



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาเทคโนโลยีของการเผาทับทิม และพลอยแซปไฟร์

โดย รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงศ์ ชนสุทธิพิทักษ์ และคณะ

กันยายน 2547

สัญญาเลขที่ RDG4550029

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาเทคโนโลยีของการเผาถับทิม และพลอยแซปไฟร์

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. รศ.ดร.ธีรพงศ์ ธนสุทธิพิทักษ์	ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2. ผศ.ดร.ปัญจวรรณ ธนสุทธิพิทักษ์	ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
3. นางสาว ศศิประภา ต่อขุนกุล (1 ต.ค. 2544 ถึง 30 ก.ย. 2546)	-
4. นางสาว จิรวดี พงศ์นิลภัทร์ (1 ต.ค. 2546 ถึง 30 ก.ย. 2547)	-

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยร่วมกับสำนักงาน
เศรษฐกิจอุตสาหกรรม

ชุดโครงการพัฒนาอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

(Executive Summary)

โครงการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาเทคโนโลยีของการเผาไหม้และพลอยแซปไฟร์” ได้รับทุนสนับสนุนจากแผนปรับโครงสร้างอุตสาหกรรม ระยะที่ 2 (โดยมีสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) เป็นหน่วยงานรับผิดชอบ) เป็นเงินสองล้านบาท ในระยะเวลา 36 เดือน ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2544 มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มคุณภาพพลอยตระกูลออร์นดัมจากประเทศมาดากัสการ์ด้วยความร้อนหรือการเผาตามหลักวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ทราบเงื่อนไขตั้งแต่ต้นที่จะบ่งชี้ว่าพลอยเม็ดหนึ่งๆ จะนำมาเผาแล้วได้ผลหรือไม่ โดยเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์เคมีกับลักษณะปรากฏทางกายภาพของพลอย และเพื่อทำคู่มือแนะนำขั้นตอนการเผาพลอยออร์นดัม

ตัวอย่างพลอยที่ใช้ในการวิจัยเป็นพลอยตระกูลออร์นดัมทั้งทับทิม และแซปไฟร์สีต่างๆ จากแหล่งพลอย 5 แหล่งของมาดากัสการ์ โดยทับทิมมาจาก 2 แหล่งทางตอนกลางด้านตะวันออกของประเทศ (Andilamena และ Vatomandry) รวม 461 เม็ด 462.36 กะรัต แซปไฟร์สีน้ำเงิน และน้ำเงินปนเหลืองมาจากแหล่งทางตอนเหนือ และตะวันออกเฉียงใต้ (Diego และ Andranondambo) รวม 147 เม็ด 146.04 กะรัต และแซปไฟร์หลากสีจากแหล่งทางตะวันตกเฉียงใต้ (Ilakaka) รวม 5,242 เม็ด 5,961.17 กะรัต โดยใช้วิธีการศึกษาดังนี้

1. ก่อนทดลองเผาตัวอย่างพลอยเหล่านี้ นำมาศึกษา / ตรวจวิเคราะห์ ลักษณะสมบัติทางกายภาพ สมบัติพื้นฐานทางอัญมณีวิทยา ตรวจวัดแถบการดูดกลืนแสง (absorption spectra) โดยเทคนิค UV-Vis-NIR Spectrometry ศึกษาแร่ธาตุในเนื้อพลอยด้วยเทคนิค SEM-EDX และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค electronprobe microanalysis (EPMA) ทั้งนี้ตัวอย่างพลอยที่มีขนาดโตพอจะนำมาตัดออกเป็น 2 ซีก เพื่อใช้เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงก่อนเผาและหลังเผา

2. ทดลองเผาโดยใช้เตา 3 ชนิดคือ เตาไฟฟ้า (ทำอุณหภูมิได้สูงสุด 1,850 °C) เตาน้ำมัน (ทำอุณหภูมิได้สูงสุด 1,650 °C) และเตาแก๊ส (ทำอุณหภูมิได้สูงสุด 1,900 °C) โดยใช้ข้อกำหนดต่างๆ

3. ตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างหลังการเผา โดยการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสี ลักษณะปรากฏ มลทินภายใน ความใส องค์ประกอบทางเคมี และแถบการดูดกลืนแสง

สรุปวิธีการศึกษาต่างๆ ต่อตัวอย่างพลอยแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตัวอย่างพลอย / แหล่ง		ทับทิม		แซปไฟร์สีน้ำเงิน		แซปไฟร์หลากสี จาก Ilk
		Anm	Vam	Dig	Anb	
ก่อนเผา	จำนวนตัวอย่าง / กระรัต	368 / 369.02	93 / 66.34	99 / 118.36	48 / 27.68	5,242 / 5961.17
	สมบัติพื้นฐาน	302	93	99	48	261
	UV-Vis-NIR Spectrum	195	53	77	30	234
	SEM-EDX มลทิน	24	7	2	-	2
	EPMA จำนวนตัวอย่าง/จำนวนวิเคราะห์ (Al, Si, Mg, Cr, Fe, Ti, Ga, V)	31 / 95	8 / 14	34 / 221	14 / 88	112 / 406
	ตัวอย่างที่ผ่าเป็นสองส่วน เพื่อ เปรียบเทียบ ก่อน/หลังเผา	40	16	-	-	29

การทดลองเผาพลอย		ครั้งที่	Anm	Vam	Dig	Anb	Ilk
		1	12	-	-	-	-
	เตาไฟฟ้า	2	10	10	-	-	20
		3, 4, 5	20	8	-	-	-
		6, 7, 8	20	8	-	-	-
		9	15	-	-	-	17
		10, 11, 12	7	-	-	-	25
		13	23	-	-	-	25
		14, 15	20	-	-	-	-
		16	13	-	-	-	-
		17	8	-	-	-	14
	เตาน้ำมัน	1	-	-	10	-	-
		2	-	-	-	-	8
		3	-	-	-	-	12
		4, 5	-	-	34	14	30
		6	-	-	2	1	21
		7	-	-	1	1	34
		8	-	-	9	6	23
	เตาแก๊ส	1	-	-	-	-	29
		2	-	-	-	-	50
		3	-	-	-	-	59
		4	-	-	-	-	78
		5	16	-	-	-	47

หลังเผา		Anm	Vam	Dig	Anb	Ilk
	การเปลี่ยนแปลงสี	ตรวจวัดทุกตัวอย่าง ทุกครั้งหลังเผา				
	+ UV-Vis-NIR					
	SEM-EDX	24	7	8	1	24
	EPMA					111
		30 / 139	8 / 16	34 / 275	14 / 103	/446

ผลการทดลองเผาพลอยคอร์ันดัมและตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างพลอยทั้งก่อนและหลังเผา สรุปได้ว่า

1. สีตั้งต้นของพลอยจะเป็นเครื่องบ่งชี้ดีที่สุดว่าควรเผาพลอยเพื่อให้เป็นสีอะไร กล่าวคือควรตั้งวัตถุดิบประสงค์ของการเผาเพื่อเพิ่มสี หรือลดสีเป็นสำคัญ

2. พลอยสีเขียว เขียวอมเหลือง หรือเหลืองอมเขียว อาจเผาเพื่อให้เปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงินก็ได้

3. พลอยดิบที่ไม่มีสี ถ้าเป็นพลอยห่ม่า กล่าวคือเนื้อพลอยแสดงลักษณะขุนขาว ขาวอมเหลือง หรือเหลืองน้ำตาล สามารถเผาให้เป็นสีฟ้าหรือน้ำเงินได้ง่าย ลักษณะห่ม่าหรือเนื้อขุนขาวจะสอดคล้องกับปริมาณ TiO_2 ซึ่งสัมพันธ์กับการแสดงสีน้ำเงิน

4. ถ้าสามารถควบคุมภาวะบรรยากาศในการเผาได้แน่นอน จะใช้เตาเผาชนิดใดก็ได้ที่สามารถทำอุณหภูมิได้สูงและเหมาะสม อย่างไรก็ตาม เตาแต่ละลูกควรใช้เผาในบรรยากาศแบบเดียวกันเท่านั้น กล่าวคือเตาไฟฟ้าเหมาะสำหรับเผาบรรยากาศออกซิโดซิงใช้กับทับทิม และแซปไฟร์สีชมพู ม่วง หรือเหลือง เตาน้ำมันเหมาะสำหรับเผาบรรยากาศรีดิวซิง ใช้เผาแซปไฟร์สีน้ำเงิน และเตาแก๊สเหมาะสำหรับเผาบรรยากาศออกซิโดซิง ใช้เผาแซปไฟร์สีเหลือง หรือเผาทับทิมให้หายขุน

5. ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จของการเผาพลอย ได้แก่

5.1 ปัจจัยตั้งต้น คือ องค์ประกอบของพลอย หรือปริมาณธาตุร่องรอย ที่สำคัญที่สุดสำหรับพลอยธรรมชาติคือ Cr ให้สีแดง / ชมพู Fe ให้สีเหลือง เขียว หรือน้ำเงิน (ร่วมกับ Ti) และ Ti ให้สีน้ำเงิน (ร่วมกับ Fe) ปริมาณและชนิดของมลทินในเนื้อพลอย รวมทั้งรอยแตกร้าวในพลอย (ส่วนใหญ่จะเป็นปัจจัยลบ)

5.2 อุณหภูมิสูงสุด และระยะเวลาขึ้นอุณหภูมิระหว่างเผา ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณธาตุร่องรอยที่ให้สี โดยทั่วไปพลอยที่มีปริมาณธาตุให้สีค่อนข้างสูง จะใช้อุณหภูมิ และเวลาในการเผาดำกว่าพลอยที่มีธาตุเหล่านี้น้อย

5.3 บรรยากาศในการเผา ซึ่งมีสองแบบคือ ออกซิไดซิง (ซึ่งเหมาะกับการเผาทั้งปฏิกิริยา และเผาไพโรไลซิส) และรีดิวซิง (ซึ่งเหมาะกับการเผาเผาไพโรไลซิส) ปริมาณ O_2 ในบรรยากาศเผา จะสัมพันธ์กับปริมาณธาตุให้สั อุณหภูมิ และระยะเวลาเผา

5.4 การเ็นตัวของพลอยหลังเผา เ็นตัวเร็วเหมาะสำหรับการเผาให้หายน้มน้ำ เ็นตัวช้าเหมาะกับการเผาให้สัเพิ่มขึ้น โดยไม่กังวลกับความใสของเนื้อพลอย

6. นอกจากการเปรียบเทียบสีโดยตรงก่อน และหลังเผา การวัด absorption spectrum แสดงการเปลี่ยนแปลงสีก่อน-หลังเผาได้ดีที่สุด

7. องค์ประกอบทางเคมีของพลอย ก่อนและหลังเผา ไม่แสดงความแตกต่างนี้มากนักทางสถิติ

8. แร่ผลึกในเนื้อพลอย แสดงการเปลี่ยนแปลงหลังการเผาอย่างชัดเจน

9. วิธีการเผาพลอยเชิงพาณิชย์ ควรเผาราวละหลายๆ เริ่มจากอุณหภูมิต่ำ และเวลาน้อยก่อนแล้วเลือกพลอยที่เผาได้แล้วออก ก่อนที่จะเพิ่มภาวะการเผาสูงขึ้นต่อไปเป็นขั้นๆ โดยควรคัดเลือกพลอยที่เผาได้ที่แล้วออกทุกครั้ง

10. วิธีการตรวจสอบลักษณะปรากฏของพลอยก่อนเผา ที่เหมาะสมที่สุดคือวิธีที่ผู้ประกอบการชาวไทยใช้ คือ ส่องดูด้วยไฟฉาย เพื่อพิจารณาการกระจายตัวของสี หมา มลทิน ร่องรอยต่างๆในเนื้อพลอย เพราะการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพลอย โดยไม่ทำให้พลอยเสียหาย จะทราบข้อมูลเฉพาะบริเวณพื้นผิวพลอย และที่สำคัญคือ ไม่คุ้มค่าใช้จ่าย

บทคัดย่อ

ตัวอย่างพลอยตระกูลคอร์นดัมที่ใช้ในการศึกษา เป็นพลอยก้อน (ยังไม่ได้เจียรไน) ที่ยังไม่ผ่านการเพิ่มคุณภาพด้วยวิธีการใดๆ (พลอยดิบ) จากแหล่งพลอยต่างๆ ของประเทศมาดากัสการ์ ประกอบด้วยทับทิมจากแหล่งแอนดิลามีน่า และวาโตแมนดรี แชนไพร์สีน้ำเงิน-เขียว-เหลือง จากแหล่งคิเอโก ชูอาเรช แชนไพร์สีน้ำเงินจากแหล่งแอนดราอนแดมโบ และแชนไพร์หลากสีจากแหล่งอิลากากา โดยศึกษาสมบัติพื้นฐานทางอัญมณีวิทยา และวัดแถบการดูดกลืนแสงของตัวอย่างรวม 803 ตัวอย่าง วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างรวม 201 ตัวอย่าง และทดลองเผารวม 339 ตัวอย่าง

ผลการศึกษา สรุปได้ว่า (1) สีและลักษณะปรากฏทางกายภาพของพลอยคอร์นดัม มีความสัมพันธ์โดยตรงกับชนิดและปริมาณธาตุร่องรอย โดยเฉพาะ Cr, Fe และ Ti (2) ลักษณะภายในเนื้อพลอยที่ปรากฏเป็นลักษณะขุนขาว ที่เรียกว่า “หม่า” มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณ Ti ในพลอย (3) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคขั้นสูง เพื่อประกอบการพิจารณาว่าตัวอย่างพลอยเม็ดใดจะเผาได้ผลหรือไม่ อย่างไร ไม่อาจเทียบได้กับภูมิปัญญาของผู้ประกอบการไทยที่ใช้เพียงกระบอกไฟฉายส่อง และแว่นขยายดูพลอย ทั้งในด้านความคุ้มค่า และความเหมาะสมในเชิงปฏิบัติ (4) การเผาเพื่อเพิ่มคุณภาพพลอยต้องพิจารณาปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อผลต่างๆ อย่างรอบคอบ เช่น สีหลัก/สีเดิมของพลอยดิบ ชนิดและปริมาณของมลทิน และรอยแตกร้าวในเนื้อพลอย และลักษณะภายในเนื้อพลอย เช่น หม่า เหลือบ และเชื้อสี เพื่อกำหนดวัตถุประสงค์ของการเผา และกรรมวิธีที่จะใช้ในการเผาพลอยแต่ละกลุ่ม (5) หลักการเผาพลอยที่ควรยึดเป็นแนวปฏิบัติ คือ เริ่มต้นเผาด้วยเงื่อนไขขั้นต่ำ (อุณหภูมิและเวลา) แล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยคัดเลือกพลอยที่เผาได้ที่แล้วออก ก่อนที่จะเริ่มขั้นต่อไป (6) พลอยหม่า เผาออกได้ง่ายที่สุด โดยใช้เตาน้ำมัน บรรยากาศแบบบริควิง และอุณหภูมิสูงสุดขั้นต่ำเพียง 1,450 °C ก็จะได้สีน้ำเงินสวย (7) การเผาทับทิมทำได้เฉพาะการเผาเพื่อลดสีสดแทรกอื่นๆ และ/หรือ เผาใส ควรใช้เตาไฟฟ้าในบรรยากาศออกซิไดส์ เริ่มตั้งแต่ 1,000 °C หรือ 1,200 °C (ในกรณีที่มีหม่า) หรือ 1,350 °C (สำหรับพลอยที่ไม่มีหม่า) โดยใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน ถึงนาน (3-5 ชั่วโมงขึ้นไป) ถ้าต้องการเผาใส อาจต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 1,800 °C หรือ 1,900 °C และให้พลอยเย็นตัวเร็ว (เผายก) (8) การเผาแชนไพร์ที่มีสีเดิมเป็นสีชมพู ส้ม หรือม่วง ควรใช้หลักการเกี่ยวกับการเผาทับทิม (9) การเผาแชนไพร์สีน้ำเงิน-เขียว-เหลืองในหลักการสามารถเผาเปลี่ยนสีไปมาได้ โดยเผาในภาวะรีดิวซิง หากต้องการสีสุดท้ายเป็นสีน้ำเงิน และใช้ภาวะออกซิไดส์ หากต้องการสีสุดท้ายเป็นสีเหลือง แต่การเปลี่ยนสีจะยากง่ายเพียงใด ขึ้นกับปริมาณของ Fe และ Ti ที่มีอยู่ในเนื้อพลอย ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ/เวลาที่เผา และความเข้มข้นของภาวะออกซิไดส์หรือรีดิวซิง (10) การเผาพลอยทุกครั้งต้องถือเสมือนเป็นการทดลองแต่ละครั้งผู้ที่ประสบความสำเร็จในการเผาพลอย ต้องช่างสังเกตและจดจำลักษณะปรากฏต่างๆ ของพลอยดิบ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังการเผาที่ภาวะต่างๆ แต่ละครั้ง

Abstract

Rough and unheated gem corundum samples from various gem fields of Madagascar were used in this study. The samples include ruby from Andilamena and Vatomandry, blue-green-yellow sapphire from Diego Suarez, blue sapphire from Andranondambo, and varied-coloured sapphire from Ilakaka. A total of 803 corundum samples were measured for basic gemmological properties and absorption spectrum using UV-Vis-NIR technique, 201 samples were analysed for major and trace element contents, and 339 samples were heat-treated.

It can be concluded from this study that (1) Colour and physical appearances of corundum are directly related to type and concentration of trace elements, especially Cr, Fe and Ti. (2) Milkiness or cloudiness in the gem samples reflect the distribution and concentration of Ti in the stone. (3) Advanced techniques of chemical analysis to help determining which samples are suitable for heat treatment and how, are not as effective as the much simpler technique using only a torch light and loupe or magnifying glasses employed by most Thai gem dealers, both in terms of cost effectiveness and practicality. (4) In conducting heat treatment of corundum, attention must be paid to all factors that might affect the stones, for examples, the original colour, type and amount of inclusions and fractures, and internal features/textures of the stones such as milkiness, silkiness, or coloured patches present. (5) In principle, the practical procedure recommended for heat treatment of gemstone is to start with minimum heating conditions (esp. temperature and soaking time) and extract the stones that response satisfactorily to the treatment before reheating with stronger setting step-by-step. (6) Stones with cloudy/milky appearances (Geuda) are the best responsive to heat treatment. Heating in an oil furnace under reducing condition up to 1,450 °C will produce nice blue stones. (7) Ruby should be heat-treated to get rid of other interference colours, i.e. blue, violet, or brownish tints, or to increase clarity, using electric furnace under oxidizing condition starting at 1,000 °C or 1,200 °C (if the stones are cloudy) or at 1,350 °C (if the stones are clear), for a long soaking time (at least 3–5 hours). If heating to enhance clarity the maximum temperature may be as high as 1,800-1,900 °C and rapid cooling. (8) Heating sapphires of pink, orange, purple, or violet colours is similar to heating ruby. (9) Heating sapphire of blue-green-yellow suite can be aimed at getting any shade of colour between blue and yellow. If blue is the colour wanted, the stones should be heated under reducing conditions. On the other hand oxidizing conditions are favoured for heating of yellow sapphire. The ease or difficulty in getting the blue or yellow depend on the amount and proportion of Fe and Ti contents, temperature and soaking time, and the intensity of oxidizing or reducing conditions during heating. (10) Each heat treatment should be

considered a separated scientific experiment. Successful heat treaters should be very observant especially regarding the physical appearances of the stones before heating and the changes thereafter in correspondent which each heating conditions used.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย โครงการ “การพัฒนาเทคโนโลยีการเผาไหม้และแชปไฟร์” ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และกระทรวงอุตสาหกรรม โดยสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม ในส่วนที่ดูแลรับผิดชอบ ‘แผนปรับโครงสร้างอุตสาหกรรม’ ที่ให้ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยนี้ ขอขอบคุณ สาขาวิชาอัญมณีวิทยา ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ทำงานวิจัย ขอขอบคุณเครือข่ายการวิจัย (CRN) สาขาอัญมณีและเครื่องประดับ และโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมไทย ในโครงการหลักสูตรดุษฎีบัณฑิต ร่วมกับมหาวิทยาลัยต่างประเทศ สาขาวิชาธรณีวิทยา ที่สนับสนุนงบประมาณในการเดินทางไปปฏิบัติงานวิจัย (เพื่อวิเคราะห์ตัวอย่างพลอยด้วยเทคนิคขั้นสูง) ณ ต่างประเทศ

ขอขอบคุณคณะผู้ทรงคุณวุฒิ (ดร.ไพยม อรรถกานนท์ รศ.ดร. ชัยยุทธ จันทร์ปราบ คุณรัก หรรษาเวก และรศ. สุวิน บุศราคำ) ที่เสนอแนะและให้ข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ ขอขอบคุณที่ปรึกษาโครงการวิจัย คุณประจักษ์ อังคะหิรัญ และคุณอนุภาพ ชินอุดมพงศ์ ที่ให้ข้อเสนอแนะและคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งเกี่ยวกับการตรวจสอบลักษณะปรากฏทางกายภาพของพลอยก่อน เทคนิคและกรรมวิธีเกี่ยวกับเตาเผาและขั้นตอนการเผาพลอยชนิดต่างๆ และขอขอบคุณบุคคลต่างๆต่อไปนี้

ศ.ดร. ทวีป สิริรัศมี และคุณสุกกร ลิมคุณธรรมโม จากสำนักงานประสานงานชุดโครงการพัฒนาอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ที่ช่วยประสานงานและแนะนำข้อปฏิบัติในงานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณวิลาวัลย์ อดิชาติ จากกรมทรัพยากรธรณี และรศ.ดร. กาญจนา ชูวงศ์ จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่อำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ห่มลทินด้วยเทคนิค Raman spectroscopy

Dr. John William Gaskart จาก University of Birmingham, UK. Dr. Chris J Stanley, Dr. Terry Williams และ Mr. John Spratt จาก Department of Mineralogy, Natural History Museum, London, UK ที่อำนวยความสะดวกและให้คำปรึกษา แนะนำระหว่างการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการทางเคมีในสหราชอาณาจักร

Prof. Tang Seung Mun จาก National University of Singapore และ Mr. Tay Thye Sun จาก Far East Gemological Laboratory ประเทศสิงคโปร์ ที่อำนวยความสะดวกและให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ระหว่างการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการทางเคมีด้วยเทคนิค PIXE

นักศึกษบัณฑิตทั้งระดับมหาบัณฑิตและดุษฎีบัณฑิต จากภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประกอบด้วย คุณสุรินทร์ อินทะยศ คุณสุทัส สิงห์บำรุง คุณยงยุทธ ชันแก้ว คุณกอบกาญจน์ เพชรภู่ คุณนันทรัตน์ บุนนาค และคุณภาวดี วรวิทย์รัตนกุล ที่ช่วยเหลือและดำเนินงานต่างๆ เกี่ยวกับโครงการวิจัยนี้ ตั้งแต่การเตรียมตัวอย่าง การวิเคราะห์ การทดลองเผา และการจัดทำรายงานการวิจัยในวาระต่างๆ

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
1. บทนำ	1
1.1 คำนำ	1
1.2 สถานภาพปัจจุบันของเทคโนโลยีการเผาผลาย	2
1.3 หลักการ	4
1.4 วัตถุประสงค์	6
1.5 ขอบเขตการวิจัย	6
2. วิธีการวิจัยและผลการศึกษา	8
2.1 ตัวอย่างพลอย	8
2.2 ธรณีวิทยาแหล่งพลอยคอร์ันดัมของประเทศมาดากัสการ์	8
(1) แหล่งพลอยทางตอนเหนือของประเทศ	8
(2) แหล่งพลอยทางตอนกลางของประเทศ	15
- แหล่ง Andilamena	17
- แหล่ง Vatomandry	17
(3) แหล่งพลอยทางตอนใต้ของประเทศ	17
- แหล่ง Andranondambo	19
- แหล่ง Ilakaka	20
2.3 วิธีการที่ใช้ในการศึกษา	21
(1) การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติพื้นฐานทางอัญมณีวิทยา	21
(2) การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์โดยเครื่องมือขั้นสูง	39
ก. ตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Vis-NIR spectrophotometer	39
ข. ตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี	41
ข.1 การวิเคราะห์ชุดแรก	41
ข.2 การวิเคราะห์ชุดที่สอง	46
ค. ตัวอย่างสำหรับตรวจวิเคราะห์มลทินภายในเนื้อพลอย	48

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2. วิธีการวิจัยและผลการศึกษา (ต่อ)

2.4 ผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างพลอยโดยเครื่องมือขั้นสูง ก่อนทดลองเผา	49
(1) การตรวจวัด absorption spectrum โดยเทคนิค UV-Vis-NIR	49
ก. Absorption spectrum ของทับทิม	49
ก.1 จากแหล่ง Andilamena	49
ก.2 จากแหล่ง Vatomandry	53
ข. Absorption spectrum ของแซปไฟร์สีน้ำเงิน	53
ข.1 จากแหล่ง Diego Suarez	53
ข.2 จากแหล่ง Andranondambo	53
ค. Absorption spectrum ของ varied-coloured sapphires จากแหล่ง Ilakaka	60
(2) ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี	70
ก. ภาพรวม	70
ข. ผลการวิเคราะห์	72
- สรุปการประมวลผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอย ในตัวอย่างพลอย	
คอร์ันดัมจากแหล่งต่างๆ ของมาดากัสการ์ ก่อนการทดลองเผา	72
- สรุปการประมวลผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอย ในตัวอย่างพลอย	
คอร์ันดัมจากแหล่งต่างๆ ของมาดากัสการ์ หลังการทดลองเผา	80
- การเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ก่อนและหลังการทดลองเผา	85
(3) ผลการวิเคราะห์มลทิน	89

3. การเผาพลอย 102

3.1 คำนำ	102
3.2 วัตถุประสงค์ของการเผาพลอย	103
3.3 อุปกรณ์ในการเผาพลอย	103
3.4 ตัวแปรหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเผาพลอย	104
3.5 เทคนิคการเผาพลอยคอร์ันดัม	105
(1) การเผาเพิ่มสี	106
(2) การเผาลดสี	107
(3) การเผาใส	107

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. การเผาผลาย (ต่อ)	
3.6 เตาที่ใช้ในการเผาผลาย	108
3.7 การทดลองใช้เตาเผาผลาย	109
3.8 การทดลองเผาด้วยเตาไฟฟ้า	116
3.9 การทดลองเผาด้วยเตาน้ำมัน	131
3.10 การทดลองเผาด้วยเตาแก๊ส	146
3.11 การตรวจวัด absorption spectrum ของตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมหลังการทดลองเผา	167
4. สรุปและวิจารณ์ผล	185
4.1 ภาพรวม	185
4.2 ผลการศึกษาสมบัติพื้นฐานทางอัญมณีวิทยาของตัวอย่างพลอย	186
4.3 ผลการศึกษามลทินในเนื้อพลอย	186
4.4 ผลการศึกษา absorption spectrum	187
4.5 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี	187
4.6 การเปรียบเทียบลักษณะปรากฏทางกายภาพของพลอยกับสมบัติทางกายภาพ ทางแสงและทางเคมีที่ตรวจวัดได้โดยเครื่องมือวิทยาศาสตร์	189
4.7 ผลการทดลองเผาผลาย	203
(1) ข้อเท็จจริง	203
(2) หลักการเบื้องต้นของการเผาผลาย	204
(3) พิจารณาปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้อง	204
(4) การพิจารณาเลือกกรรมวิธีเผาผลาย	207
(5) สรุป	208
บรรณานุกรม	210

