



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์  
โครงการการวิเคราะห์เพื่อระบุแหล่งไฟลिनจาก  
ไทย ศรีลังกา ไนจีเรีย และมาดากัสการ์

ดร.นันทรัตน์ บุนนาค      หัวหน้าโครงการ  
อ.อัครเดช จูฑะภกร      นักวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้  
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การวิเคราะห์เพื่อระบุแหล่งไฟลีนจาก  
ไทย ศรีลังกา ไนจีเรีย และมาดากัสการ์

ดร. นันทรัตน์ บุนนาค

อ.อัครเดช จิสุภกร

คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2561 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 177/2561

ขอขอบคุณคณะอำนวยการและนักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการอำนวยการ คณะอำนวยการ มหาวิทยาลัยบูรพา นักวิทยาศาสตร์ประจำเครื่อง UV-Vis-NIR Spectrophotometer สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) และนักวิทยาศาสตร์ประจำเครื่อง ARL™ QUANT'X EDXRF Spectrometer สถาบันวิจัยและพัฒนาอำนวยการและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวัดผลด้วยเครื่องมือต่าง ๆ หากมีสิ่งขาดตกบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยเป็นอย่างสูงในข้อบกพร่องและความผิดพลาดนั้น

นันทรัตน์ บุณนาค

### บทคัดย่อ

โพลินั้นเป็นชื่อทางอัญมณีของแร่คอร์ันดัมที่มีสีน้ำเงินมีแหล่งกำเนิดได้หลายแบบ ชนิดของหินต้นกำเนิดที่แตกต่างกัน แสดงความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีของโพลินที่เป็นธาตุร่องรอย รวมถึงมลทินภายในที่เป็นแร่มลทินด้วย ดังนั้นการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Fe/Ti กับ Cr/Ga จึงถูกนำมาใช้ในการจำแนกแหล่งพลอย ดังนั้นการใช้ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนดังกล่าว ประกอบกับมลทินแร่ที่พบในโพลินจึงน่าจะสามารถใช้จำแนกโพลินจากไทย ศรีลังกา ไนจีเรีย และ มาดากัสการ์ได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เครื่องมือพื้นฐานและเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูงในห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีในการจำแนกโพลินจากประเทศไทย ศรีลังกา มาดากัสการ์ และ ไนจีเรียเนื่องจากในห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีทั่วไปในประเทศไทยไม่มีเครื่องมือที่ผลงานศึกษาวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารเชิงวิชาการใช้ในการจำแนกแหล่งอัญมณี

มลทินภายใน (inclusion) ที่สามารถใช้เป็นข้อบ่งชี้ในการจำแนกแหล่งได้ ได้แก่มลทินเส้นไหมสีน้ำตาลแดงที่มักพบเป็นลักษณะแผ่นแบนพบในตัวอย่างโพลินจากบางกะจะ มลทินลักษณะแกนกลางสีเหลืองพบได้ในตัวอย่างจากติเอโก การวัดองค์ประกอบทางเคมีด้วย EDXRF พบว่าปริมาณ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  วัดได้ค่าต่ำกว่าขอบเขตของเครื่องมือ เมื่อนำมาหาค่าความสัมพันธ์ในสัดส่วน Cr/Ga จึงมีค่าเป็น 0 จึงหาค่าความสัมพันธ์  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  พบว่าโพลินจากบางกะจะมีค่าสูงกว่าโพลินจากแหล่งอื่นที่ศึกษา และโพลินจากแหล่งศรีลังกามีค่าสัดส่วน  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  น้อยที่สุดสอดคล้องกับลักษณะของแหล่งกำเนิด



## สารบัญ

	หน้า
ประกาศศัญญาการ	ข
บทคัดย่อ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1-1
1.2 วัตถุประสงค์	1-2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	1-2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	1-2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2-1
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2-1
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2-2
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	3-1
3.1 วัสดุ	3-1
3.2 เครื่องมือ	3-4
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	3-8
บทที่ 4 ผลการวิจัย	4-1
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้วยเครื่องมือพื้นฐาน	4-1
4.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer	4-6
4.3 Optical spectrum ของตัวอย่างโพลิน	4-11
4.4 ผลการวัดด้วยเทคนิค Infrared Absorption (FTIR) spectroscopy	4-16
4.5 มลทินภายใน	4-18
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผล	5-1
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก ก ผลการศึกษาการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis-NIR Spectrophotometer	
ภาคผนวก ข. ผลการศึกษาด้วยเครื่อง FTIR Spectrometer	

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า	
2-1	เปรียบเทียบสมบัติทางอัญมณีของไพลินจากแหล่ง Thammannawa และ ไพลินจากแหล่งเดิมของศรีลังกา	2-4
2-2	สรุปรูปชนิดของมลทินในไพลินจากแหล่ง basaltic	2-10
3.1	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดสีด้วยเทคนิค UV-VIS-NIR Spectroscopy	3-7
3.2	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-VIS-NIR Spectroscopy	3-7
4.1	ค่าดัชนีหักเหและค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างไพลิน จากแหล่งบางกะจะ ประเทศไทย	4-1
4.2	ค่าดัชนีหักเหและค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างไพลิน กลุ่มที่ 2 จากแหล่ง กาญจนบุรี ประเทศไทย	4-2
4.3	ค่าดัชนีหักเหและค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างไพลิน กลุ่มที่ 3 จากแหล่งศรี ลังกา	4-3
4.4	ค่าดัชนีหักเหและค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างไพลิน กลุ่มที่ 4 จากแหล่งมา บิลา ประเทศไนจีเรีย	4-4
4.5	ค่าดัชนีหักเหและค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างไพลิน กลุ่มที่ 5 จากแหล่งดิเอ โก ประเทศมาดากัสการ์	4-5
4.6	องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างไพลิน จากแหล่งบางกะจะ ประเทศไทย	4-6
4.7	องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างไพลิน กลุ่มที่ 2 จากแหล่งกาญจนบุรี ประเทศ ไทย	4-7
4.8	องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างไพลิน กลุ่มที่ 3 จากแหล่งศรีลังกา	4-8
4.9	องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างไพลิน กลุ่มที่ 4 จากแหล่งมาบิลา ประเทศ ไนจีเรีย	4-9
4.10	องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างไพลิน กลุ่มที่ 5 จากแหล่งดิเอโก ประเทศ มาดากัสการ์	4-10

## สารบัญรูป

รูป	หน้า	
2-1	การจำแนกแหล่งของคอร์ันดัม	2-1
2-2	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของ Fe/Ti กับ Cr/Ga	2-2
2-3	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของไพลีนจากมาดากัสการ์	2-3
2-4	มลทินแร่รูไทล์ลักษณะเส้นละเอียด	2-3
2-5	มลทิน fingerprint ในไพลีนจากศรีลังกาและมาดากัสการ์	2-4
2-6	แหล่งทับทิม ไพลีน และคอร์ันดัมในมาดากัสการ์	2-5
2-7	ไดอะแกรมความสัมพันธ์ของสัดส่วน $Cr_2O_3/Ga_2O_3$ และ $Fe_2O_3/TiO_2$ เพื่อจัดความสัมพันธ์กับแหล่งคอร์ันดัมชนิดต่าง ๆ	2-6
2-8	มลทินในไพลีนจากบางกะจะ เส้นไหมสีน้ำตาลและมลทินผลึกเฟลด์สปาร์	2-7
2-9	Optical spectrum ของไพลีนจากเขาพลอยแหวน จันทบุรี	2-7
2-10	แผนภาพสาเหตุการณ้เกิดสีของแซปไฟร์ธรรมชาติ	2-8
2-11	แผนที่แหล่งแซปไฟร์ประเทศไนจีเรีย	2-9
2-12	Optical spectrum ของไพลีนจากไนจีเรีย	2-9
2-13	FTIR spectrum ของไพลีนจากไนจีเรีย แสดงพีคของ OH-stretching ที่ตำแหน่ง 3309 และ 3232 $cm^{-1}$	2-10
3.1	ตัวอย่างไพลีน กลุ่มที่ 1 จากแหล่งบางกะจะ ประเทศไทย	3-1
3.2	ตัวอย่างไพลีน กลุ่มที่ 2 จากแหล่งกาญจนบุรี ประเทศไทย	3-2
3.3	ตัวอย่างไพลีน กลุ่มที่ 3 จากแหล่งศรีลังกา	3-2
3.4	ตัวอย่างไพลีน กลุ่มที่ 4 จากแหล่งมาบิลา ประเทศไนจีเรีย	3-3
3.5	ตัวอย่างไพลีน กลุ่มที่ 5 จากแหล่งดีเอโก ประเทศมาดากัสการ์	3-4
3.6	เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer) และ RI liquid	3-5
3.7	เครื่องโพลาริสโคป (Polariscope) และ Condensing Sphere	3-5
3.8	เครื่องชั่งหาความถ่วงจำเพาะ (Hydrostatic Weighing Balance)	3-6
3.9	เครื่อง UV-Vis-NIR Spectrophotometer ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Lambda 950	3-7
3.10	เครื่อง Portable Fourier Transform Infrared Spectrometer	3-8
4.1	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของไพลีนจากแหล่งบางกะจะ	4-11
4.2	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของไพลีนจากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี	4-12

4.3	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของไพลินจากศรีลังกา	4-13
4.4	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของไพลินจากแหล่งมาบิลลา ประเทศไนจีเรีย	4-14
4.5	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของไพลินจากแหล่งดีเอโก ประเทศมาดากัสการ์	4-15
4.6	สเปกตรัม FTIR ของตัวอย่าง ไพลินจากแหล่งบางกะจะ BKS 04	4-16
4.7	สเปกตรัม FTIR ของตัวอย่าง ไพลินจากแหล่งบ่อพลอย กาญจนบุรี KAN 03	4-16
4.8	สเปกตรัม FTIR ของตัวอย่าง ไพลินจากแหล่งศรีลังกา SRI 06	4-17
4.9	สเปกตรัม FTIR ของตัวอย่าง ไพลินจากแหล่งมาบิลลา ประเทศไนจีเรีย SM 01	4-17
4.10	สเปกตรัม FTIR ของตัวอย่าง ไพลินจากแหล่งดีเอโก ประเทศมาดากัสการ์ DS 05	4-18

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มา

แหล่งพลอยเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อราคาพลอยในตลาดอัญมณี โดยเฉพาะไพลินและทับทิม ไพลินที่มาจากศรีลังกามีราคาสูงกว่าไพลินที่มาจากแหล่งอื่นเมื่อเปรียบเทียบกับไพลินที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ปัจจุบันมีการพบแหล่งไพลินใหม่ที่มีลักษณะคล้ายไพลินจากศรีลังกา มีการนำไพลินจากมาดากัสการ์หรือแหล่งอื่น ๆ มาหลอกขายเป็นไพลินจากศรีลังกา ไพลินจากแหล่งมาบิลลา ประเทศไนจีเรีย เป็นแหล่งใหม่ที่ถูกค้นพบ เริ่มเข้ามามีบทบาทในตลาดพลอย ไพลินจากแหล่งบ่อพลอย จ.กาญจนบุรี ประเทศไทยมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว เริ่มมีการสะสมเพื่อเก็งกำไรในอนาคตจากการค้าพลอยที่ทำได้ยากขึ้น ผู้ขายและผู้ซื้อมีความต้องการให้ห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีระบุแหล่งของไพลิน เพื่อประโยชน์ในทางการค้า ผู้ขายที่มีใบรับรองว่าไพลินมาจากแหล่งใดประกอบในการขายช่วยในการเสริมสร้างความเชื่อมั่นของลูกค้าได้อย่างมาก

การตรวจสอบและออกใบรับรองอัญมณี (Gemstone Certificate) จากห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญเพื่อให้ผู้ซื้อเกิดความเชื่อมั่น ห้องปฏิบัติการอัญมณี คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา (Burapha Gemological Laboratory: BGL) ตั้งอยู่ในศูนย์อัญมณี จังหวัดจันทบุรีมีบทบาทในการออกใบรับรอง ซึ่งไม่ได้ใช้แค่ในประเทศเท่านั้น มีชาวต่างชาติทั้งจากประเทศเพื่อนบ้าน รวมถึงการซื้อขายทาง e-bay และการซื้อขายออนไลน์ที่ใช้ใบรับรองจากห้องปฏิบัติการอัญมณี คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพาเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในการซื้อขายอีกด้วย

การใช้องค์ประกอบทางเคมีเป็นข้อบ่งชี้เป็นส่วนสำคัญในการออกใบรับรองอัญมณีแบบระบุแหล่ง ข้อมูลที่มีการเผยแพร่ทางบทความวิจัยด้านอัญมณีใช้ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือที่มีความละเอียดสูง เช่น การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง WDXRF, LA-ICP-MS ห้องปฏิบัติการจึงไม่สามารถนำข้อมูลมาใช้อ้างอิงเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EDXRF ที่ห้องปฏิบัติการอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพาได้ จึงต้องมีการเก็บข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีเองเพื่อหาขอบเขตของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนธาตุเพื่อใช้ในการระบุแหล่งไพลินจากไทย ศรีลังกา ไนจีเรีย และมาดากัสการ์

การเพิ่มศักยภาพในการออกใบรับรองอัญมณีที่ระบุแหล่งของห้องปฏิบัติการตรวจสอบ

อัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา ซึ่งตั้งอยู่ที่จังหวัดจันทบุรีจึงเป็นการเพิ่มศักยภาพในการซื้อขายอัญมณีในจังหวัดจันทบุรี โดยไม่ต้องรอการนำพลอยเข้ามาตรวจในกรุงเทพซึ่งต้องใช้เวลารอ ขึ้นต่ำ 3 สัปดาห์ หรือต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มในราคาสูงหากต้องการผลเร็วขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์โพลินจากไทย ศรีลังกา ไนจีเรีย และมาดากัสการ์ เพื่อใช้ในการจำแนกแหล่ง ด้วยลักษณะมลทินภายใน องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางสเปกโตรสโกปี ของโพลินจากไทย ศรีลังกา ไนจีเรีย และมาดากัสการ์
2. เพื่อหาขอบเขตของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนธาตุเพื่อใช้ในการระบุแหล่งโพลินจากไทย ศรีลังกา ไนจีเรีย และมาดากัสการ์

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ใช้ตัวอย่างโพลินจากไทย ศรีลังกา ไนจีเรีย และมาดากัสการ์
2. ตรวจสอบสมบัติพื้นฐานทางอัญมณี มลทินภายใน ด้วยเครื่องมือพื้นฐานทางอัญมณี
3. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางสเปกโตรสโกปี เพื่อหาความสัมพันธ์ที่นำมาใช้ในการจำแนกแหล่ง

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง
2. จัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์
3. ตรวจสอบคุณสมบัติทางอัญมณีขั้นพื้นฐาน
4. ตรวจสอบมลทินภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์อัญมณี
5. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer (EDXRF)
6. วัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วง visible light ด้วยเครื่อง UV-Vis-NIR Spectrophotometer
7. วัดสเปกตรัมในช่วง Near Infrared ด้วยเครื่อง Portable FTIR Spectrometer
8. สรุปลักษณะเฉพาะทางอัญมณีของโพลินจากไทย ศรีลังกา ไนจีเรีย และมาดากัสการ์

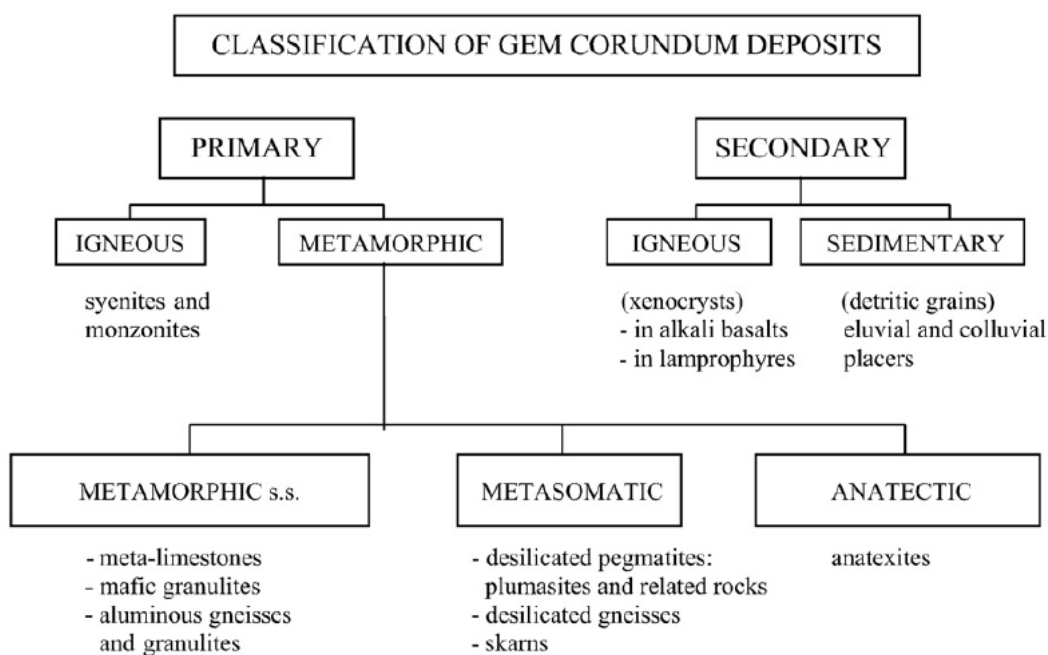
### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.ได้ข้อมูลลักษณะเฉพาะทางสเปกโตรสโคปีและมลทินของไพลินจากไทย ศรีลังกา ไนจีเรีย และ มาดากัสการ์
- 2.ได้ฐานข้อมูลเพื่อการจำแนกแหล่งของไพลินจากไทย ศรีลังกา ไนจีเรีย และมาดากัสการ์ เพื่อใช้ในการออกใบรับรองอัญมณีของห้องปฏิบัติการอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา (Burapha Gemological Laboratory)

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ไพลินนั้นเป็นช่องทางอัญมณีของแร่คอร์รันดัมที่มีสีน้ำเงินมีแหล่งกำเนิดได้หลายแบบ (รูป 2-1) ชนิดของ host rock ที่แตกต่างกัน แสดงความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีของไพลินที่เป็นธาตุร่องรอย (trace element) จาก host rock ที่แตกต่างกันจึงมีแนวโน้มที่จะแสดงความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันไป รวมถึงมลทินภายในที่เป็น mineral inclusion ด้วย ดังนั้นการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Fe/Ti กับ Cr/Ga จึงถูกนำมาใช้ในการจำแนกแหล่งพลอย ดังนั้นการใช้ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนดังกล่าว ประกอบกับมลทินแร่ที่พบในไพลินจึงน่าจะสามารถใช้จำแนกไพลินจากไทย ศรีลังกา ไนจีเรีย และมาดากัสการ์ได้

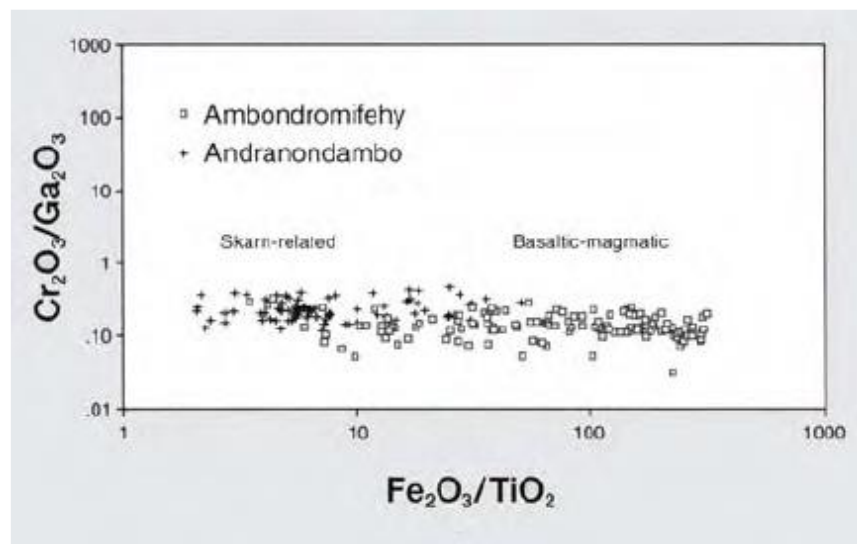


รูป 2- 1 การจำแนกแหล่งของคอร์รันดัม (Simonet et al., 2008)



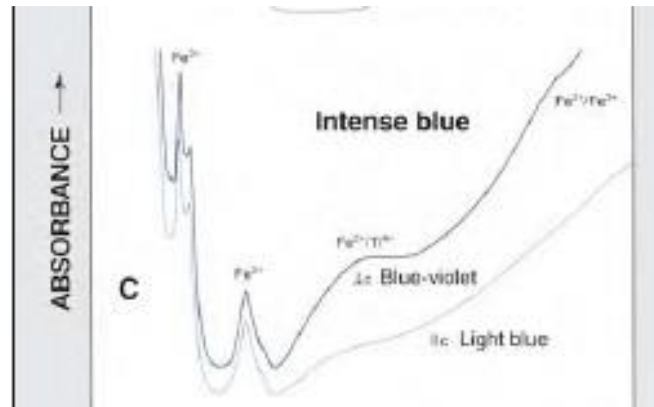
## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แหล่งแซฟไฟร์ของมาดากัสการ์มี 2 แหล่งคือ Andranondambo และ Antsiranana สัมพันธ์กับ basaltic-magmatic type sapphire เช่นเดียวกับกับแซฟไฟร์จาก ไทย ไนจีเรีย ลาว กัมพูชา และออสเตรเลียตะวันออก แหล่งแซฟไฟร์ของมาดากัสการ์นี้พบแซฟไฟร์ 3 สี ได้แก่ ไพลีน บุษราคัม และ แซฟไฟร์สีเขียว (Sutherland, 1998) ไม่สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Schwarz and others (2000) ที่พบว่า แซฟไฟร์จากแหล่ง Andranondambo สัมพันธ์กับการเกิดแบบ Skarn แซฟไฟร์จากแหล่ง Antsiranana (เมือง Ambondromifehy) สัมพันธ์กับการเกิดแบบ basaltic-magmatic จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของธาตุร่องรอย Fe/Ti กับ Cr/Ga



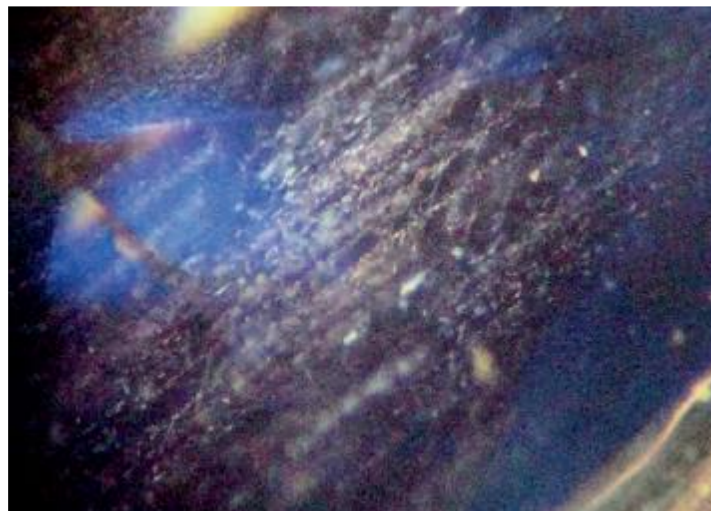
รูปที่ 2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของ Fe/Ti กับ Cr/Ga (Schwarz and others, 2000)

เมื่อวัดการดูดกลืนแสงพบการดูดกลืนแสงคล้ายกับการดูดกลืนแสงไพลีนจากไทย ประกอบด้วยการดูดกลืนแสงของ  $Fe^{3+}$  ร่วมกับ  $Fe^{2+}/Ti^{4+}$  และ  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  (รูปที่ 2-3)



รูปที่ 2-3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของโพลินจากมาตากัสการ์ (Schwarz and others, 2000)

Dharmaratne and others (2012) ศึกษาสมบัติทางอัญมณีของโพลินจากแหล่ง Thammannawa ซึ่งเป็นแหล่งที่พบใหม่ เปรียบเทียบกับแหล่งเดิมในศรีลังกาพบว่า มีสีต่างกันเล็กน้อย โพลินจากแหล่งนี้มีสีน้ำเงิน ส่วนแหล่งเก่ามีสีน้ำเงินอมม่วง คุณสมบัติทางอัญมณีใกล้เคียงกับโพลินที่มาจากแหล่งอื่นในศรีลังกา (ตารางที่ 1) พบมลทินแร่ลักษณะเดียวกันคือมลทินแร่รูโทล์ ลักษณะเส้นละเอียด (รูปที่ 4) มีการจัดเรียงตัวขนานกันเป็นลักษณะเด่นของมลทินในตัวอย่าง แต่ไม่มีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของโพลิน



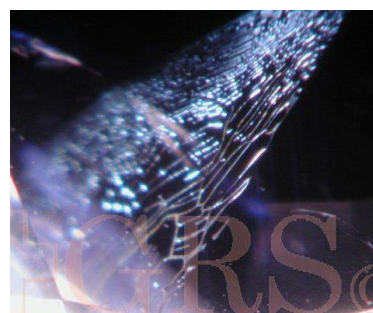
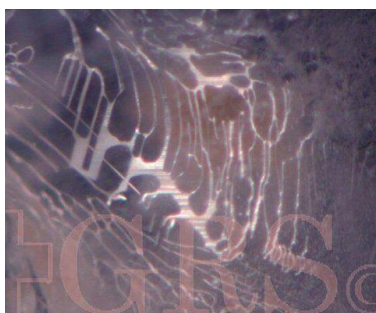
รูปที่ 2-4 มลทินแร่รูโทล์ลักษณะเส้นละเอียด (Dharmaratne and others, 2012)

ตารางที่ 2-1 เปรียบเทียบสมบัติทางอัญมณีของไพลินจากแหล่ง Thammannawa และ ไพลินจากแหล่งเดิมของศรีลังกา

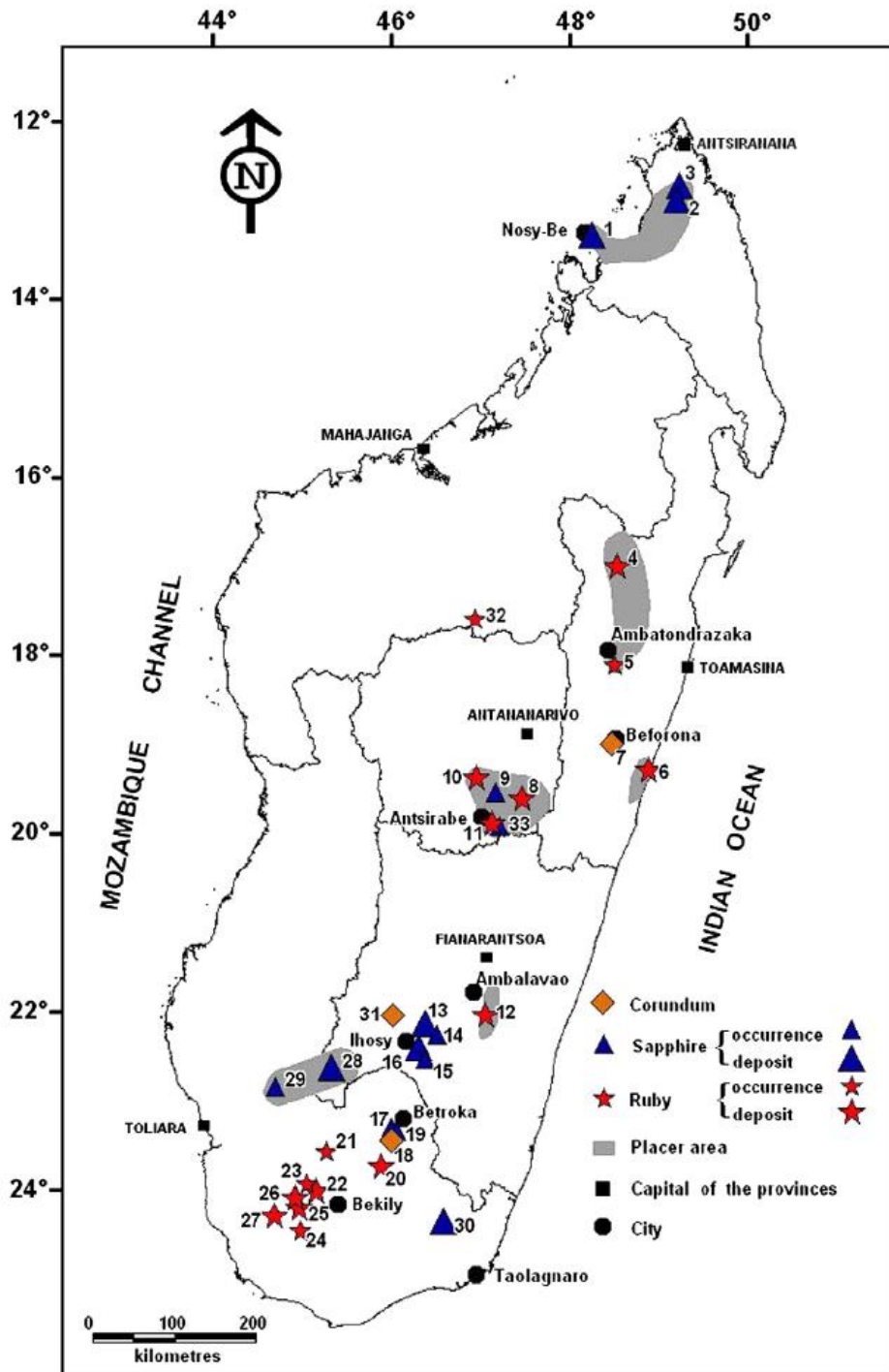
Property	Thammannawa	Typical Sri Lanka
Color	Pure blue	Violetish blue
Color zoning	Straight and sharp zones parallel to the basal plane or hexagonal pyramid	Strong color zoning is common, but is less distinct in heat-treated stones. Some ( <i>ottu</i> ) have a colorless core with an outer layer or patch of blue color (Gunaratne, 1981; Hughes, 1997).
Optical phenomena	None	Asterism may be present
Refractive Indices	$n_o = 1.760-1.762$ and $n_e = 1.768-1.770$	$n_o = 1.759-1.763$ and $n_e = 1.767-1.771$
Birefringence	0.008	0.008
Specific Gravity	3.98-4.02 <sup>a</sup>	3.98-4.02
Dichroism	Strong, in blue and greenish blue	Strong, in blue and greenish blue
Fluorescence		
Long-wave	Weak red (and strong orange from decomposed brown impurities in some crystals); colorless zones fluoresced weak orange	Inert to strong red to orange
Short-wave	Inert	Heat-treated specimens often show a zoned chalky blue-green reaction
Absorption spectra	Strong Fe absorption line at 450 nm	Weak to moderate Fe absorption line at 450 nm (Hughes, 1997)
Internal features	Short rutile needles, liquid-filled feathers, and negative crystals. Long rutile needles, translucent milky patches ( <i>geuda</i> ), blue patches or zones ( <i>ottu</i> ), and silk were not observed in any of the samples.	Short and long rutile needles, liquid-filled feathers, and negative crystals, translucent milky patches ( <i>geuda</i> ), blue patches or zones ( <i>ottu</i> ), and silk in asteriated samples

<sup>a</sup> Crystals with large negative crystals had low SG values ( $\sim 3.98$ ), while all the faceted stones had a constant value of 4.00.

ห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีเอกชนชั้นนำแล้วแต่มีการศึกษาข้อมูลอัญมณีแต่ละแหล่งเพื่อระบุแหล่งไนโบรรับรองอัญมณีที่เข้ามาตรวจสอบ โดยเป็นข้อมูลที่ไม่เปิดเผย เช่น ห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณี GRS เผยแพร่ภาพถ่ายมิลทิน fingerprint ในไพลินจากศรีลังกา และ มาดากัสการ์ (รูป 2-5) ซึ่งไม่แสดงความแตกต่างที่สามารถนำมาใช้จำแนกแหล่งได้ แต่ไม่เผยแพร่ มิลทินภายในที่ใช้ในการจำแนกแหล่งได้ ทั้งนี้แหล่งไพลินที่สำคัญของมาดากัสการ์คือ Diego Suarez เมือง Antsiranana (รูป 2-6)

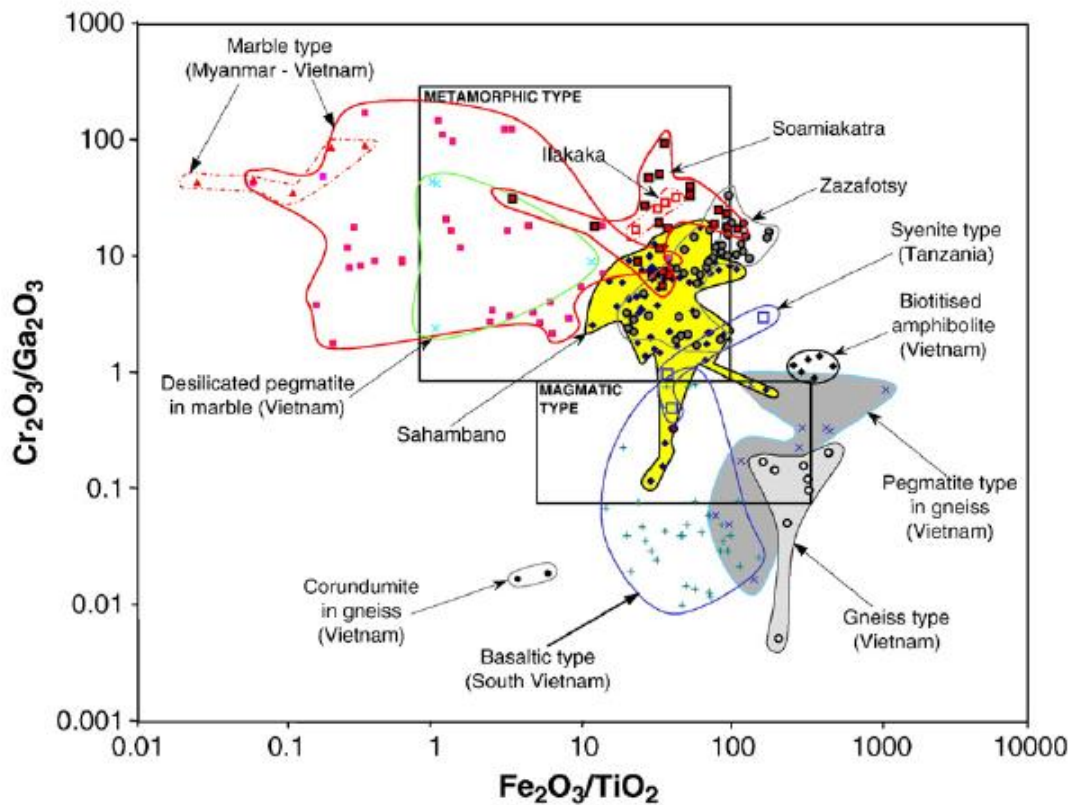


รูปที่ 2-5 มิลทิน fingerprint ในไพลินจากศรีลังกา (ซ้าย) และมิลทิน fingerprint ในไพลินจากมาดากัสการ์ (ขวา)



รูป 2-6 แหล่งทับทิม ไพลิน และคอรัันดัมในมาดากัสการ์ (Rakotondrazafy and others, 2008)

- 1.Nosy-Be, 2.Ambondromifehy, 3 Anivorano, 4 Andilamena, 5 Didy, 6 Vatomandry, 7 Ambohitranefitra (Beforona)  
 8.Antsahanandriana, 9. Mandrosohasina, 10.Faratsiho, 11 Soamiakatra, 12 Miarinarivo, 13 Zazafotsy 14. Sakalalina 15  
 Ambinda (Ihosa), 16 Sahambano 17 Ambinda (Betroka) 18 Vohidava (Voronkafotra) 19 Iankaroka 20 Ambatomena 21  
 Ianapera 22 Fotodrevo 23 Anavoha. 24 Maniry 25 Gogogogo 26 Vohitany, 27 Ejeda 28 Ilakaka 29 Sakaraha 30  
 Andranondambo 31 Sakeny 32 Andriba 33 ANjomakely

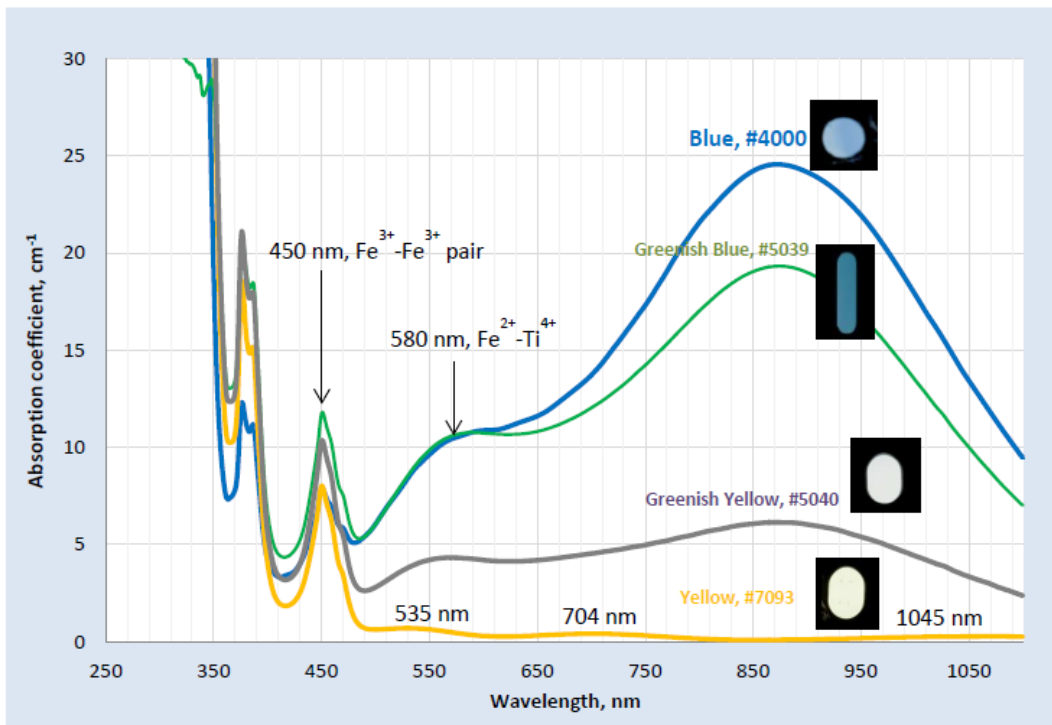


รูป 2-7 ไดอะแกรมความสัมพันธ์ของสัดส่วน  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Ga}_2\text{O}_3$  และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  เพื่อจัดความสัมพันธ์กับแหล่งคอร์ันดัมชนิดต่าง ๆ (Rakotondrazafy and others, 2008)

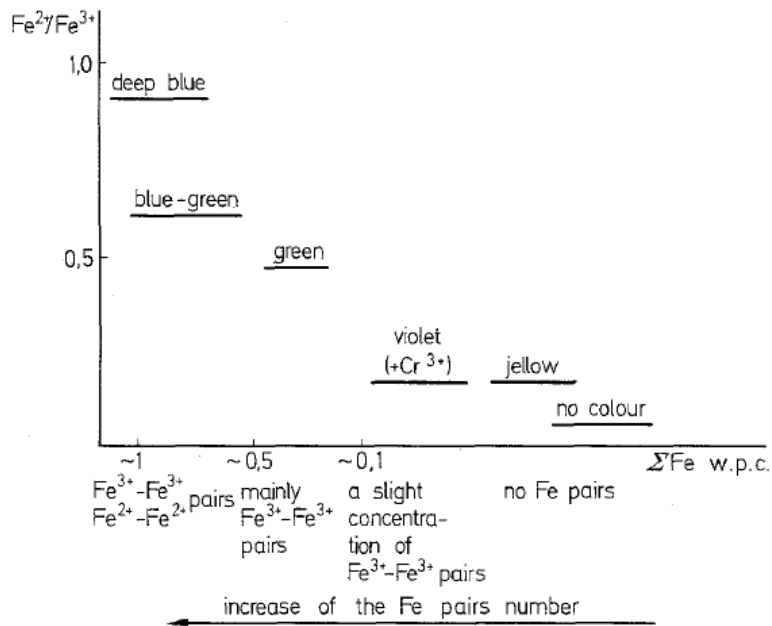
ตัวอย่างไพลินจากเขาพลอยแหวนส่วนใหญ่มีสีน้ำเงินอมเขียวถึงน้ำเงิน ค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.76 – 1.77 ค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าประมาณ  $4.00 \pm 0.05$  ตัวอย่างไม่เรืองแสงภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตทั้งคลื่นสั้นและคลื่นยาว มลทินที่พบคือ Angular growth structures, needles and particles, Brownish and blue color zoning ดังรูป 2.8 (Sudarat and others, 2017) สืบเนื่องจากการดูดกลืนแสงของ  $\text{Fe}^{3+}$   $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  และ  $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$  (รูป 2.9)



รูปที่ 2-8 มลทินในไฟลีนจากบางกะจะ เส้นไหมสีน้ำตาล (ซ้าย) และมลทินฟลักเฟลด์สปาร์ (ขวา)  
(Sudarat and others, 2017)



