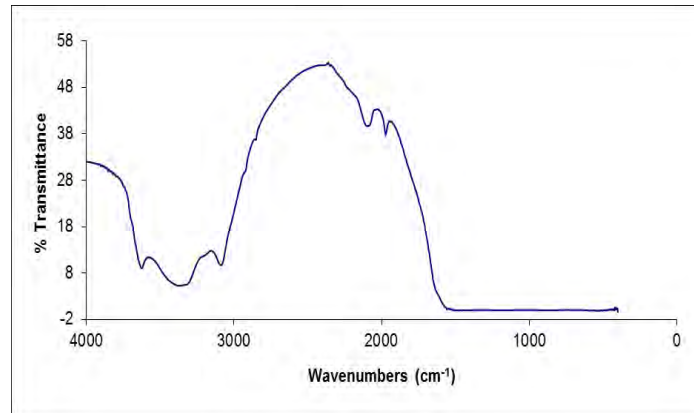
ตัวอย่างทับทิม S1-2



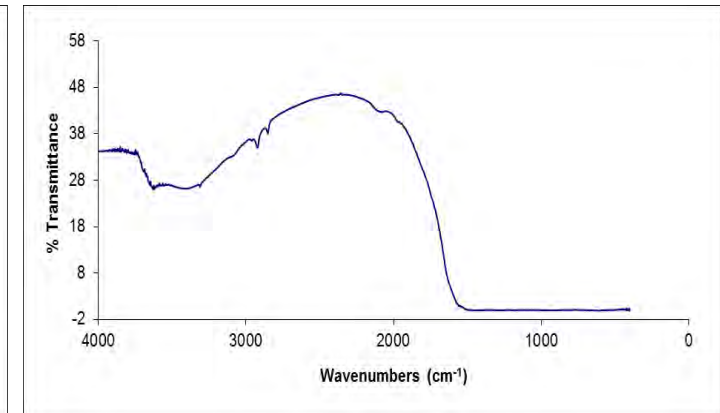
ตัวอย่างทับทิม S1-3



ตัวอย่างทับทิม S2-1



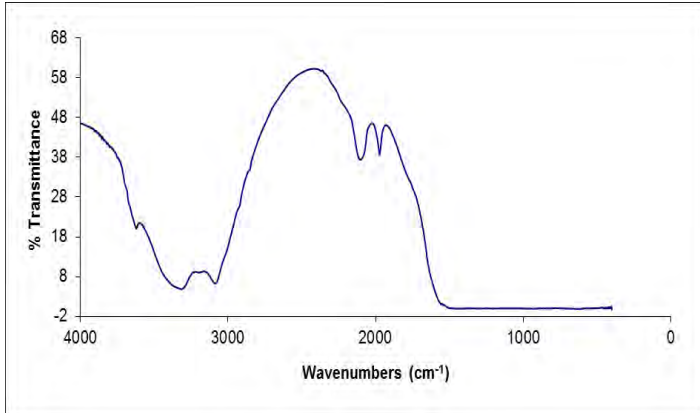
ตัวอย่างทับทิม S2-2



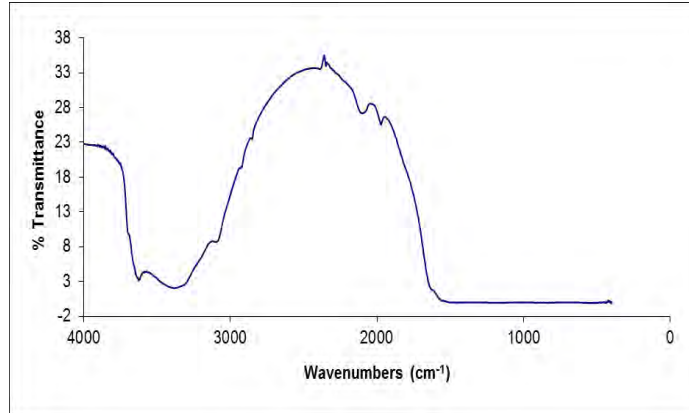
ตัวอย่างทับทิม S2-3

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมณฑลพายัพ ประเทศโมซัมบิก

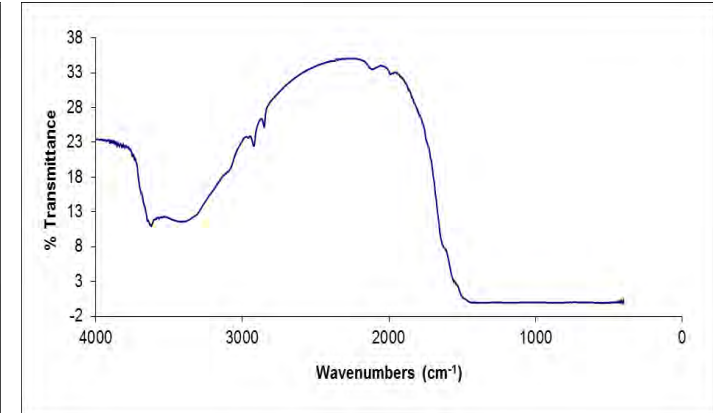
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ(กลุ่ม S)



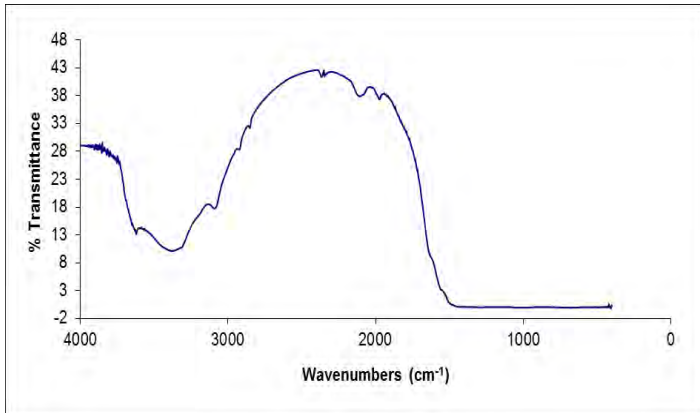
ตัวอย่างทับทิม S2-4



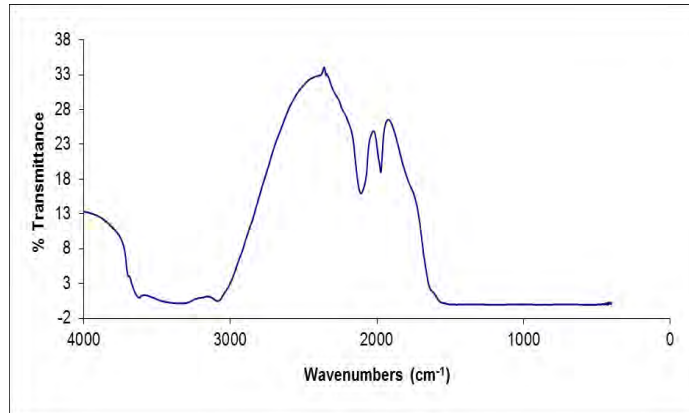
ตัวอย่างทับทิม S2-5



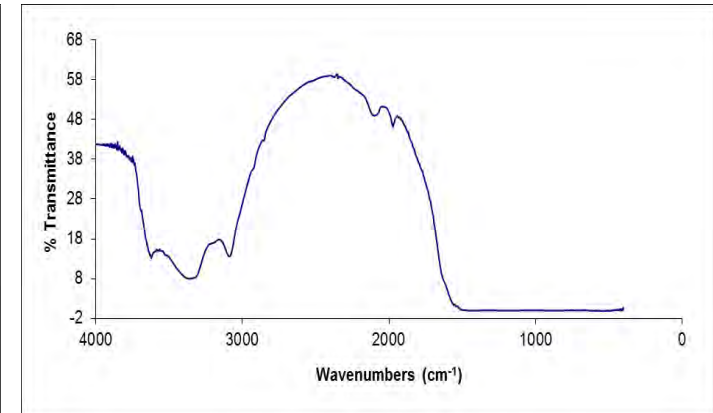
ตัวอย่างทับทิม S2-6



ตัวอย่างทับทิม S3-1



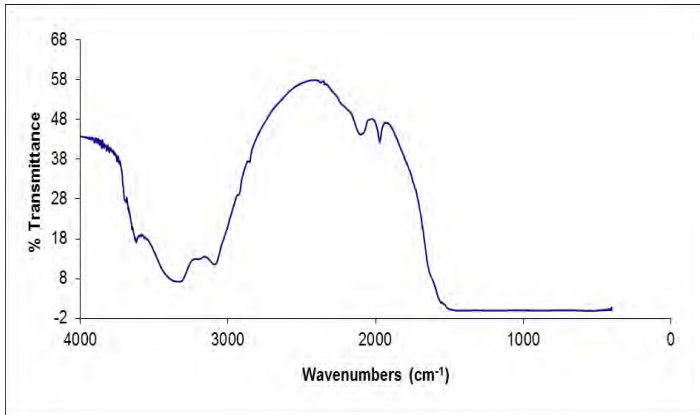
ตัวอย่างทับทิม S4-1



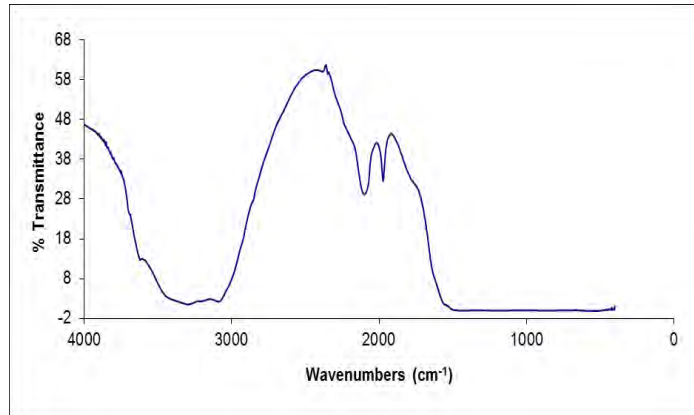
ตัวอย่างทับทิม S4-2

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมณฑลยวชัย ประเทศโมซัมบิก

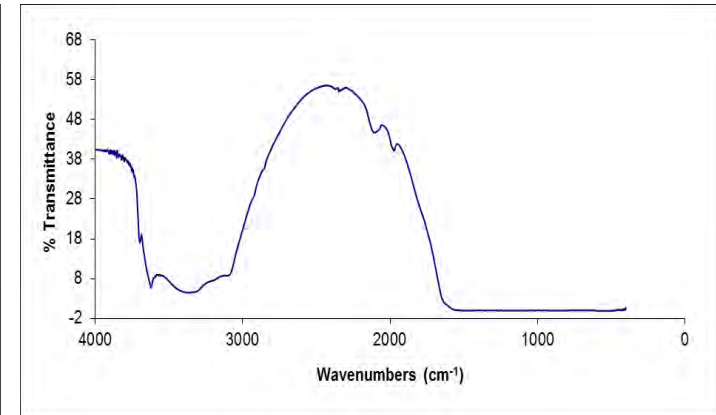
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ(กลุ่ม S)



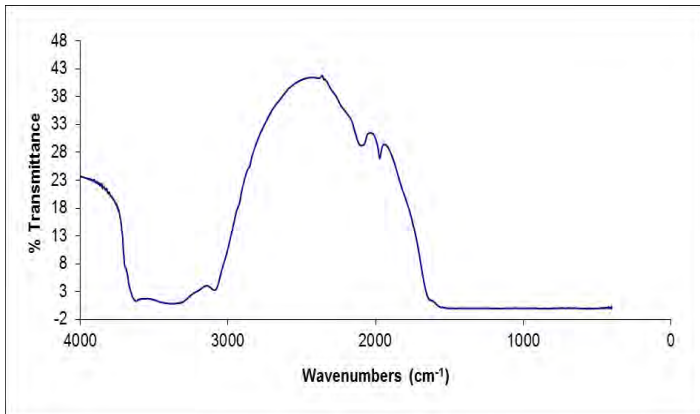
ตัวอย่างทับทิม S4-3



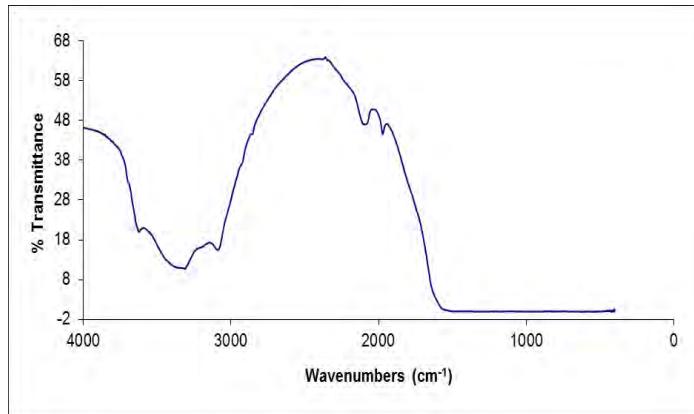
ตัวอย่างทับทิม S4-4



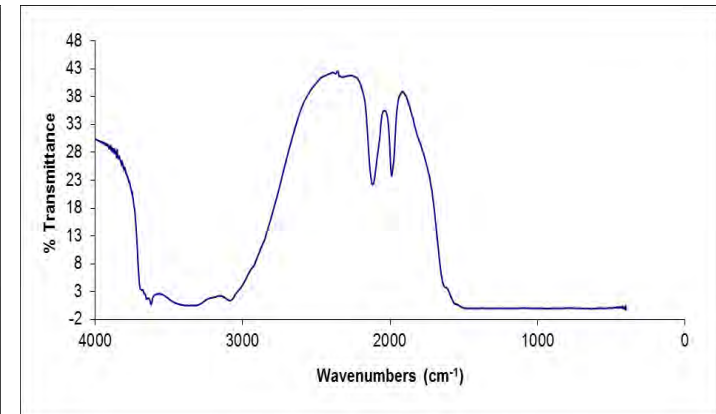
ตัวอย่างทับทิม S5-1



ตัวอย่างทับทิม S5-2

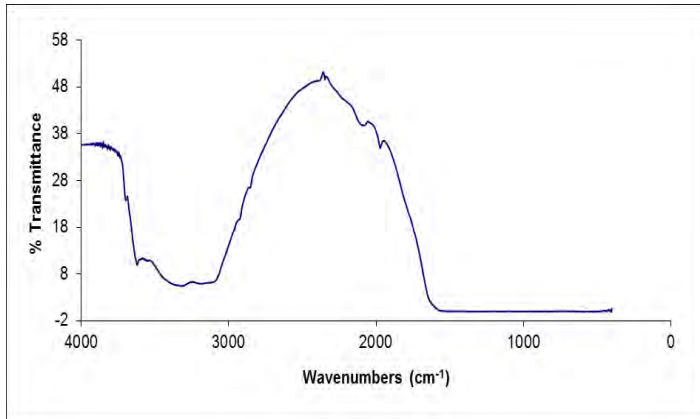


ตัวอย่างทับทิม S5-3



ตัวอย่างทับทิม S5-4

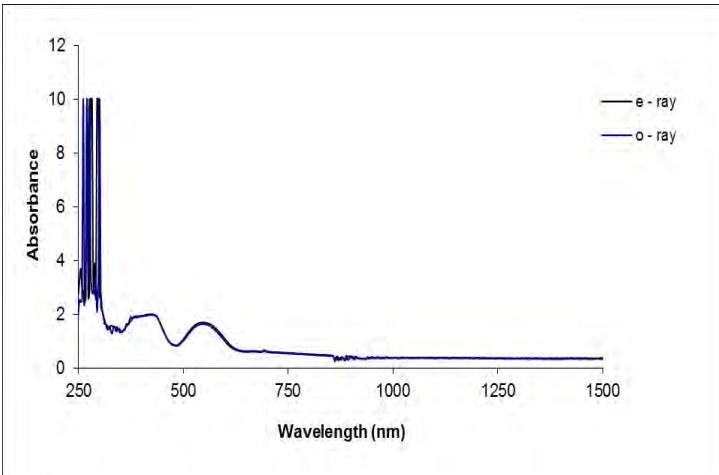
ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมณฑลปวยซี ประเทศโมซัมบิก  
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ(กลุ่ม S)



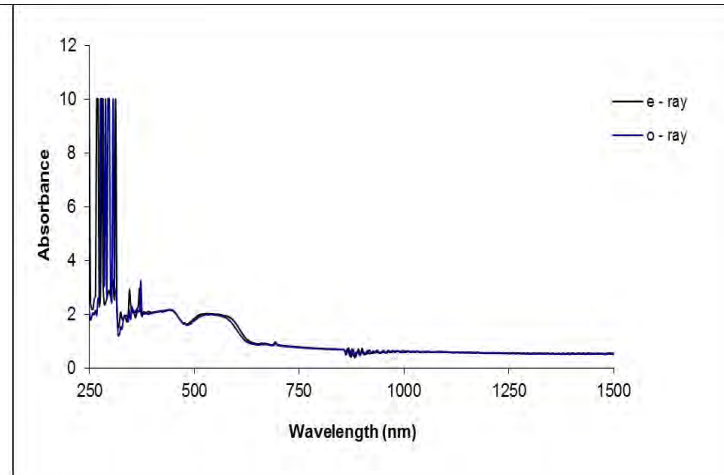
ตัวอย่างทับทิม S6-1

## ภาคผนวก ก-5

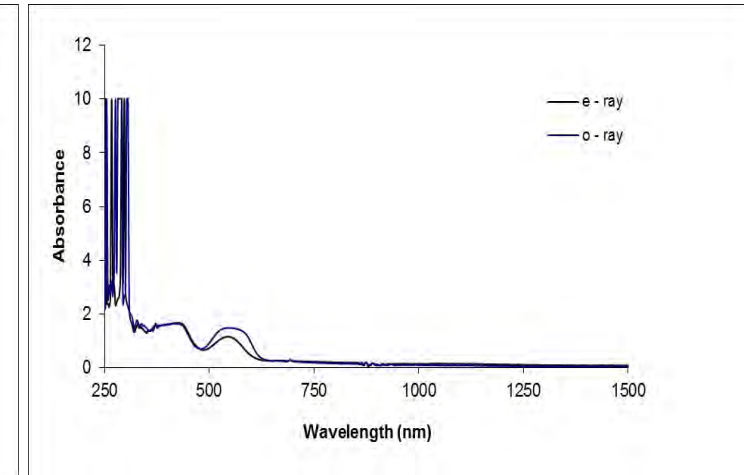
ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



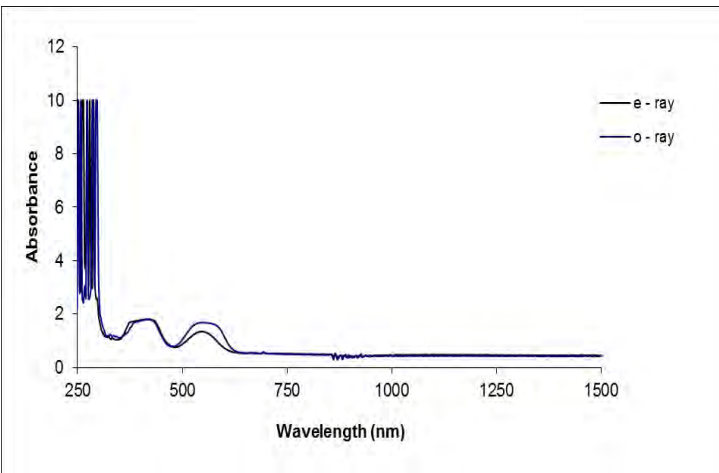
ตัวอย่างทับทิม T1-1



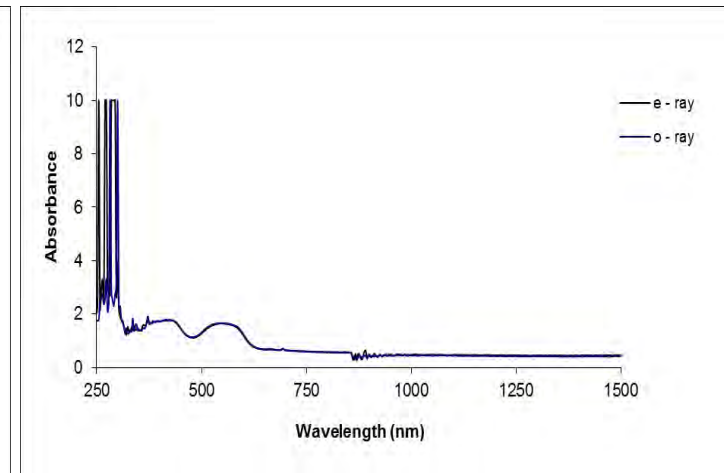
ตัวอย่างทับทิม T1-2



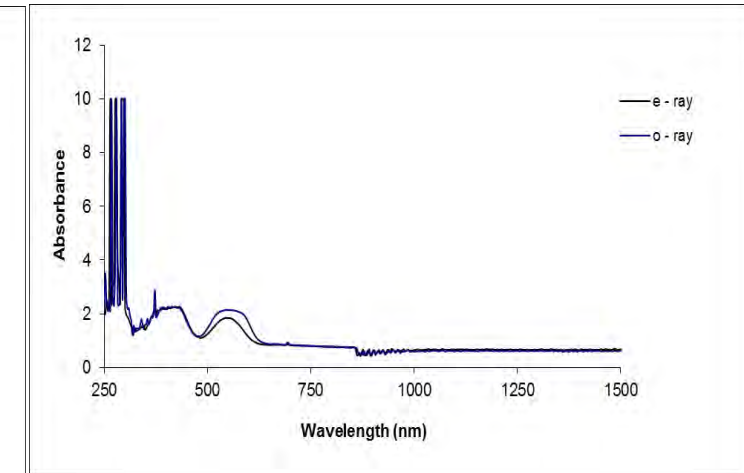
ตัวอย่างทับทิม T1-3



ตัวอย่างทับทิม T1-4

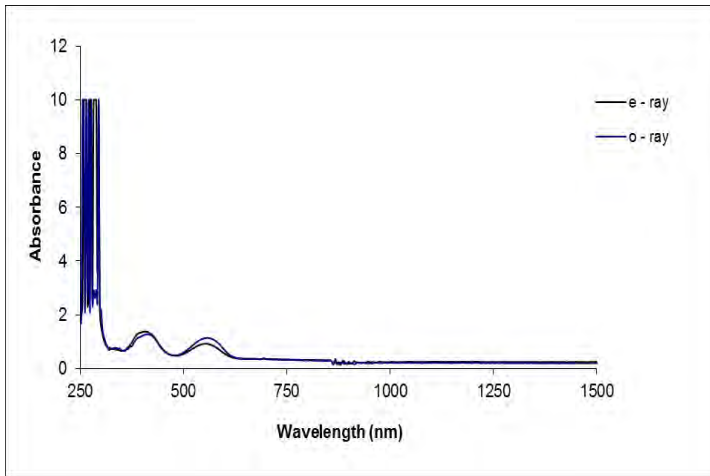


ตัวอย่างทับทิม T1-6

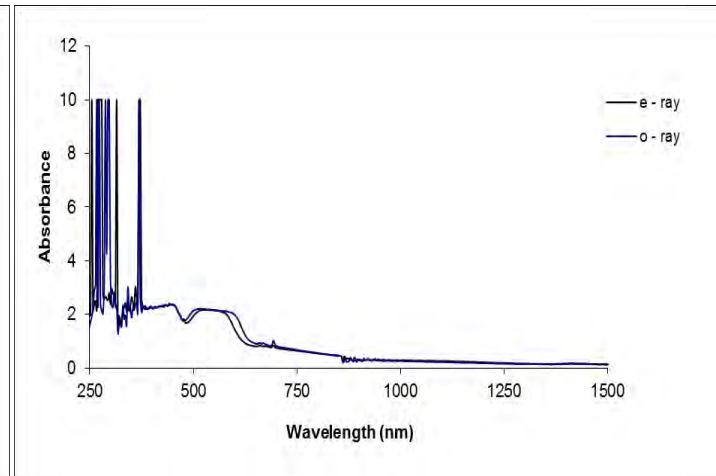


ตัวอย่างทับทิม T1-8

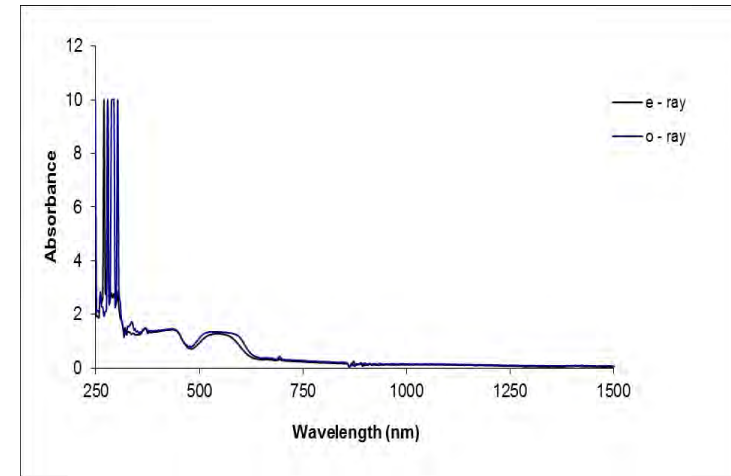
ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



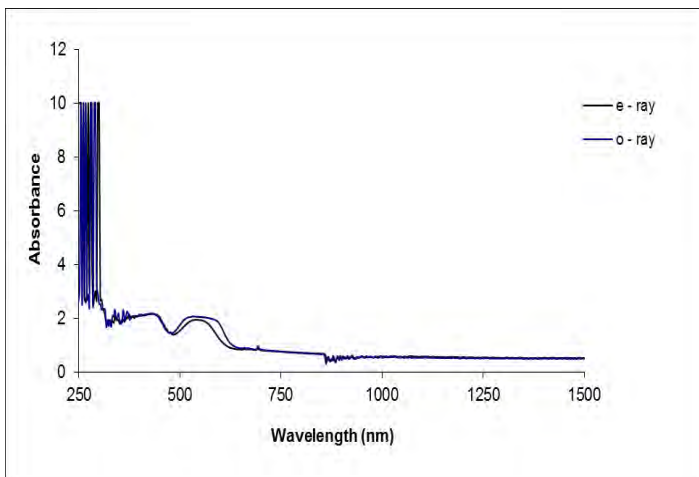
ตัวอย่างทับทิม T1-9



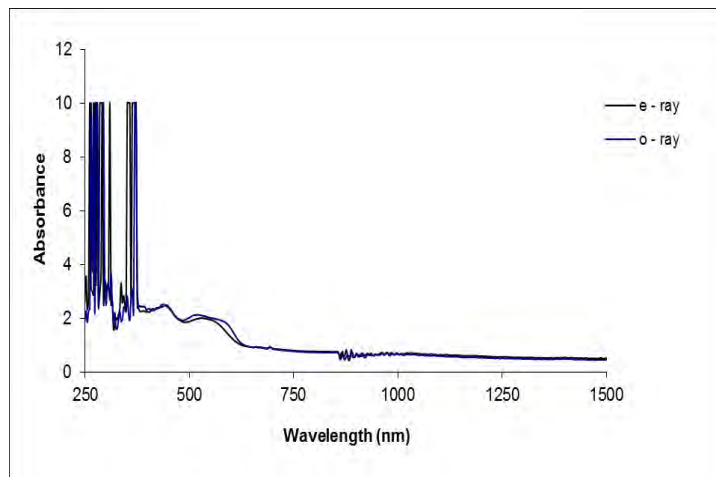
ตัวอย่างทับทิม T1-10



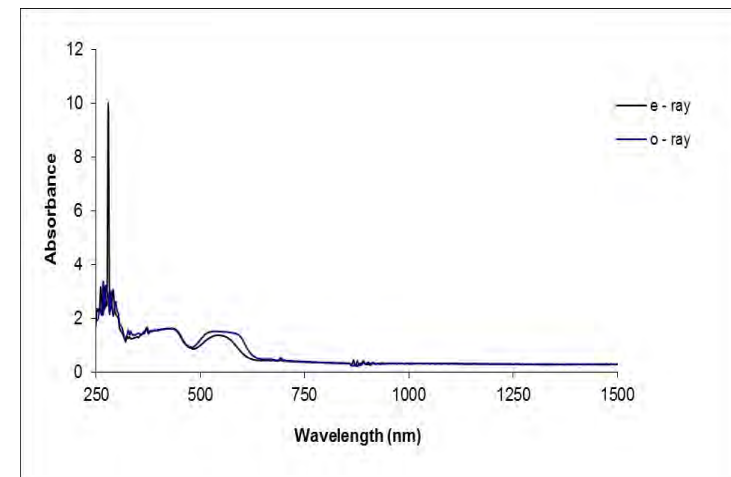
ตัวอย่างทับทิม T1-11



ตัวอย่างทับทิม T2-1

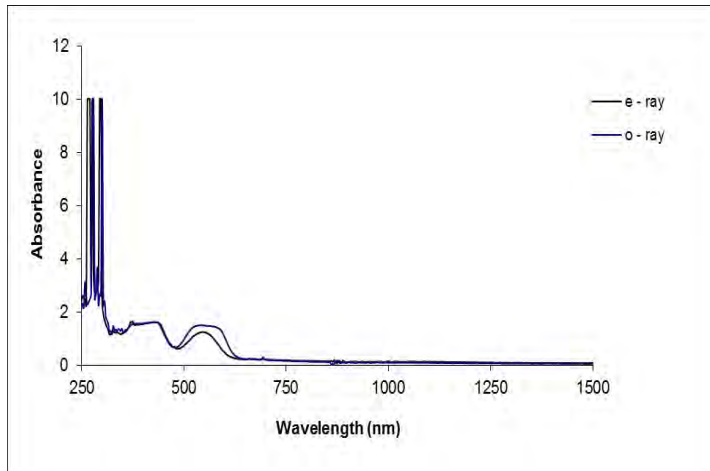


ตัวอย่างทับทิม T2-3

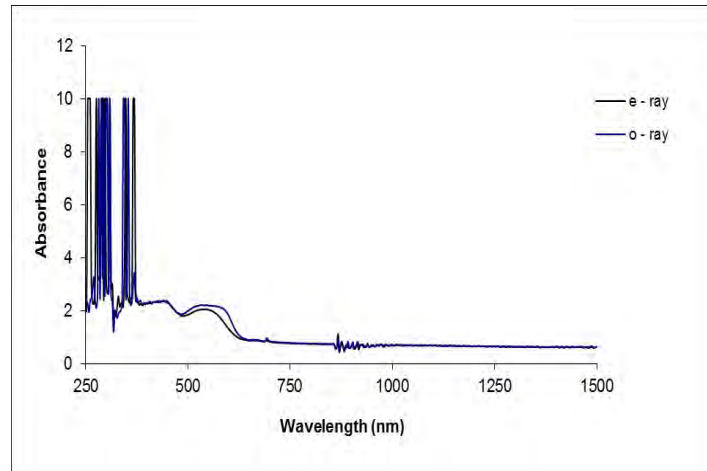


ตัวอย่างทับทิม T2-4

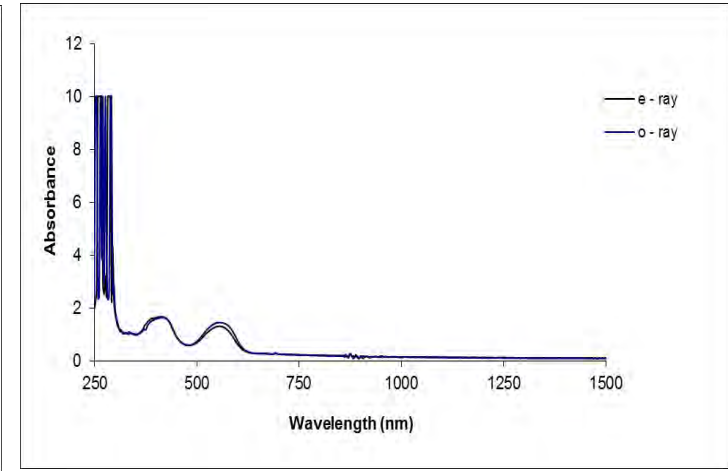
ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