1. บทนำ

1.1 คำนำ

พลอย โดยเฉพาะพลอยตระกูลคอร์นดัม ซึ่งได้แก่ ทับทิมและแซปไฟร์ เป็นวัตถุดิบที่สำคัญยิ่งของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมส่งออกมูลค่าสูงที่ติดอันดับในสิบอันดับแรกของสินค้าส่งออกมูลค่าสูงสุดของไทยต่อเนื่องกันตลอดมา ปัจจุบัน พลอยดิบซึ่งผลิตได้จากแหล่งภายในประเทศลดน้อยลงมาก ไทยต้องนำเข้าพลอยจากแหล่งนอกประเทศเกือบทั้งหมด เพื่อป้อนอุตสาหกรรมดังกล่าว แหล่งพลอยต่างประเทศที่สำคัญมากแหล่งหนึ่งในระยะสิบกว่าปีที่ผ่านมา และปัจจุบันได้ทวีความสำคัญขึ้นล้าหน้าแหล่งพลอยอื่นๆ คือ แหล่งพลอยของประเทศมาดากัสการ์

ในช่วงที่มีการค้นพบแหล่งพลอยใหม่ๆ ตอนต้นคริสต์ศตวรรษที่ 21 เคยมีผู้ประกอบการอัญมณีของไทยเดินทางเข้าไปหมุนเวียนซื้อพลอยดิบในมาดากัสการ์ประมาณ 600 คน มีบริษัทคนไทยได้รับสัมปทานทำเหมืองพลอยขนาดใหญ่ในมาดากัสการ์ไม่ต่ำกว่า 6 บริษัท ประมาณกันว่าผู้ประกอบการไทยใช้เงินซื้อพลอยในประเทศนี้ราว 200-300 ล้านบาทต่อเดือน และประมาณร้อยละ 80 ของพลอยที่ซื้อขายกันในมาดากัสการ์ ถูกส่งมาเพิ่มมูลค่าและเจียรไนในประเทศไทย อาจกล่าวได้ว่า อนาคตของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของไทย โดยเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวกับวัตถุดิบอัญมณี การเพิ่มคุณภาพและการเจียรไนจะขึ้นอยู่กับอุปทานของพลอยดิบจากมาดากัสการ์เป็นสำคัญ ไปจนกว่าผลผลิตจากประเทศนี้จะลดน้อยลง

พลอยดิบจากมาดากัสการ์ ส่วนใหญ่ต้องนำมาเผาหรือเพิ่มคุณภาพด้วยความร้อน พลอยก้อนจากเหมืองที่คุณภาพดีพอที่จะนำไปเจียรไนได้โดยไม่ต้องเผามีเพียงไม่ถึงร้อยละ 5 Schwarz and others (2000) ระบุว่า ผลผลิตจากเหมืองพลอยแห่งหนึ่งทางตอนเหนือของมาดากัสการ์ (Ambondromifehy area) ซึ่งพลอยแซปไฟร์มีกำเนิดสัมพันธ์กับหิน alkali basalts (คล้ายคลึงกับแหล่งคอร์นดัมของไทย กัมพูชา ลาว และออสเตรเลียตะวันออก) ไม่มีพลอยดิบคุณภาพดีพอที่จะนำไปเจียรไนได้โดยตรงโดยไม่ต้องเผาละเลยมีพลอยที่คัดเลือกเพื่อนำไปเผาได้เพียงประมาณร้อยละ 17 โดยบางส่วนต้องเผาซ้ำถึง 10 ครั้ง เน้นอน รายงานมิได้ระบุรายละเอียดวิธีการเผาพลอย แต่ปรากฏว่า จากพลอยดิบทั้งหมดที่เผามีเพียงร้อยละ 20 เท่านั้นที่เผาแล้วใช้ได้ สรุปแล้วจากพลอยดิบทั้งหมดที่ทำเหมืองได้ มีพลอยที่เผาได้ผลนำไปเจียรไนเป็นอัญมณี เพียงร้อยละ 3.6 หากสามารถพัฒนาวิธีการเพิ่มคุณภาพพลอยให้ได้ผลเพิ่มขึ้น ย่อมส่งผลให้มีวัตถุดิบคุณภาพดี ป้อนอุตสาหกรรมมากกว่าที่เป็นอยู่ และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจย่อมเพิ่มขึ้นไปด้วยเป็นทวีคูณ

1.2 สถานภาพปัจจุบันของเทคโนโลยีการเผาพลอย

การเพิ่มคุณภาพพลอยด้วยความร้อนหรือการเผาพลอย ทำกันมานานหลายศตวรรษแล้ว ทั้งในอินเดีย กลุ่มประเทศอาหรับโดยเฉพาะอียิปต์ และในยุโรป ปัจจุบันเป็นวิธีการเพิ่มคุณภาพพลอยที่ยอมรับกันในการธุรกิจอัญมณีทั่วโลก เพราะให้ผลที่คงทนถาวรและไม่เป็นอันตรายใดๆ ต่อผู้ใช้ แม้ว่าทุกวันนี้ นักเผาพลอยชาวไทยจะมีชื่อเสียงหรือฝีมือทางด้านนี้มากกว่าชนชาติอื่นๆ (ยังไม่มีเคยมีข้อมูลที่ต้องแท้จริงว่าสัดส่วนของการเผาพลอยที่สำเร็จได้ผลดีกับที่เสียหายไป ในการเผาพลอยของไทยเป็นอย่างไร) แต่หลักการของเทคโนโลยีการเผาพลอย ก็เป็นที่ทราบกันทั่วไป มีตำราตีพิมพ์เผยแพร่เกี่ยวกับเทคนิคด้านนี้โดยเฉพาะหลายเล่ม เช่น Nassau (1984a; 1994), Themelis (1992; 2003) และมีบทความวิชาการ หรือผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มคุณภาพพลอยด้วยความร้อนตีพิมพ์เผยแพร่อยู่เสมอๆ เช่น Pisutha-Arnon and others (2004), Emmett and others (2003), Peretti and others (2003), McClure (2002), McClure and others (2002; 1993), Moses and others (2002), Peretti and Günther (2002), Qi and others (2002), Wang and Green (2002), Häger (2001), Emmett (1999), Nassau (1999), Emmett and Douthit (1993), Scarratt (1983), Schmetzer and others (1983), Abraham (1982) และ Crowningshield and Nassau (1981) ดูเหมือนว่าก่อนจะเริ่มทศวรรษ 1980s พลอยทุกประเภทและทุกชนิดที่มนุษย์รู้จักได้ถูกทดลองเผาแล้วทั้งสิ้น เพื่อดูว่าความร้อนจะช่วยปรับปรุงคุณภาพพลอยนั้น ๆ ได้บ้างหรือไม่ (McClure and Smith, 2000) วิธีการ โดยเฉพาะเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในสมัยนั้น และที่ใช้ในปัจจุบัน แม้ดูออกจะพื้นๆ หรือไม่สู้ “ไฮเทค” มากมายนักเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีของทุกวันนี้ แต่ก็ให้ผลลัพธ์ค่อนข้างดี

ในประเทศไทย มีผู้สนใจ และพยายามค้นหาวิธีการเผาพลอยเพื่อผลตอบแทนเชิงพาณิชย์มานานแล้วเช่นกัน กล่าวกันว่า อาจเริ่มทำกันตั้งแต่มีการขุดพลอยในประเทศก็เป็นได้ แต่ที่มีหลักฐานกล่าวถึงเป็นลายลักษณ์อักษรครั้งแรก น่าจะได้แก่บทความของ Ulrich Guhler (อ้างใน Themelis, 1992) เรื่อง Studies of Precious Stones in Siam ซึ่งตีพิมพ์ใน Siam Science Bulletin ปี 2490 มีข้อความระบุถึงผลของความร้อนต่อสีของพลอยทับทิม ส่วนการเผาพลอยโดยใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูงอย่างในปัจจุบันน่าจะทำได้กันอย่างแท้จริงเอาตั้งแต่ในราวปี พ.ศ. 2500 ประจวบกับช่วงระยะเวลาที่ผู้ประกอบการอัญมณีไทยเริ่มนำพลอยหมา (Geuda) จากศรีลังกาเข้ามาเผาเป็นผลสำเร็จ อย่างไรก็ตาม ผู้ที่ประสบความสำเร็จที่แท้จริงในการเผาพลอย มักเป็นผู้ที่ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ในขั้นพื้นฐานเป็นอย่างน้อย กล่าวคือ ต้องช่างสังเกต (observe) และจดจำบันทึกไว้ว่าพลอยลักษณะ (physical properties/appearances) เช่นใด ต้องนำมาเผาอย่างไร (ชนิดของเตา / เชื้อเพลิง อุณหภูมิ และระยะเวลา) จึงจะให้ผลตามต้องการ จัดว่าเป็น scientific experiments ได้ เพียงแต่ผลของการทดลองเหล่านั้น นิยมเก็บไว้เป็นความลับ (เพราะเป็นความรู้ที่อาจทำเงินให้ได้มหาศาล) แทนที่จะตีพิมพ์เผยแพร่อย่างที่นักวิชาการนิยมทำกัน เป็นเหตุให้ขาดพัฒนาการตามหลักวิชา ซึ่งน่าจะส่งผลให้เทคโนโลยีการเผาพลอยของไทย สามารถนำไปประยุกต์ได้

กว้างขวาง และลดความสูญเสียลงได้มากกว่าที่เป็นอยู่ ด้วยเหตุนี้ จึงมีความพยายามที่จะนำวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเข้ามาพัฒนาคุณภาพอัญมณี โดยชักชวนให้นักวิชาการหันมาให้ความสนใจอย่างจริงจัง (โพยม อรรถยุกานนท์ และคณะ, 2521 ; 2529) ทำให้เริ่มมีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการเพิ่มคุณภาพอัญมณีไม่ว่าจะโดยการอบรังสี โดยนักวิทยาศาสตร์ของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (ชาญชัย อัสววินิจกุลชัย และคณะ, 2529 ; วัลลภ บุญคง, 2543 ; วัลลภ บุญคง และคณะ, 2533) หรือโดยการใช้ความร้อน ตามหน่วยงานต่าง ๆ เช่น กรมทรัพยากรธรณี (รัก หรรษาเวก, 2531 ; รัก หรรษาเวก และกฤตยา ปัทมลัย, 2539), กรมวิทยาศาสตร์บริการ (วรุณี ถิรมงคล, 2535 ; Thiramongkol, 1995) ในขณะเดียวกันหน่วยงานที่สนับสนุนการวิจัยก็เริ่มหันมาให้ทุนวิจัยทางด้านนี้ด้วย เช่น สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (พิเชษฐ ลิมสุวรรณ และคณะ, 2535), ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (ปิญโญ มีจันทร์, 2534) จนกระทั่งชุดโครงการวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ให้การสนับสนุนอย่างจริงจัง (พงศ์ทิพย์ วิโนทัย และคณะ, 2541 ; พิเชษฐ ลิมสุวรรณ และคณะ, 2541 ; สุชาติพิทย์ ศิริไพศาลพิพัฒน์ และคณะ, 2541)

อย่างไรก็ตาม ผลของการค้นคว้าวิจัยเหล่านี้ ยังไม่สามารถให้คำตอบที่ชัดเจนมากนัก หรืออาจกล่าวได้ว่าไม่สู้แตกต่างจากข้อมูลที่ปรากฏอยู่แล้ว (เช่น Nassau, 1984a ; 1994) นักเผาพลอยอาชีพบางรายยังอาจมีเทคนิคที่ดีกว่า เพียงแต่ไม่มีข้อมูลการวัดเชิงปริมาณ เช่น ส่วนประกอบทางเคมีของพลอยสเปกตรัมการดูดกลืนแสง หรืออื่นๆ เพราะนักเผาพลอยเหล่านั้น ไม่มีหรือขาดโอกาสที่จะใช้เครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง ราคาแพงๆ อย่างที่นักวิจัยมี สรุปลแล้ว เรายังบอกไม่ได้ว่า พลอยเม็ดหนึ่งๆ จะเผาได้ผลหรือไม่เพราะเหตุใด ? คำตอบเหล่านี้ บางข้อนักเผาพลอยอาชีพของไทย สามารถตอบได้ทุกครั้ง แม้คำตอบจะไม่สู้เป็นวิทยาศาสตร์นัก ปัญหาก็คือ นักวิจัยซึ่งเป็นนักวิชาการจะตอบได้หรือไม่ ?

ในขณะที่นักวิจัยยังคงพยายามค้นหาคำตอบเหล่านั้นอยู่ นักเผาพลอยอาชีพของไทย ก็ได้พัฒนาเทคโนโลยีของตนล้ำหน้าไปเรื่อยๆ ปรากฏการณ์ที่สร้างความตื่นเต้น และต่อมาได้ส่งผลกระทบต่อคนข้างรุนแรงต่อตลาดพลอยสีของโลก จากฝีมือของนักเผาพลอยอาชีพของไทย ก็คือ การผลิตพลอยคอรัณดัมสีส้มและสีส้มอมชมพูที่เทียบเคียงได้กับพลอย Padparadscha ออกสู่ตลาด นักเผาพลอยกลุ่มแรกที่พัฒนาเทคนิคการเผาพลอยคอรัณดัม “วิธีใหม่” เป็นผลสำเร็จ เป็นผู้ประกอบการชาวจันทบุรี สามารถผลิตพลอยคอรัณดัมสีส้มและสีส้มอมชมพูได้ตั้งแต่วาดันปี 2544 ต่อมาเมื่อมีผู้สืบทราบเคล็ดลับมากขึ้น ผลผลิตพลอยสีส้มดังกล่าว ออกสู่ตลาดโลกทวีคูณขึ้นเรื่อย จนตลาดพลอยตื่นตัว เมื่อประมาณต้นปี 2545 บังเอิญมีพลอยที่แสดงลักษณะสีส้มเข้มกระจายไม่ทั่วทั้งเม็ด กล่าวคือ บริเวณแกนกลางยังคงมีสีอ่อนอยู่ ห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณี โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกาเริ่มมีความสงสัยว่าจะมีการเผาโดยใช้สารให้สีทำนองเดียวกับพลอยชานสี (colour-diffused sapphire) ซึ่งนิยมทำกับพลอยไพลิน (blue sapphire) หรือไม่ มีความพยายามวิเคราะห์ส่วนต่างๆ ของพลอยตั้งแต่ขอบลงไปจนถึงแกนกลางที่แสดงสีและความเข้มของสีต่างกัน จนในที่สุด ต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง และเทคนิคที่สามารถตรวจวัดธาตุเบาได้

เช่น SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry) และ LA-ICP-MS (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) จึงพบว่า การกระจายตัวของสสารสัมพันธ์กับปริมาณธาตุ beryllium (Be) ซึ่งไม่น่าจะมีอยู่เดิมในเนื้อพลอย ต่อมาจึงมีการเปิดเผยว่า เทคนิคการเผาพลอย “วิธีใหม่” ดังกล่าว เผาพลอยคอร์นดัมร่วมกับแร่ chrysoberyl (BeAl_2O_4) ซึ่งเป็นแร่ที่พบเกิดอยู่ร่วมกับ (associated mineral) พลอยคอร์นดัมในแหล่ง Ilakaka ของประเทศมาดากัสการ์อยู่เสมอ ธาตุ Be จากแร่ chrysoberyl อาจแพร่ซึมเข้าไปในเนื้อพลอยคอร์นดัม ส่งผลให้พลอยแสดงสีดีขึ้น แต่บทบาทของ Be ที่แท้จริงยังคงเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ นักวิจัยที่ได้ทดลองเผาพลอยโดย “วิธีใหม่” หรือที่ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้ยังมีความเห็นต่างกันไป (Pisutha-Arnond and others, 2004 ; Emmett and others, 2003 ; Peretti and others, 2003 ; Themelis, 2003 ; Hänni, 2002 ; Peretti and Günther, 2002 ; Proust, 2002)

จะเห็นได้ว่า การศึกษาวิจัยกลไกการเกิดสีในพลอย และเทคโนโลยีการเผาพลอยให้เข้าใจถ่องแท้ และสามารถอธิบายได้อย่างชัดเจน จะมีส่วนช่วยให้การเพิ่มคุณภาพอัญมณีด้วยความร้อนได้ผลดียิ่งขึ้น ในขณะเดียวกัน จะสามารถอธิบายและตอบข้อสงสัยได้อย่างสมเหตุสมผล เป็นการคุ้มครองผู้บริโภคและผู้ผลิตทั้งสองฝ่ายได้ในคราวเดียวกัน

1.3 หลักการ

การเผาพลอยคอร์นดัม โดยทั่วไป มีวัตถุประสงค์หลักสามประการ คือ (1) เพื่อเพิ่มหรือลดสี ให้พลอยสวยงามขึ้น, (2) เพื่อเพิ่มความใส หรือลดความขุ่นมัว เนื่องจากมลทินภายในเนื้อพลอย, และ (3) เพื่อประสานรอยแตกร้าวในเนื้อพลอย

การศึกษาในโครงการวิจัยนี้ จะเน้นเพียงสองประการแรก และยังมีได้ทำการเผาพร้อมกับแร่ chrysoberyl แต่อย่างไร

ตัวแปรที่สำคัญในการเผาพลอยมีสี่ประการ คือ

- (1) เคมีของพลอย หมายถึง ส่วนประกอบที่มีอยู่เดิมในเนื้อพลอย โดยเฉพาะบรรดาธาตุร่องรอย (trace elements) หรือมลทิน (inclusions) ที่อาจส่งผลต่อการแสดงสีของพลอย ที่สำคัญได้แก่ บรรดาโลหะทรานซิชัน แรกแรก ตั้งแต่ Ti ถึง Cu
- (2) อุณหภูมิที่ใช้เผา
- (3) ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา และ
- (4) ภาวะแวดล้อมของการเผา : oxidizing หรือ reducing

ตัวแปรอื่นๆ เช่น อัตราการเพิ่มอุณหภูมิในแต่ละช่วง, อัตราการเย็นตัวของพลอยหลังเผา, ความดันบรรยากาศ อาจมีอิทธิพลบ้างในบางกรณี

ความสำเร็จของการเผาพลอย ขึ้นอยู่กับเงื่อนไข และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักทั้งสี่ข้างต้น โดยตัวแปรตัวแรกจะมีความสำคัญสูงสุดเพราะเป็นเงื่อนไขตั้งต้น กล่าวคือ สำหรับพลอยคอร์รันดัม หากเป็นพลอยบริสุทธิ์จริงๆ ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 100.00\%$) ย่อมใส ไม่มีสี ไม่ว่าจะเผาภายใต้เงื่อนไขใดๆ (วงการพลอยเรียกว่า ไม่มีเชื้อ) ยกเว้นจะใช้วิธีเผาผ่านสี (diffusion) หรือเคลือบสี (coating) หรือทำให้โครงสร้างผลึกภายในชำรุดเสียหายจนอาจทำให้พลอยแสดงสีในทำนองเดียวกับผลของการอาบรังสี (เกิด colour centre) แต่หากเป็นพลอยที่มีเชื้อ คือมีธาตุโลหะทรานซิชัน ที่ทำให้คอร์รันดัมแสดงสีปนอยู่ด้วย เช่น Ti, V, Cr, Fe การเผาภายใต้เงื่อนไขและความสัมพันธ์ของตัวแปรอีกสามตัวที่เหลือที่ถูกต้องเหมาะสม ย่อมส่งผลให้พลอยแสดงสีสวยขึ้นได้ ทั้งนี้ต้องทำความเข้าใจให้อ่างแท้งว่า สาเหตุของการเกิดสีในพลอยมีอะไรบ้าง และเงื่อนไขเป็นอย่างไร ซึ่งสามารถศึกษาได้จาก Nassau (1983 ; 2001), Fritsch and Rossman (1987 ; 1988a ; 1988b)

ตัวแปรตัวแรก คือ เคมีของพลอยนี้ นักเผาพลอยมืออาชีพที่ประสบความสำเร็จ อาศัยประสบการณ์และการสังเกต สามารถจำแนกได้ว่าพลอยเม็ดนี้ เผาได้ผลหรือไม่ ? ถ้าได้จะต้องเผายังไง ? โดยไม่ต้องส่งพลอยไปวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี นี่คือข้อได้เปรียบของนักเผาพลอยไทยเมื่อเทียบกับต่างชาติ เพราะนอกจากจะกล้าเสี่ยง (กล้าได้กล้าเสีย) มากกว่าแล้ว ยังดูพลอยเก่งกว่าด้วย ในขณะที่ต่างชาติอาจมีเทคโนโลยีและเครื่องมืออุปกรณ์ขั้นสูง แต่มีข้อเสียเปรียบ คือต้องวิเคราะห์พลอยโดยไม่ทำให้เสียหาย การใช้เทคนิควิเคราะห์แบบ EDXRF รังสีเอกซ์ที่ใช้ไม่เข้มข้นจนทำให้พลอยอาจเปลี่ยนสีระหว่างวิเคราะห์ (เหมือนการอาบรังสี) แต่รังสีก็ทะลุทะลวงผิวพลอยลงไปเล็กน้อยเท่านั้น ผลวิเคราะห์จึง represent เพียงผิวนอกสุดของพลอยเท่านั้น ถ้าพลอยเม็ดนั้น homogeneous และค่อนข้างใส ก็อาจพออนุมานว่า ผลวิเคราะห์ represent ส่วนประกอบของทั้งเม็ดได้ แต่ธรรมชาติของพลอยที่ homogeneous และใสค่อนข้างหายาก (ถ้าเป็นก็มักไม่ต้องนำมาเผาอยู่แล้ว) ต่อเมื่อมีเทคโนโลยีการวิเคราะห์ที่ non-damaging และให้ค่าปริมาณที่มีอยู่ตลอดทั้งเม็ดพลอย นักเผาพลอยต่างชาติจึงอาจจะตามไทยทันในเรื่องการเผาพลอย

เคมีของพลอย อันได้แก่ ชนิดและปริมาณของธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในเนื้อพลอย โดยเฉพาะสัดส่วนของธาตุที่ก่อให้เกิดสีในพลอยคอร์รันดัม (Ti, V, Cr, Fe) และ Oxidation state ของธาตุเหล่านั้น น่าจะแสดงออกเป็นลักษณะสมบัติหรือลักษณะปรากฏทางกายภาพ (physical characteristics/ appearances) ของพลอยเม็ดนั้นๆ เช่น สีตัน (ความเข้ม, shade, tone, การกระจายตัว, การสอดแทรกสี), ความใส/ขุ่นมัว, ลักษณะพื้นผิวของเม็ดพลอยดิบ (เป็นมัน/ด้าน, เรียบ/ขรุขระ, ฯลฯ) และอื่นๆ การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จะใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในการ observe ลักษณะสมบัติหรือลักษณะปรากฏทางกายภาพของเม็ดพลอย แล้วเปรียบเทียบกับ

ผลวิเคราะห์ทั้งแบบ destructive (เพื่อหา total content) และ non – destructive / non – damaging (ที่ได้ content เฉพาะบริเวณผิวนอก) จากนั้นจึงนำไปทดลองเผา

ตัวแปรอีกสามตัวที่เหลือ มีข้อมูลจากที่มีผู้เคยศึกษามาแล้วเป็นแนวทาง บางตัวแปรแสดงบทบาทที่ค่อนข้างแน่นอนชัดเจน เช่น ภาวะแวดล้อมในการเผา ชนิดของเตา หรือเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเผาพลอยแดง (ทับทิม) หรือ แซปไฟร์ เพ็ชร หรือถอยสี ควรใช้บรรยากาศอย่างไร ส่วนอุณหภูมิและระยะเวลาในการเผา สามารถทดลองปรับเปลี่ยนได้ง่าย

1.4 วัตถุประสงค์

- (1) เพื่อเพิ่มคุณภาพพลอยตระกูลคอร์ันดัมจากมาดากัสการ์ ให้มีคุณภาพดี ตามหลักวิทยาศาสตร์
- (2) เพื่อให้ทราบเงื่อนไขตั้งต้นที่จะบ่งชี้ว่าพลอยเม็ดหนึ่ง จะนำมาเผาแล้วได้ผลหรือไม่ โดยเปรียบเทียบเคมีของพลอย (จากการวิเคราะห์) กับลักษณะปรากฏทางกายภาพของพลอย
- (3) เพื่อจัดทำคู่มือแนะนำขั้นตอนการเผาพลอยคอร์ันดัมจากมาดากัสการ์ จากแหล่งพลอยทั้งสามบริเวณ คือ ทางตอนเหนือ ตอนกลาง และตอนใต้ของประเทศ

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยเรื่อง “การพัฒนาเทคโนโลยีของการเผาทับทิมและพลอยแซปไฟร์” มีขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

- (1) ตัวอย่างพลอยที่ใช้ในการวิจัย เป็นทับทิมและพลอยแซปไฟร์สีต่างๆ ที่ซื้อจากผู้ค้า ซึ่งระบุว่ามาจากแหล่งพลอยต่างๆ ของประเทศมาดากัสการ์
- (2) การวิเคราะห์ตัวอย่างพลอย ประกอบด้วย
 - การตรวจวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานทางอัญมณีวิทยา ณ สาขาวิชาอัญมณีวิทยา ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 - การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (ปริมาณธาตุร่องรอย เฉพาะ Cr, Fe, Ti, V, Ga) อาศัยเทคนิค electronprobe microanalysis เป็นหลัก ณ Department of Mineralogy, the Natural History Museum, London

- การตรวจวิเคราะห์แร่ลทินในตัวอย่างพลอย อาศัยเทคนิค scanning electron microscope with energy dispersive X-ray fluorescence ณ Department of Mineralogy, the Natural History Museum, London
- การทดลองเผาพลอย ใช้เตา 3 ชนิด ได้แก่ เตาไฟฟ้า เตาแก๊ส และเตาน้ำมัน ทั้งนี้โดยไม่มีการเติมสารอื่นใดในบ้ำขณะเผา ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองเผาคือ อุณหภูมิสูงสุดที่เผา ระยะเวลาขึ้นอุณหภูมิ ภาวะบรรยากาศในขณะเผา และอัตราการเย็นตัว

2. วิธีการวิจัย และผลการศึกษา

2.1 ตัวอย่างพลอย

ตัวอย่างพลอยที่จัดซื้อ มาจากแหล่งต่างๆ ในประเทศมาดากัสการ์ (รูปที่ 1) รวม 5 แหล่ง ดังนี้