รูป 2.9 Optical spectrum ของไฟลีนจากเขาพลอยแหวน จันทบุรี (Sudarat and others, 2017)

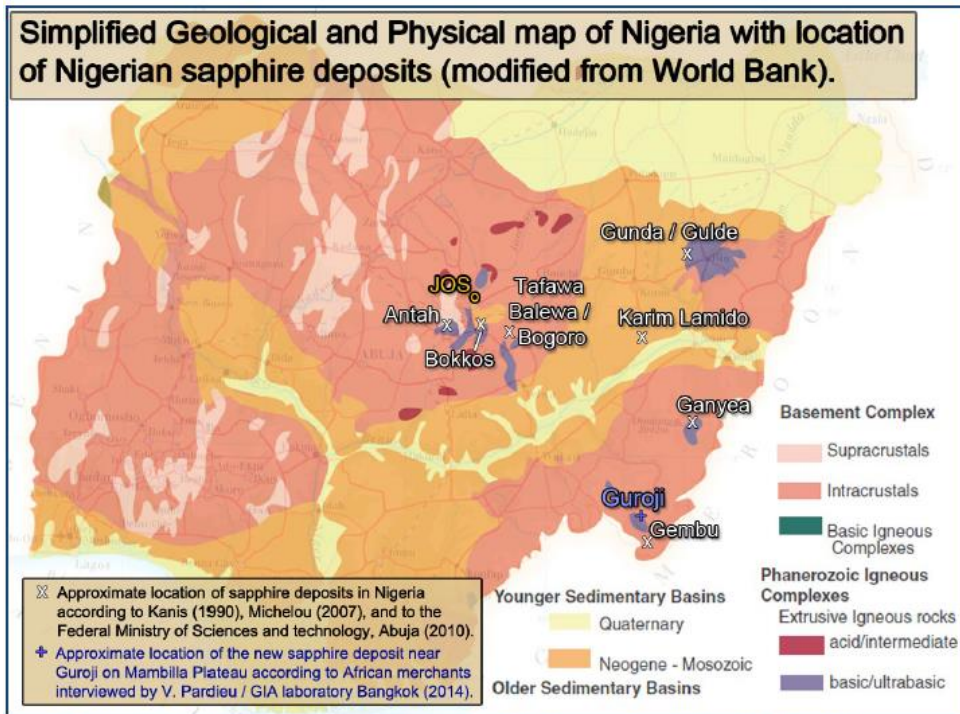


รูป 2.10 แผนภาพสาเหตุการเกิดสีของแซปไฟร์ธรรมชาติ (Guo and others, 1996)

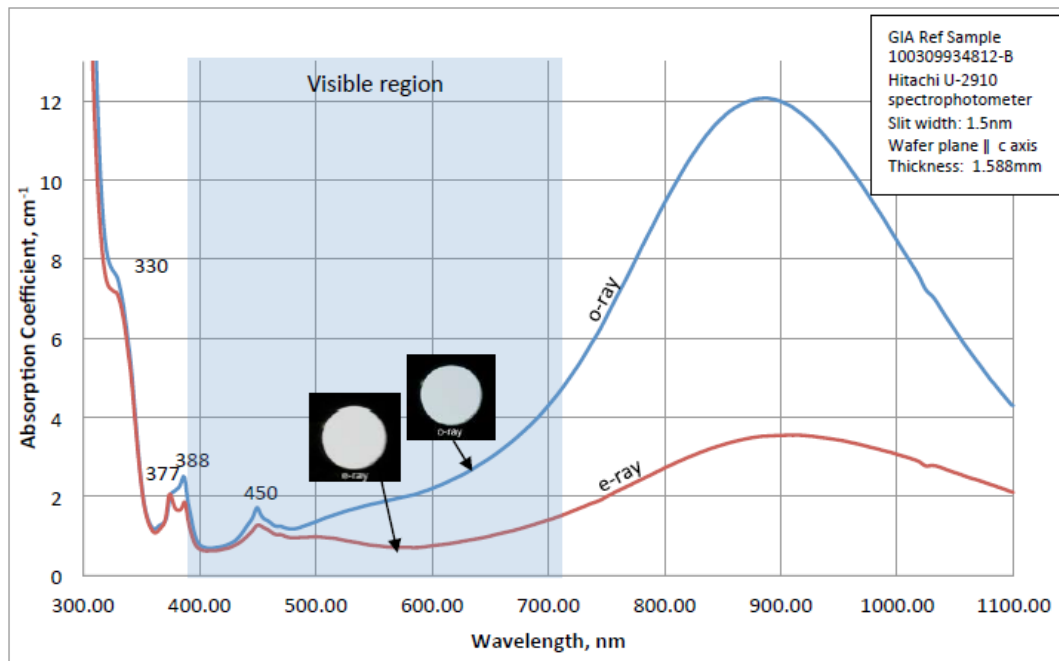
Pardieu and others (2014) สํารวจข้อมูลแหล่งแซปไฟร์จากไนจีเรียไว้ว่าเป็นลักษณะของ  
 ไพลินที่สัมพันธ์กับหินบะซอลต์ แสดงการดูดกลืนแสงของ

- $\text{Fe}^{2+}$ -  $\text{Fe}^{3+}$ - related broad band
- $\text{Fe}^{3+}$  related series : 377 388  $\text{Fe}^{3+}$ -pairs, 450 nm  $\text{Fe}^{3+}$ -single
- $\text{Fe}^{2+}$ -  $\text{Ti}^{4+}$ - related broad band 500-600 nm



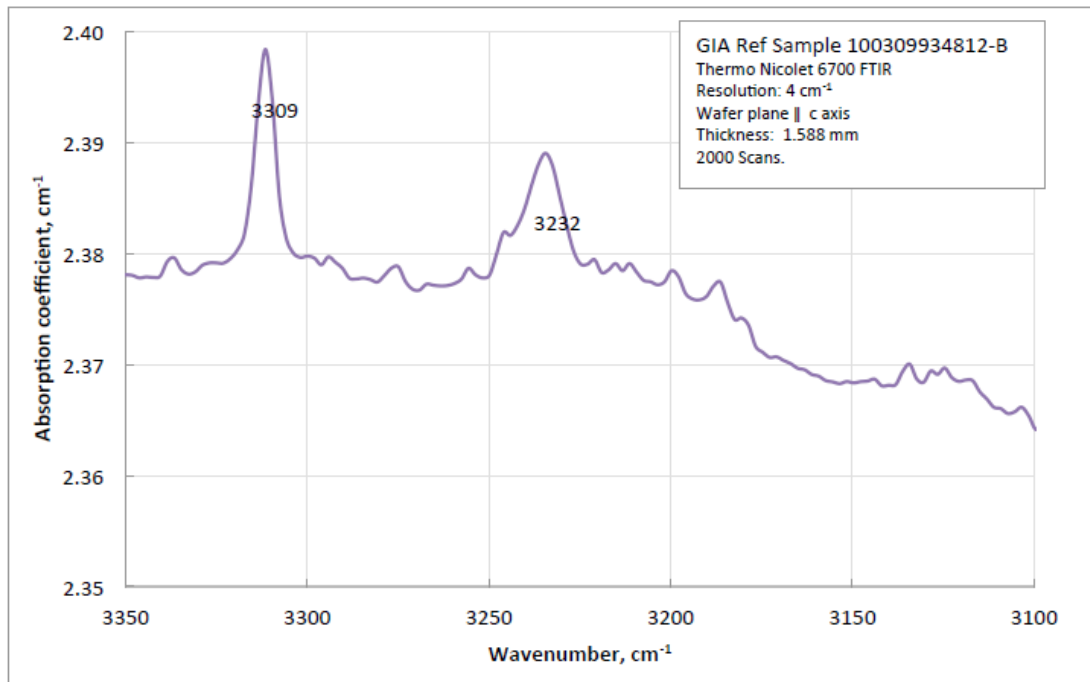


รูป 2-11 แผนที่แหล่งแซฟไฟร์ประเทศไนจีเรีย (Pardieu and others, 2014)



รูป 2.12 Optical spectrum ของไพลินจากไนจีเรีย (Pardieu and others, 2014)





รูป 2.13 FTIR spectrum ของไพลินจากไนจีเรีย แสดงพีคของ OH-stretching ที่ตำแหน่ง 3309 และ 3232  $\text{cm}^{-1}$  (Pardieu and others, 2014)

Guo and others (1996) สรุปรูชนิดของมลทินในไพลินจากแหล่ง basaltic ไร่ตั้งตาราง 2-2

ตาราง 2-2 สรุปรูชนิดของมลทินในไพลินจากแหล่ง basaltic (Guo and others, 1996)

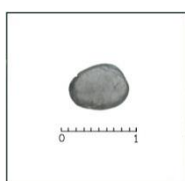
Group	Mineral species	Comment
Oxide	Columbite, ilmenorutile, pyrochlore, fersmite, samarskite, uraninite, Co-rich spinel, Fe-Ti oxide, hematite, baddeleyite, quartz <sup>a</sup>	1) Nb-Ta oxides dominant. 2) Fe-Ti oxide and hematite as exsolved products, i.e. non-primary 3) Baddeleyite from zircon decomposition, non-primary
Silicate	Zircon, albite, K-feldspar, muscovite(?), mullite, sillimanite,	4) Mullite and sillimanite from zircon decomposition, non-primary
Sulphide	Pyrrhotite	
Phosphate	Brockite	

## บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1. วัสดุ

ไพลินจำนวน 78 ตัวอย่าง จัดแบ่งตามสีได้ 5 กลุ่ม ประกอบด้วย

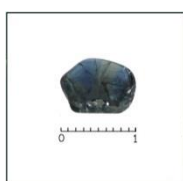
- |   |  |
|---|--|
| กลุ่ม 1 ไพลินจากแหล่งบางกะจะ ประเทศไทย        | สัญลักษณ์ BKS จำนวน 11 ตัวอย่าง (รูป 3.1)  |
| กลุ่ม 2 ไพลินจากแหล่งกาญจนบุรี ประเทศไทย      | สัญลักษณ์ KANS จำนวน 11 ตัวอย่าง (รูป 3.2) |
| กลุ่ม 3 ไพลินจากประเทศศรีลังกา                | สัญลักษณ์ SRI จำนวน 20 ตัวอย่าง (รูป 3.3)  |
| กลุ่ม 4 ไพลินจากแหล่งมาบิลา ประเทศไนจีเรีย    | สัญลักษณ์ SM จำนวน 16 ตัวอย่าง (รูป 3.4)   |
| กลุ่ม 5 ไพลินจากแหล่งดิเอโก ประเทศมาดากัสการ์ | สัญลักษณ์ DS จำนวน 20 ตัวอย่าง (รูป 3.5)   |



BKS 03



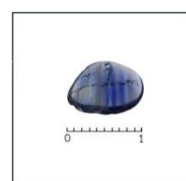
BKS 04



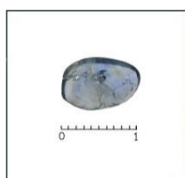
BKS 07



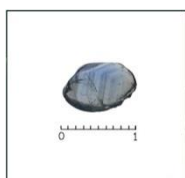
BKS 08



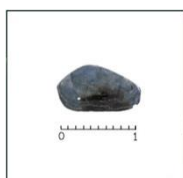
BKS 11



BKS 12



BKS 15



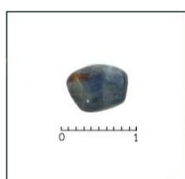
BKS 16



BKS 18

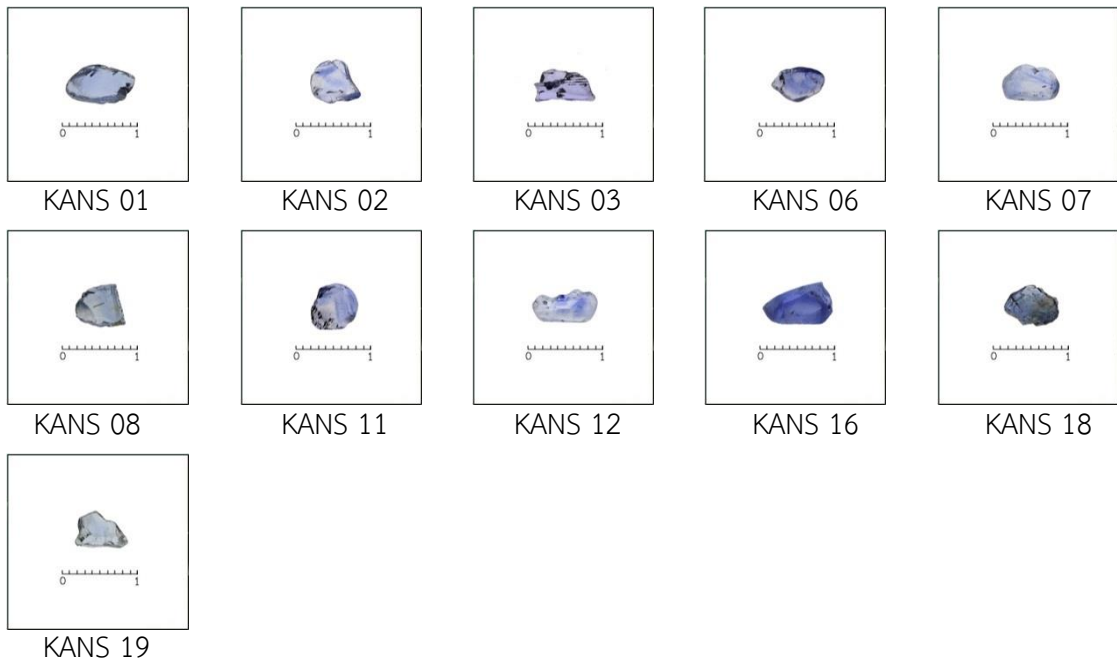


BKS 19

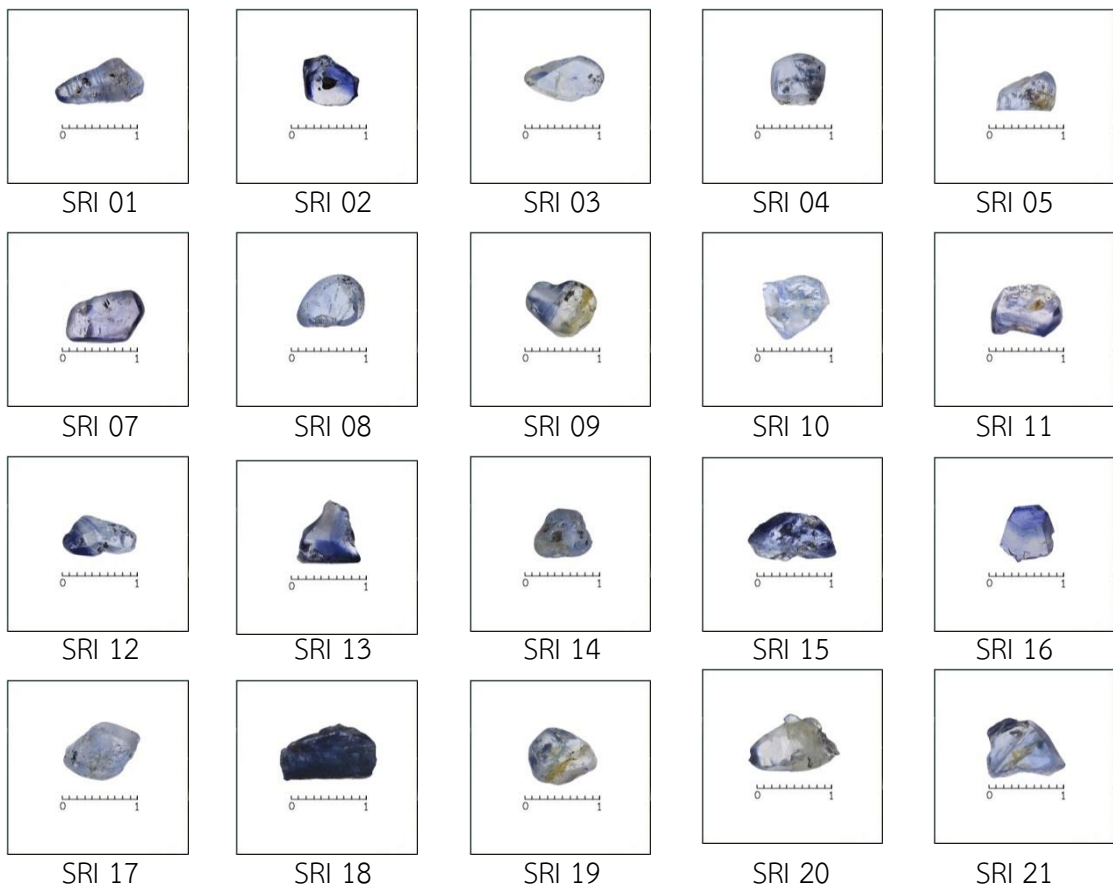


BKS 21

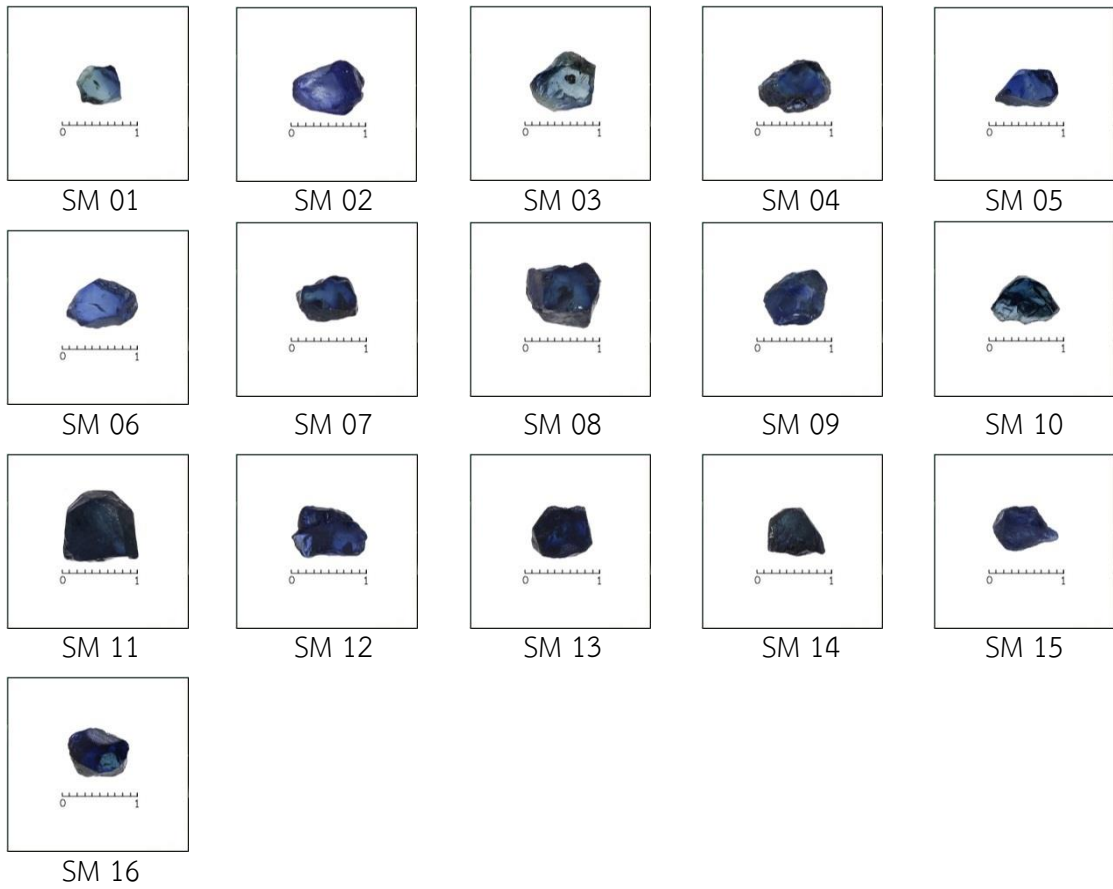
รูป 3.1 ตัวอย่างไพลิน กลุ่มที่ 1 จากแหล่งบางกะจะ ประเทศไทย (scale bar = 1 เซนติเมตร)



รูป 3.2 ตัวอย่างฟอสซิล กลุ่มที่ 2 จากแหล่งกาญจนบุรี ประเทศไทย (scale bar = 1 เซนติเมตร)



รูป 3.3 ตัวอย่างฟอสซิล กลุ่มที่ 3 จากแหล่งศรีลังกา (scale bar = 1 เซนติเมตร)



รูป 3.4 ตัวอย่างฟอสซิล กลุ่มที่ 4 จากแหล่งมาบิลา ประเทศไนจีเรีย (scale bar = 1 เซนติเมตร)



รูป 3.5 ตัวอย่างฟอสซิล กลุ่มที่ 5 จากแหล่งดีเอโก ประเทศมาดากัสการ์ (scale bar = 1 เซนติเมตร)



รูป 3.5 ตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 5 จากแหล่งดีเอโก ประเทศมาดากัสการ์ (ต่อ)

### 3.2 เครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เครื่องมือการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางอัญมณี และเครื่องมือการตรวจสอบคุณสมบัติทางอัญมณีขั้นสูง

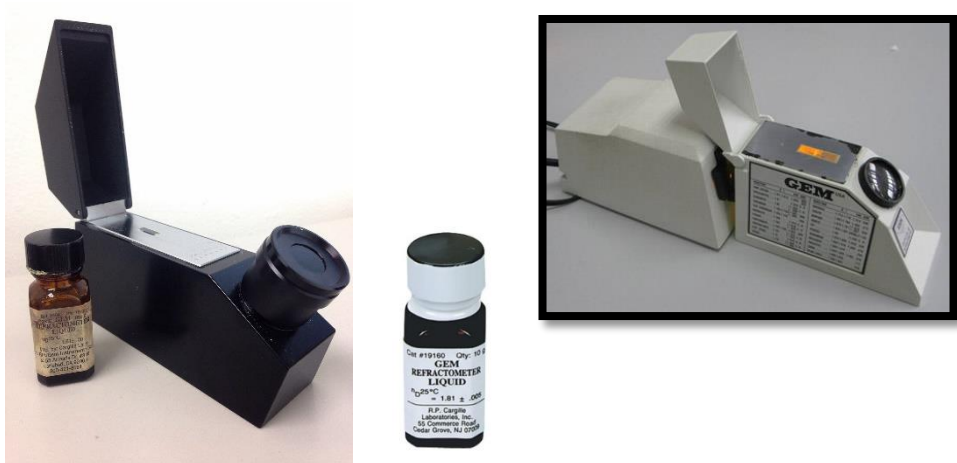
#### 3.2.1 เครื่องมือการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางอัญมณี

1. รีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้หาค่าดัชนีหักเหของแสงในพลอยแต่ละชนิด (รูป 3.1) เนื่องจากแสงเดินทางผ่านพลอยแต่ละชนิดด้วยความเร็วไม่เท่ากัน เมื่อนำความเร็วของแสงเมื่อเดินทางผ่านอากาศและพลอยมาเทียบกัน ดังสูตร

$$\text{ค่าดัชนีหักเห} = \frac{\text{ความเร็วของแสงในอากาศ}}{\text{ความเร็วของแสงในพลอย}}$$

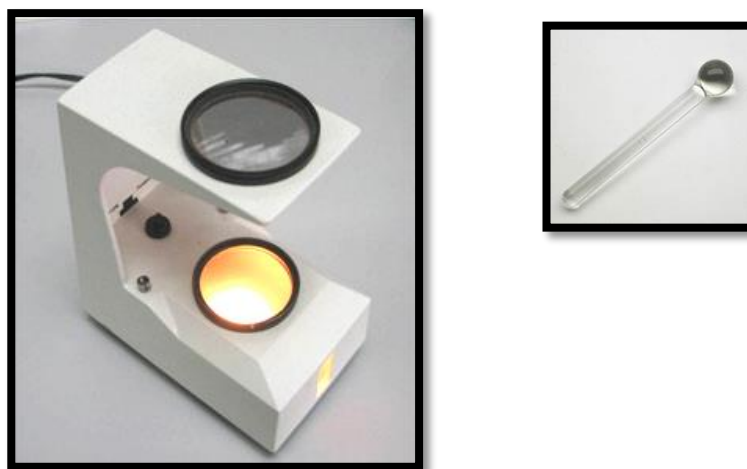
จึงค่าได้ดัชนีหักเหของแสงของพลอยที่เป็นค่าเฉพาะของพลอยแต่ละชนิด ซึ่งค่าอาจแตกต่างกันบ้างในพลอยชนิดเดียวกันขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพลอย

การหาค่าดัชนีหักเหของแสงต้องใช้รีแฟรคโตมิเตอร์ร่วมกับน้ำยา RI (Refractive Index Liquid : RI liquid) ซึ่งขีดความสามารถ (detection limit) ในการอ่านค่าดัชนีหักเหของแสงสูงสุดจะขึ้นอยู่กับ RI liquid โดยทั่วไปคือ 1.79 ในการวิจัยนี้ใช้ RI liquid ที่อ่านค่าดัชนีหักเหของแสงสูงสุดได้  $1.81 \pm 0.005$  ค่าดัชนีหักเหที่เกินกว่าขีดความสามารถของ RI liquid เรียกเป็นสากลว่า OL หรือ OTL (Over the Limit)



รูป 3.6 เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer) และ RI liquid  
(Burapha Gemological Laboratory, 2562 [On-line])

2. เครื่องโพลาริสโคป (Polariscope) เป็นเครื่องมือตรวจสอบการหักเหของแสงในพลอยว่าเป็นการหักเหเดี่ยว (Single Refraction) หักเหคู่ (Double Refraction) แอกริกเกต (Aggregate) หรือหักเหคู่ลวง (Anomalous Double Refraction) ในกรณีที่พลอยเป็นหักเหคู่ใช้เครื่องมือนี้ร่วมกับแท่งแก้ว (Condensing Sphere) จะสามารถบอกเครื่องหมายจักษุของพลอย (Optic Figure) ว่าเป็นยูนิแอกเซียล (Uniaxial) หรือไบแอกเซียล (Biaxial) โดยใช้แท่งแก้ว (รูป 3.2) แต่ละลงบริเวณที่เห็นสีรุ้ง เครื่องนี้ทำให้ทราบว่าคุณมณีนั้นมีค่าดัชนีหักเหค่าเดียว หรือสองค่า เนื่องจากบางครั้งจะสามารถอ่านค่าดัชนีหักเหได้เพียงค่าเดียวจาก Refractometer ใดๆ ที่ตัวอย่างนั้นเป็น Double Refraction เช่นในกรณีตัวอย่างนั้นมีหน้าขัดมันเรียบตัดตั้งฉากกับแกนกลางของผลึก (Optic Axis)



รูป 3.7 เครื่องโพลาริสโคป (Polariscope) และ Condensing Sphere  
(Burapha Gemological Laboratory, 2562 [On-line])

3. เครื่องชั่งหาความถ่วงจำเพาะ (Hydrostatic Weighing Balance) แสดงดังรูปที่ 3.3 เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการหาค่าความถ่วงจำเพาะของพลอยโดยใช้วิธีไฮโดรสแตติก (Hydrostatic) ซึ่งเป็นวิธีการหาความถ่วงจำเพาะได้แน่นอนกว่าวิธีอื่น ๆ โดยการชั่งพลอยในอากาศและในน้ำ น้ำหนักพลอยที่อยู่ในน้ำจะเบากว่าน้ำหนักในอากาศ นำน้ำหนักที่หาได้ทั้งในอากาศและน้ำมาคำนวณตามสมการ ดังนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักในอากาศ}}{\text{น้ำหนักในอากาศ} - \text{น้ำหนักในน้ำ}}$$



รูป 3.8 เครื่องชั่งหาความถ่วงจำเพาะ (Hydrostatic Weighing Balance)  
(Burapha Gemological Laboratory, 2562 [On-line])

### 3.2.2 เครื่องมือการตรวจสอบคุณสมบัติทางอัญมณีขั้นสูง

#### 1. เครื่อง UV-VIS-NIR Spectrophotometer

การวิเคราะห์ตัวอย่างไพไลนด้วยเทคนิค UV-VIS-NIR Spectroscopy โดยใช้เครื่อง PerkinElmer Spectrophotometer Lambda 950 วัดการดูดกลืนแสงในช่วง visible ดำเนินการที่สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดสีด้วยเทคนิค UV-VIS-NIR Spectroscopy

Settings	Data
Measurement Type	Color Calculation Scan
Ordinate Mode	Transmission (%T)
Start Wavelength	780 nm
End Wavelength	380 nm
Data Interval	10 nm
Scan Speed	541.76 nm/min.

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-VIS-NIR Spectroscopy

Settings	Data
Measurement Type	Wavelength Scan
Ordinate Mode	Absorbance (A)
Start Wavelength	1500 nm
End Wavelength	300 nm
Data Interval	1 nm
Scan Speed	282.49 nm/min.



รูปที่ 3.9 เครื่อง UV-Vis-NIR Spectrophotometer ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Lambda 950 ที่สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) (ภาพถ่ายโดย : ธนิตา จิรนุวัฒน์วงศ์)



## 2. เครื่อง EDXRF Spectrometer

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโพลินด้วยเทคนิค EDXRF (Energy Dispersive X-ray Fluorescence) โดยใช้เครื่อง ARL™ QUANT'X EDXRF Spectrometer ดำเนินการที่สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) Analysis Technique: Fundamental Parameters (Theoretical) Software version: 8.1, พื้นที่ 2 mm beam size spot

## 3. เครื่อง Portable Fourier Transform Infrared Spectrometer

การวิเคราะห์ตัวอย่างโพลินด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy โดยใช้เครื่อง Portable Fourier Transform Infrared Spectrometer รุ่น ALPHA ยี่ห้อ Bruker Optic เทคนิค transmission ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพาประมวลผลโดยโปรแกรม OPUS



รูป 3.10 เครื่อง Portable Fourier Transform Infrared Spectrometer  
(Burapha Gemological Laboratory, 2562 [On-line])

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง
2. จัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์
3. ตรวจสอบคุณสมบัติทางอัญมณีขั้นพื้นฐาน
4. ตรวจสอบมลทินภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์อัญมณี
5. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer (EDXRF)
6. วัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วง visible light ด้วยเครื่อง UV-Vis-NIR Spectrophotometer
7. วัดสเปกตรัมในช่วง Near Infrared ด้วยเครื่อง Portable FTIR Spectrometer
8. สรุปลักษณะเฉพาะทางอัญมณีของโพลินจากไทย ศรีลังกา ไนจีเรีย และมาดากัสการ์

## บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

### 4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้วยเครื่องมือพื้นฐาน

#### 4.1.1 ค่าดัชนีหักเหและค่าความถ่วงจำเพาะ

จากการตรวจสอบสมบัติพื้นฐานทางอัญมณีของตัวอย่างตัวอย่างไพลินจากบางกะจะ จังหวัดจันทบุรีมีสีน้ำเงินมึด มีสีแผดสีน้ำเงินอมเขียวและน้ำเงิน ค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.76 – 1.77 ค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าประมาณ 4.00 +/- 0.05 ตัวอย่างไม่เรืองแสงภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตทั้งคลื่นสั้นและคลื่นยาว (ตาราง 4.1)

ตัวอย่างไพลินจากบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรีมีสีน้ำเงินอมเขียว สีน้ำเงิน ถึงน้ำเงินอมม่วง มีสีแผดสีน้ำเงินอมเขียวและน้ำเงิน ค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.76 – 1.77 ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 3.93 -4.01 ตัวอย่างไม่เรืองแสงภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตทั้งคลื่นสั้นและคลื่นยาว (ตาราง 4.2)

ตาราง 4.1 ค่าดัชนีหักเหและค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างไพลิน จากแหล่งบางกะจะ ประเทศไทย

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กะรัต)	ค่าดัชนีหักเห (spot)	ค่าความถ่วงจำเพาะ	สี
BKS 03	1.205	1.77	4.00	น้ำเงินมึด
BKS 04	1.035	1.76	3.98	น้ำเงินมึด
BKS 07	3.300	1.77	3.98	น้ำเงินมึด
BKS 08	1.405	1.77	3.98	น้ำเงินมึด
BKS 11	1.465	1.76	3.96	น้ำเงินมึด
BKS 12	1.255	1.76	4.02	น้ำเงินมึด
BKS 15	1.290	1.77	3.98	น้ำเงินมึด
BKS 16	2.240	1.77	4.05	น้ำเงินมึด
BKS 18	2.830	1.77	3.98	น้ำเงินมึด
BKS 19	1.450	1.77	4.00	น้ำเงินมึด
BKS 21	1.745	1.77	3.98	น้ำเงินมึด

ตาราง 4.2 ค่าดัชนีหักเหและค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 2 จากแหล่งกาญจนบุรี ประเทศไทย

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กะรัต)	ค่าดัชนีหักเห (spot)	ค่าความถ่วงจำเพาะ	สี
KANS 01	1.155	1.77	3.94	น้ำเงินอมเขียว
KANS 02	1.240	1.76	3.93	น้ำเงิน
KANS 03	0.725	1.77	3.95	น้ำเงินอมม่วง
KANS 06	0.430	1.76	3.95	น้ำเงินอมเขียว
KANS 07	0.730	1.77	3.99	น้ำเงินอมเขียว
KANS 08	0.515	1.77	3.96	น้ำเงินอมเขียว
KANS 11	0.430	1.77	3.93	น้ำเงิน
KANS 12	1.160	1.76	3.94	น้ำเงิน
KANS 16	1.990	1.77	4.01	น้ำเงิน
KANS 18	0.435	1.76	3.93	น้ำเงิน
KANS 19	0.380	1.77	3.93	น้ำเงินอมเขียว

จากการตรวจสอบสมบัติพื้นฐานทางอัญมณีของตัวอย่างตัวอย่างโพลินจากศรีลังกามีสีน้ำเงินอมม่วง มีสีแฝดสีน้ำเงินอมเขียวและน้ำเงิน ค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.76 – 1.77 ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 3.91 – 3.99 ตัวอย่างไม่เรืองแสงภายใต้แสงอัลตราไวโอเลตคลื่นสั้นและตัวอย่างไม่เรืองแสงถึงเรืองแสงสีส้มภายใต้แสงอัลตราไวโอเลตคลื่นยาว (ตาราง 4.3)

ตัวอย่างโพลินจากแหล่งมาบิลา ประเทศไนจีเรียมีสีน้ำเงินถึงน้ำเงินมืด มีสีแฝดสีน้ำเงินอมเขียวและน้ำเงิน ค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.76 – 1.77 ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 3.90 -4.02 ตัวอย่างไม่เรืองแสงภายใต้แสงอัลตราไวโอเลตทั้งคลื่นสั้นและคลื่นยาว (ตาราง 4.4)

ตัวอย่างโพลินจากแหล่งดีเอโก ประเทศมาดากัสการ์ มีสีน้ำเงินถึงน้ำเงินมืดน้ำเงินมืด บางตัวอย่างมีส่วนสีเหลืองอ่อนปน มีสีแฝดสีน้ำเงินอมเขียวและน้ำเงิน ค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.76 – 1.77 ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 3.90 -4.02 ตัวอย่างไม่เรืองแสงภายใต้แสงอัลตราไวโอเลตทั้งคลื่นสั้นและคลื่นยาว (ตาราง 4.5)

ตาราง 4.3 ค่าดัชนีหักเหและค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 3 จากแหล่งศรีลังกา

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กะรัต)	ค่าดัชนีหักเห (spot)	ค่าความถ่วงจำเพาะ	สี
SRI 01	3.585	1.77	3.94	สีน้ำเงินอมม่วง
SRI 02	0.975	1.77	3.90	สีน้ำเงินอมม่วง
SRI 03	2.095	1.77	3.97	สีน้ำเงินอมม่วง
SRI 04	2.100	1.77	3.96	สีน้ำเงินอมม่วง
SRI 05	1.760	1.77	3.97	สีน้ำเงินอมม่วง
SRI 07	1.650	1.76	3.95	สีน้ำเงินอมม่วง
SRI 08	3.140	1.77	3.96	สีน้ำเงินอมม่วง
SRI 09	2.415	1.77	3.97	สีน้ำเงินอมม่วง
SRI 10	4.225	1.76	3.97	สีน้ำเงินอมม่วง
SRI 11	3.465	1.76	3.93	สีน้ำเงินอมม่วง
SRI 12	7.935	1.77	3.95	สีน้ำเงินอมม่วง
SRI 13	1.905	1.77	3.91	สีน้ำเงิน
SRI 14	1.270	1.77	3.94	สีน้ำเงินอมม่วง
SRI 15	2.350	1.77	3.93	สีน้ำเงินอมม่วง
SRI 16	2.470	1.76	3.96	สีน้ำเงินอมม่วง
SRI 17	1.700	1.77	3.92	สีน้ำเงินอมม่วง
SRI 18	2.110	1.77	3.91	สีน้ำเงิน
SRI 19	2.310	1.76	3.97	สีน้ำเงินอมม่วง
SRI 20	8.910	1.76	3.95	สีน้ำเงินอมม่วง
SRI 21	3.140	1.77	3.99	สีน้ำเงินอมม่วง

ตาราง 4.4 ค่าดัชนีหักเหและค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 4 จากแหล่งมาบิลา ประเทศไนจีเรีย

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กะรัต)	ค่าดัชนีหักเห (spot)	ค่าความถ่วงจำเพาะ	สี
SM 01	1.180	1.77	4.00	น้ำเงินมืด
SM 02	1.830	1.77	4.00	น้ำเงิน
SM 03	1.630	1.77	3.89	น้ำเงินมืด
SM 04	2.520	1.77	3.92	น้ำเงินมืด
SM 05	1.615	1.76	3.95	น้ำเงินมืด
SM 06	1.780	1.77	4.00	น้ำเงิน
SM 07	2.290	1.76	3.98	น้ำเงินมืด
SM 08	4.110	1.76	3.90	น้ำเงินมืด
SM 09	1.605	1.77	4.00	น้ำเงินมืด
SM 10	2.190	1.77	4.00	น้ำเงิน
SM 11	2.110	1.77	3.97	น้ำเงินมืด
SM 12	2.325	1.76	3.94	น้ำเงิน
SM 13	1.425	1.76	4.00	น้ำเงินมืด
SM 14	1.280	1.77	3.94	น้ำเงินมืด
SM 15	2.135	1.77	3.99	น้ำเงิน
SM 16	1.800	1.77	4.02	น้ำเงิน

ตาราง 4.5 ค่าดัชนีหักเหและค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 5 จากแหล่งดิเอโก ประเทศมาดากัสการ์

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ค่าดัชนีหักเห	ค่าความถ่วงจำเพาะ	สี
DS 01	0.485	1.77	4.01	น้ำเงินมึตมีส่วนสีเหลืองอ่อนปน
DS 02	1.350	1.76	3.94	น้ำเงินมึตมีส่วนสีเหลืองอ่อนปน
DS 03	0.985	1.76	4.01	น้ำเงิน
DS 04	0.535	1.76	3.91	น้ำเงินมึต
DS 05	0.460	1.77	3.90	น้ำเงินมึต
DS 06	0.745	1.77	3.93	น้ำเงิน
DS 07	0.695	1.76	3.89	น้ำเงิน
DS 08	0.900	1.76	3.93	น้ำเงิน
DS 09	0.660	1.77	3.94	น้ำเงินมึต
DS 10	0.820	1.76	3.97	น้ำเงิน
DS 11	0.630	1.76	3.96	น้ำเงิน
DS 12	0.525	1.76	3.92	น้ำเงิน
DS 13	1.360	1.77	3.93	น้ำเงินมึตมีส่วนสีเหลืองอ่อนปน
DS 14	0.900	1.77	4.01	น้ำเงินมึตมีส่วนสีเหลืองอ่อนปน
DS 15	0.895	1.77	3.92	น้ำเงิน
DS 16	0.610	1.76	4.06	น้ำเงินมึต
DS 17	0.640	1.77	3.89	น้ำเงินมึตมีส่วนสีเหลืองอ่อนปน
DS 18	0.705	1.76	3.96	น้ำเงินมึต
DS 19	0.665	1.76	3.93	น้ำเงินมึตมีส่วนสีเหลืองอ่อนปน
DS 20	0.475	1.76	4.01	น้ำเงิน

#### 4.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (EDXRF)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง ด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (EDXRF) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเป็นพื้นที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ผลที่แสดงเป็นผลจากการ normalization ของโปรแกรม ดังแสดงในตาราง 4.6 – 4.10 พบว่ามีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  และพบว่ามีธาตุร่องรอย (trace element) ที่วิเคราะห์ได้ ได้แก่  $\text{TiO}_2$   $\text{Fe}_2\text{O}_3$  และ  $\text{Ga}_2\text{O}_3$

ผลองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโพลินจากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 99.02 – 99.24 (เฉลี่ย 99.15) และพบว่ามีธาตุร่องรอย (trace element) ที่วิเคราะห์ได้ ได้แก่  $\text{TiO}_2$  ร้อยละ 0.01 – 0.03 (เฉลี่ย 0.01)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 0.73 – 0.93 (เฉลี่ย 0.82) และ  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 0.02 ดังแสดงในตาราง 4.6