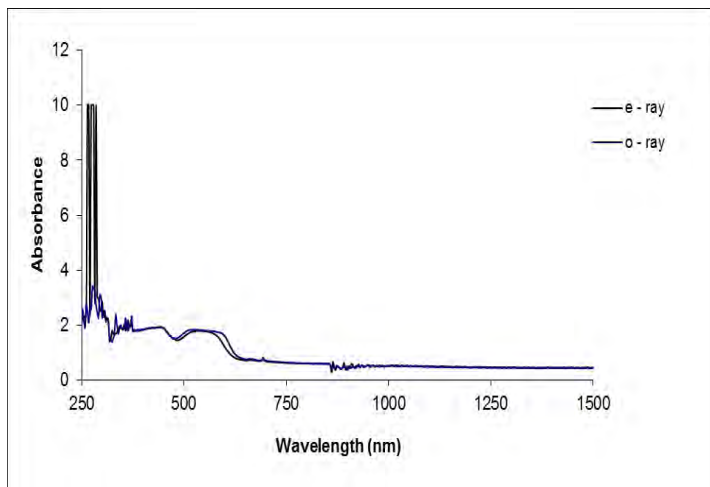
ตัวอย่างทับทิม T2-5



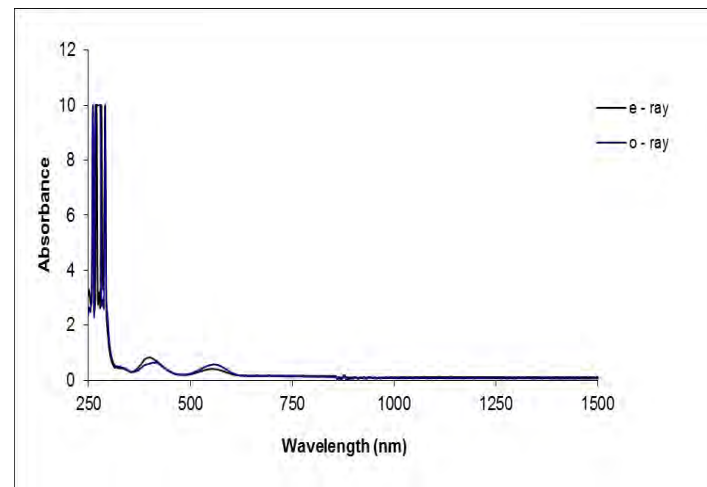
ตัวอย่างทับทิม T2-6



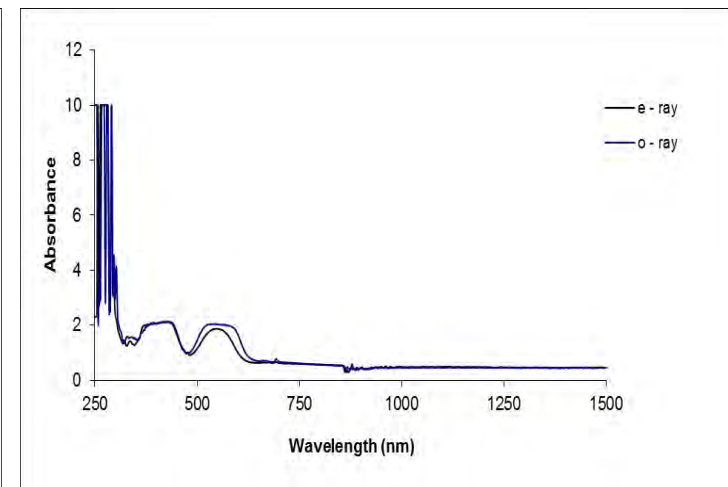
ตัวอย่างทับทิม T2-7



ตัวอย่างทับทิม T2-8



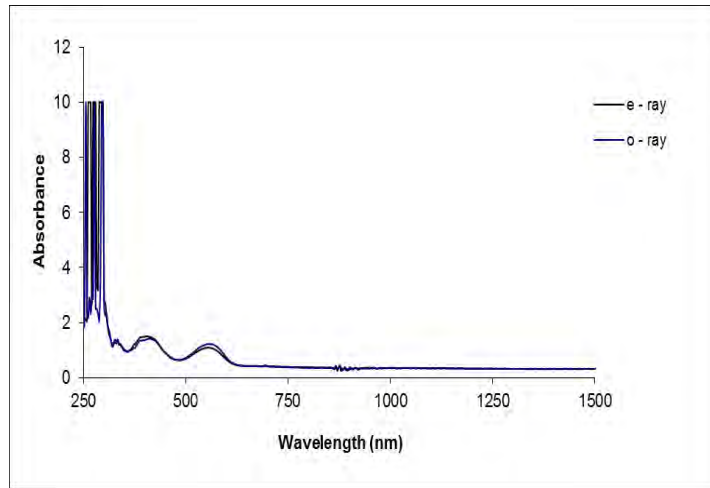
ตัวอย่างทับทิม T2-10



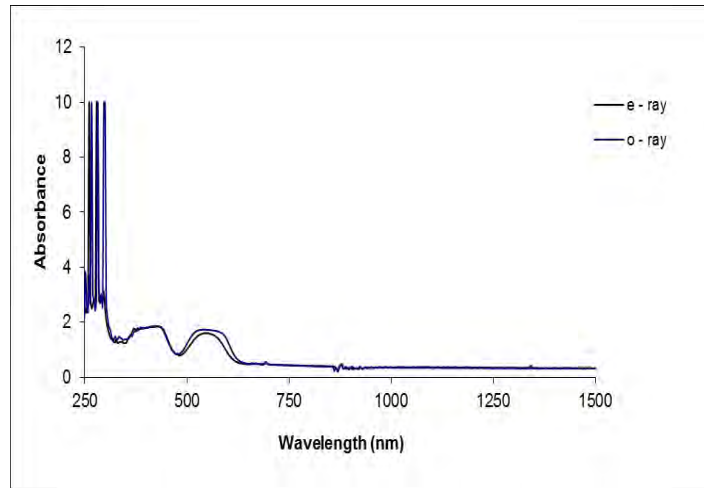
ตัวอย่างทับทิม T2-11



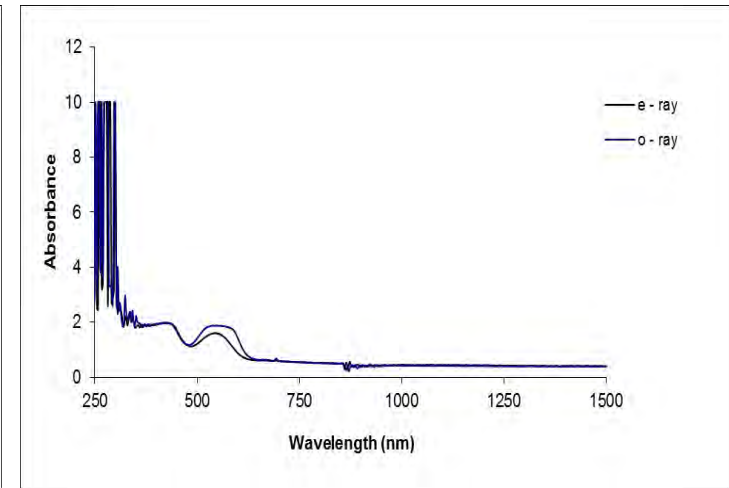
ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



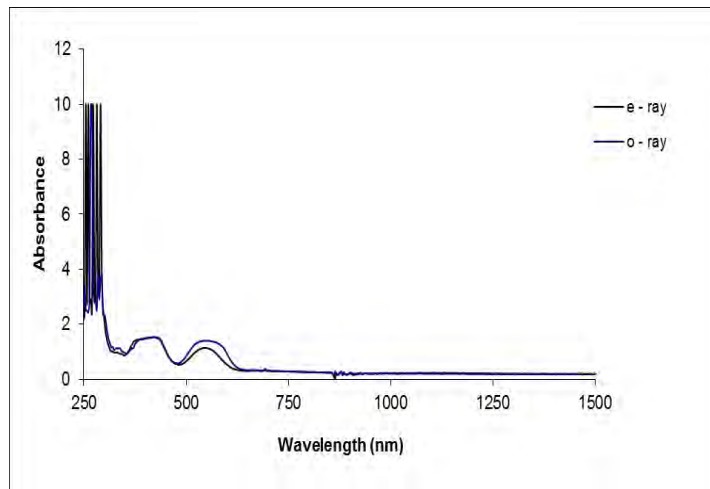
ตัวอย่างทับทิม T2-12



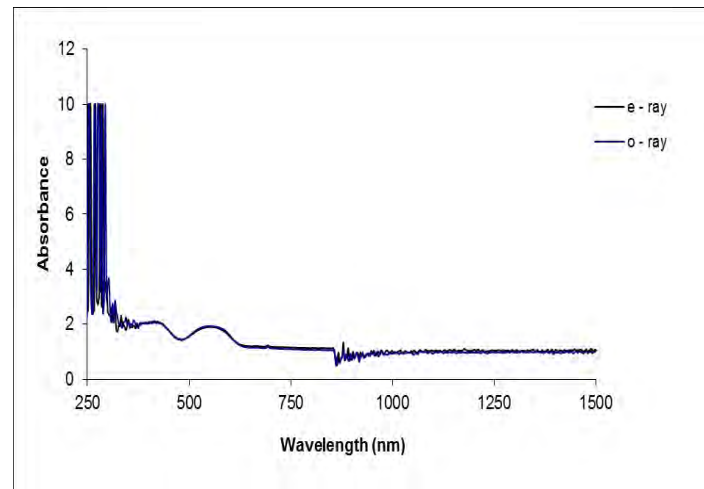
ตัวอย่างทับทิม T2-13



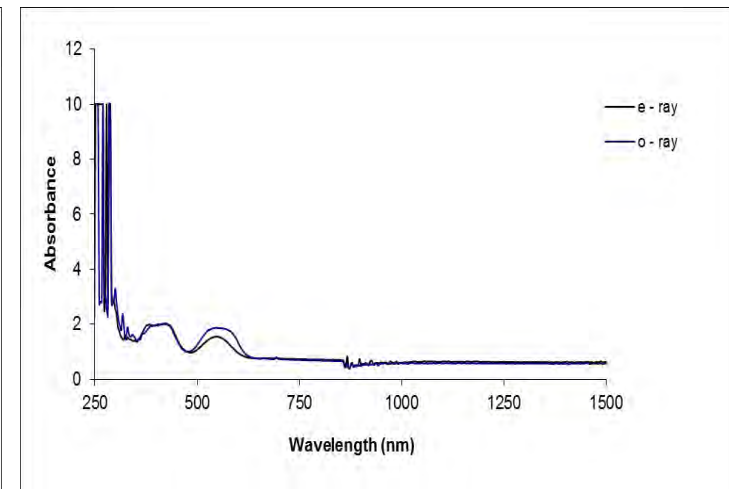
ตัวอย่างทับทิม T2-14



ตัวอย่างทับทิม T2-15

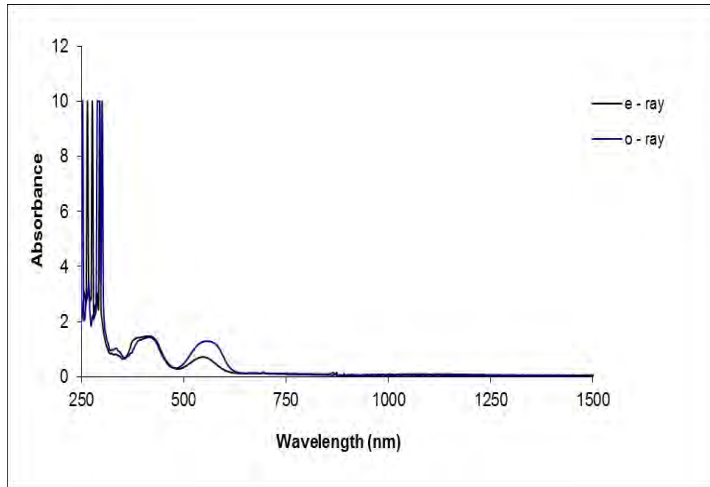


ตัวอย่างทับทิม T2-16

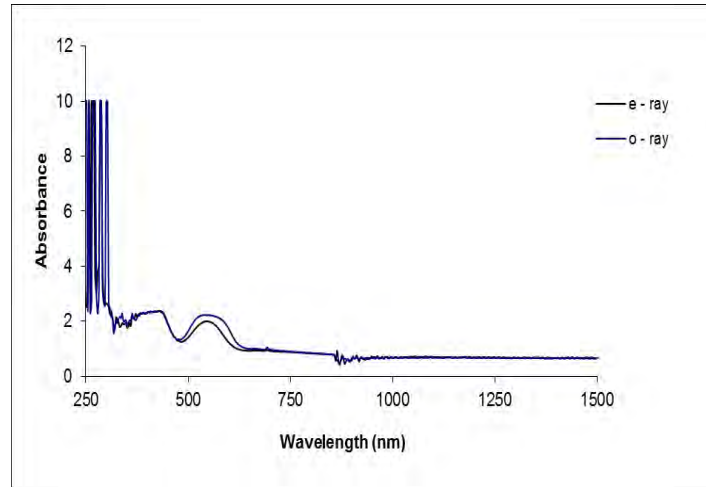


ตัวอย่างทับทิม T2-17

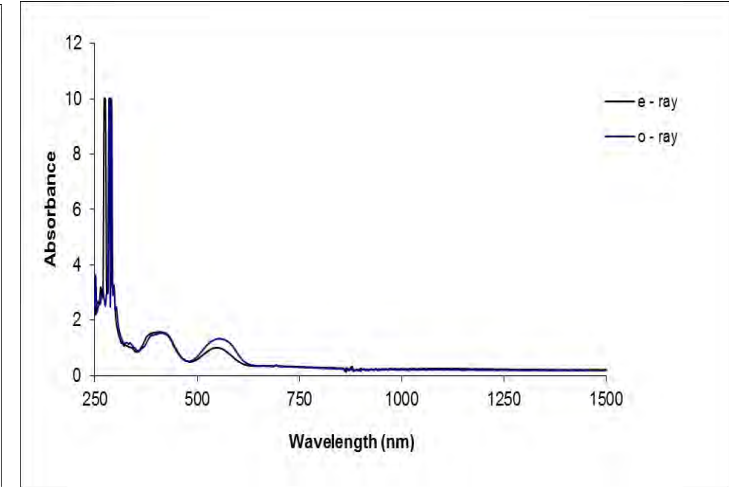
ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



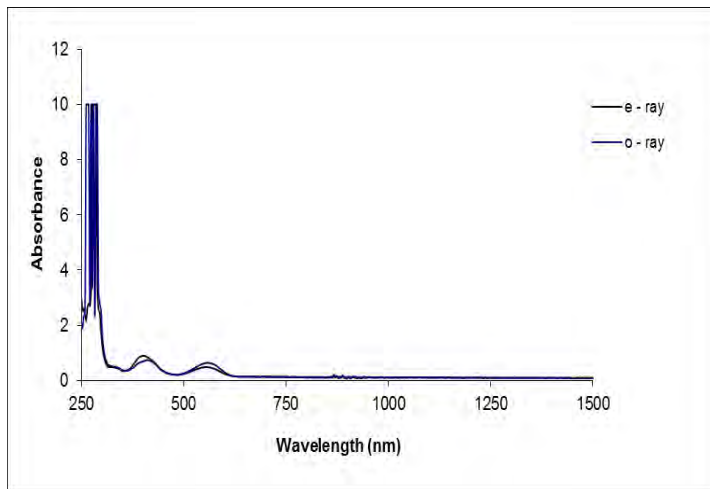
ตัวอย่างทับทิม T2-18



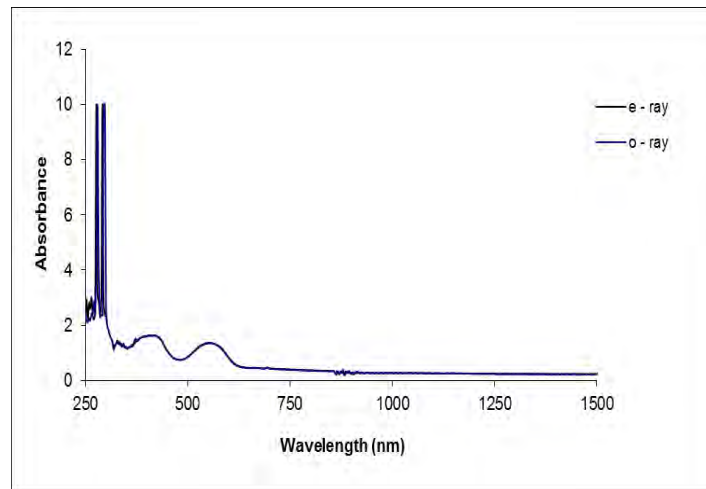
ตัวอย่างทับทิม T3-1



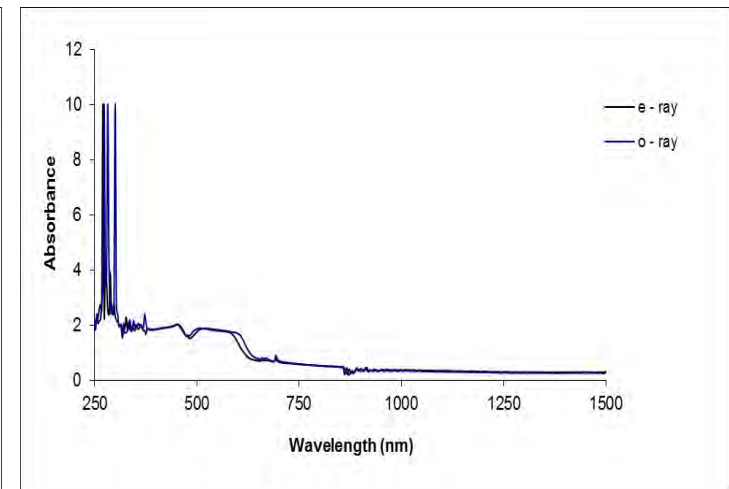
ตัวอย่างทับทิม T3-2



ตัวอย่างทับทิม T3-3

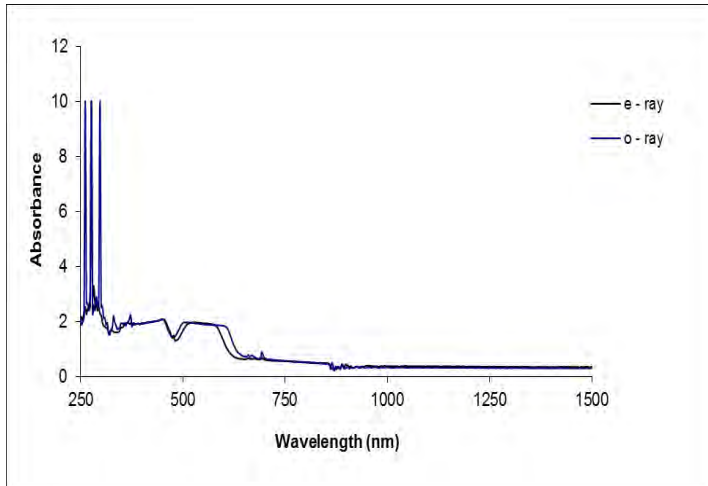


ตัวอย่างทับทิม T3-4

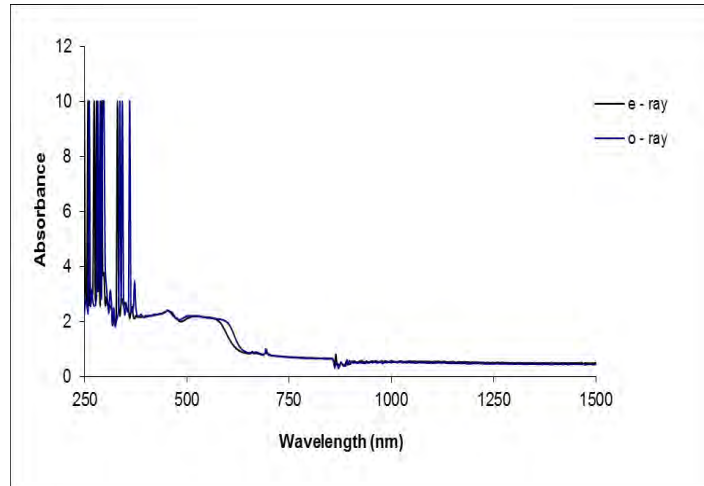


ตัวอย่างทับทิม T4-1

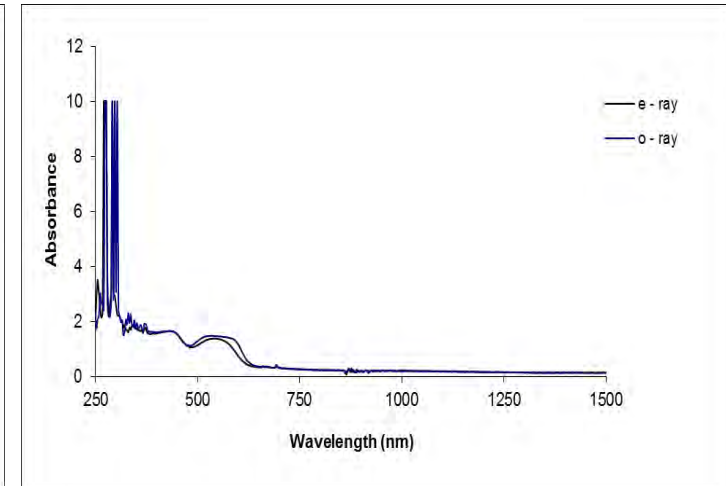
ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



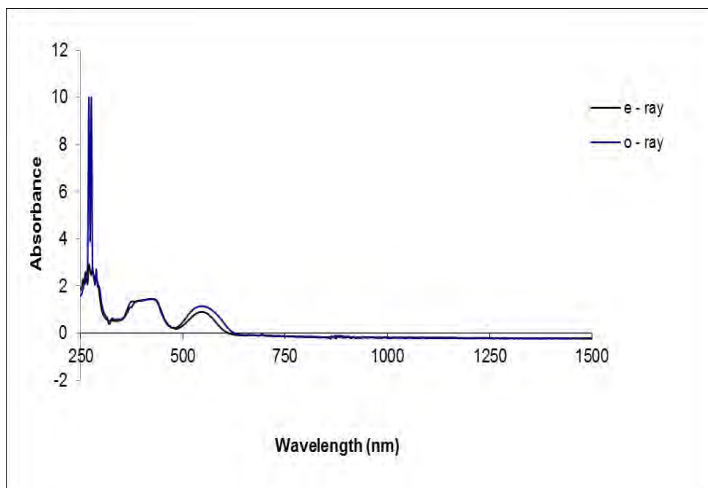
ตัวอย่างทับทิม T4-2



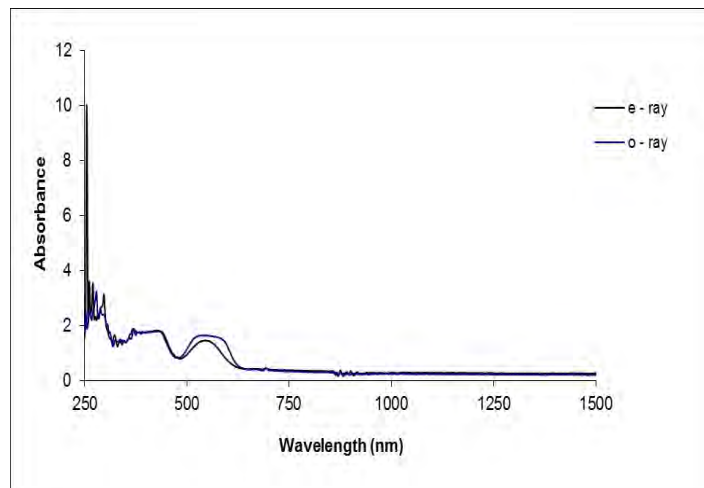
ตัวอย่างทับทิม T4-3



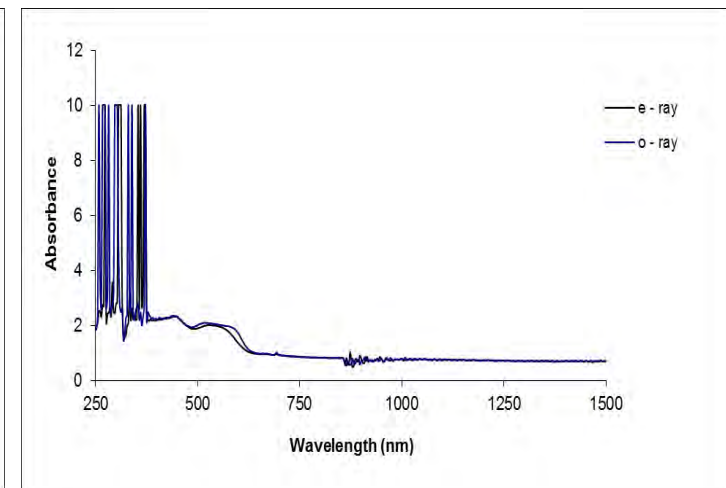
ตัวอย่างทับทิม T4-4



ตัวอย่างทับทิม T4-5

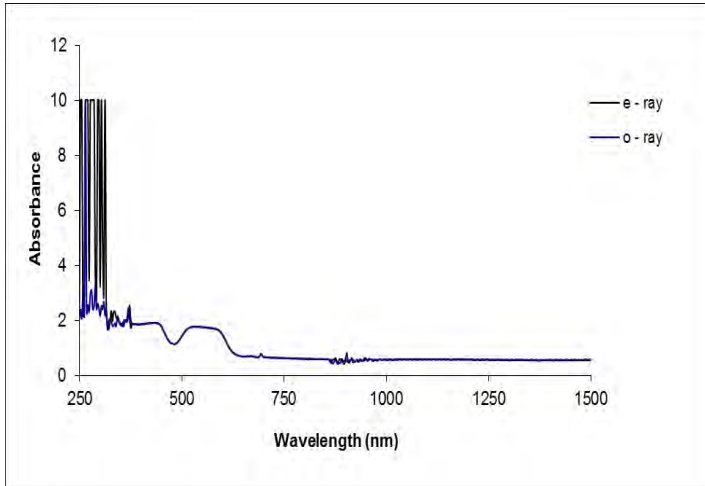


ตัวอย่างทับทิม T4-6

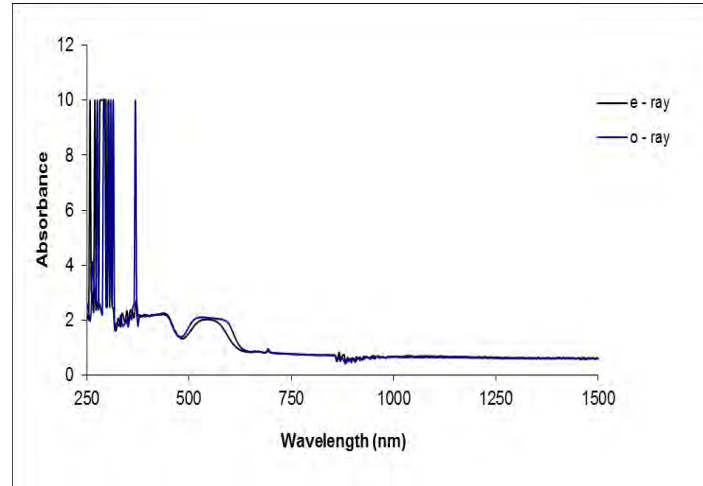


ตัวอย่างทับทิม T4-7

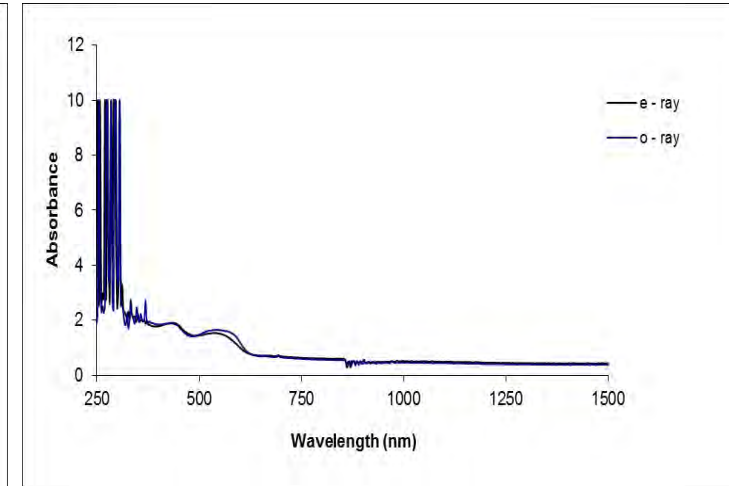
ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