- (1) แหล่ง Diego Suarez บริเวณ Ambondromifehy ในจังหวัด Antsiranana ทางเหนือของประเทศ เป็นพลอยแซปไฟร์สีน้ำเงิน จำนวน 99 เม็ด น้ำหนักรวม 118.368 กะรัต
- (2) แหล่ง Andilamena ในจังหวัด Toamasina ทางตอนกลางด้านตะวันออกของประเทศ เป็นพลอยทับทิม จำนวน 368 เม็ด น้ำหนักรวม 369.023 กะรัต
- (3) แหล่ง Vatomandry ในจังหวัด Toamasina เช่นเดียวกัน เป็นพลอยทับทิม จำนวน 93 เม็ด น้ำหนักรวม 66.346 กะรัต
- (4) แหล่ง Andranondambo ในจังหวัด Toliara ทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศ เป็นพลอยแซปไฟร์สีน้ำเงิน จำนวน 48 เม็ด น้ำหนักรวม 27.685 กะรัต, และ
- (5) แหล่ง Ilakaka ในจังหวัด Toliara ทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศ เป็นพลอยแซปไฟร์หลากสี จำนวน 5,242 เม็ด น้ำหนักรวม 5,961.17 กะรัต

2.2 ธรณีวิทยาแหล่งพลอยคอรัันดัมของประเทศมาดากัสการ์

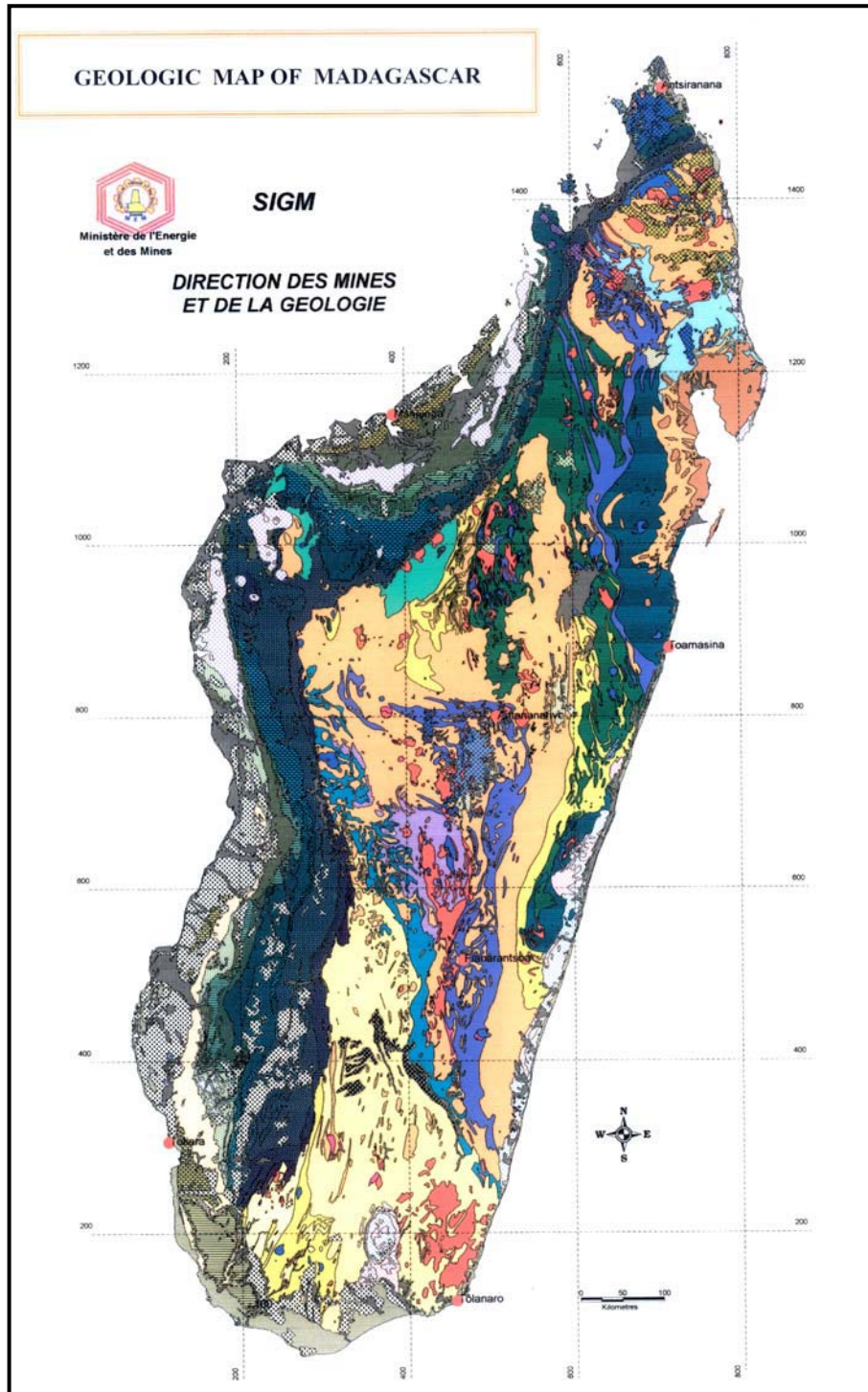
(1) แหล่งพลอยทางตอนเหนือของประเทศ (Diego Suarez หรือ Antsiranana) (รูปที่ 2)

วงการผู้ค้าพลอยยังคงนิยมเรียกพลอยคอรัันดัมจากแหล่งทางตอนเหนือของมาดากัสการ์ว่า พลอยจาก Diego โดยเรียกตามชื่อเดิมของเมืองท่าหลักทางตอนเหนือของประเทศ คือ เมือง Diego Suarez ซึ่งเรียกตามชื่อของนักเดินเรือชาวโปรตุเกส สองคนที่เดินทางมาถึงตอนเหนือของประเทศนี้เมื่อปี ค.ศ. 1500 และ 1506 คือ Diego Diaz และ Hernan Suarez ปัจจุบันชื่อเมืองเปลี่ยนเป็นภาษา Malagasy แล้ว คือ Antsiranana

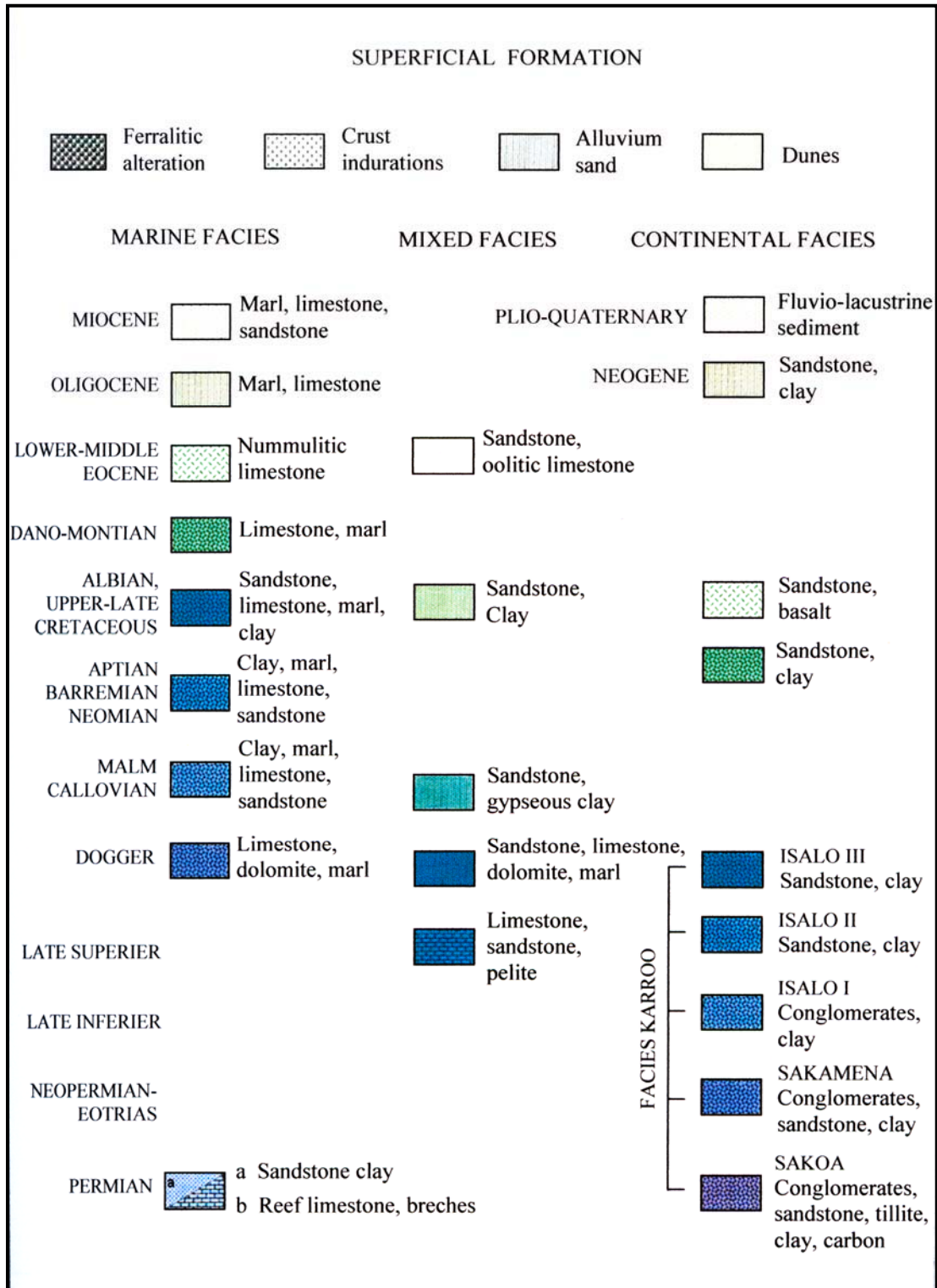
แหล่งพลอยคอรัันดัมที่สำคัญ อยู่ในบริเวณที่เรียกว่า Ambondromifehy ห่างจาก Antsiranana ไปทางใต้ประมาณ 70 กิโลเมตร (Schwarz and others, 2000) และ อีกสองแหล่ง คือ Ambilobe และ Milanoa ซึ่งอยู่ห่างจาก Ambondromifehy ไปทางใต้ ประมาณ 40 กิโลเมตร และ 100 กิโลเมตร

ตามลำดับ แหล่งพลอยดังกล่าวเป็นแหล่งชนิดทุติยภูมิแบบ alluvial deposits เชื่อกันว่า คอรัันดัมมาจากหินชนิด basaltic ของภูเขาไฟ Massif d'Ambre ซึ่งก่อให้เกิดมวลหินภูเขาไฟปกคลุมพื้นที่ เป็นบริเวณถึง 3,500 ตารางกิโลเมตร (Schwarz and others, 2000; Superchi and others, 1997)

มวลหินภูเขาไฟดังกล่าวประกอบด้วย picrite basalts, basalts, basanites, tephrites, hawaiiites, phonolites, trachites และ rhyolites อายุ Oligocene ถึง Pleistocene (Superchi and others,1997)

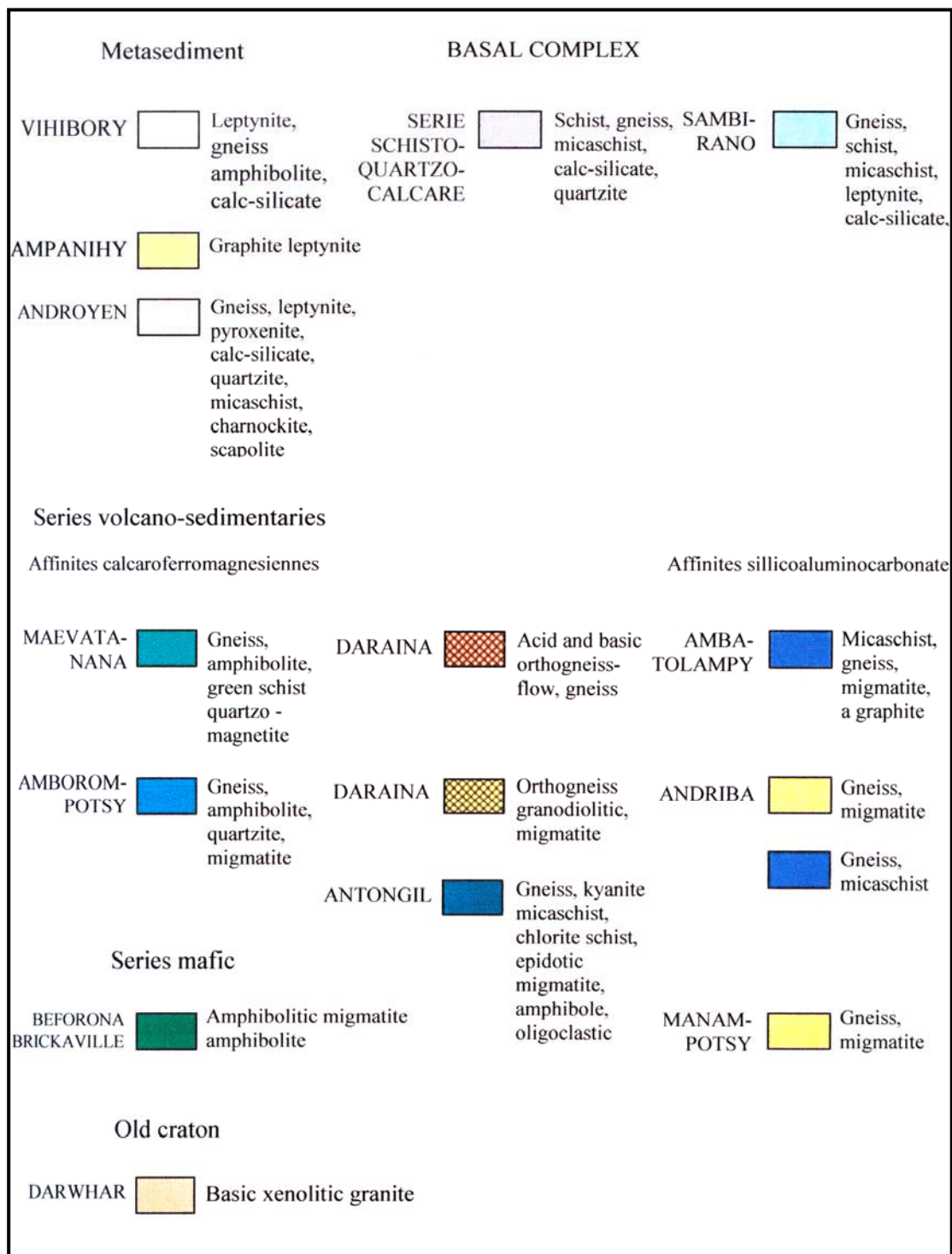


รูปที่ 1 แผนที่ธรณีวิทยาของประเทศมาดากัสการ์ (ดัดแปลงจาก แผนที่ของ Ministry of Energy and Mines, Madagascar, 2002)

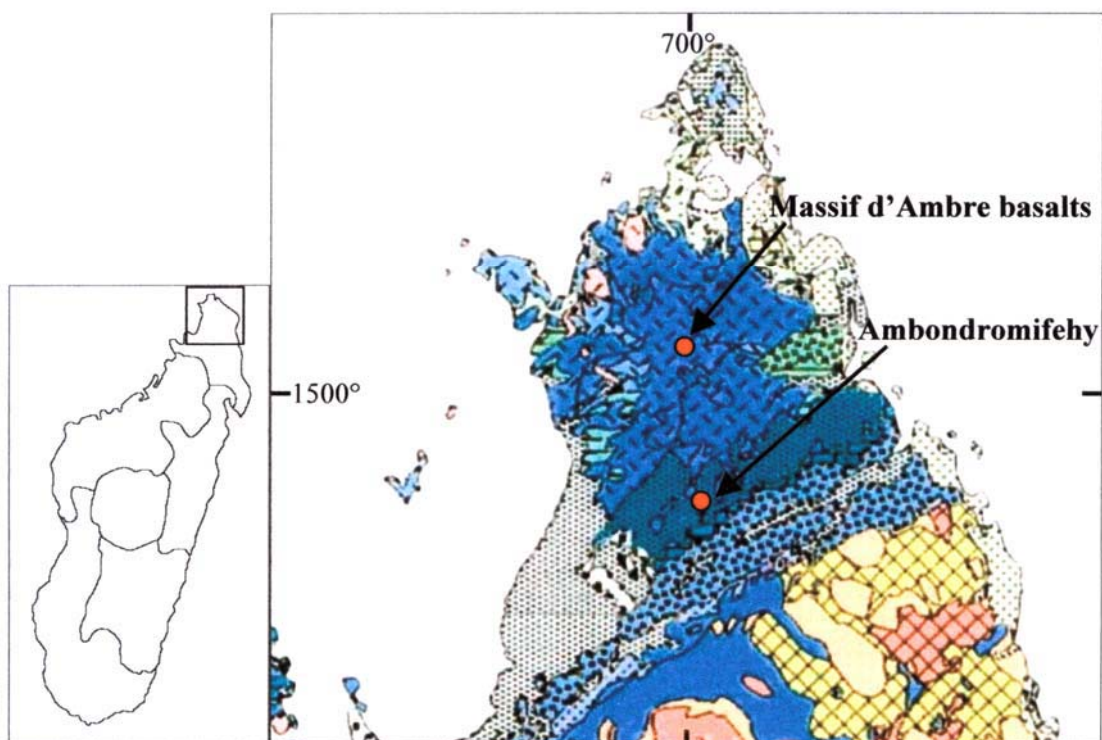


VOLCANIC FORMATIONS

QUATERNARY		Rhyolite		Basalt, basanite ankaratrite
				Basalt
NEOGENE		Rhyolite, trachyte		Basalt, limburgite, andesite, ankaratrite, phonolite
EOCENE		Ignimbrite, granite		Trachyte, syenite, nephelinic syenite, Gabbro, nephelinic gabbro
SANTONIAN- MAASTRICHTIAN		Rhyolite, microgranite, syenite, microsyenite		Basalt, gabbro
TURONIAN		Rhyolite, microgranite, trachyte, syenite		Basalt, limburgite, sakalavite, Gabbro, dolerite, allivalite
PLUTONISM (non date)				
		Granite, charnockite, tonalite		
		Syenite, syenitic charnockite		
		Gabbro, orthoamphibolite, orthopyroxenite, anorthosite		
		Migmatite		



รูปที่ 1 (ต่อ)



รูปที่ 2 แผนที่ทางธรณีวิทยาแหล่งพลอยทางตอนเหนือของประเทศมาดากัสการ์
(ดัดแปลงจากแผนที่ของ Ministry of Energy and Mines, Madagascar, 2002)

ชั้นตะกอน alluvium ที่ให้พลอยส่วนใหญ่วางตัวอยู่บนหินปูน อายุ Jurassic โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางทิศใต้ของ Massif d'Ambre ใกล้ Ankara Special Reserve ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศแบบ karst topography

อย่างไรก็ตาม Pezzotta (2001) รายงานว่า แหล่งพลอยแซปไฟร์ทางตอนเหนือของมาดากัสการ์นี้ น่าจะมีแหล่งกำเนิดร่วมกับ intensive alkaline volcanism ซึ่งให้หิน basalts, lamprophyres อายุประมาณ mid-Cretaceous มากกว่า

พลอยคอร์ันดัมที่พบ มักสะสมตัวอยู่ตามโพรง และรอยแตกของหินปูน ซึ่งในบางพื้นที่อาจอยู่ลึกถึง 8 เมตรจากผิวดิน การขุดหาพลอย ซึ่งเริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1996 มักขุดรูกลับเข้าไปในเขตอนุรักษ์พิเศษดังกล่าว ทำให้รัฐบาลฯ ต้องประกาศห้ามขุดหาพลอยเมื่อเดือนเมษายน 1998 แต่ก็ไม่สามารถป้องกันการลักลอบขุดหาได้ ในที่สุดคำสั่งห้ามดังกล่าวจึงถูกยกเลิกไปในเดือนสิงหาคมปีเดียวกันนั่นเอง

เคยมีความพยายามสำรวจหา sapphire-bearing basalt flows โดยบริษัทเหมืองพลอยที่ขุดหาในพื้นที่ แต่ไม่พบ (Schwarz and others, 2000) อย่างไรก็ตาม ลักษณะสมบัติทั่วไปของพลอยแซปไฟร์ที่พบ และความสัมพันธ์กับสภาพธรณีวิทยาในบริเวณใกล้เคียง ทำให้นักธรณีวิทยา และ นักอัญมณีวิทยาที่ศึกษาแหล่งพลอยดังกล่าว มั่นใจว่า แหล่งพลอยคอร์ันดัมทางเหนือของมาดากัสการ์นี้ มีกำเนิดสัมพันธ์กับหิน alkali basalts คล้ายคลึงกับแหล่งที่พบในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ไทย กัมพูชา ลาว เวียดนามตอนใต้ แหล่งในออสเตรเลียตะวันออก และไนจีเรีย ทั้งนี้ โดยหิน alkali basalts ซึ่งมักปรากฏตาม intra-plate rifting regimes มีแหล่งกำเนิดจากแมกมาในระดับลึก ทำหน้าที่นำคอร์ันดัม พร้อมทั้งแร่ และ ชิ้นส่วนของหินอื่นๆ ที่เกิดอยู่ก่อนแล้วที่ ระดับตื้นกว่า (mid-crustal levels) ขึ้นสู่ผิวโลก ในรูปของ xenocrysts และ xenoliths

ในส่วนของคอร์ันดัมที่มีกำเนิดสัมพันธ์กับหิน alkali basalts แบ่งออกได้เป็นสองชนิดด้วยกัน คือ ชนิด basaltic-magmatic (คอร์ันดัมตกผลึกภายใต้ภาวะแวดล้อมของหินอัคนี เช่น ใน pegmatites หรือ หินอัคนีที่มีปริมาณ Al สูงกว่าปกติ ก่อนที่จะถูก alkali basalts พาดขึ้นมา) และ ชนิด basaltic-metamorphic (คอร์ันดัมตกผลึกภายใต้ภาวะแวดล้อมของหินแปรหรือกระบวนการเกิดหินแปร ไม่ว่าจะเป็น metamorphic หรือ metasomatic processes ก่อนที่จะถูกพาดขึ้นสู่ผิวโลก)

คอร์ันดัมชนิด basaltic-magmatic มักมีสี น้ำเงิน-ม่วง, น้ำเงิน, น้ำเงินอมเขียว, เหลืองอมเขียว, หรือเหลือง ส่วนคอร์ันดัมชนิด basaltic-metamorphic มักมีสีค่อนข้างซีดหรือค่อนข้างมืด หรือ เป็นพลอยทึบทึม ทั้งนี้ ส่วนประกอบทางเคมี โดยเฉพาะปริมาณธาตุร่อร์รอย ของคอร์ันดัมทั้งสองชนิด ยังแตกต่างกันอย่างชัดเจนด้วย (Sutherland and others, 1998a; 1998b) สำหรับคอร์ันดัมจากแหล่ง Diego แสดงลักษณะสมบัติที่สอดคล้องกับชนิด basaltic-magmatic (Schwarz and others, 2000)

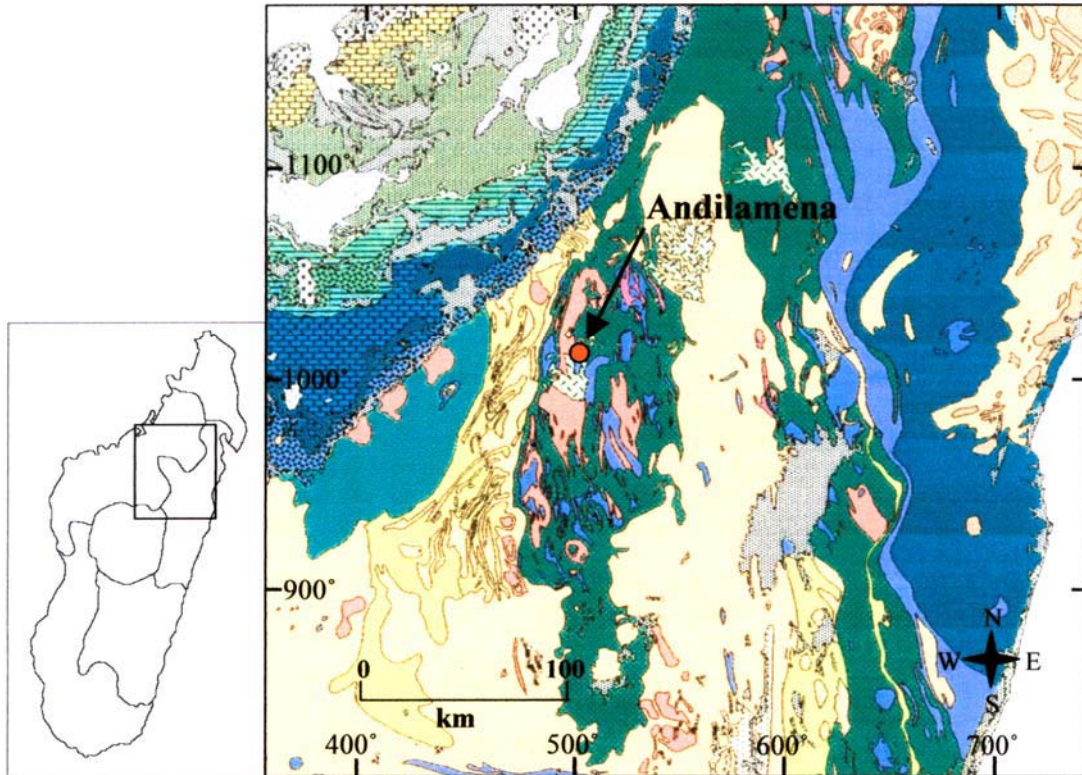
(2) แหล่งพลอยทางตอนกลางของประเทศ (Andilamena และ Vatomandry) (รูปที่ 3)

แหล่งพลอยคอร์นดัมจากตอนกลางของประเทศมาดากัสการ์ ส่วนใหญ่เป็นพลอยทับทิม พบในบริเวณต่าง ๆ ภายในรัศมี 200 กิโลเมตร ของกรุง Antananarivo ซึ่งเป็นเมืองหลวงของประเทศ ทั้งในเขตจังหวัด Antananarivo และจังหวัด Toamasina หรือ Tamatave

บริเวณที่เคยมีรายงานว่าพบพลอยคอร์นดัม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพลอยทับทิม โดยอาจพบແຮບไฟร่ำบ้าง ได้แก่ Andilamena, Ankaratra, Antanifotsy, Antsirabe, Faratsiho, Tamatave, และ Vatomandry เนื่องจากตัวอย่างพลอยที่ซื้อหามาได้สำหรับงานวิจัยนี้ ถูกระบุว่ามาจากแหล่ง Andilamena และแหล่ง Vatomandry จึงจะกล่าวถึงเฉพาะสองแหล่งนี้เท่านั้น แม้ว่าข้อมูลเท่าที่ปรากฏในรายงานต่าง ๆ จะระบุว่า พลอยคอร์นดัมจากตอนกลางของมาดากัสการ์มีกำเนิดคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ สัมพันธ์กับหิน basalt (ตัวอย่างเช่น รัก ธรรมชาติ, 2544; Hughes, 1997) แต่ก็มีกรอ้างอิงที่มีได้เป็นรายงานทางวิชาการ ว่าพลอยทับทิมของแหล่ง Andilamena และ Vatomandry มีกำเนิดสัมพันธ์กับหินแปร จาก interaction ระหว่าง desilicated granitoid/pegmatitic intrusion กับ mafic/ultramafic host rocks (ตัวอย่าง เช่น Leuenberger, 2001 อ้างถึง Pezzotta โดยมีได้ระบุเอกสารอ้างอิง) ในรายงานทางวิชาการอื่นที่มีการตีพิมพ์และกล่าวถึงพลอยคอร์นดัมจากบริเวณเหล่านี้ เช่น Schwarz and Schmetzer (2001) ระบุเพียงว่า ยังไม่มีข้อมูลรายละเอียดทางธรณีวิทยาเกี่ยวกับหินที่มีกำเนิดสัมพันธ์กับพลอยทับทิมของทั้งแหล่ง Andilamena และ Vatomandry แต่ Pezzotta (2001) รายงานว่า แหล่งทับทิมทางตอนกลางด้านตะวันออกของมาดากัสการ์ น่าจะมีกำเนิดสัมพันธ์กับ alkaline volcanism ในยุค mid-Cretaceous เช่นเดียวกันกับแหล่งແຮບไฟร่ำทางตอนเหนือของประเทศ