ตาราง 4.6 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโพลิน จากแหล่งบางกะจะ ประเทศไทย

sample	Wt% oxide						
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{V}_2\text{O}_5$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Ga}_2\text{O}_3$	total
BKS 03	99.21	0.01	0.00	0.00	0.75	0.02	100.00
BKS 04	99.17	0.01	0.00	0.00	0.80	0.02	100.00
BKS 07	99.08	0.01	0.00	0.00	0.89	0.02	100.00
BKS 08	99.05	0.01	0.00	0.00	0.92	0.02	100.00
BKS 11	99.20	0.02	0.00	0.00	0.76	0.02	100.00
BKS 12	99.15	0.03	0.00	0.00	0.80	0.02	100.00
BKS 15	99.11	0.01	0.00	0.00	0.86	0.02	100.00
BKS 16	99.02	0.01	0.00	0.01	0.93	0.02	100.00
BKS 18	99.17	0.02	0.00	0.00	0.80	0.02	100.00
BKS 19	99.21	0.02	0.00	0.00	0.76	0.02	100.00
BKS 21	99.24	0.01	0.00	0.00	0.73	0.02	100.00

องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโพลินจากแหล่งกาญจนบุรี ประเทศไทยธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 99.25 – 99.87 (เฉลี่ย 99.62) และพบว่ามีธาตุร่องรอย (trace element) ที่วิเคราะห์ได้ ได้แก่  $\text{TiO}_2$  ร้อยละ 0.01 – 0.18 (เฉลี่ย 0.09)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 0.04 – 0.66 (เฉลี่ย 0.28) และ  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 0.01 – 0.02 (เฉลี่ย 0.01) ดังแสดงในตาราง 4.7

ตาราง 4.7 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 2 จากแหล่งกาญจนบุรี ประเทศไทย

sample	Wt% oxide						
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{V}_2\text{O}_5$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Ga}_2\text{O}_3$	total
KANS 01	99.74	0.05	0.00	0.00	0.21	0.01	100.00
KANS 02	99.87	0.01	0.00	0.00	0.11	0.01	100.00
KANS 03	99.25	0.03	0.00	0.04	0.66	0.01	100.00
KANS 06	99.63	0.18	0.00	0.00	0.18	0.01	100.00
KANS 07	99.71	0.15	0.00	0.00	0.13	0.01	100.00
KANS 08	99.52	0.01	0.00	0.00	0.46	0.01	100.00
KANS 11	99.82	0.08	0.00	0.00	0.08	0.02	100.00
KANS 12	99.80	0.05	0.00	0.00	0.13	0.02	100.00
KANS 16	99.82	0.13	0.00	0.00	0.04	0.01	100.00
KANS 18	99.26	0.18	0.00	0.00	0.54	0.02	100.00
KANS 19	99.36	0.07	0.00	0.00	0.56	0.01	100.00



องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโพลินจากแหล่งศรีลังกา พบธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 99.64 – 99.91 (เฉลี่ย 99.81) และพบว่ามีธาตุร่องรอย (trace element) ที่วิเคราะห์ได้ ได้แก่  $\text{TiO}_2$  ร้อยละ 0.01 – 0.18 (เฉลี่ย 0.07)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 0.05 – 0.19 (เฉลี่ย 0.11) และ  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 0.00 – 0.02 (เฉลี่ย 0.01) ดังแสดงในตาราง 4.8

ตาราง 4.8 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 3 จากแหล่งศรีลังกา

sample	Wt% oxide						
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{V}_2\text{O}_5$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Ga}_2\text{O}_3$	total
SRI 01	99.89	0.04	0.00	0.00	0.06	0.01	100.00
SRI 02	99.64	0.15	0.01	0.00	0.18	0.02	100.00
SRI 03	99.91	0.01	0.00	0.00	0.07	0.01	100.00
SRI 04	99.84	0.05	0.00	0.00	0.10	0.01	100.00
SRI 05	99.79	0.04	0.00	0.00	0.15	0.01	100.00
SRI 07	99.80	0.04	0.01	0.01	0.13	0.01	100.00
SRI 08	99.81	0.06	0.00	0.00	0.11	0.01	100.00
SRI 09	99.81	0.10	0.00	0.00	0.08	0.01	100.00
SRI 10	99.80	0.05	0.00	0.00	0.14	0.01	100.00
SRI 11	99.86	0.04	0.01	0.01	0.06	0.01	100.00
SRI 12	99.73	0.18	0.01	0.00	0.07	0.01	100.00
SRI 13	99.88	0.03	0.00	0.00	0.09	0.01	100.00
SRI 14	99.81	0.08	0.00	0.00	0.11	0.01	100.00
SRI 15	99.87	0.05	0.00	0.00	0.08	0.01	100.00
SRI 16	99.79	0.01	0.00	0.00	0.19	0.01	100.00
SRI 17	99.76	0.07	0.00	0.00	0.16	0.01	100.00
SRI 18	99.73	0.10	0.02	0.00	0.13	0.01	100.00
SRI 19	99.76	0.06	0.01	0.00	0.16	0.00	100.00
SRI 20	99.89	0.06	0.00	0.00	0.05	0.01	100.00
SRI 21	99.78	0.09	0.01	0.01	0.12	0.01	100.00

องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโพลินจากแหล่งมาบิลา ประเทศไนจีเรียพบธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 98.51 – 99.52 (เฉลี่ย 99.03) และพบว่ามีธาตุร่องรอย (trace element) ที่วิเคราะห์ได้ ได้แก่  $\text{TiO}_2$  ร้อยละ 0.01 – 0.16 (เฉลี่ย 0.06)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 0.29 – 1.44 (เฉลี่ย 0.89) และ  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 0.01 – 0.03 (เฉลี่ย 0.02) ดังแสดงในตาราง 4.9

ตาราง 4.9 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 4 จากแหล่งมาบิลา ประเทศไนจีเรีย

sample	Wt% oxide						
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{V}_2\text{O}_5$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Ga}_2\text{O}_3$	total
SM 01	99.00	0.02	0.00	0.00	0.96	0.02	100.00
SM 02	99.52	0.16	0.00	0.00	0.29	0.02	100.00
SM 03	99.09	0.08	0.00	0.00	0.80	0.02	100.00
SM 04	98.89	0.03	0.00	0.00	1.06	0.01	100.00
SM 05	99.20	0.14	0.00	0.00	0.65	0.01	100.00
SM 06	99.38	0.02	0.00	0.00	0.58	0.01	100.00
SM 07	98.51	0.03	0.00	0.00	1.44	0.02	100.00
SM 08	99.16	0.06	0.00	0.00	0.76	0.03	100.00
SM 09	99.44	0.01	0.00	0.00	0.53	0.02	100.00
SM 10	98.98	0.02	0.00	0.00	0.99	0.02	100.00
SM 11	98.56	0.07	0.00	0.00	1.34	0.03	100.00
SM 12	98.79	0.10	0.00	0.00	1.10	0.02	100.00
SM 13	98.72	0.06	0.00	0.00	1.20	0.02	100.00
SM 14	98.90	0.07	0.00	0.00	0.99	0.03	100.00
SM 15	99.43	0.02	0.00	0.00	0.54	0.01	100.00
SM 16	98.96	0.05	0.00	0.00	0.97	0.01	100.00

องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโพลินจากแหล่งดีเอโก ประเทศมาดากัสการ์พบธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 97.25 – 99.38 (เฉลี่ย 98.82) และพบว่ามีธาตุร่องรอย (trace element) ที่วิเคราะห์ได้ ได้แก่  $\text{TiO}_2$  ร้อยละ 0.01 – 0.71 (เฉลี่ย 0.18)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 0.52 – 1.98 (เฉลี่ย 0.96) และ  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 0.02 – 0.07 (เฉลี่ย 0.03) ดังแสดงในตาราง 4.10

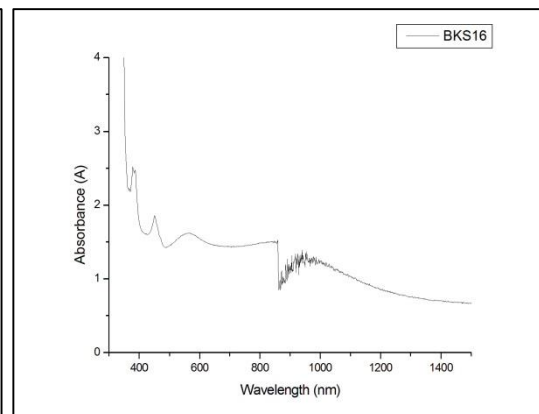
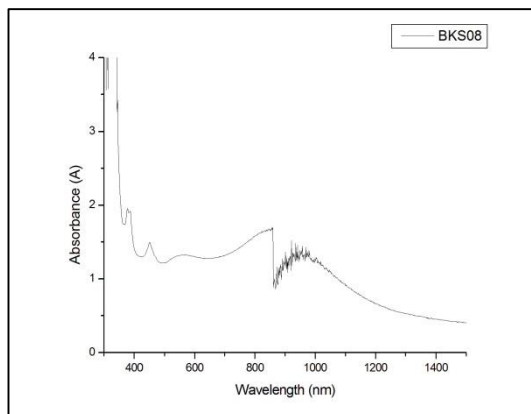
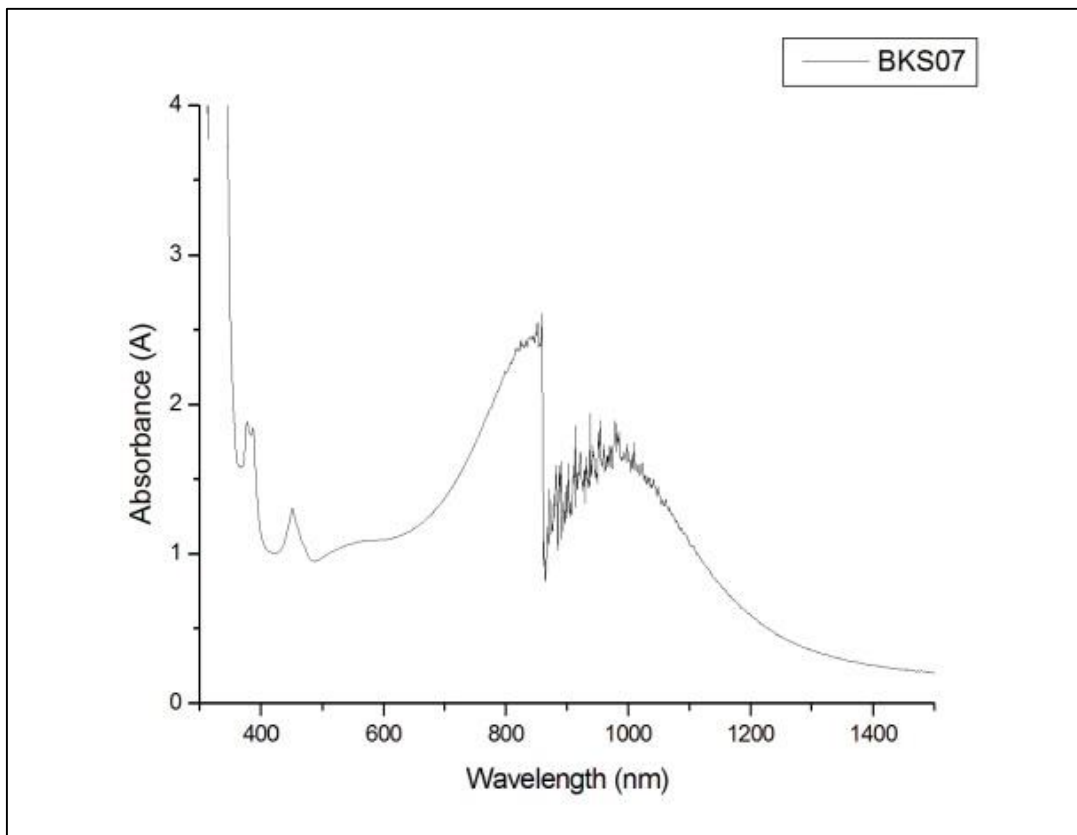
ตาราง 4.10 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 5 จากแหล่งดีเอโก ประเทศมาดากัสการ์

sample	Wt% oxide						
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{V}_2\text{O}_5$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Ga}_2\text{O}_3$	total
DS 01	99.38	0.08	0.00	0.00	0.52	0.02	100.00
DS 02	99.24	0.02	0.00	0.00	0.71	0.03	100.00
DS 03	97.25	0.71	0.00	0.00	1.98	0.05	100.00
DS 04	98.62	0.15	0.00	0.00	1.15	0.07	100.00
DS 05	98.42	0.60	0.00	0.00	0.95	0.03	100.00
DS 06	99.08	0.01	0.00	0.00	0.87	0.04	100.00
DS 07	99.00	0.02	0.00	0.00	0.93	0.04	99.99
DS 08	99.09	0.04	0.00	0.00	0.84	0.03	100.00
DS 09	98.90	0.09	0.00	0.00	0.97	0.04	100.00
DS 10	98.94	0.05	0.00	0.00	0.98	0.03	100.00
DS 11	99.16	0.05	0.00	0.00	0.76	0.03	100.00
DS 12	99.04	0.13	0.00	0.00	0.80	0.03	100.00
DS 13	99.12	0.04	0.00	0.00	0.82	0.02	100.00
DS 14	99.17	0.13	0.00	0.00	0.68	0.02	100.00
DS 15	98.60	0.56	0.00	0.00	0.79	0.05	100.00
DS 16	98.41	0.12	0.00	0.00	1.43	0.04	100.00
DS 17	99.03	0.03	0.00	0.00	0.91	0.03	100.00
DS 18	98.80	0.06	0.00	0.00	1.12	0.03	100.00
DS 19	98.81	0.20	0.00	0.00	0.95	0.03	100.00
DS 20	98.36	0.56	0.00	0.00	1.04	0.04	100.00

### 4.3. Optical spectrum ของตัวอย่างไพลิน

#### 4.3.1 การดูดกลืนแสงของตัวอย่างไพลิน กลุ่มที่ 1 จากแหล่งบางกะจะ ประเทศไทย

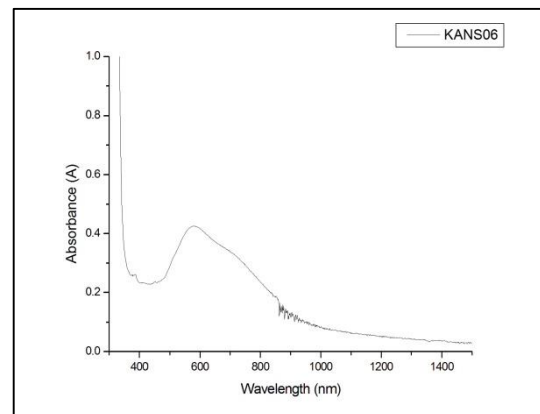
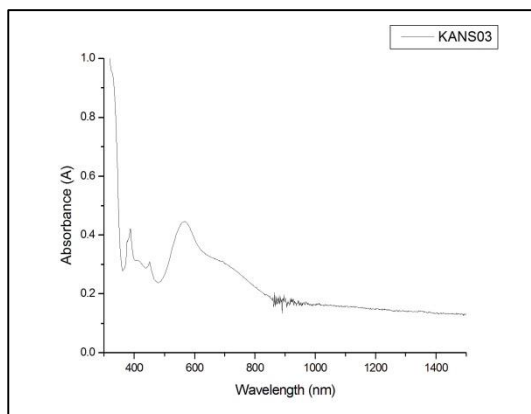
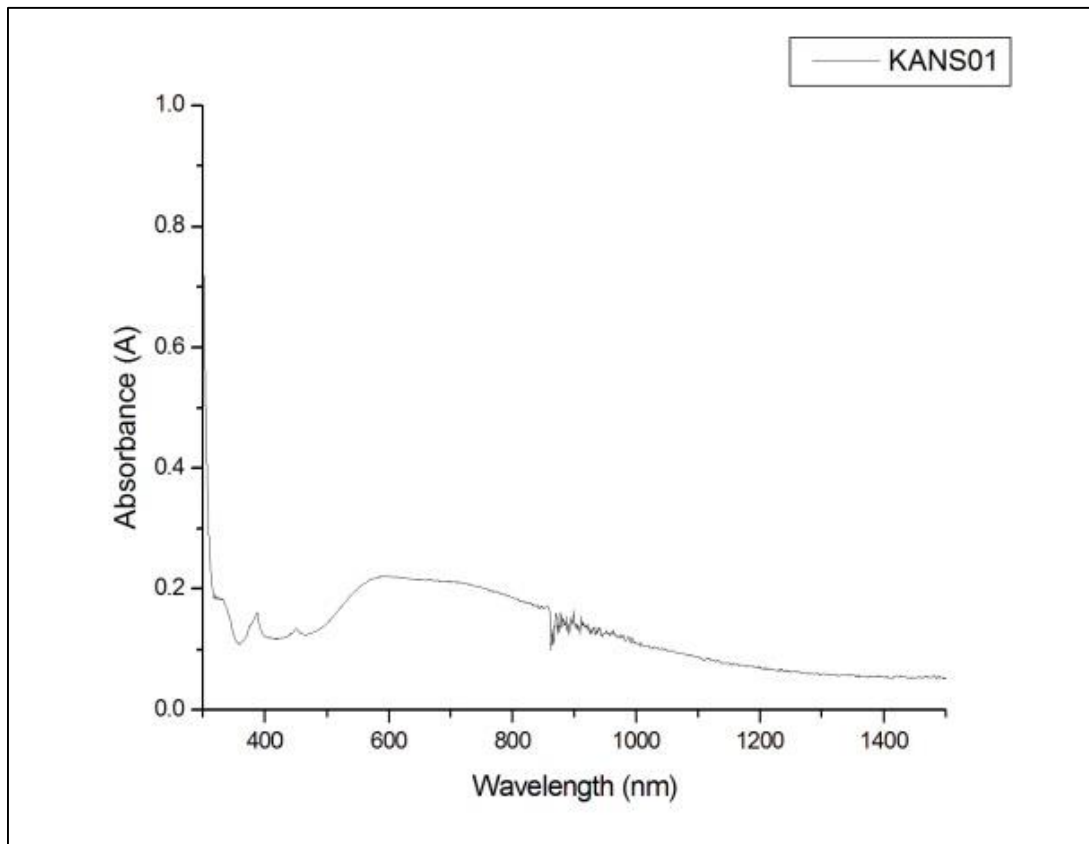
สเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Optical Spectrum) ของไพลินจากแหล่งบางกะจะ จังหวัด จันทบุรี แสดงการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 377 และ 388 นาโนเมตร สัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของ  $\text{Fe}^{3+}$ -pairs การดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 450 nm ของ  $\text{Fe}^{3+}$ -single แถบการดูดกลืนแสงช่วง 500-600 นาโนเมตร สัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของ  $\text{Fe}^{2+}$ -  $\text{Ti}^{4+}$  และแถบการดูดกลืนแสงแบบกว้างที่มี กึ่งกลางประมาณ 850 นาโนเมตร ของ  $\text{Fe}^{2+}$ -  $\text{Fe}^{3+}$  แสดงความสัมพันธ์กับหินบะซอลต์



รูป 4-1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของไพลินจากแหล่งบางกะจะ

#### 4.3.2 การดูดกลืนแสงของตัวอย่างโพลีเมอร์ กลุ่มที่ 2 จากแหล่งกาญจนบุรี ประเทศไทย

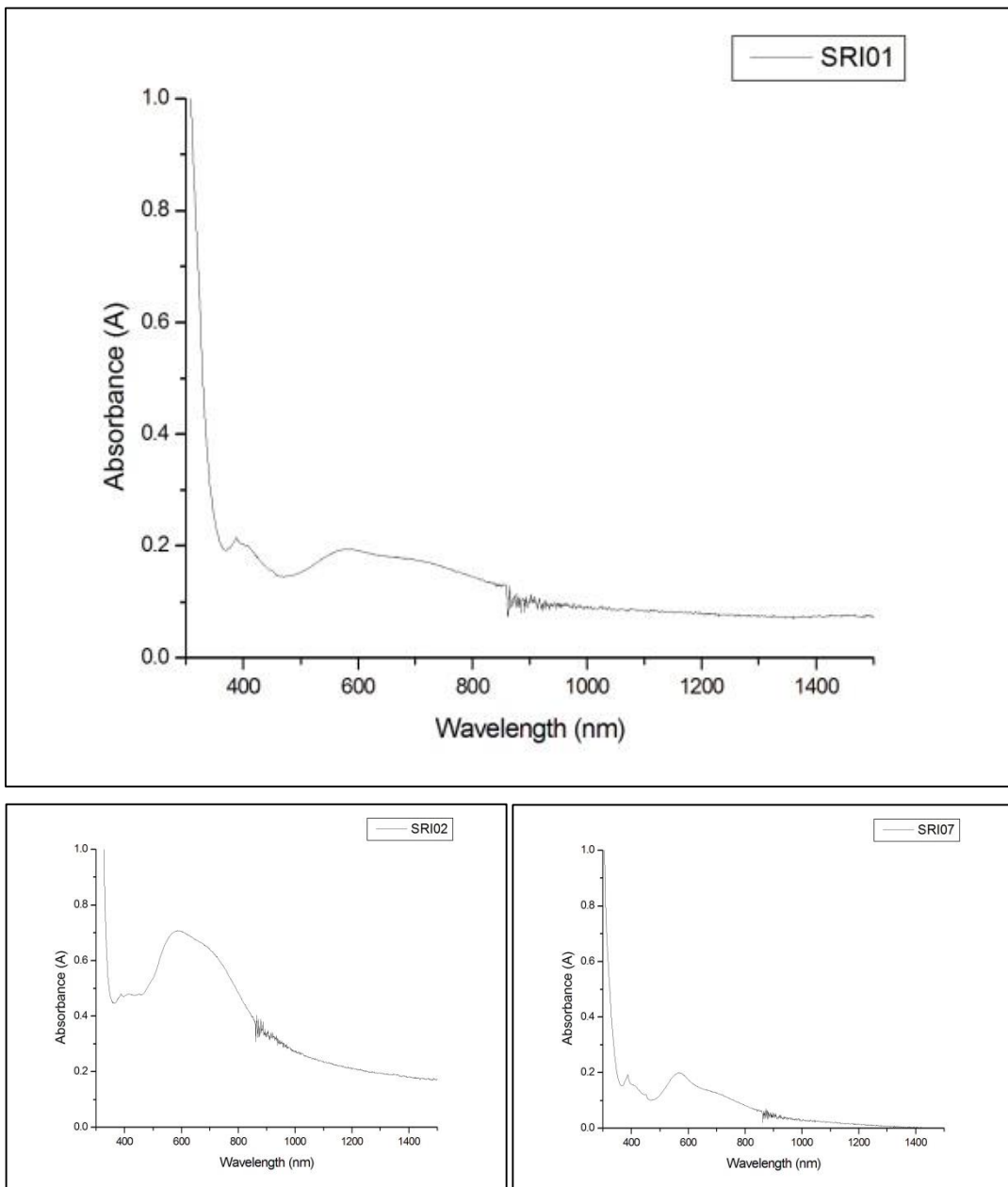
สเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Optical Spectrum) ของโพลีเมอร์จากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี แสดงการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 377 และ 388 นาโนเมตร สัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของ  $Fe^{3+}$ -pairs การดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 450 nm ของ  $Fe^{3+}$ -single แถบการดูดกลืนแสงช่วง 500-600 นาโนเมตร สัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของ  $Fe^{2+}$ -  $Ti^{4+}$  และแถบการดูดกลืนแสงแบบกว้างที่มีกึ่งกลางประมาณ 850 นาโนเมตรเล็กน้อย สัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของ  $Fe^{2+}$ -  $Fe^{3+}$



รูป 4-2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของโพลีเมอร์จากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี

#### 4.3.3 การดูดกลืนแสงของตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ กลุ่มที่ 3 จากแหล่งศรีลังกา

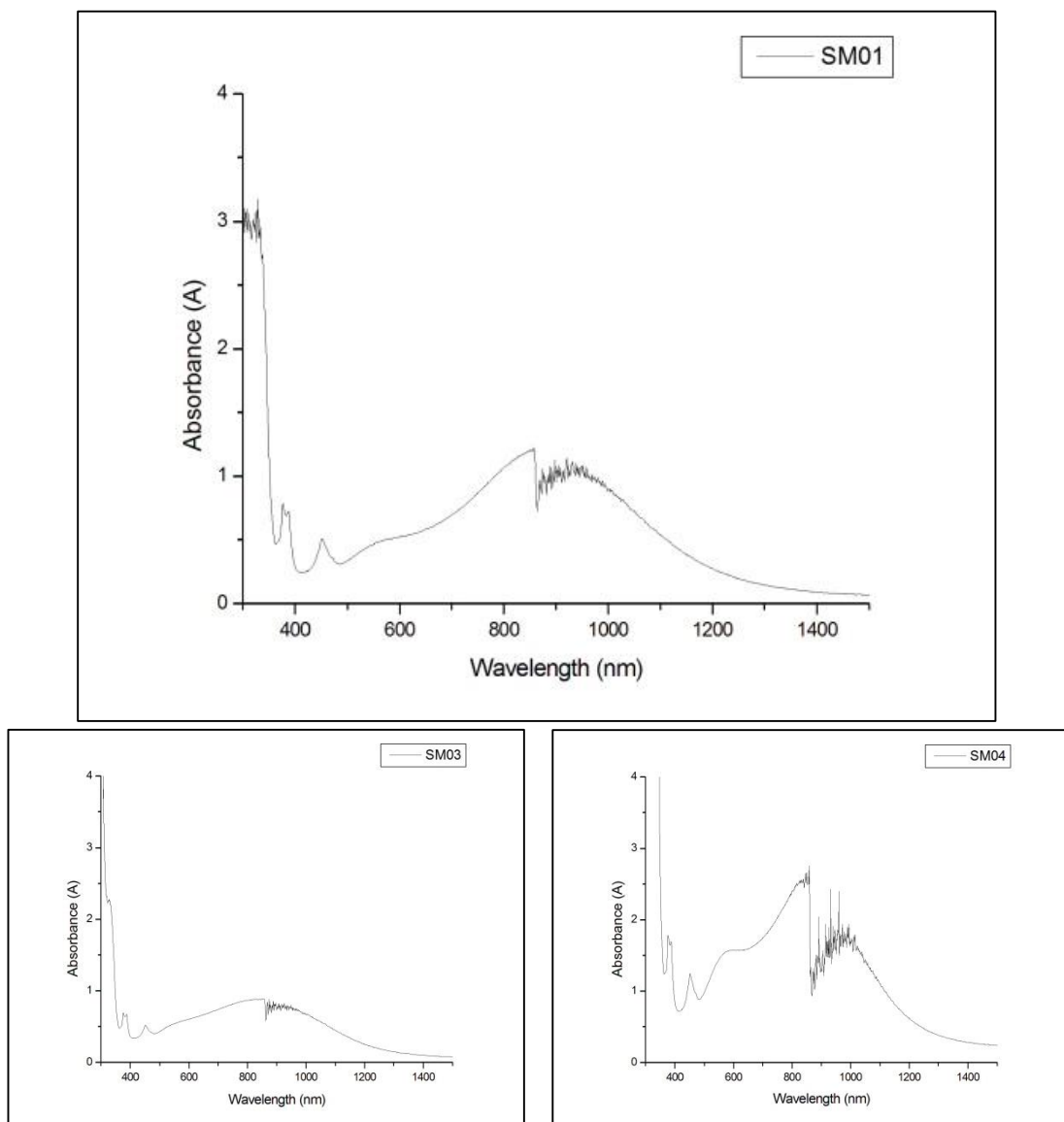
สเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Optical Spectrum) ของโพลินจากแหล่งศรีลังกาแสดงการดูดกลืนแสงอ่อน-ไม่ชัดที่ตำแหน่ง 377 และ 388 นาโนเมตร สัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของ  $Fe^{3+}$ -pairs การดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 450 nm ของ  $Fe^{3+}$ -single แถบการดูดกลืนแสงช่วง 500-600 นาโนเมตร สัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของ  $Fe^{2+}$ -  $Ti^{4+}$  และแถบการดูดกลืนแสงแบบกว้างที่มีกึ่งกลางประมาณ 850 นาโนเมตรเล็กน้อย เป็นของ  $Fe^{2+}$ -  $Fe^{3+}$  ต่ำมากถึงไม่แสดงการดูดกลืนแสงนี้



รูป 4-3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของโพลินจากศรีลังกา

#### 4.3.4 การดูดกลืนแสงของตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 4 จากแหล่งมาบิลา ประเทศไนจีเรีย

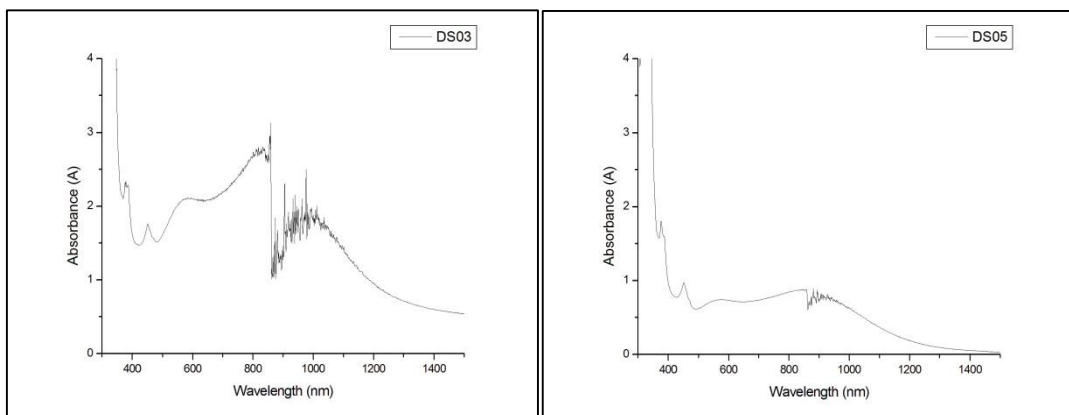
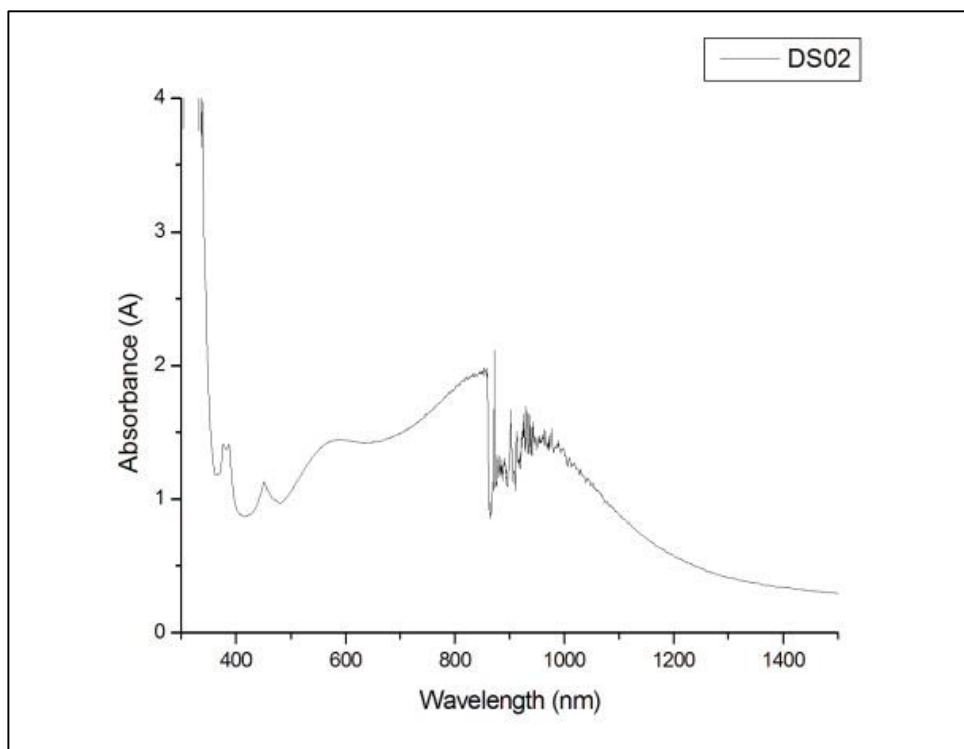
สเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Optical Spectrum) ของโพลินจากแหล่งมาบิลา ประเทศไนจีเรีย แสดงการดูดกลืนแสงอ่อน-ไม่ชัดที่ตำแหน่ง 377 และ 388 นาโนเมตร สัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของ  $Fe^{3+}$ -pairs การดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 450 nm ของ  $Fe^{3+}$ -single แถบการดูดกลืนแสงช่วง 500-600 นาโนเมตร สัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของ  $Fe^{2+}$ -  $Ti^{4+}$  และแถบการดูดกลืนแสงแบบกว้างที่มีกึ่งกลางประมาณ 850 นาโนเมตรเล็กน้อย เป็นของ  $Fe^{2+}$ -  $Fe^{3+}$  ตัวอย่างจากแหล่งมาบิลาดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งนี้มาก มีลักษณะการดูดกลืนแสงคล้ายโพลินจากบางกะจะ



รูป 4-4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของโพลินจากแหล่งมาบิลา ประเทศไนจีเรีย

#### 4.3.5 ตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 5 จากแหล่งดีเอโก ประเทศมาดากัสการ์

สเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Optical Spectrum) ของโพลินแหล่งดีเอโก ประเทศมาดากัสการ์ แสดงการดูดกลืนแสงอ่อน-ไม่ชัดที่ตำแหน่ง 377 และ 388 นาโนเมตร สัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของ  $\text{Fe}^{3+}$ -pairs การดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 450 nm ของ  $\text{Fe}^{3+}$ -single แถบการดูดกลืนแสงช่วง 500-600 นาโนเมตร สัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของ  $\text{Fe}^{2+}$ -  $\text{Ti}^{4+}$  และแถบการดูดกลืนแสงแบบกว้างที่มีกึ่งกลางประมาณ 850 นาโนเมตรเล็กน้อย เป็นของ  $\text{Fe}^{2+}$ -  $\text{Fe}^{3+}$  ตัวอย่างจากแหล่งมาบิลาดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งนี้มาก มีลักษณะการดูดกลืนแสงคล้ายโพลินจากบางกะจะ และไนจีเรีย การดูดกลืนที่ตำแหน่งนี้เป็นข้อบ่งชี้ว่าตัวอย่างมีความสัมพันธ์กับหินบะซอลต์



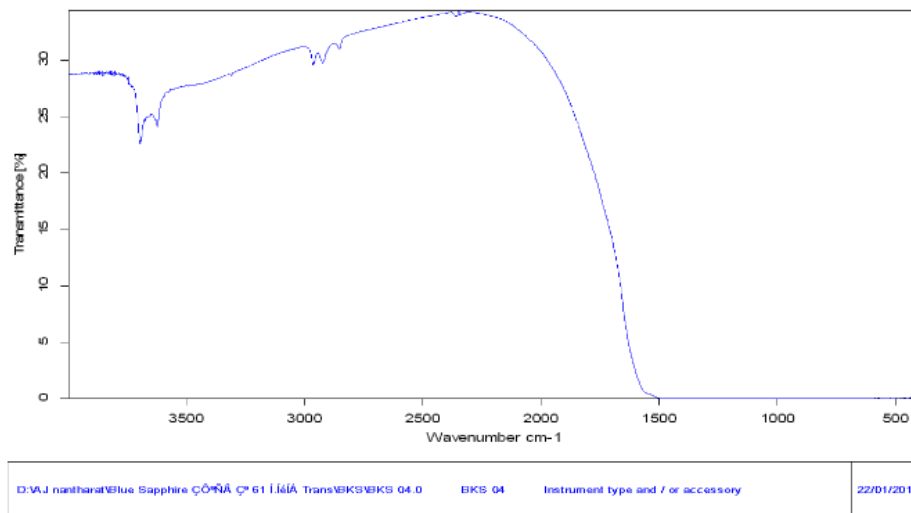
รูป 4-5 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของโพลินจากแหล่งดีเอโก ประเทศมาดากัสการ์



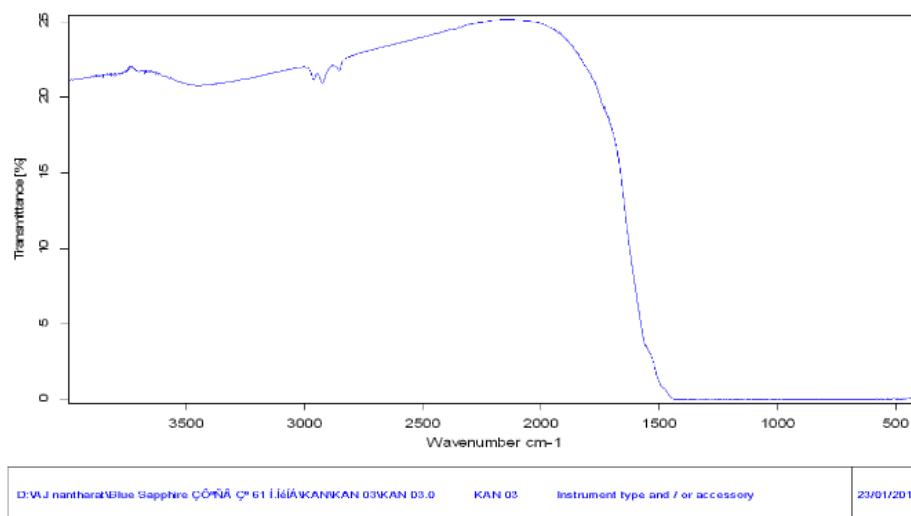
#### 4.4 ผลการวัดด้วยเทคนิค Infrared Absorption (FTIR) spectroscopy

4.4.1 การดูดกลืนแสงของตัวอย่างไพลิน กลุ่มที่ 1 จากแหล่งบางกะจะ ประเทศไทย

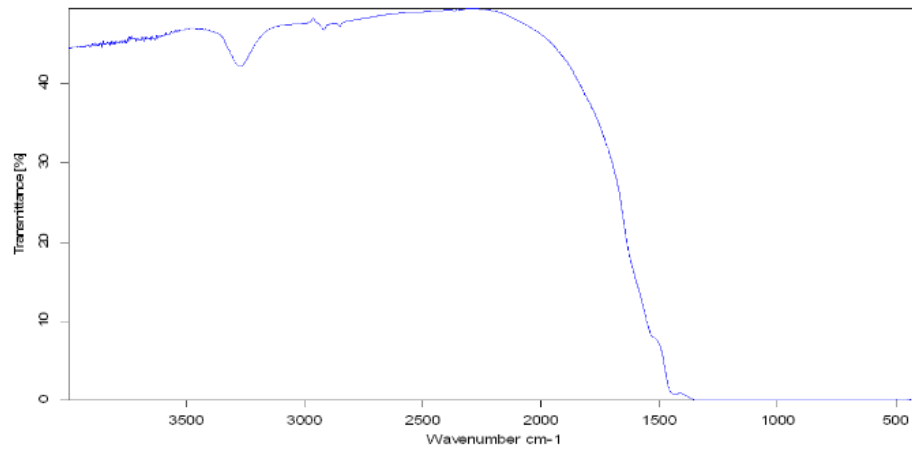
ตัวอย่างไพลินจากทุกแหล่งแสดงพีกเดี่ยวที่  $3309\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งพบได้บ่อยในพลอยจากบางกะจะ ที่จะแสดงพีกเด่นที่  $3309\text{ cm}^{-1}$  แล้วมีพีกประกอบที่ตำแหน่ง  $3368$  และ  $3232\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งสัมพันธ์กับ OH stretching mode ของน้ำในคอรันดัม



รูป 4-6 สเปกตรัม FTIR ของตัวอย่าง ไพลินจากแหล่งบางกะจะ BKS 04



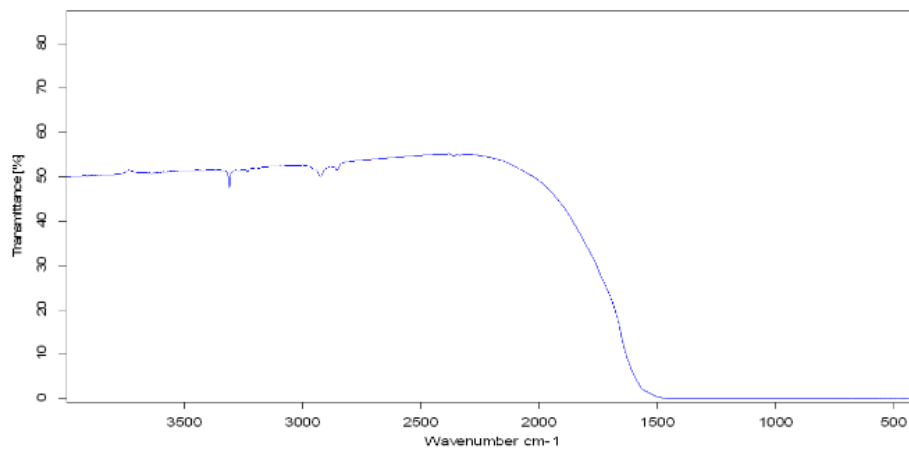
รูป 4-7 สเปกตรัม FTIR ของตัวอย่าง ไพลินจากแหล่งบ่อพลอย กาญจนบุรี KAN 03



D:\A.J.nanthara\Blue Sapphire C&A 61   I&A TransSRI\Spectrum File\SRI 06.0	SRI 06	Instrument type and / or accessory	24/01/2019
--	--------	------------------------------------	------------