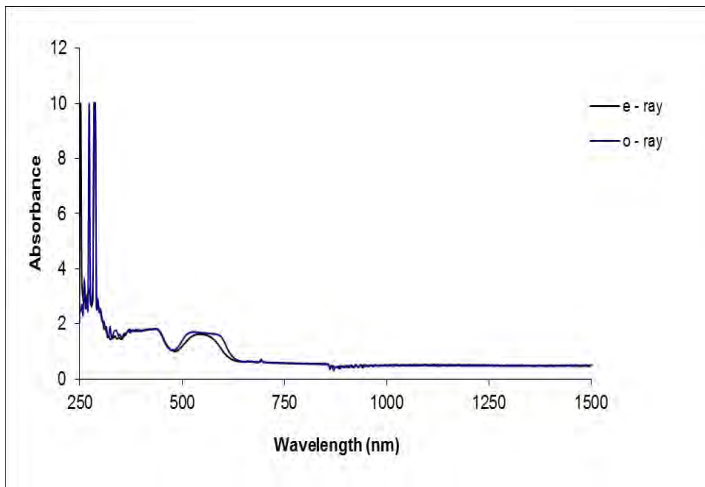
ตัวอย่างทับทิม T4-8



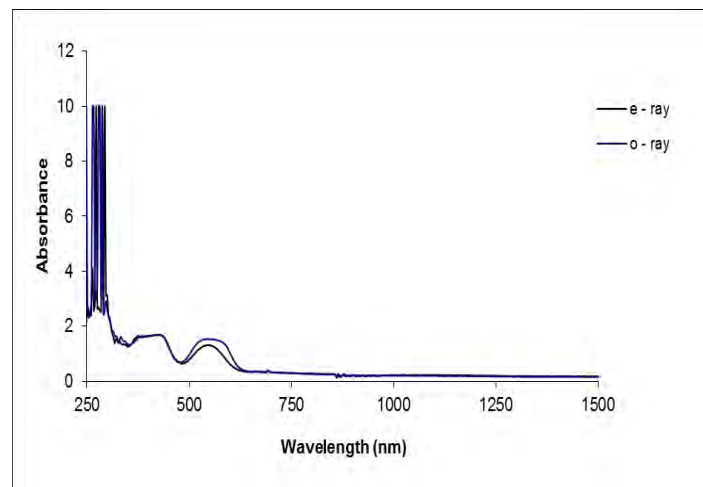
ตัวอย่างทับทิม T4-9



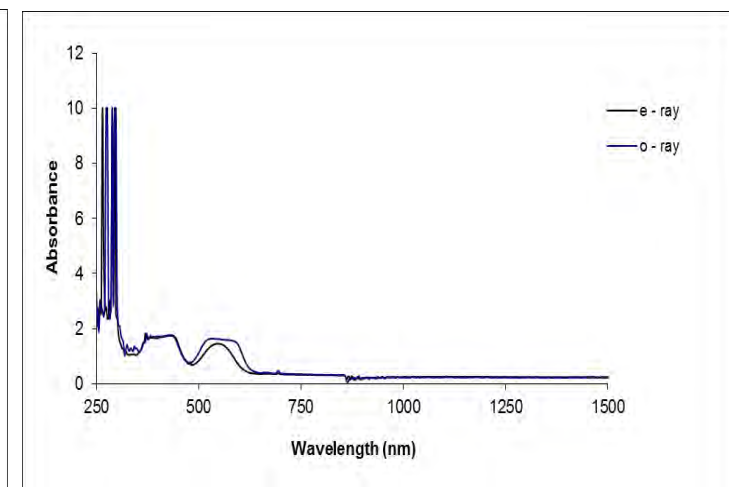
ตัวอย่างทับทิม T4-10



ตัวอย่างทับทิม T4-11

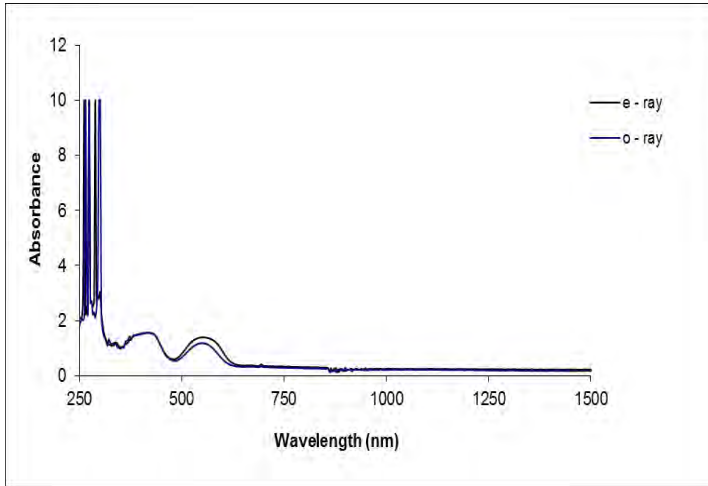


ตัวอย่างทับทิม T4-12

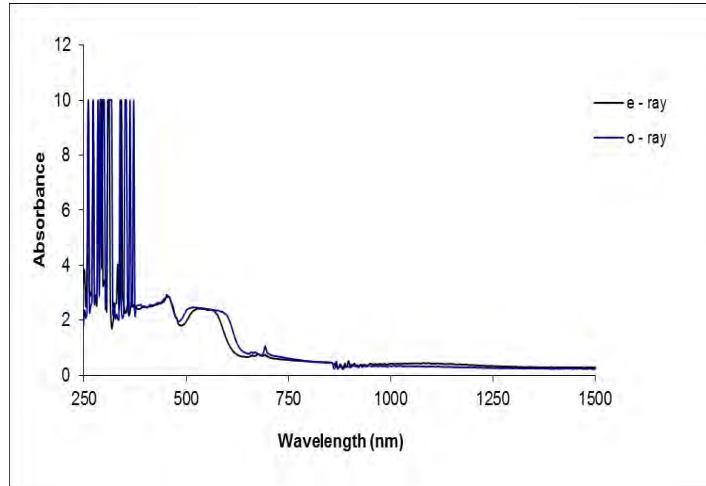


ตัวอย่างทับทิม T4-13

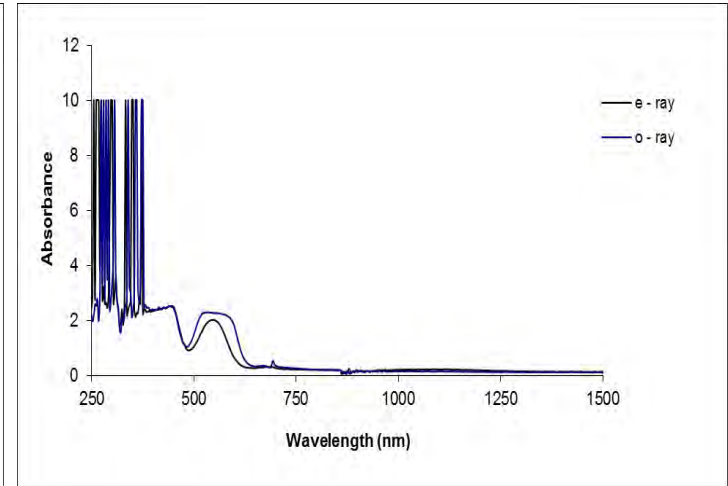
ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



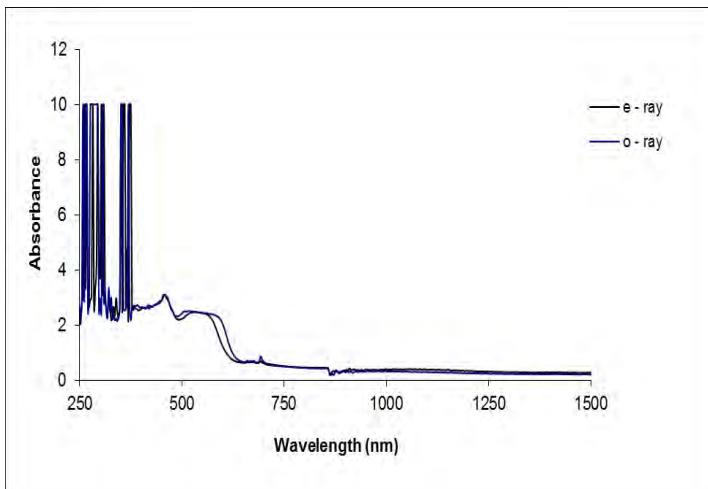
ตัวอย่างทับทิม T4-13



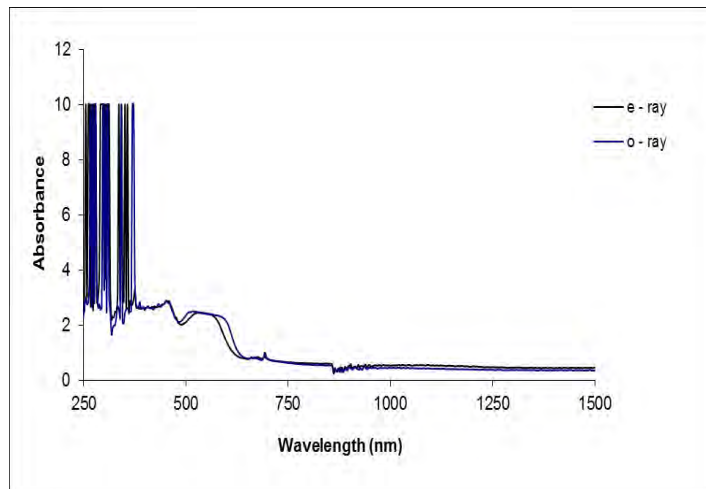
ตัวอย่างทับทิม T5-2



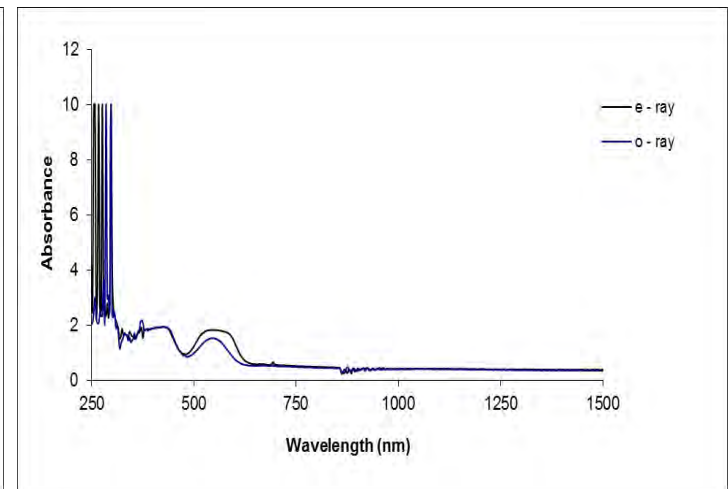
ตัวอย่างทับทิม T5-3



ตัวอย่างทับทิม T5-4

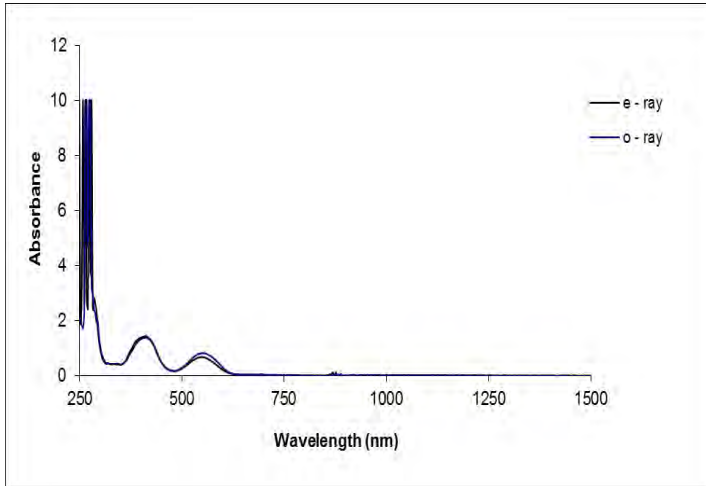


ตัวอย่างทับทิม T5-5

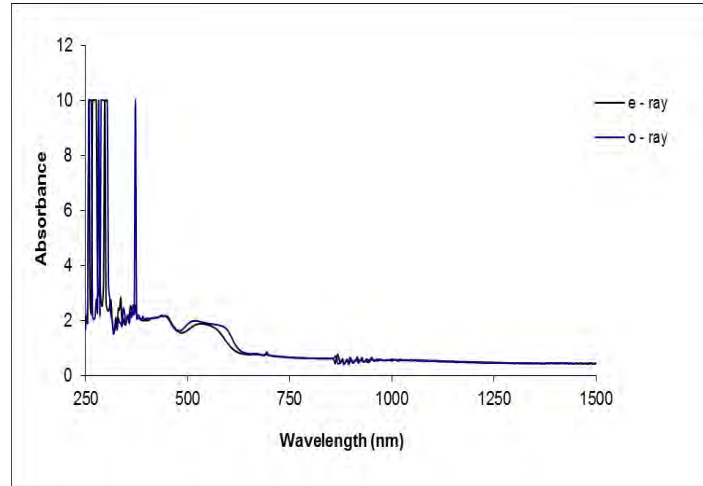


ตัวอย่างทับทิม T6-1

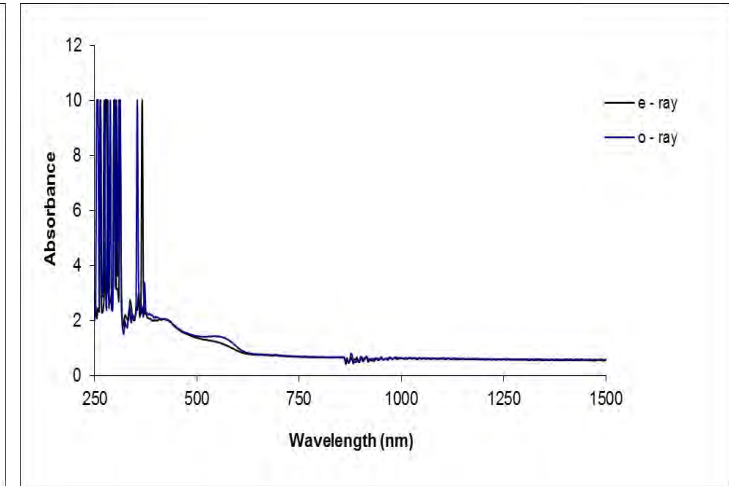
ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



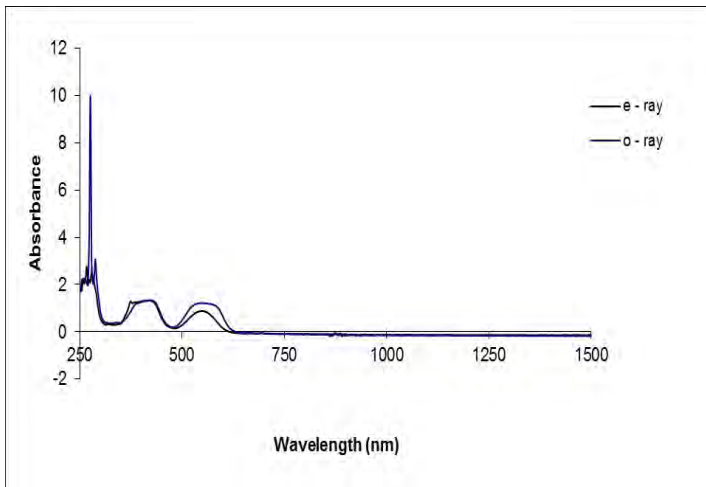
ตัวอย่างทับทิม T6-2



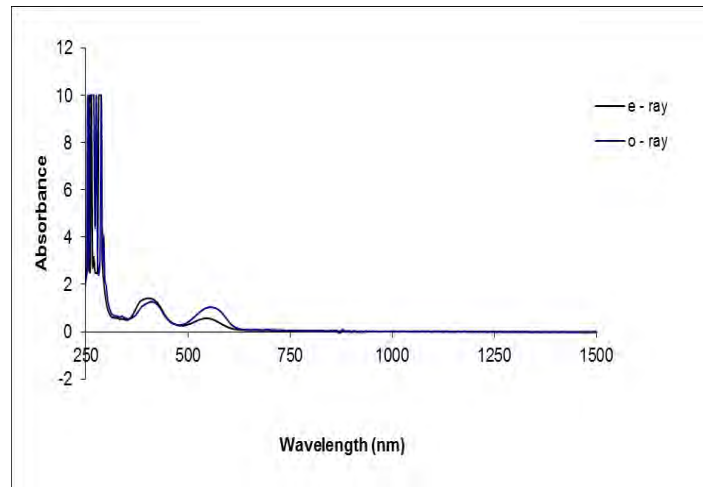
ตัวอย่างทับทิม T6-3



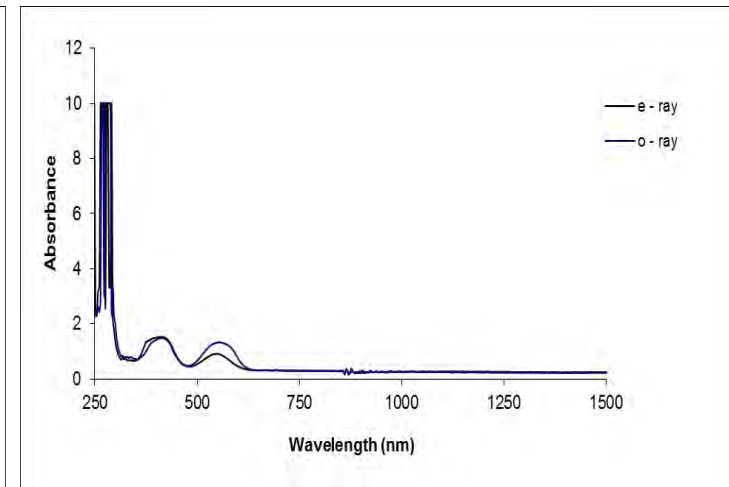
ตัวอย่างทับทิม T6-4



ตัวอย่างทับทิม T6-5

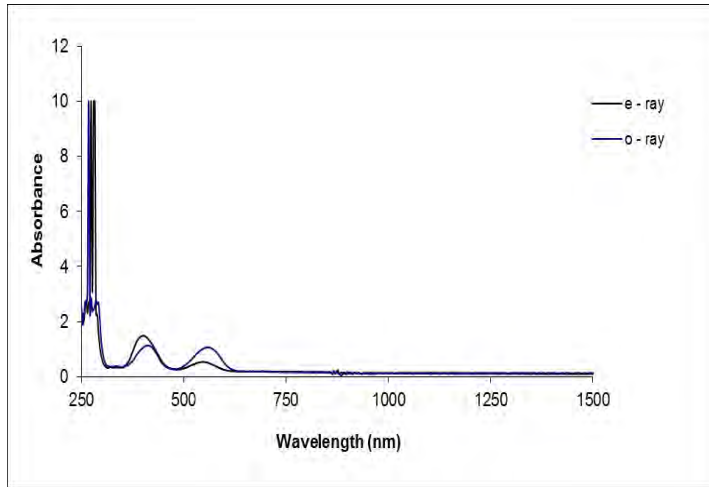


ตัวอย่างทับทิม T6-6



ตัวอย่างทับทิม T6-7

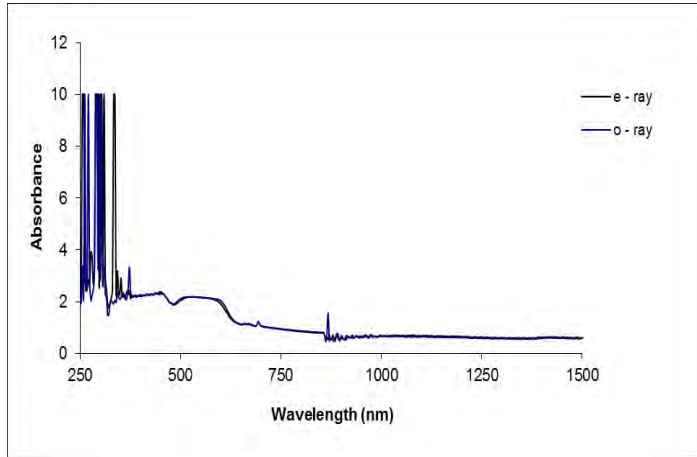
ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอนเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



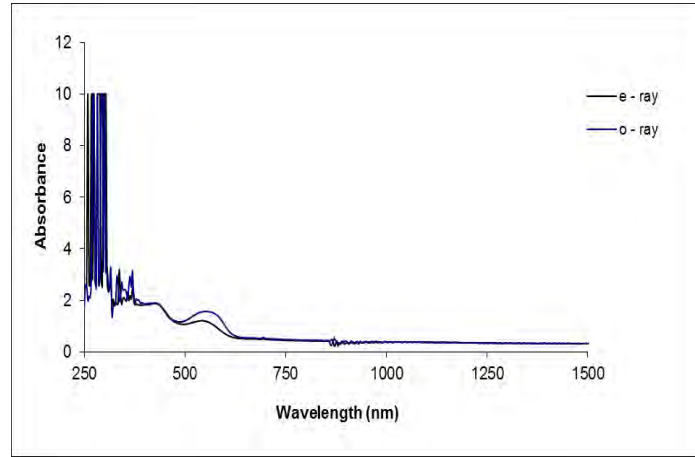
ตัวอย่างทับทิม T6-8

## ภาคผนวก ก-6

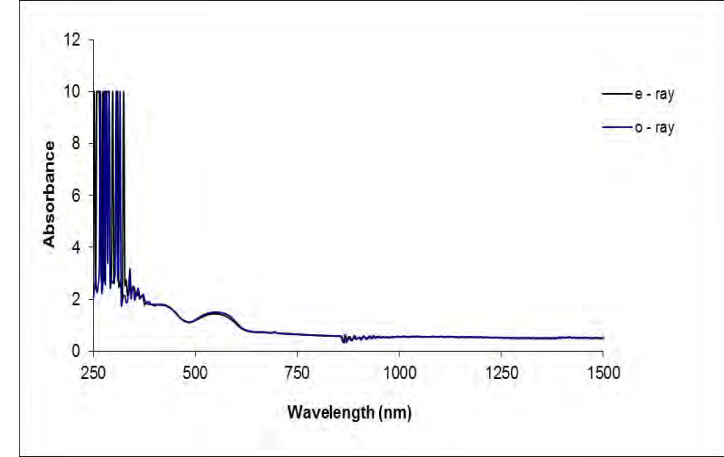
ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอนเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)



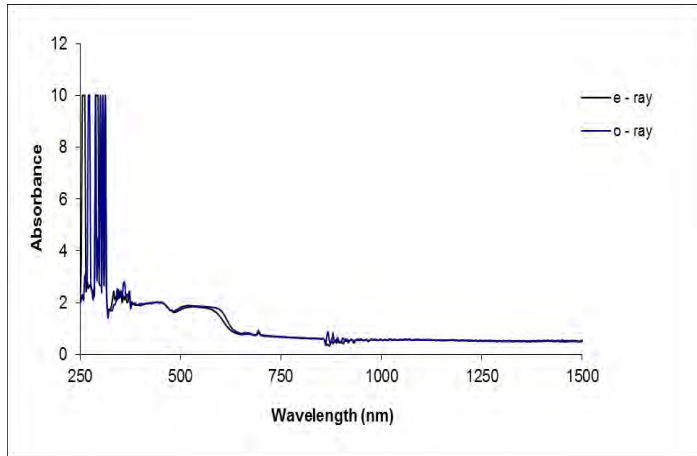
ตัวอย่างทับทิม S1-1



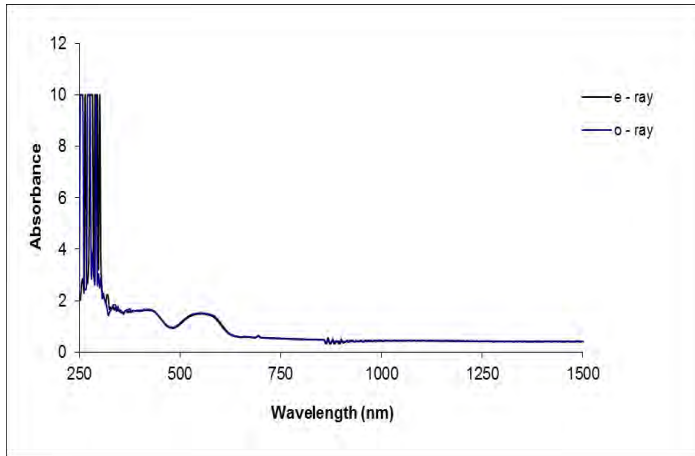
ตัวอย่างทับทิม S1-2



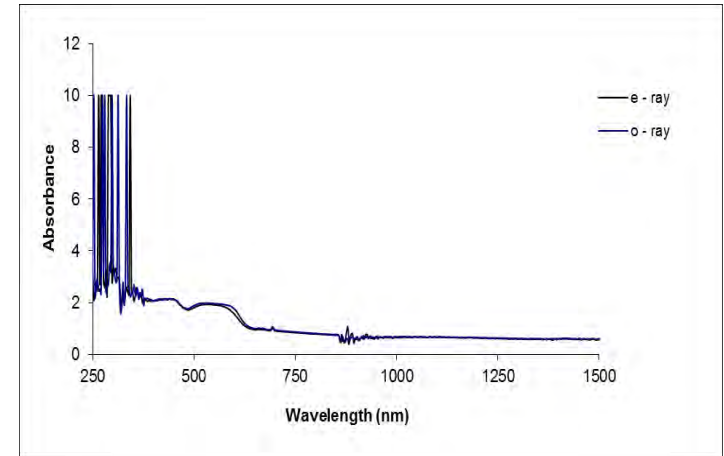
ตัวอย่างทับทิม S1-3



ตัวอย่างทับทิม S2-1



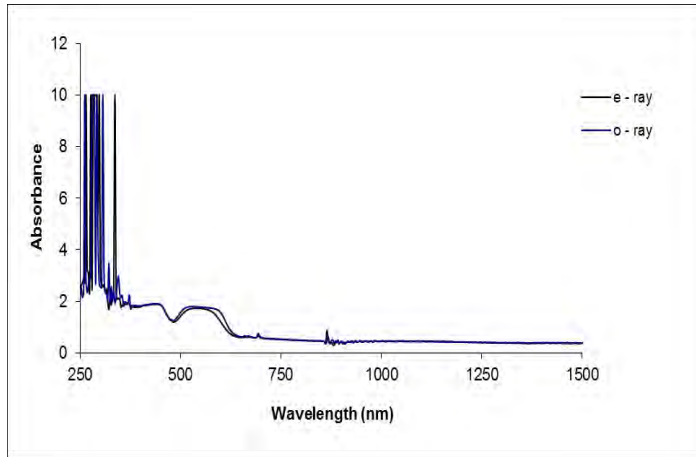
ตัวอย่างทับทิม S2-2



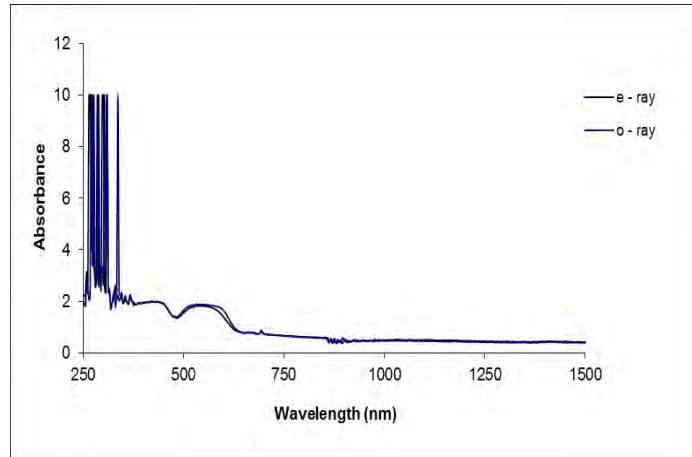
ตัวอย่างทับทิม S2-3



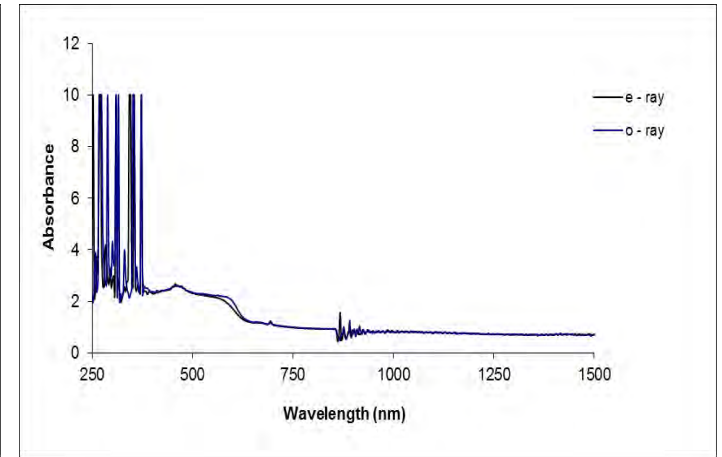
ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)



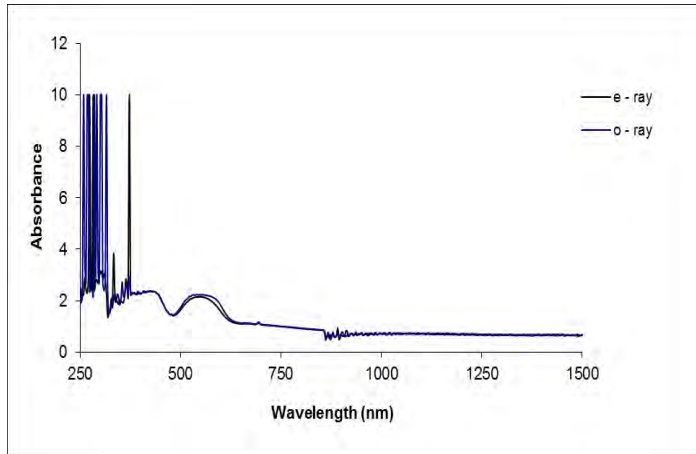
ตัวอย่างทับทิม S2-4



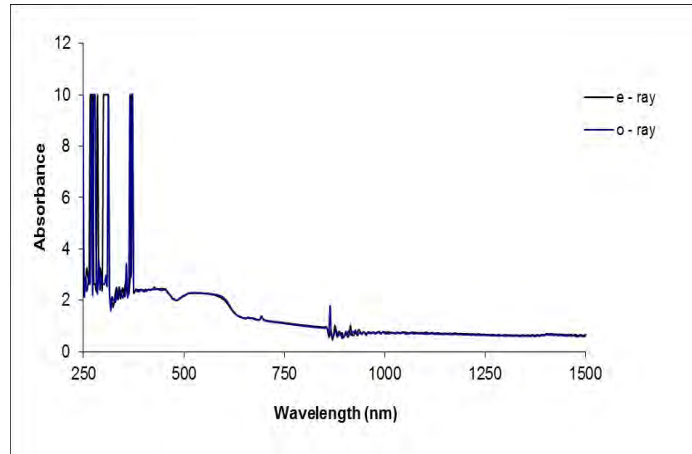
ตัวอย่างทับทิม S2-5



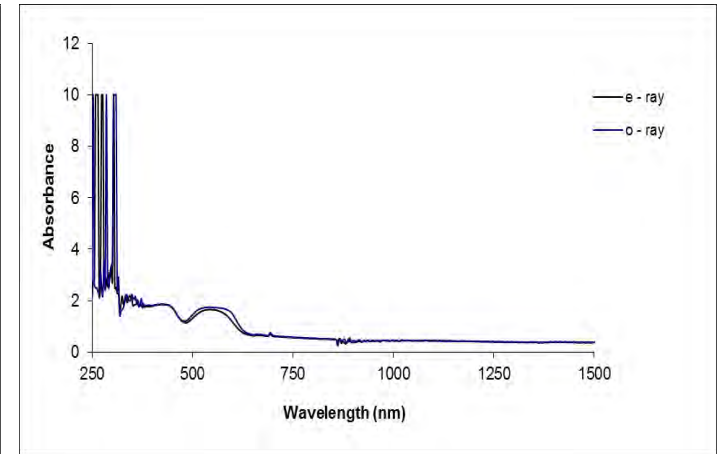
ตัวอย่างทับทิม S2-6



ตัวอย่างทับทิม S3-1

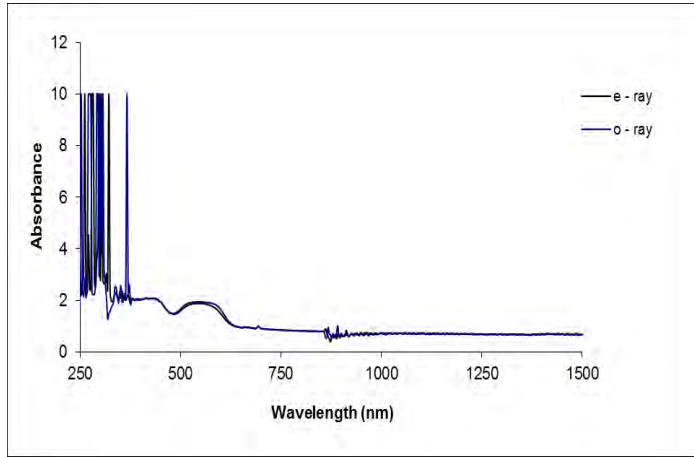


ตัวอย่างทับทิม S4-1

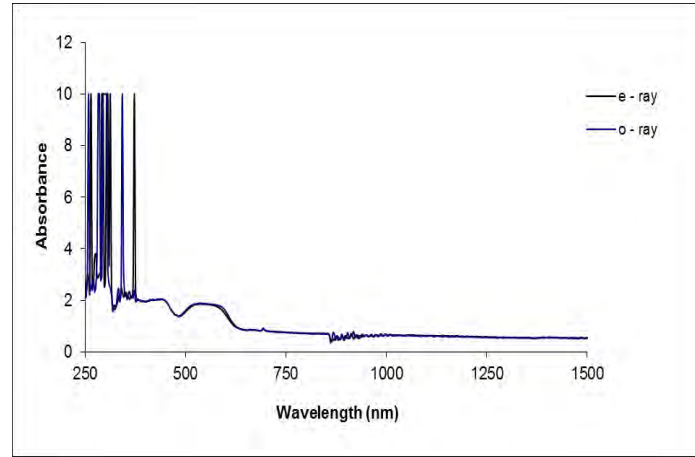


ตัวอย่างทับทิม S4-2

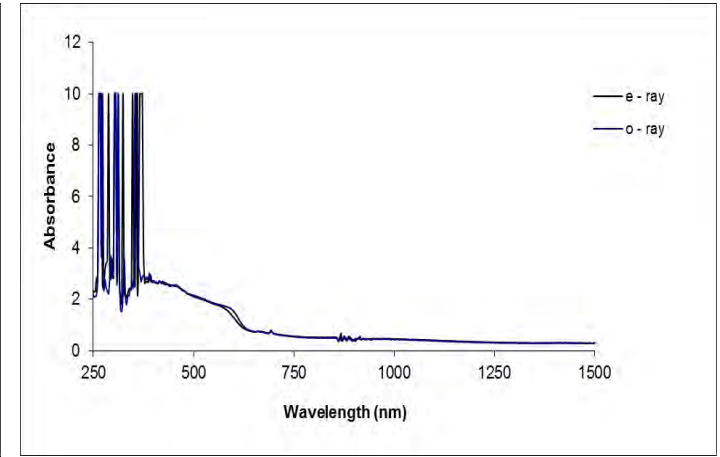
ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอนเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)