ธรณีวิทยาของบริเวณตอนกลางของมาดากัสการ์ จากรายงานของ Paeck (1988) สรุปได้ดังนี้ หินฐานรากที่มีอายุแก่สุด คือหินแปรระดับสูง (granulite facies) ยุค Precambrian (อายุ กว่า 3,000 ล้านปี) มี anorthosite intrusion ซึ่งวัดอายุได้ 1,150 ล้านปี ต่อมาเกิด deformation รุนแรงในช่วงประมาณ 660 ล้านปี ตามด้วย syntectonic intrusions ช่วงระหว่าง 550 ถึง 485 ล้านปี หลังจากนั้น ตลอดช่วงมหายุค Paleozoic จนถึง Middle Mesozoic ในขณะที่พื้นที่บริเวณอื่น ๆ ของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ตอนใต้ ตะวันตก และ ส่วนเหนือสุด มีการสะสมตัวของหินตะกอนชนิดต่างๆ ทั้ง marine และ continental facies ส่วนกลางของมาดากัสการ์คงตัวเป็น exposed landmass ต่อเนื่องมาจนถึงยุค Cretaceous จึงปรากฏ basic volcanism บริเวณชายฝั่งด้านตะวันออก ตะวันตก และ ตอนใต้ ซึ่งวัดอายุได้ 90 ล้านปี และ basic volcanic activities ต่อเนื่องไปจนถึง Cenozoic โดยเฉพาะบริเวณตอนกลางและเหนือสุดของประเทศ

ลักษณะธรณีวิทยาดังกล่าว ทำให้มีความเป็นไปได้สูงที่แหล่งพลอยคอร์นดัมทางตอนกลางและชายฝั่งตะวันออกของมาดากัสการ์ (Andilamena และ Vatomandry) จะมีกำเนิดสัมพันธ์กับ basic volcanic rocks หรือ basaltic rocks ดังที่กล่าวถึงข้างต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง basalts อายุ mid-Cretaceous



รูปที่ 3 แผนที่แหล่งพลอยทางตอนกลางของประเทศมาดากัสการ์
(ดัดแปลงจากแผนที่ของ Ministry of Energy and Mines, Madagascar, 2002)

- แหล่ง Andilamena

Andilamena เป็นหมู่บ้านอยู่ในเขตจังหวัด Toamasina อยู่ห่างจากเมืองหลวง Antananarivo ไปทางเหนือประมาณ 240 กิโลเมตร แหล่งพลอยทับทิมเป็นแบบทุติยภูมิพบบริเวณใกล้หมู่บ้าน Ambatondrazaka ซึ่งเคยมีรายงานว่าพบ yellow chrysoberyl เป็นขอบด้านตะวันออกของที่ราบสูงทางเหนือของประเทศ อยู่ห่าง Andilamena ไปทางตะวันออกเฉียงเหนือราว 45 กิโลเมตร พบและเริ่มขุดหาครั้งแรกเมื่อเดือน ตุลาคม 2000 เป็นพลอยทับทิมสีค่อนข้างคล้ำ ต่อมาในเดือน มกราคม 2001 เริ่มพบพลอยที่คุณภาพดีขึ้น ชั้นกะสะอยู่ลึกจากผิวดินราว 2-3 เมตร พลอยค่อนข้างดก บางบริเวณได้พลอยกว่า 100 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร พลอยส่วนใหญ่มีรอยร้าวและสีเข้ม ก่อนไปทางสี่ของโกเมน นอกจากพลอยทับทิมยังพบแซปไฟร์บ้าง คุณภาพพลอยโดยรวมสู้พลอยจาก Vatomandry ไม่ได้

- แหล่ง Vatomandry

Vatomandry เป็นเมืองชายฝั่งด้านตะวันออก อยู่ห่างจากเมืองหลวงไปทางตะวันออกเฉียงใต้เล็กน้อย ราว 160 กิโลเมตร แหล่งพลอย ซึ่งส่วนใหญ่สะสมตัวแบบทุติยภูมิ ชนิด eluvial deposits (Schwarz and Schmetzer, 2001) เริ่มมี การขุดหาราวเดือนกันยายน 2000 ตามแม่น้ำ Sakanila ห่างจากเมือง Vatomandry ไปทางตะวันตกเฉียงใต้ราว 30 กิโลเมตร บริเวณที่พบพลอยตกอยู่ใกล้หมู่บ้าน Tetezampaho ชั้นกะสะหนาราว 30 เซนติเมตร และอยู่ลึกจากผิวดินไม่เกินสองเมตร พลอยที่พบส่วนใหญ่เป็นทับทิม สีแดงอมม่วง ถึงแดงสด เม็ดกลมมน พบแซปไฟร์สีฟ้าอมเทาถึงเขียวบ้าง

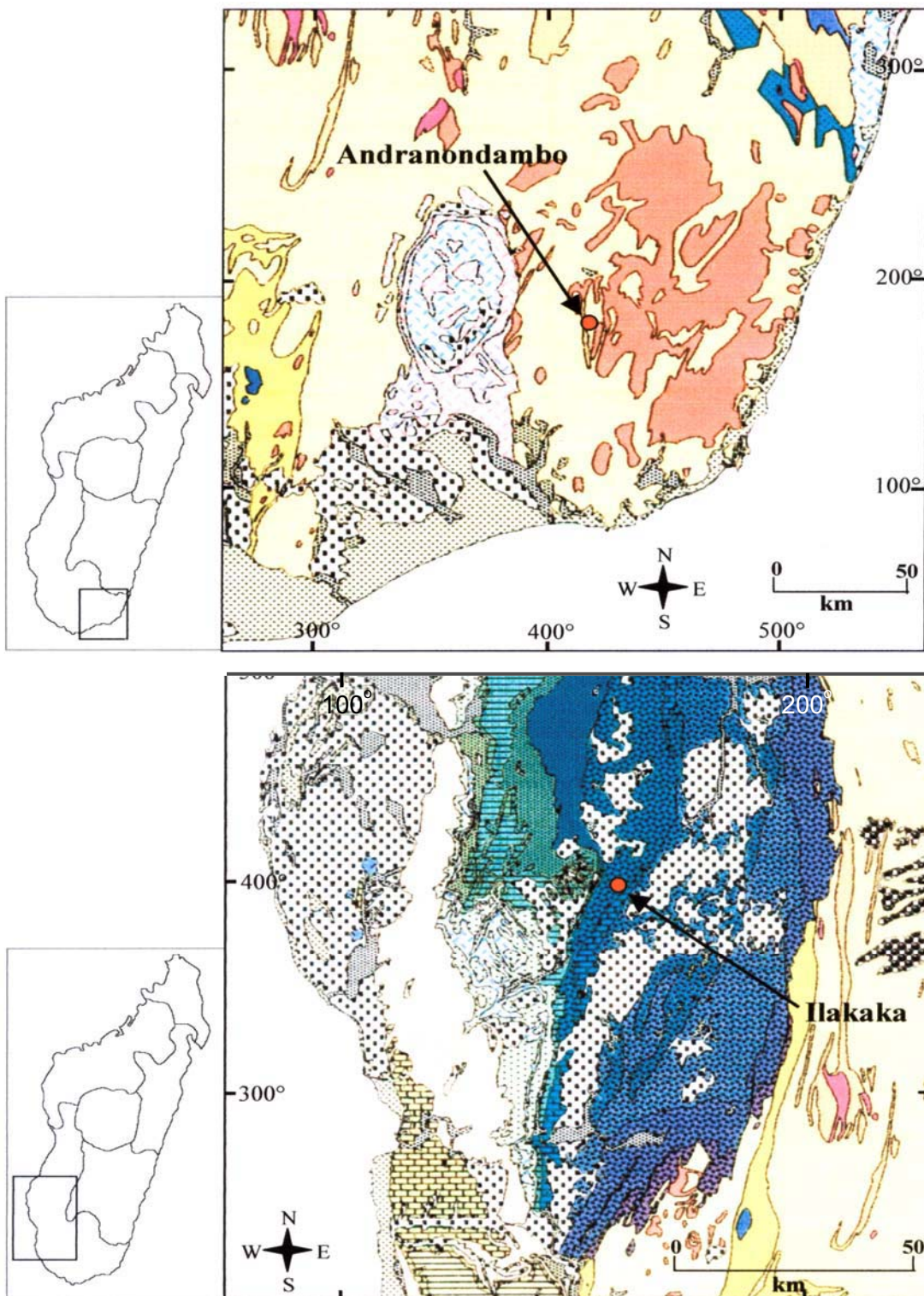
(3) แหล่งพลอยทางตอนใต้ของประเทศ (Andranondambo และ Ilakaka) (รูปที่ 4)

แหล่งพลอยคอร์ันดัมทางตอนใต้ของมาดากัสการ์ ทั้งทางบริเวณด้านตะวันออก (Andranondambo) และด้านตะวันตก (Ilakaka) แสดงกำเนิดสัมพันธ์กับหินแปร ก่อนข้างชัดเจน แม้ว่าในหลายพื้นที่ การขุดหาพลอยจะกระทำจากพลอยที่สะสมตัวแบบทุติยภูมิชนิด alluvial deposits ก็ตาม

ธรณีวิทยาของมาดากัสการ์ตอนใต้ มีหินแปรระดับสูง (granulite facies) อายุ Precambrian เป็นหน่วยหินสำคัญตามรายงานของ Nicollet (1990) หินแปรดังกล่าวแบ่งออกได้เป็น 3 Groups เรียงลำดับตามอายุ จากน้อยไปมาก จากด้านตะวันตกไปตะวันออก ดังนี้

- (1) Vohibory Group ประกอบด้วย amphibolite gneiss, amphibolite, marble เป็นหลัก มีระดับการแปร ใน greenschist และ amphibolite facies
- (2) Graphite Group ประกอบด้วย graphite-bearing gneiss, leptynite (banded quartzo-feldspathic granulite) และ mafic granulite มีการแปรในระดับ high-pressure granulite facies

- (3) Androyan Group ประกอบด้วย ortho- และ paragneisses มีการแปรในระดับ intermediate–pressure granulite facies ในกลุ่มนี้ มี granite อายุ 3,000 ล้านปี รวมอยู่ด้วย



รูปที่ 4 แผนที่ทางธรณีวิทยาแหล่งพลอยทางตอนใต้ของประเทศมาดากัสการ์
(ดัดแปลงจากแผนที่ของ Ministry of Energy and Mines, Madagascar, 2002)

- แหล่ง Andranondambo

พลอยแซปไฟร์ของแหล่ง Andranondambo และบริเวณใกล้เคียง พบอยู่ใน altered marble และ calc-silicate gneiss ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ Tranomaro Formation ใน Androyan Group หินเหล่านี้ถูก metamorphosed และ deformed ครั้งแรก เมื่อ 2,600 ล้านปี และต่อมา ผ่าน Pan-African tectonothermal events อีก เมื่อราว 500-600 ล้านปี Milisenda and Henn (1996) สรุปว่า พลอยแซปไฟร์ เกิดจากกระบวนการ high grade metamorphism ในช่วงนี้ (500-600 ล้านปี) ด้วย อย่างไรก็ตาม Kiefert and others (1996) รายงานว่า พลอยแซปไฟร์ของแหล่ง Andranondambo เกิดเป็นแหล่งแร่ แบบปฐมภูมิในสายคล้าย pegmatite ขนาดเล็ก(กว้าง 0.05-0.20 เมตร และยาว 5-50 เมตร) ซึ่งตัดผ่านเข้ามาในหิน Precambrian เปรียบเทียบได้กับ แซปไฟร์ ของ Kashmir และของ Umba Valley ในประเทศแทนซาเนีย จึงสรุปว่า แซปไฟร์เป็น late-stage product ของ Pan-African events จาก highly differentiated granitic magma ซึ่งมีปริมาณน้ำอยู่สูง อย่างไรก็ตาม บริเวณขอบของสายคล้าย pegmatite ในพื้นที่ทำเหมือง มี mineral zone ประกอบด้วย แร่ไมกา (ส่วนใหญ่เป็น phlogopite และ biotite), epidote, amphibole และ ออกไซด์ของเหล็ก ซึ่งแสดงว่าเคยเกิด metasomatism อย่างกว้างขวางในบริเวณดังกล่าว นอกจากนั้น การที่พบ calcite ใน pegmatite และพบเป็นมลทินในแซปไฟร์ บ่งว่า calcite อาจมีกำเนิดมาจาก metasomatic fluids

Gübelin and Peretti (1997) มีความเห็นเกี่ยวกับกำเนิดของพลอยแซปไฟร์ในแหล่ง Andranondambo ที่แตกต่างออกไปอีก โดยอาศัยหลักฐานจากการศึกษาทั้ง mineral inclusions และ fluid inclusions หลากชนิดที่พบในแซปไฟร์ของแหล่งนี้สรุปว่า แซปไฟร์ของแหล่ง Andranondambo เกิดจากกระบวนการ metasomatism ซึ่งมีอย่างน้อยสอง stages ที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับ fluids ที่มีส่วนประกอบทางเคมีต่างกัน Pezzotta (2001) สรุปโดยอ้างถึงรายงานของ Gübelin and Peretti (1997) ว่าแซปไฟร์แหล่งนี้กำเนิดแบบ skarn deposit และมี zircon เป็นแร่ที่เกิดขึ้นด้วย

แหล่งพลอย Andranondambo พบเมื่อปี 1992 อยู่ห่างจากหมู่บ้าน Andranondambo ไปทางตะวันออกเฉียงเหนือราว 1 กิโลเมตร และ ไปทางใต้ราว 2 กิโลเมตร และยังพบที่ Antsiermene ซึ่งห่างออกไปทางเหนืออีกราว 10-12 กิโลเมตร แต่แหล่งที่มีความสมบูรณ์และมีบทบาทในเชิงพาณิชย์ เริ่มในปี 1994 (Henn and Milisenda, 2001) พลอยที่พบ ส่วนใหญ่เป็นแซปไฟร์สีน้ำเงิน ตั้งแต่สีอ่อนจนถึงเข้ม แต่มักแสดงสีไม่สม่ำเสมอทั่วเม็ด พบเกิดอยู่ในสายแร่บาง ๆ ที่ตัดผ่าน หรือแทรกเข้ามาในหินแปรระดับสูงของ granulite facies โดยสายแร่ดังกล่าว มักไม่ต่อเนื่อง และ ไม่มีทิศทางการวางตัวแน่นอนในบางพื้นที่ การขุดหาพลอยต้องขุดหลุมลึกถึง 20-30 เมตร ระหว่างที่มีการขุดหาพลอยกันมาก ผลผลิตเฉลี่ยถึงเดือนละประมาณ 100 กิโลกรัม แม้ว่า พลอยดิบส่วนใหญ่จะมีขนาดไม่เกิน 4 มิลลิเมตร ประมาณร้อยละ 15 ของผลผลิต เเจาะในได้ขนาดกว่า 2 กระรัต

- แหล่ง Ilakaka

ก่อนมีผู้พบพลอยแหล่งนี้เมื่อปลายปี 1998 ในแม่น้ำสายเล็กๆ (Ilakaka River) Ilakaka เป็นเพียงหมู่บ้านเล็กๆ ที่มีประชากรไม่ถึง 100 คน ภายในระยะเวลา 14 เดือนที่ข่าวการค้นพบพลอยแหล่งนี้แพร่ออกไป มีผู้คนหลั่งไหลมาแสวงโชคถึงกว่า 300,000 คน

Ilakaka อยู่ห่างเมืองหลวงไปทางตะวันตกเฉียงใต้ ราว 750 กิโลเมตร และห่างจากเมือง Tulear หรือ Toliara ซึ่งเป็นเมืองท่าฝั่งตะวันตกที่สำคัญของมาดากัสการ์ ไปทางตะวันออกเฉียงเหนือราว 215 กิโลเมตร พื้นที่ขุดหาพลอยมี 3 บริเวณที่สำคัญ (Chikayama and Furuya, 2001) ได้แก่

1. ระหว่าง Ranohira และ Sakahara รอบๆ หมู่บ้าน Ilakaka เป็นบริเวณประมาณ 50 x 130 กม.
2. ระหว่าง Andranolava และ Ankazoabo (อยู่เหนือบริเวณแรกเล็กน้อย) เป็นบริเวณประมาณ 40 x 70 กม.
3. บริเวณรอบๆ หมู่บ้าน Murarano ซึ่งอยู่ถัดขึ้นไปอีก ทางตะวันออกเฉียงเหนือ

แหล่งพลอย Ilakaka สะสมตัวแบบหุติภูมิ ชนิด alluvial deposit โดยหินฐานที่รองรับ เป็นหินชุด Isalo อายุปลายยุค Triassic ประกอบด้วย หินทราย และ หินดินดานสีแดง ชั้นกะสะที่ให้พลอย หนา โดยเฉลี่ย 0.8 – 1.0 เมตร อยู่ที่ระดับลึกจากผิวดิน ตั้งแต่ 5 ถึง 30 เมตร

พลอยที่พบ ส่วนใหญ่เป็นแซปไฟร์ สีชมพู (50%), สีฟ้า (30%), นอกนั้นเป็นสีอื่นๆ เช่น เหลือง, ส้ม, เขียวอ่อน, น้ำตาลอ่อน, แดง, แดงอมน้ำตาล, ม่วง, สีไม่มีสี นอกจากนี้ยังพบแร่ชนิดอื่น หลากหลาย สี เกิดรวมอยู่ด้วย เช่น spinel, garnet, beryl, chrysoberyl, topaz, tourmaline, andalusite, kyanite, zircon และ quartz

ลักษณะของพลอยคอร์นดัม และแร่อื่นๆ ที่เกิดร่วมแสดงถึงกำเนิดที่สัมพันธ์กับหินแปร คล้ายคลึงกับแหล่งพลอยของ ศรีลังกา และ แทนซาเนีย

Pezzotta (2001) สรุปว่า พลอยคอร์นดัมของแหล่ง Ilakaka นี้ มีกำเนิดสัมพันธ์กับหินแปร crystalline basement ยุค Precambrian ต่อมาหินแปรเหล่านี้เกิดการผุพังทำให้แร่ที่คงทนต่อการสึกกร่อน ถูกพัดพามาสะสมตัวกันในลักษณะของ palaeo-placer เป็น coarse-grained lenses และ gravel layers ในหินทราย graywacke อายุ Permian-mid Cretaceous (รูปที่ 5) ต่อมาหินทรายเหล่านี้เกิดผุพังสึกกร่อน ทำให้แร่ที่ทนทานต่อการผุพัง รวมทั้งแซปไฟร์สะสมตัวเป็นแหล่งหุติภูมิที่มีการทำเหมืองกันในปัจจุบัน



รูปที่ 5 ฟลอยแซปไฟร์สะสมตัวในชั้นกรวดของหินตะกอนยุค Permian ซึ่งเป็นแหล่งต้นกำเนิดของ ฟลอยคอร์นดัม แหล่ง Ilakaka ที่ขุดหากันในปัจจุบัน (ดัดแปลงจาก Pezzotta, 2001)

2.2 วิธีการที่ใช้ในการศึกษา

(1) การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติพื้นฐานทางอัญมณีวิทยา

อาศัยเครื่องมืออุปกรณ์ของสาขาวิชาอัญมณีวิทยา ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยตรวจวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ดังนี้

ก. ค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity; S.G.) โดยใช้เครื่องชั่งละเอียด (รูปที่ 6)

ค่าความถ่วงจำเพาะ(ถ.พ.) ของฟลอยหาได้ดังนี้

$$\text{ค่าความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักของคอร์นดัมเมื่อชั่งในอากาศ}}{\text{นน.คอร์นดัมชั่งในอากาศ} - \text{นน.คอร์นดัมชั่งในน้ำ}}$$

$$\text{หรือ} = \frac{\text{น้ำหนักของคอร์นดัมเมื่อชั่งในอากาศ}}{\text{น้ำหนักของคอร์นดัมที่หายไปเมื่อชั่งในน้ำ}}$$



รูปที่ 6 เครื่องชั่งละเอียด (hydrostatic balance) สำหรับชั่งน้ำหนักและหาค่าความถ่วงจำเพาะของพลอย

- ข. ค่าดัชนีหักเหแสง (refractive index; R.I.) โดยใช้เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ Duplex II (รูปที่ 7)
- ค. ค่าไบรีฟริงเจนซ์ (birefringence) ค่าไบรีฟริงเจนซ์หาได้จากผลต่างของค่าดัชนีหักเหที่มากที่สุด กับค่าดัชนีหักเหต่ำสุดของพลอยแต่ละเม็ด
- ง. การเรืองแสง (fluorescence) โดยใช้หลอดแสงอัลตราไวโอเลต (รูปที่ 8) การตรวจสอบการเรืองแสงทำโดยหาค่าการเรืองแสงของพลอยในช่วงคลื่นสั้น (short wave ultraviolet : SWUV) ซึ่งมีความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร และการเรืองแสงในช่วงคลื่นยาว (long wave ultraviolet : LWUV) ซึ่งมีความยาวคลื่น 365.4 นาโนเมตร
- จ. สเปกตรัมโดยใช้เครื่องสเปกโตรสโคป (รูปที่ 9)
- ฉ. จัดลำดับสี เพื่อแยกตัวอย่างพลอยออกเป็นกลุ่มสีต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับชุดเทียบสีของ GIA (รูปที่ 10) โดยใช้วิธีส่องตัวอย่างพลอยในทิศทางตั้งฉากกับแกนแสง (น้ำหน้ำของพลอย) เปรียบเทียบกับ colour master ภายใต้แสงไฟจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ให้แสงคล้ายแสงธรรมชาติ (daylight-equivalent light fluorescence) ใช้กระดาษขาวเป็นฉาก (รูปที่ 11)
- ช. ความโปร่งใสและมลทินในเนื้อพลอย ใช้วิธีส่องดูเนื้อพลอยด้วยลำแสงจากกระบอกไฟฉายสำหรับส่องพลอย (รูปที่ 12) และใช้กล้องจุลทรรศน์สำหรับตรวจสอบอัญมณี (รูปที่ 13) และถ่ายภาพตัวอย่างที่สำคัญ



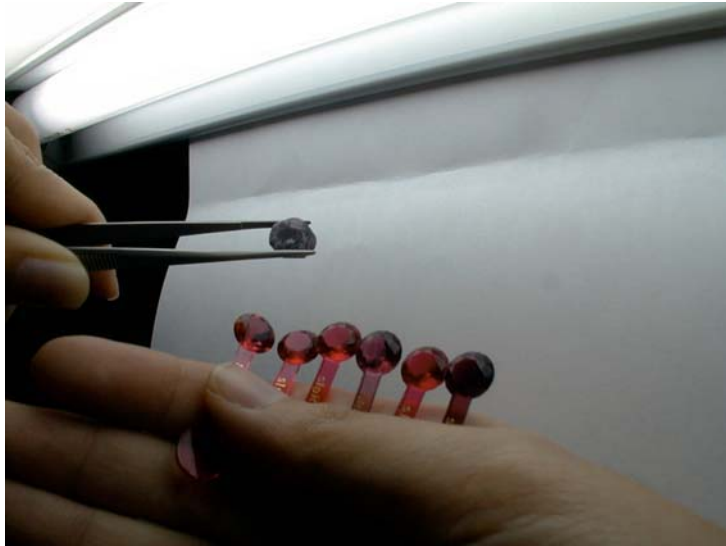
รูปที่ 8 กล้องแสงอัลตราไวโอเลต(UV lamp) สำหรับตรวจสอบการเรืองแสงของพลอย



รูปที่ 9 เครื่องสเปกโตรสโคป (spectroscope) สำหรับวัดสเปกตรัมของพลอย



รูปที่ 10 ชุดเทียบสีของ GIA (GIA Gem Set หรือ colour master)



รูปที่ 11 การเทียบสีพลอย กับชุดเทียบสี ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์



รูปที่ 12 การส่องดูเนื้อพลอยด้วยกระบอกไฟฉายสำหรับส่องพลอย



รูปที่ 13 กล้องจุลทรรศน์สำหรับตรวจสอบอัญมณี (Gemolite)

พลอยแต่ละแหล่งจำหน่ายออกเป็นกลุ่ม ตามลักษณะเด่นของแหล่ง โดยเน้นที่สีเป็นลำดับแรก การจัดกลุ่มสี ใช้สัญลักษณ์และเทียบสีตามระบบสีของ GIA

โดยเทียบสีพลอยในทิศทางแกนแสง (c-axis) กับชุดเทียบสีพลอย GIA Gem Set การหาแกนแสงของพลอย ต้องจัดหน้าเรียบและจัดมันพลอยในทิศทางตั้งฉากกับแกนแสงก่อน แล้วจึงตรวจสอบพลอยภายใต้เครื่อง polariscope พลอยจากแหล่ง Diego, Andilamena และ Andranondambo ส่วนใหญ่แสดงรูปผลึกชัดเจน จึงหาแกน C ได้ง่าย สำหรับพลอยที่ไม่สามารถหาแกนแสงด้วยเครื่อง polariscope ได้ เนื่องจากการจัดหน้าเรียบไม่ตั้งฉากกับแกนแสง จะเทียบสีกับหน้าพลอยที่มีสีเข้มที่สุดเป็นหลัก

การกำหนดสีพลอยใช้สัญลักษณ์ที่แสดงลักษณะ Hue Tone และ Saturation ซึ่งเป็นคำที่ใช้อธิบายหรือบ่งบอกสีของพลอย ดังนี้

Hue คือ สีที่เป็นสีหลักของพลอย เช่น แดง น้ำเงิน เหลือง

Tone คือ ความมืด-สว่างของพลอย

Saturation คือ ความเข้มหรือความอึมตัวของสีหลักของพลอย

สีหลัก (Hue) ของพลอยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีดังนี้

P	หมายถึง Purple	rP	หมายถึง reddish Purple
bP	หมายถึง bluish Purple	RP/PR	หมายถึง Red-Purple หรือ Purple-Red
stpR	หมายถึง strongly purplish Red	slpR	หมายถึง slightly purplish Red
R	หมายถึง Red	oR	หมายถึง orangy Red
yO	หมายถึง yellowish Orange	Y	หมายถึง Yellow
gY	หมายถึง greenish Yellow	GY/YG	หมายถึง Green-Yellow หรือ Yellow-Green

styG	หมายถึง	strongly yellowish Green	stgY	หมายถึง	strongly greenish Yellow
slgY	หมายถึง	slightly greenish Yellow	gB	หมายถึง	greenish Blue
B	หมายถึง	Blue	VB/BV	หมายถึง	Violet- Blue หรือ Blue-Violet
vB	หมายถึง	violetish Blue	V	หมายถึง	Violet
bV	หมายถึง	bluish Violet			