Page 1/1

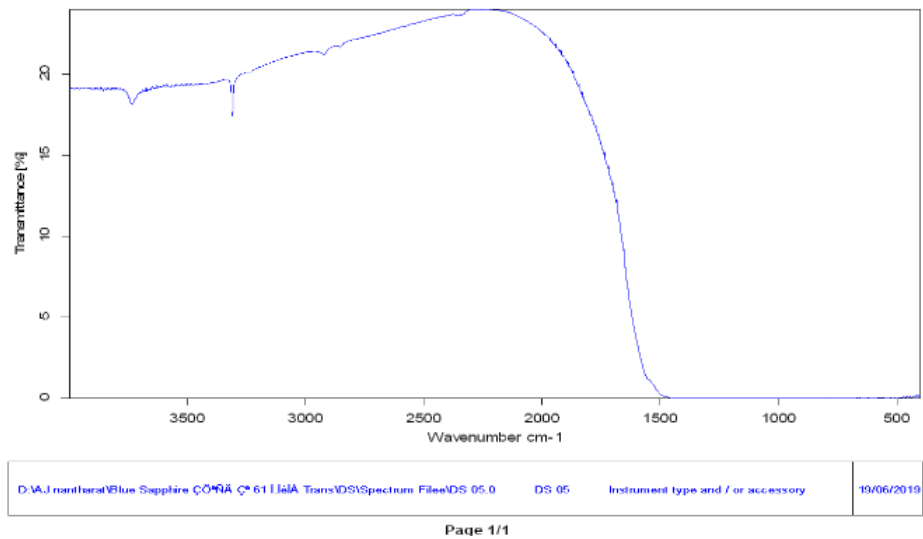
รูป 4-8 สเปกตรัม FTIR ของตัวอย่าง ไพบลินจากแหล่งศรีลังกา SRI 06



D:\A.J.nanthara\Blue Sapphire C&A 61   I&A\BMSM 01\SM 01.0	SM 01	Instrument type and / or accessory	22/01/2019
--	-------	------------------------------------	------------

Page 1/1

รูป 4-9 สเปกตรัม FTIR ของตัวอย่าง ไพบลินจากแหล่งมาบิลลา ประเทศไนจีเรีย SM 01



รูป 4-10 สเปกตรัม FTIR ของตัวอย่าง ไพลินจากแหล่งแหล่งดีเอโก ประเทศมาดากัสการ์ DS 05

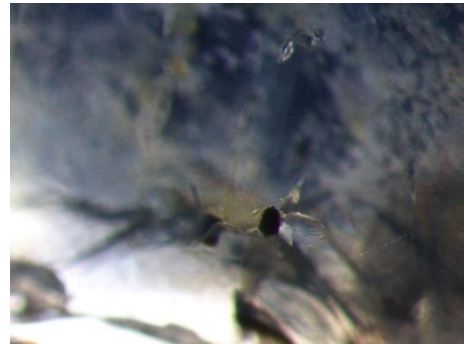
#### 4.5 มลทินภายใน

##### 4.5.1 มลทินภายในตัวอย่างไพลิน กลุ่มที่ 1 จากแหล่งบางกะจะ ประเทศไทย

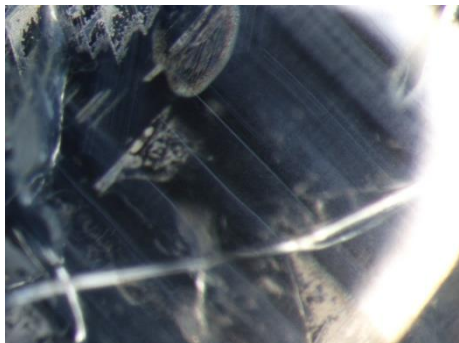
พบมลทิน



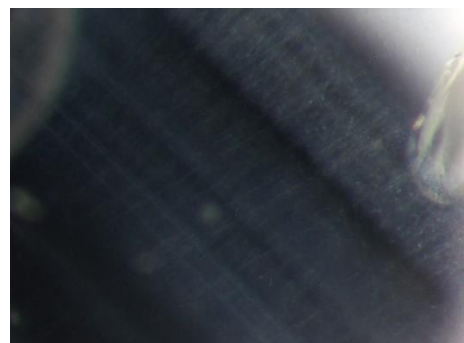
Sample BKS 04 10x



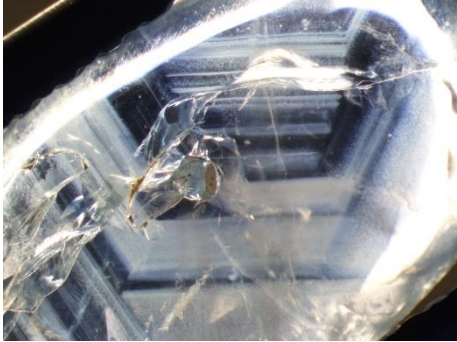
BKS 04 40x crystal



BKS 04 25x Polysynthetic twinning



BKS 04 56x silk and minute particle



BKS 12 10x Angular color banding-Hexagonal Pattern

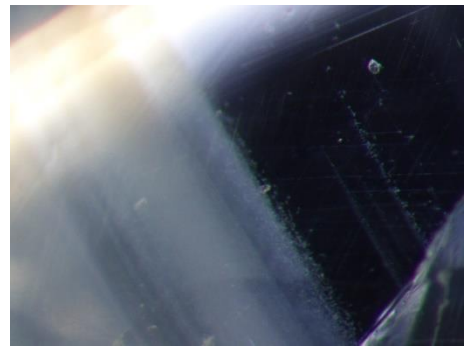


BKS 12 25x crystal



BKS 12 40x

silks and minute particles



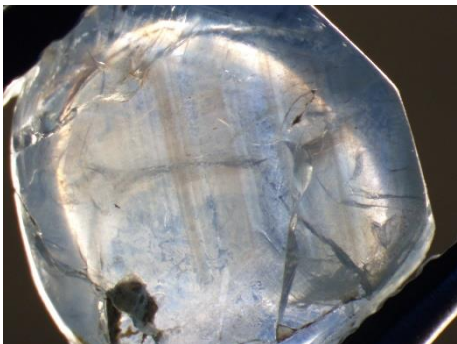
BKS 12 56x



BKS 11 40x boehmite needles along twin plane, crystals, silks



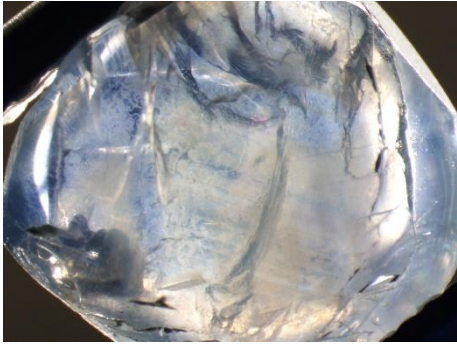
BKS 11 50x



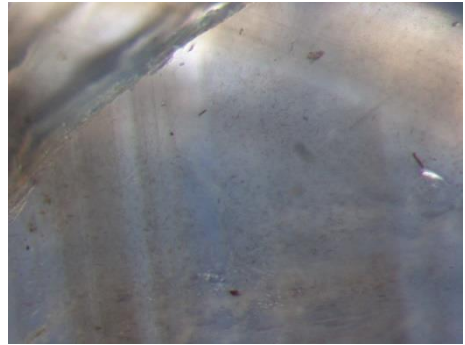
BKS 19 10x brownish red silks, Growth line, color banding



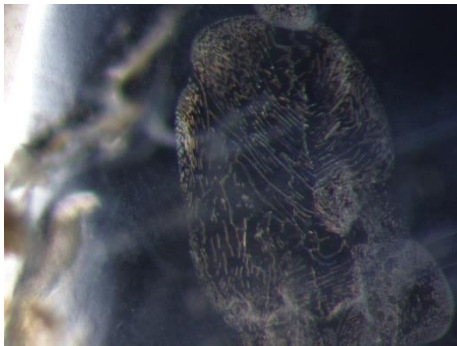
BKS 19 50x



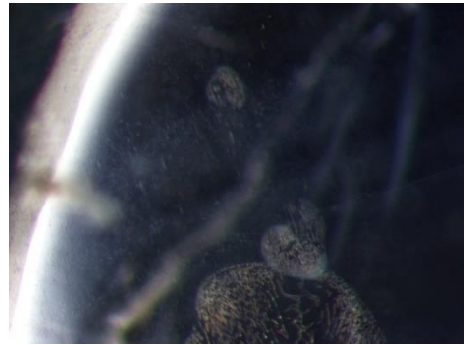
Sample BKS 19 10x cloud,



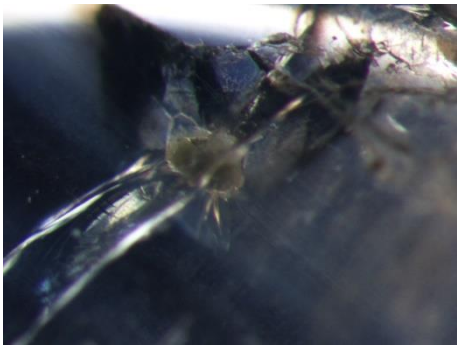
BKS 19 50x brownish red silks



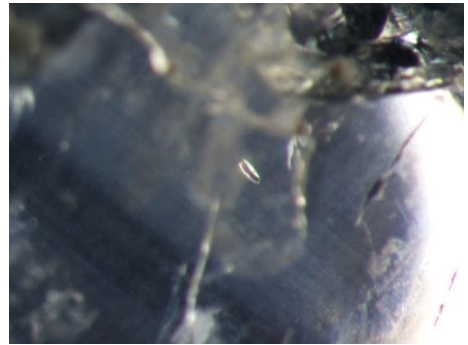
BKS 15 50x Healed fracture (fingerprint)



minute particles BKS 15 50x



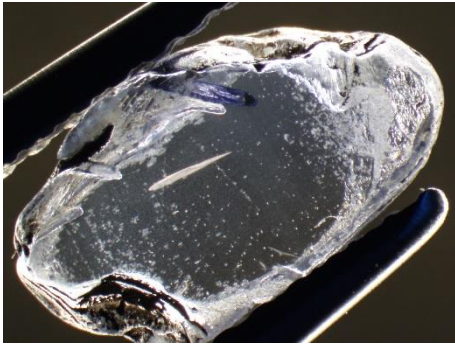
BKS 15 40x negative crystal



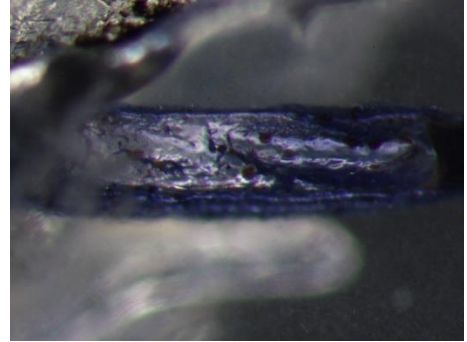
BKS 15 32x negative crystal



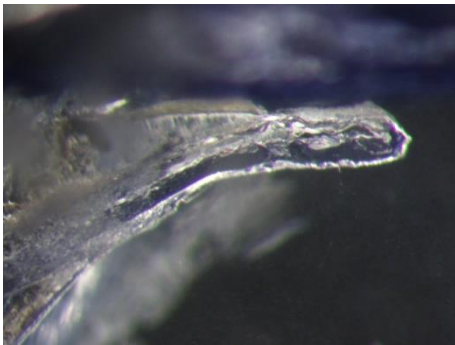
4.5.2 มลทินภายในตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 2 จากแหล่งบ่อพลอย กาญจนบุรี ประเทศไทย