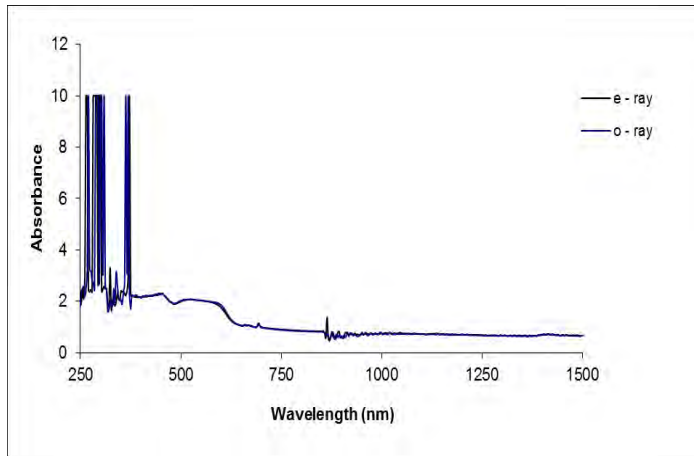
ตัวอย่างทับทิม S4-3



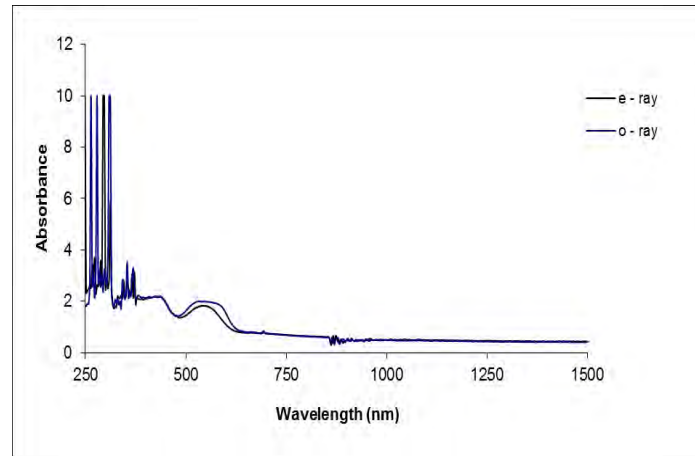
ตัวอย่างทับทิม S4-4



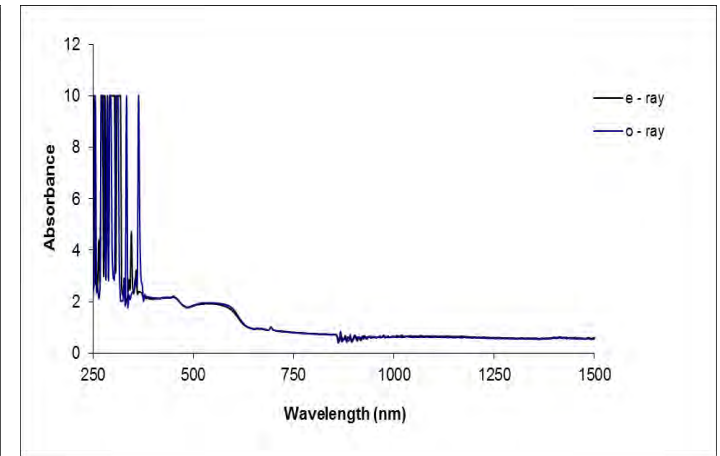
ตัวอย่างทับทิม S5-1



ตัวอย่างทับทิม S5-2

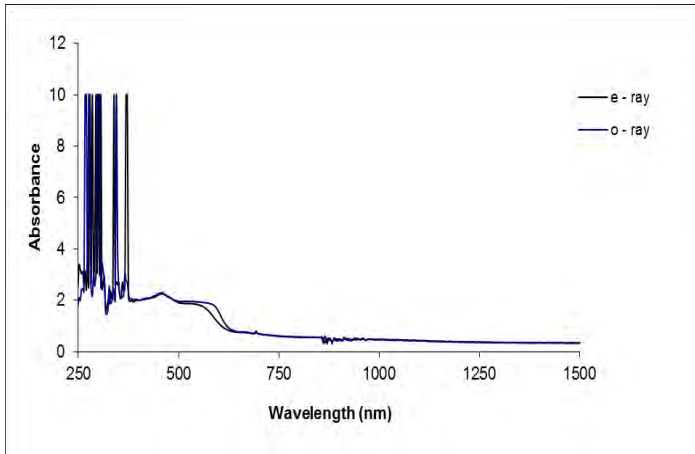


ตัวอย่างทับทิม S5-3



ตัวอย่างทับทิม S5-4

ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอนเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)

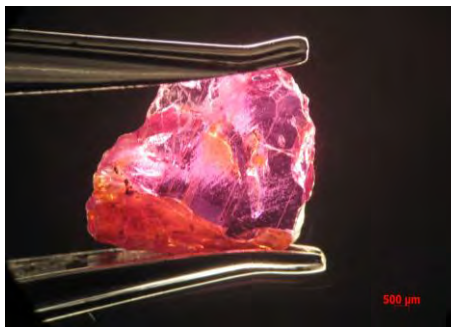


ตัวอย่างทับทิม S6-1

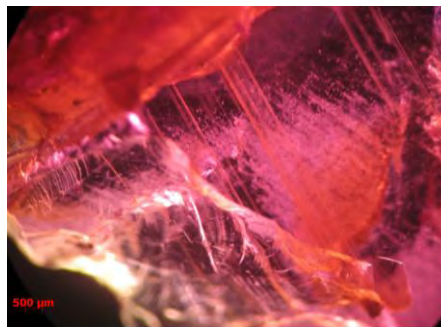
## ภาคผนวก ก-7

ภาพจากการศึกษาลักษณะภายในของพลอยทับทิมด้วยเครื่องมือ Gemological microscope

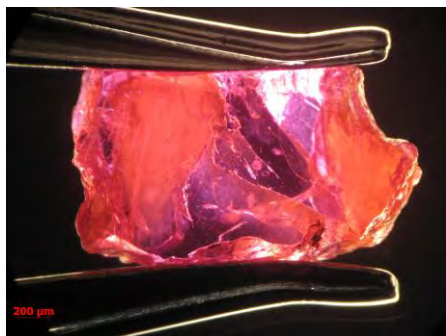
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง



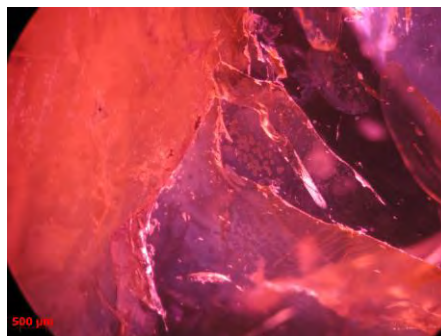
ตัวอย่างพลอยทับทิม T1-2



ตัวอย่างพลอยทับทิม T1-2



ตัวอย่างพลอยทับทิม T1-3

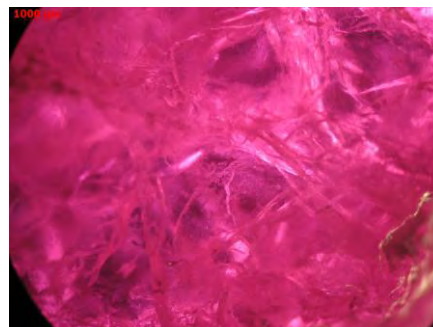


ตัวอย่างพลอยทับทิม T1-3

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ



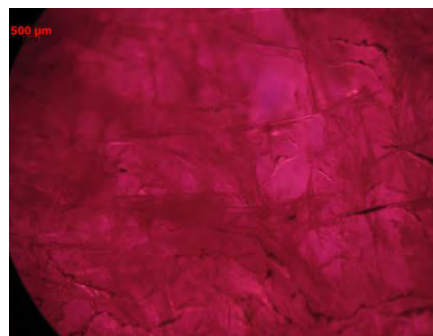
ตัวอย่างพลอยทับทิม S1-5



ตัวอย่างพลอยทับทิม S1-5



ตัวอย่างพลอยทับทิม S1-1



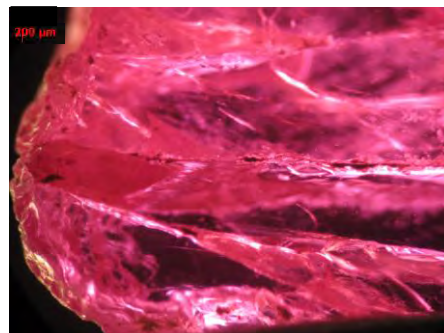
ตัวอย่างพลอยทับทิม S1-1

ภาพจากการศึกษาลักษณะภายในของพลอยทับทิมด้วยเครื่องมือ Gemological microscope

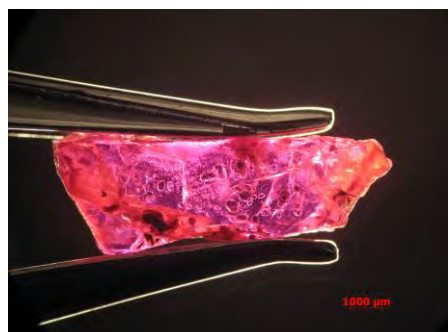
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง



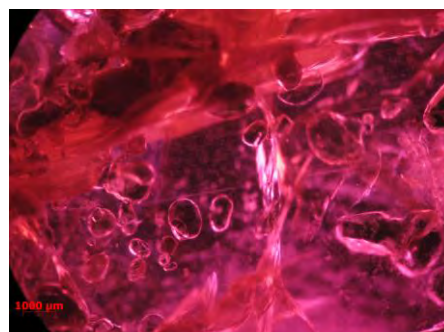
ตัวอย่างพลอยทับทิม T2-6



ตัวอย่างพลอยทับทิม T2-6

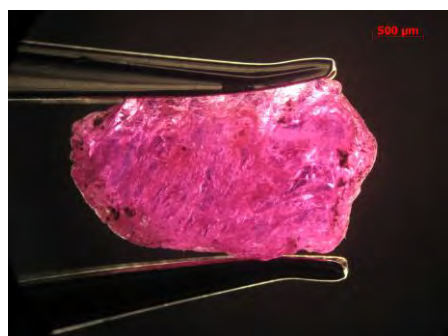


ตัวอย่างพลอยทับทิม T2-3

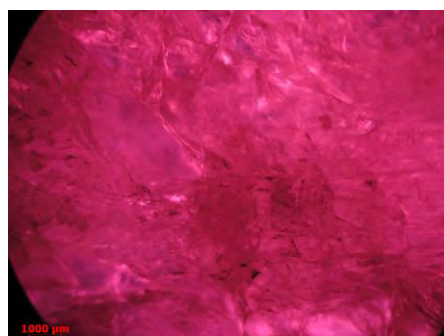


ตัวอย่างพลอยทับทิม T2-3

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ



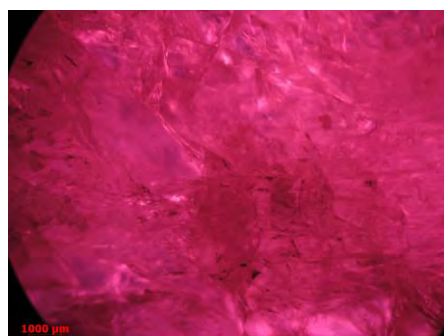
ตัวอย่างพลอยทับทิม S2-2



ตัวอย่างพลอยทับทิม S2-2



ตัวอย่างพลอยทับทิม S2-5



ตัวอย่างพลอยทับทิม S2-5

ภาพจากการศึกษาลักษณะภายในของพลอยทับทิมด้วยเครื่องมือ Gemological microscope

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง



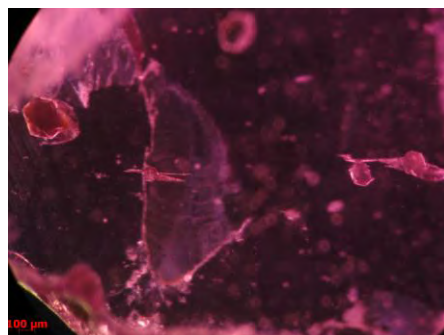
ตัวอย่างพลอยทับทิม T3-1



ตัวอย่างพลอยทับทิม T3-1



ตัวอย่างพลอยทับทิม T3-2

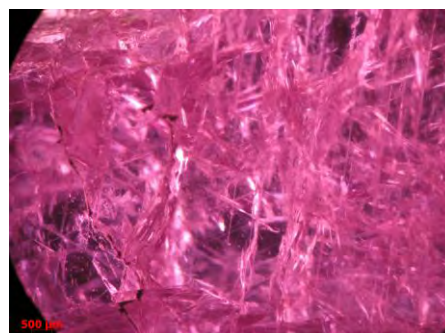


ตัวอย่างพลอยทับทิม T3-2

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ



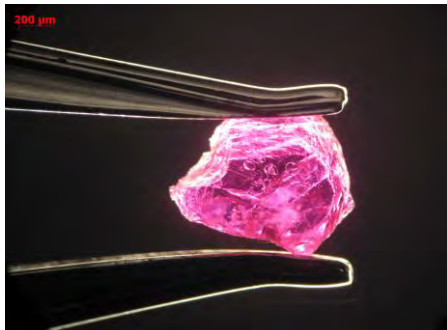
ตัวอย่างพลอยทับทิม S3-1



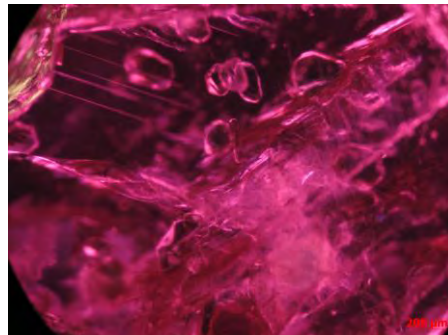
ตัวอย่างพลอยทับทิม S3-1

ภาพจากการศึกษาลักษณะภายในของพลอยทับทิมด้วยเครื่องมือ Gemological microscope

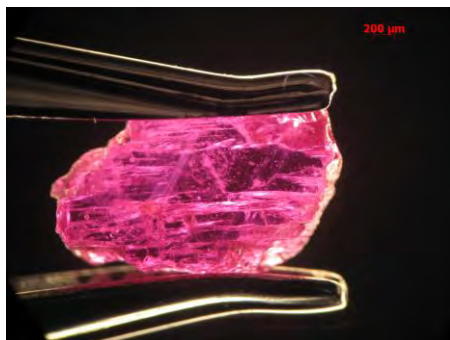
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง



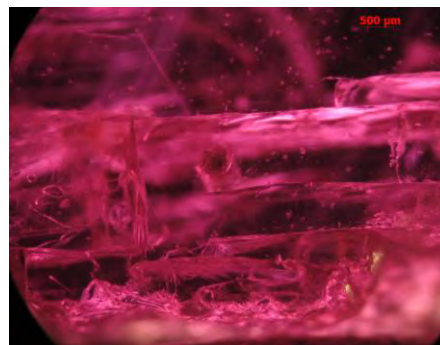
ตัวอย่างพลอยทับทิม T4-9



ตัวอย่างพลอยทับทิม T4-9

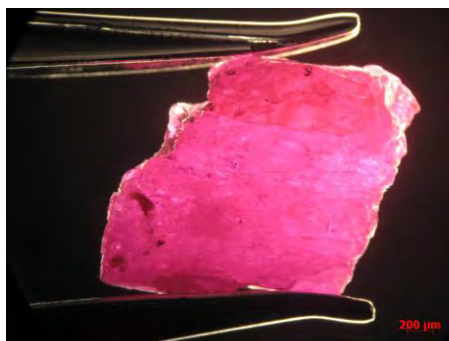


ตัวอย่างพลอยทับทิม T4-12

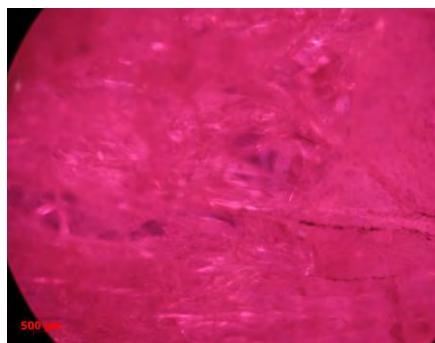


ตัวอย่างพลอยทับทิม T4-12

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ



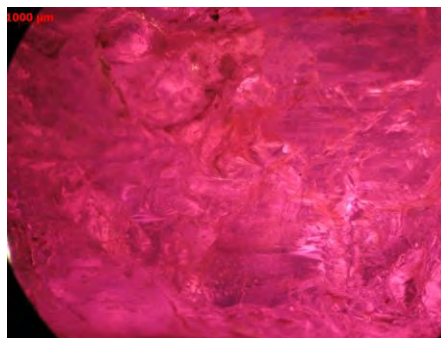
ตัวอย่างพลอยทับทิม S4-1



ตัวอย่างพลอยทับทิม S4-1



ตัวอย่างพลอยทับทิม S4-6



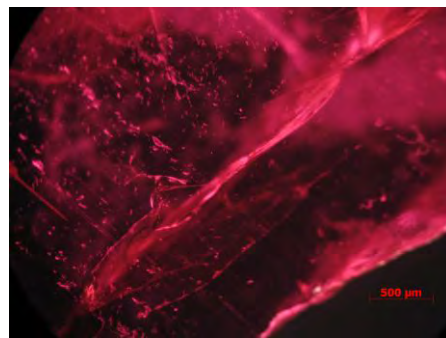
ตัวอย่างพลอยทับทิม S4-6

ภาพจากการศึกษาลักษณะภายในของพลอยทับทิมด้วยเครื่องมือ Gemological microscope

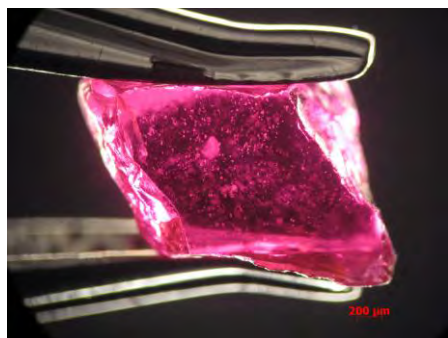
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง



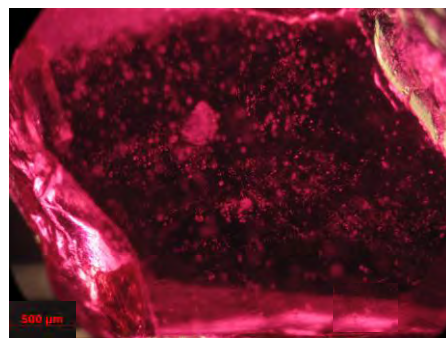
ตัวอย่างพลอยทับทิม T5-2



ตัวอย่างพลอยทับทิม T5-2

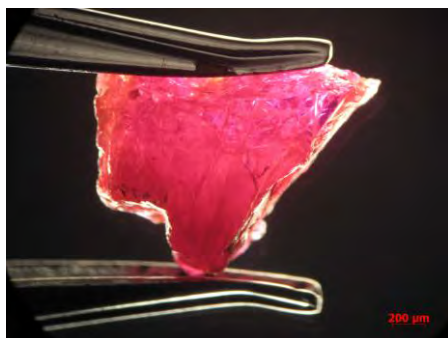


ตัวอย่างพลอยทับทิม T5-3

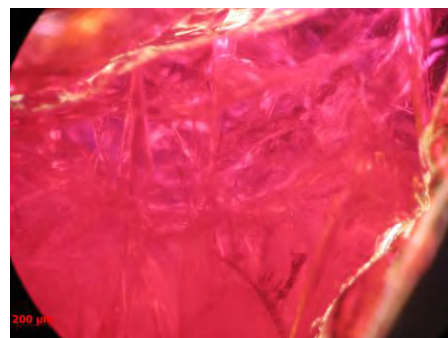


ตัวอย่างพลอยทับทิม T5-3

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ



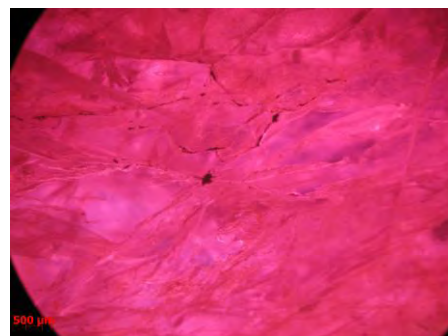
ตัวอย่างพลอยทับทิม S5-1



ตัวอย่างพลอยทับทิม S5-1



ตัวอย่างพลอยทับทิม S5-2



ตัวอย่างพลอยทับทิม S5-2

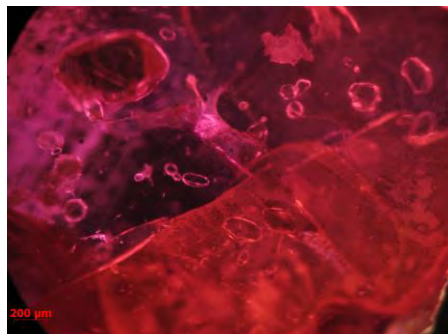


ภาพจากการศึกษาลักษณะภายในของพลอยทับทิมด้วยเครื่องมือ Gemological microscope

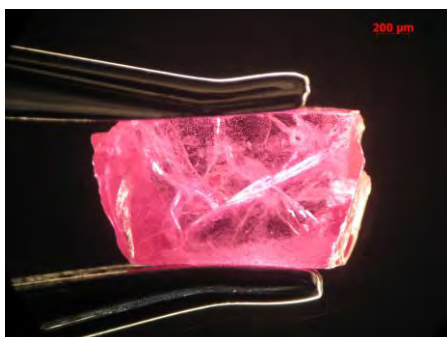
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง



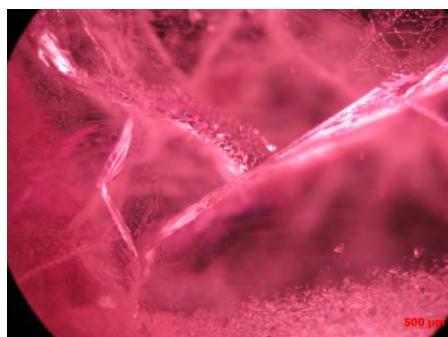
ตัวอย่างพลอยทับทิม T6-3



ตัวอย่างพลอยทับทิม T6-3



ตัวอย่างพลอยทับทิม T6-7



ตัวอย่างพลอยทับทิม T6-7

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ



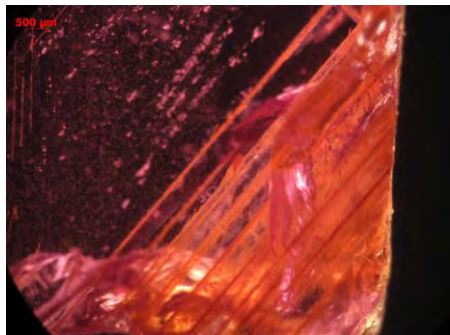
ตัวอย่างพลอยทับทิม S6-1



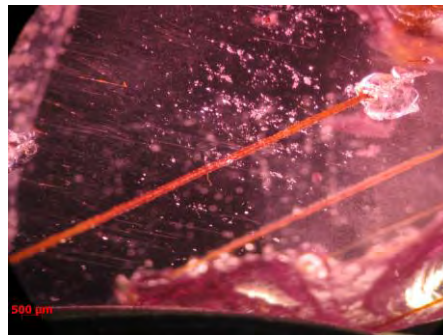
ตัวอย่างพลอยทับทิม S6-1

ภาพจากการศึกษาลักษณะภายในของพลอยทับทิมด้วยเครื่องมือ Gemological microscope

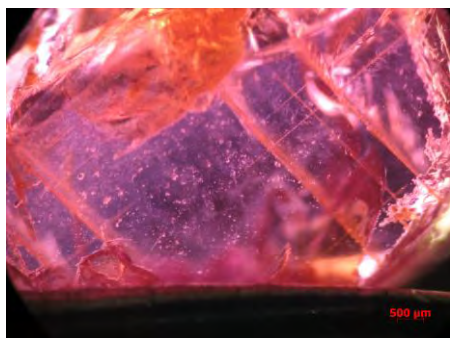
มลทินรูปท่อ



ตัวอย่างพลอยทับทิม T6-2

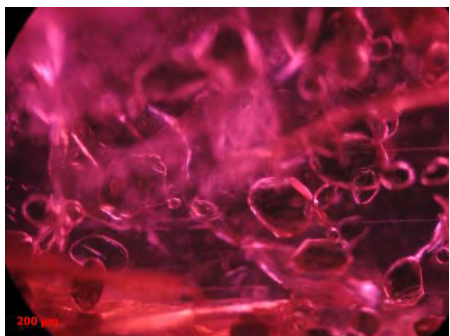


ตัวอย่างพลอยทับทิม T6-8

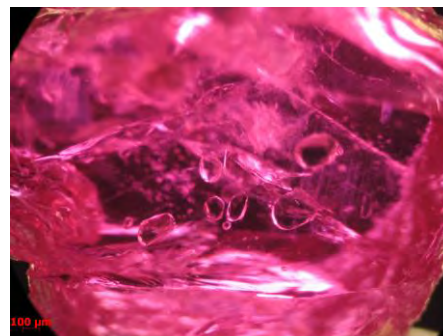


ตัวอย่างพลอยทับทิม T3-4

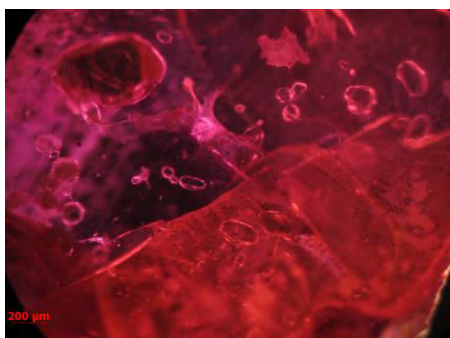
มลทินรูปผลึก



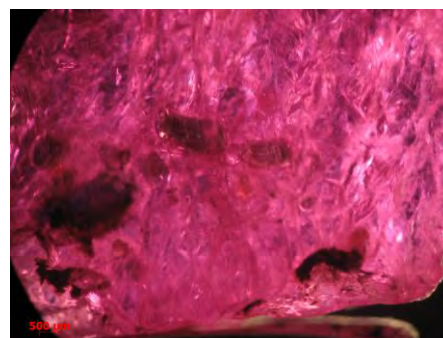
ตัวอย่างพลอยทับทิม T2-3



ตัวอย่างพลอยทับทิม T4-9



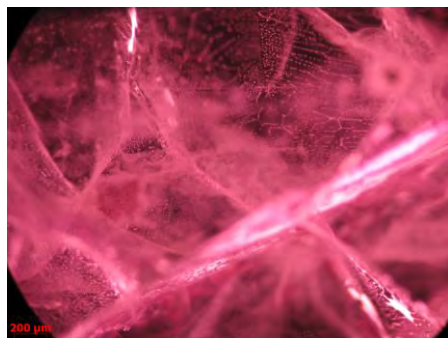
ตัวอย่างพลอยทับทิม T6-3



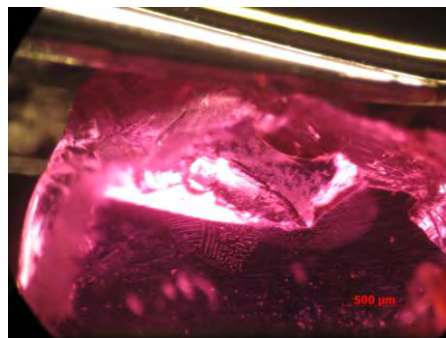
ตัวอย่างพลอยทับทิม S4-4

ภาพจากการศึกษาลักษณะภายในของพลอยทับทิมด้วยเครื่องมือ Gemological microscope

มลทินรอยนิ้วมือ

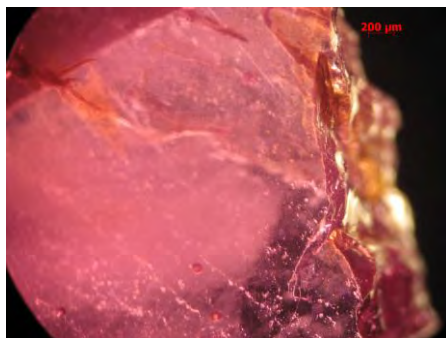


ตัวอย่างพลอยทับทิม T6-7



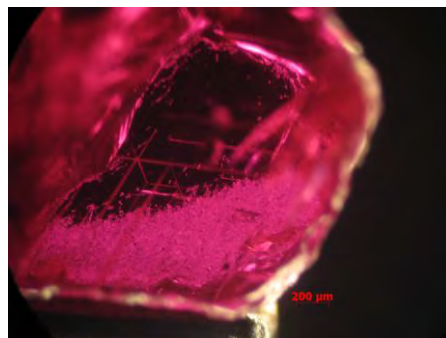
ตัวอย่างพลอยทับทิม T1-1

มลทินสีขาวขุ่น



ตัวอย่างพลอยทับทิม T6-1

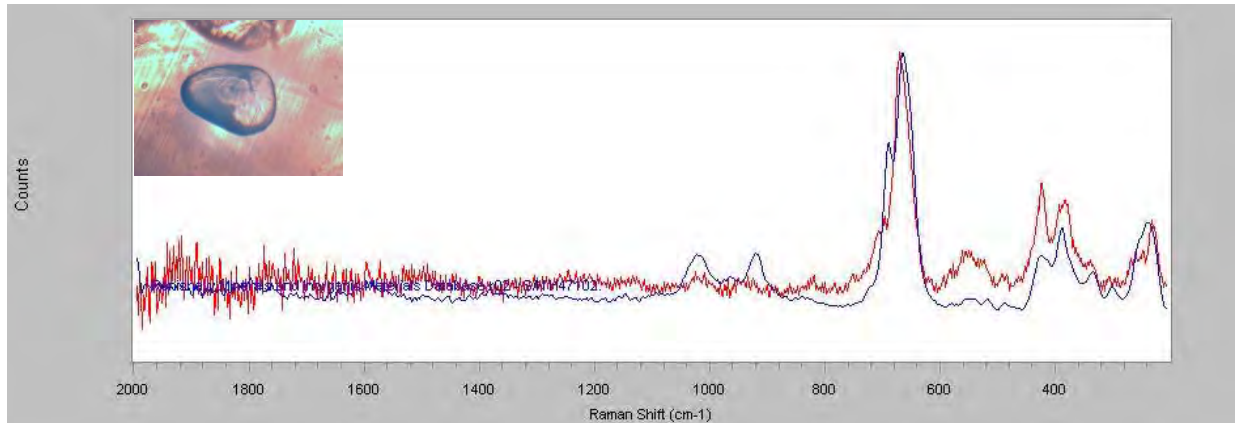
มลทินสีเส้นเข็ม



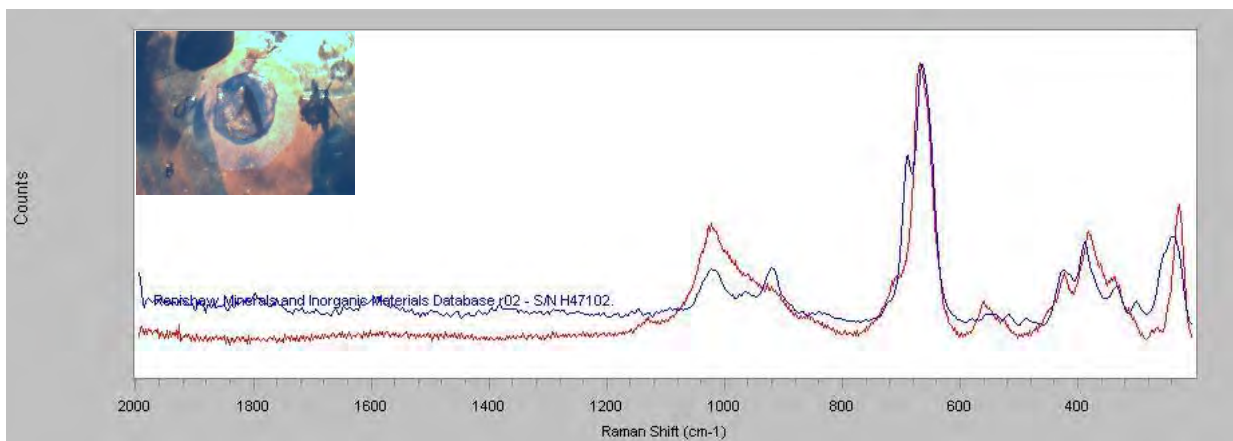
ตัวอย่างพลอยทับทิม T4-1

## ภาคผนวก ก-8

ข้อมูลจากการวิเคราะห์หินแร่ด้วยเครื่องมือ Laser Raman Spectroscopy



Raman spectrum ของผลึกแร่แอกทีโนไลต์ (Actinolite) ในตัวอย่างพลอยทับทิม T2-3



Raman spectrum ของผลึกแร่แอกทีโนไลต์ (Actinolite) ในตัวอย่างพลอยทับทิม T6-3

### ภาคผนวก ก-9

ผลจากการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการทางเคมีด้วยเครื่องมือ Energy Dispersive X-ray Fluorescence