โทนสี (Tone) ความมืด-สว่างของพลอย แบ่งออกเป็น 11 โทน ตั้งแต่ 0 ถึง 10 ดังนี้

0	หมายถึง	colourless or white
1	หมายถึง	extremely light
2	หมายถึง	very light
3	หมายถึง	light
4	หมายถึง	medium light
5	หมายถึง	medium
6	หมายถึง	medium dark
7	หมายถึง	dark
8	หมายถึง	very dark
9	หมายถึง	extremely dark
10	หมายถึง	black

ความอึมตัวของสี (Saturation) สเกลที่บ่งถึงความอึมตัวของสีหลัก แบ่งได้เป็น 6 steps ตั้งแต่ 1 ถึง 6 ได้แก่

1	หมายถึง	grayish (brownish)
2	หมายถึง	slightly grayish (brownish)
3	หมายถึง	very slightly grayish (brownish)
4	หมายถึง	moderately strong
5	หมายถึง	strong
6	หมายถึง	vivid

ในการระบุถึงสีของตัวอย่าง ใช้สัญลักษณ์เรียงตามลำดับ hue tone และ saturation เช่น

ตัวอย่างหมายเลข Dig(b) 001 มีสีเป็น bV 3/4 :

bV	หมายถึง	bluish Violet (hue)
3	หมายถึง	light (tone)
4	หมายถึง	moderately strong (saturation)

ผลของการจำแนกพลอยตามกลุ่มสี ปรากฏดังนี้

คอร์ันดัมจากแหล่ง Diego Suarez

มีทั้งหมด 99 เม็ด ส่วนที่แสดงรูปผลึกชัดเจนแบบ hexagonal prism มักแสดง zoning ชัดเจน (รูปที่ 14) มีหลายลักษณะ ทั้งที่มีส่วนกลางเม็ดสีเข้มกว่าขอบ หรือส่วนกลางเม็ดสีอ่อนกว่าหรือไม่มีสี บางส่วนแสดง colour patch สีน้ำเงิน น้ำตาล สีขาวขุ่นและขาวใส สีจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม ตามกลุ่มสีหลัก และสีของแกนกลาง (core) ได้แก่

1. กลุ่มที่มีสีเดียวกันทั่วทั้งเม็ด แบ่งเป็น

1.1 กลุ่มสีม่วงอมน้ำเงิน (bV) มี 12 เม็ด จัดแบ่งได้เป็น 6 โทน คือ

3 /4 จำนวน 2 เม็ด [Dig(b)001, Dig(b)002]

4 /3 จำนวน 1 เม็ด [Dig(b)003]

4 /5 จำนวน 1 เม็ด [Dig(b)004]

5 /3 จำนวน 1 เม็ด [Dig(b)005]

5 /4 จำนวน 3 เม็ด [Dig(b)006, Dig(b)007, Dig(b)008]

6 /4 จำนวน 4 เม็ด [Dig(b)009, Dig(b)010, Dig(b)011, Dig(b)012]

1.2 กลุ่มที่มีสีน้ำเงินอมเขียว (gB) มี 1 เม็ด จัดแบ่งได้เป็น 1 โทน คือ

2/2 จำนวน 1 เม็ด [Dig(b)013]

1.3 กลุ่มที่มีสีน้ำเงิน (B) มี 3 เม็ด จัดแบ่งได้เป็น 2 โทน คือ

5 /1 จำนวน 1 เม็ด [Dig(b)014]

5 /2 จำนวน 2 เม็ด [Dig(b)015, Dig(b)016]

2. กลุ่มที่มีสองสีในเม็ดเดียวกัน (สังเกตจากทิศทางขนานกับแกนแสง) แบ่งเป็น

2.1 สีบริเวณแกนกลางไม่มีสี ขอบสีม่วงอมน้ำเงิน (cc) = colourless core มี 12 เม็ด [Dig(cc)001 - Dig(cc)012] โดยสีม่วงอมน้ำเงิน (bV) บริเวณขอบ มีหลายโทน ได้แก่ 4/3, 4/5, 5/4, 5/5, 6/4, 6/5, 7/4

2.2 สีบริเวณแกนกลางเป็นสีม่วงอมน้ำเงินขอบสีน้ำเงิน (bc) = blue core มี 2 เม็ด [Dig(bc)001 - Dig(bc)002] โดยสีม่วงอมน้ำเงิน (bV) มี 1 โทน ได้แก่ 6/4 และ สีน้ำเงินอมม่วงบริเวณขอบมี 1 โทน ได้แก่ 5/3

2.3 สีบริเวณแกนกลางเป็นสีเหลืองขอบสีน้ำเงิน (yc) = yellow core มี 38 เม็ด [Dig(yc)001 - Dig(yc)038]

- โดยสีเหลืองมีสีต่างๆ ได้แก่ สีเหลืองอมเขียว (gY) มีหลายโทน คือ 2/1, 2/2, 2/3, 3 /4, 4/3 สีเหลืองเขียว (GY/YG) มี 3 โทน คือ 2/1, 2/3, 4/3 สีเหลืองอมเขียวเข้ม (stgY) มี 1 โทน คือ 2/1

- สีน้ำเงินบริเวณขอบ มีสีต่างๆ ได้แก่ สีน้ำเงินอมม่วง (vB) มีหลายโทน คือ 4/3, 4/4, 5/3, 7/3 สีม่วงอมน้ำเงิน (bV) มีหลายโทน คือ 3/4, 4/3, 4/4, 4/5, 5/4, 6/4, 7/4, 8/3
- 2.4 กลุ่มที่มีสีหลักเป็นสีเหลือง และมีแถบสี(patch/zone) ต่างๆ ปนอยู่ มี 31 เม็ด [Dig(y)001 - Dig(y)031]
- โดยสีเหลืองมีสีต่างๆ ได้แก่ สีเหลืองอมเขียว (gY) มีหลายโทน คือ 2/3, 3/4 สีเหลือง-เขียว/เขียว-เหลือง (GY/YG) มี 1 โทน คือ 2/1
 - แถบสีหรือโซนสีที่พบ มีหลายสี ได้แก่ สีน้ำเงิน สีน้ำตาล สีฟ้า-ขาว (milky blue) และสีขาวขุ่น (milky white)

คอร์นดัมจากแหล่ง Andilamena

ที่คัดเลือกมาศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางแสง มี 302 เม็ด พลอยเกือบทั้งหมดแสดงรูปผลึกแบบ tabular to short prismatic ชัดเจน ผิวผลึกมักขรุขระ บางเม็ดแสดงผิวผลึกที่สึกกร่อนเป็นรูปสามเหลี่ยม (triangle etching) ชัดเจนมาก ดังรูปที่ 15 ในการศึกษาจำแนกได้เป็น 6 กลุ่ม ตามกลุ่มสี (การจัดลำดับสี สังเกตในทิศขนานกับแกนแสง) และจำแนกออกเป็นกลุ่มย่อย โดยใช้ลักษณะภายในและมลทินที่มีลักษณะเด่นเป็นหลัก ได้แก่

การจำแนกออกเป็นกลุ่มสีจำแนกได้ 6 กลุ่ม ได้แก่

- | | |
|--|--------------------|
| 1. กลุ่มสีแดง (R) | ใช้สัญลักษณ์เป็น 1 |
| 2. กลุ่มสีแดง-ม่วง หรือ ม่วง-แดง (PR/RP) | ใช้สัญลักษณ์เป็น 2 |
| 3. กลุ่มสีแดงอมม่วงเข้ม (stpR) | ใช้สัญลักษณ์เป็น 3 |
| 4. กลุ่มสีแดงอมม่วงอ่อน(slpR) | ใช้สัญลักษณ์เป็น 4 |
| 5. กลุ่มที่มีสีสองสีในเม็ดเดียวกัน | ใช้สัญลักษณ์เป็น 5 |
| 6. กลุ่มที่มีสีแดงอมส้ม (oR) | ใช้สัญลักษณ์เป็น 6 |

แต่ละกลุ่มสี จำแนกออกเป็นกลุ่มย่อยได้เป็น 6 กลุ่ม โดยใช้ลักษณะภายในและมลทินที่มีลักษณะเด่น ได้แก่

- | | |
|---|--------------------|
| 1. กลุ่มที่มีมลทินภายในเป็น มลทินของแข็ง (solid inclusions) | ใช้สัญลักษณ์เป็น 1 |
| 2. กลุ่มที่มีมลทินภายในเป็นรอยแตก (cracks) | ใช้สัญลักษณ์เป็น 2 |
| 3. กลุ่มที่มีมลทินภายในเป็นรอยแตกที่มีการเชื่อมประสาน(healed-fractures) | ใช้สัญลักษณ์เป็น 3 |
| 4. กลุ่มที่มีมลทินภายในเป็นมลทินแท่งเข็ม (needles) | ใช้สัญลักษณ์เป็น 4 |
| 5. กลุ่มที่มีมลทินภายในเป็นมลทินสีขาวขนาดเล็ก (white particle) | ใช้สัญลักษณ์เป็น 5 |
| 6. กลุ่มที่ใสไม่มีมลทิน หรือมีมลทินน้อยมาก (clear) | ใช้สัญลักษณ์เป็น 6 |

7. กลุ่มที่มีมลทินภายในเป็นคราบสีน้ำตาล (brown stain)

ใช้สัญลักษณ์เป็น 7

1. กลุ่มสีแดง (R) มี 22 เม็ด จัดแบ่งได้เป็น 1 โทน คือ 5/6 แบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามลักษณะภายในดังนี้

Anm 1-1	มีจำนวน	- เม็ด (1 แทนกลุ่มสี , 1 แทนลักษณะมลทิน ตามสัญลักษณ์ข้างต้น)
Anm 1-2	มีจำนวน	4 เม็ด [Anm 1-2-001 ถึง Anm 1-2-004]
Anm 1-3	มีจำนวน	6 เม็ด [Anm 1-3-001 ถึง Anm 1-3-006]
Anm 1-4	มีจำนวน	3 เม็ด [Anm 1-4-001 ถึง Anm 1-4-003]
Anm 1-5	มีจำนวน	8 เม็ด [Anm 1-5-001 ถึง Anm 1-5-008]
Anm 1-6	มีจำนวน	1 เม็ด [Anm 1-6-001]

2. กลุ่มสีแดง-ม่วง หรือ ม่วง-แดง (PR/RP) มี 156 เม็ด จัดแบ่งได้เป็น 5 โทน คือ 4/5, 5/3, 6/3, 6/4 และ 6/6

Anm 2-1	มีจำนวน	21 เม็ด [Anm 2-1-001 ถึง Anm 2-1-021]
Anm 2-2	มีจำนวน	28 เม็ด [Anm 2-2-001 ถึง Anm 2-2-028]
Anm 2-3	มีจำนวน	2 เม็ด [Anm 2-3-001 ถึง Anm 2-3-002]
Anm 2-4	มีจำนวน	15 เม็ด [Anm 2-4-001 ถึง Anm 2-4-015]
Anm 2-5	มีจำนวน	46 เม็ด [Anm 2-5-001 ถึง Anm 2-4-046]
Anm 2-6	มีจำนวน	31 เม็ด [Anm 2-6-001 ถึง Anm 2-6-031]
Anm 2-7	มีจำนวน	13 เม็ด [Anm 2-7-001 ถึง Anm 2-7-013]

3. กลุ่มสีแดงอมม่วงเข้ม (stpR) มี 70 เม็ด จัดแบ่งได้เป็น 4 โทน คือ 6/4, 6/5-6/6, 6/6-6/5 และ 7/3

Anm 3-1	มีจำนวน	14 เม็ด [Anm 3-1-001 ถึง Anm 3-1-014]
Anm 3-2	มีจำนวน	18 เม็ด [Anm 3-2-001 ถึง Anm 3-2-018]
Anm 3-3	มีจำนวน	4 เม็ด [Anm 3-3-001 ถึง Anm 3-3-004]
Anm 3-4	มีจำนวน	5 เม็ด [Anm 3-4-001 ถึง Anm 3-4-005]
Anm 3-5	มีจำนวน	22 เม็ด [Anm 3-5-001 ถึง Anm 3-5-022]
Anm 3-6	มีจำนวน	7 เม็ด [Anm 3-6-001 ถึง Anm 3-5-007]

4. กลุ่มสีแดงอมม่วงอ่อน (slpR) มี 42 เม็ด จัดแบ่งได้เป็น 3 โทน คือ 6/3, 6/6-6/5 และ 7/4

Anm 4-1	มีจำนวน	3 เม็ด [Anm 4-1-001 ถึง Anm 4-1-003]
Anm 4-2	มีจำนวน	13 เม็ด [Anm 4-2-001 ถึง Anm 4-2-013]
Anm 4-3	มีจำนวน	4 เม็ด [Anm 4-3-001 ถึง Anm 4-3-004]
Anm 4-4	มีจำนวน	9 เม็ด [Anm 4-4-001 ถึง Anm 4-4-009]
Anm 4-5	มีจำนวน	7 เม็ด [Anm 4-5-001 ถึง Anm 4-5-007]
Anm 4-6	มีจำนวน	6 เม็ด [Anm 4-6-001 ถึง Anm 4-6-006]

5. กลุ่มที่มีสีสองสีในเม็ดเดียวกัน มี 3 เม็ด

Anm 5-2	มีจำนวน	1 เม็ด	[Anm 5-2-001]
Anm 5-3	มีจำนวน	1 เม็ด	[Anm 5-3-001]
Anm 5-5	มีจำนวน	1 เม็ด	[Anm 5-5-001]
6. กลุ่มที่มีสีแดงอมส้ม (oR) มี 9 เม็ด จัดแบ่งได้เป็น 1 โทน คือ 5/4

Anm 6-2	มีจำนวน	2 เม็ด	[Anm 6-2-001 ถึง Anm 6-2-002]
Anm 6-4	มีจำนวน	1 เม็ด	[Anm 6-4-001]
Anm 6-5	มีจำนวน	6 เม็ด	[Anm 6-5-001 ถึง Anm 6-5-006]

คอรัันดัมจากแหล่ง Vatomandry

มีทั้งหมด 93 ตัวอย่าง ตัวอย่างบางส่วนแสดงรูปผลึกแบบ elongated hexagonal prism ส่วนที่ไม่แสดงรูปผลึกมีลักษณะเกลี้ยงมันหรืออาจมีผิวขรุขระ (รูปที่ 16) ตัวอย่างทั้งหมดมีสีแดงใส แบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ตามกลุ่มสีหลัก (ไม่ได้แบ่งตาม inclusions เนื่องจากทุกกลุ่มสี พบ inclusions ได้หลากหลาย) ได้แก่

1. สีแดงอมส้ม (oR) จัดแบ่งได้เป็น 1 โทน คือ

oR 7/4	มีจำนวน	2 เม็ด	[Vam 1-001 ถึง Vam 1-002]
--------	---------	--------	-----------------------------
2. สีแดงอมม่วงอ่อน (slpR) จัดแบ่งได้เป็น 1 โทน คือ

slpR 6/5	มีจำนวน	1 เม็ด	[Vam 2-001]
----------	---------	--------	---------------
3. สีม่วง-แดง หรือแดง-ม่วง (PR/RP) จัดแบ่งได้เป็น 4 โทน คือ

PR/RP 6/4	มีจำนวน	72 เม็ด	[Vam 3-001 ถึง Vam 3-072]
PR/RP 6/3	มีจำนวน	1 เม็ด	[Vam 3-073]
PR/RP 5/3	มีจำนวน	2 เม็ด	[Vam 3-074 ถึง Vam 3-075]
PR/RP 4/3	มีจำนวน	1 เม็ด	[Vam 3-076]
4. สีแดงอมม่วงเข้ม (stpR) จัดแบ่งได้เป็น 3 โทน คือ

stpR 6/6	มีจำนวน	2 เม็ด	[Vam 4-001 ถึง Vam 4-002]
stpR 6/4	มีจำนวน	11 เม็ด	[Vam 4-003 ถึง Vam 4-013]
stpR 5/4	มีจำนวน	1 เม็ด	[Vam 4-014]

คอร์นดัมจากแหล่ง Andranondambo

มีทั้งหมด 48 ตัวอย่าง ตัวอย่างมีสีน้ำเงิน น้ำเงินอมม่วง ถึงม่วงอมน้ำเงิน แต่สีไม่สม่ำเสมอ มีทั้งที่ใสและที่มีสีขุ่นเข้ม ส่วนใหญ่ใสและแสดง zoning หรือ colour patch เป็นสีน้ำเงินเข้ม มีส่วนที่สีขาวขุ่นและเทาบ้าง (รูปที่ 17) ที่แสดงรูปผลึกชัดเจนมีลักษณะเป็น dipyrmaid ถึง barrel shape นอกจากนั้นแสดงรูปผลึกบางส่วน แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ตามกลุ่มสีหลัก ได้แก่

1. กลุ่มสีน้ำเงิน (B) จัดแบ่งได้เป็น 2 โทน คือ
 - 2/2 มีจำนวน 1 เม็ด [Anb 001]
 - 3/1 มีจำนวน 1 เม็ด [Anb 002]
2. กลุ่มสีน้ำเงินอมม่วง (vB) จัดแบ่งได้เป็น 1 โทน คือ
 - 3/3 มีจำนวน 1 เม็ด [Anb 003]
3. กลุ่มสีม่วงอมน้ำเงิน (bV) จัดแบ่งได้เป็น 5 โทน คือ
 - 2/3 มีจำนวน 3 เม็ด [Anb 004 ถึง Anb 006]
 - 3/4 มีจำนวน 4 เม็ด [Anb 007 ถึง Anb 010]
 - 5/5 มีจำนวน 16 เม็ด [Anb 011 ถึง Anb 026]
 - 6/5 มีจำนวน 15 เม็ด [Anb 027 ถึง Anb 041]
 - 7/4 มีจำนวน 7 เม็ด [Anb 042 ถึง Anb 048]

คอร์นดัมจากแหล่ง Ilakaka

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางแสงของตัวอย่างจำนวน 96 เม็ด ตัวอย่างทั้งหมดไม่แสดงรูปผลึก แสดงสีชัดเจน (รูปที่ 18 ถึง 21) สามารถจัดลำดับสีได้โดยเทียบกับชุดเทียบสีของ GIA จำแนกตัวอย่างเป็นกลุ่มตามกลุ่มสีหลักได้ 4 กลุ่ม คือ

1. สีน้ำเงิน ใช้สัญลักษณ์เป็น (b)
2. สีเขียว ใช้สัญลักษณ์เป็น (g)
3. สีเหลือง – ส้ม ใช้สัญลักษณ์เป็น (y) และ (o)
4. สีม่วงดอกมะเขือ(purple) – ม่วงดอกอัญชัน(violet) ใช้สัญลักษณ์เป็น (p) และ (v)

1. กลุ่มสีน้ำเงิน รหัสตัวอย่าง **Ilk(b)** มีจำนวน 20 เม็ด จัดแบ่งได้เป็นโทนต่างๆ ได้แก่
 - น้ำเงินอมเขียว (gB) มีจำนวน 3 เม็ด แบ่งเป็นโทน 2/2 2 เม็ด [Ilk(b)001, Ilk(b)002] และ vsIlgB 2/2 1 เม็ด [Ilk(b)003]
 - น้ำเงิน (B) มีจำนวน 6 เม็ด แบ่งเป็นโทน 2/2 5 เม็ด [Ilk(b)004 – Ilk(b)008] และ 3/1 1 เม็ด [Ilk(b)009]

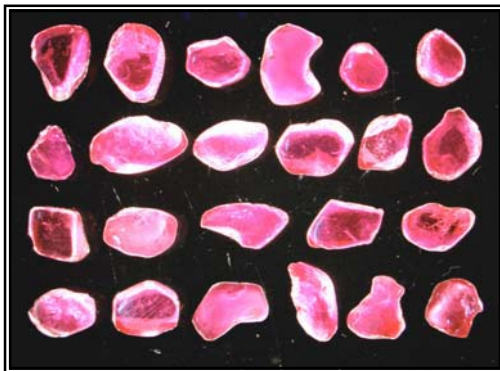
- น้ำเงินอมม่วง (vB) มีจำนวน 3 เม็ด แบ่งเป็นโทน $3/3$ 1 เม็ด [Ilk(b)010] $3/4$ 1 เม็ด [Ilk(b)011] และ $4/3$ 1 เม็ด [Ilk(b)012]
- ม่วงอมน้ำเงิน (bV) มีจำนวน 7 เม็ด แบ่งเป็นโทน $2/3$ 4 เม็ด [Ilk(b)013 – Ilk(b)016] และ $4/3$ 3 เม็ด [Ilk(b)018 – Ilk(b)020]
- น้ำเงิน-ม่วง (BV) มีจำนวน 1 เม็ด มี 1 โทน คือ $2/3$ [Ilk(b)017]



รูปที่ 14 คอรัณดัมจากแหล่ง Diego



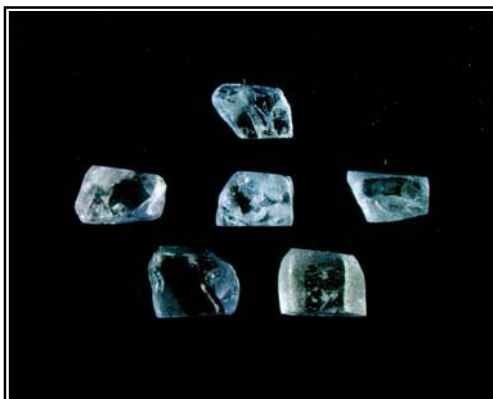
รูปที่ 15 ทับทิมจากแหล่ง Andilamena



รูปที่ 16 ทับทิมจากแหล่ง Vatomandry



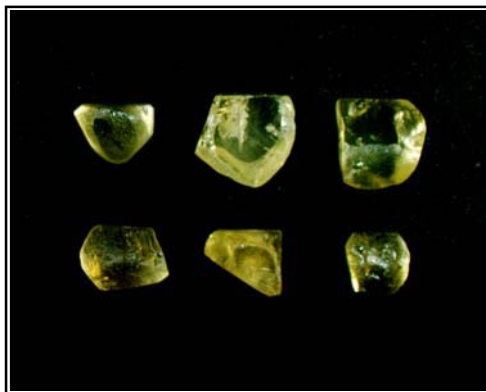
รูปที่ 17 คอรัณดัมจากแหล่ง Andranondambo



รูปที่ 18 คอรัณดัมสีน้ำเงินจากแหล่ง Ilakaka



รูปที่ 19 คอรัณดัมสีเขียวจากแหล่ง Ilakaka



รูปที่ 20 คอรัณดัมสีเหลืองจากแหล่ง Ilakaka



รูปที่ 21 คอรัณดัมสีชมพู-ม่วงจากแหล่ง

2. กลุ่มสีเขียว รหัสตัวอย่าง **Ilk(g)** มีจำนวน 12 เม็ด จัดแบ่งได้เป็นโทนต่างๆ ได้แก่

- สีเหลืองอมเขียว (gY) มีจำนวน 5 เม็ด มี 1 โทน คือ 2/3 [Ilk(g)001 - Ilk(g)005]
- สีเหลือง-เขียว หรือ เขียว-เหลือง (YG/GY) มีจำนวน 3 เม็ด มี 1 โทนคือ 2/1 [Ilk(g)006-Ilk(g)

008]

- สีเขียวอมเหลืองเข้ม (styG) มีจำนวน 4 เม็ด มี 1 โทน คือ 2/3 [Ilk(g)009 - Ilk(g)012]

3. กลุ่มสีเหลือง-ส้ม รหัสตัวอย่าง **Ilk(y), Ilk(o)** มีจำนวน 14 เม็ด จัดแบ่งได้เป็นโทนต่างๆ ได้แก่

- สีเหลืองอมเขียวอ่อน (slgY) มีจำนวน 1 เม็ด มี 1 โทน คือ 2/3 [Ilk(y)001]
- สีเหลือง (Y) มีจำนวน 11 เม็ด มี 3 โทน คือ 3/4 4 เม็ด [Ilk(y)002, Ilk(o)002 – Ilk(o)004] โทน 3/5 5 เม็ด [Ilk(y)003 - Ilk(y)007] และ โทน 4/5 2 เม็ด [Ilk(y)008, Ilk(y)009]
- สีเหลืองอมส้ม (oY) มีจำนวน 1 เม็ด มี 1 โทน คือ 2/3 [Ilk(o)001]
- สีส้มอมเหลือง (yO) มีจำนวน 1 เม็ด มี 1 โทน คือ 3/3 [Ilk(o)005]

4. กลุ่มสีม่วงดอกมะเขือ-ม่วงดอกอัญชัน รหัสตัวอย่าง **Ilk(p), Ilk(v)** มีจำนวน 50 เม็ด จัดแบ่งได้เป็นโทนต่างๆ ได้แก่

- สีม่วงดอกมะเขือ (P) มีจำนวน 6 เม็ด มี 3 โทน คือ 3 /4 3 เม็ด [Ilk(p)001, Ilk(p)002, Ilk(v)015] 6/3 2 เม็ด [Ilk (v) 008,Ilk(v) 014] และ 6/4 1 เม็ด [Ilk(v)009]
- สีม่วงดอกมะเขืออมแดง (rP) มีจำนวน 23 เม็ด มี 3 โทน คือ 2/3 14 เม็ด [Ilk(p)003 - Ilk(p)016], 3/4 2 เม็ด [Ilk(p)017, Ilk(p)018] และ 5/3 7 เม็ด [Ilk(p)019 - Ilk(p)021, Ilk(v)013, Ilk(v)017, Ilk(v)018, Ilk(v)019]
- สีม่วง-แดงหรือ แดง-ม่วง (PR/RP) มีจำนวน 8 เม็ด มี 3 โทน คือ 5/3 4 เม็ด [Ilk(p)022 - Ilk(p)025], 2/1 2 เม็ด [Ilk(p)029, Ilk(v)016] และ 4/2 1 เม็ด [Ilk(p)030] และ 6/3 1 เม็ด [Ilk(v)020]
- สีแดงอมม่วงเข้ม (stpR) มีจำนวน 3 เม็ด มี 3 โทน คือ 2/3 2 เม็ด [Ilk(p)026, Ilk(p)027] และ 3/3 1 เม็ด [Ilk(p)028]
- สีม่วงดอกอัญชัน (V) มีจำนวน 8 เม็ด มี 6 โทน คือ 2/1 3 เม็ด [Ilk(v)004 – Ilk(v)006], 3/2 2 เม็ด [Ilk(v)007, Ilk(v)010], 4/4 1 เม็ด [Ilk(v)002], 4/5 1 เม็ด [Ilk(v)003], 5/2 1 เม็ด [Ilk(v)001]
- สีม่วงดอกมะเขืออมน้ำเงิน (bP) มีจำนวน 2 เม็ด มี 2 โทน คือ 2/3 1 เม็ด [Ilk(v)012] และ 3/2 1 เม็ด [Ilk(v)011]