Sample KANS 01

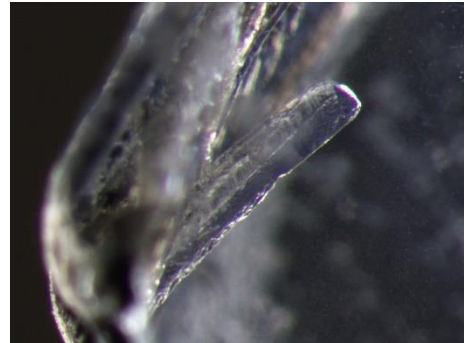


KANS 01 50x negative inclusion



KANS 01 50x

negative inclusion

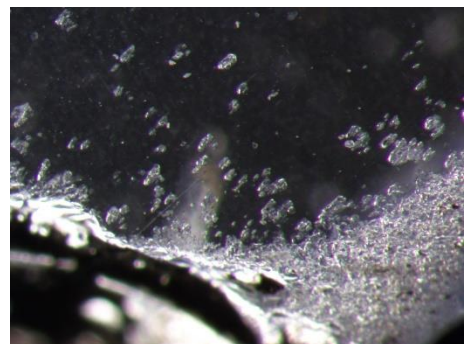


KANS 01 40x



KANS 01 50x

2- phases inclusion

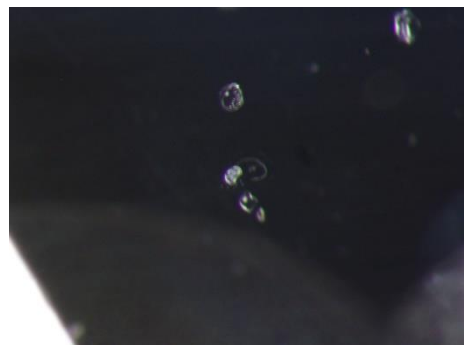


KANS 01 40x

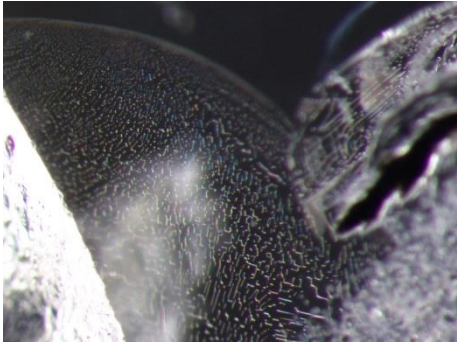


KANS 02 40x

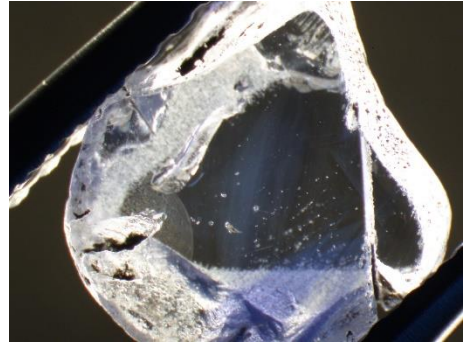
Crystals



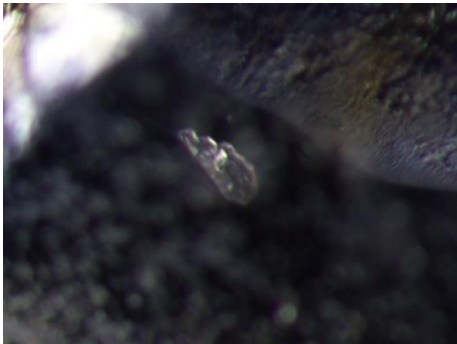
KANS 02 50x



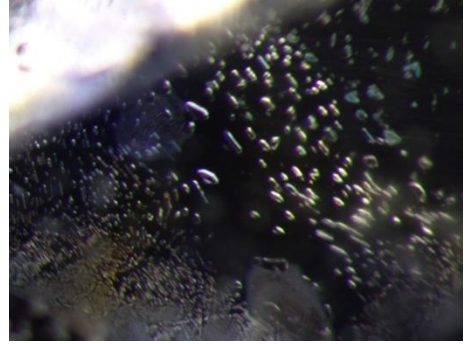
KANS 02 40x fingerprint



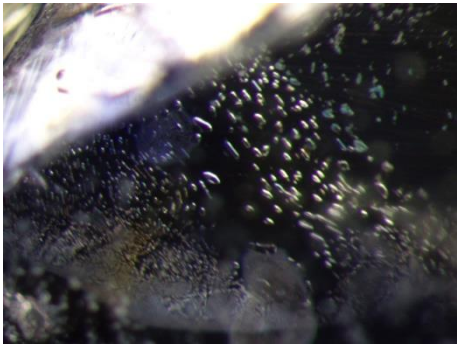
sample KANS 02



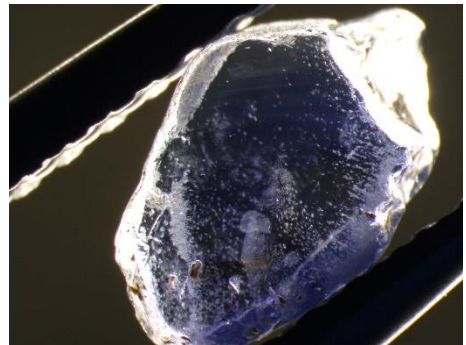
KANS 06 56x crystal , cavity inclusions



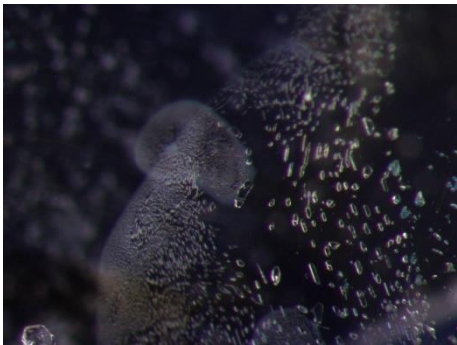
KANS 06 50x



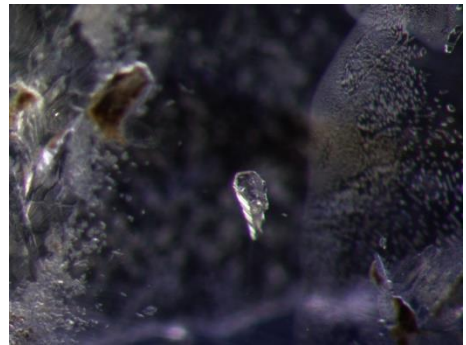
P6200601 KANS 06 40x



P6200602 KANS 06 10x หน้าB

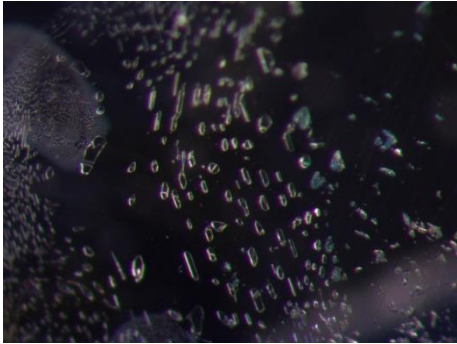


KANS 06 40x



KANS 06 40x

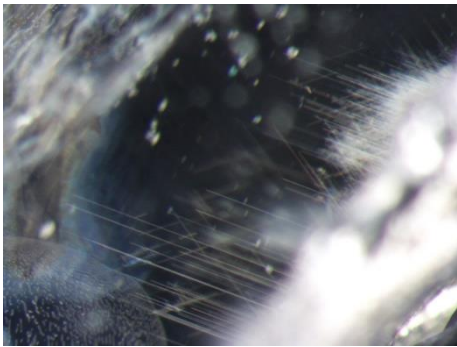




KANS 06 56x

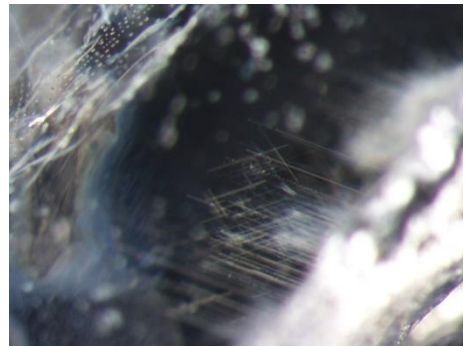


KANS 07 10x หน้าA



KANS 07 32x

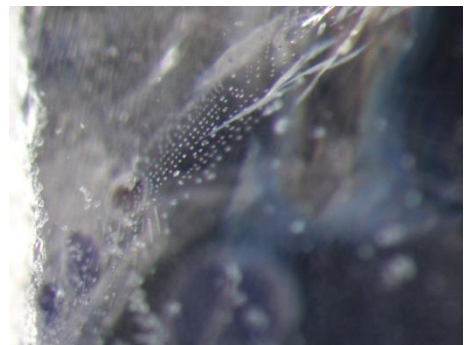
silk



KANS 07 32x



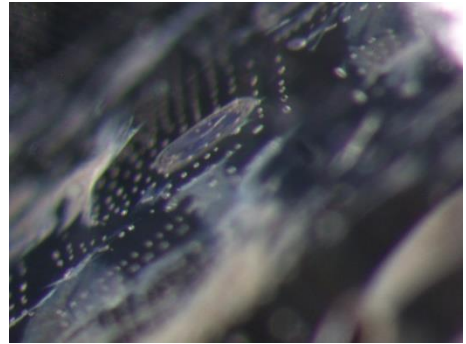
P6200609 KANS 07 40x



P6200610 KANS 07 40x

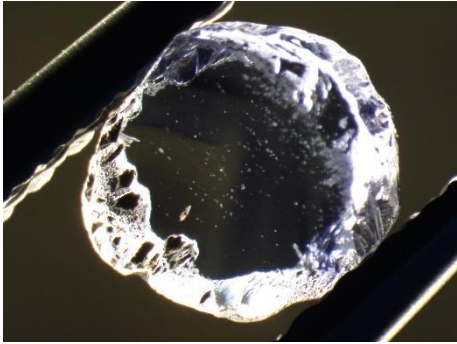


P6200611 KANS 07 56x

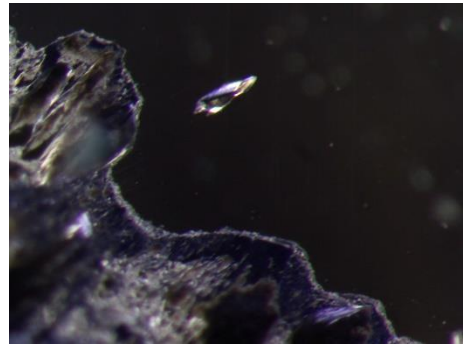


P6200612 KANS 07 50x





P6200619 KANS 11 หน้า



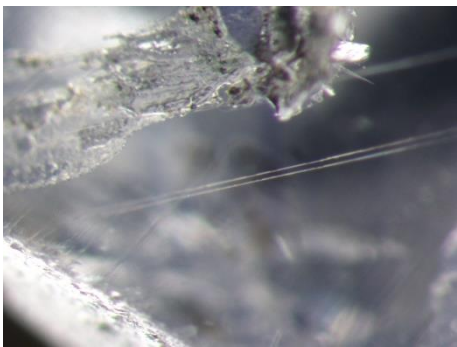
P6200620 KANS 11 40x NEG



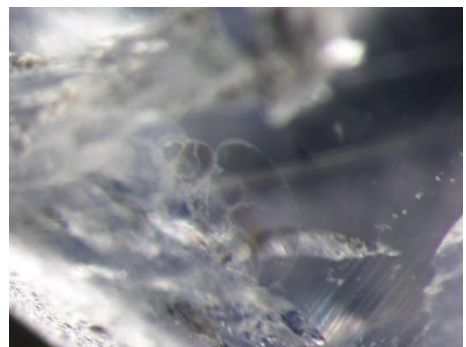
KANS 12 20x



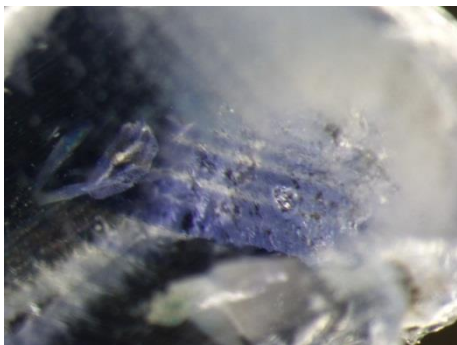
KANS 12 8x



KANS 12 40x needles



KANS 12 40x liquid trapped inclusion

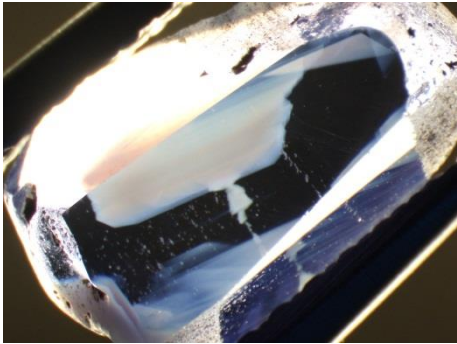


Twinning KANS 12 20x



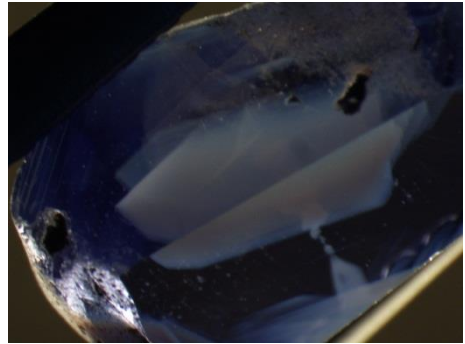
Haloes KANS 12 25x

4-25

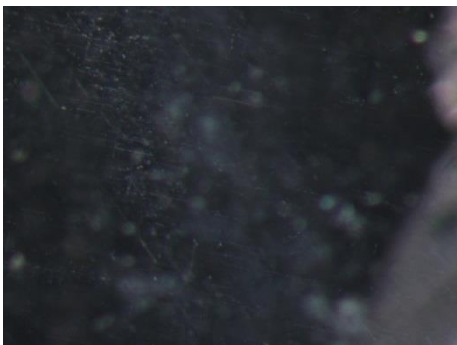


KANS 16 8x

Cloud

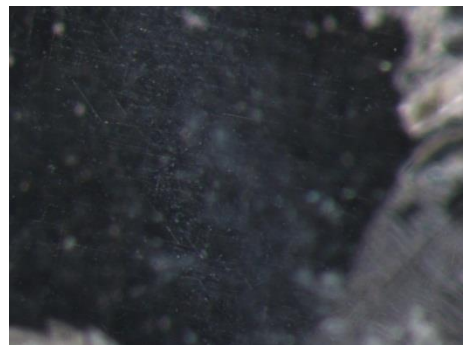


KANS 16 10x



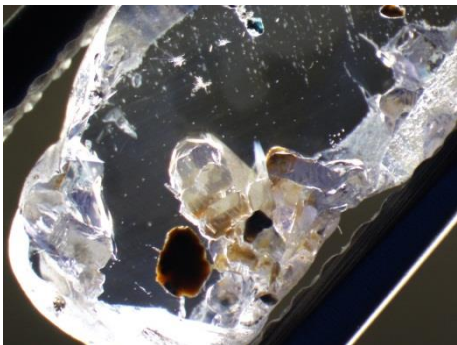
KANS 16 50x

zoom in to the cloud



KANS 16 40x

#### 4.5.3 มลทินภายในตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 3 จากประเทศศรีลังกา

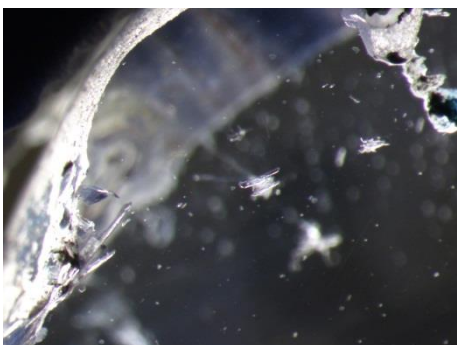


SRI 01 8x

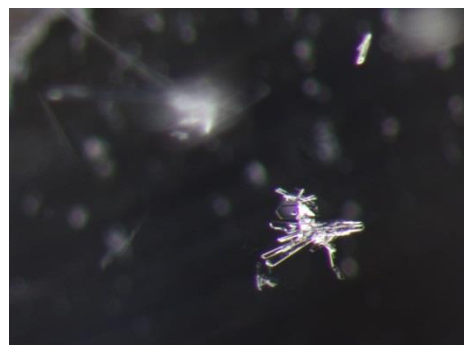
crystal



SRI 01 20x

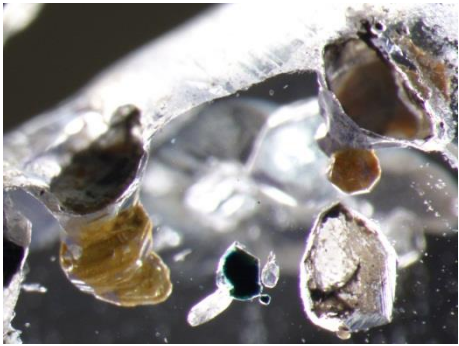


P6200639 SRI 01 20x

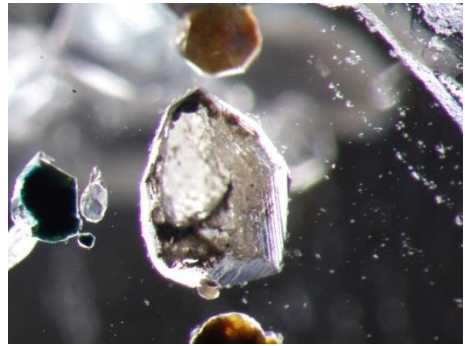


P6200640 SRI 01 40x

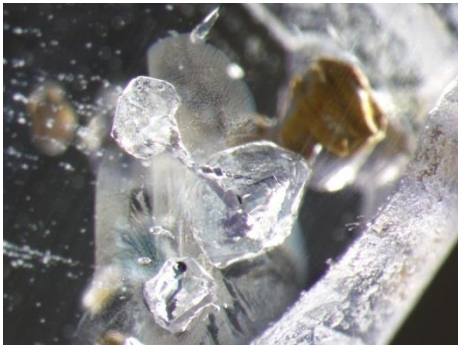




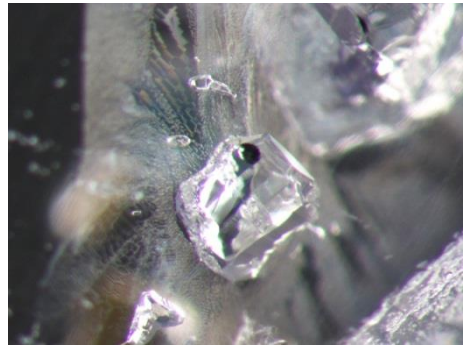
SRI 01 20x crystal



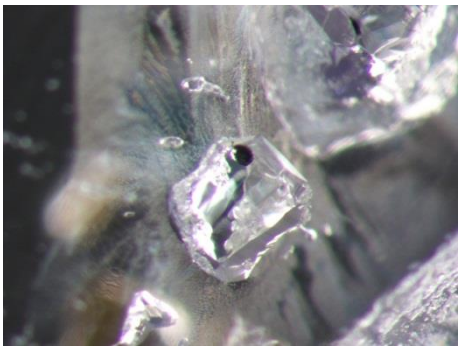
SRI 01 30x



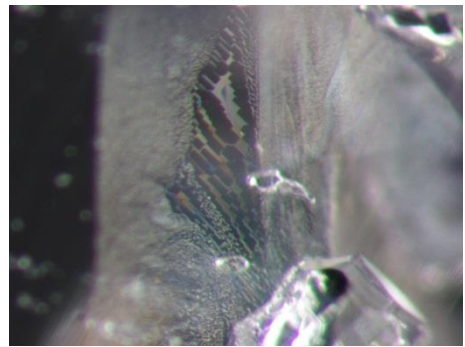
SRI 01 20x



SRI 01 40x



SRI 01 40x

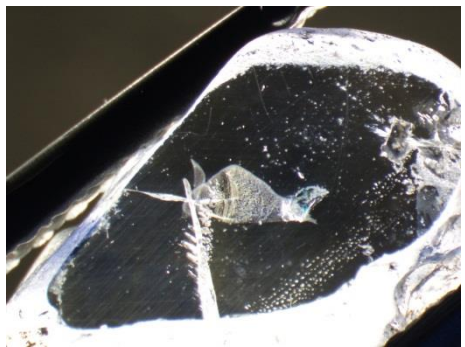


SRI 01 56x

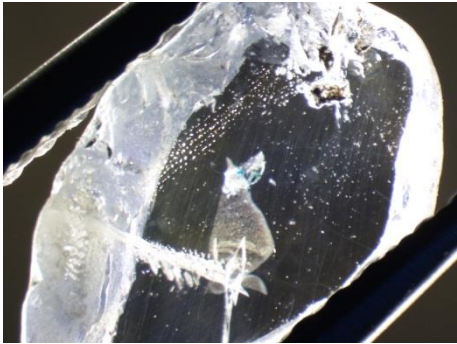
Negative inclusions



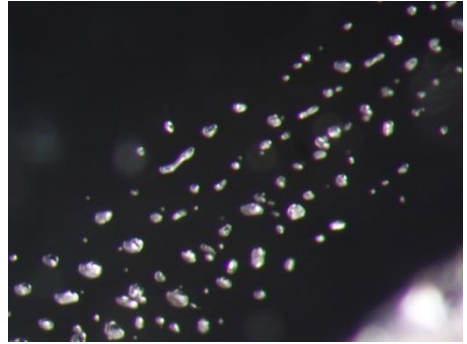
SRI 01 56x



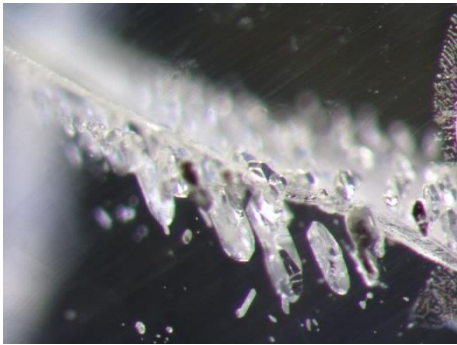
SRI 03 8x



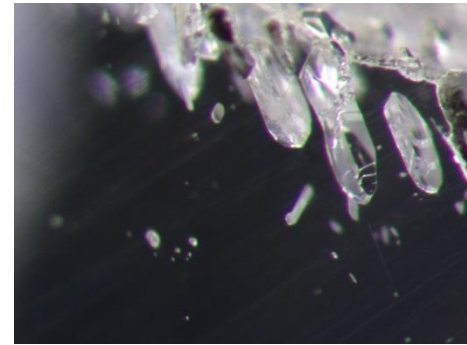
P6200665 SRI 03 8x หน้าA



P6200666 SRI 03 32x



P6200667 SRI 03 40x



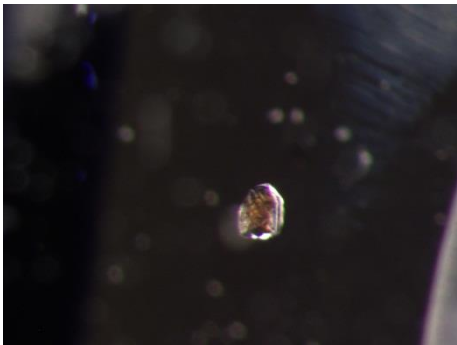
P6200668 SRI 03 56x



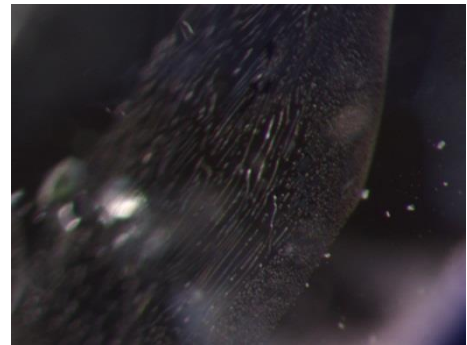
P6200669 SRI 03 56x

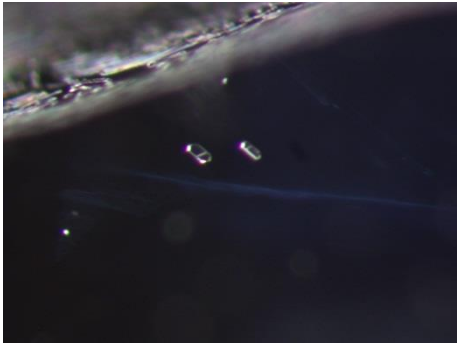


P6200670 SRI 07 8x หน้าA

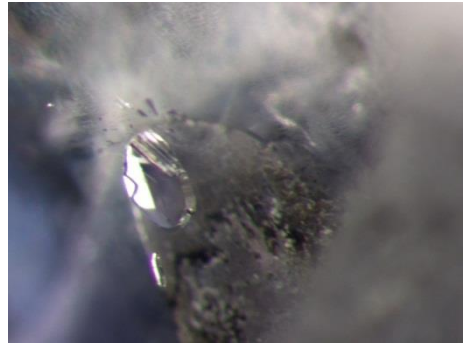


SRI 07 40x

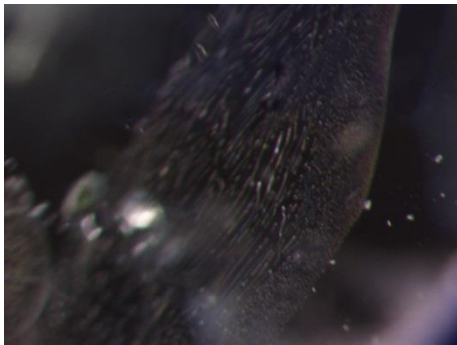




SRI 07 56x



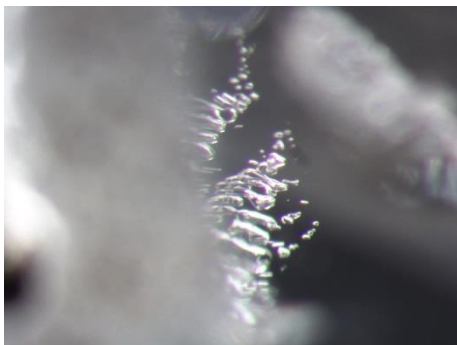
SRI 07 45x



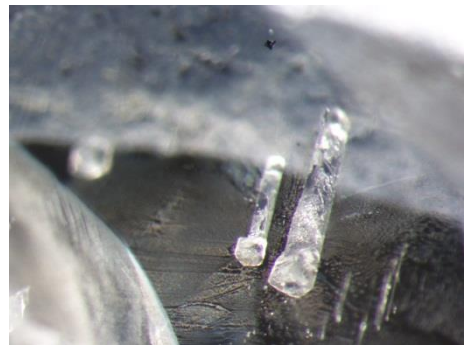
SRI 07 40x



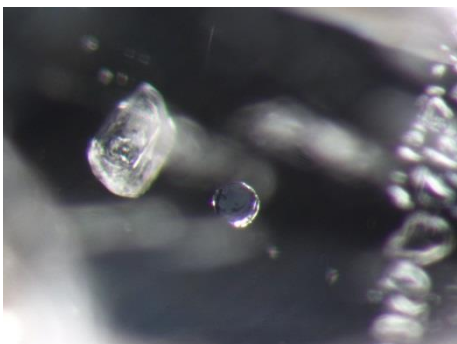
SRI 07 40x



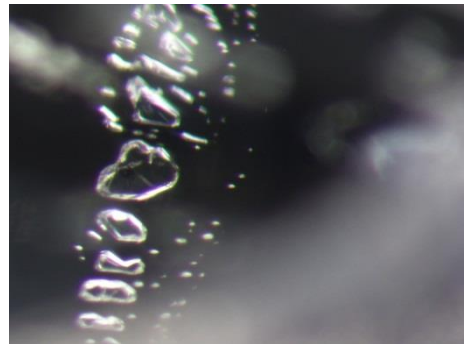
SRI 08 20x



SRI 08 25x

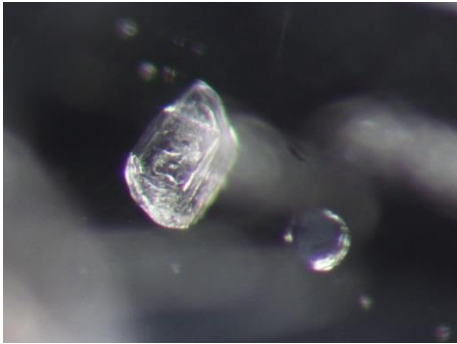


SRI 08 40x

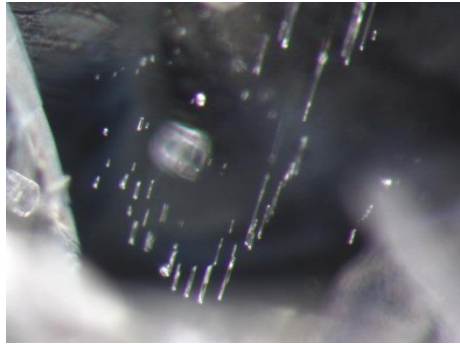


SRI 08 56x

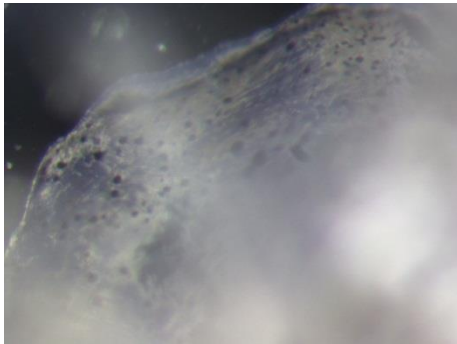




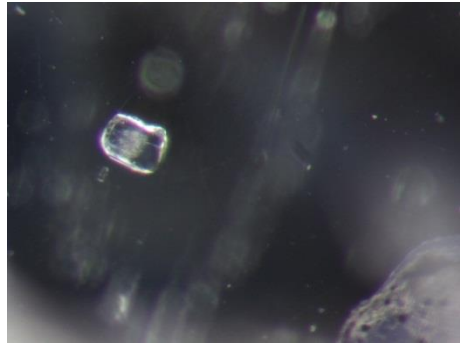
SRI 08 56x



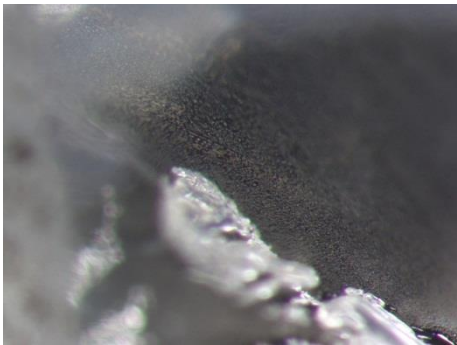
SRI 08 40x



SRI 08 56x



SRI 08 56x



SRI 08 40x



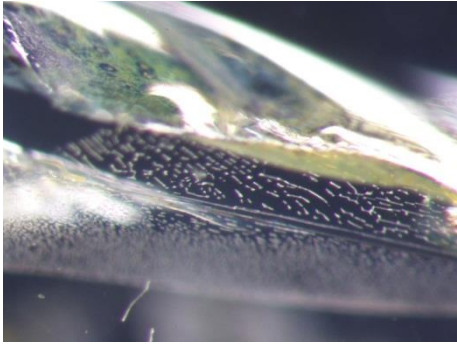
SRI 10 8x หน้า



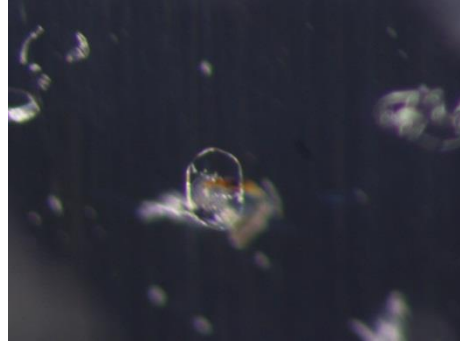
SRI 10 40x



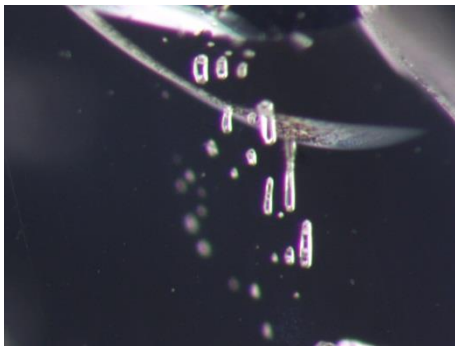
SRI 10 56x



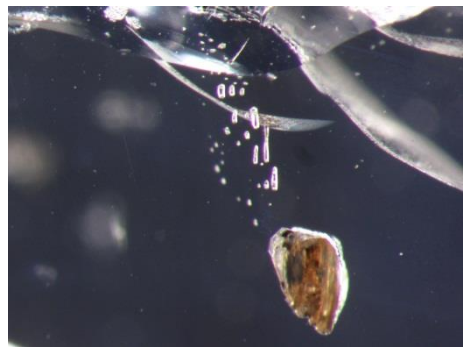
SRI 10 40x fingerprint



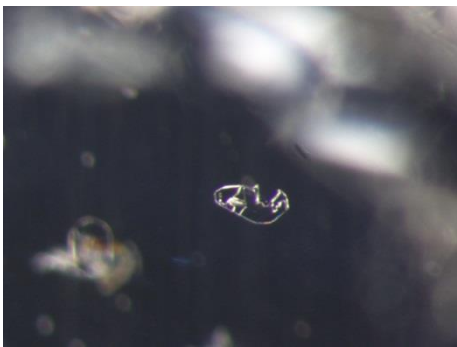
SRI 10 56x



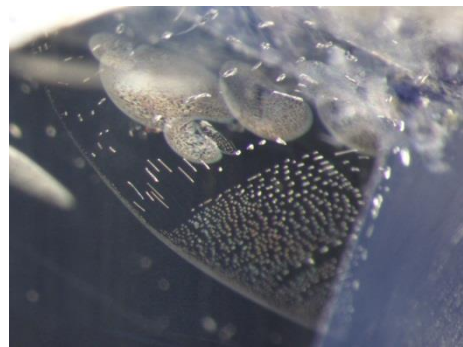
SRI 10 56x



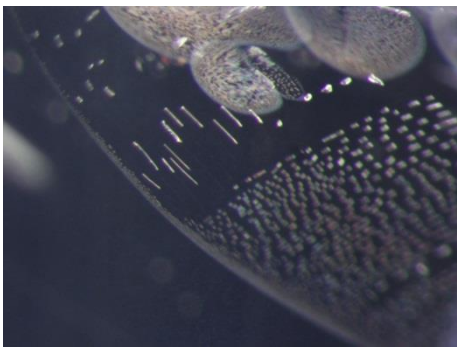
SRI 10 28x



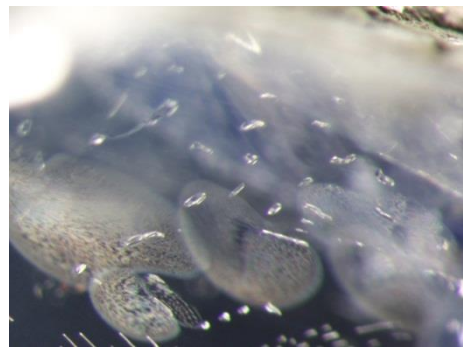
P6200707 SRI 10 40x



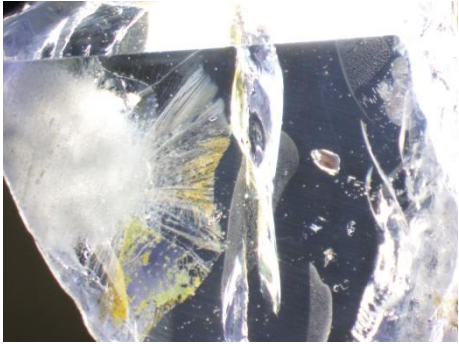
P6200708 SRI 10 15x



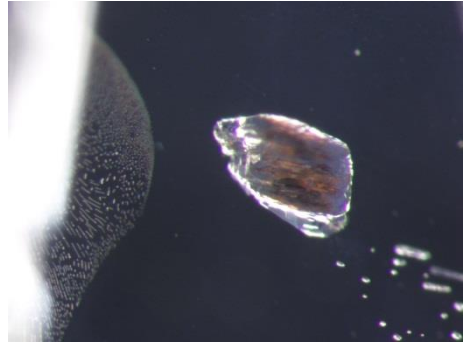
P6200709 SRI 10 40x



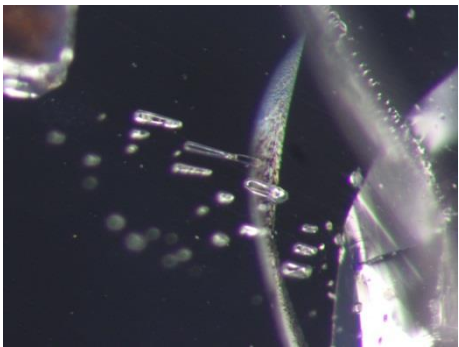
P6200710 SRI 10 40x



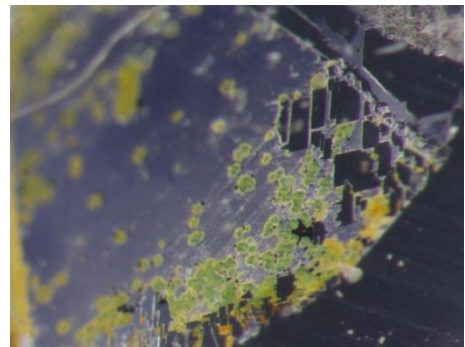
P6200711 SRI 10 8x หน้าB



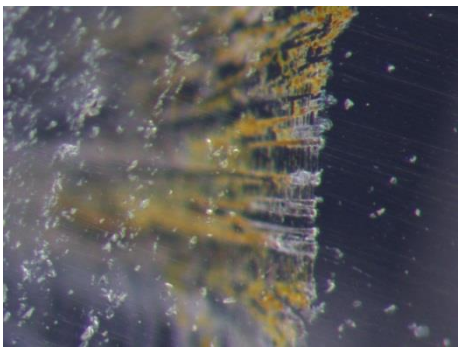
P6200712 SRI 10 40x



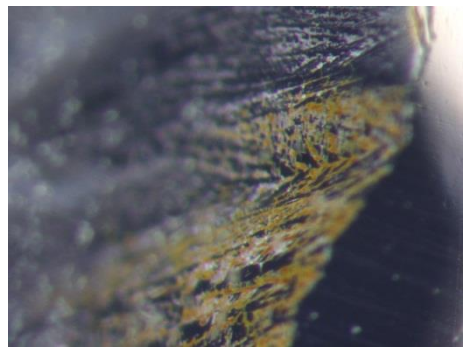
P6200713 SRI 10 56x



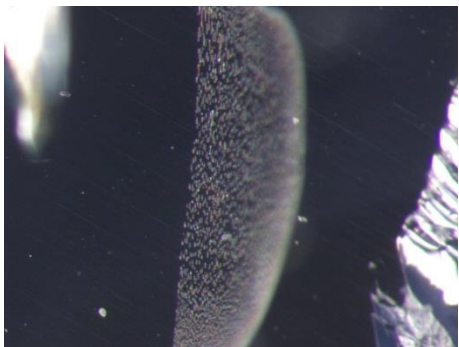
P6200714 SRI 10 40x



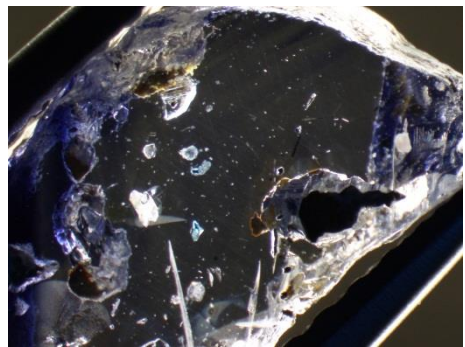
P6200715 SRI 10 56x



P6200716 SRI 10 56x

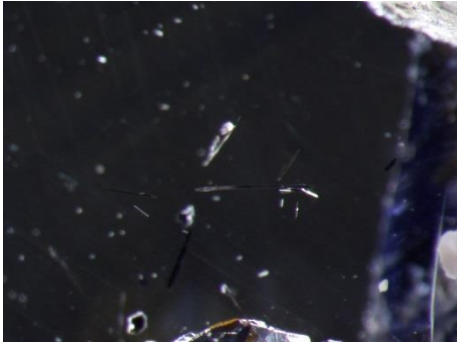


P6200717 SRI 10 40x

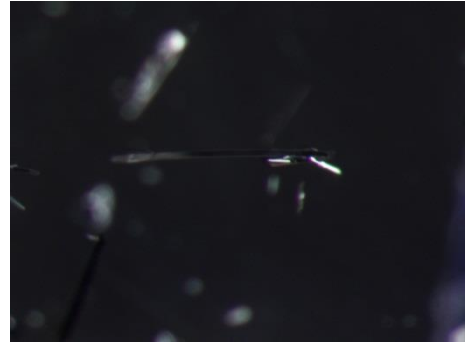


P6200718 SRI 15 8x หน้าA





P6200719 SRI 15 20x



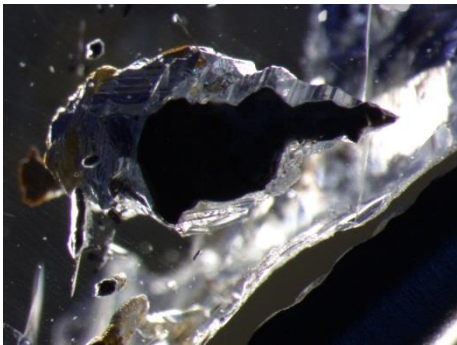
P6200720 SRI 15 40x



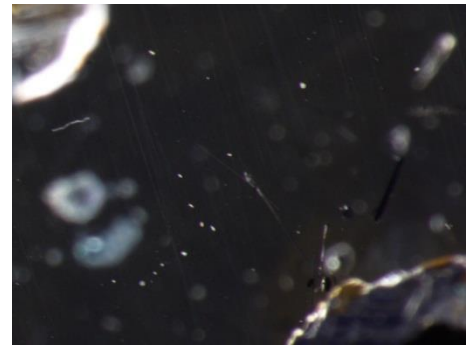
P6200721 SRI 15 53x



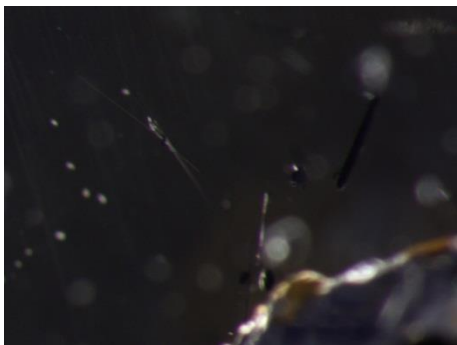
P6200722 SRI 15 56x



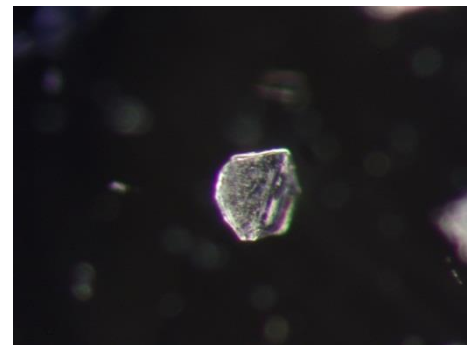
P6200723 SRI 15 20x NEG



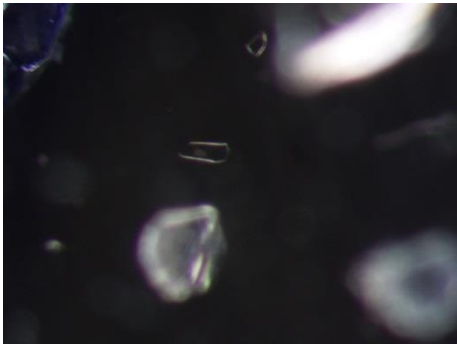
P6200724 SRI 15 25x



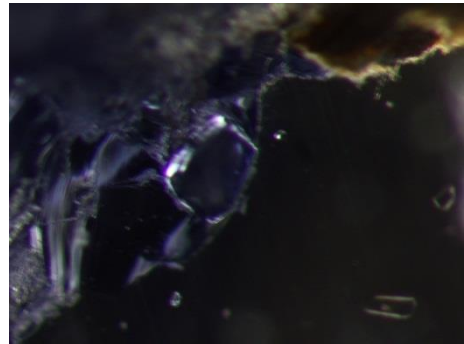
P6200725 SRI 15 32x



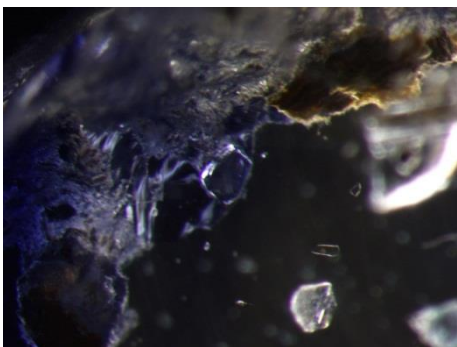
P6200726 SRI 15 50x



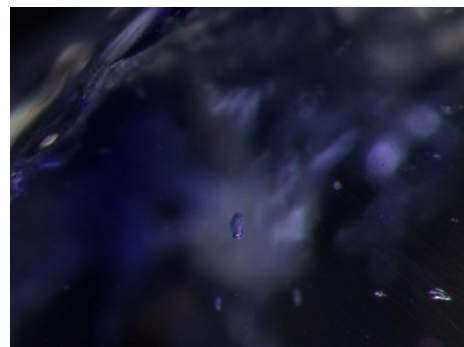
P6200727 SRI 15 50x



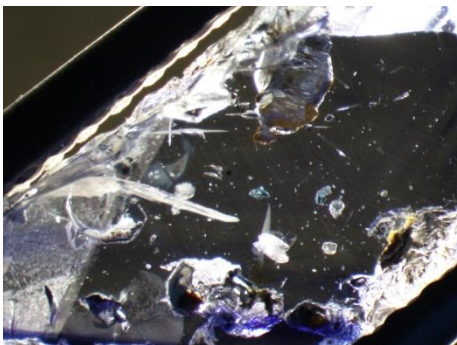
P6200728 SRI 15 50x



P6200729 SRI 15 25x



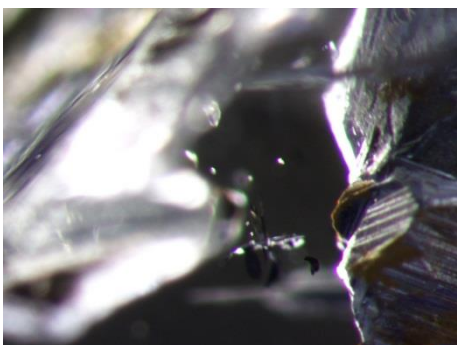
P6200730 SRI 15 40x



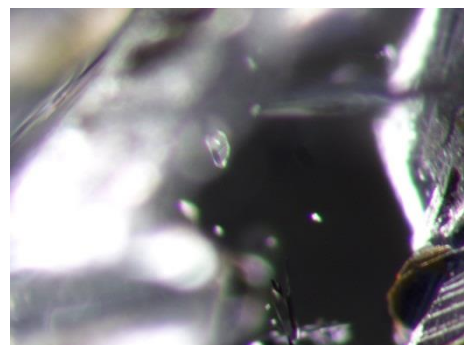
P6200731 SRI 15 8x หน้า B



P6200732 SRI 15 20x



P6200733 SRI 15 40x



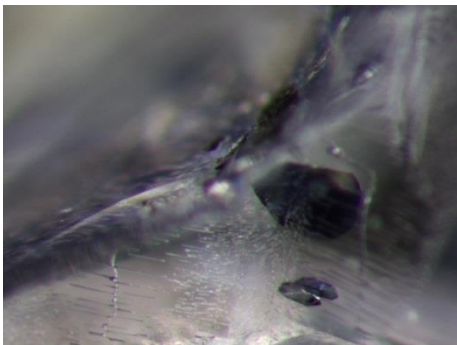
P6200734 SRI 15 56x



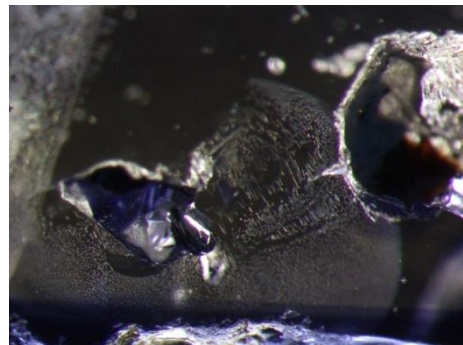
P6200735 SRI 15 25x



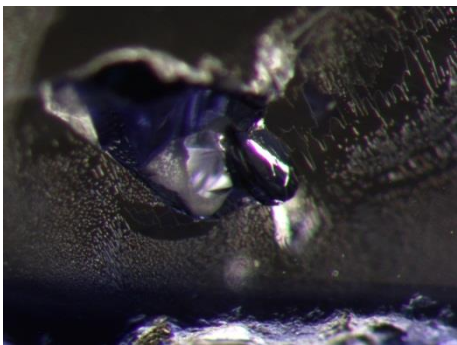
P6200736 SRI 15 50x



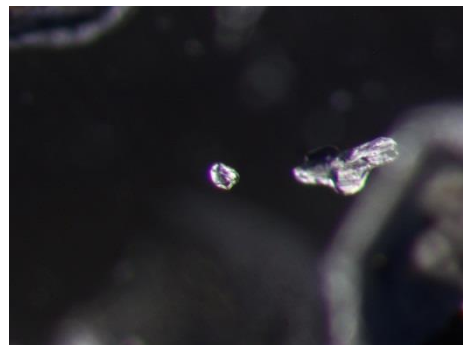
P6200737 SRI 15 50x crystal



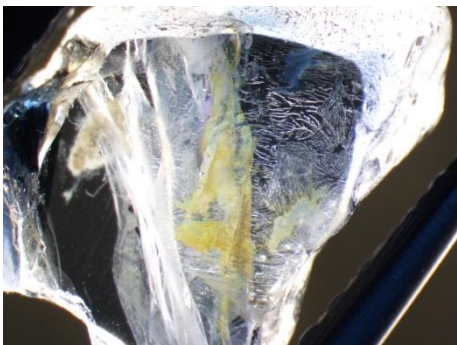
P6200738 SRI 15 25x



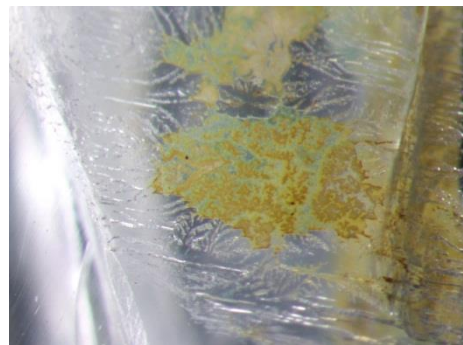
P6200739 SRI 15 50x



P6200740 SRI 15 40x crystal



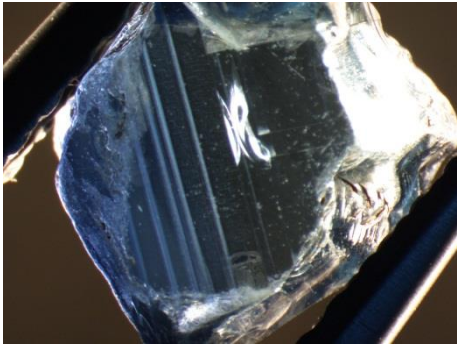
P6200741 SRI 21 8x หน้าA



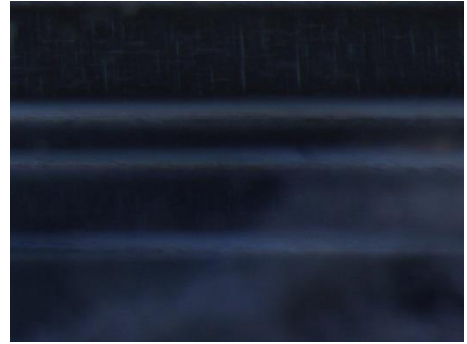
P6200742 SRI 21 32x



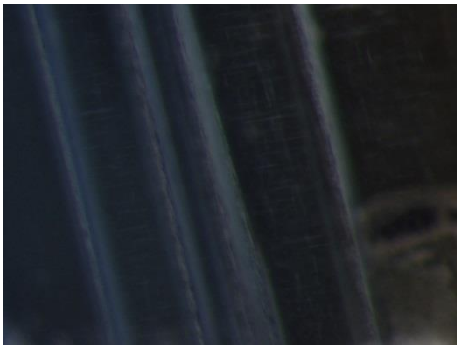
4.5.4 มลทินภายในตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 4 จากจากแหล่งมาบิลา ประเทศไนจีเรีย



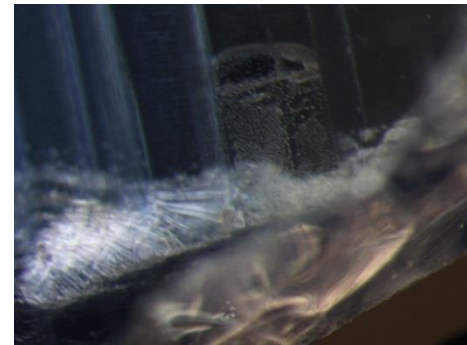
SM 01 10x



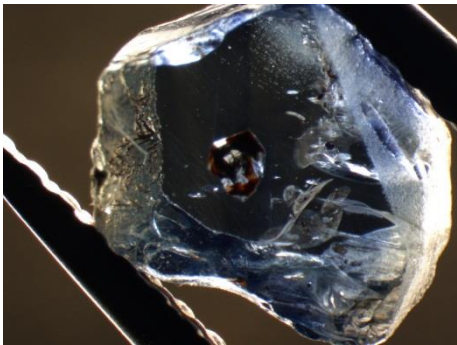
SM 01 40x



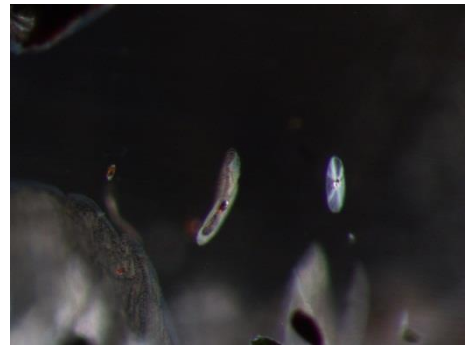
P6200749 SM 01 40x



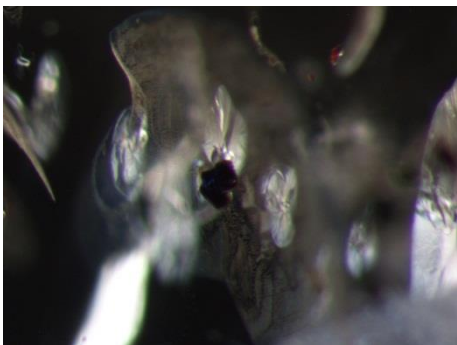
P6200750 SM 01 32x



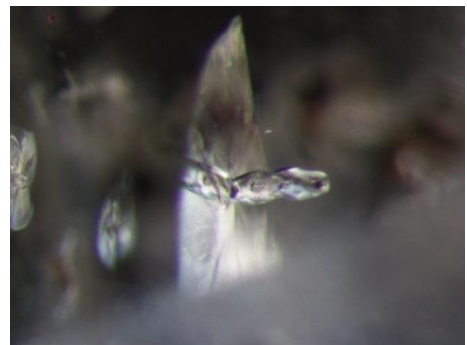
P6200757 SM 03 8x หน้าA



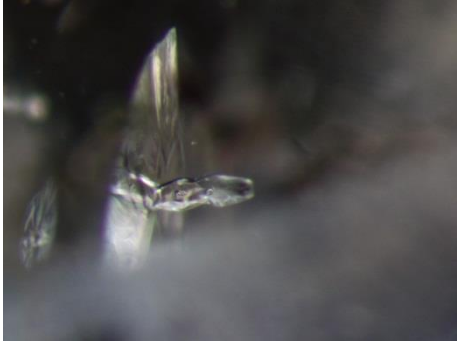
P6200758 SM 03 40x



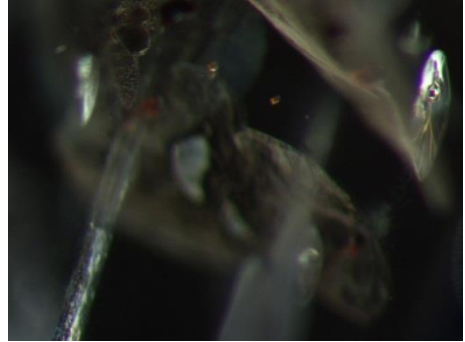
P6200759 SM 03 40x



P6200760 SM 03 50x



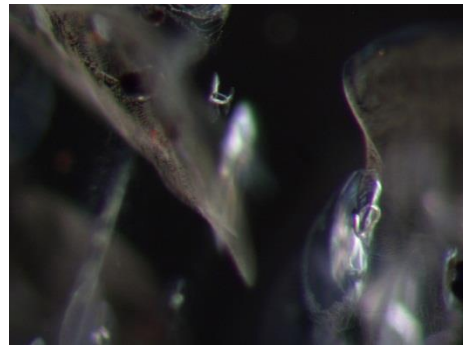
P6200761 SM 03 50x



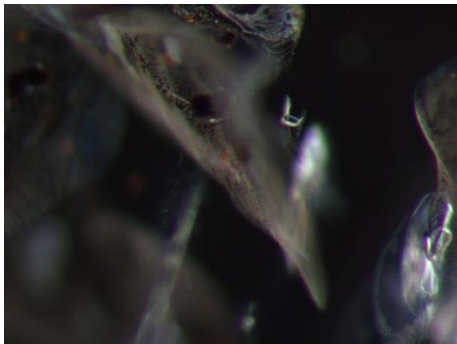
P6200762 SM 03 50x



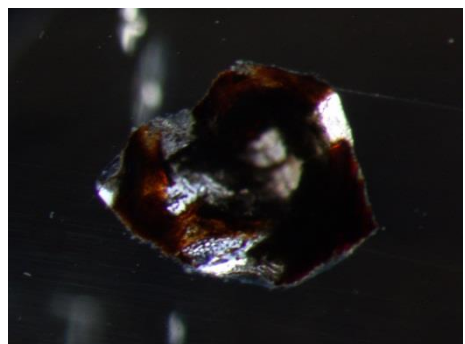
P6200763 SM 03 56x



P6200764 SM 03 56x



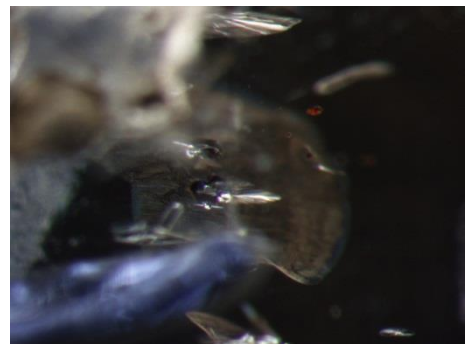
P6200765 SM 03 56x



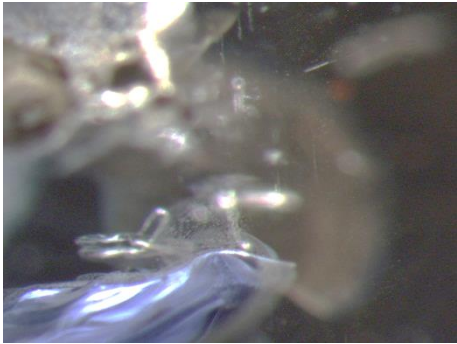
P6200766 SM 03 32x



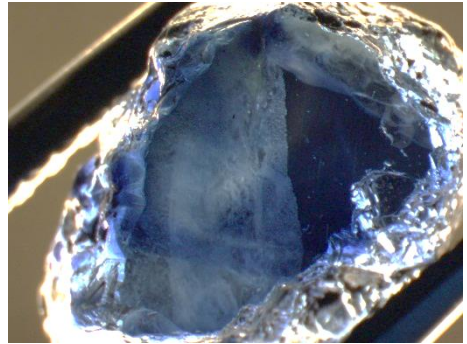
P6200767 SM 03 40x



P6200768 SM 03 32x



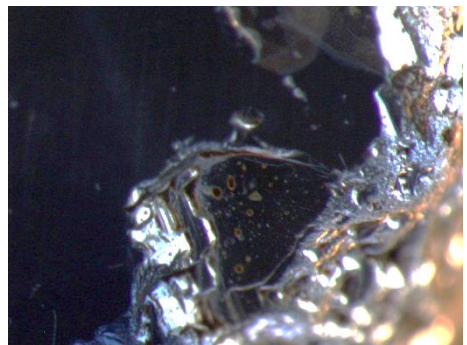
P6200769 SM 03 40x



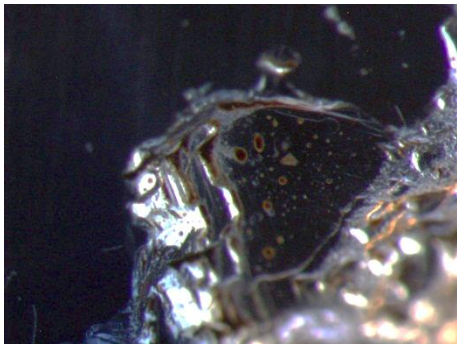
P6200770 SM 04 8x หน้า



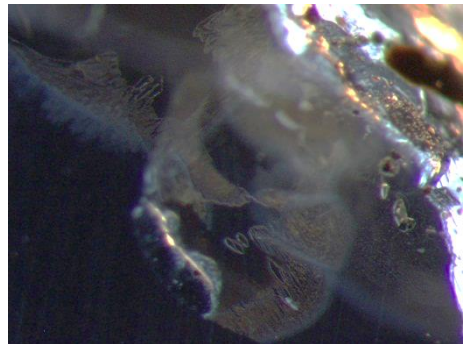
P6200771 SM 04 40x



P6200772 SM 04 25x



P6200773 SM 04 32x



P6200774 SM 04 50x



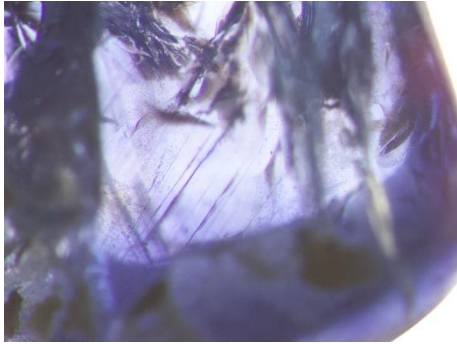
P6200775 SM 04 50x



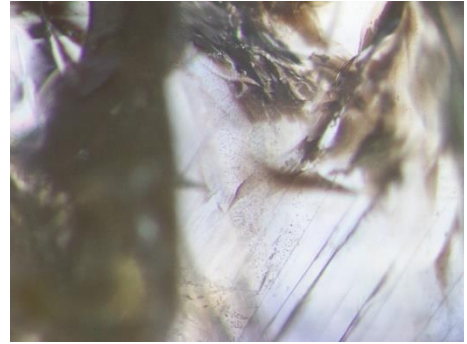
P6200776 SM 04 50x



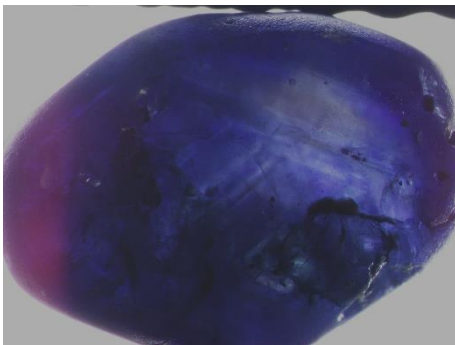
4.5.5 มลทินภายในตัวอย่างโพลีน กลุ่มที่ 5 แหล่งดีเอโก ประเทศมาดากัสการ์ (DS)



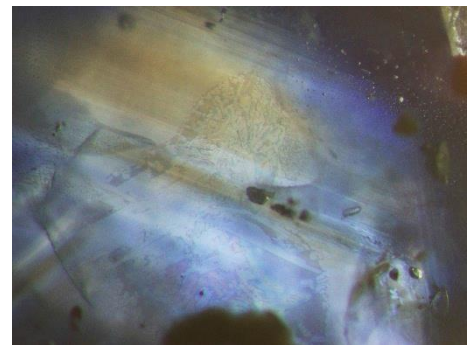
DS 02 32X



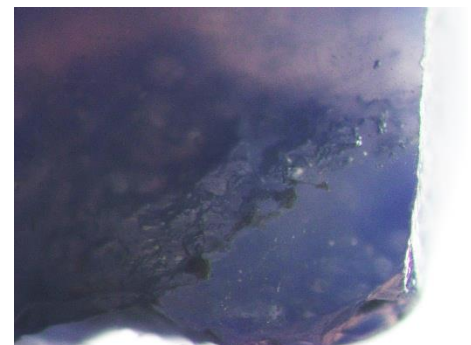
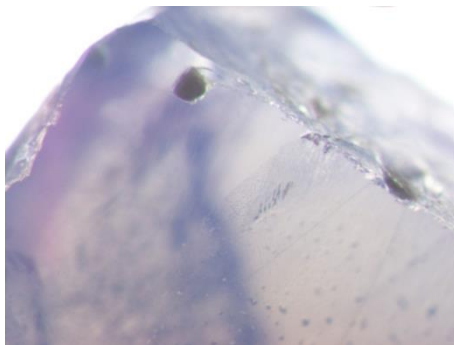
DS 02 50X