(EDXRF) รุ่น EAGLE III พลอยกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง

Reference Number	Al2O3	TiO2	V2O5	Cr2O3	Fe2O3	Ga2O3
T1-1	98.789	0.060	0.006	0.660	0.473	0.011
T1-2	99.085	0.039	0.008	0.691	0.170	0.008
T1-3	99.453	0.009	0.000	0.324	0.208	0.006
T1-4	99.349	0.031	0.014	0.440	0.160	0.006
T1-6	99.527	0.021	0.016	0.314	0.118	0.004
T1-8	99.059	0.024	0.009	0.656	0.245	0.007
T1-9	99.506	0.008	0.000	0.337	0.146	0.004
T1-10	98.887	0.019	0.004	0.851	0.232	0.008
T1-11	99.652	0.014	0.004	0.207	0.110	0.013
T2-1	99.093	0.017	0.006	0.707	0.173	0.005
T2-3	99.269	0.028	0.014	0.498	0.178	0.013
T2-4	99.208	0.017	0.000	0.592	0.175	0.008
T2-5	99.206	0.017	0.010	0.557	0.204	0.006
T2-6	99.173	0.041	0.000	0.588	0.191	0.008
T2-7	99.373	0.017	0.000	0.450	0.156	0.005
T2-8	99.307	0.017	0.006	0.555	0.110	0.006
T2-10	99.568	0.021	0.010	0.152	0.238	0.011
T2-11	99.210	0.007	0.000	0.597	0.180	0.006
T2-12	99.498	0.032	0.013	0.193	0.258	0.005
T2-13	99.188	0.050	0.011	0.556	0.186	0.009
T2-14	99.213	0.041	0.007	0.520	0.207	0.012
T2-15	99.252	0.060	0.018	0.327	0.325	0.018
T2-16	99.156	0.063	0.014	0.443	0.317	0.006
T2-17	99.470	0.014	0.004	0.336	0.170	0.006
T2-18	99.372	0.012	0.006	0.335	0.260	0.017
T3-1	99.243	0.024	0.009	0.519	0.198	0.007

ผลจากการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการทางเคมีด้วยเครื่องมือ Energy Dispersive X-ray Fluorescence

(EDXRF) รุ่น EAGLE III พลอยกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง

Reference Number	Al2O3	TiO2	V2O5	Cr2O3	Fe2O3	Ga2O3
T3-2	99.475	0.036	0.010	0.262	0.212	0.006
T3-3	99.641	0.020	0.012	0.145	0.175	0.007
T3-4	99.543	0.015	0.010	0.267	0.159	0.005
T4-1	98.456	0.008	0.000	1.393	0.139	0.004
T4-2	98.105	0.035	0.012	1.303	0.531	0.014
T4-3	98.684	0.028	0.007	1.118	0.160	0.004
T4-4	99.182	0.031	0.010	0.554	0.220	0.003
T4-5	98.918	0.026	0.000	0.814	0.228	0.013
T4-6	99.070	0.018	0.011	0.734	0.157	0.010
T4-7	99.167	0.018	0.000	0.617	0.191	0.008
T4-8	98.947	0.029	0.012	0.739	0.270	0.004
T4-9	98.995	0.027	0.000	0.746	0.229	0.004
T4-10	99.429	0.019	0.007	0.338	0.201	0.007
T4-11	99.365	0.013	0.000	0.449	0.166	0.007
T4-12	99.301	0.014	0.004	0.466	0.211	0.005
T4-13	99.176	0.022	0.009	0.631	0.159	0.003
T4-14	99.411	0.019	0.010	0.377	0.176	0.008
T5-2	98.623	0.006	0.000	0.838	0.527	0.006
T5-3	98.356	0.019	0.008	1.020	0.588	0.009
T5-4	98.155	0.020	0.005	1.173	0.634	0.013
T5-5	98.239	0.012	0.000	1.586	0.156	0.008
T6-1	99.206	0.019	0.000	0.552	0.215	0.008
T6-2	99.002	0.044	0.010	0.613	0.326	0.005
T6-3	99.181	0.023	0.006	0.616	0.167	0.008
T6-4	99.492	0.021	0.000	0.235	0.242	0.010
T6-5	99.021	0.021	0.013	0.830	0.109	0.006

ผลจากการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องมือ Energy Dispersive X-ray Fluorescence  
(EDXRF) รุ่น EAGLE III พลอยกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง

Reference Number	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
T6-6	99.458	0.011	0.000	0.315	0.208	0.008
T6-7	99.428	0.016	0.004	0.364	0.181	0.006
T6-8	99.423	0.026	0.000	0.380	0.165	0.006

### ภาคผนวก ก-10

ผลจากการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องมือ Energy Dispersive X-ray Fluorescence  
(EDXRF) รุ่น EAGLE III พลอยกลุ่มคุณภาพต่ำ

Reference Number	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
S1-1	98.959	0.080	0.006	0.708	0.240	0.007
S1-2	99.531	0.007	0.000	0.252	0.205	0.005
S1-3	99.670	0.005	0.007	0.138	0.172	0.008
S2-1	99.060	0.021	0.005	0.754	0.155	0.005
S2-2	99.431	0.020	0.011	0.361	0.170	0.008
S2-3	99.188	0.029	0.010	0.577	0.190	0.008
S2-4	99.184	0.017	0.009	0.575	0.213	0.003
S2-5	99.277	0.007	0.019	0.532	0.160	0.006
S2-6	99.278	0.017	0.004	0.546	0.150	0.006
S3-1	99.310	0.024	0.012	0.441	0.200	0.013
S4-1	99.270	0.014	0.010	0.532	0.168	0.007
S4-2	99.254	0.019	0.005	0.521	0.196	0.005
S4-3	99.336	0.019	0.006	0.465	0.171	0.003
S4-4	99.252	0.048	0.000	0.432	0.259	0.009
S5-1	99.359	0.011	0.000	0.479	0.145	0.007
S5-2	99.216	0.018	0.013	0.568	0.174	0.011
S5-3	99.256	0.018	0.011	0.514	0.190	0.011
S5-4	99.195	0.013	0.005	0.500	0.280	0.007
S6-1	99.170	0.004	0.000	0.639	0.183	0.005

## ภาคผนวก ก-11

ค่าจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิมในบางตัวอย่างโดยเครื่อง EPMA กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

Code	T1-1	T1-1	T1-1	T1-2	T1-2	T1-2	T1-3	T1-3	T1-3	T1-5	T1-5	T1-5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	98.91	99.13	99.88	98.53	98.46	100.06	99.74	99.50	98.96	100.09	98.89	98.98
SiO <sub>2</sub>	0.02	0.02	0.00	0.04	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.03	0.02	0.02	0.02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.01	0.57	0.49	0.49	0.54	0.24	0.27	0.23	0.57	0.52	0.49
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.00	0.00	0.04	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
CaO	0.01	0.02	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
FeO	0.00	0.01	0.21	0.16	0.18	0.13	0.18	0.18	0.22	0.13	0.18	0.10
MgO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.05	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02
K <sub>2</sub> O	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.01	99.21	100.67	99.37	99.22	100.91	100.22	99.98	99.44	100.84	99.71	99.64
Al	1.9987	1.9988	1.9903	1.9893	1.9904	1.9897	1.9942	1.9946	1.9943	1.9905	1.9900	1.9918
Si	0.0003	0.0004	0.0000	0.0007	0.0005	0.0002	0.0003	0.0000	0.0000	0.0001	0.0003	0.0000
Ti	0.0002	0.0001	0.0000	0.0003	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0003	0.0002	0.0002	0.0003
Cr	0.0000	0.0002	0.0076	0.0066	0.0067	0.0072	0.0033	0.0037	0.0031	0.0076	0.0070	0.0066
V	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000
Ga	0.0005	0.0000	0.0000	0.0005	0.0001	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
Ca	0.0002	0.0003	0.0000	0.0003	0.0003	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000
Fe	0.0000	0.0002	0.0029	0.0023	0.0026	0.0019	0.0026	0.0026	0.0031	0.0019	0.0026	0.0014
Mg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
Mn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0007	0.0003	0.0000	0.0000	0.0001	0.0003	0.0003
K	0.0001	0.0001	0.0000	0.0007	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.0000	0.0000	0.0006	0.0000	0.0001	0.0000	0.0003	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
Total	2.0000	2.0001	2.0014	2.0011	2.0009	2.0009	2.0010	2.0009	2.0010	2.0006	2.0009	2.0005



ค่าจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิมในบางตัวอย่างโดยเครื่อง EPMA กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

Code	T2-1	T2-1	T2-3	T2-3	T2-3	A2-7	A2-7	A2-7	A2-8	A2-8	A2-8	A2-10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99.34	98.88	99.43	99.87	100.02	100.16	99.79	100.02	100.05	99.83	99.83	99.53
SiO <sub>2</sub>	0.02	0.03	0.12	0.02	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05	0.01	0.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.55	0.62	0.41	0.40	0.37	0.40	0.44	0.39	0.50	0.48	0.39	0.13
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.03	0.06	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00
CaO	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.16	0.21	0.14	0.13	0.13	0.13	0.15	0.14	0.08	0.14	0.09	0.22
MgO	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
Total	100.11	99.77	100.21	100.54	100.57	100.77	100.44	100.63	100.72	100.54	100.34	99.92
Al	1.9903	1.9887	1.9893	1.9916	1.9932	1.9926	1.9920	1.9926	1.9917	1.9908	1.9936	1.9957
Si	0.0004	0.0005	0.0020	0.0003	0.0000	0.0003	0.0002	0.0000	0.0000	0.0004	0.0002	0.0001
Ti	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0003	0.0003	0.0006	0.0002	0.0000
Cr	0.0074	0.0083	0.0055	0.0053	0.0050	0.0053	0.0059	0.0052	0.0066	0.0064	0.0052	0.0018
V	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
Ga	0.0000	0.0000	0.0003	0.0007	0.0000	0.0003	0.0000	0.0002	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
Ca	0.0002	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Fe	0.0022	0.0030	0.0020	0.0018	0.0018	0.0018	0.0022	0.0019	0.0012	0.0020	0.0012	0.0032
Mg	0.0000	0.0001	0.0009	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mn	0.0002	0.0002	0.0000	0.0002	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002
K	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002
Na	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0005	0.0003	0.0000	0.0002	0.0000	0.0001
Total	2.0007	2.0009	2.0004	2.0009	2.0006	2.0005	2.0009	2.0009	2.0004	2.0005	2.0003	2.0013

ค่าจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิมในบางตัวอย่างโดยเครื่อง EPMA กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

Code	A2-10	A2-13	A2-13	A2-13	T3-3	T3-3	T3-3	T3-3	T3-4	T3-4	T3-4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99.26	99.21	100.02	100.18	99.27	99.64	100.17	100.42	99.98	99.38	100.17
SiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.16	0.43	0.42	0.39	0.10	0.11	0.12	0.10	0.23	0.19	0.21
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00
CaO	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
FeO	0.22	0.14	0.17	0.15	0.13	0.16	0.16	0.17	0.16	0.14	0.15
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
MnO	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
Total	99.72	99.81	100.70	100.82	99.68	99.96	100.46	100.76	100.44	99.76	100.56
Al	1.9950	1.9928	1.9919	1.9920	1.9958	1.9958	1.9967	1.9964	1.9949	1.9955	1.9956
Si	0.0000	0.0000	0.0004	0.0004	0.0001	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
Ti	0.0002	0.0001	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0002	0.0000
Cr	0.0022	0.0058	0.0055	0.0052	0.0014	0.0014	0.0017	0.0013	0.0031	0.0026	0.0029
V	0.0003	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ga	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0002	0.0001	0.0002	0.0000
Ca	0.0002	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0002	0.0000
Fe	0.0031	0.0019	0.0024	0.0022	0.0018	0.0022	0.0022	0.0024	0.0022	0.0020	0.0021
Mg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
Mn	0.0001	0.0000	0.0000	0.0005	0.0001	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
K	0.0001	0.0000	0.0002	0.0002	0.0005	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0001
Na	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0004
Total	2.0012	2.0006	2.0008	2.0009	2.0013	2.0005	2.0008	2.0012	2.0008	2.0006	2.0010

ค่าจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิมในบางตัวอย่างโดยเครื่อง EPMA กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

Code	T4-3	T4-3	T4-3	T4-3	T4-5	T4-5	T4-5	T4-7	T4-7	T4-9	T4-9	T4-9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	98.76	99.57	99.14	99.31	99.08	99.93	99.13	99.62	99.47	99.86	100.01	18.45
SiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	44.16
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.04	0.03	0.02	0.14
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.91	0.84	1.16	0.99	0.56	0.58	0.50	0.51	0.49	0.60	0.51	0.60
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.04	0.07	0.01	0.03	0.05	0.14	0.00	0.00	0.01
CaO	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	11.74
FeO	0.11	0.14	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.10	0.12	0.19	0.23	5.53
MgO	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	15.64
MnO	0.00	0.01	0.02	0.03	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.05
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.13
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70
Total	99.79	100.56	100.55	100.56	99.90	100.72	99.87	100.30	100.31	100.74	100.78	98.16
Al	1.9866	1.9873	1.9823	1.9841	1.9897	1.9901	1.9909	1.9915	1.9898	1.9889	1.9904	3.2403
Si	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0002	6.4922
Ti	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0005	0.0003	0.0003	0.0160
Cr	0.0122	0.0113	0.0155	0.0132	0.0075	0.0077	0.0068	0.0068	0.0066	0.0081	0.0068	0.0706
V	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
Ga	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0007	0.0001	0.0003	0.0005	0.0015	0.0000	0.0000	0.0006
Ca	0.0001	0.0001	0.0002	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000	1.5912
Fe	0.0016	0.0020	0.0020	0.0021	0.0020	0.0021	0.0021	0.0013	0.0017	0.0027	0.0032	0.6897
Mg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.4724
Mn	0.0001	0.0001	0.0003	0.0005	0.0000	0.0002	0.0003	0.0000	0.0002	0.0003	0.0000	0.0063
K	0.0000	0.0000	0.0005	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0240
Na	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.4897
Total	2.0005	2.0007	2.0010	2.0011	2.0006	2.0008	2.0008	2.0006	2.0005	2.0008	2.0009	16.0929

ค่าจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิมในบางตัวอย่างโดยเครื่อง EPMA กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

Code	T4-10	T4-10	T4-10	T4-12	T4-12	T4-12	T4-12	T5-3	T5-3	T5-3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99.41	99.86	99.41	100.08	100.21	99.97	99.14	99.31	99.71	98.56
SiO <sub>2</sub>	0.06	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.25	0.28	0.25	0.42	0.36	0.39	0.40	0.97	0.82	0.58
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
FeO	0.32	0.17	0.15	0.21	0.16	0.19	0.18	0.55	0.52	0.33
MgO	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
MnO	0.04	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Total	100.14	100.46	99.83	100.73	100.79	100.58	99.74	100.85	101.12	99.52
Al	1.9913	1.9921	1.9950	1.9922	1.9930	1.9928	1.9926	1.9815	1.9835	1.9882
Si	0.0010	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003
Ti	0.0003	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0002	0.0002
Cr	0.0033	0.0037	0.0034	0.0056	0.0049	0.0052	0.0054	0.0129	0.0109	0.0079
V	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000
Ga	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ca	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0002
Fe	0.0045	0.0024	0.0021	0.0030	0.0022	0.0026	0.0026	0.0078	0.0073	0.0047
Mg	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0001	0.0003	0.0000	0.0001
Mn	0.0005	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
K	0.0006	0.0002	0.0000	0.0001	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
Na	0.0004	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000
Total	2.0019	2.0007	2.0010	2.0011	2.0008	2.0009	2.0009	2.0030	2.0024	2.0015

ค่าจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิมในบางตัวอย่างโดยเครื่อง EPMA กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

Code	T6-1	T6-1	T6-1	T6-3	T6-3	T6-3	T6-3	T6-3	T6-3	T6-3	T6-4	T6-4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99.53	99.81	99.36	99.73	99.50	99.93	100.27	16.74	15.89	15.78	99.21	100.47
SiO <sub>2</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	43.72	43.08	42.03	0.04	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.00	0.00	0.03	0.03	0.04	0.03	0.37	0.37	0.40	0.01	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.45	0.29	0.32	0.43	0.42	0.42	0.51	0.52	0.55	0.59	0.23	0.19
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.06
CaO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	11.24	10.48	10.39	0.00	0.00
FeO	0.20	0.17	0.19	0.13	0.12	0.13	0.14	5.59	5.45	5.38	0.19	0.24
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	15.52	15.16	14.87	0.02	0.01
MnO	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.09	0.11	0.01	0.01
K <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.14	0.14	0.01	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	1.50	1.28	1.24	0.00	0.01
Total	100.31	100.34	99.93	100.37	100.11	100.57	100.98	95.56	92.58	91.06	99.73	101.01
Al	1.9907	1.9937	1.9932	1.9921	1.9925	1.9916	1.9913	3.0221	2.9496	2.9826	1.9935	1.9940
Si	0.0002	0.0001	0.0002	0.0002	0.0000	0.0004	0.0000	6.6049	6.6920	6.6480	0.0006	0.0000
Ti	0.0001	0.0000	0.0001	0.0003	0.0004	0.0005	0.0004	0.0425	0.0443	0.0480	0.0001	0.0001
Cr	0.0060	0.0038	0.0043	0.0057	0.0057	0.0056	0.0068	0.0629	0.0678	0.0745	0.0030	0.0025
V	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0027	0.0034	0.0021	0.0001	0.0001
Ga	0.0009	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0049	0.0000	0.0007
Ca	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	1.5645	1.5004	1.5153	0.0001	0.0000
Fe	0.0028	0.0025	0.0027	0.0019	0.0017	0.0019	0.0020	0.7153	0.7181	0.7217	0.0028	0.0034
Mg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0005	0.0000	3.5408	3.5564	3.5530	0.0005	0.0003
Mn	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0139	0.0121	0.0148	0.0001	0.0001
K	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0332	0.0275	0.0284	0.0002	0.0000
Na	0.0000	0.0003	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.4450	0.3904	0.3854	0.0000	0.0004
Total	2.0009	2.0011	2.0010	2.0006	2.0005	2.0006	2.0005	16.0479	15.9622	15.9789	2.0010	2.0015

ค่าจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิมในบางตัวอย่างโดยเครื่อง EPMA กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

Code	T6-4	T6-7	T6-7	T6-7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	100.09	100.45	99.92	99.09
SiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.03	0.00	0.03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.22	0.31	0.32	0.34
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.05
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.00	0.10	0.00
CaO	0.02	0.01	0.01	0.00
FeO	0.32	0.16	0.13	0.18
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.04	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.01	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.00	0.00	0.00
Total	100.68	101.03	100.49	99.70

Al	1.9936	1.9934	1.9932	1.9927
Si	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ti	0.0001	0.0004	0.0001	0.0004
Cr	0.0029	0.0041	0.0043	0.0046
V	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005
Ga	0.0001	0.0000	0.0010	0.0000
Ca	0.0003	0.0002	0.0002	0.0000
Fe	0.0045	0.0022	0.0018	0.0025
Mg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mn	0.0001	0.0006	0.0000	0.0000
K	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
Total	2.0018	2.0008	2.0007	2.0007

ค่าจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิมในบางตัวอย่างโดยเครื่อง EPMA กลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)

Code	S1-1	S1-1	S1-2	S1-2	S1-2	S1-2	S1-2	S1-2	S1-3	S1-3	S1-3	S1-3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	100.17	98.22	100.18	100.59	100.21	17.45	17.32	16.53	99.89	101.03	101.62	101.36
SiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.04	44.52	42.82	0.03	0.02	0.01	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.00	0.02	0.03	0.02	0.31	0.28	0.28	0.00	0.03	0.01	0.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.55	0.56	0.20	0.15	0.17	0.19	0.27	0.23	0.11	0.13	0.09	0.10
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.05	0.02	0.03	0.00
CaO	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	11.10	10.49	10.22	0.01	0.00	0.00	0.01
FeO	0.20	0.21	0.22	0.19	0.22	6.31	6.32	6.14	0.15	0.14	0.17	0.15
MgO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	14.43	14.77	14.72	0.01	0.00	0.01	0.00
MnO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.09	0.09	0.09	0.02	0.00	0.05	0.03
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.37	0.36	0.36	0.00	0.00	0.00	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.69	1.50	1.33	0.00	0.00	0.01	0.00
Total	101.00	99.02	100.66	101.04	100.64	94.02	96.08	92.76	100.28	101.39	102.05	101.69

Al	1.9902	1.9902	1.9949	1.9951	1.9951	3.2201	3.1035	3.0699	1.9954	1.9959	1.9958	1.9965
Si	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.4920	6.6754	6.6548	0.0005	0.0003	0.0002	0.0001
Ti	0.0001	0.0000	0.0003	0.0004	0.0003	0.0366	0.0319	0.0328	0.0000	0.0004	0.0001	0.0000
Cr	0.0073	0.0076	0.0026	0.0020	0.0022	0.0238	0.0326	0.0281	0.0015	0.0017	0.0012	0.0013
V	0.0002	0.0000	0.0001	0.0002	0.0000	0.0000	0.0065	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003
Ga	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0049	0.0000	0.0006	0.0002	0.0004	0.0000
Ca	0.0001	0.0001	0.0000	0.0004	0.0001	1.5794	1.4500	1.4631	0.0001	0.0000	0.0000	0.0002
Fe	0.0028	0.0030	0.0031	0.0027	0.0030	0.8264	0.8031	0.8082	0.0021	0.0020	0.0023	0.0021
Mg	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	3.3666	3.3450	3.4548	0.0003	0.0000	0.0001	0.0000
Mn	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0122	0.0113	0.0125	0.0002	0.0000	0.0007	0.0004
K	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000	0.0729	0.0688	0.0719	0.0000	0.0001	0.0000	0.0003
Na	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.5123	0.4408	0.4064	0.0001	0.0000	0.0004	0.0000
Total	2.0010	2.0011	2.0010	2.0010	2.0011	16.1421	15.9738	16.0026	2.0008	2.0005	2.0012	2.0010

ค่าจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิมในบางตัวอย่างโดยเครื่อง EPMA กลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)

Code	S2-2	S2-2	S2-2	S2-2	S2-2	S2-2	S2-2	S2-5	S2-5	S2-5	S2-5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99.92	99.69	35.16	31.83	16.51	16.28	16.18	98.83	99.69	99.49	99.54
SiO <sub>2</sub>	0.01	0.00	43.68	40.87	41.47	45.69	45.70	0.01	0.00	0.02	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.00	0.00	0.01	0.37	0.37	0.37	0.02	0.01	0.02	0.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.30	0.33	0.02	0.00	0.34	0.31	0.29	0.44	0.43	0.53	0.56
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05	0.02	0.07	0.00	0.04	0.00	0.00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.00	0.06	0.00	0.05	0.10	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
CaO	0.00	0.00	19.36	17.72	11.54	10.99	11.18	0.00	0.00	0.00	0.01
FeO	0.16	0.16	0.06	0.15	5.96	6.11	5.92	0.14	0.18	0.20	0.15
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	15.95	15.95	16.14	0.02	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0.11	0.10	0.00	0.03	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.02	0.01	0.02	0.01	0.28	0.27	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.46	0.42	1.59	1.45	1.43	0.00	0.02	0.00	0.00
Total	100.44	100.22	98.86	91.05	94.24	97.69	97.72	99.46	100.40	100.32	100.31
Al	1.9940	1.9938	0.7466	0.7327	3.0500	2.8689	2.8503	1.9918	1.9914	1.9898	1.9907
Si	0.0001	0.0000	0.7762	0.7874	6.4143	6.7394	6.7397	0.0002	0.0000	0.0003	0.0002
Ti	0.0001	0.0000	0.0000	0.0002	0.0437	0.0419	0.0411	0.0002	0.0001	0.0003	0.0000
Cr	0.0040	0.0044	0.0003	0.0000	0.0419	0.0364	0.0346	0.0059	0.0057	0.0071	0.0075
V	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0055	0.0023	0.0064	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000
Ga	0.0001	0.0000	0.0007	0.0000	0.0046	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000
Ca	0.0000	0.0000	0.3170	0.3146	1.6444	1.4943	1.5200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002
Fe	0.0022	0.0023	0.0009	0.0025	0.7809	0.7635	0.7405	0.0020	0.0026	0.0028	0.0022
Mg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.7266	3.5536	3.5958	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000
Mn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0101	0.0141	0.0120	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000
K	0.0004	0.0002	0.0004	0.0001	0.0560	0.0507	0.0503	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.0003	0.0002	0.0161	0.0160	0.4817	0.4208	0.4156	0.0001	0.0005	0.0000	0.0000
Total	2.0012	2.0010	1.8583	1.8541	16.2598	15.9958	16.0065	2.0008	2.0013	2.0007	2.0007



ค่าจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิมในบางตัวอย่างโดยเครื่อง EPMA กลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)

Code	S3-1	S3-1	S3-1	S3-1	S5-2	S5-2	S5-2	S5-2	S5-3	S5-3	S5-3	S5-3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	100.22	99.53	99.11	100.84	100.19	100.25	101.17	100.73	100.87	100.98	101.23	101.02
SiO <sub>2</sub>	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.04	0.04	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.32	0.35	0.36	0.33	0.41	0.42	0.42	0.49	0.42	0.45	0.46	0.49
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.05	0.06	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00
CaO	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.17	0.15	0.17	0.18	0.14	0.26	0.15	0.11	0.16	0.14	0.17	0.20
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
MnO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Total	100.79	100.15	99.75	101.42	100.79	100.99	101.76	101.36	101.53	101.63	101.89	101.74

Al	1.9933	1.9925	1.9921	1.9935	1.9926	1.9908	1.9929	1.9923	1.9920	1.9921	1.9919	1.9914
Si	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ti	0.0003	0.0005	0.0005	0.0000	0.0002	0.0002	0.0000	0.0002	0.0002	0.0003	0.0000	0.0002
Cr	0.0042	0.0047	0.0048	0.0044	0.0054	0.0056	0.0056	0.0064	0.0055	0.0059	0.0061	0.0064
V	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000
Ga	0.0000	0.0005	0.0007	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0002	0.0000	0.0000
Ca	0.0001	0.0002	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
Fe	0.0024	0.0021	0.0025	0.0025	0.0019	0.0036	0.0022	0.0015	0.0023	0.0019	0.0023	0.0028
Mg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000
Mn	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
K	0.0000	0.0001	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0002	0.0000
Na	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005
Total	2.0006	2.0007	2.0008	2.0010	2.0006	2.0010	2.0008	2.0005	2.0008	2.0006	2.0011	2.0012

ค่าจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลอยทับทิมในบางตัวอย่างโดยเครื่อง EPMA กลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)