ตัวอย่างพลอยจากแหล่ง Ilakaka ที่ซื้อในงวดที่ 2

จากตัวอย่างที่ซื้อมาทั้งหมดในงวดที่ 2 จำนวน 5,146 เม็ด ทำการคัดเลือกตัวอย่างที่เป็นคอรั้นดำจำนวน 165 เม็ด (เนื่องจากมีพลอยเนื้ออ่อนชนิดต่างๆ ปนอยู่มาก) มาทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางแสงของตัวอย่างจำแนกตัวอย่างเป็นกลุ่มตามลักษณะของหน้าได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีหน้า และกลุ่มที่มีสีอ่อนใส (ไม่มีหน้า)

1. กลุ่มที่มีหน้า แยกตามชนิดหน้าได้ 4 กลุ่ม คือ

- | | |
|--------------------|----------------------|
| 1.1 กลุ่มหน้าทอง | ใช้สัญลักษณ์เป็น 1-1 |
| 1.2 กลุ่มหน้าเข้ม | ใช้สัญลักษณ์เป็น 1-2 |
| 1.3 กลุ่มหน้าอ่อน | ใช้สัญลักษณ์เป็น 1-3 |
| 1.4 กลุ่มหน้าปนหิน | ใช้สัญลักษณ์เป็น 1-4 |

2. กลุ่มที่ไม่มีหน้า เป็นกลุ่มที่ใสมีสีอ่อนมาก แยกตามสีได้ 7 กลุ่ม คือ

- | | |
|----------------|----------------------|
| 2.1 สีขาวใส | ใช้สัญลักษณ์เป็น 2-1 |
| 2.2 สีเหลืองใส | ใช้สัญลักษณ์เป็น 2-2 |
| 2.3 สีส้มอ่อน | ใช้สัญลักษณ์เป็น 2-3 |
| 2.4 สีชมพู | ใช้สัญลักษณ์เป็น 2-4 |
| 2.5 สีเขียว | ใช้สัญลักษณ์เป็น 2-5 |
| 2.6 สีฟ้า | ใช้สัญลักษณ์เป็น 2-6 |
| 2.7 สีม่วง | ใช้สัญลักษณ์เป็น 2-7 |

1. กลุ่มที่แสดงหน้าชัดเจน

ตัวอย่างที่แสดงลักษณะหน้า ศึกษาลักษณะของหน้าโดยใช้ไฟฉายสำหรับส่องพลอย สามารถเลือกคอรั้นดำจากแหล่ง Ilakaka ที่มีหน้าได้ทั้งหมด 179 เม็ด จากนั้นคัดมาศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางแสงจำนวน 56 เม็ด ตัวอย่างเกือบทั้งหมดไม่แสดงรูปผลึก สีฟ้า ถึงน้ำเงิน แสดงลักษณะสีขาวขุ่นหรือหน้าทั้งแบบทั่วทั้งเม็ดหรือแสดงบางส่วน (รูปที่ 22) จากการศึกษา (ร่วมกับที่ปรึกษาโครงการฯ) สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ 4 กลุ่ม ได้แก่

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1.1 กลุ่มที่มีหน้าทอง : Ilk 1-1 | มีจำนวน 18 เม็ด [Ilk 1-1-001 ถึง Ilk 1-1-018] |
| 1.2 กลุ่มที่มีหน้าเข้ม : Ilk 1-2 | มีจำนวน 23 เม็ด [Ilk 1-2-001 ถึง Ilk 1-2-023] |
| 1.3 กลุ่มที่มีหน้าอ่อน : Ilk 1-3 | มีจำนวน 10 เม็ด [Ilk 1-3-001 ถึง Ilk 1-3-010] |
| 1.4 กลุ่มที่มีหน้าปนหิน : Ilk 1-4 | (เป็นลักษณะที่แสดงหน้า แต่มีลักษณะของสิ่งแปลกปลอมของแร่ชนิดอื่นเข้ามาปน) มีจำนวน 5 เม็ด [Ilk 1-4-001 ถึง Ilk 1-4-005] |

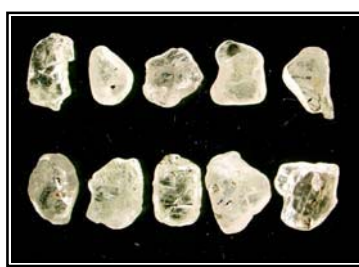
2. กลุ่มที่มีสีอ่อนใส

คัดเลือกมาศึกษาจำนวน 109 เม็ด ตัวอย่างทั้งหมดไม่แสดงรูปผลึก มักมีลักษณะค่อนข้างแบน ส่วนใหญ่แสดง parting ชัดเจน ในการศึกษาแบ่งเป็นกลุ่มสีต่างๆ ได้ 7 กลุ่ม (รูปที่ 23 ถึง 29)

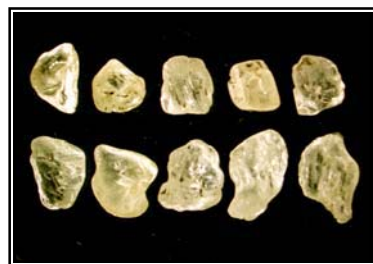
1. ใสไม่มีสี (colourless) ใช้สัญลักษณ์เป็น Ilk 2-1 มีจำนวน 10 เม็ด [Ilk 2-1-001 ถึง Ilk 2-1-010]
2. สีเหลืองใส (light yellow) ใช้สัญลักษณ์เป็น Ilk 2-2 มีจำนวน 20 เม็ด [Ilk 2-2-001 ถึง Ilk 2-2-020]
3. สีส้มอ่อน (light orange) ใช้สัญลักษณ์เป็น Ilk 2-3 มีจำนวน 14 เม็ด [Ilk 2-3-001 ถึง Ilk 2-3-014]



รูปที่ 22 คอรันดัมหม่นจากแหล่ง Ilakaka



รูปที่ 23 คอรันดัมใสไม่มีสีจากแหล่ง



รูปที่ 24 คอรันดัมสีเหลืองอ่อนจากแหล่ง Ilakaka



รูปที่ 25 คอรันดัมสีส้มอ่อนจากแหล่ง



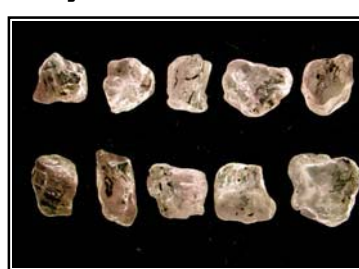
รูปที่ 26 คอรันดัมสีชมพูอ่อนจากแหล่ง Ilakaka



รูปที่ 27 คอรันดัมสีเขียวอ่อนจากแหล่ง



รูปที่ 28 คอรันดัมสีฟ้าอ่อนจากแหล่ง Ilakaka



รูปที่ 29 คอรันดัมสีม่วงจากแหล่ง Ilakaka

- | | |
|--------------------------|--|
| 4. สีชมพู (light pink) | ใช้สัญลักษณ์เป็น Ilk 2-4 มีจำนวน 20 เม็ด [Ilk 2-4-001 ถึง Ilk 2-4-020] |
| 5. สีเขียว (light green) | ใช้สัญลักษณ์เป็น Ilk 2-5 มีจำนวน 13 เม็ด [Ilk 2-5-001 ถึง Ilk 2-5-013] |
| 6. สีฟ้า (light blue) | ใช้สัญลักษณ์เป็น Ilk 2-6 มีจำนวน 14 เม็ด [Ilk 2-6-001 ถึง Ilk 2-6-014] |
| 7. สีม่วง (light purple) | ใช้สัญลักษณ์เป็น Ilk 2-7 มีจำนวน 18 เม็ด [Ilk 2-7-001 ถึง Ilk 2-7-018] |

ผลการตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และสมบัติพื้นฐานทางอณูโมเลกุลของทับทิมและแชปไฟร์จากแหล่งต่างๆ ของมาดากัสการ์

แชปไฟร์จากแหล่งดีเอโก

มีค่าความถ่วงจำเพาะ	: ระหว่าง 3.960 ถึง 4.065
ค่าดัชนีหักเห	: $n_c = 1.759 - 1.769$ $n_o = 1.767 - 1.779$
ค่าไบรีฟริงเจนซ์	: 0.008 - 0.010
การเรืองแสง	: ไม่เรืองแสงภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต
ลำดับสี	: น้ำเงิน, น้ำเงินอมม่วง, น้ำเงินอมเขียว, ม่วงอมน้ำเงิน, เหลืองอมเขียว ถึง เขียวอมเหลือง
สเปกตรัม	: แชปไฟร์ส่วนใหญ่แสดงแถบการดูดกลืนแสงเนื่องจากธาตุเหล็ก (Fe^{3+}) ที่ 450 นาโนเมตร
ลักษณะและมลทินภายใน	: มลทินลายนิ้วมือ, มลทินรูปเข็ม, มลทิน 2-3 สถานะ, มลทิน

ทอกลวง, มลทินผลึกแร่ และมลทินผลึกแร่กลวง

ทับทิมจากแหล่งแอนติลามินา

ค่าความถ่วงจำเพาะ	: ระหว่าง 3.930 ถึง 4.103
ค่าดัชนีหักเห	: $n_c = 1.759 - 1.765$ $n_o = 1.768 - 1.774$
ค่าไบรีฟริงเจนซ์	: 0.009
การเรืองแสง	: เรืองแสงสีแดงอ่อน ภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตคลื่นสั้น

เรืองแสงสีแดงปานกลาง-เข้มภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตคลื่น

ยาว

ลำดับสี : สีแดง ถึง แดงอมม่วงและแดงอมส้ม
สเปกตรัม : ทับทิมส่วนใหญ่แสดงแถบการดูดกลืนแสงเนื่องจากธาตุ

เหล็ก

(Fe³⁺) ที่ 472, 478 นาโนเมตร และโครเมียม (Cr³⁺) ที่
680, 530-590 และ 690-700 นาโนเมตร

ลักษณะและมลทินภายใน : มลทินลายนิ้วมือ, มลทินรูปเข็ม, มลทินผลึกแร่ทึบแสง
และมลทินผลึกแร่ใส

ทับทิมจากแหล่งวาโตแมนดรี

ค่าความถ่วงจำเพาะ : ระหว่าง 3.894 ถึง 4.096

ค่าดัชนีหักเห : $n_e = 1.761 - 1.763$

$n_o = 1.769 - 1.771$

ค่าไบรีฟริงเจนซ์ : 0.008

การเรืองแสง : เรืองแสงสีแดงอ่อน ภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตคลื่นสั้น
เรืองแสงสีแดงปานกลาง-เข้มภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตคลื่น

ยาว

ลำดับสี : สีแดง แดงอมส้ม ถึง แดงอมม่วง

สเปกตรัม : ทับทิมส่วนใหญ่แสดงแถบการดูดกลืนแสงเนื่องจากธาตุ
โครเมียม(Cr³⁺) ที่ 380-430, 520-590 และ 693 นาโนเมตร

ลักษณะและมลทินภายใน : มลทินรูปเข็ม, มลทินลายนิ้วมือ, มลทินผลึกแร่ทึบแสง,
มลทินผลึกแร่ใส และมลทินท่อกว้าง

แซปไฟร์จากแหล่งแอนดราโนแคมโบ

ค่าความถ่วงจำเพาะ : ระหว่าง 3.825 ถึง 4.070

ค่าดัชนีหักเห : $n_e = 1.760 - 1.763$

$n_o = 1.768 - 1.771$

ค่าไบรีฟริงเจนซ์ : 0.008-0.009

การเรืองแสง : ไม่เรืองแสงภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต

ลำดับสี : สีน้ำเงิน ถึง ม่วงอมน้ำเงิน
 สเปกตรัม : แชนป์ไฟร์ส่วนใหญ่ แสดงแถบการดูดกลืนแสงที่ 400-460, 560-590, 680, และ 690-700 นาโนเมตร
 ลักษณะและมลทินภายใน : แสดงแถบโซนสี (colour zoning) เค้นชัด มลทินอื่นๆที่พบ ได้แก่ มลทินลายนิ้วมือ, มลทินท่อกวาง, มลทินผลึกแร่ ทึบแสง และมลทินผลึกแร่ใส

แซปไฟร์จากแหล่งอิลากากา

ค่าความถ่วงจำเพาะ : ระหว่าง 3.811 ถึง 4.037
 ค่าดัชนีหักเห : $n_c = 1.759 - 1.764$
 $n_o = 1.767 - 1.772$
 ค่าไบรีฟริงเจนซ์ : 0.008-0.009

การเรืองแสง :

แซปไฟร์สีน้ำเงิน → คลื่นสั้น : ไม่เรืองแสง
 คลื่นยาว : ไม่เรืองแสงหรืออาจเรืองแสงสีชมพูถึงแดงแซปไฟร์สีเขียว → คลื่นสั้น : ไม่เรืองแสง
 คลื่นยาว : เรืองแสงสีแดงเข้ม

แซปไฟร์สีส้ม → คลื่นสั้น : ไม่เรืองแสง
 คลื่นยาว : เรืองแสงสีแดงเข้ม

แซปไฟร์สีแดงอมม่วง → คลื่นสั้น : ไม่เรืองแสง
 คลื่นยาว : เรืองแสงสีแดงเข้ม

แซปไฟร์สีม่วง → คลื่นสั้น : ไม่เรืองแสง
 คลื่นยาว : เรืองแสงสีแดง-แดงอมม่วงอ่อน หรือ เรืองแสงสีแดงปานกลาง-เข้ม

แซปไฟร์สีเหลือง → คลื่นสั้น : ไม่เรืองแสง หรือเรืองแสงสีเหลืองด้าน (chalky yellow)
 คลื่นยาว : เรืองแสงสีแดงปานกลาง

แซปไฟร์หม่นเทา → คลื่นสั้น : ไม่เรืองแสง
 คลื่นยาว : ไม่เรืองแสง หรือเรืองแสงสีส้มหรือแดงอ่อนถึงปานกลาง

แซปไฟร์หมาเข้ม และแซปไฟร์หมาอ่อน

→ คลื่นสั้น : ไม่เรืองแสง

คลื่นยาว : ไม่เรืองแสงหรือเรืองแสงสีส้มเข้ม

แซปไฟร์หมาปนหิน → คลื่นสั้น : ไม่เรืองแสง

คลื่นยาว : ไม่เรืองแสง

แซปไฟร์ใสไม่มีสี → คลื่นสั้น : ไม่เรืองแสง

คลื่นยาว : ไม่เรืองแสง หรือเรืองแสงสีแดง/ส้ม

อ่อนถึงเข้ม

ลำดับสี : สีนํ้าเงิน, ม่วง, เขียว, ส้ม , แดงอมม่วง และเหลือง

ลักษณะและมลทินภายใน : มลทินลายนิ้วมือ, มลทินรูปเข็ม, มลทินผลึกแร่ทึบแสง และ
มลทินผลึกแร่ใส , มลทิน 3 สถานะ

จากการตรวจสอบสมบัติทางอัญมณีวิทยาดังกล่าว ทำให้สามารถตรวจแยกตัวอย่างพลอยชนิดอื่นที่
ปะปนมากับแซปไฟร์จากแหล่งอิลากากา (แยกจากค่าดัชนีหักเหและค่าความถ่วงจำเพาะ) จำนวน 11 เม็ด
ได้แก่ Chrysoberyl สีเหลือง จำนวน 1 เม็ด น้ำหนักรวม 0.945 กรัม และ
Spinel สีม่วง จำนวน 10 เม็ด น้ำหนักรวม 6.430 กรัม

หมายเหตุ พลอยชนิดต่างๆ เหล่านี้ หากไม่ตรวจแยกออกก่อนทำการเพิ่มคุณภาพด้วยความร้อน อาจ
ทำให้เกิดความเสียหายต่อพลอยคอร์ันดัมที่เผาพร้อมกันได้ เช่น อาจเกิดการหลอมรวมกันเป็นก้อน/กระจุก ทำ
ให้เสียหายด้วยกันทั้งปึกได้ เพราะจุดหลอมและการตอบสนองต่อความร้อนของพลอย
แตกต่างกัน

(2) การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์โดยเครื่องมือขั้นสูง

ก. ตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR spectrophotometer

เพื่อให้การวัด absorption spectrum ของตัวอย่างพลอยได้ผลดี ต้องจัดตัวอย่างให้มีหน้าเรียบในทิศทางขนานกับแกนแสง (c-axis) สองด้านขนานกัน โดยตรวจหาทิศทางของแกนแสงของตัวอย่างพลอยด้วยเครื่องโพลาไรสโคป (รูปที่ 30) ทำเครื่องหมายไว้ แล้วส่งไปจ้างช่างเจียรไนพลอย จัดให้มีหน้าเรียบในทิศทางดังกล่าว สำหรับการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 30 เครื่องโพลาไรสโคป (polariscope) ใช้ตรวจหาทิศทางของแกนแสงของพลอย

เครื่อง UV-Vis-NIR spectrophotometer ที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นเครื่อง HITACHI รุ่น U4100 (รูปที่ 31) ของสาขาวิชาอัญมณีวิทยา ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



รูปที่ 31 เครื่อง UV-Vis-NIR spectrophotometer ของ HITACHI รุ่น U-4100

หลักการทำงานของเครื่องมือ

เครื่องมือนี้ เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาการดูดกลืนคลื่นแสงของตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบ ในช่วงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) ถึงอินฟราเรดช่วงใกล้ (near infrared) ที่ความยาวคลื่น 175 ถึง 2600 นาโนเมตร โดยมี monochromator 2 ตัว ตัวแรกเป็นปริซึมรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าที่ทำจาก anhydrous fused quartz ทำหน้าที่เป็นตัวรับและกระจายแสง monochromator อีกตัวหนึ่งทำหน้าที่แยกคลื่นแสงออกเป็นคลื่นเดี่ยว 2 ช่วงคลื่นที่ต่อเนื่องกัน คือ ช่วงคลื่นแสงอัลตราไวโอเลตและช่วงคลื่นแสงอินฟราเรดช่วงใกล้

สำหรับแหล่งกำเนิดแสง ใช้หลอดฮาโลเจน (halogen lamp) เป็นแหล่งกำเนิดแสงในช่วง visible-near infrared และใช้หลอดดีวเทอเรียม (deuterium lamp) เป็นแหล่งกำเนิดแสงในช่วง ultraviolet โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนคลื่นแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า สำหรับเครื่องอ่านหรือแปลสัญญาณ (detector) ใช้ photomultiplier tube วัดความเข้มแสงช่วง ultraviolet ถึง visible และใช้ cooled PbS สำหรับวัดความเข้มแสงช่วง near infrared ซึ่งสามารถบันทึกสเปกตรัมต่อเนื่องกันโดยอัตโนมัติ และอ่านสัญญาณออกมาในรูปของกราฟการดูดกลืนแสง (Absorbance : A) โดยการดูดกลืนแสงของวัตถุใดๆ จะมีความสัมพันธ์กับความเข้มของแสงตกกระทบ (incident light) และแสงที่ส่องผ่าน (transmitted light) วัตถุนั้น

UV-Vis-NIR spectrophotometer เป็นเครื่องมือแบบลำแสงคู่ (double beam instrument) โดยที่ลำแสงหนึ่งจะเป็นแนวอ้างอิง (reference path) อีกลำแสงหนึ่งผ่านตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ (sample path) จากนั้นจะเปรียบเทียบความเข้มของลำแสงทั้งสองโดยวัดพร้อมกันผ่านไปยังชุดประมวลผลข้อมูล ข้อดีของการมีลำแสงคู่ คือ ขจัดปัญหาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเข้มจากแหล่งแสง และการตอบสนองของเครื่องวัดความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา เพราะมีการวัดอัตราความเข้มแสงจากแนวอ้างอิงกับตัวอย่างในช่วงเวลาใกล้เคียงกันมาก

เมื่อแสงที่อยู่ในช่วง UV-visible ผ่านเข้าไปในโมเลกุลของสาร สารนั้นจะดูดกลืนแสงเฉพาะบางช่วง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอน (electron transition) ซึ่งโดยมากจะใช้พลังงานประมาณ 30-150 kcal/mole เป็นอิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกสุดหรืออิเล็กตรอนที่เกิดพันธะแล้ว หรืออิเล็กตรอนที่ยังไม่เกิดพันธะ (non-bonding electrons) ซึ่งแต่ละชนิดจะมีพลังงานแตกต่างกัน ระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานสูงขึ้นนี้ เรียกว่า antibonding orbital

เทคนิคและวิธีการตรวจสอบด้วยเครื่อง UV-Vis-NIR spectrophotometer

ก่อนทำการตรวจวัด ต้องเปิดสวิตซ์ทิ้งไว้เพื่ออุ่นเครื่องเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบกำหนดทำการ calibrate เครื่องที่ความยาวคลื่น 650-660 นาโนเมตร จากนั้นใส่เลนส์ที่เป็น polarizing filter เข้าไป

ระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์จับยึดตัวอย่าง แล้ว run เครื่องเพื่อวัดความเข้มแสงเปรียบเทียบ (baseline) 2 ครั้ง ขณะที่ยังไม่ใส่ตัวอย่าง ในครั้งแรกปรับให้ polarizing filter อยู่ในตำแหน่งศูนย์องศา (0° polarizer) โดยกำหนดให้เป็น user 1 ครั้งต่อมาปรับให้ polarizing filter อยู่ในตำแหน่งที่ทำมุม 90° องศากับตำแหน่งแรก (90° polarizer) โดยกำหนดให้เป็น user 2 การ run baseline ในแต่ละครั้งเพื่อใช้เป็นแนวทางอิงในการตรวจสอบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่างในทิศทางของ o-ray และ e-ray

ในการวัดสเปกตรัมของตัวอย่างคอร์ันดัม นิยมวัดในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 250 ถึง 1,500 นาโนเมตร โดยกำหนดให้มีความละเอียด (resolution) คงที่ที่ 2 นาโนเมตร (หมายถึง มีการเก็บข้อมูลทุกๆ 2 นาโนเมตร) อัตราเร็วการวัดความเข้มแสง (scan speed) กำหนดที่ 300 นาโนเมตรต่อนาที การปรับและกำหนดค่าต่างๆ ข้างต้น ควบคุมโดยผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์

การตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างแต่ละเม็ด ทำการวิเคราะห์ 2 ครั้ง เพื่อหาสเปกตรัมของตัวอย่างในทิศทางของ o-ray และ e-ray โดยจัดให้แนวแกนแสง (c-axis) ของตัวอย่างมีทิศทางตั้งฉากกับ plane polarized light เมื่อต้องการวัดสเปกตรัมในทิศทางของ o-ray และจัดให้แกนแสงของตัวอย่างมีทิศทางขนานกับ plane polarized light เมื่อต้องการวัดสเปกตรัมในทิศทางของ e-ray

ข. ตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี

ข.1 การวิเคราะห์ชุดแรก

การคัดเลือกและเตรียมตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างก่อนทำการทดลองเผา ทำให้ทราบถึงชนิดและปริมาณของธาตุที่ทำให้เกิดสีใน tone และ saturation ต่างๆ ตลอดจนการกระจายตัวของธาตุ วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค EPMA ที่ Natural History Museum กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ อาศัยหลักดังนี้

1. เลือกให้ครอบคลุมทุกกลุ่มสี โดยให้มี tone และ saturation ต่างๆ กัน
2. ในแต่ละกลุ่ม ควรมีตัวอย่างที่ใสสะอาด ตัวอย่างที่มีมลทินภายในโพล์มาถึงผิว ตัวอย่างที่มีรอยแตก ตัวอย่างที่มีความขุ่นมัว และตัวอย่างที่มีแถบสีหรือหย่อมสี
3. ตัวอย่างทับทิมจากแหล่ง Andilamena และ Vatomandry ซึ่งมีสีสม่ำเสมอเท่ากันทั้งเม็ด และที่มีมลทินสีขาวขุ่นบริเวณกลางผลึก ได้คัดเลือกเม็ดที่แสดงรูปผลึกชัดเจนมาผ่าครึ่งตามแนวแกน c เพื่อให้บริเวณขาวขุ่นอยู่ทั้ง 2 ส่วนของซีกที่ผ่าในปริมาณเท่าๆ กัน โดยเก็บส่วนหนึ่งไว้ อีกส่วนหนึ่งนำไปวิเคราะห์แล้วทดลองเผา เพื่อไว้เปรียบเทียบสีก่อนและหลังเผา

4. ตัวอย่างที่มีสีขาวขุ่น (หม่า) จาก Ilakaka ได้คัดเลือกเม็ดตัวอย่างที่แสดงหม่าทอง หม่าเข้ม หม่าอ่อน และหม่าปนหิน โดยให้มีหม่ากระจายอยู่ทั่วทั้งเม็ด นำมาผ่าครึ่งให้ได้สมมาตรที่สุด เพื่อนำไปวิเคราะห์และเผาเพียงครั้งเดียว

จากหลักเกณฑ์ดังกล่าว สามารถคัดเลือกตัวอย่างและบรรจุลงในเบ้ากลมเพื่อนำไปวิเคราะห์ได้จำนวน 400 ตัวอย่างใน 46 เบ้า จำแนกตามแหล่งได้ดังนี้

- | | |
|--------------------------|--|
| 1. แหล่ง Diego | จำนวน 67 ตัวอย่าง (รูปที่ 32) วิเคราะห์ได้จริง 35 ตัวอย่าง |
| 2. แหล่ง Andilamena | จำนวน 67 ตัวอย่าง (รูปที่ 33) วิเคราะห์ได้จริง 23 ตัวอย่าง |
| 3. แหล่ง Vatomandry | จำนวน 16 ตัวอย่าง (รูปที่ 34) วิเคราะห์ได้จริง 4 ตัวอย่าง |
| 4. แหล่ง Andranondambo | จำนวน 30 ตัวอย่าง (รูปที่ 34) วิเคราะห์ได้จริง 14 ตัวอย่าง |
| 5. แหล่ง Ilakaka แยกเป็น | |
| - ตัวอย่างที่มีหม่า | จำนวน 42 ตัวอย่าง (รูปที่ 35) วิเคราะห์ได้จริง 23 ตัวอย่าง |
| - ตัวอย่างที่ไม่มีหม่า | จำนวน 178 ตัวอย่าง (รูปที่ 36 และ 37) |
| | วิเคราะห์ได้จริง 90 ตัวอย่าง |

รวมตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้จริง 189 ตัวอย่าง

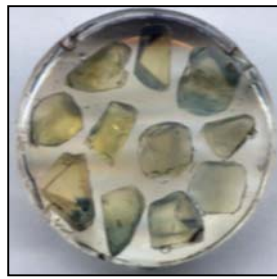
รูปที่ 38 เป็นเบ้าตัวอย่างที่รวมคอร์นคัมจากแหล่งต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น ยกเว้นแหล่ง Vatomandry

การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างคอร์นคัมจากมาดากัสการ์ก่อนเผา ดำเนินการระหว่างวันที่ 27 สิงหาคม 2545 ถึง 29 กันยายน 2545 โดยใช้เทคนิค SEM-EDX และ electronprobe microanalysis (EPMA) ณ Department of Mineralogy, Natural History Museum, London, UK

สำหรับเทคนิค SEM-EDX (scanning electron microscope with energy dispersive X-ray fluorescence) ใช้เครื่อง JEOL Model : JSM-5900LV (รูปที่ 39) โดยใช้ Oxford's INCA software for element mapping and spectrum acquisition through backscattered electron images เทคนิคนี้เหมาะสำหรับการทำ element mapping และใช้ในการตรวจวิเคราะห์ผลหินได้ในกรณีที่โพลีขึ้นถึงพื้นผิวของตัวอย่างพลอย



Dig(v) 1



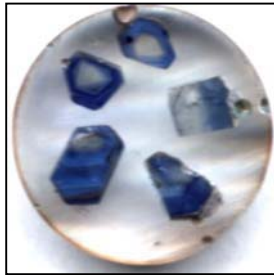
Dig(v) 2



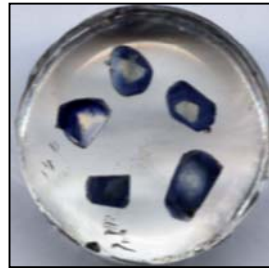
Dig(b) 1



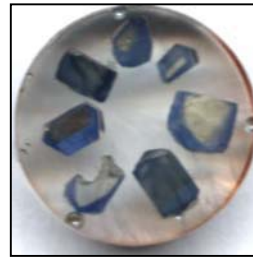
Dig(b) 2



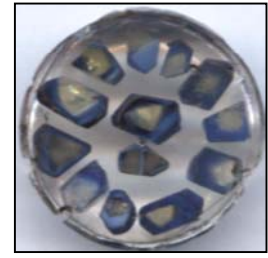
Dig(cc) 1



Dig(cc) 2

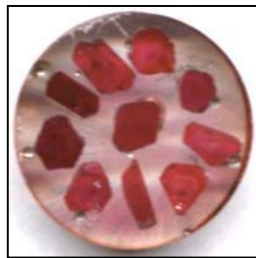


Dig(vc) 1

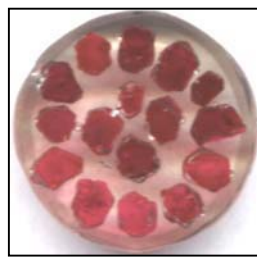


Dig(vc) 2

รูปที่ 32 เป้าที่บรรจุตัวอย่างคอร์นดัมแหล่ง Diego



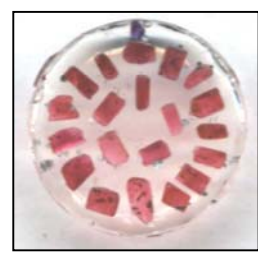
Anm 1



Anm 2

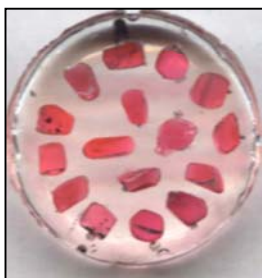


Anm 3

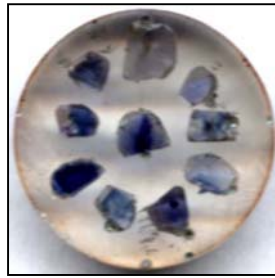


Anm 4

รูปที่ 33 เป้าที่บรรจุตัวอย่างคอร์นดัมแหล่ง Andilamena



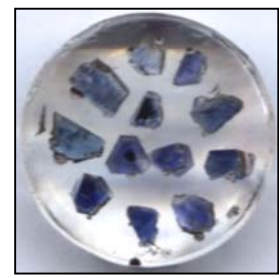
Vam



Anb 1



Anb 2



Anb 3

รูปที่ 34 เป้าที่บรรจุตัวอย่างคอร์นดัมแหล่ง Vatomandry (ทับทิมรูปซ้ายมือ)

และเป้าที่บรรจุตัวอย่างคอร์นดัมแหล่ง Andranondambo



Ilk 1-1



Ilk 1-2



Ilk 1-3



Ilk(m) 1



Ilk(m) 2

รูปที่ 35 เบ้าที่บรรจุตัวอย่างคอรีนดัมแหล่ง Ilakaka กลุ่มที่มีหมว่



Ilk(y) 1



Ilk(y) 2



Ilk(b) 1



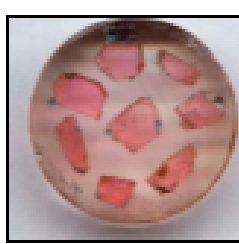
Ilk(b) 2



Ilk(g) 1



Ilk(g) 2



Ilk(p)



Ilk(v)



Ilk(c)

รูปที่ 36 เบ้าที่บรรจุตัวอย่างคอรีนดัมแหล่ง Ilakaka กลุ่มที่มีสีชัดเจน



IIk 2-1 (1)



IIk 2-1 (2)



IIk 2-2 (1)



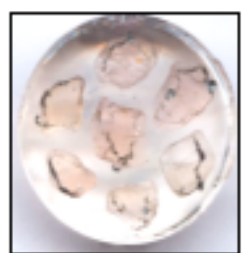
IIk 2-2 (2)



IIk 2-2 (3)



IIk 2-3 (1)



IIk 2-3 (2)



IIk 2-4 (1)



IIk 2-4 (2)



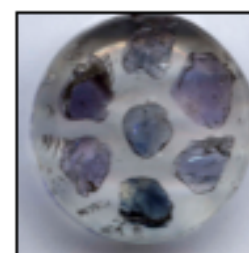
IIk 2-5 (1)



IIk 2-5 (2)



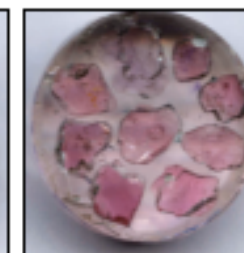
IIk 2-6 (1)



IIk 2-6 (2)



IIk 2-7 (1)



IIk 2-7 (2)

รูปที่ 37 เนื้อที่บรรจุตัวอย่างคอรัลติมแหล่ง Iiakaka กลุ่มที่มีสีอ่อนใส



mixed

รูปที่ 38 เนื้อที่บรรจุตัวอย่างคอรัลติมแบบ รวมแหล่ง

ส่วนเทคนิค electronprobe microanalysis ใช้เครื่อง CAMECA SX50 microprobe (รูปที่ 40) with wavelength dispersive X-ray fluorescence, operated via a SUN Work Station using the UNIX operating system โดยใช้ synthetic corundum เป็น standard สำหรับการวิเคราะห์แบบ quantitative

ตัวอย่างที่เตรียมไว้ รวม 400 ตัวอย่าง จากแหล่งคอร์ันดัมทั้ง 5 แหล่งของมาดากัสการ์ ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ สามารถทำการวิเคราะห์ได้จริงเพียง 189 ตัวอย่าง เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลา และการจองใช้เครื่องมือ ในการเลือกตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ก่อน เลือกโดยพยายามให้ครอบคลุมกลุ่มสีทุกสีของแต่ละแหล่ง ทั้งที่แสดงหม่นชนิดต่างๆ และเหลือบ รวมทั้งที่ใสไม่มีหม่น และที่แสดง colour zoning แต่ละเบ้าตัวอย่างต้องนำไปตรวจสอบก่อนว่าจะบรรจุลงใน sample holder ได้พอดีหรือไม่ พบว่าส่วนใหญ่ของเบ้าตัวอย่างที่เตรียมไป ต้องนำไปขัดเพื่อลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเบ้าลงเล็กน้อย ก่อนทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทั้งสองดังกล่าว ต้องนำเบ้าตัวอย่างไปเคลือบด้วยผงถ่าน (รูปที่ 41) เพื่อป้องกันการกระจุกตัวของอิเล็กตรอนบนผิวตัวอย่าง ระหว่างการวิเคราะห์

ธาตุที่วิเคราะห์หา

ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี ไม่ว่าจะเป็นการทำ element mapping ด้วยเทคนิค SEM, การทำ line scanning และ point analysis ด้วยเทคนิค EPMA ธาตุที่วิเคราะห์หาเสมอ ได้แก่ Al, Cr, Fe, Ga, Ti และ V เฉพาะการทำ element mapping อาจวิเคราะห์หาธาตุอื่นด้วย เช่น Mg, Mn, Ni แต่ไม่เสมอไป สำหรับ EPMA ธาตุอีก 2 ตัว ที่วิเคราะห์ด้วยเสมอ คือ Si และ Mg

ข.2 การวิเคราะห์ชุดที่สอง

การคัดเลือกและเตรียมตัวอย่าง

วัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างพลอยครั้งนี้ เพื่อเปรียบเทียบส่วนประกอบ (โดยเฉพาะปริมาณธาตุร่องรอย) ก่อนและหลังการทดลองเผา ว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ตัวอย่างที่คัดเลือกส่วนใหญ่เป็นตัวอย่างที่เคยวิเคราะห์ และผ่านการทดลองเผา มา โดยเลือกตัวอย่างครอบคลุมจากทั้ง 5 แหล่ง มีตัวอย่างส่วนหนึ่งที่ยังไม่เคยวิเคราะห์มาก่อน (เป็นตัวอย่างที่ตัดแบ่งครึ่งออก นำส่วนหนึ่งไปทดลองเผา) ครึ่งนี้นำทั้งสองส่วนไปทำการวิเคราะห์ด้วยกัน นอกจากวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีแล้ว ยังต้องการวิเคราะห์แร่ลทินที่ปรากฏในเนื้อพลอย เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของมลทินหลังการทดลองเผา การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค EPMA (Electron probe microanalysis) และวิเคราะห์มลทินด้วยเทคนิค SEM-EDX (Scanning electron microscope with energy dispersive x-ray fluorescence) ณ Department of Mineralogy, the

Natural History Museum กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ ใช้วิธีเดียวกันกับที่กล่าวไว้



รูปที่ 39 เครื่อง scanning electron microscope with energy dispersive X-ray fluorescence
(JEOL Model : JSM-5900LV)



รูปที่ 40 เครื่อง CAMECA SX50 microprobe



รูปที่ 41 เครื่องเคลือบตัวอย่างด้วยผงถ่าน (carbon sputter)

ข้างต้น โดยสรุป มีตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์รวมทั้งสิ้น 212 ตัวอย่าง การวิเคราะห์ดำเนินการระหว่างวันที่ 23 พฤษภาคม ถึง 30 มิถุนายน 2546

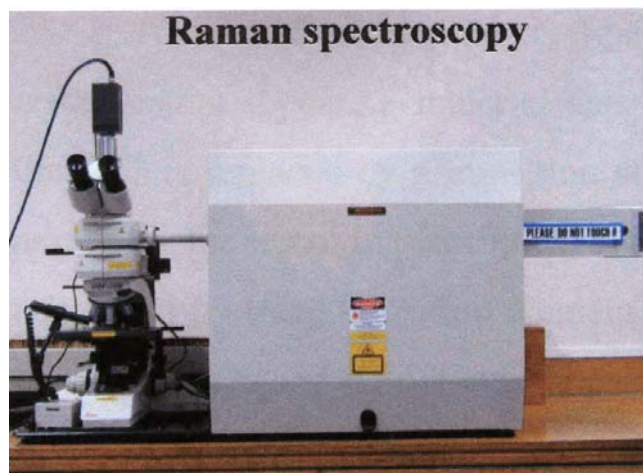
ธาตุที่วิเคราะห์หา

เป็นธาตุกลุ่มเดียวกับที่เคยวิเคราะห์มาก่อน ได้แก่ Al, Mg, Si, Cr, Fe, Ga, Ti และ V

ค. ตัวอย่างสำหรับตรวจวิเคราะห์มลทินภายในเนื้อพลอย

ตัวอย่างที่จะตรวจวิเคราะห์มลทินภายในเนื้อพลอย สามารถตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อเลือกตรวจมลทินที่อยู่ใกล้พื้นผิว หรือโพล์ให้เห็นบนพื้นผิว หรือนำไปขัดหน้าเรียบจนถึงมลทินเหล่านั้น ก่อนนำไปหล่อลงในเบ้า แล้วขัดมัน หรือใช้ผิวหน้าตัวอย่างที่เตรียมไว้สำหรับการวิเคราะห์ส่วนประกอบเคมี โดยเลือกตรวจดูผิวหน้าตัวอย่างที่มีมลทินปรากฏให้เห็นก็ได้

การตรวจวิเคราะห์มลทินภายในเนื้อพลอย ใช้เครื่องรามานสเปกโตรสโคป (Raman Spectroscopy) (รูปที่ 42) ของฝ่ายวิเคราะห์ทางฟิสิกส์ กองวิเคราะห์ กรมทรัพยากรธรณี (Renishaw model : System RM 1000) ของสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (Renishaw model : System RM 1000) และของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร (Renishaw model : System RM 2000)



รูปที่ 42 เครื่อง Renishaw Laser Raman Microspectrometer System 1000

หลักการของเทคนิค Raman Spectroscopy

ใช้ Argon laser source ฉายไปกระทบมลทินตัวอย่าง และตรวจวัดการกระเจิงของแสงเลเซอร์จากมลทินนั้น โดยทั่วไป จะมีแสงที่กระเจิงออกมาในปริมาณที่มาก และมีความถี่ของคลื่นเช่นเดียวกับคลื่นแสงที่ตกกระทบ เรียกว่า การกระเจิงไรเลย์ (Rayleigh) หรือการกระเจิงแบบยืดหยุ่น (elastic scattering) แต่ในขณะเดียวกัน จะมีแสงที่กระเจิงออกมาเพียงเล็กน้อย ด้วยความถี่ของคลื่นที่แตกต่างไปจากคลื่นแสงเดิมที่ตกกระทบ เนื่องจากการสูญเสียพลังงานของ Photon ของแสงที่ตกกระทบโมเลกุลตัวอย่าง คลื่นแสงที่ส่งผ่านออกมาเรียกว่า การกระเจิงรามาน หรือการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic scattering) ซึ่งมีทั้งเส้นสโตค (stokes lines) และแอนติสโตค (anti-stokes lines) โดยเครื่องรามานสเปกโตรสโคปจะวัดค่าความแตกต่างความถี่ของเส้นสโตค ออกมาเป็นหน่วยเรียกว่า ค่าเลขรามาน (Raman shift) ซึ่งเป็นค่าจำนวนความแตกต่างระหว่างความถี่ของแสงที่กระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นจากตัวอย่างกับความถี่ของแสงเลเซอร์ที่ใช้ยิงกระทบตัวอย่าง ค่าเลขรามานที่มีค่า wave number ต่างๆ เป็นค่าเฉพาะตัวแตกต่างกันในธาตุแต่ละชนิด จึงสามารถใช้บ่งบอกชนิดของแร่มลทินที่ต้องการวิเคราะห์ได้

2.4 ผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างพลอยโดยเครื่องมือขั้นสูง ก่อนทดสอบเผา

(1) การตรวจวัด absorption spectrum โดยเทคนิค UV-Vis-NIR

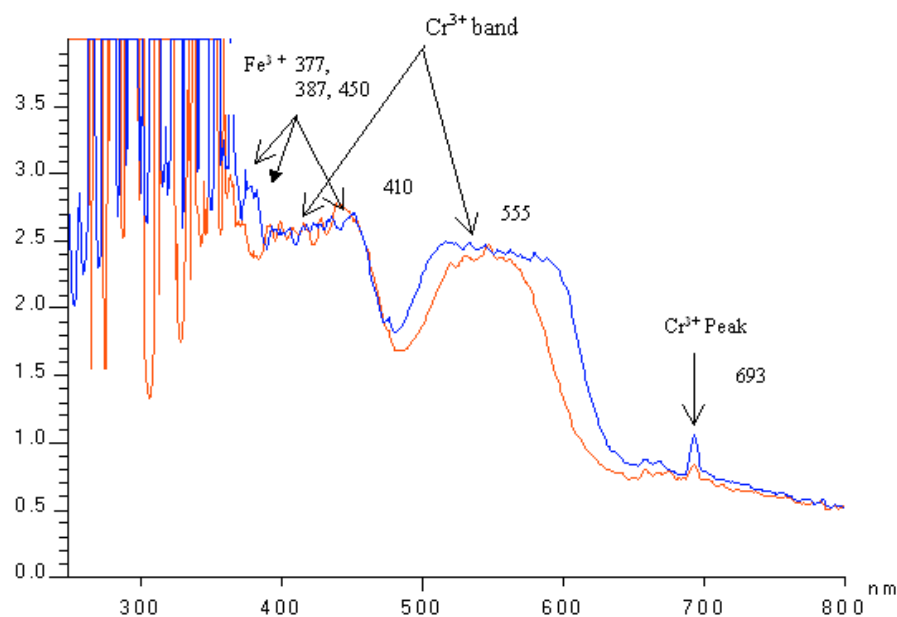
ก. Absorption spectrum ของทับทิม

ก.1 จากแหล่ง Andilamena

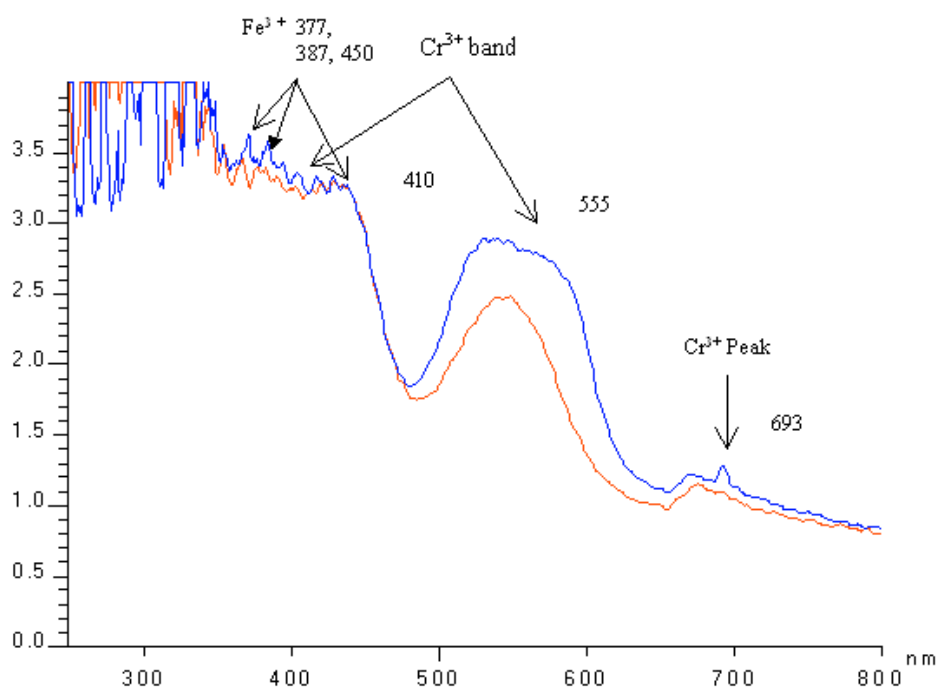
ตัวอย่างทับทิมทุกกลุ่มสี กล่าวคือ

Anm 1-x	หมายถึง สีแดง
Anm 2-x	หมายถึง สีแดง-ม่วง / ม่วง-แดง
Anm 3-x	หมายถึง สีแดงอมม่วงเข้ม
Anm 4-x	หมายถึง สีแดงอมม่วงอ่อน
Anm 5-x	หมายถึง สองสีในเม็ดเดียวกัน (สีแดง + แดงสีม่วงแดง)
Anm 6-x	หมายถึง สีแดงอมส้ม

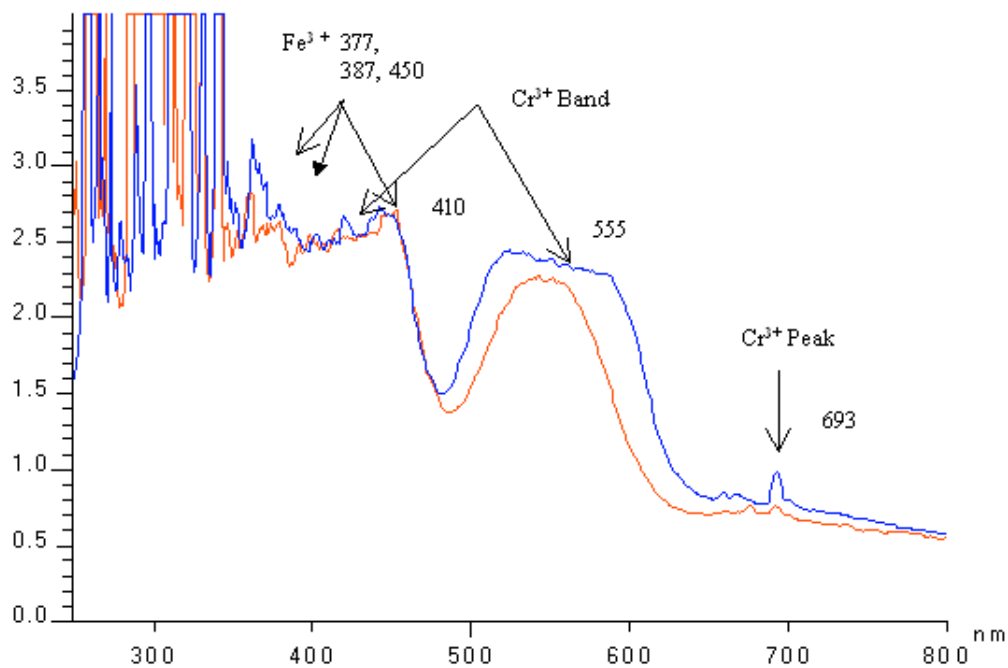
แสดง absorption band เด่นของ Cr^{3+} ที่ตำแหน่งประมาณ 400 – 410 และ 555 nm ซึ่งเป็น spin-allowed crystal field transitions และ weak peak ที่ประมาณ 444, 662 และ 693 nm ซึ่งเป็น spin-forbidden transitions นอกจากนี้ยังแสดง peaks ของ Fe^{3+} spin-forbidden transitions ที่ประมาณ 377, 387 และ 450 nm (รูปที่ 43 ถึง 48)



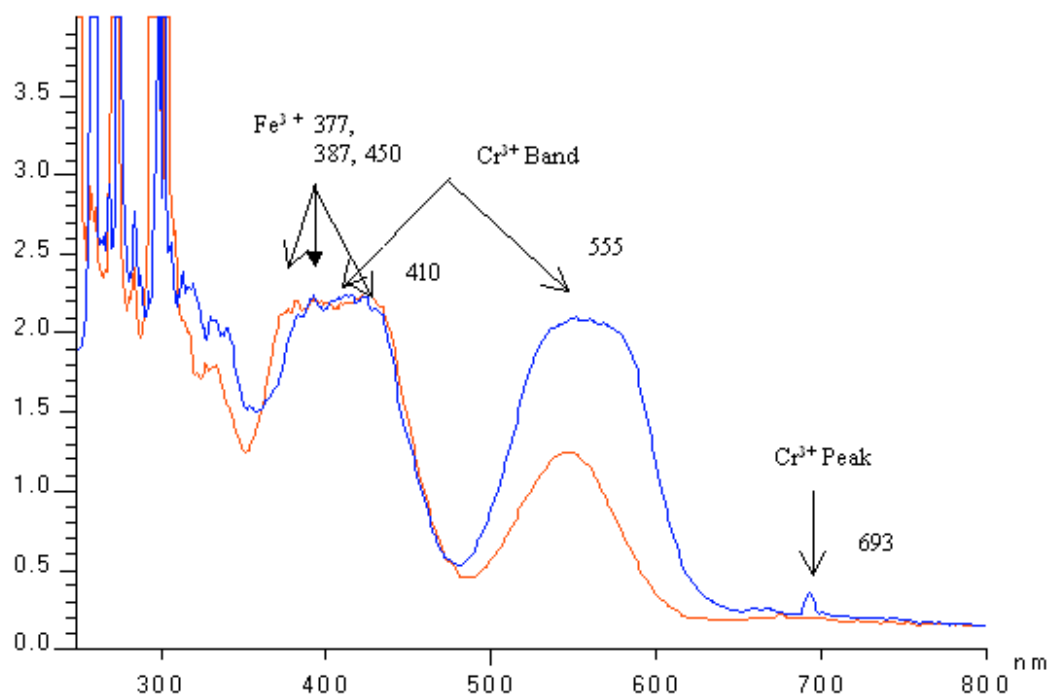
รูปที่ 43 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Andilamena รหัสตัวอย่าง Anm1-3-005 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



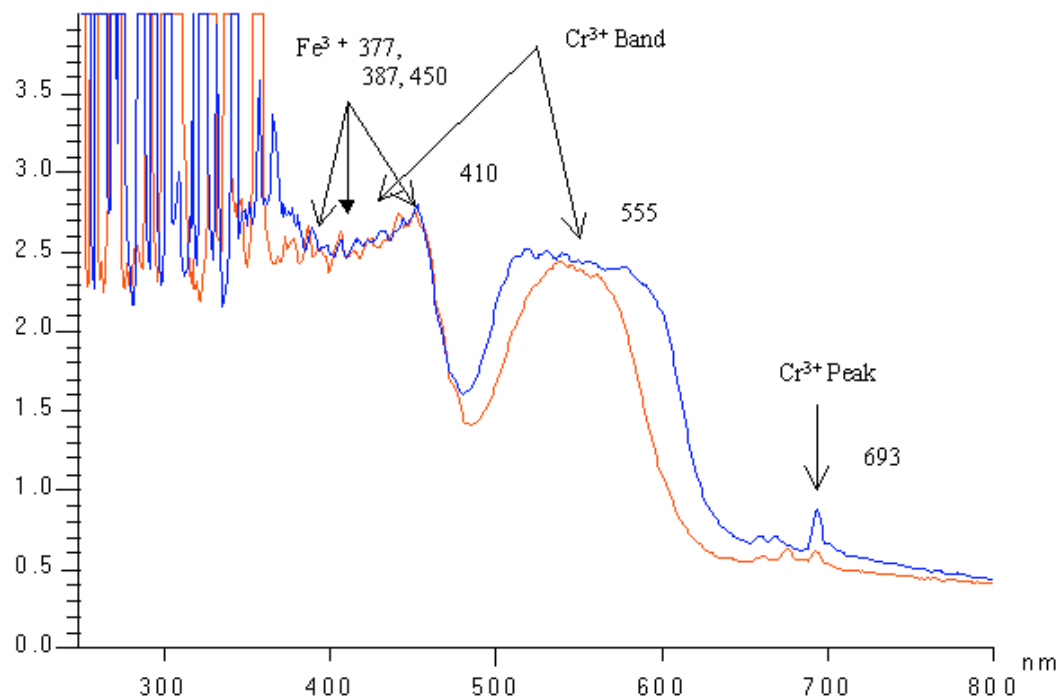
รูปที่ 44 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Andilamena รหัสตัวอย่าง Anm2-2-010 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