DS 03 20X



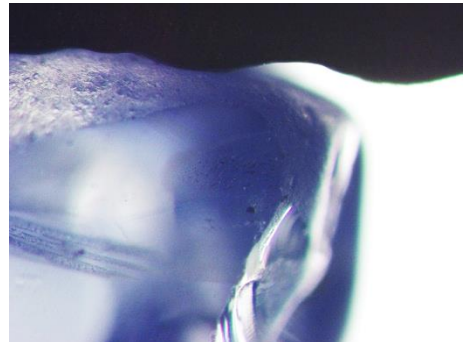
DS 03 50X



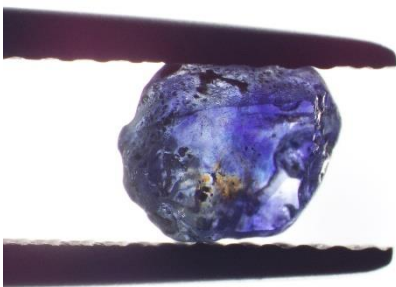
DS 04 50X cloud



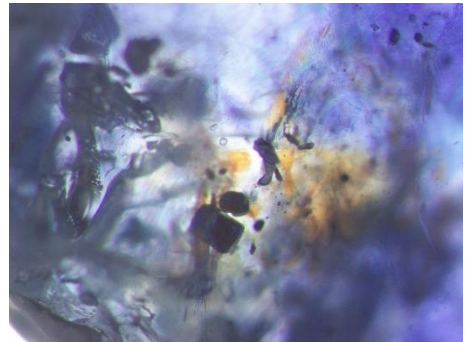
DS 05



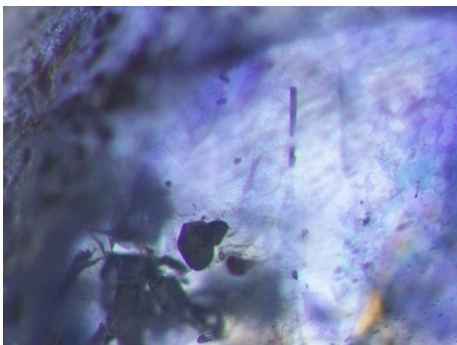
DS 05 56X



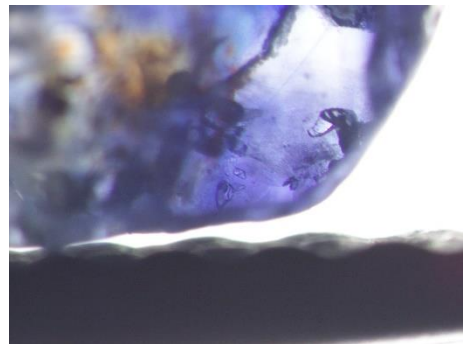
DS 06



DS 06 40X



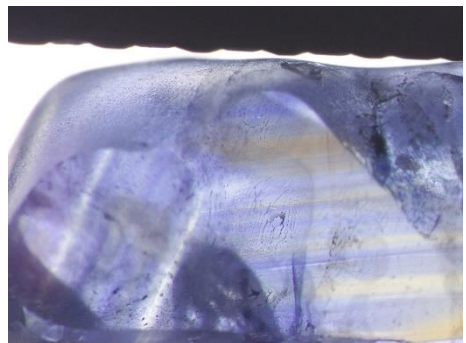
DS 06 50X



DS 06 32X



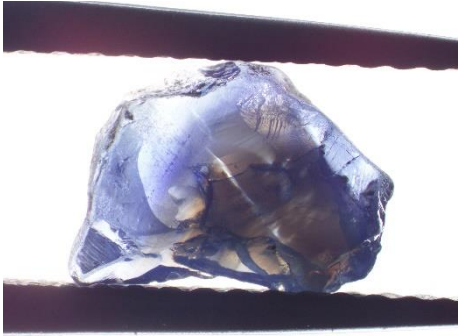
DS 07



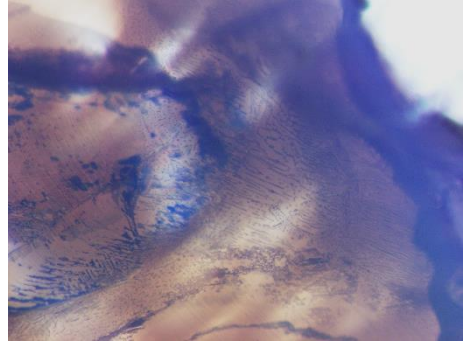
DS 07 25X



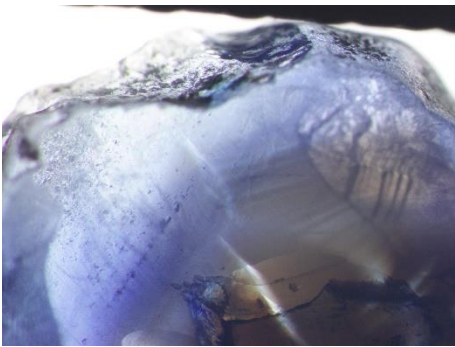
4-40



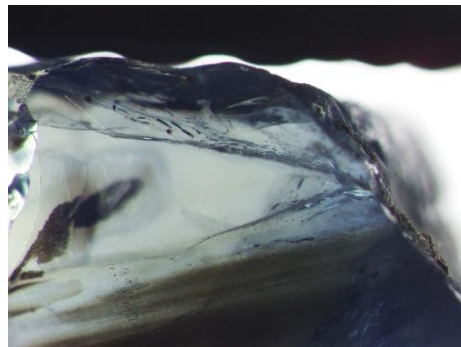
DS 08



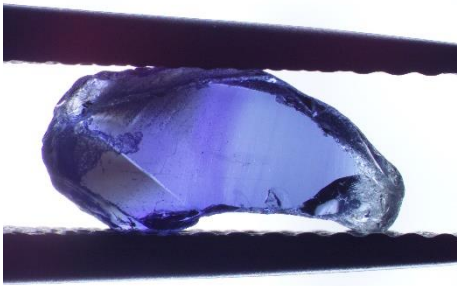
DS 08 50X



DS 08 25X



DS 09 32X



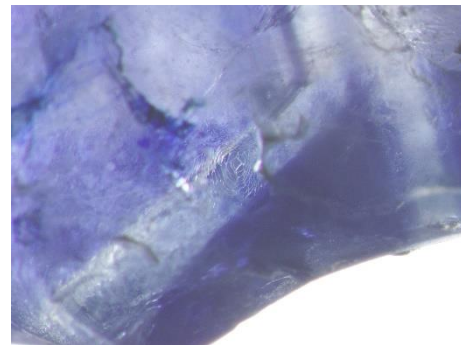
DS 10



DS 10 50X



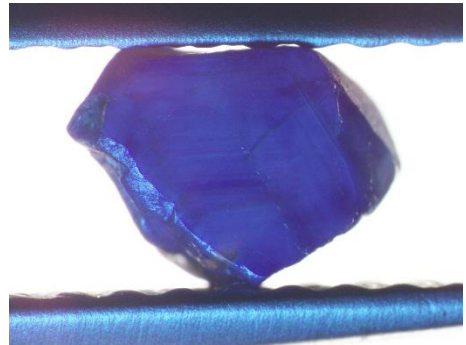
DS 11



DS 11 32X



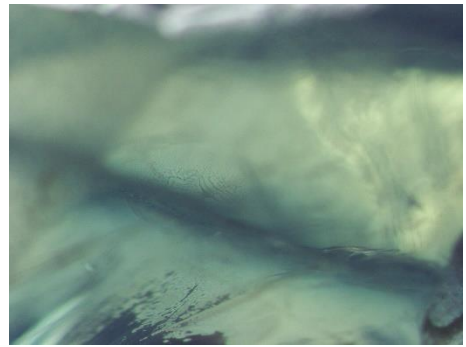
DS 11



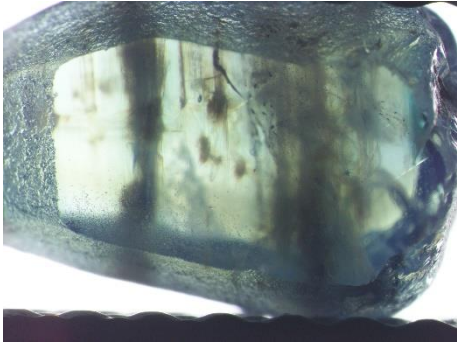
DS 12



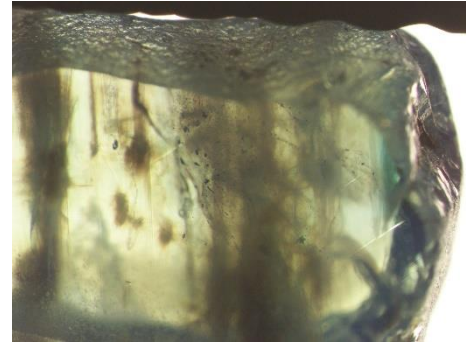
DS 13



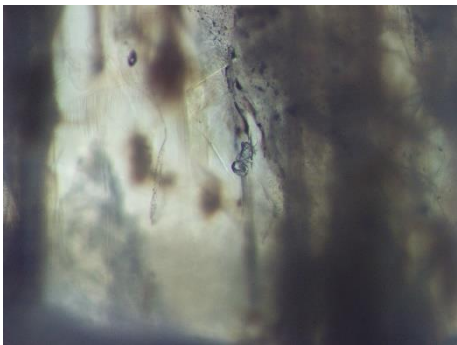
DS 13 40X



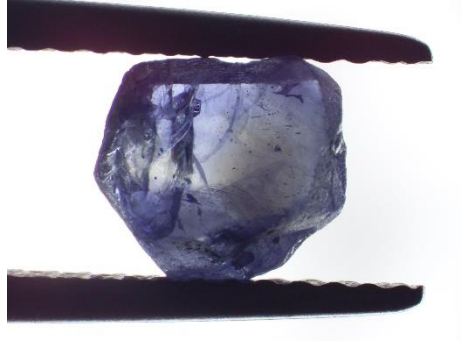
DS 14 20X



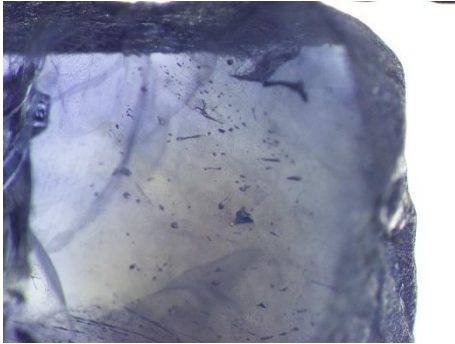
DS 14 25X



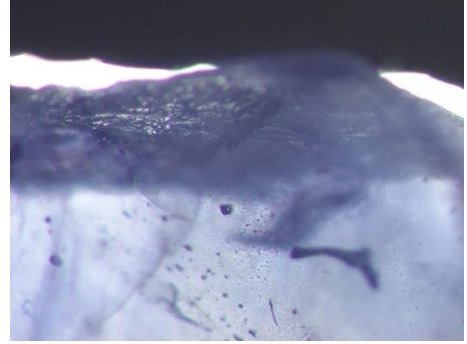
DS 14 40X



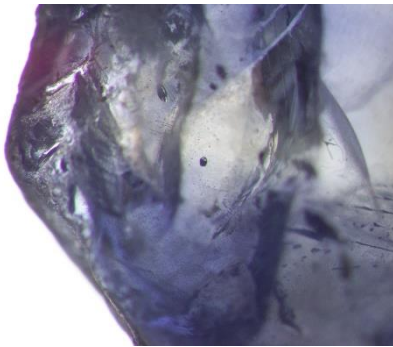
DS 15



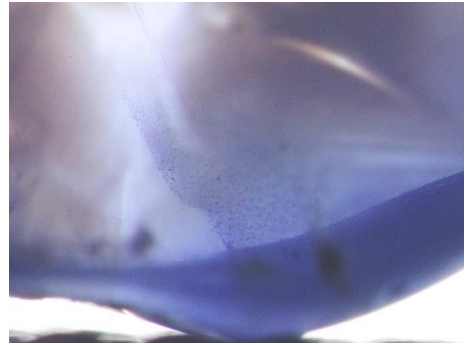
DS 15 25X



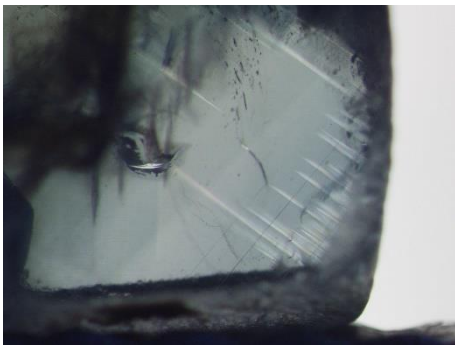
DS 15 50X



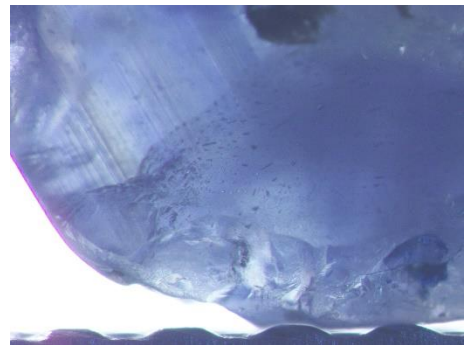
DS 15 32X



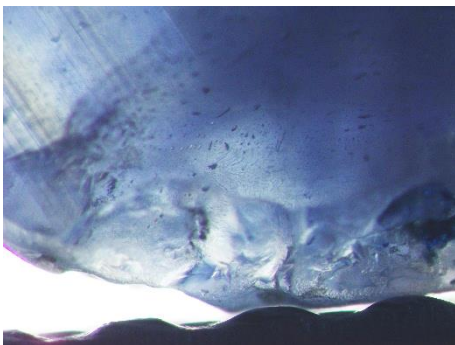
DS 16 32



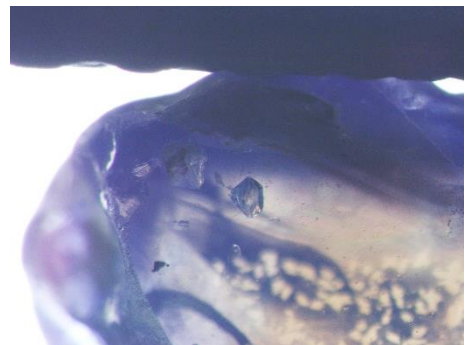
DS 17 32X



DS 18 32X



DS 18 40X



DS 19 32X



## บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผล

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เครื่องมือพื้นฐานและเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูงในห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีในการจำแนกไพลินจากประเทศไทย ศรีลังกา มาดากัสการ์ และไนจีเรียเนื่องจากในห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีทั่วไปในประเทศไทยไม่มีเครื่องมือที่ผลงานศึกษาวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารเชิงวิชาการใช้ในการจำแนกแหล่งอัญมณี เช่น เครื่อง Electron Probe Microanalyzer (EPMA) และ LA-ICP-MS technique ซึ่งนำผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของธาตุร่องรอยมาหาสัดส่วนเพื่อใช้ในการจำแนกว่าไพลินนั้นเป็นไพลินที่สัมพันธ์กับกระบวนการหินอัคนี (Magmatic) หรือหินแปร (Metamorphic) เช่นการใช้สัดส่วนของ Ga/Mg (Peucat and others, 2007)

ตัวอย่างประกอบด้วยไพลินจากประเทศไทยได้มาจากแหล่งบางกะจะ จังหวัดจันทบุรี และแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ไพลินจากประเทศศรีลังกาไม่ทราบแหล่งที่แน่นอน ไพลินจากประเทศมาดากัสการ์ มาจากแหล่งดิเอโก (Diego Suarez) เมือง Antsiranana ไพลินจากประเทศไนจีเรีย มาจากแหล่งมาบิลลา (Mambilla) ตรวจสอบโดยใช้สมบัติพื้นฐานคือการเรืองแสงอัลตราไวโอเลตได้คือ ไพลินจากประเทศศรีลังกาที่ยังไม่ผ่านการเผาจะเรืองแสงอัลตราไวโอเลตสีส้มแดง เครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูงที่ห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีใช้ ได้แก่ เทคนิค UV-Vis-NIR spectroscopy และ Infrared Absorption (FTIR) spectroscopy

สเปกตรัมการดูดกลืนแสง (Optical Spectrum) ของไพลินจากแหล่งบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี และ ไพลินจากศรีลังกาแสดงการดูดกลืนแสงคล้ายกัน คือที่ตำแหน่ง 377 และ 388 นาโนเมตร สัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของ  $Fe^{3+}$ -pairs การดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 450 nm ของ  $Fe^{3+}$ -single แถบการดูดกลืนแสงช่วง 500-600 นาโนเมตร สัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของ  $Fe^{2+}$ -  $Ti^{4+}$  และแถบการดูดกลืนแสงแบบกว้างของ  $Fe^{2+}$ -  $Fe^{3+}$  ที่ตำแหน่งกึ่งกลางประมาณ 850 นาโนเมตร ไพลินจากแหล่งบ่อพลอยดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งนี้สูงกว่าไพลินจากศรีลังกา

ตัวอย่างไพลินจากทุกแหล่งแสดงพีคเดี่ยวที่  $3309\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งพบได้บ่อยในพลอยจากบางกะจะที่จะแสดงพีคเด่นที่  $3309\text{ cm}^{-1}$  แล้วมีพีคประกอบที่ตำแหน่ง  $3368$  และ  $3232\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งสัมพันธ์กับ  $OH^-$  stretching mode ของน้ำในคอร์รันดัม

มลทินภายใน (inclusion) ที่สามารถใช้เป็นข้อบ่งชี้ในการจำแนกแหล่งได้ ได้แก่มลทินเส้นไหมสีน้ำตาลแดงที่มักพบเป็นลักษณะแผ่นแบนพบในตัวอย่างไพลินจากบางกะจะ มลทินลักษณะแกนกลางสีเหลืองพบได้ในตัวอย่างจากดิเอโก

การวัดองค์ประกอบทางเคมีด้วย EDXRF พบว่าปริมาณ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  วัดได้ค่าต่ำกว่า detection limit เมื่อนำมาหาค่าความสัมพันธ์ในสัดส่วน Cr/Ga จึงมีค่าเป็น 0 จึงหาค่าความสัมพันธ์ Fe/Ti ของไพลินแต่ละแหล่งได้ค่า  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  เป็น

บางกะจะ	29.88 – 125.34	ค่าเฉลี่ย	67.03
บ่อพลอย	0.32 - 35.57	ค่าเฉลี่ย	35.57
ศรีลังกา	0.37 – 19.52	ค่าเฉลี่ย	2.90
ดิเอโก	1.81 – 58.31	ค่าเฉลี่ย	25.34
ไนจีเรีย	1.40 – 70.85	ค่าเฉลี่ย	16.74

สัดส่วน  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  ของไพลินจากบางกะจะมีค่าสูงกว่าไพลินจากแหล่งอื่นที่ศึกษา และไพลินจากแหล่งศรีลังกามีค่าสัดส่วน  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  น้อยที่สุดสอดคล้องกับลักษณะของแหล่งกำเนิด

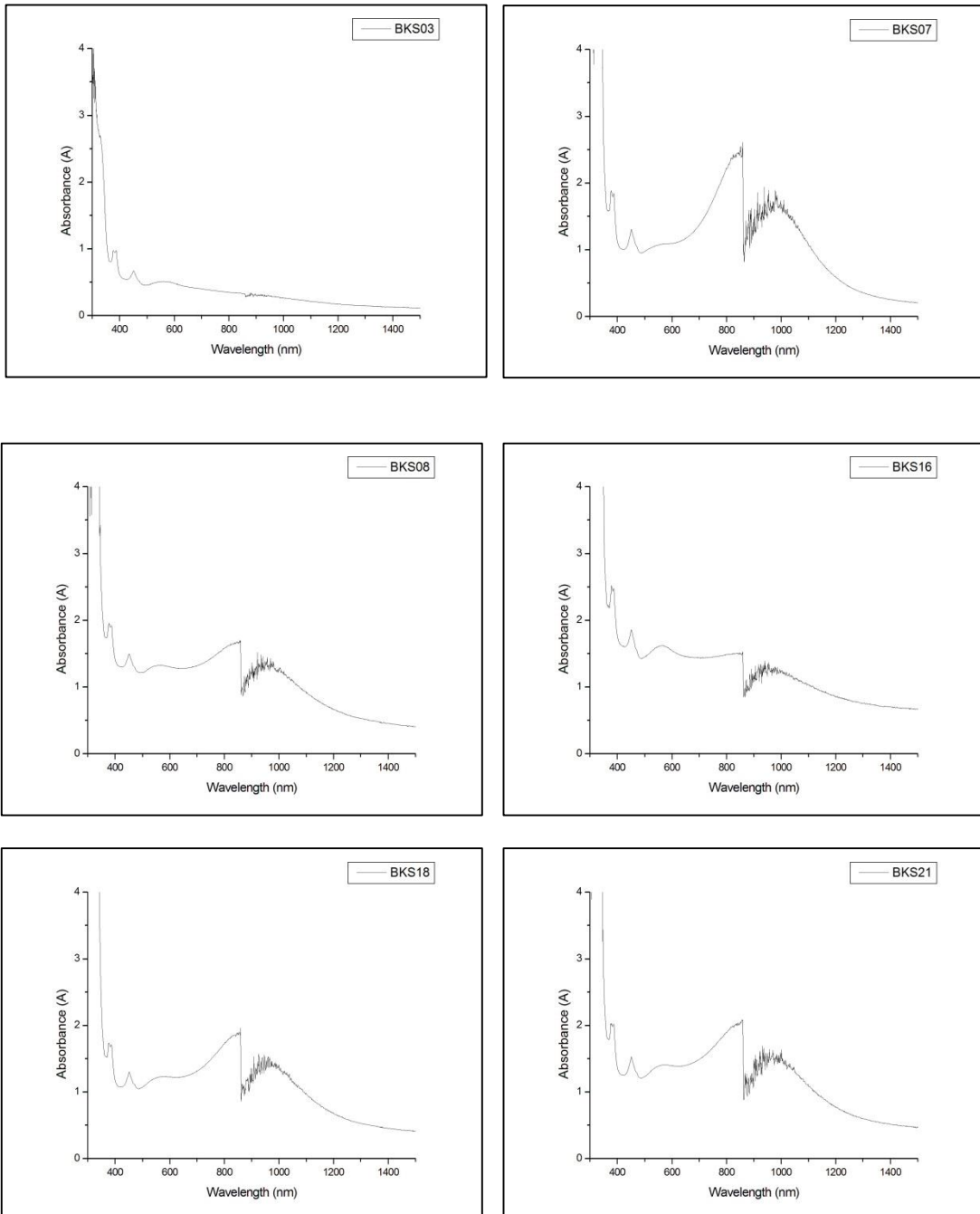
## บรรณานุกรม

- Dharmaratne, P.G.R., Premasiri, H.M.R. and Dillimuni, D., 2012, Sapphires from Thammannawa, Kataragama Area, Sri Lanka, *Gems&Gemology*, 48(2), pp.98-107.
- Guo J., O'Reilly S. Y. and Griffin W. L., 1996, Corundum from basaltic terrains : a mineral inclusion approach to the enigma. *Contrib Mineral Petrol*, 122, 368-386.
- Gübelin, E.J. and Koivula, J.I. (1986) Photoatlas of Inclusions in Gemstones. Zürich, Switzerland, ABC Edition, revised Jan., 1992.
- Gübelin, E.J. and Koivula, J.I. (2005) Photoatlas of Inclusions in Gemstones, Volume 3. Basel, Switzerland, Opinio Publishers, 672 pp.
- Hughes, R.W. (1997) *Ruby & Sapphire*. Boulder, CO, RWH Publishing, 512 pp.
- Pardieu V., Sangsawong S., Muyal J. and Sturman N., 2014, Blue Sapphires from the Mambilla Plateau, Taraba State, Nigeria. *GIA News from Research*, 47 p.
- Rakotondrazafy A.F.M., Giuliani G., Ohnenstetter D., Fallick A.E., Rakotosamizany S., Andriamamonjy, T. Ralantoarison, M.Razanatseheno, Y. Offant, V. Garnier, H. Maluski A., Dunaigre C., Schwarz D., and Ratrimo V., 2008, Gem corundum deposits of Madagascar: A review., *Ore Geology Reviews*, 34, 134-154.
- Russell, R. and Weldon, R., 2009, Ruby and Sapphire Production and Distribution: A Quarter Century of Change, *Gems&Gemology*, 45(4) pp. 236-259.
- Simonet, C., Fritsch, E. et al. (2008) A classification of gem corundum deposits aimed towards gem exploration. *Ore Geology Reviews*, Vol. 34, No. 1-2, pp. 127-133.
- Schwarz, D., Kanis, J. and Schmetzer, K. 2000, Sapphire from Antsiranana Province, Northern Madagascar, *Gems&Gemology*, 36(3) pp. 216-233.

ภาคผนวก

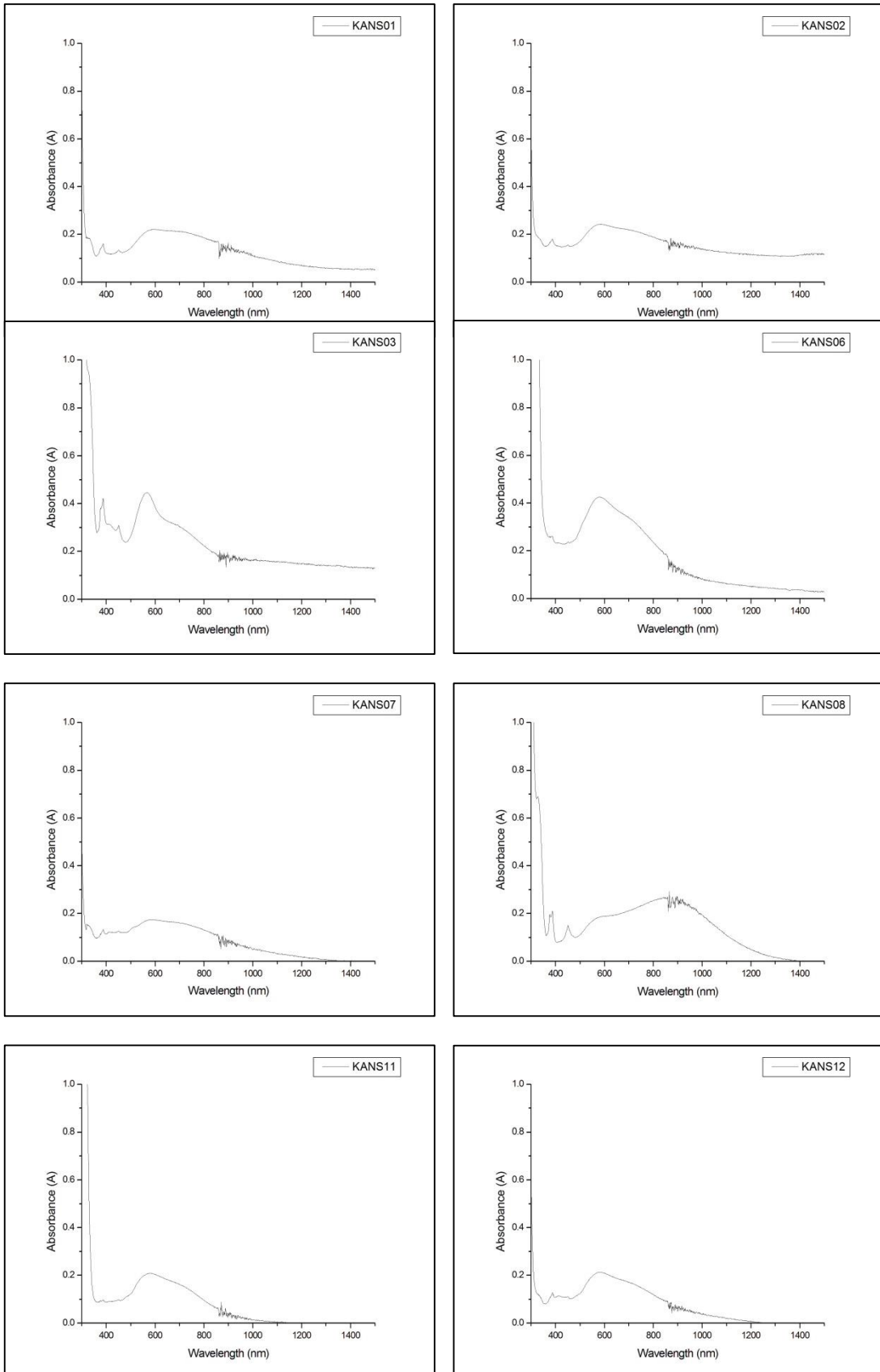
ภาคผนวก ก. ผลการศึกษาการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis-NIR Spectrophotometer

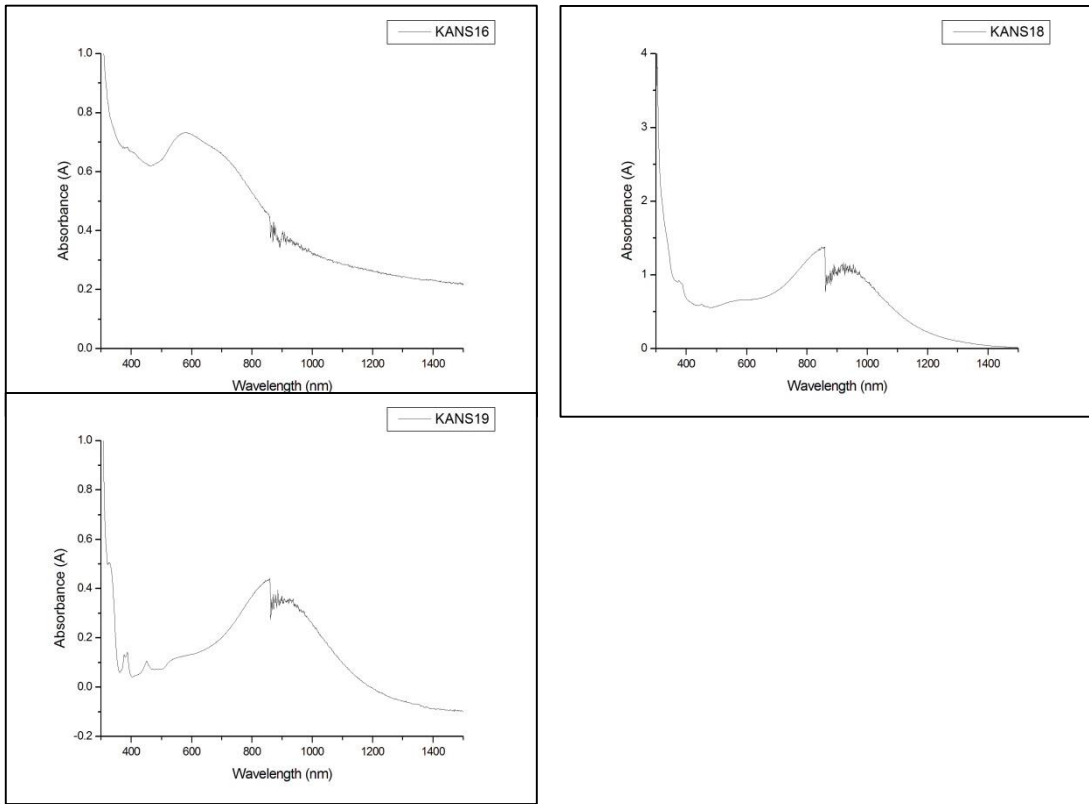
ก.1 optical spectrum ของตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 1 จากแหล่งบางกะจะ ประเทศไทย



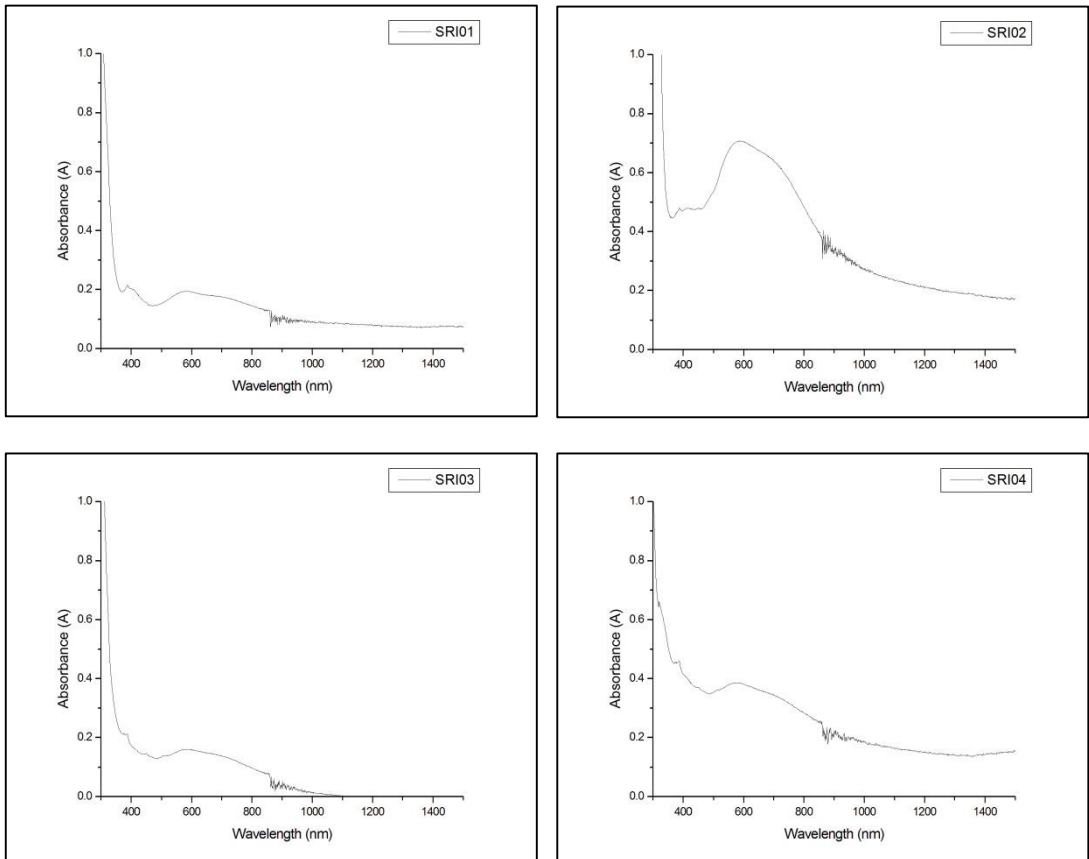


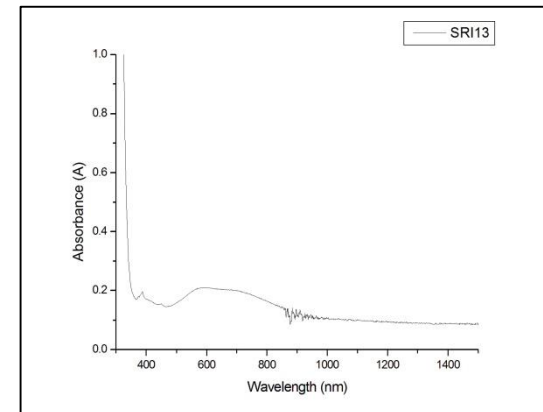
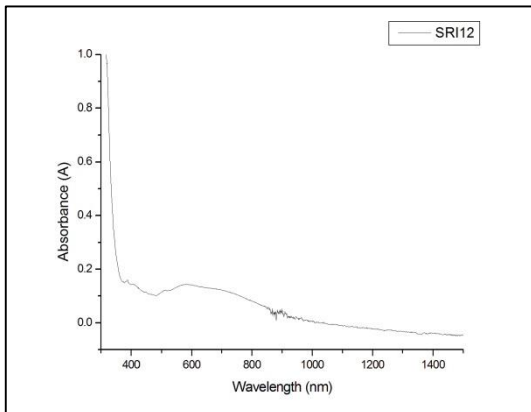
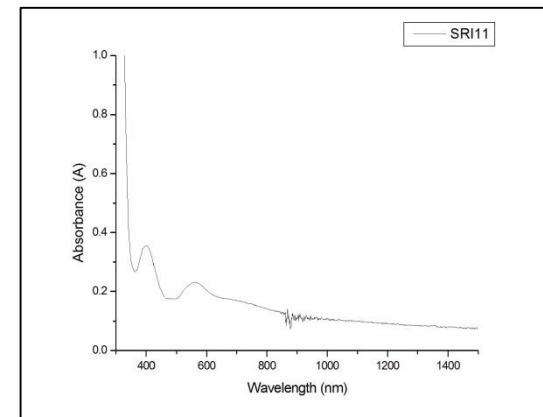
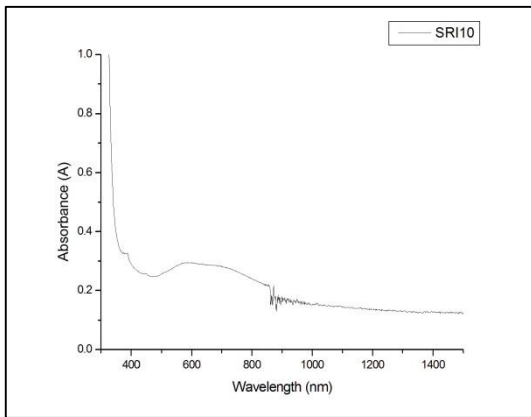
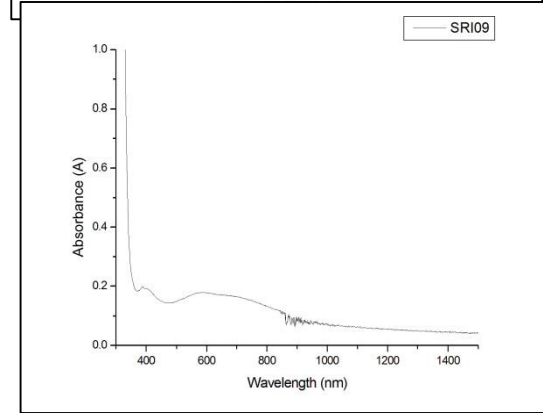
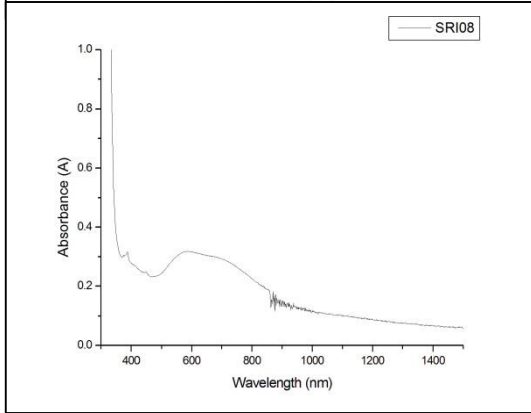
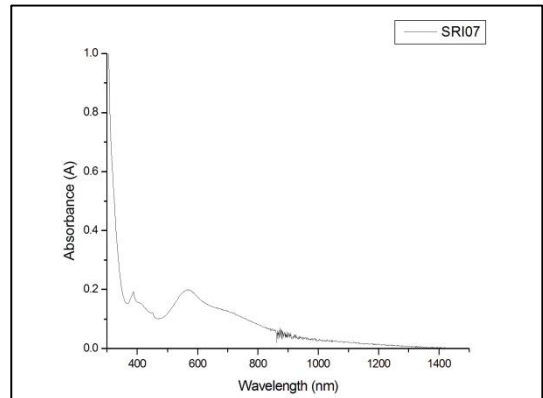
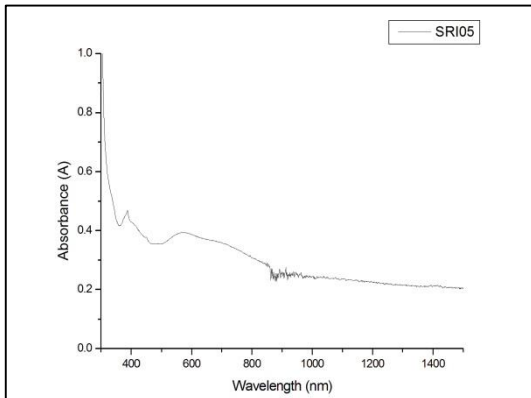
ก.2 optical spectrum ของตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 2 จากแหล่งกาญจนบุรี ประเทศไทย

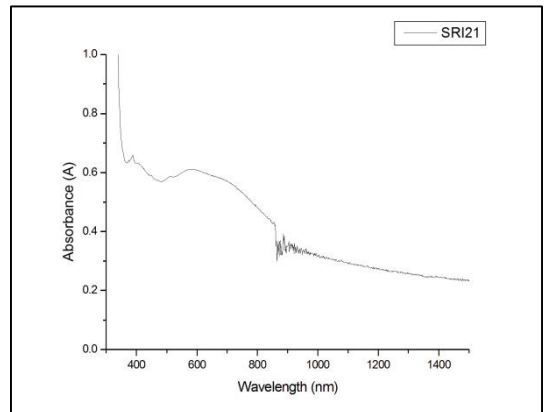
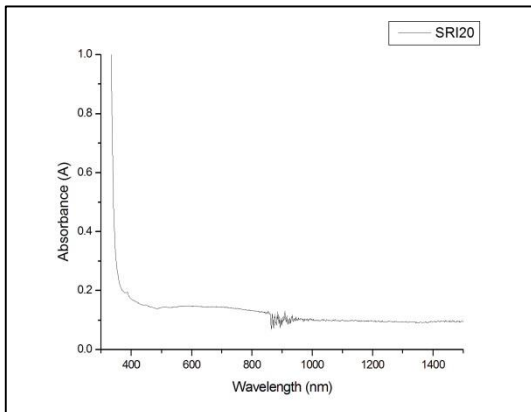
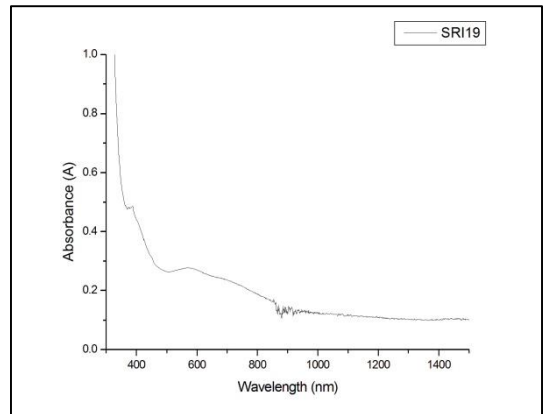
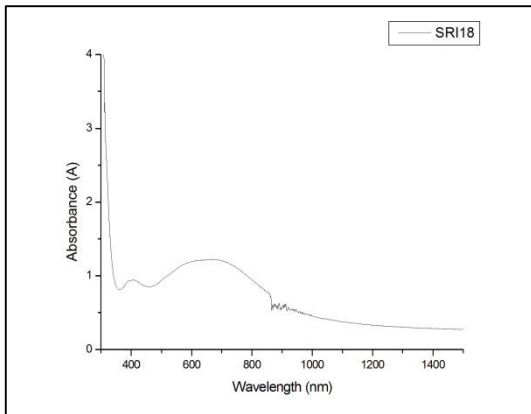
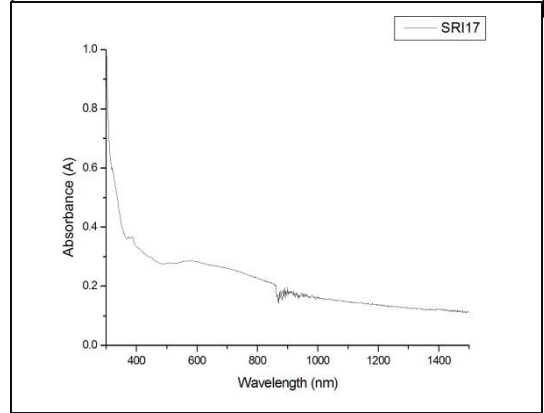
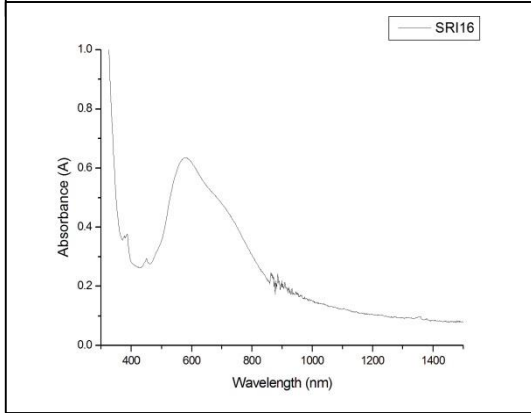
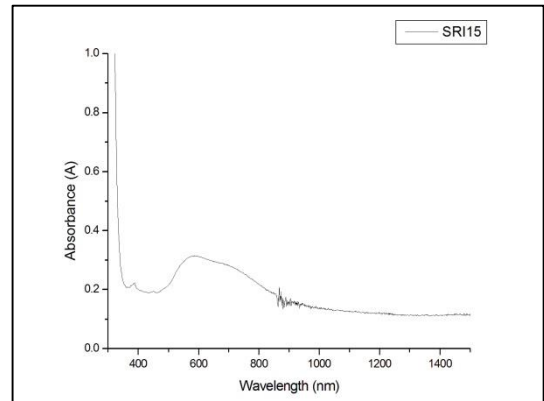
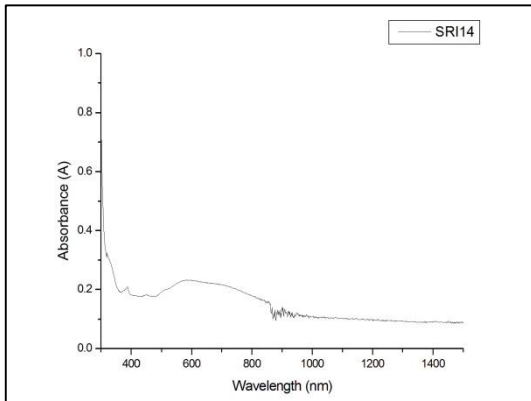