Code	S4-2	S4-2	S4-2	S4-2	S4-4	S4-4	S4-4	S4-4	S4-4	S4-4	S4-4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99.23	99.57	98.55	99.71	98.69	100.66	100.44	16.60	16.70	16.17	16.30
SiO <sub>2</sub>	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	45.08	41.96	41.42	43.78
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01	0.25	0.22	0.26	0.18
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.37	0.40	0.35	0.31	0.35	0.38	0.37	0.78	0.87	0.80	0.54
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.07	0.03
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.04	0.02	0.08	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.01
CaO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	11.35	11.13	11.16	11.33
FeO	0.16	0.15	0.17	0.18	0.18	0.15	0.19	6.79	6.89	6.94	5.34
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.35	15.28	14.74	15.68
MnO	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13	0.07	0.08	0.12
K <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.31	0.32	0.28	0.18
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	1.78	1.67	1.57	1.52
Total	99.85	100.21	99.18	100.33	99.29	101.21	101.07	99.47	95.15	93.51	95.02

Al	1.9922	1.9922	1.9920	1.9930	1.9931	1.9932	1.9924	2.8985	3.0625	3.0210	2.9565
Si	0.0006	0.0002	0.0004	0.0000	0.0000	0.0001	0.0003	6.5889	6.4419	6.4781	6.6474
Ti	0.0004	0.0003	0.0003	0.0000	0.0003	0.0001	0.0001	0.0283	0.0261	0.0311	0.0203
Cr	0.0049	0.0053	0.0047	0.0041	0.0047	0.0051	0.0049	0.0912	0.1068	0.0999	0.0656
V	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0010	0.0010	0.0074	0.0027
Ga	0.0000	0.0004	0.0002	0.0009	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0016	0.0000	0.0006
Ca	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	1.5286	1.5747	1.6080	1.5852
Fe	0.0022	0.0022	0.0025	0.0026	0.0026	0.0021	0.0027	0.8409	0.8964	0.9199	0.6870
Mg	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	3.6083	3.5431	3.4807	3.5948
Mn	0.0000	0.0000	0.0004	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0167	0.0092	0.0105	0.0154
K	0.0003	0.0002	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0586	0.0627	0.0564	0.0353
Na	0.0000	0.0000	0.0007	0.0001	0.0000	0.0000	0.0002	0.5118	0.5026	0.4837	0.4532
Total	2.0007	2.0007	2.0012	2.0012	2.0008	2.0007	2.0009	16.1727	16.2287	16.1967	16.0640

### ภาคผนวก ข-1

ลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทับทิม แหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก หลังการปรับปรุงคุณภาพ

กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

No.	Sample ID.	Size(ct.)	Color	RI		Birefringence	SG	Fluorescence	
				$n_e$	$n_o$			SW	LW
1	T1-1	0.393	R 4/5	1.762	1.769	0.007	3.977	Weak (Red)	Strong (Red)
2	T1-2	0.949	R 5/3	1.761	1.770	0.009	4.007	Modurate (Red)	Strong (Red)
3	T1-3	1.240	stpR 5/4	1.759	1.768	0.009	3.992	Weak (Red)	Strong (Red)
4	T1-4	0.473	PR/RP 4/5	1.761	1.768	0.007	3.943	Weak (Red)	Strong (Red)
5	T1-6	0.672	R 4/5	1.760	1.768	0.008	3.997	Modurate (Red)	Strong (Red)
6	T1-8	0.245	stpR 6/4	1.762	1.768	0.006	3.863	Innert (Red)	Strong (Red)
7	T1-9	0.730	stpR 5/4	1.760	1.768	0.008	3.949	Weak (Red)	Strong (Red)
8	T1-10	7.123	R 7/4	1.763	1.770	0.007	3.966	Weak (Red)	Strong (Red)
9	T1-11	6.308	R 7/4	1.762	1.772	0.010	3.960	Modurate (Red)	Strong (Red)
10	T2-1	0.563	R 7/4	1.760	1.770	0.010	4.033	Innert (Red)	Strong (Red)
11	T2-3	1.200	slpr 6/4	1.762	1.770	0.008	3.884	Weak (Red)	Strong (Red)
12	T2-4	1.880	R 6/5	1.759	1.764	0.005	3.959	Innert (Red)	Strong (Red)
13	T2-5	0.816	R 6/5	1.762	1.770	0.008	3.934	Innert (Red)	Strong (Red)

ลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทับทิม แหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก หลังการปรับปรุงคุณภาพ

กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

No.	Sample ID.	Size(ct.)	Color	RI		Birefringence	SG	Fluorescence	
				$n_e$	$n_o$			SW	LW
14	T2-6	0.797	PR/RP 4/5	1.759	1.764	0.005	3.986	Weak (Red)	Strong (Red)
15	T2-7	0.664	R 4/5	1.760	1.770	0.010	3.881	Innert (Red)	Strong (Red)
16	T2-8	0.826	R 6/5	1.762	1.769	0.007	3.946	Weak (Red)	Strong (Red)
17	T2-10	0.692	R 2/2	1.767	1.771	0.004	3.995	Innert (Red)	Modurate (Red)
18	T2-11	0.418	slpR 5/4	1.759	1.769	0.010	3.936	Innert (Red)	Modurate (Red)
19	T2-12	0.842	R 4/3	1.759	1.768	0.009	4.022	Weak (Red)	Modurate (Red)
20	T2-13	0.616	stpR 5/4	1.760	1.768	0.008	3.986	Weak (Red)	Strong (Red)
21	T2-14	0.678	stpR 6/4	1.761	1.770	0.009	4.010	Weak (Red)	Strong (Red)
22	T2-15	0.893	PR/RP 4/5	1.762	1.770	0.008	3.905	Weak (Red)	Strong (Red)
23	T2-16	0.539	PR/RP 4/5	1.770	1.778	0.008	3.885	Innert (Red)	Strong (Red)
24	T2-17	0.495	PR/RP 4/5	1.767	1.772	0.005	3.867	Innert (Red)	Strong (Red)
25	T2-18	0.757	slpR 5/4	1.764	1.772	0.008	3.988	Innert (Red)	Strong (Red)
26	T3-1	0.439	PR/RP 4/5	1.768	1.770	0.002	3.989	Innert (Red)	Strong (Red)
27	T3-2	0.763	R 7/3	1.760	1.768	0.008	3.999	Innert (Red)	Strong (Red)
28	T3-3	1.156	R 4/3	1.760	1.770	0.010	3.960	Innert (Red)	Strong (Red)

ลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทับทิม แหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิค หลังการปรับปรุงคุณภาพ

กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

No.	Sample ID.	Size(ct.)	Color	RI		Birefringence	SG	Fluorescence	
				$n_e$	$n_o$			SW	LW
29	T3-4	0.491	PR/RP 5/3	1.762	1.767	0.005	3.995	Innert (Red)	Strong (Red)
30	T4-1	0.829	oR 8/3	1.764	1.770	0.006	3.948	Innert (Red)	Modurate (Red)
31	T4-2	0.902	oR 8/3	1.762	1.768	0.006	3.962	Innert (Red)	Strong (Red)
32	T4-3	0.645	oR 8/3	1.762	1.770	0.008	3.943	Innert (Red)	Modurate (Red)
33	T4-4	1.471	R 7/4	1.761	1.768	0.007	3.947	Innert (Red)	Strong (Red)
34	T4-5	0.842	OR/RO 5/4	1.760	1.768	0.008	4.010	Innert (Red)	Strong (Red)
35	T4-6	1.268	R 6/5	1.756	1.764	0.008	3.930	Modurate (Red)	Strong (Red)
36	T4-7	0.573	stpR 6/4	1.762	1.770	0.008	3.890	Innert (Red)	Modurate (Red)
37	T4-8	0.631	R 6/3	1.764	1.771	0.007	3.906	Modurate (Red)	Strong (Red)
38	T4-9	0.457	R 6/5	1.762	1.771	0.009	3.921	Innert (Red)	Strong (Red)
39	T4-10	0.795	oR 6/3	1.760	1.770	0.010	3.879	Weak (Red)	Strong (Red)
40	T4-11	1.174	R 6/5	1.762	1.770	0.008	3.916	Innert (Red)	Strong (Red)
41	T4-12	0.766	stpR 6/4	1.762	1.770	0.008	3.942	Innert (Red)	Strong (Red)
42	T4-13	0.656	stpR 5/4	1.762	1.769	0.007	3.952	Innert (Red)	Strong (Red)
43	T4-14	0.697	R 6/3	1.762	1.768	0.006	3.987	Weak (Red)	Strong (Red)

ลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทับทิม แหล่งมอนเตปวยซ์ ประเทศโมซัมบิก หลังการปรับปรุงคุณภาพ

กลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)

No.	Sample ID.	Size(ct.)	Color	RI		Birefringence	SG	Fluorescence	
				$n_e$	$n_o$			SW	LW
44	T5-2	1.313	oR 8/3	1.760	1.768	0.008	3.952	Innert (Red)	Modurate (Red)
45	T5-3	0.656	oR 8/3	1.762	1.768	0.006	3.933	Innert (Red)	Modurate (Red)
46	T5-4	0.794	OR/RO 7/4	1.762	1.770	0.008	3.969	Innert (Red)	Modurate (Red)
47	T5-5	0.642	OR/RO 7/4	1.760	1.768	0.008	3.930	Innert (Red)	Modurate (Red)
48	T6-1	0.672	rO 4/3	1.761	1.770	0.009	3.965	Innert (Red)	Strong (Red)
49	T6-2	0.823	oR 3/4	1.760	1.770	0.010	4.005	Innert (Red)	Strong (Red)
50	T6-3	0.929	oR 6/4	1.762	1.770	0.008	3.930	Innert (Red)	Strong (Red)
51	T6-4	0.281	slpR 2/3	1.772	1.778	0.006	4.005	Innert (Red)	Strong (Red)
52	T6-5	0.655	RO/OR 5/4	1.760	1.769	0.009	3.951	Weak (Red)	Strong (Red)
53	T6-6	0.616	oR 4/5	1.762	1.770	0.008	3.966	Weak (Red)	Strong (Red)
54	T6-7	0.937	RO/OR 5/4	1.768	1.771	0.003	3.943	Weak (Red)	Strong (Red)
55	T6-8	0.942	rO 4/3	1.773	1.778	0.005	3.976	Weak (Red)	Strong (Red)

## ภาคผนวก ข-2

ลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทับทิม แหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมซัมบิก หลังการปรับปรุงคุณภาพ

กลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)

No.	Sample ID.	Size(ct.)	Color	RI		Birefringence	SG	Fluorescence	
				$n_e$	$n_o$			SW	LW
56	S1-1	4.473	oR 8/3	1.762	1.770	0.008	4.017	Innert (Red)	Modurate (Red)
57	S1-2	1.078	R 5/3	1.760	1.770	0.010	4.065	Innert (Red)	Modurate (Red)
58	S1-3	2.816	PR/RP 4/2	1.768	1.773	0.005	4.092	Innert (Red)	Modurate (Red)
59	S2-1	2.851	stpR 6/4	1.761	1.770	0.009	4.037	Innert (Red)	Strong (Red)
60	S2-2	2.959	R 6/5	1.760	1.769	0.009	3.989	Innert (Red)	Modurate (Red)
61	S2-3	2.289	oR 6/4	1.762	1.770	0.008	3.989	Innert (Red)	Modurate (Red)
62	S2-4	2.223	slpR 6/3	1.762	1.771	0.009	3.964	Weak (Red)	Strong (Red)
63	S2-5	3.281	slpR 6/3	1.760	1.770	0.010	3.992	Modurate (Red)	Strong (Red)
64	S2-6	1.842	slpR 6/3	1.762	1.770	0.008	4.024	Weak (Red)	Strong (Red)
65	S3-1	0.900	stpR 6/4	1.760	1.769	0.009	4.027	Innert (Red)	Strong (Red)
66	S4-1	4.578	oR 6/4	1.760	1.770	0.010	4.011	Weak (Red)	Strong (Red)
67	S4-2	1.981	R 5/4	1.761	1.769	0.008	4.047	Weak (Red)	Strong (Red)
68	S4-3	2.009	stpR 8/3	1.762	1.770	0.008	4.030	Innert (Red)	Strong (Red)

ลักษณะทางกายภาพและสมบัติเฉพาะทางอัญมณีของตัวอย่างพลอยทับทิม แหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมซัมบิก หลังการปรับปรุงคุณภาพ

กลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)

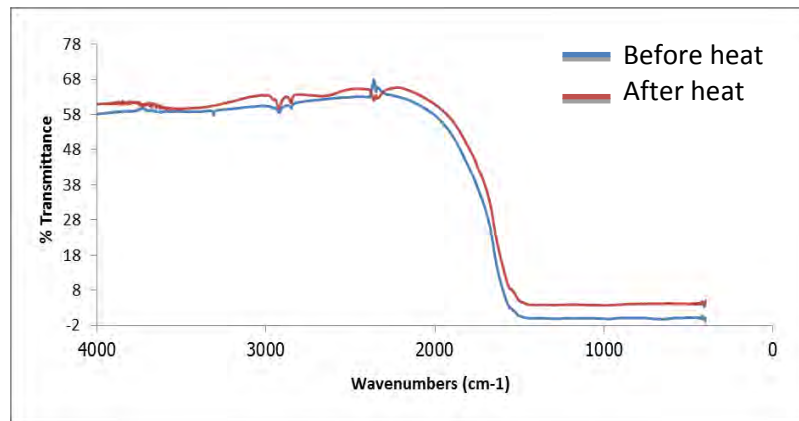
No.	Sample ID.	Size(ct.)	Color	RI		Birefringence	SG	Fluorescence	
				$n_e$	$n_o$			SW	LW
69	S4-4	1.896	stpR 5/4	1.760	1.769	0.009	4.172	Innert (Red)	Modurate (Red)
70	S5-1	2.322	oR 8/3	1.764	1.771	0.007	4.089	Innert (Red)	Modurate (Red)
71	S5-2	3.852	R 6/5	1.762	1.770	0.008	3.999	Weak (Red)	Strong (Red)
72	S5-3	1.655	stpR 6/4	1.760	1.770	0.010	4.073	Innert (Red)	Modurate (Red)
73	S5-4	2.240	R 6/5	1.760	1.770	0.010	4.039	Weak (Red)	Strong (Red)
74	S6-1	2.172	oR 6/3	1.762	1.770	0.008	4.107	Innert (Red)	Modurate (Red)



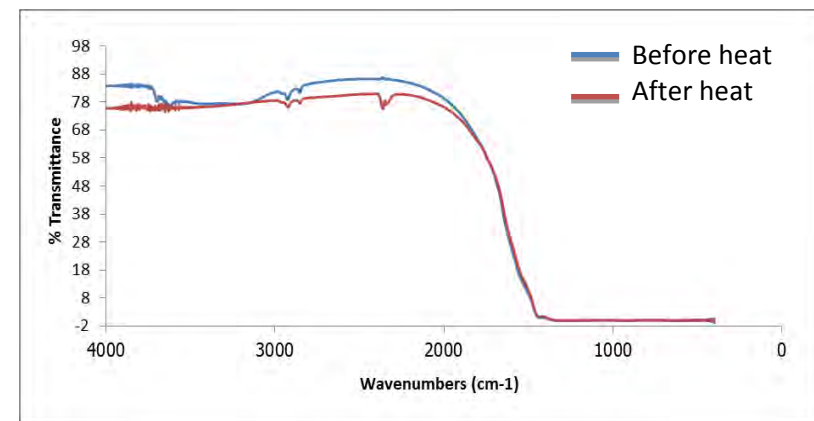
### ภาคผนวก ข-3

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมซัมบิก

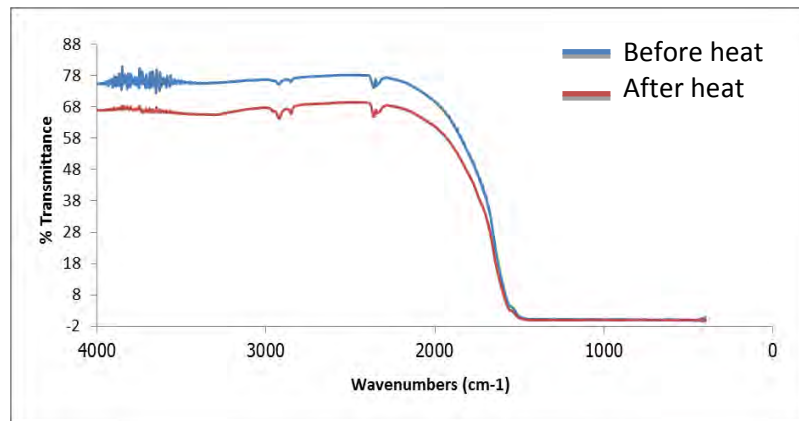
หลังการปรับปรุงคุณภาพ พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



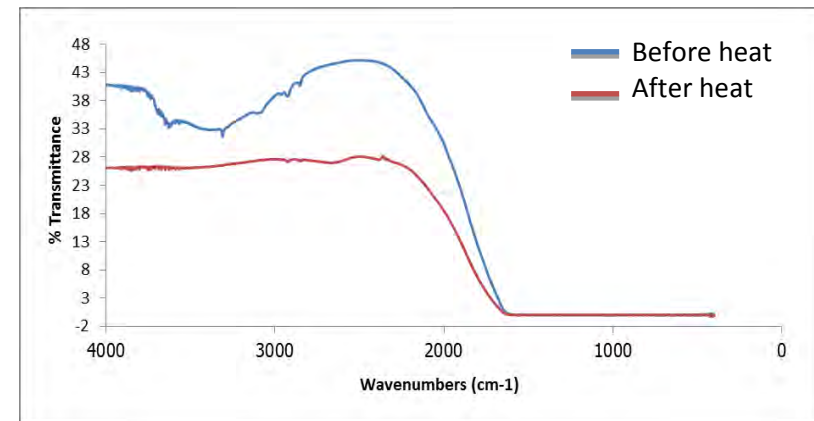
ตัวอย่างทับทิม T1-1



ตัวอย่างทับทิม T1-2



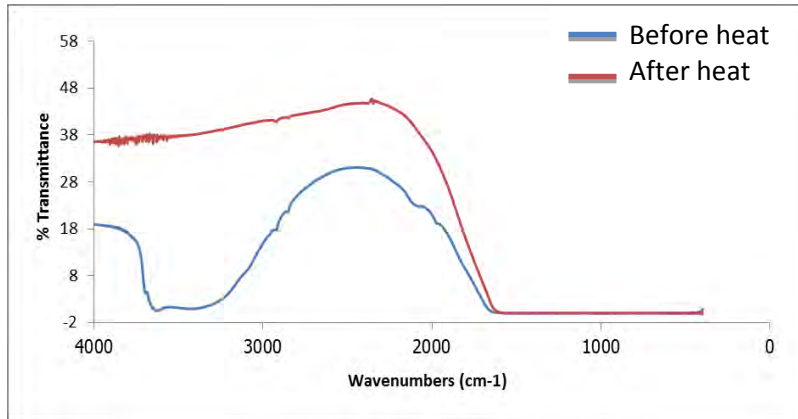
ตัวอย่างทับทิม T1-4



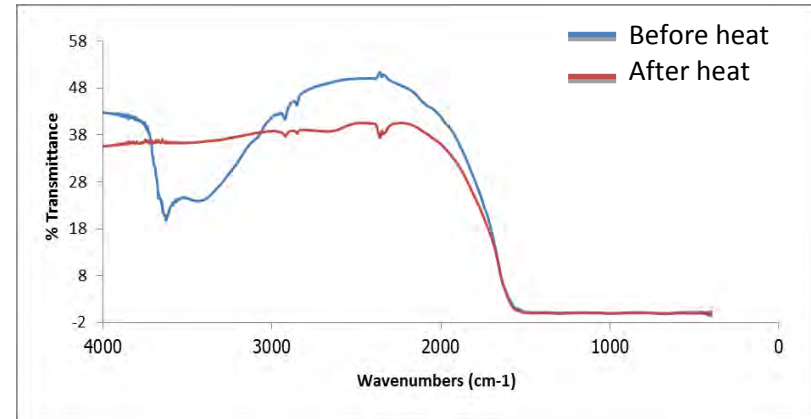
ตัวอย่างทับทิม T1-10

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมณฑลยูนนาน ประเทศโมซัมบิก

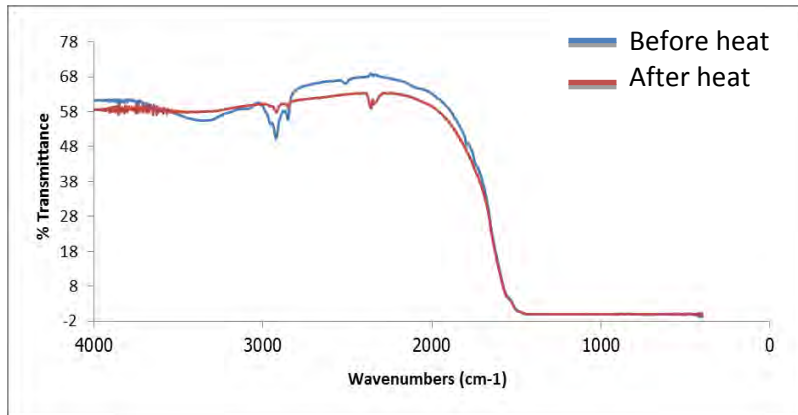
หลังการปรับปรุงคุณภาพ พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



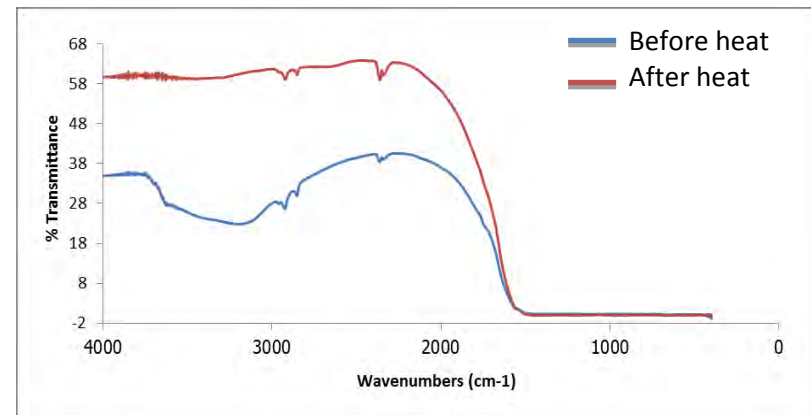
ตัวอย่างทับทิม T1-11



ตัวอย่างทับทิม T2-3



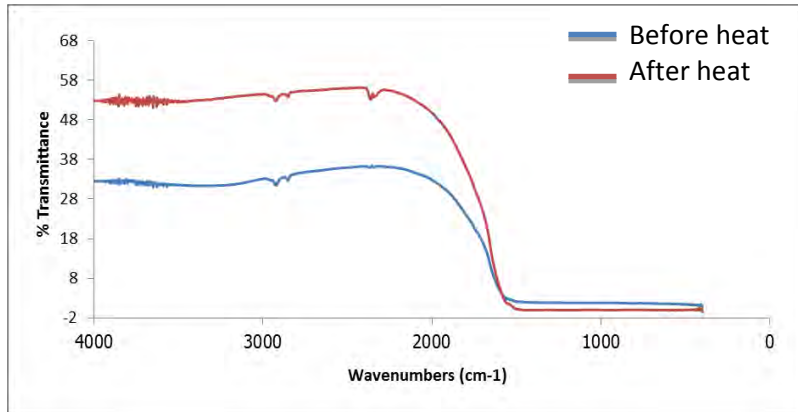
ตัวอย่างทับทิม T2-6



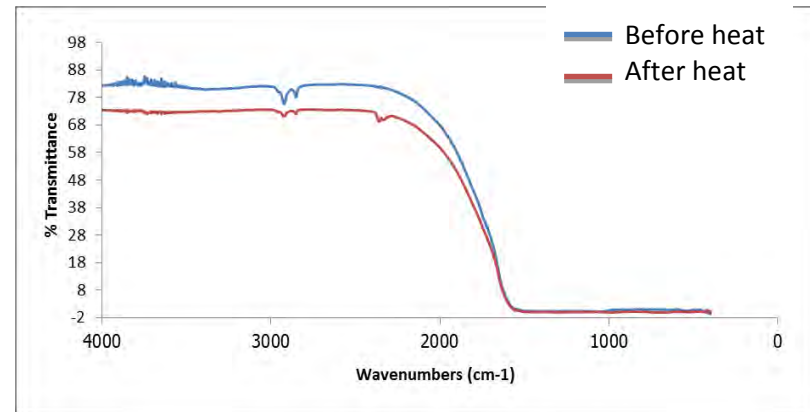
ตัวอย่างทับทิม T2-8

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก

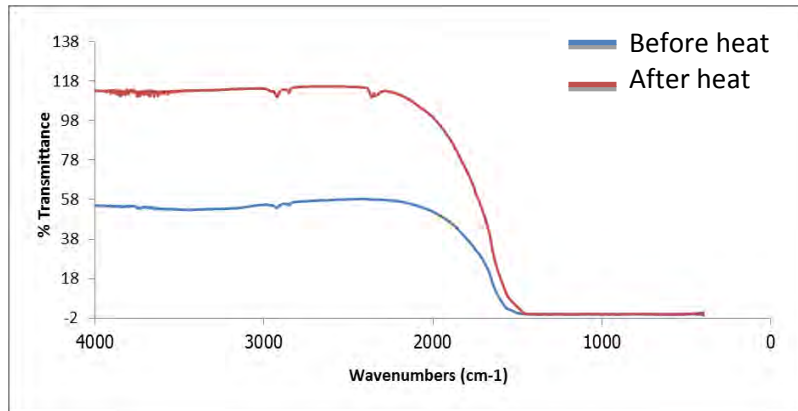
หลังการปรับปรุงคุณภาพ พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



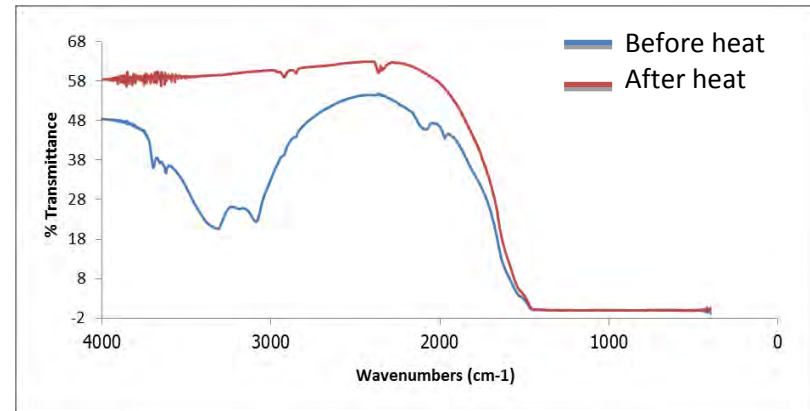
ตัวอย่างทับทิม T2-15



ตัวอย่างทับทิม T2-18



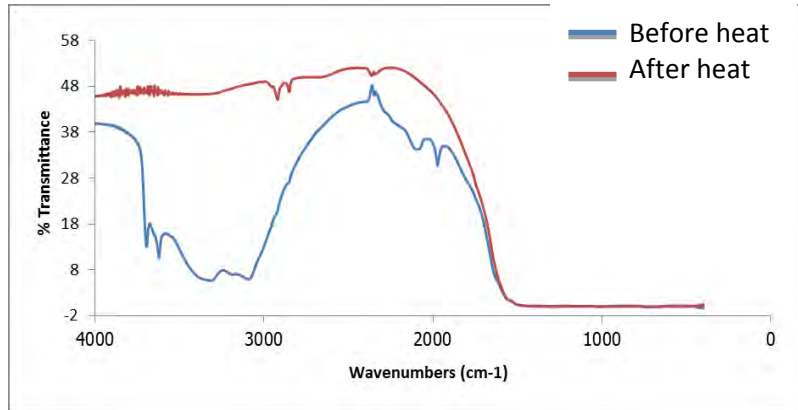
ตัวอย่างทับทิม T3-3



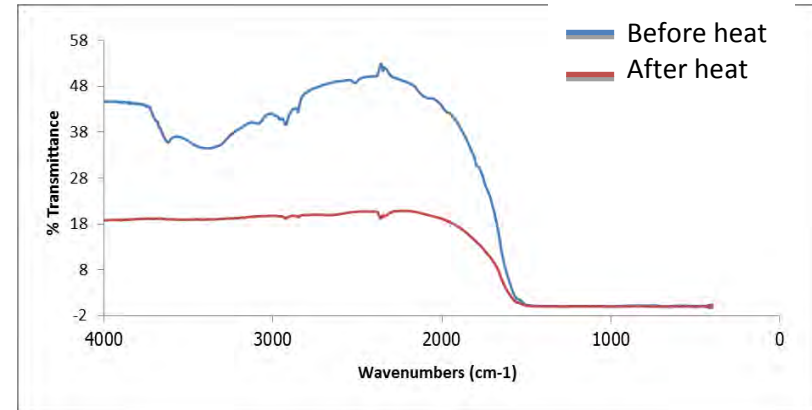
ตัวอย่างทับทิม T4-5

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมซัมบิก

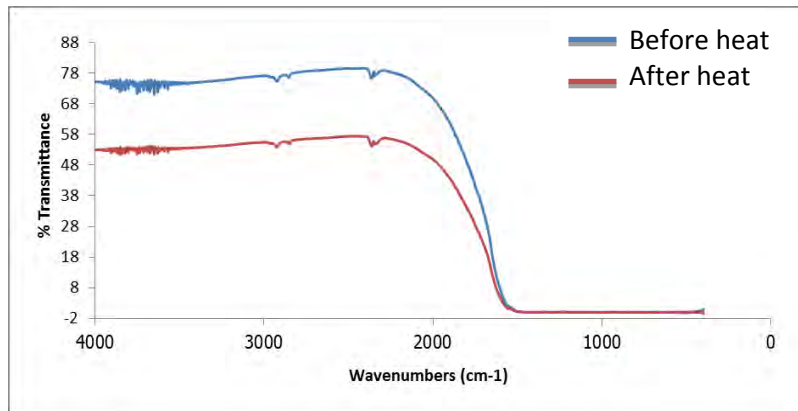
หลังการปรับปรุงคุณภาพ พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