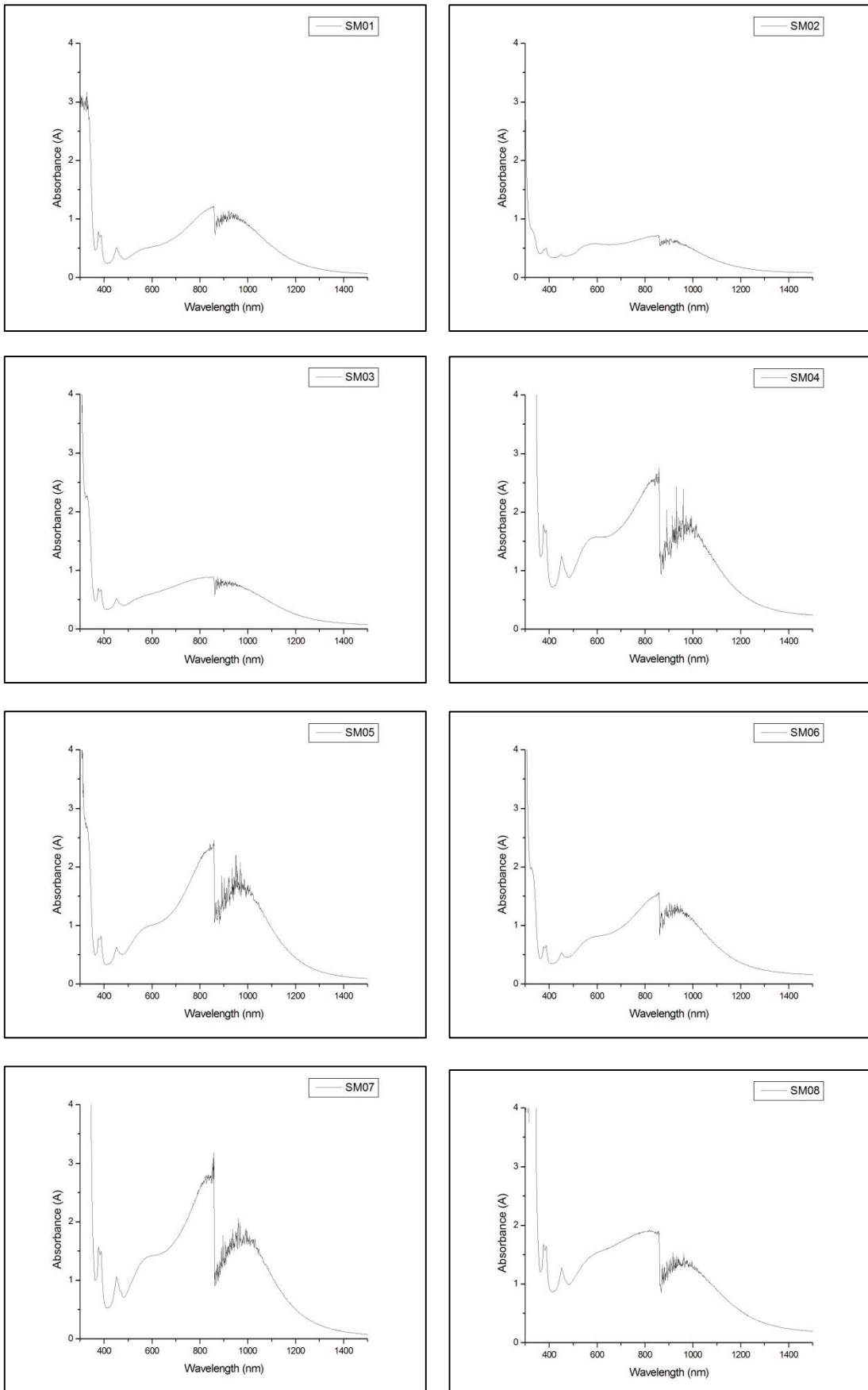
ก.3 optical spectrum ของตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 3 จากแหล่งศรีลังกา

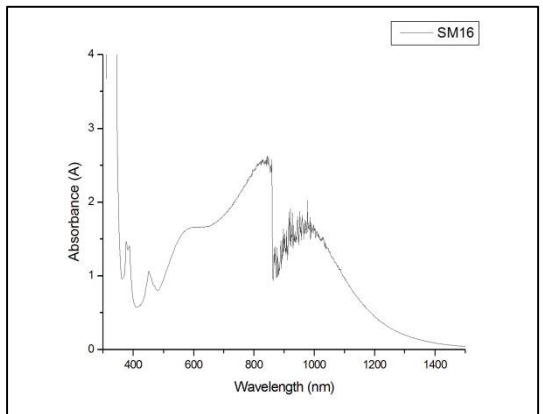
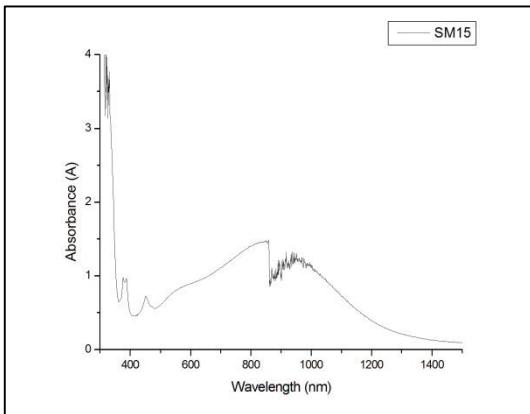
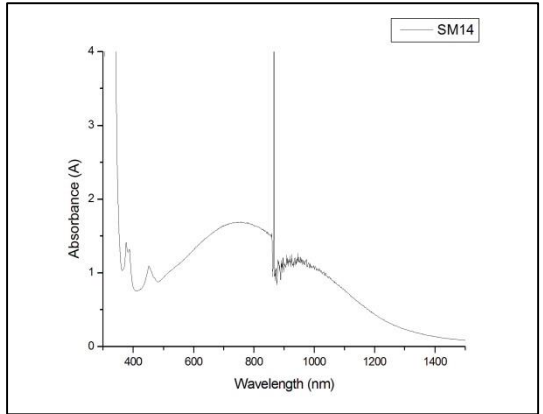
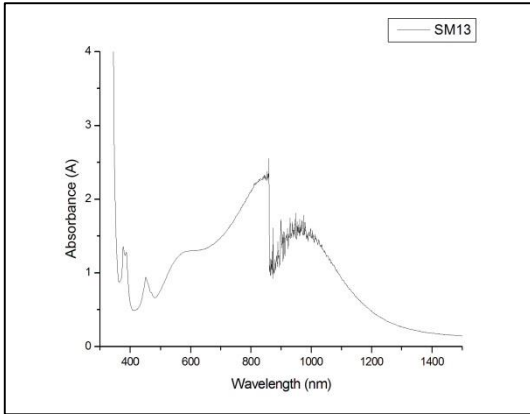
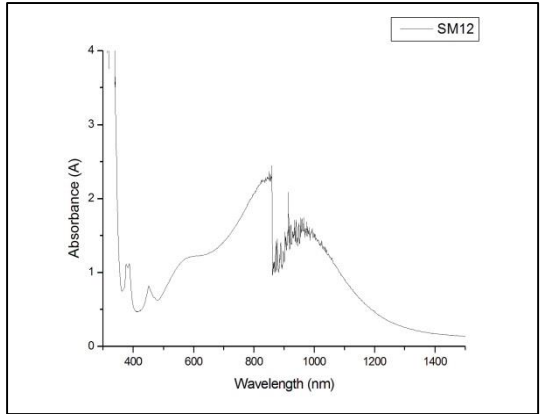
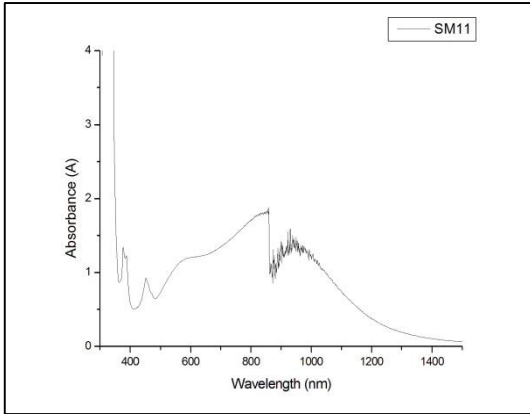
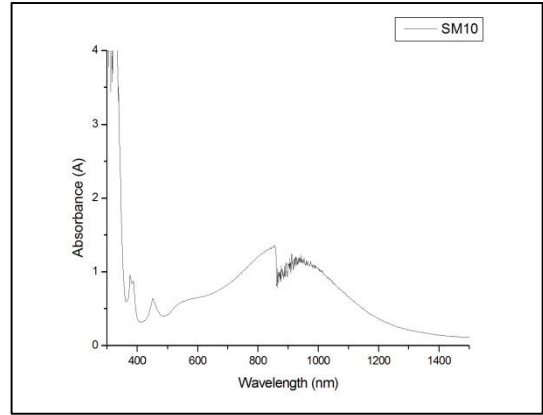
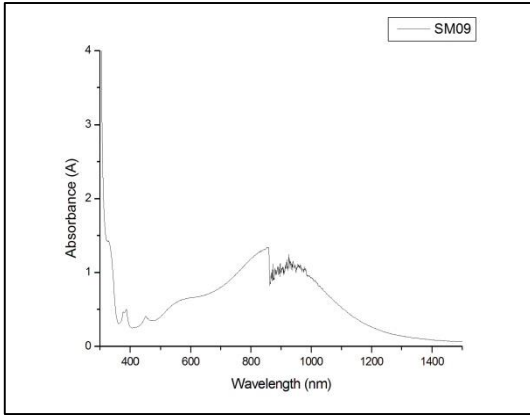






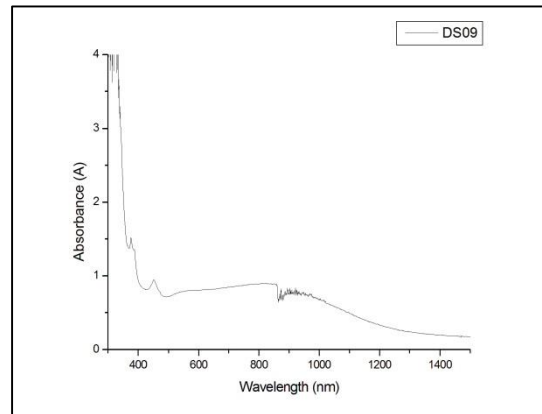
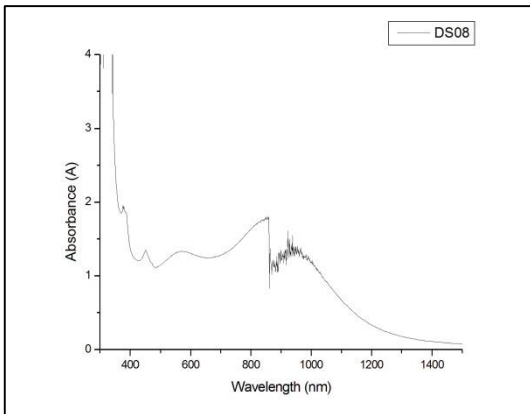
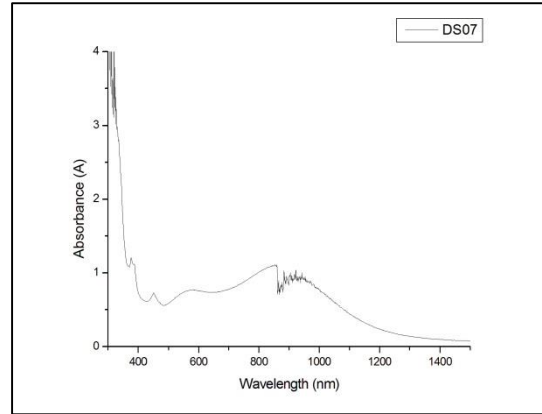
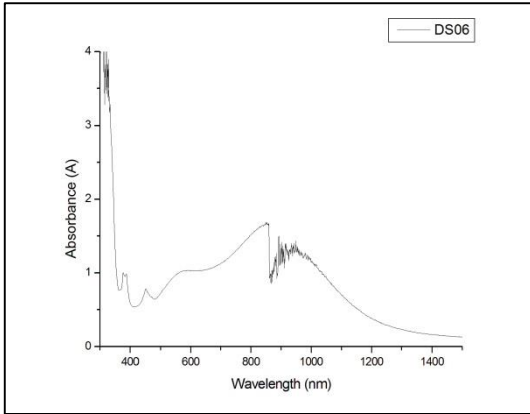
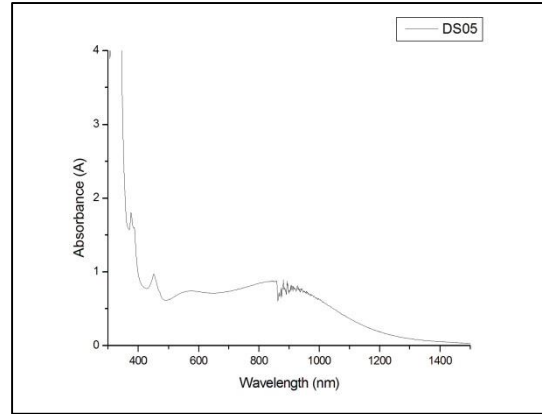
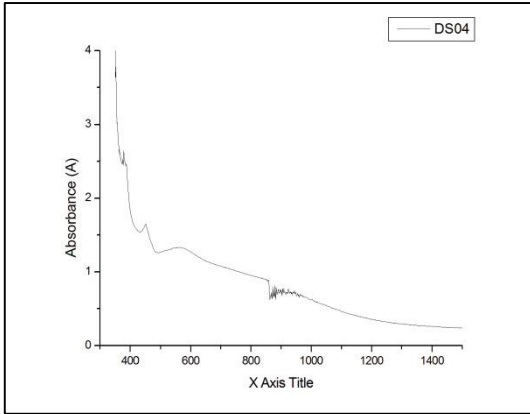
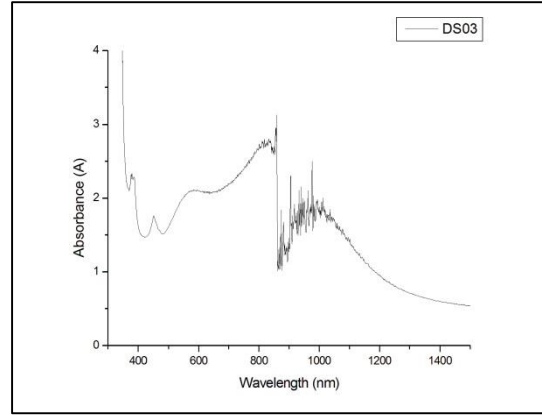
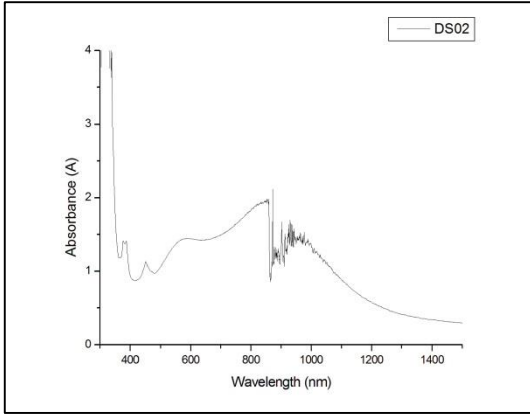
ก.4 optical spectrum ของตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 4 จากแหล่งมาบิลา ประเทศไนจีเรีย

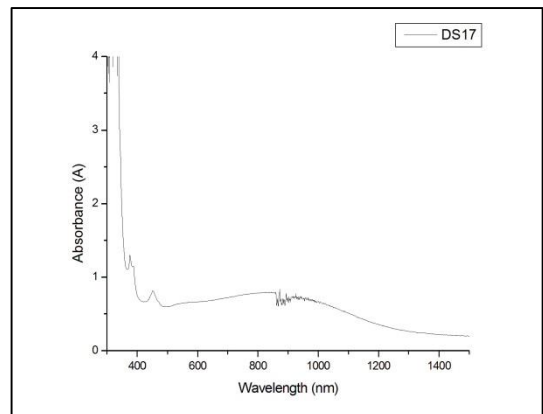
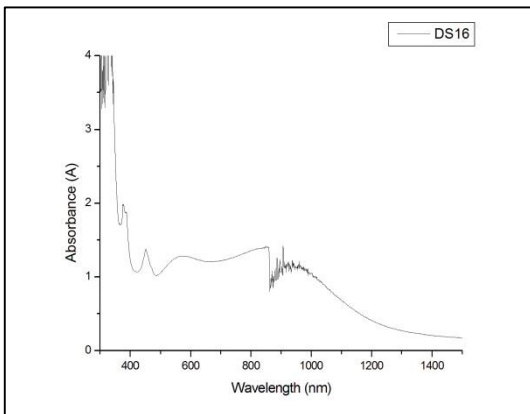
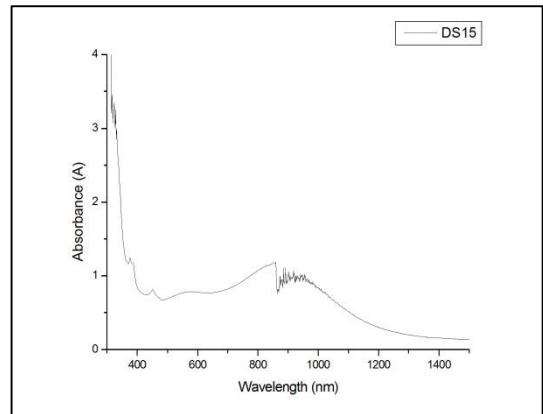
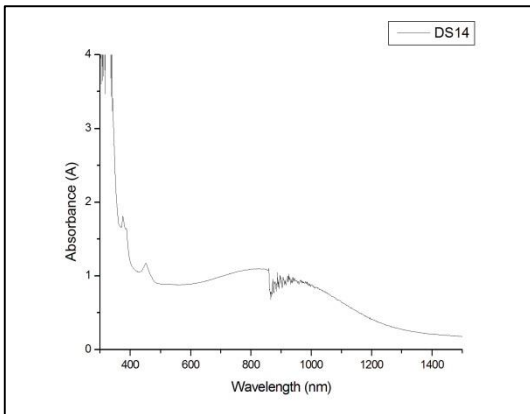
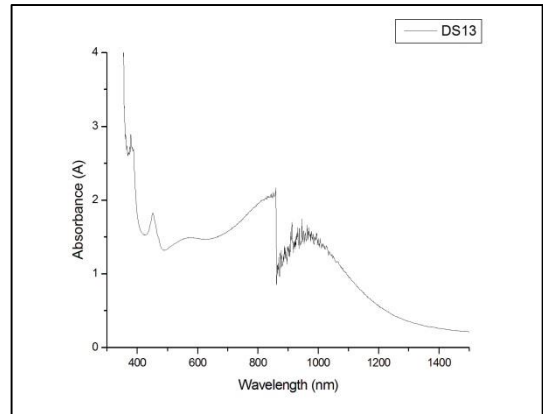
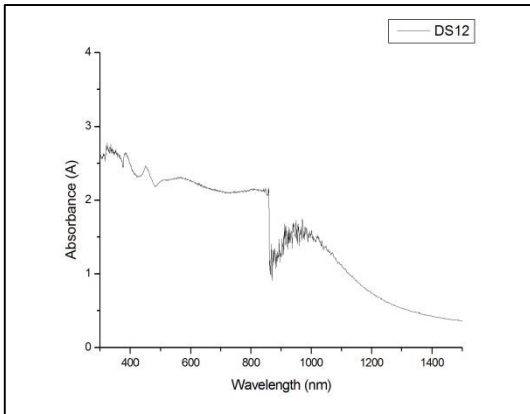
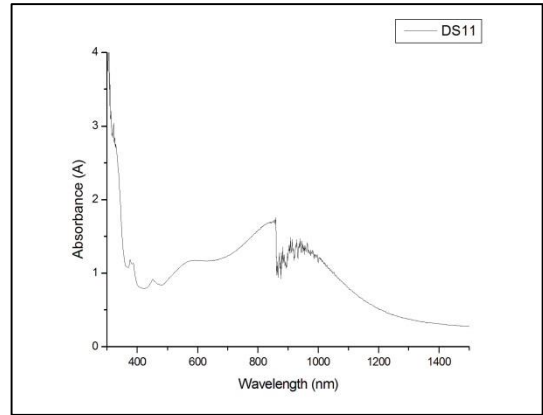
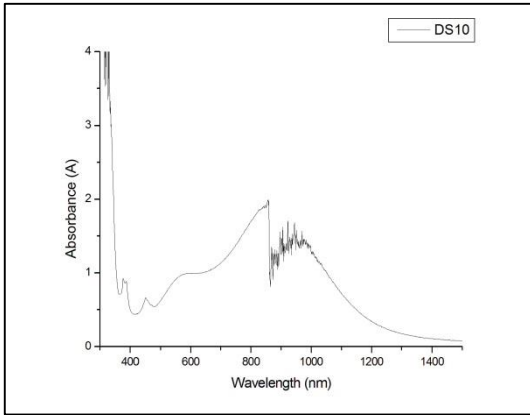


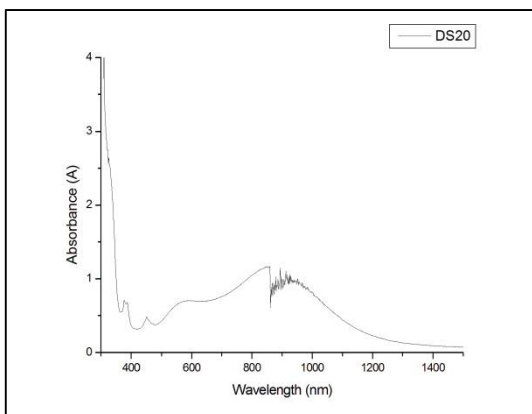
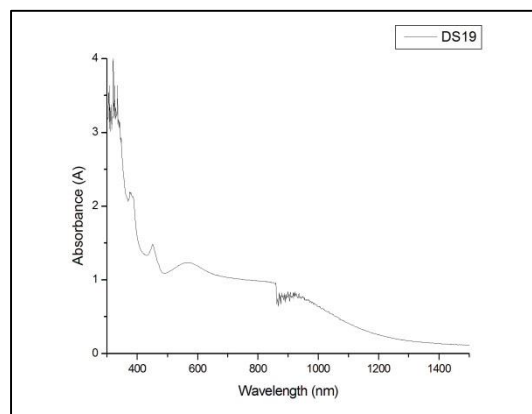
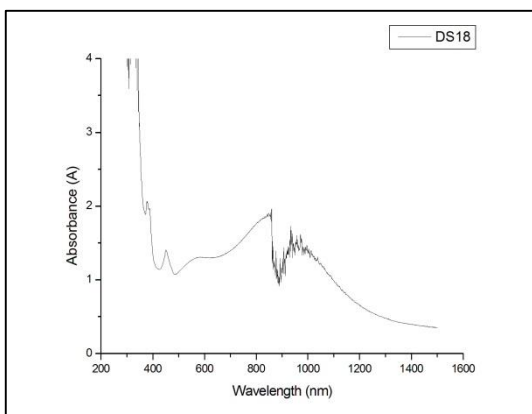




ก.5 optical spectrum ของตัวอย่างโพลิน กลุ่มที่ 5 จากแหล่งดีเอโก ประเทศมาดากัสการ์

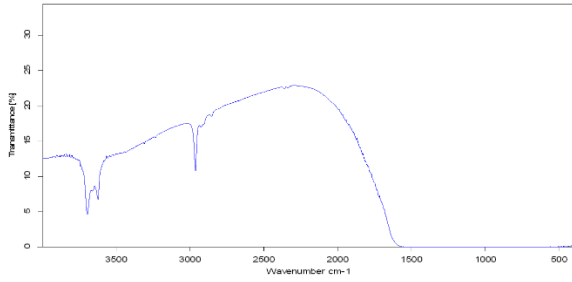






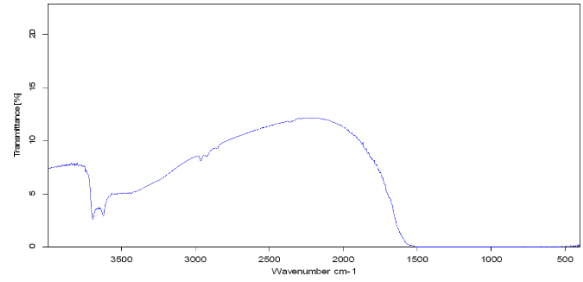
# ภาคผนวก ข. ผลการศึกษาด้วยเครื่อง FTIR Spectrometer

ข.1 FTIR spectrum ของตัวอย่างโพลีน กลุ่มที่ 1 จากแหล่งบางกะจะ ประเทศไทย



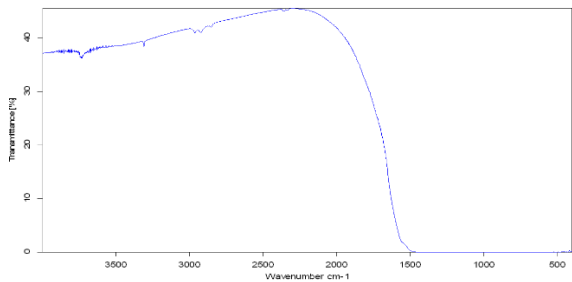
D:\A1\math\anal\Blue Sapphire ๑๐๗๕ ๑\*๕11 ๒๒๓ Trans\BKS07\BKS 07.D BKS 07 Instrument type and / or accessory 22/01/2019

Page 1/1



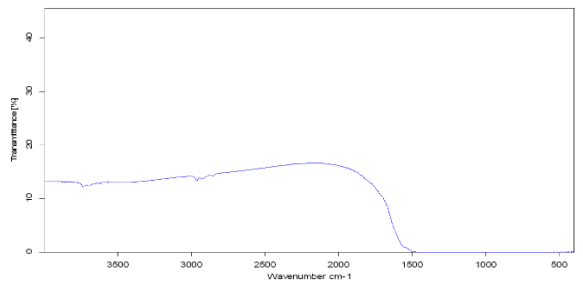
D:\A1\math\anal\Blue Sapphire ๑๐๗๕ ๑\*๕11 ๒๒๓ Trans\BKS08\BKS 08.D BKS 08 Instrument type and / or accessory 22/01/2019

Page 1/1



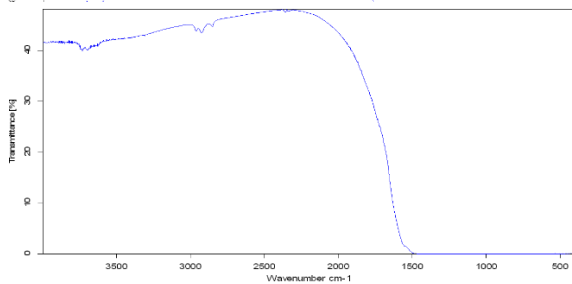
D:\A1\math\anal\Blue Sapphire ๑๐๗๕ ๑\*๕11 ๒๒๓ Trans\BKS11\BKS 11.D BKS 11 Instrument type and / or accessory 22/01/2019

Page 1/1



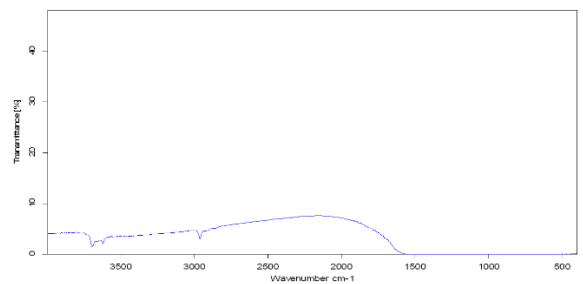
D:\A1\math\anal\Blue Sapphire ๑๐๗๕ ๑\*๕11 ๒๒๓ Trans\BKS12\BKS 12.D BKS 12 Instrument type and / or accessory 22/01/2019

Page 1/1



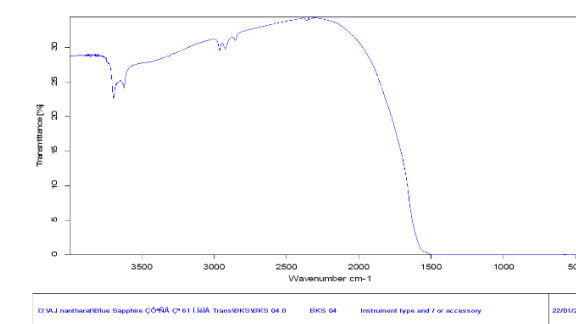
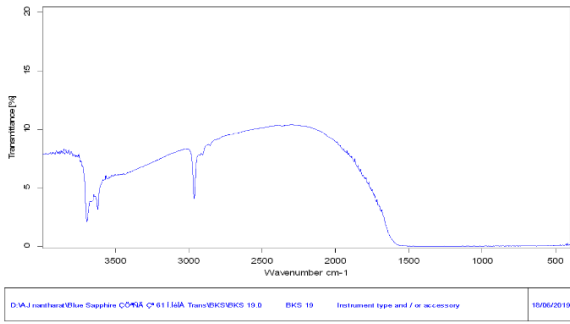
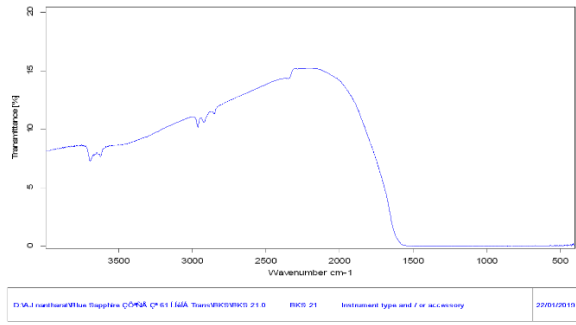
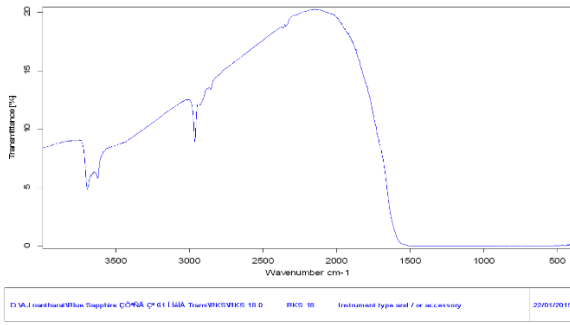
D:\A1\math\anal\Blue Sapphire ๑๐๗๕ ๑\*๕11 ๒๒๓ Trans\BKS15\BKS 15.D BKS 15 Instrument type and / or accessory 22/01/2019

Page 1/1

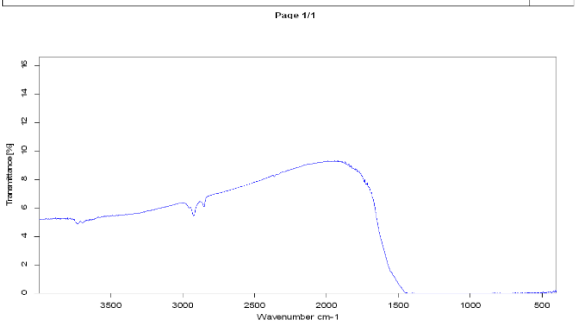
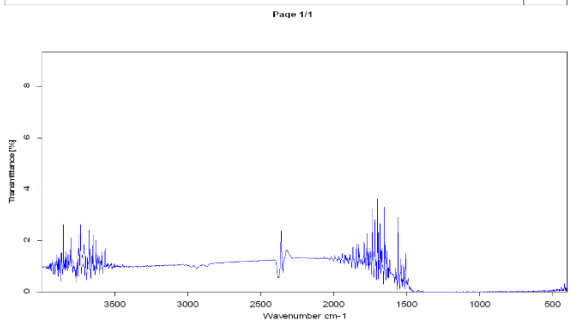
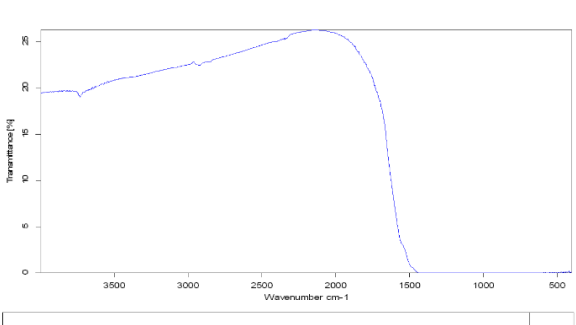
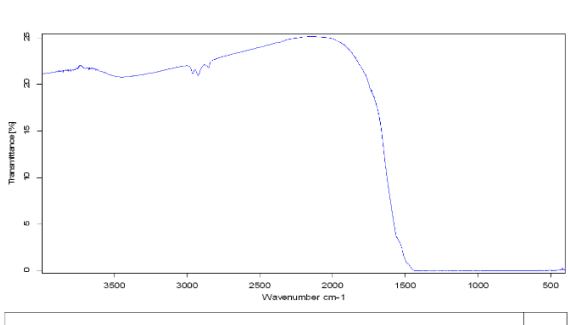
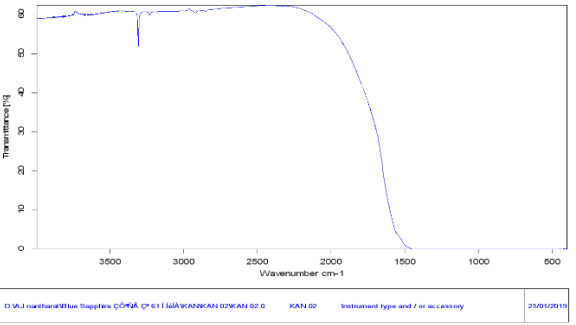
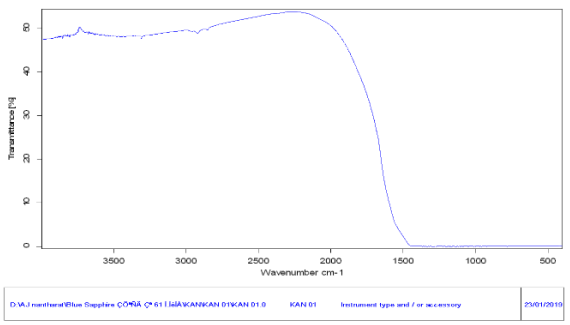


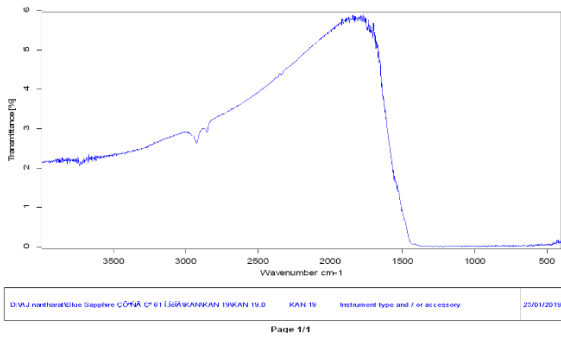
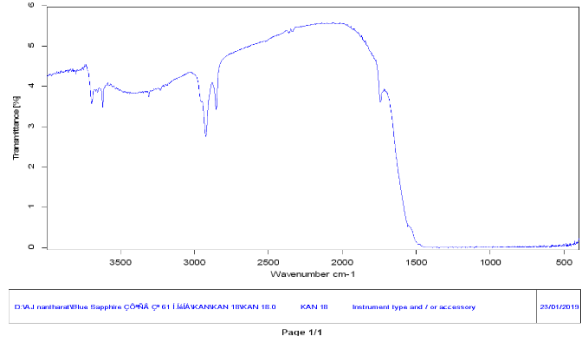
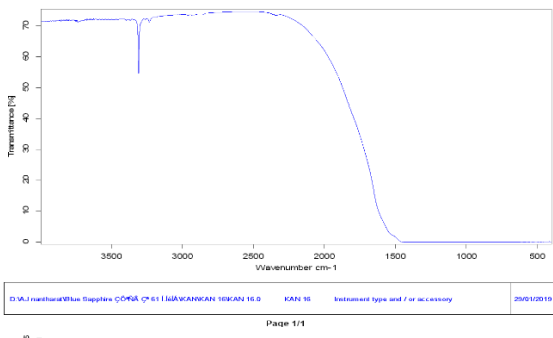
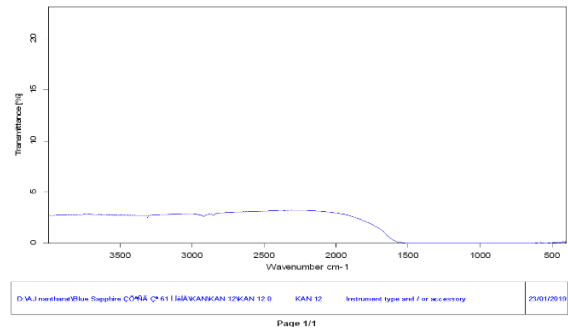
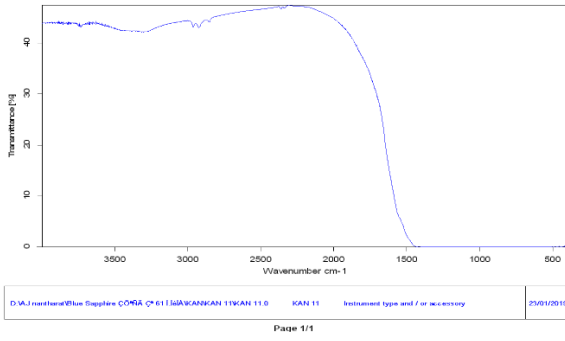
D:\A1\math\anal\Blue Sapphire ๑๐๗๕ ๑\*๕11 ๒๒๓ Trans\BKS16\BKS 16.D BKS 16 Instrument type and / or accessory 22/01/2019

Page 1/1

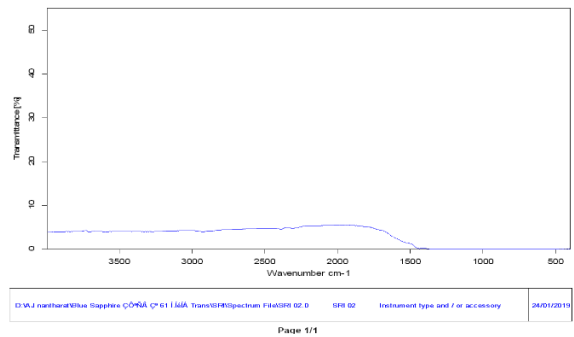
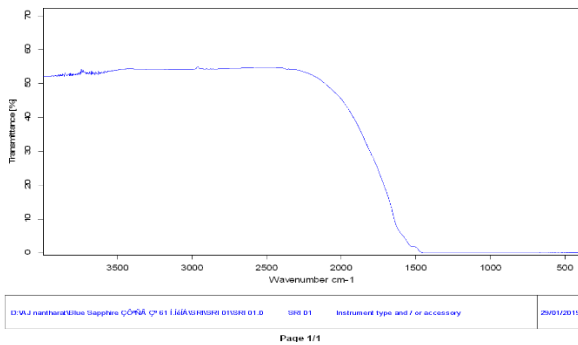


ข.2 FTIR spectrum ของตัวอย่างไพลิน กลุ่มที่ 2 จากแหล่งกาญจนบุรี ประเทศไทย

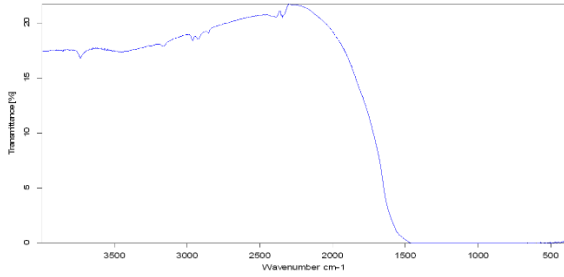




ข.3 FTIR spectrum ของตัวอย่างไพลิน กลุ่มที่ 3 จากแหล่งศรีลังกา

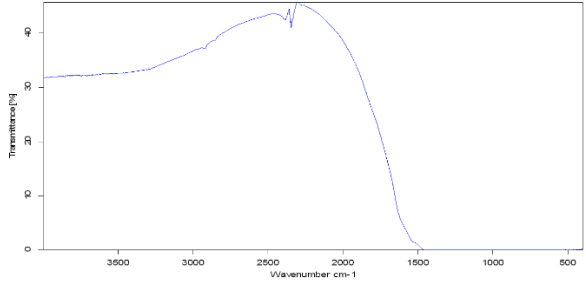






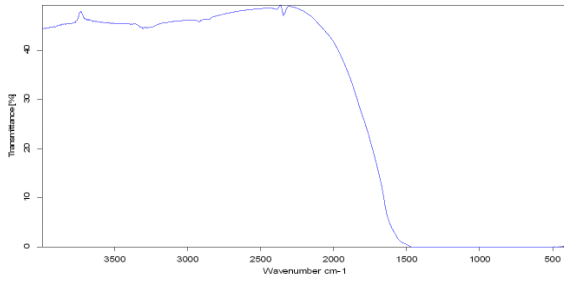
D:\J\northatl@blue Sapphire CO2RA C\*611J6A TransSRRSpectrum F66SR 03.0 SRI 03 Instrument type and / or accessory 24/01/2019

Page 1/1



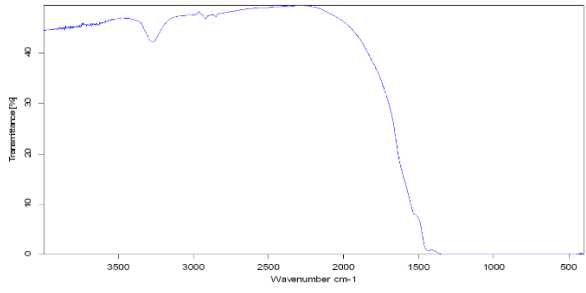
D:\J\northatl@blue Sapphire CO2RA C\*611J6A TransSRRSpectrum F66SR 04.0 SRI 04 Instrument type and / or accessory 24/01/2019

Page 1/1



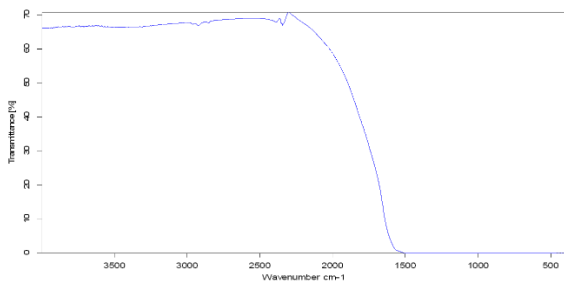
D:\J\northatl@blue Sapphire CO2RA C\*611J6A TransSRRSpectrum F66SR 05.0 SRI 05 Instrument type and / or accessory 29/01/2019

Page 1/1



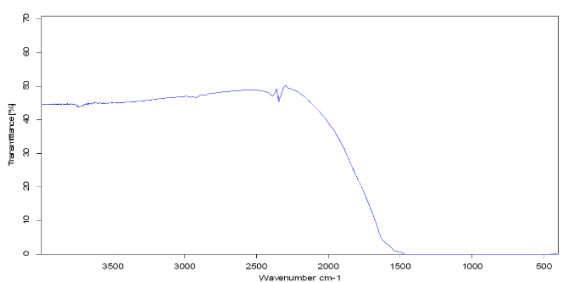
D:\J\northatl@blue Sapphire CO2RA C\*611J6A TransSRRSpectrum F66SR 06.0 SRI 06 Instrument type and / or accessory 24/01/2019

Page 1/1



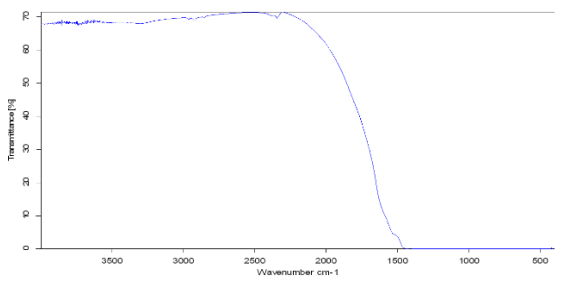
D:\J\northatl@blue Sapphire CO2RA C\*611J6A TransSRRSpectrum F66SR 07.0 SRI 07 Instrument type and / or accessory 29/01/2019

Page 1/1



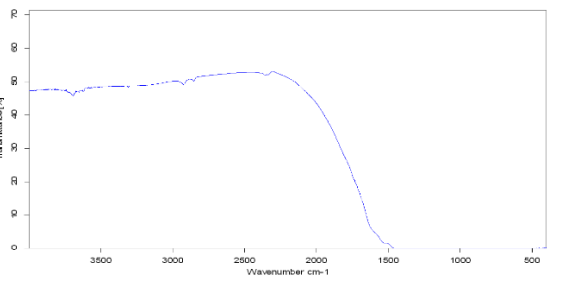
D:\J\northatl@blue Sapphire CO2RA C\*611J6A TransSRRSpectrum F66SR 08.0 SRI 08 Instrument type and / or accessory 24/01/2019

Page 1/1



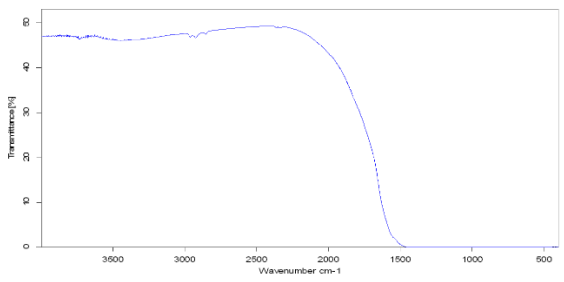
D:\J\northatl@blue Sapphire CO2RA C\*611J6A TransSRRSpectrum F66SR 09.0 SRI 09 Instrument type and / or accessory 29/01/2019

Page 1/1



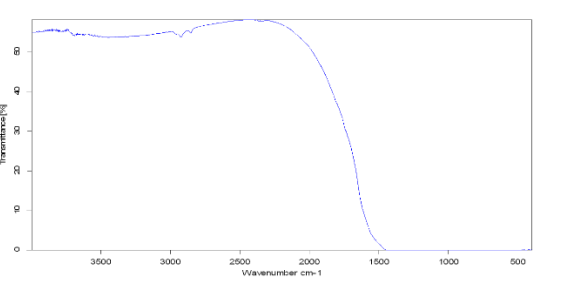
D:\J\northatl@blue Sapphire CO2RA C\*611J6A TransSRRSpectrum F66SR 10.0 SRI 10 Instrument type and / or accessory 29/01/2019

Page 1/1



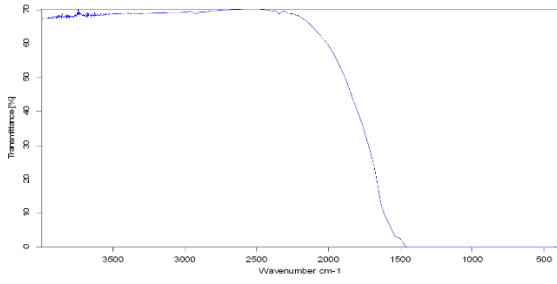
D:\J\northatl@blue Sapphire CO2RA C\*611J6A TransSRRSpectrum F66SR 11.0 SRI 11 Instrument type and / or accessory 29/01/2019

Page 1/1



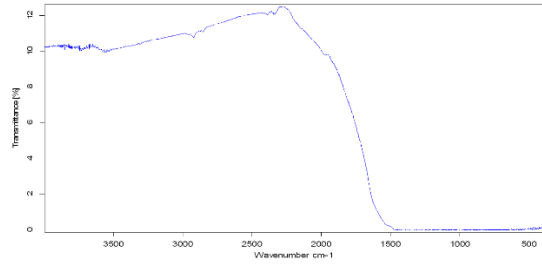
D:\J\northatl@blue Sapphire CO2RA C\*611J6A TransSRRSpectrum F66SR 12.0 SRI 12 Instrument type and / or accessory 29/01/2019

Page 1/1



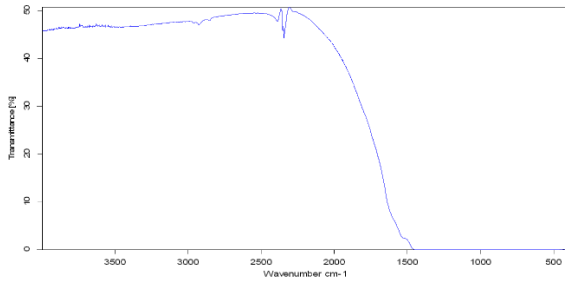
D:\J\northatlblue\Supplies\CO<sub>2</sub>A C\* 611 JJA TransIRRSpectrum File#SR 13.0 SR 13 Instrument type and / or accessory 25/01/2019

Page 1/1



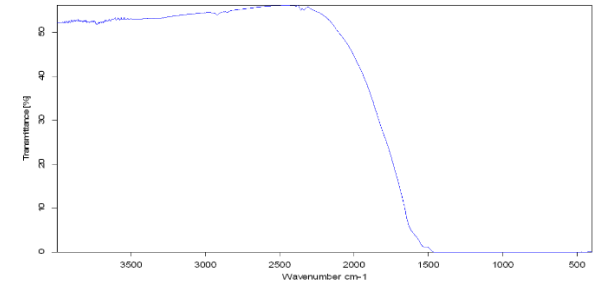
D:\J\northatlblue\Supplies\CO<sub>2</sub>A C\* 611 JJA TransIRRSpectrum File#SR 14.0 SR 14 Instrument type and / or accessory 25/01/2019

Page 1/1



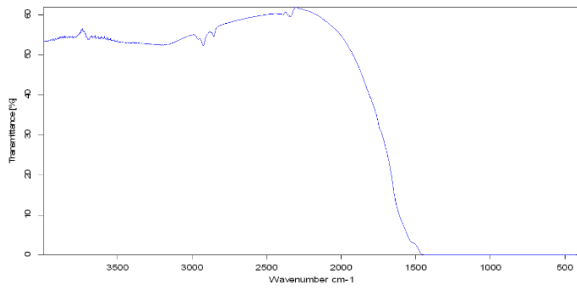
D:\J\northatlblue\Supplies\CO<sub>2</sub>A C\* 611 JJA TransIRRSpectrum File#SR 15.0 SR 15 Instrument type and / or accessory 25/01/2019

Page 1/1



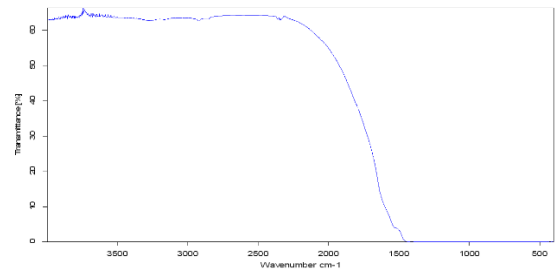
D:\J\northatlblue\Supplies\CO<sub>2</sub>A C\* 611 JJA TransIRRSpectrum File#SR 16.0 SR 16 Instrument type and / or accessory 25/01/2019

Page 1/1



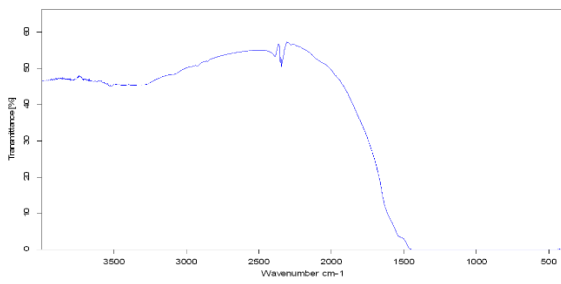
D:\J\northatlblue\Supplies\CO<sub>2</sub>A C\* 611 JJA TransIRRSpectrum File#SR 17.0 SR 17 Instrument type and / or accessory 25/01/2019

Page 1/1



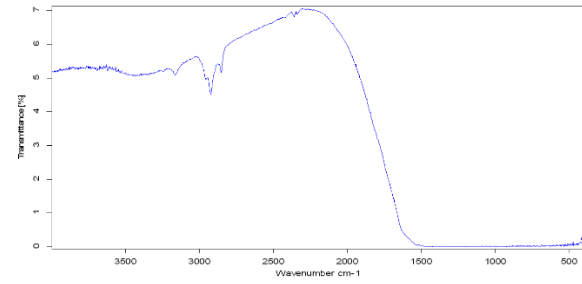
D:\J\northatlblue\Supplies\CO<sub>2</sub>A C\* 611 JJA TransIRRSpectrum File#SR 18.0 SR 18 Instrument type and / or accessory 25/01/2019

Page 1/1



D:\J\northatlblue\Supplies\CO<sub>2</sub>A C\* 611 JJA TransIRRSpectrum File#SR 19.0 SR 19 Instrument type and / or accessory 25/01/2019

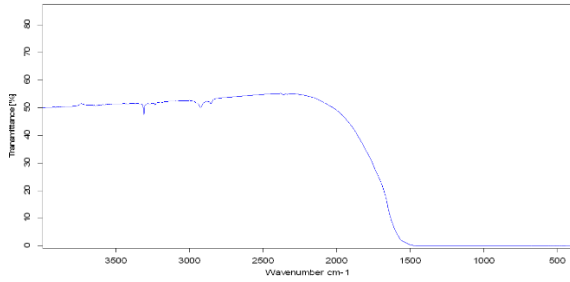
Page 1/1



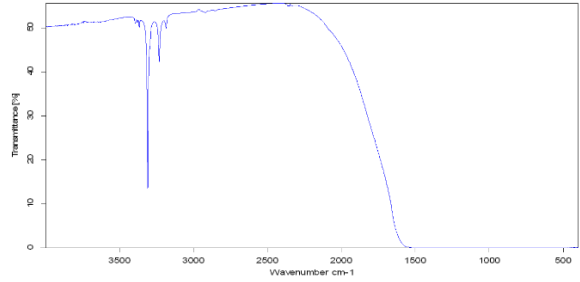
D:\J\northatlblue\Supplies\CO<sub>2</sub>A C\* 611 JJA TransIRRSpectrum File#SR 20.0 SR 20 Instrument type and / or accessory 25/01/2019

Page 1/1

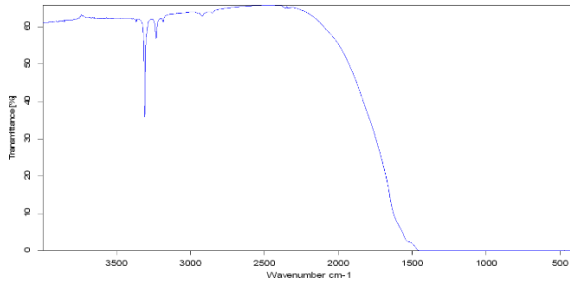
ข.4 FTIR spectrum ของตัวอย่างไพลิน กลุ่มที่ 4 จากแหล่งมาบิลา ประเทศไนจีเรีย



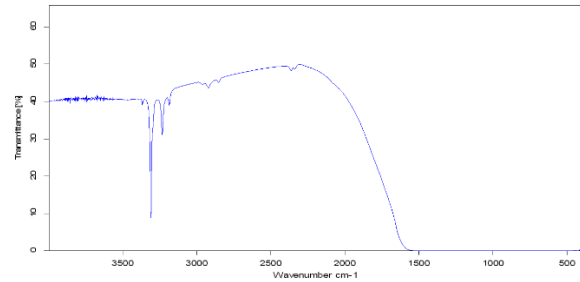
D:\VJ\northat\Blue Sapphire C\ONA C\61\JSA\Trans\IR\Spectrum File\SIM 01.0 SIM 01 Instrument type and / or accessory 22/01/2019 Page 1/1



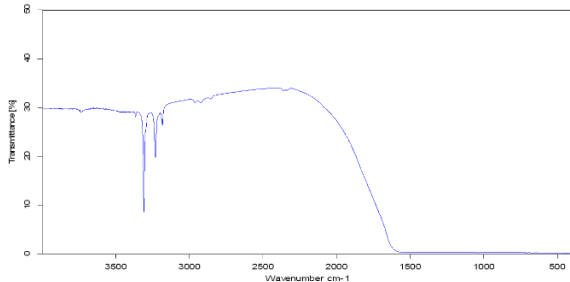
D:\VJ\northat\Blue Sapphire C\ONA C\61\JSA\Trans\IR\Spectrum File\SIM 02.0 SIM 02 Instrument type and / or accessory 29/01/2019 Page 1/1



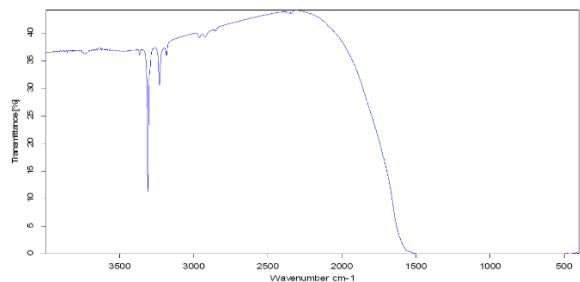
D:\VJ\northat\Blue Sapphire C\ONA C\61\JSA\Trans\IR\Spectrum File\SIM 03.0 SIM 03 Instrument type and / or accessory 29/01/2019 Page 1/1



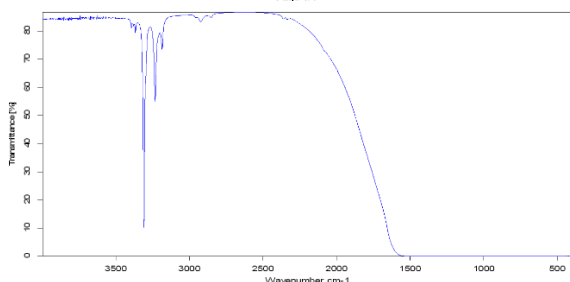
D:\VJ\northat\Blue Sapphire C\ONA C\61\JSA\Trans\IR\Spectrum File\SIM 04.0 SIM 04 Instrument type and / or accessory 22/01/2019 Page 1/1



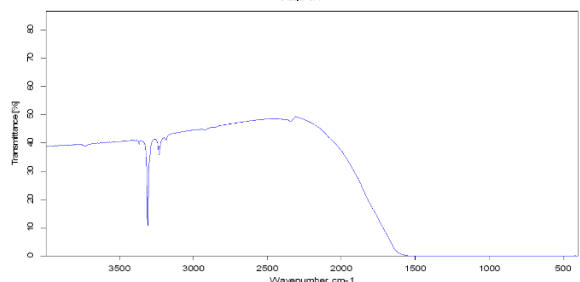
D:\VJ\northat\Blue Sapphire C\ONA C\61\JSA\Trans\IR\Spectrum File\SIM 05.0 SIM 05 Instrument type and / or accessory 22/01/2019 Page 1/1



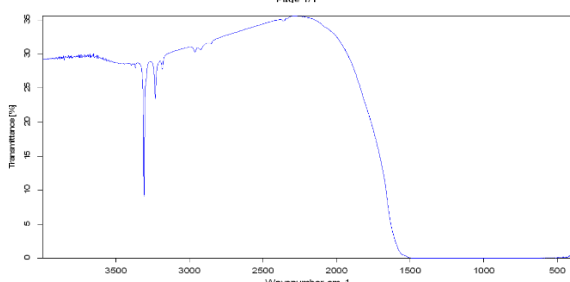
D:\VJ\northat\Blue Sapphire C\ONA C\61\JSA\Trans\IR\Spectrum File\SIM 06.0 SIM 06 Instrument type and / or accessory 22/01/2019 Page 1/1



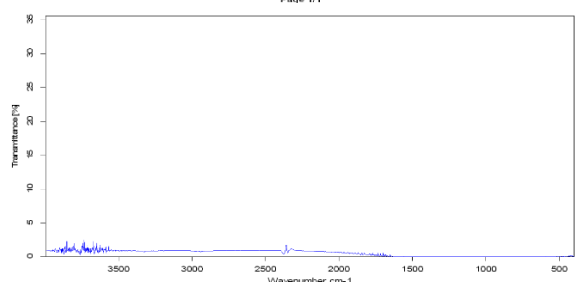
D:\VJ\northat\Blue Sapphire C\ONA C\61\JSA\Trans\IR\Spectrum File\SIM 07.0 SIM 07 Instrument type and / or accessory 22/01/2019 Page 1/1



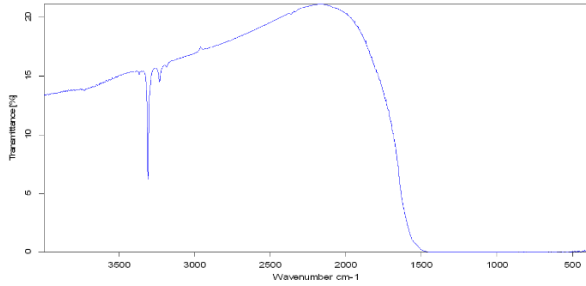
D:\VJ\northat\Blue Sapphire C\ONA C\61\JSA\Trans\IR\Spectrum File\SIM 08.0 SIM 08 Instrument type and / or accessory 22/01/2019 Page 1/1



D:\VJ\northat\Blue Sapphire C\ONA C\61\JSA\Trans\IR\Spectrum File\SIM 09.0 SIM 09 Instrument type and / or accessory 09/06/2019 Page 1/1

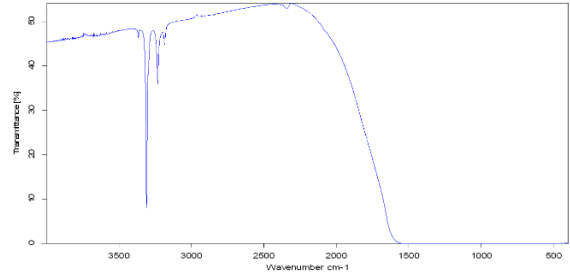


D:\VJ\northat\Blue Sapphire C\ONA C\61\JSA\Trans\IR\Spectrum File\SIM 10.0 SIM 10 Instrument type and / or accessory 30/01/2019 Page 1/1



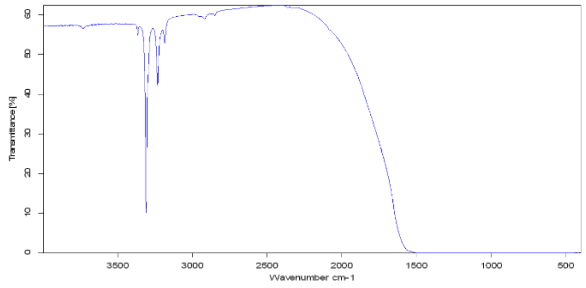
D:\J\_northat\Blue Sapphire CO2RA C\* 61 IJA TransSMISpectrum FibISM 11.0 SM 11 Instrument type and / or accessory 30/01/2019

Page 1/1



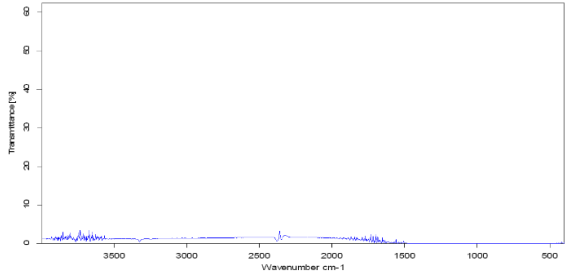
D:\J\_northat\Blue Sapphire CO2RA C\* 61 IJA TransSMISpectrum FibISM 12.0 SM 12 Instrument type and / or accessory 30/01/2019

Page 1/1



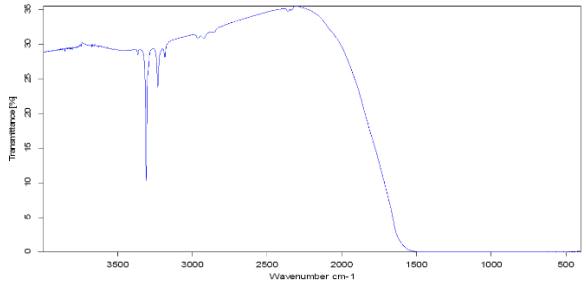
D:\J\_northat\Blue Sapphire CO2RA C\* 61 IJA TransSMISpectrum FibISM 13.0 SM 13 Instrument type and / or accessory 19/06/2019

Page 1/1



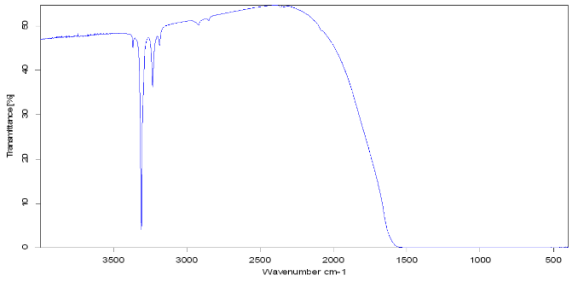
D:\J\_northat\Blue Sapphire CO2RA C\* 61 IJA TransSMISpectrum FibISM 14.0 @D@S@S@M@ Instrument type and / or accessory 30/06/2019

Page 1/1



D:\J\_northat\Blue Sapphire CO2RA C\* 61 IJA TransSMISpectrum FibISM 15.0 SM 15 Instrument type and / or accessory 22/01/2019

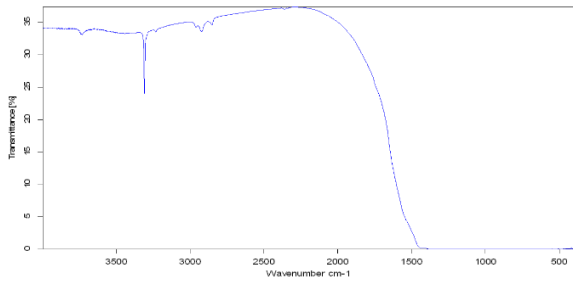
Page 1/1



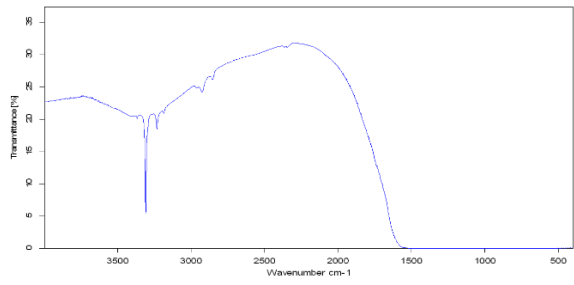
D:\J\_northat\Blue Sapphire CO2RA C\* 61 IJA TransSMISpectrum FibISM 16.0 SM 16 Instrument type and / or accessory 30/01/2019

Page 1/1

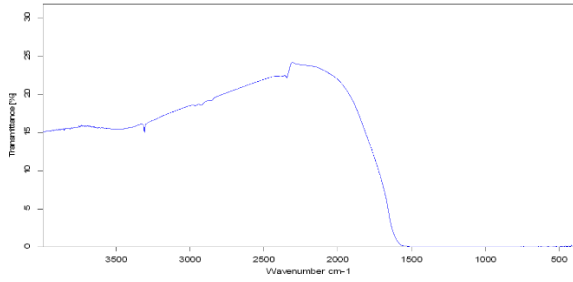
ข.5 FTIR spectrum ของตัวอย่างไพลิน กลุ่มที่ 5 จากแหล่งดีเอโก ประเทศมาดากัสการ์ (DS)



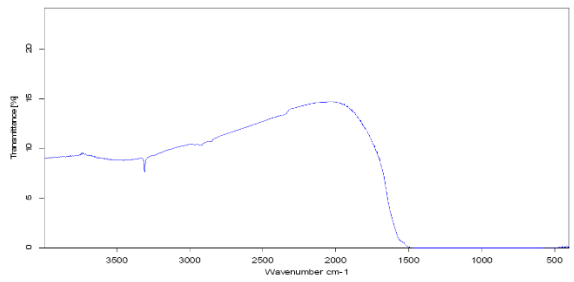
D:\J.nonthat@blue.sapphire.com\A C\* 611\JA TransD01\Spectrum Files\DS 01.0 @@@@-SMM- Instrument type and / or accessory 19/06/2019  
Page 1/1



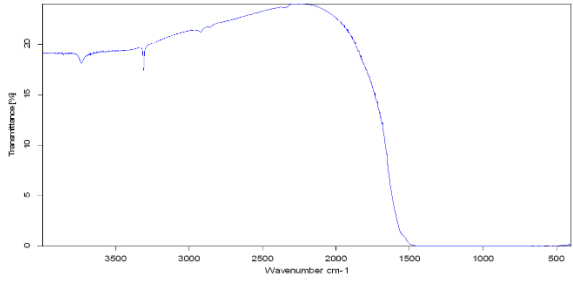
D:\J.nonthat@blue.sapphire.com\A C\* 611\JA TransD01\Spectrum Files\DS 02.0 @@@@-SMM- Instrument type and / or accessory 19/06/2019  
Page 1/1



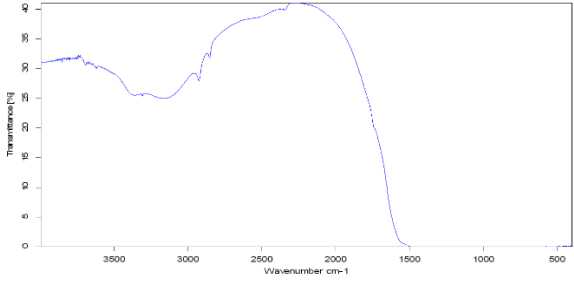
D:\J.nonthat@blue.sapphire.com\A C\* 611\JA TransD01\Spectrum Files\DS 03.0 DS 03 Instrument type and / or accessory 19/06/2019  
Page 1/1



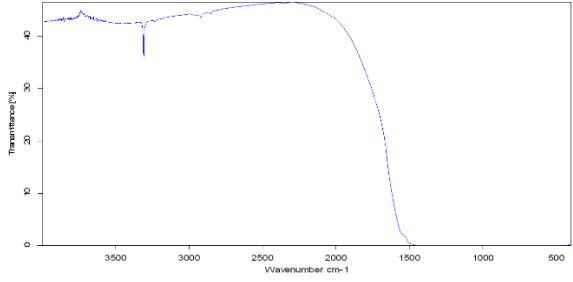
D:\J.nonthat@blue.sapphire.com\A C\* 611\JA TransD01\Spectrum Files\DS 04.0 DS 04 Instrument type and / or accessory 19/06/2019  
Page 1/1



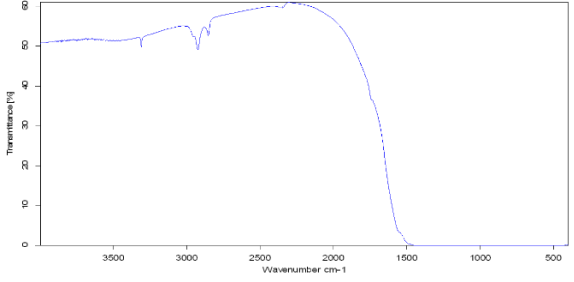
D:\J.nonthat@blue.sapphire.com\A C\* 611\JA TransD01\Spectrum Files\DS 05.0 DS 05 Instrument type and / or accessory 19/06/2019  
Page 1/1



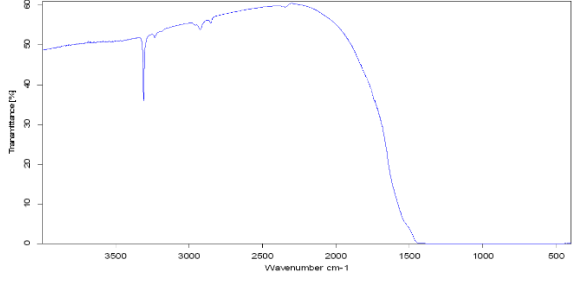
D:\J.nonthat@blue.sapphire.com\A C\* 611\JA TransD01\Spectrum Files\DS 06.0 @@@@-SMM- Instrument type and / or accessory 19/06/2019  
Page 1/1



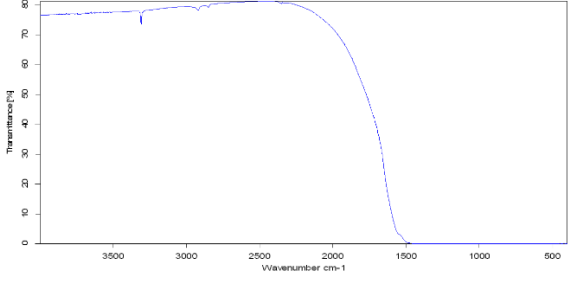
D:\J.nonthat@blue.sapphire.com\A C\* 611\JA TransD01\Spectrum Files\DS 07.0 DS 07 Instrument type and / or accessory 19/06/2019  
Page 1/1



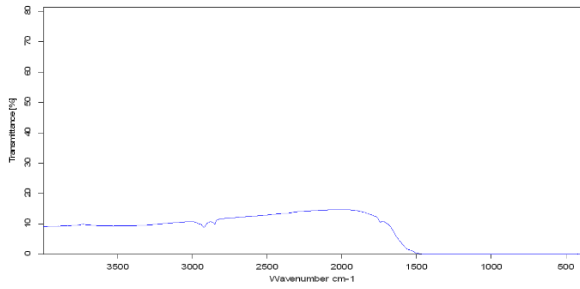
D:\J.nonthat@blue.sapphire.com\A C\* 611\JA TransD01\Spectrum Files\DS 08.0 @@@@-SMM- Instrument type and / or accessory 19/06/2019  
Page 1/1



D:\J.nonthat@blue.sapphire.com\A C\* 611\JA TransD01\Spectrum Files\DS 09.0 DS 09 Instrument type and / or accessory 19/06/2019  
Page 1/1

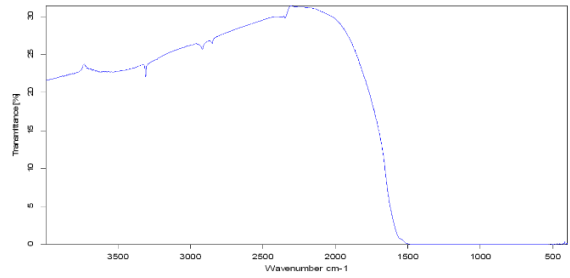


D:\J.nonthat@blue.sapphire.com\A C\* 611\JA TransD01\Spectrum Files\DS 10.0 DS 10 Instrument type and / or accessory 19/06/2019  
Page 1/1



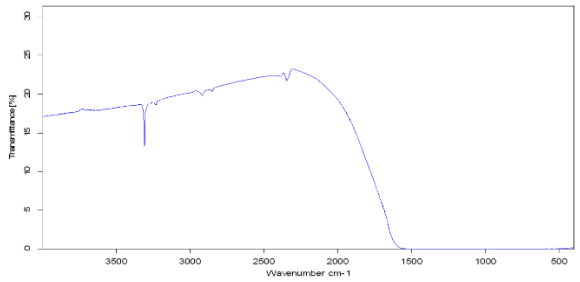
D:\J\natural\Blue Sapphire COFA C\* 61\J&A Trans\DS\Spectrum Files\DS 11.0 @@@@-SMM- Instrument type and / or access 18/06/2019

Page 1/1



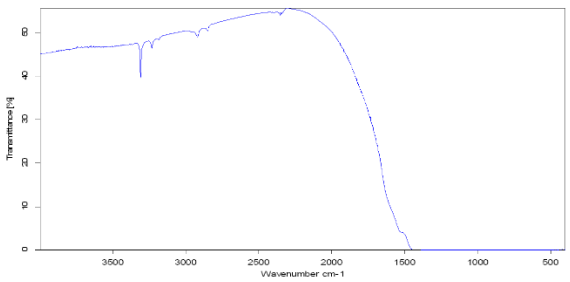
D:\J\natural\Blue Sapphire COFA C\* 61\J&A Trans\DS\Spectrum Files\DS 12.0 @@@@-SMM- Instrument type and / or access 18/06/2019

Page 1/1



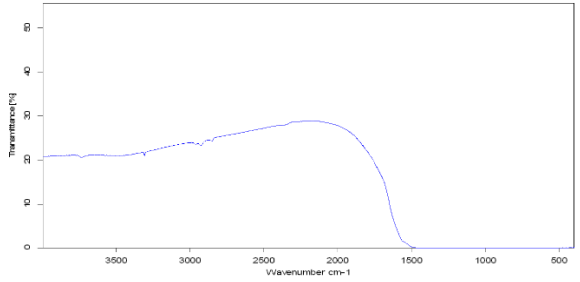
D:\J\natural\Blue Sapphire COFA C\* 61\J&A Trans\DS\Spectrum Files\DS 13.0 @@@@-SMM- Instrument type and / or access 18/06/2019

Page 1/1



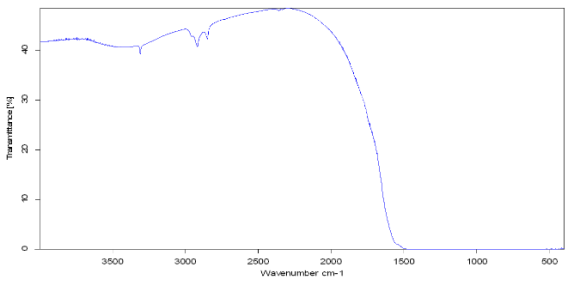
D:\J\natural\Blue Sapphire COFA C\* 61\J&A Trans\DS\Spectrum Files\DS 14.0 DS 14 Instrument type and / or accessory 18/06/2019

Page 1/1



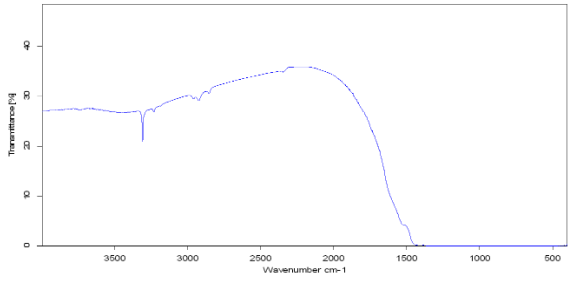
D:\J\natural\Blue Sapphire COFA C\* 61\J&A Trans\DS\Spectrum Files\DS 15.0 @@@@-SMM- Instrument type and / or access 18/06/2019

Page 1/1



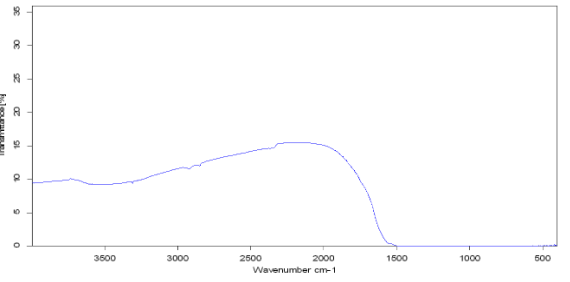
D:\J\natural\Blue Sapphire COFA C\* 61\J&A Trans\DS\Spectrum Files\DS 16.0 DS 16 Instrument type and / or accessory 18/06/2019

Page 1/1



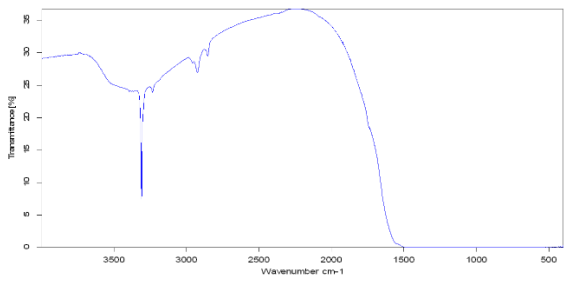
D:\J\natural\Blue Sapphire COFA C\* 61\J&A Trans\DS\Spectrum Files\DS 17.0 DS 17 Instrument type and / or accessory 18/06/2019

Page 1/1



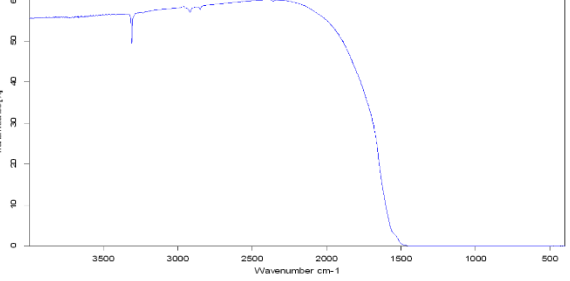
D:\J\natural\Blue Sapphire COFA C\* 61\J&A Trans\DS\Spectrum Files\DS 18.0 DS 18 Instrument type and / or accessory 18/06/2019

Page 1/1



D:\J\natural\Blue Sapphire COFA C\* 61\J&A Trans\DS\Spectrum Files\DS 19.0 DS 19 Instrument type and / or accessory 18/06/2019

Page 1/1



D:\J\natural\Blue Sapphire COFA C\* 61\J&A Trans\DS\Spectrum Files\DS 20.0 DS 20 Instrument type and / or accessory 18/06/2019

Page 1/1

## บทสรุปผู้บริหาร (Executive Summary)

ข้าพเจ้า ดร.นันทรัตน์ บุณนาค ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยบูรพา ประเภทงบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) มหาวิทยาลัยบูรพา โครงการวิจัย เรื่อง (ภาษาไทย) การวิเคราะห์เพื่อระบุแหล่งโพลินจากไทย ศรีลังกา ไนจีเรีย และมาดากัสการ์

(ภาษาอังกฤษ) Origin Identification of Blue Sapphire from Thailand, Sri Lanka, Nigeria and Madagascar

สัญญาเลขที่ 177/2561 ได้รับงบประมาณรวมทั้งสิ้น 310,000 บาท (สามแสนหนึ่งหมื่นบาทถ้วน) ระยะเวลาการดำเนินงาน 1 ปี 11 เดือน (ระหว่าง 1 ตุลาคม พ.ศ. 2561 ถึง 31 สิงหาคม พ.ศ.2562)

โพลินนั้นเป็นช่องทางอัญมณีของแร่คอร์รันดัมที่มีสีน้ำเงินมีแหล่งกำเนิดได้หลายแบบ ชนิดของ หินต้นกำเนิดที่แตกต่างกัน แสดงความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีของโพลินที่เป็นธาตุร่องรอย รวมถึงมลทินภายในที่เป็นแร่มลทินด้วย ดังนั้นการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Fe/Ti กับ Cr/Ga จึงถูกนำมาใช้ในการจำแนกแหล่งพลอย ดังนั้นการใช้ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนดังกล่าว ประกอบกับมลทินแร่ที่พบในโพลินจึงน่าจะสามารถใช้จำแนกโพลินจากไทย ศรีลังกา ไนจีเรีย และมาดากัสการ์ได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เครื่องมือพื้นฐานและเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูงในห้องปฏิบัติการ ตรวจสอบอัญมณีในการจำแนกโพลินจากประเทศไทย ศรีลังกา มาดากัสการ์ และไนจีเรียเนื่องจากในห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีทั่วไปในประเทศไทยไม่มีเครื่องมือที่ผลงานศึกษาวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารเชิงวิชาการใช้ในการจำแนกแหล่งอัญมณี

มลทินภายใน (inclusion) ที่สามารถใช้เป็นข้อบ่งชี้ในการจำแนกแหล่งได้ ได้แก่มลทินเส้นไหมสีน้ำตาลแดงที่มักพบเป็นลักษณะแผ่นแบนพบในตัวอย่างโพลินจากบางกะจะ มลทินลักษณะแกนกลางสีเหลืองพบได้ในตัวอย่างจากดิเอโก การวัดองค์ประกอบทางเคมีด้วย EDXRF พบว่าปริมาณ  $Cr_2O_3$  วัดได้ค่าต่ำกว่าขอบเขตของเครื่องมือ เมื่อนำมาหาค่าความสัมพันธ์ในสัดส่วน Cr/Ga จึงมีค่าเป็น 0 จึงหาค่าความสัมพันธ์  $Fe_2O_3/TiO_2$  พบว่าโพลินจากบางกะจะมีค่าสูงกว่าโพลินจากแหล่งอื่นที่ศึกษา และโพลินจากแหล่งศรีลังกามีค่าสัดส่วน  $Fe_2O_3/TiO_2$  น้อยที่สุดสอดคล้องกับลักษณะของแหล่งกำเนิด