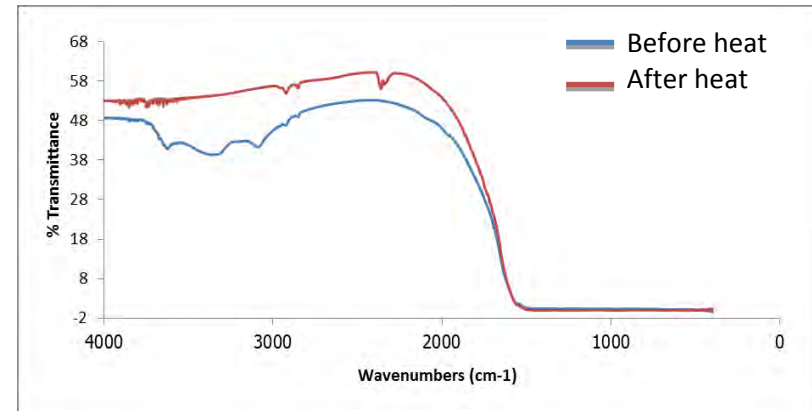
ตัวอย่างทับทิม T4-7



ตัวอย่างทับทิม T4-9



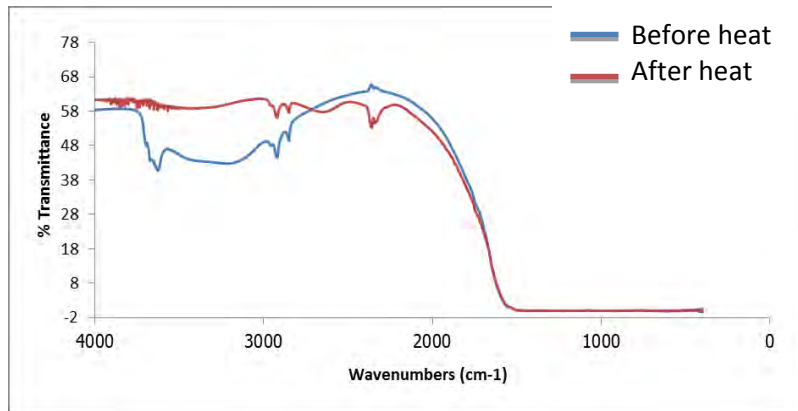
ตัวอย่างทับทิม T4-11



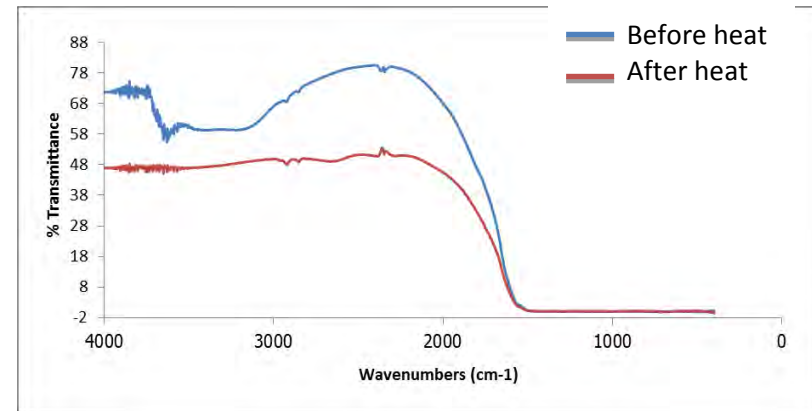
ตัวอย่างทับทิม T4-12

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมณฑลยูนนาน ประเทศโมซัมบิก

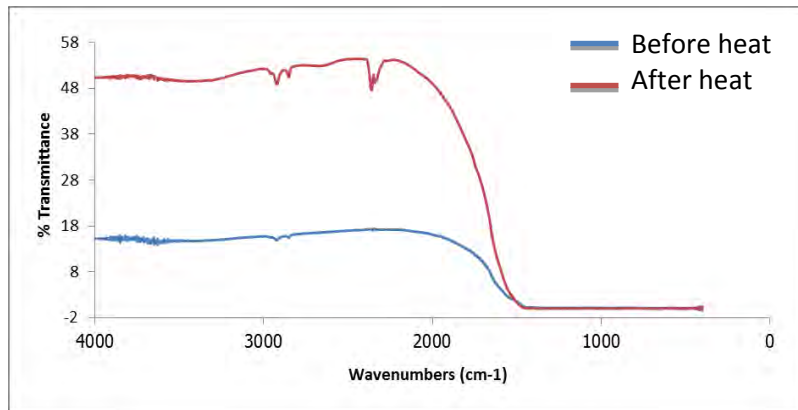
หลังการปรับปรุงคุณภาพ พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง(กลุ่ม T)



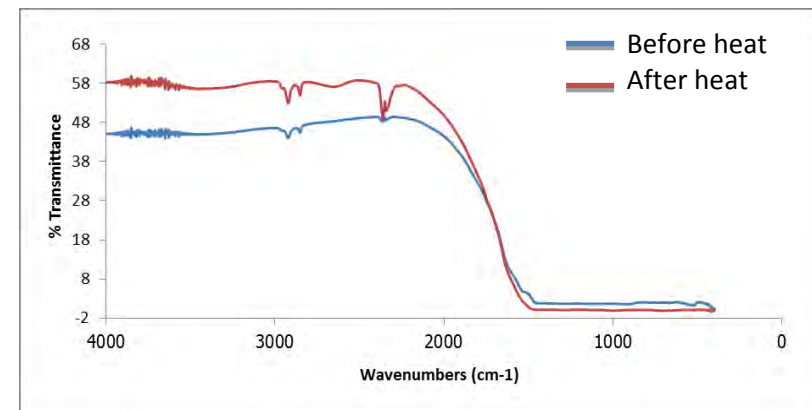
ตัวอย่างทับทิม T5-2



ตัวอย่างทับทิม T6-3



ตัวอย่างทับทิม T6-5

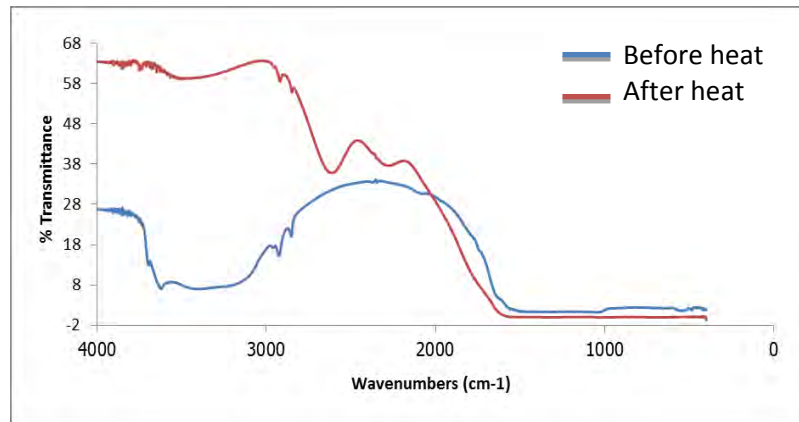


ตัวอย่างทับทิม T6-7

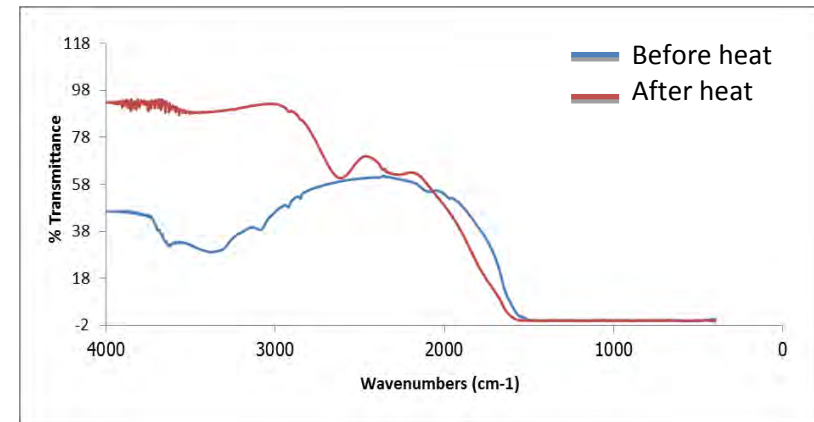
## ภาคผนวก ข-4

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมณฑลยูนนาน ประเทศโมซัมบิก

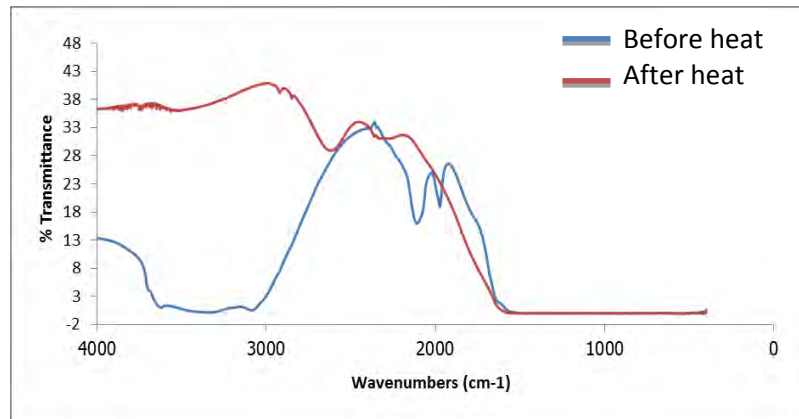
หลังการปรับปรุงคุณภาพ พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)



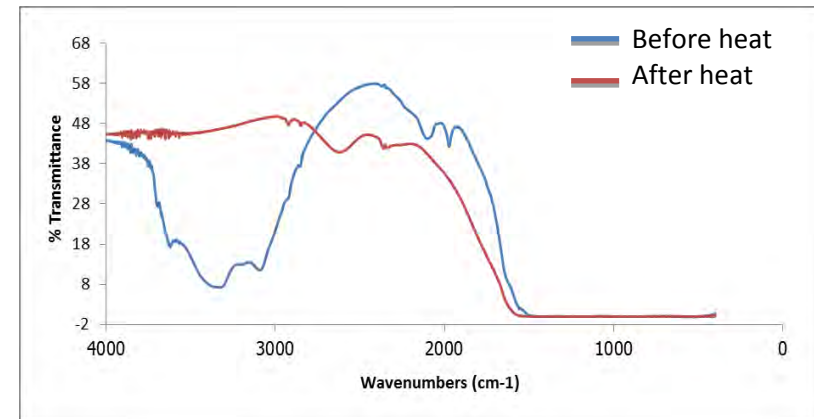
ตัวอย่างทับทิม S1-2



ตัวอย่างทับทิม S2-1



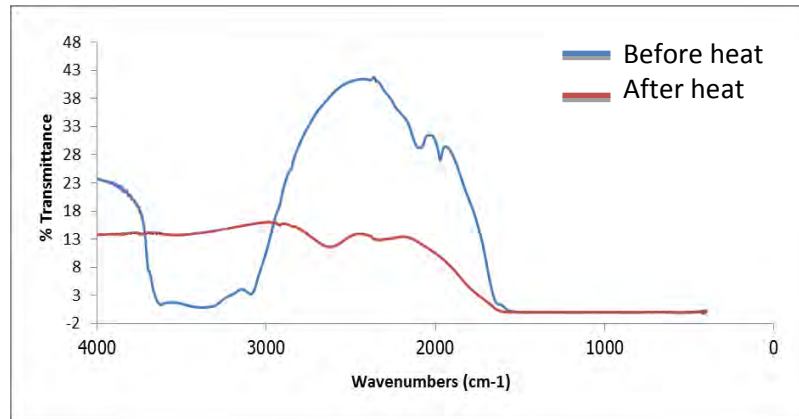
ตัวอย่างทับทิม S4-1



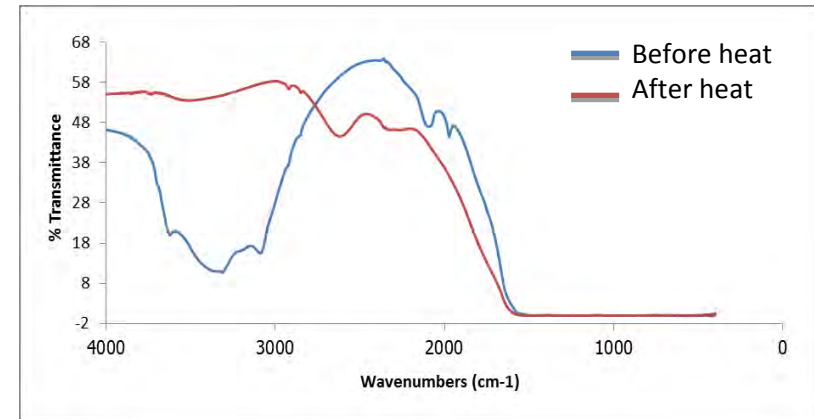
ตัวอย่างทับทิม S4-3

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือ FTIR ของพลอยทับทิมแหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก

หลังการปรับปรุงคุณภาพ พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)



ตัวอย่างทับทิม S5-2

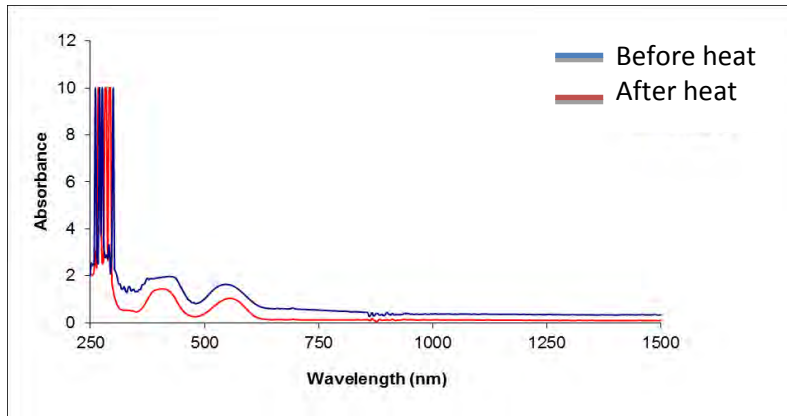


ตัวอย่างทับทิม S5-3

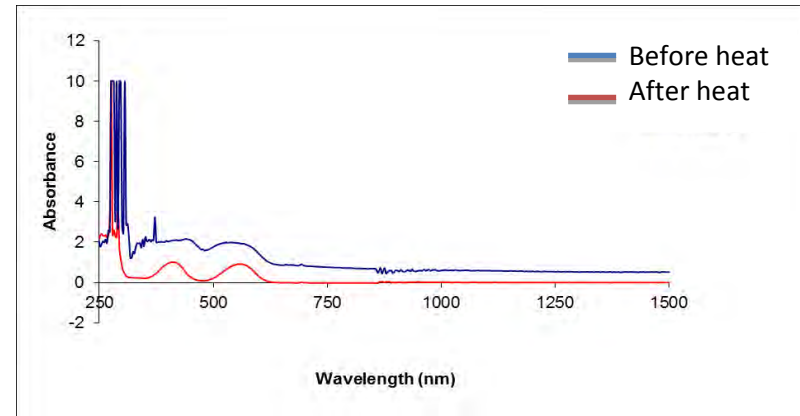
## ภาคผนวก ข-5

ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก หลังการปรับปรุงคุณภาพ

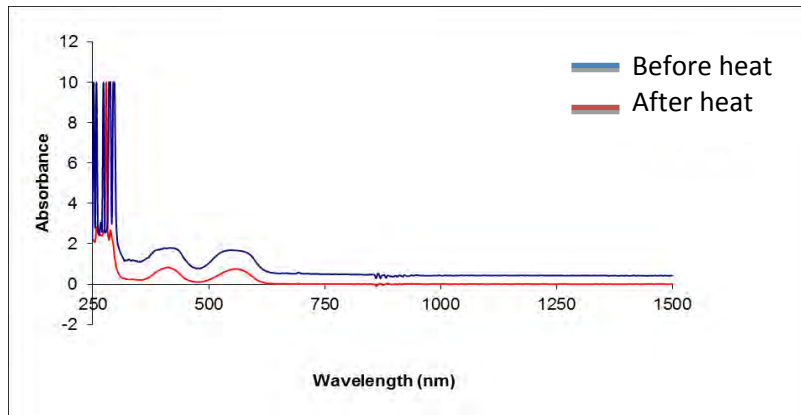
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)



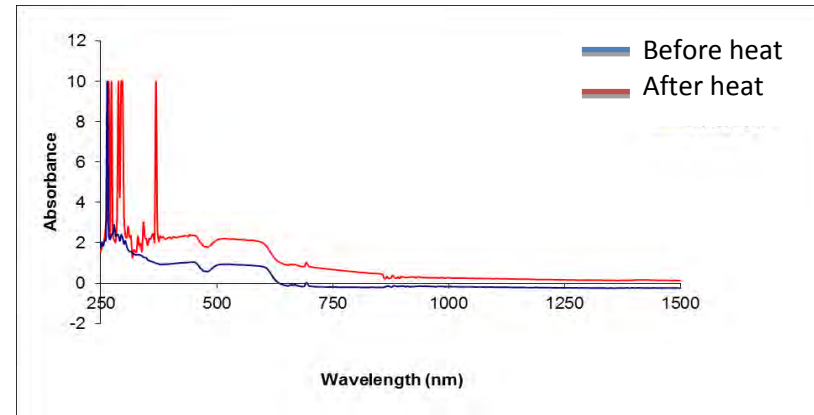
ตัวอย่างทับทิม T1-1



ตัวอย่างทับทิม T1-2



ตัวอย่างทับทิม T1-4

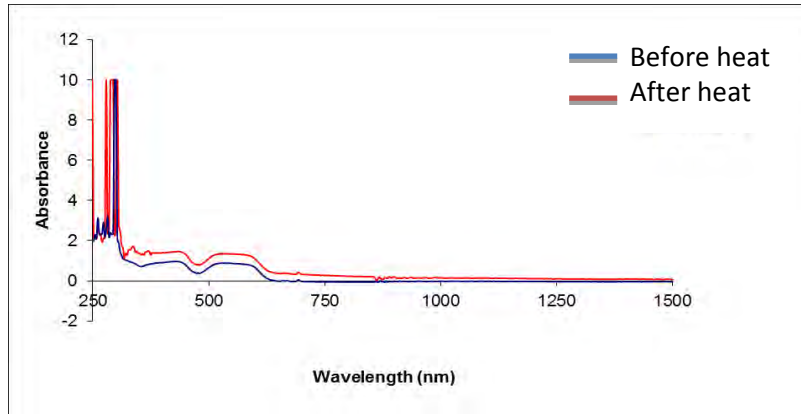


ตัวอย่างทับทิม T1-10

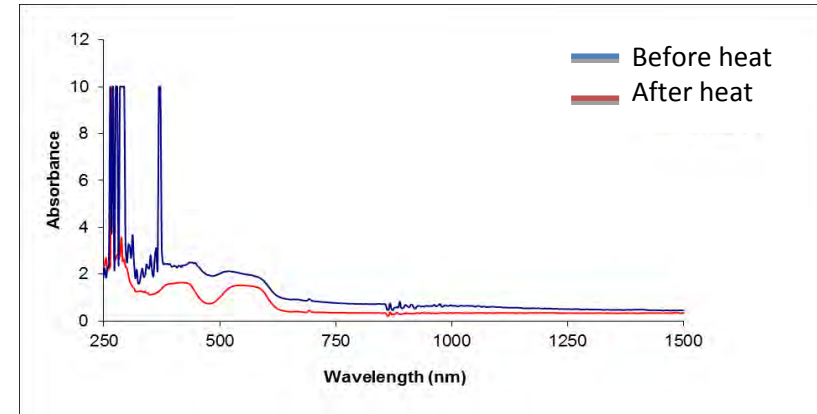


ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก หลังการปรับปรุงคุณภาพ

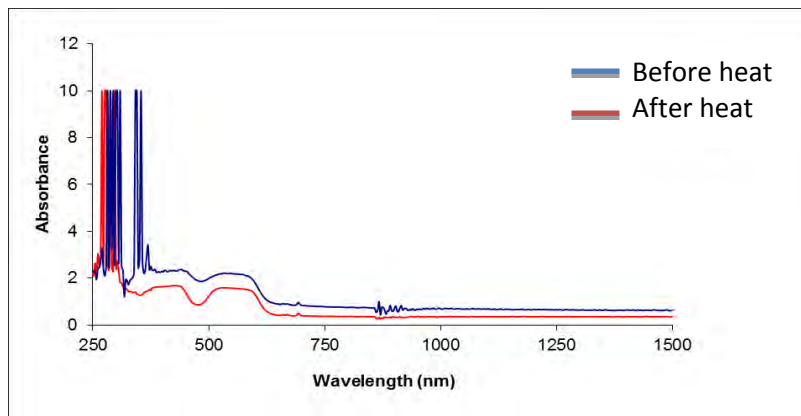
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)



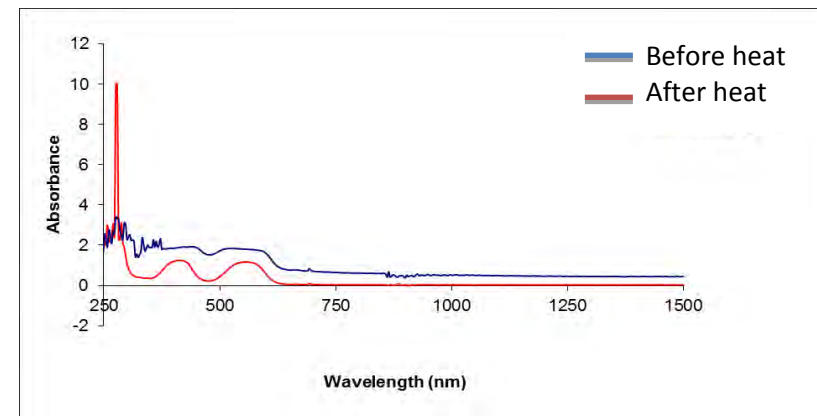
ตัวอย่างทับทิม T1-11



ตัวอย่างทับทิม T2-3



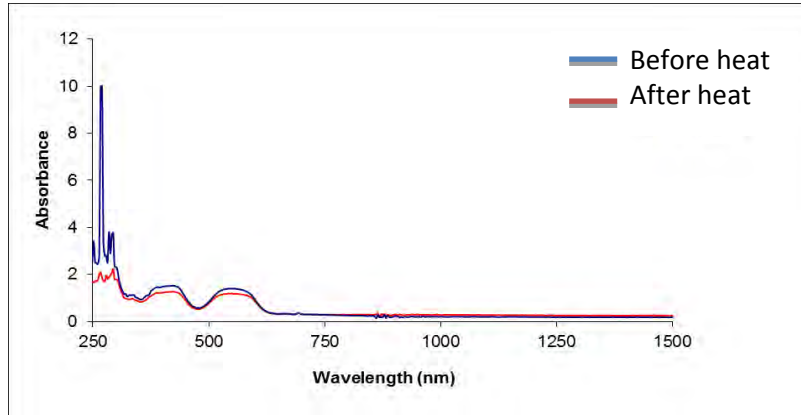
ตัวอย่างทับทิม T2-6



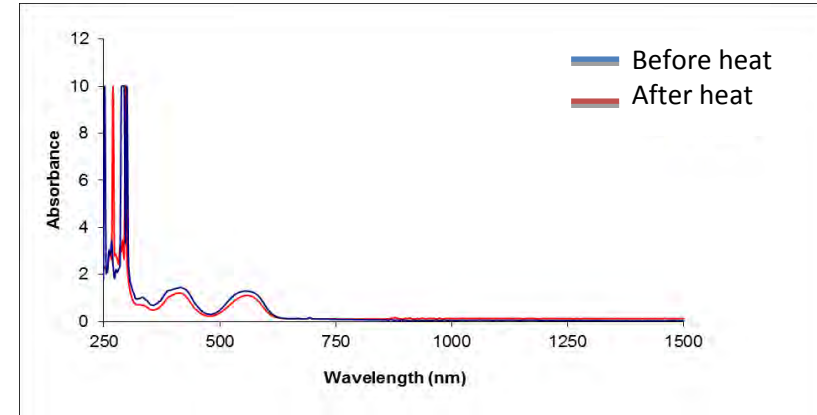
ตัวอย่างทับทิม T2-8

ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก หลังการปรับปรุงคุณภาพ

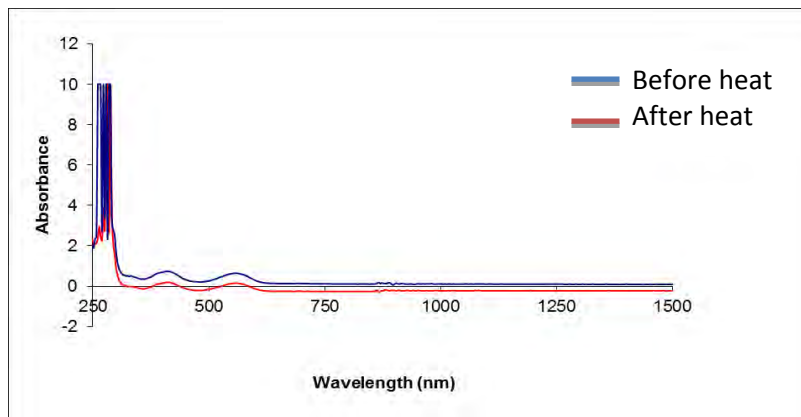
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)



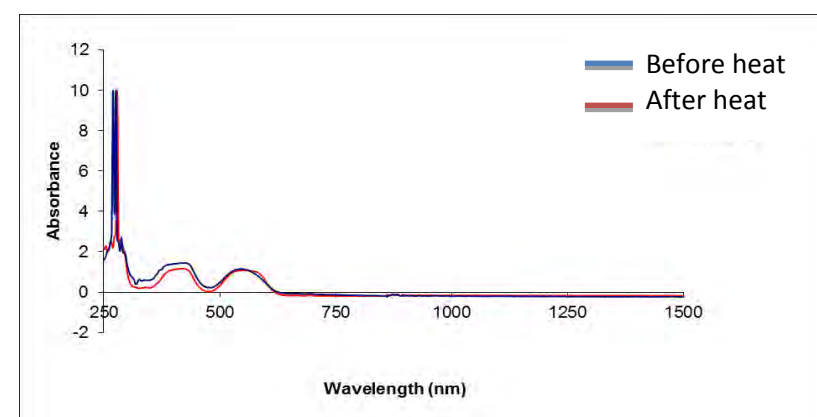
ตัวอย่างทับทิม T2-15



ตัวอย่างทับทิม T2-18



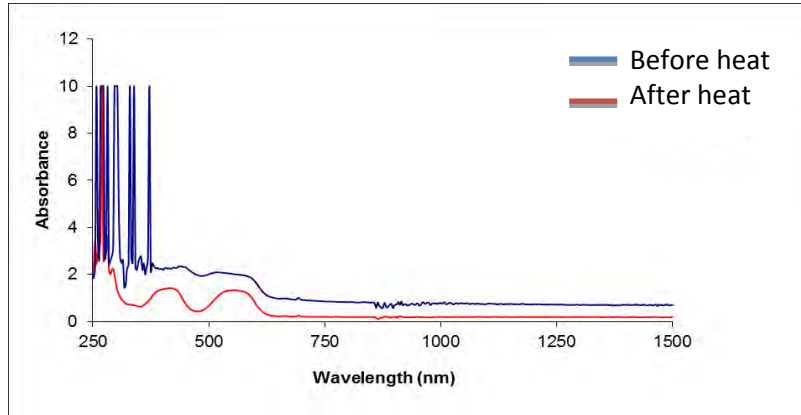
ตัวอย่างทับทิม T3-3



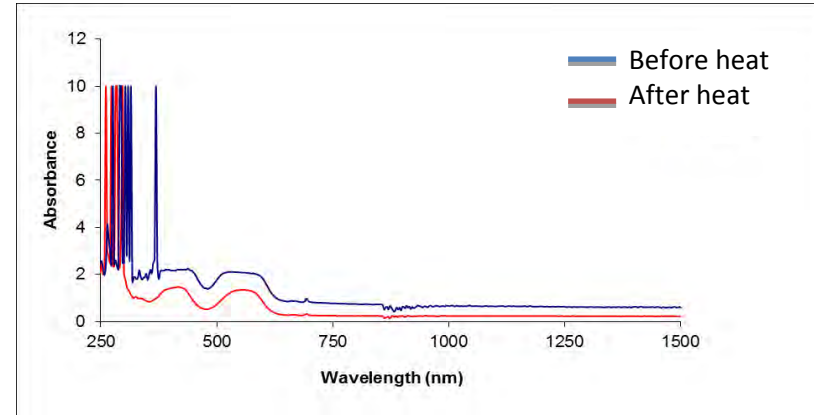
ตัวอย่างทับทิม T4-5

ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก หลังการปรับปรุงคุณภาพ

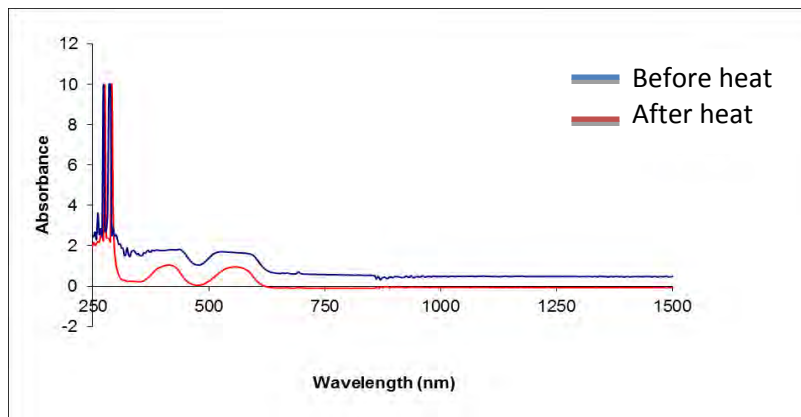
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)



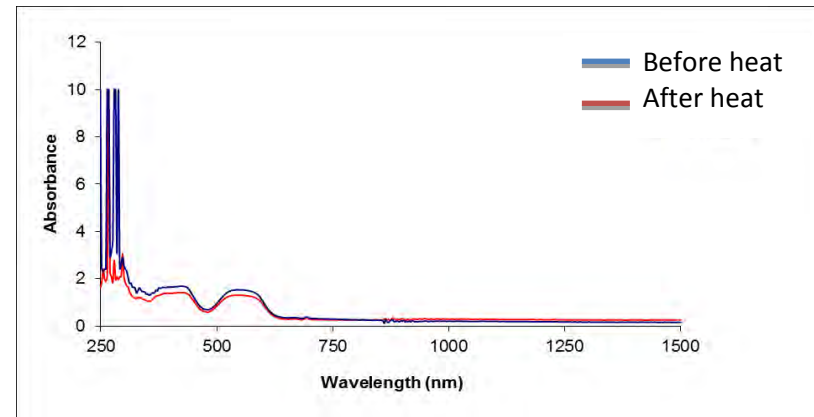
ตัวอย่างทับทิม T4-7



ตัวอย่างทับทิม T4-9



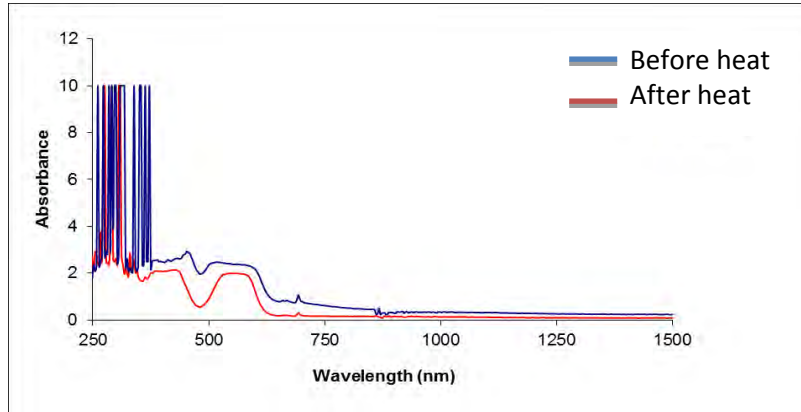
ตัวอย่างทับทิม T4-11



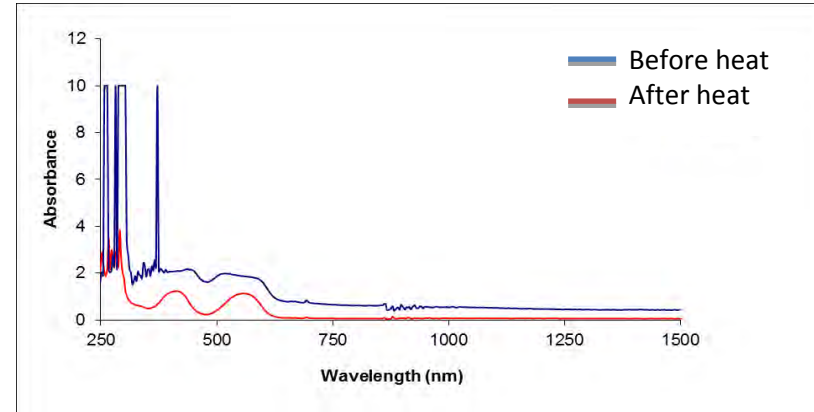
ตัวอย่างทับทิม T4-12

ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอเตปวยซ์ ประเทศโมแซมบิก หลังการปรับปรุงคุณภาพ

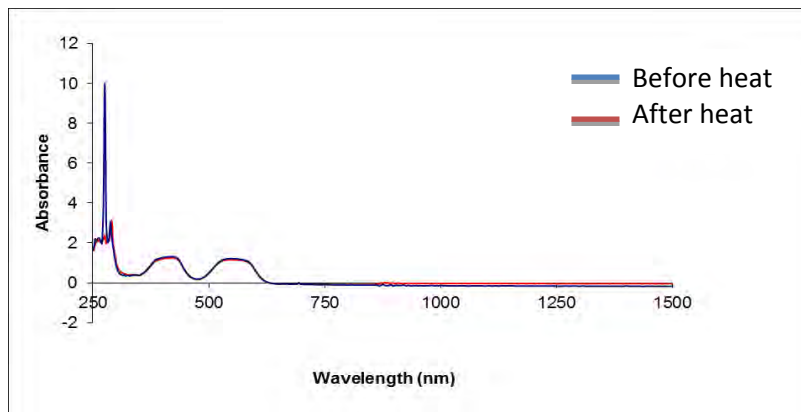
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง (กลุ่ม T)



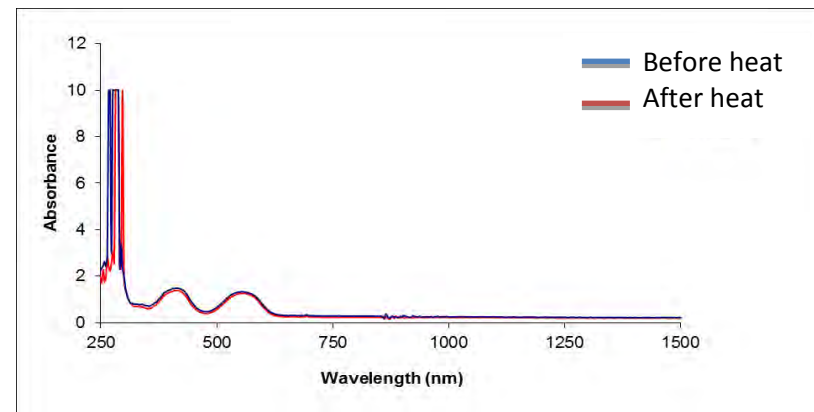
ตัวอย่างทับทิม T5-2



ตัวอย่างทับทิม T6-3



ตัวอย่างทับทิม T6-5

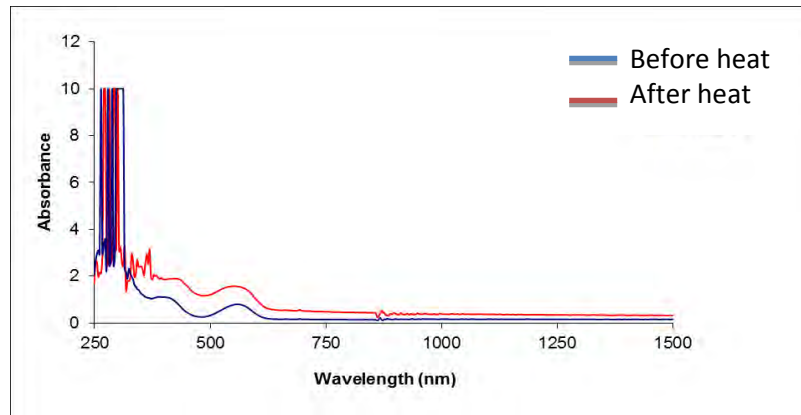


ตัวอย่างทับทิม T6-7

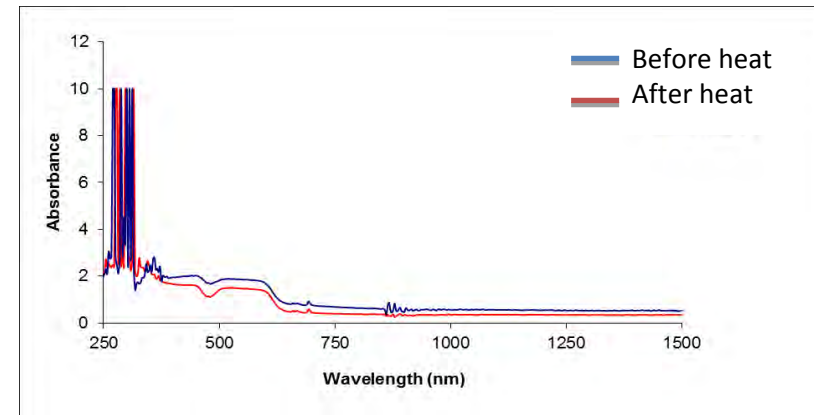
## ภาคผนวก ข-6

ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมอญเตปวยซ์ ประเทศโมซัมบิก หลังการปรับปรุงคุณภาพ

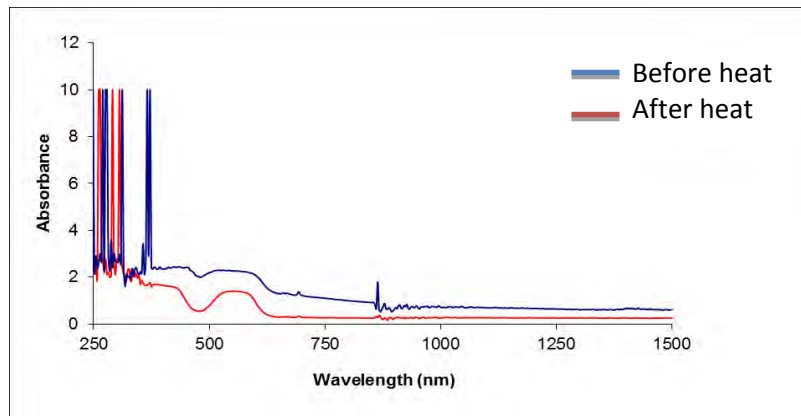
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)



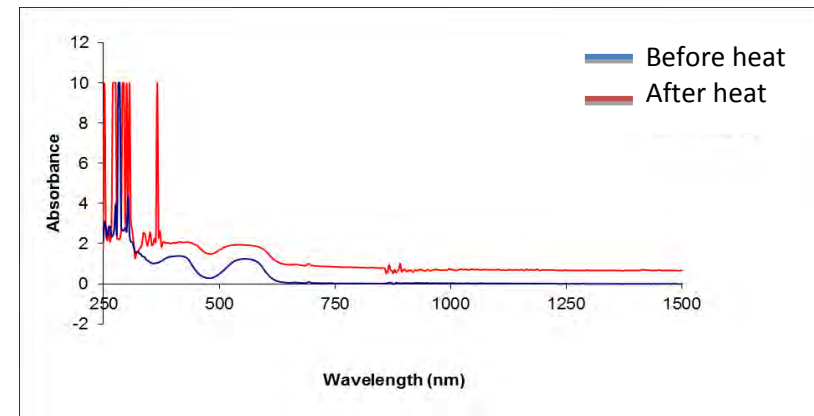
ตัวอย่างทับทิม S1-2



ตัวอย่างทับทิม S2-1



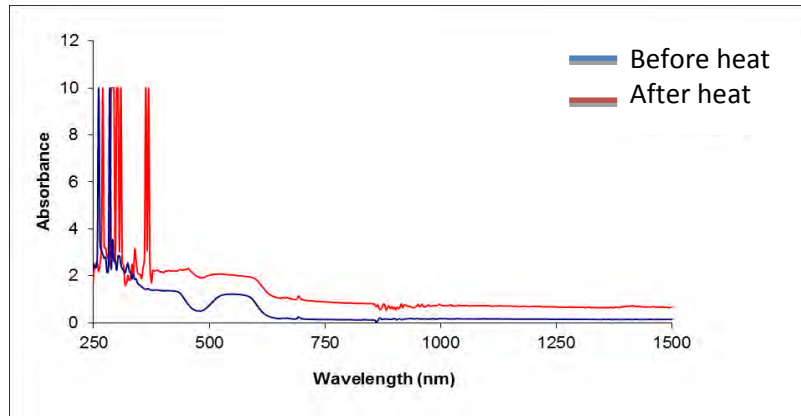
ตัวอย่างทับทิม S4-1



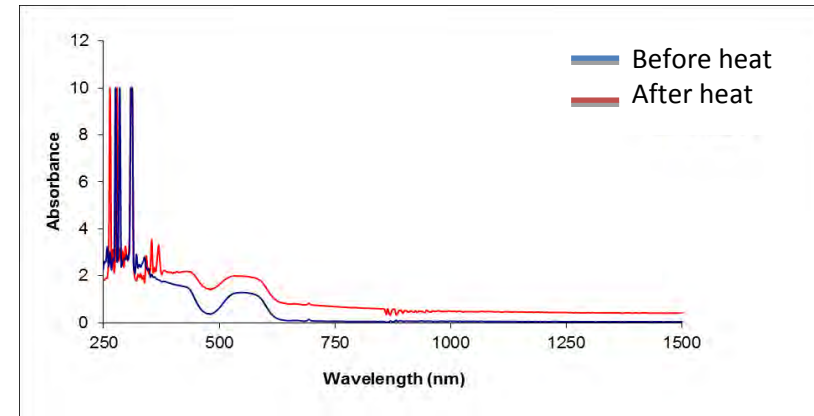
ตัวอย่างทับทิม S4-3

ข้อมูลการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของตัวอย่างทับทิม แหล่งมณฑลพายัพ ประเทศโมแซมบิก หลังการปรับปรุงคุณภาพ

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ (กลุ่ม S)



ตัวอย่างทับทิม S5-2

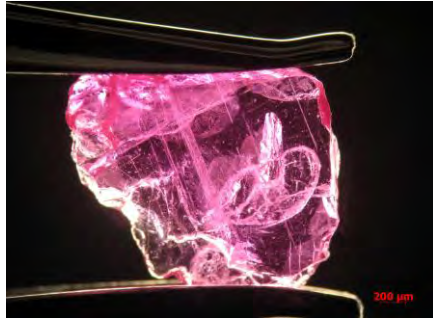


ตัวอย่างทับทิม S5-3

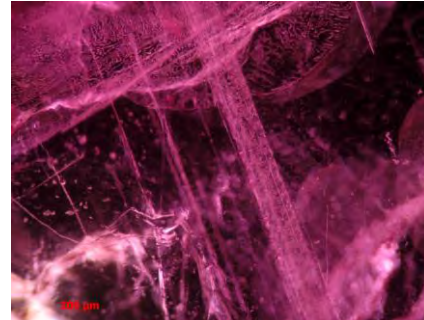
## ภาคผนวก ข-7

ภาพหลังการปรับปรุงคุณภาพ แสดงลักษณะภายในของพลอยทับทิมโดย Gemological microscope

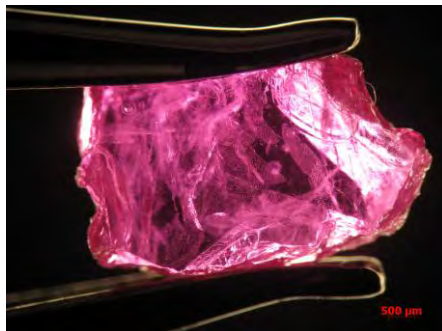
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง



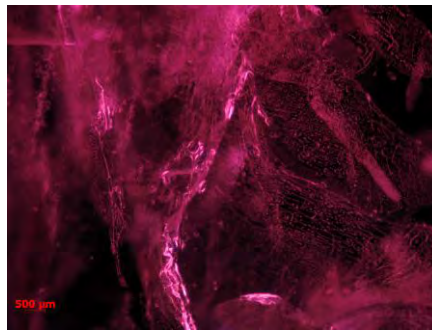
ตัวอย่างพลอยทับทิม T1-2



ตัวอย่างพลอยทับทิม T1-2

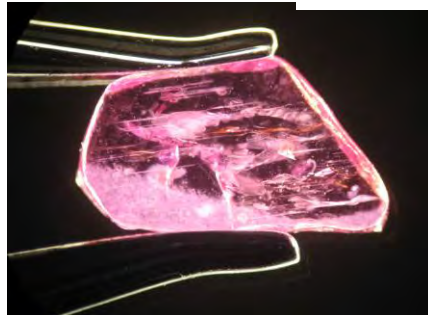


ตัวอย่างพลอยทับทิม T1-3

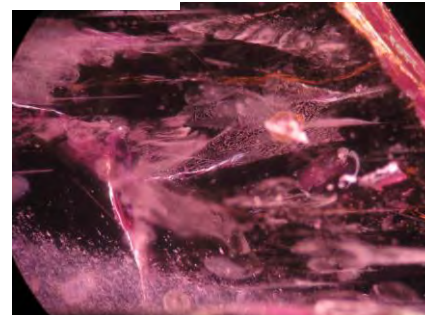


ตัวอย่างพลอยทับทิม T1-3

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ



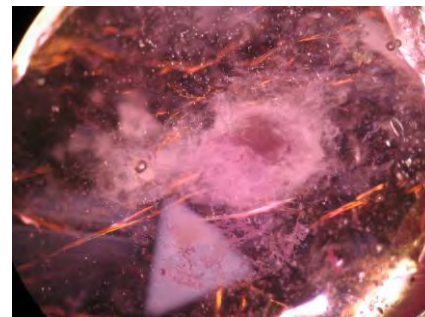
ตัวอย่างพลอยทับทิม S1-2



ตัวอย่างพลอยทับทิม S1-2



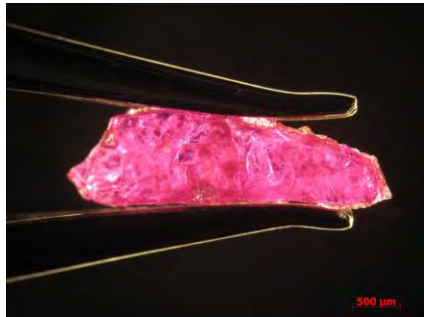
ตัวอย่างพลอยทับทิม S1-3



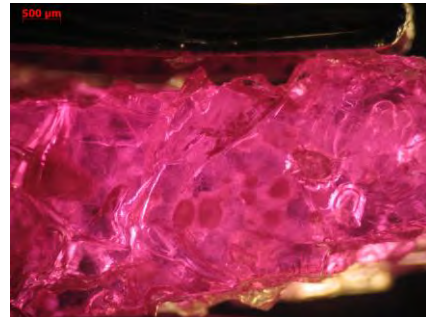
ตัวอย่างพลอยทับทิม S1-3

ภาพหลังการปรับปรุงคุณภาพ แสดงลักษณะภายในของพลอยทับทิมโดย Gemological microscope

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง



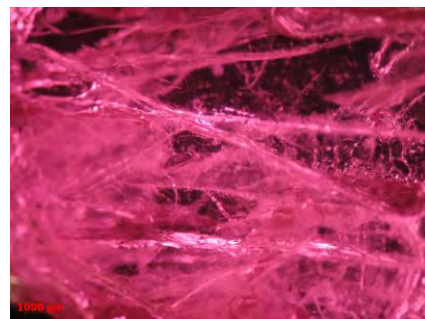
ตัวอย่างพลอยทับทิม T2-3



ตัวอย่างพลอยทับทิม T2-3

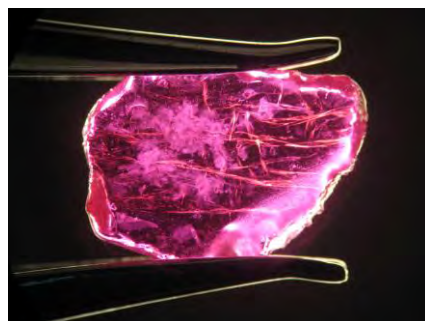


ตัวอย่างพลอยทับทิม T2-6

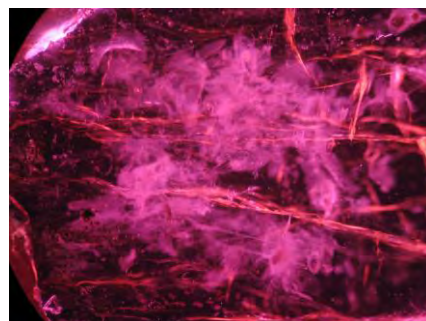


ตัวอย่างพลอยทับทิม T2-6

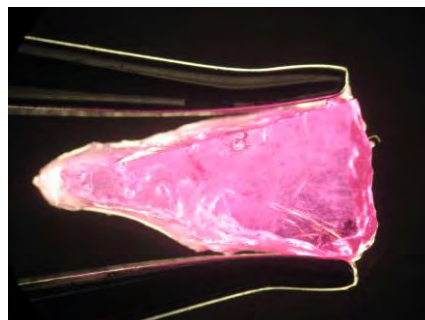
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ



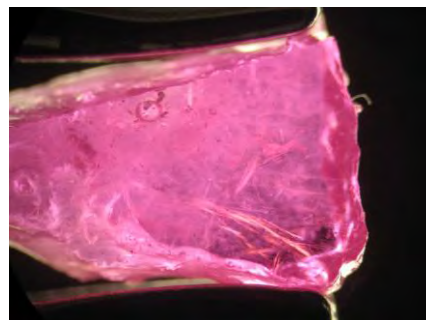
ตัวอย่างพลอยทับทิม S2-1



ตัวอย่างพลอยทับทิม S2-1



ตัวอย่างพลอยทับทิม S3-1

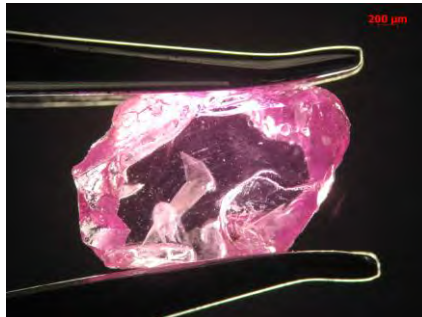


ตัวอย่างพลอยทับทิม S3-1

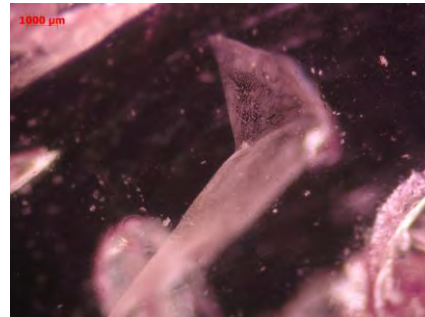


ภาพหลังการปรับปรุงคุณภาพ แสดงลักษณะภายในของพลอยทับทิมโดย Gemological microscope

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง



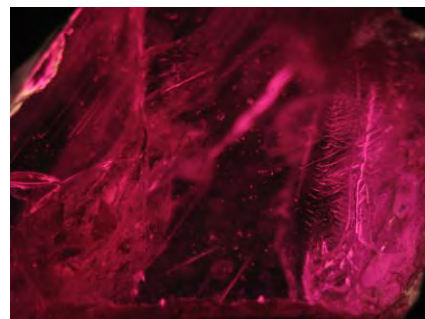
ตัวอย่างพลอยทับทิม T3-3



ตัวอย่างพลอยทับทิม T3-3

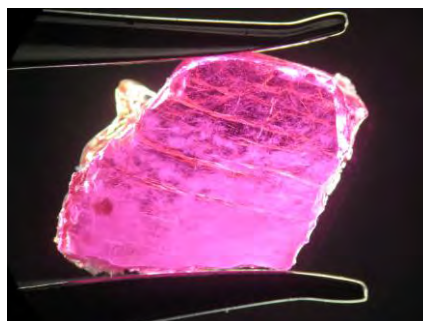


ตัวอย่างพลอยทับทิม T4-1

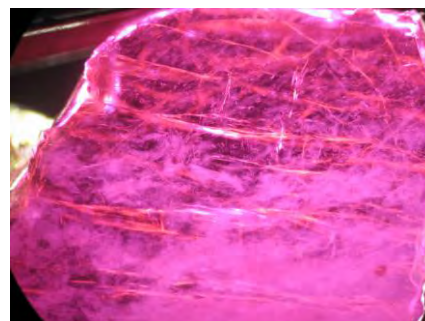


ตัวอย่างพลอยทับทิม T4-1

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ



ตัวอย่างพลอยทับทิม S4-1



ตัวอย่างพลอยทับทิม S4-1



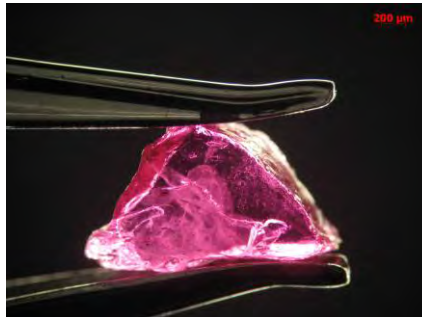
ตัวอย่างพลอยทับทิม S4-4



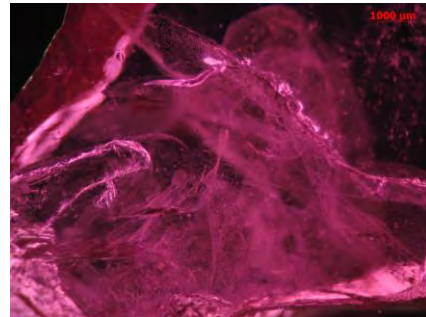
ตัวอย่างพลอยทับทิม S4-4

ภาพหลังการปรับปรุงคุณภาพ แสดงลักษณะภายในของพลอยทับทิมโดย Gemological microscope

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง



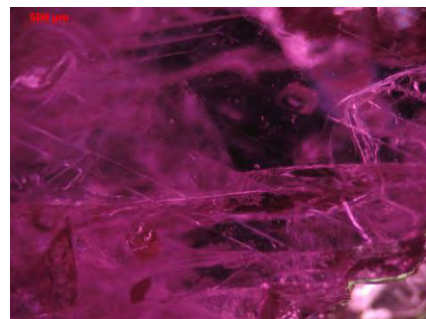
ตัวอย่างพลอยทับทิม T4-5



ตัวอย่างพลอยทับทิม T4-5



ตัวอย่างพลอยทับทิม T4-12

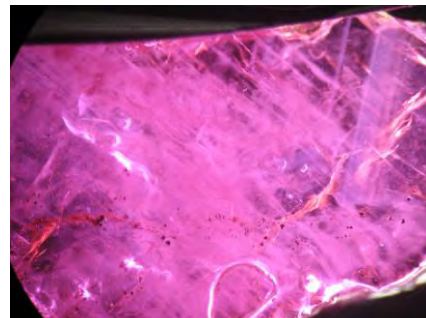


ตัวอย่างพลอยทับทิม T4-12

พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ



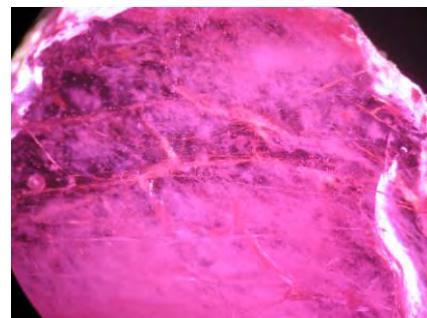
ตัวอย่างพลอยทับทิม S4-3



ตัวอย่างพลอยทับทิม S4-3



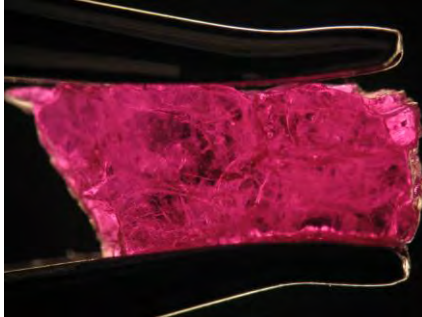
ตัวอย่างพลอยทับทิม S5-2



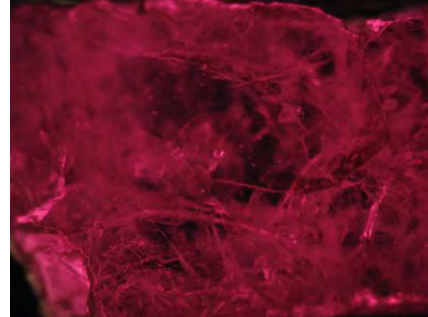
ตัวอย่างพลอยทับทิม S5-2

ภาพหลังการปรับปรุงคุณภาพ แสดงลักษณะภายในของพลอยทับทิมโดย Gemological microscope

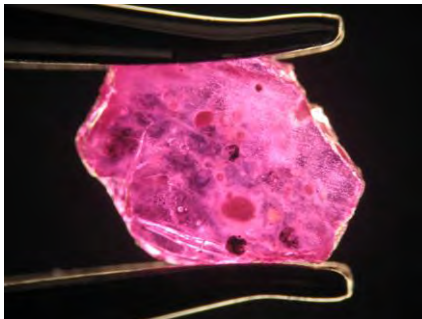
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง



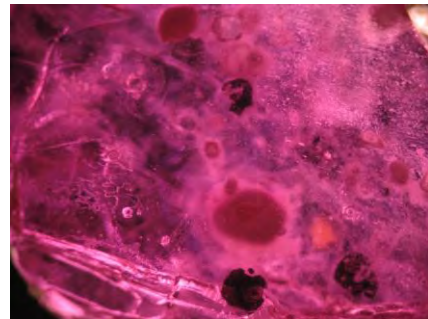
ตัวอย่างพลอยทับทิม T5-4



ตัวอย่างพลอยทับทิม T5-4

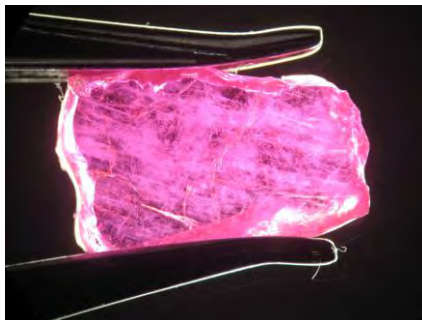


ตัวอย่างพลอยทับทิม T6-3

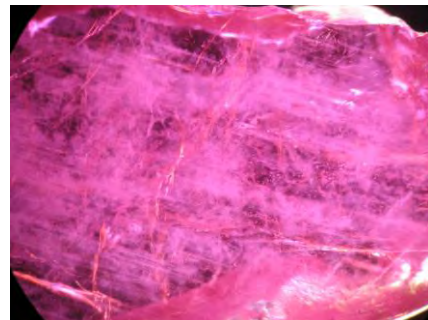


ตัวอย่างพลอยทับทิม T6-3

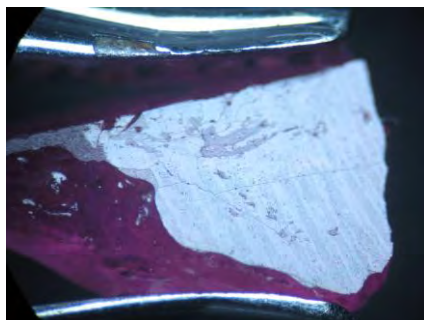
พลอยทับทิมกลุ่มคุณภาพต่ำ



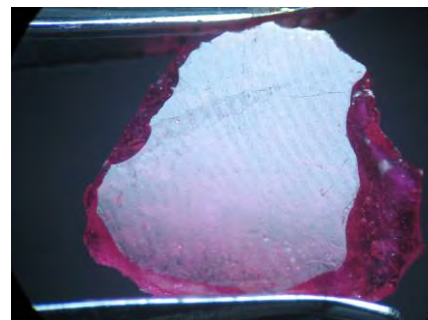
ตัวอย่างพลอยทับทิม S5-4



ตัวอย่างพลอยทับทิม S5-4



ตัวอย่างพลอยทับทิม S3-1



ตัวอย่างพลอยทับทิม S5-2

### ภาคผนวก ข-8

ผลจากการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการทางเคมีด้วยเครื่องมือ Energy Dispersive X-ray Fluorescence

(EDXRF) รุ่น EAGLE III หลังการปรับปรุงคุณภาพ พลอยกลุ่มคุณภาพปานกลาง-สูง

Reference Number	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO <sub>2</sub>
T1-3	96.5939	2.9253	0.0186	0.0137	0.1923	0.2277	0.0072	0.0211
T1-9	96.808	2.710	0.019	0.004	0.265	0.146	0.011	0.038
T2-4	93.298	6.151	0.014	0.007	0.380	0.132	0.010	0.009
T2-7	97.967	1.484	0.015	0.005	0.327	0.160	0.010	0.032
T2-12	98.312	1.259	0.020	0.008	0.145	0.231	0.008	0.018
T3-1	98.311	1.089	0.015	0.007	0.364	0.193	0.006	0.015
T4-2	97.197	1.749	0.000	0.000	0.902	0.121	0.011	0.020
T4-10	97.451	2.150	0.008	0.007	0.181	0.180	0.008	0.015
T4-13	98.551	0.797	0.012	0.005	0.470	0.144	0.009	0.011
T5-3	97.793	1.336	0.009	0.003	0.438	0.383	0.011	0.026
T6-2	98.755	0.708	0.016	0.004	0.350	0.159	0.008	0.000
T6-8	98.423	1.179	0.007	0.000	0.248	0.128	0.007	0.008

### ภาคผนวก ข-9

ผลจากการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการทางเคมีด้วยเครื่องมือ Energy Dispersive X-ray Fluorescence

(EDXRF) รุ่น EAGLE III หลังการปรับปรุงคุณภาพ พลอยกลุ่มคุณภาพต่ำ

Reference Number	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO <sub>2</sub>
S1-1	10.169	11.453	0.036	0.042	0.044	0.073	0.028	78.154
S2-2	11.501	13.000	0.048	0.023	0.063	0.076	0.097	75.191
S2-3	10.413	11.307	0.000	0.000	0.037	0.067	0.030	78.146
S4-2	10.874	11.727	0.050	0.045	0.083	0.080	0.045	77.097
S5-1	10.825	12.008	0.056	0.051	0.068	0.073	0.047	76.874
S6-1	13.063	14.572	0.089	0.017	0.053	0.090	0.145	71.972