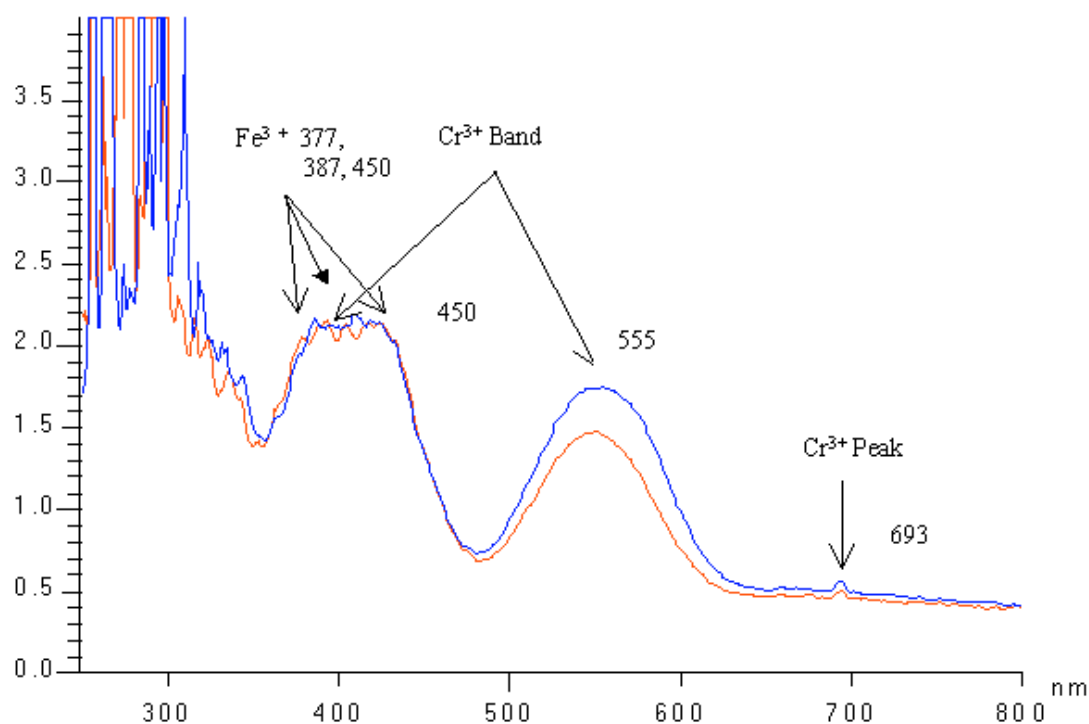
รูปที่ 45 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Andilamena รหัสตัวอย่าง Anm3-2-005 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



รูปที่ 46 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Andilamena รหัสตัวอย่าง Anm4-1-001 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



รูปที่ 47 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Andilamena รหัสตัวอย่าง Anm5-3-001 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



รูปที่ 48 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Andilamena รหัสตัวอย่าง Anm6-5-003 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)

ก.2 จากแหล่ง Vatomandry

ตัวอย่างทับทิมทุกกลุ่มสี กล่าวคือ

Vam 1-x	หมายถึง สีแดงอมส้ม
Vam 2-x	หมายถึง สีแดงอมม่วงอ่อน
Vam 3-x	หมายถึง สีแดง-ม่วง / ม่วง-แดง
Vam 4-x	หมายถึง สีแดงอมม่วงเข้ม

แสดง absorption band ของ Cr^{3+} spin-allowed transitions ที่ประมาณ 410 และ 555 nm และ spin-forbidden peaks ของ Cr^{3+} ที่ 693 nm (รูปที่ 49 ถึง 51) เฉพาะกลุ่มสีแดงอมส้ม แสดง spin-forbidden peaks ของ Fe^{3+} ด้วย ที่ตำแหน่งประมาณ 377, 387 และ 450 nm (รูปที่ 52)

ข. Absorption spectrum ของแซปไฟร์สีน้ำเงิน

ข.1 จากแหล่ง Diego Suarez

ตัวอย่างกลุ่มที่มีสีหลักเป็นสีน้ำเงิน ทั้งกลุ่มสีแดงทั้งเม็ด กล่าวคือ

Dig (b) 001-012 หมายถึง สีม่วงอมน้ำเงิน (bV)

Dig (b) 013 หมายถึง สีน้ำเงินอมเขียว (gB)

Dig (b) 014-016 หมายถึง สีน้ำเงิน (B)

และกลุ่มที่บริเวณแกนกลาง และขอบของผลึกมีสีต่างกัน กล่าวคือ

Dig (cc) หมายถึง แกนกลางไม่มีสี

Dig (bc) หมายถึง แกนกลางสีม่วงอมน้ำเงิน

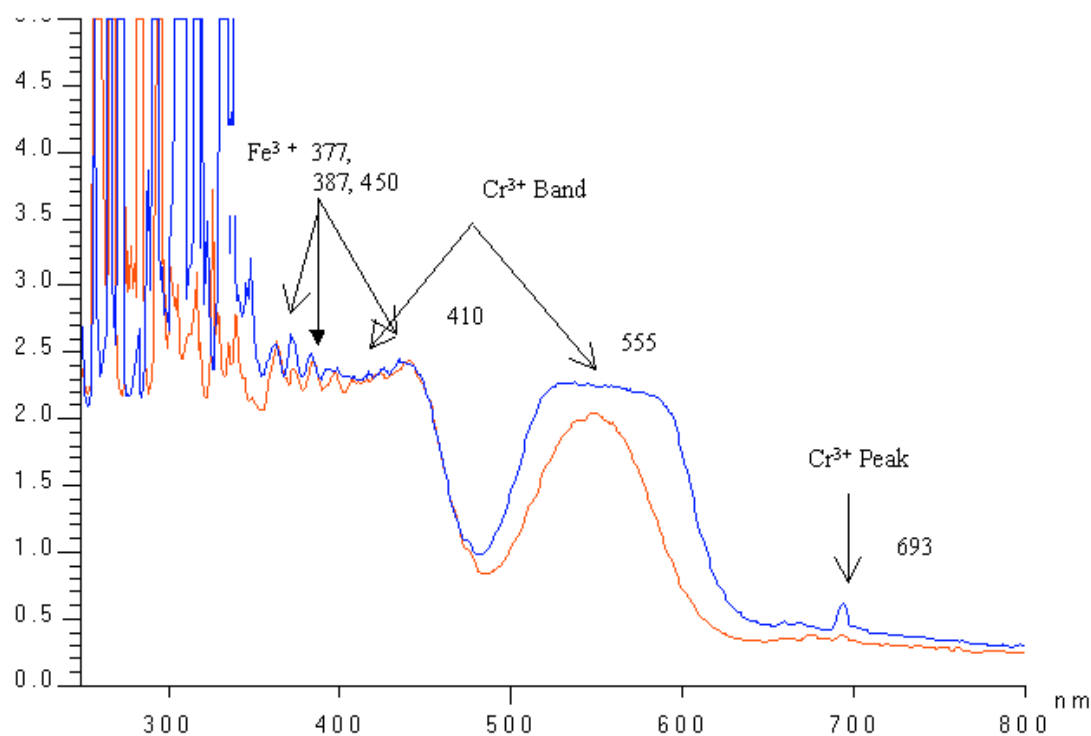
Dig (yc) หมายถึง แกนกลางสีเหลือง

แสดง spin-forbidden transitions ของ Fe^{3+} ที่ตำแหน่งประมาณ 377, 387 และ 450 nm และ IVCT bands ของ $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ ที่ประมาณ 560 nm และของ $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ที่ประมาณ 850-880 nm (รูปที่ 53 ถึง 58)

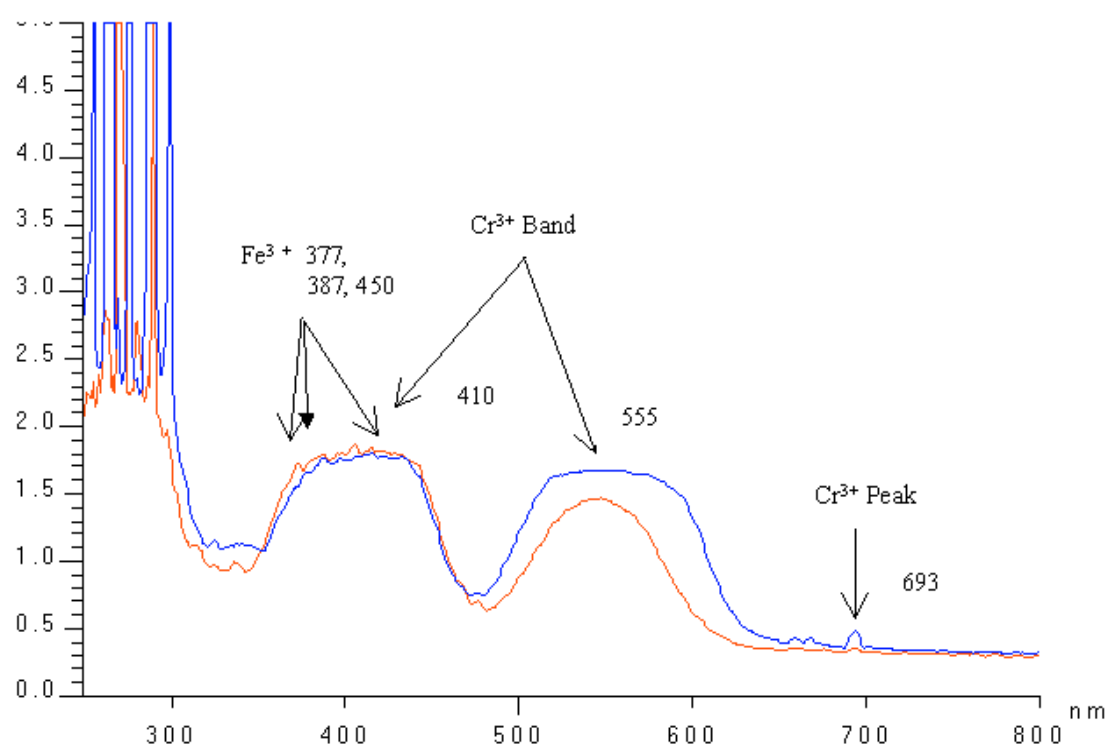
ส่วนตัวอย่างที่มีสีหลักเป็นสีเหลือง : Dig (y) แสดงเฉพาะ peaks ของ Fe^{3+} ที่ตำแหน่งประมาณ 377, 387 และ 450 nm (รูปที่ 59)

ข.2 จากแหล่ง Andranondambo

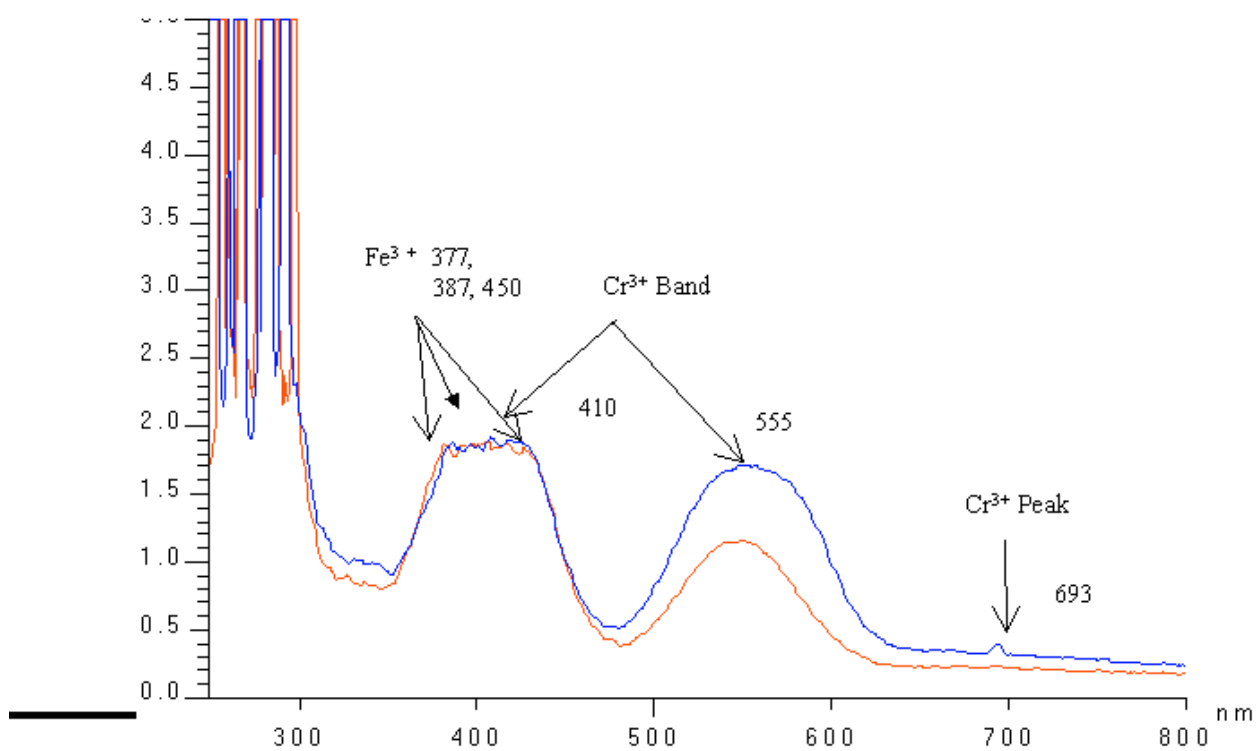
ตัวอย่างจากทุกกลุ่มสี ทั้งสีน้ำเงิน, สีน้ำเงินอมม่วง และสีม่วงอมน้ำเงิน แสดง peaks ของ Fe^{3+} ที่ตำแหน่งประมาณ 377, 387 และ 450 nm และ IVCT band ของ $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ ที่ประมาณ 550-580 nm (รูปที่ 60)



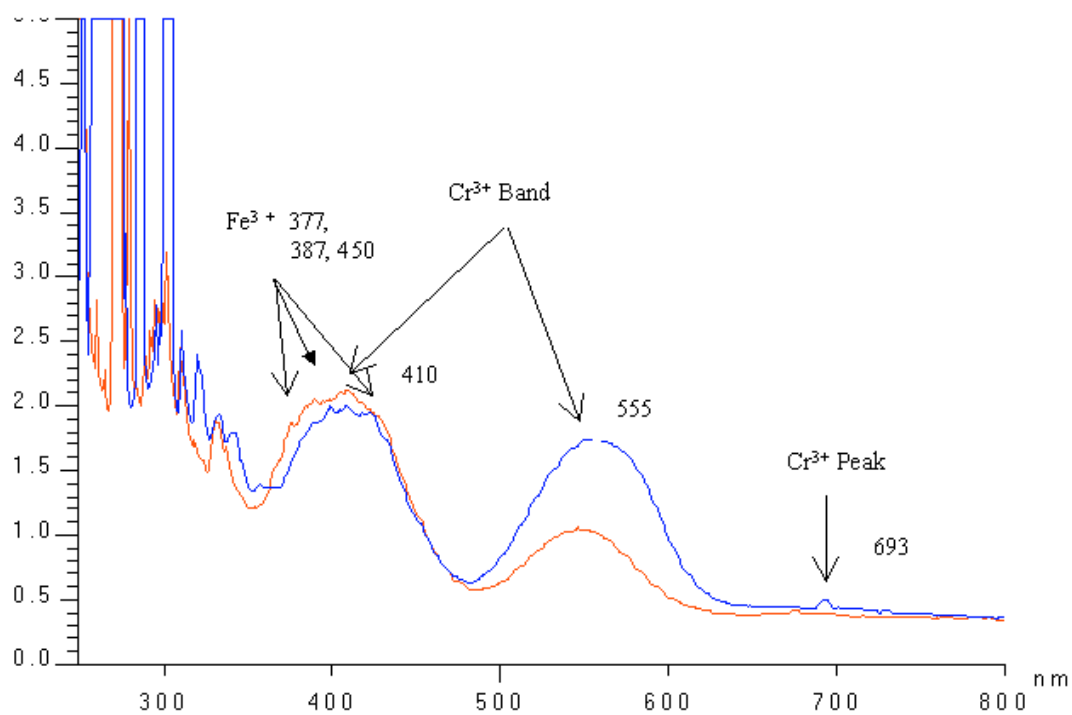
รูปที่ 49 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Vatomandry รหัสตัวอย่าง Vam1-001 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



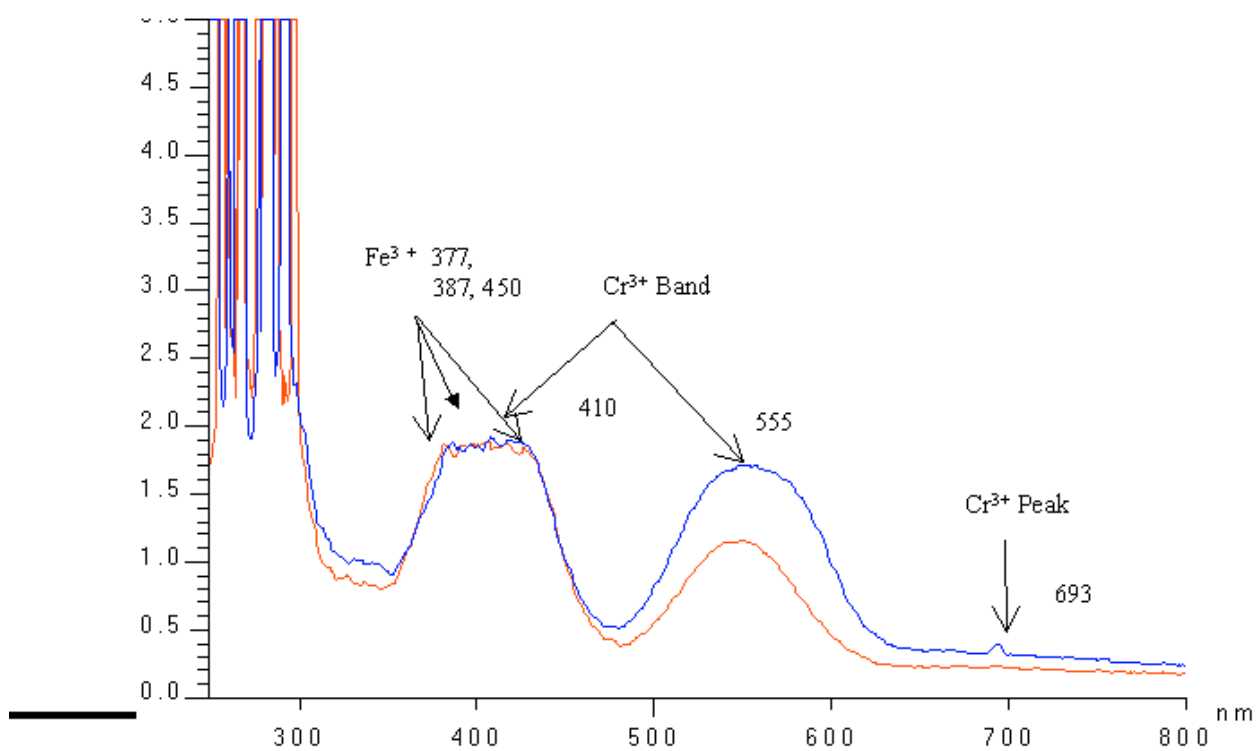
รูปที่ 50 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Vatomandry รหัสตัวอย่าง Vam2-001 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



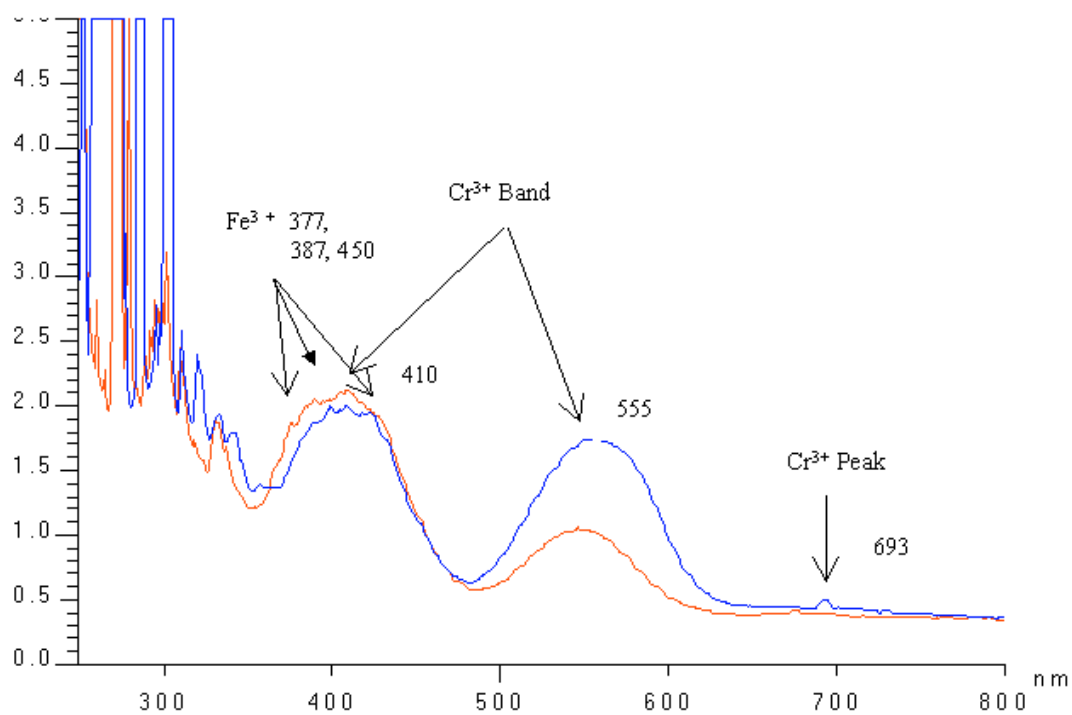
รูปที่ 51 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Vatomandry รหัสตัวอย่าง Vam3-051 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



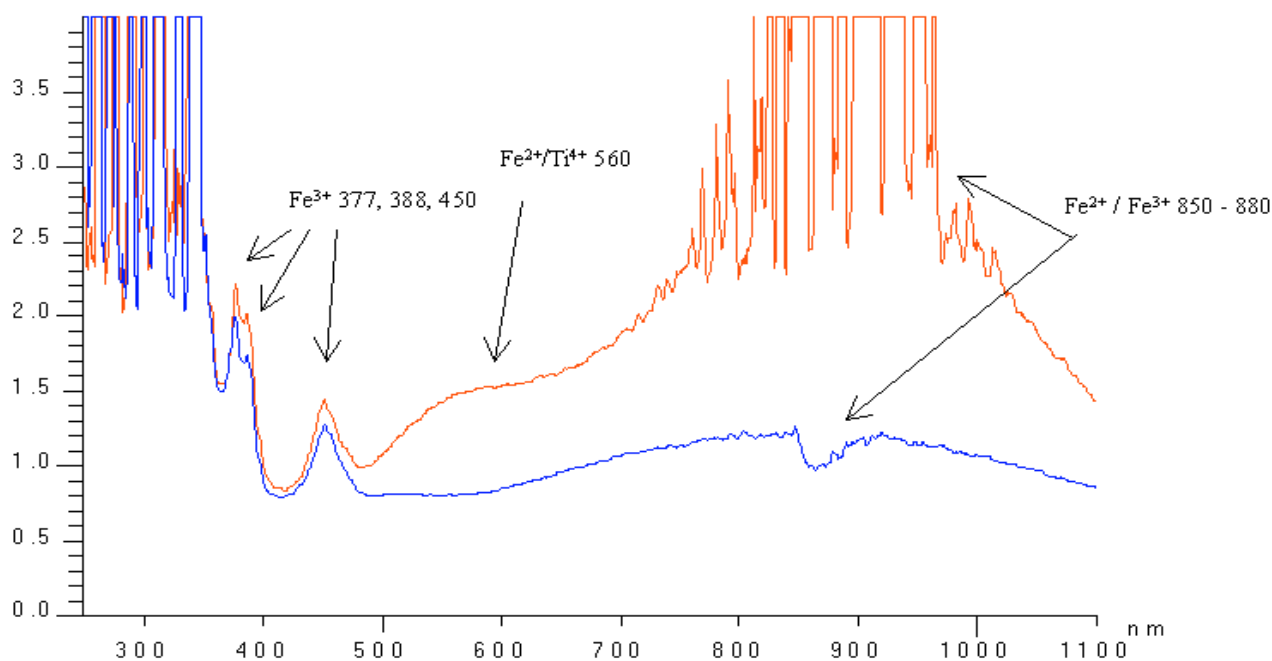
รูปที่ 52 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Vatomandry รหัสตัวอย่าง Vam4-004 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



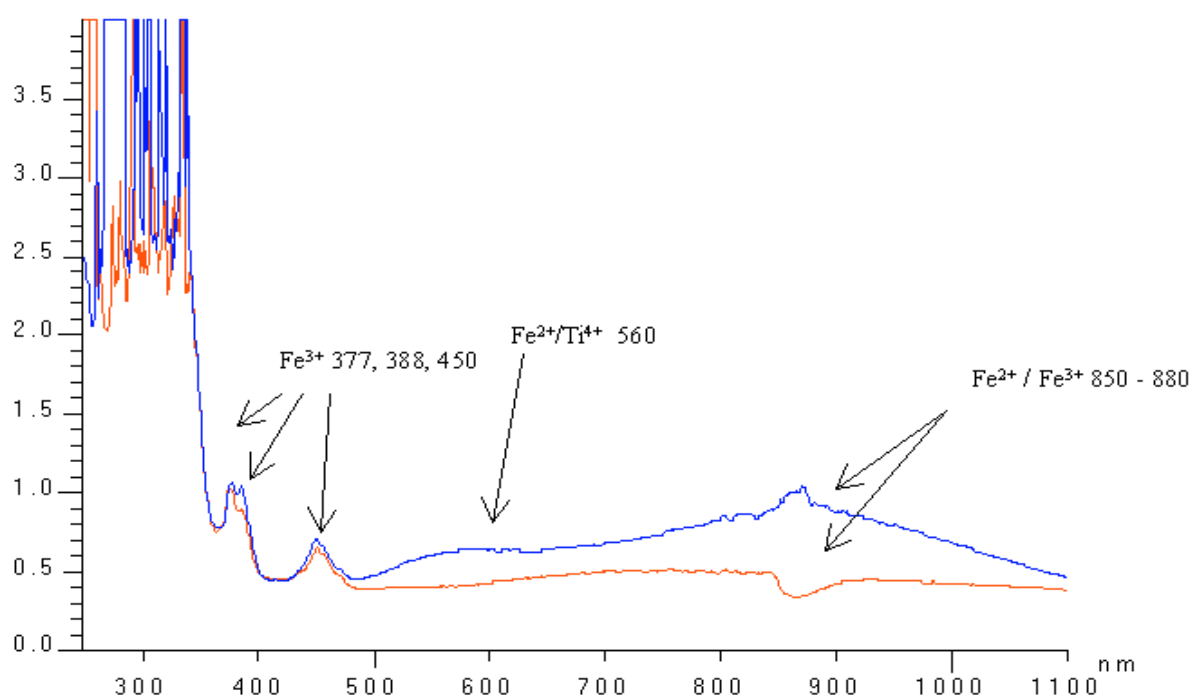
รูปที่ 51 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Vatomandry รหัสตัวอย่าง Vam3-051 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



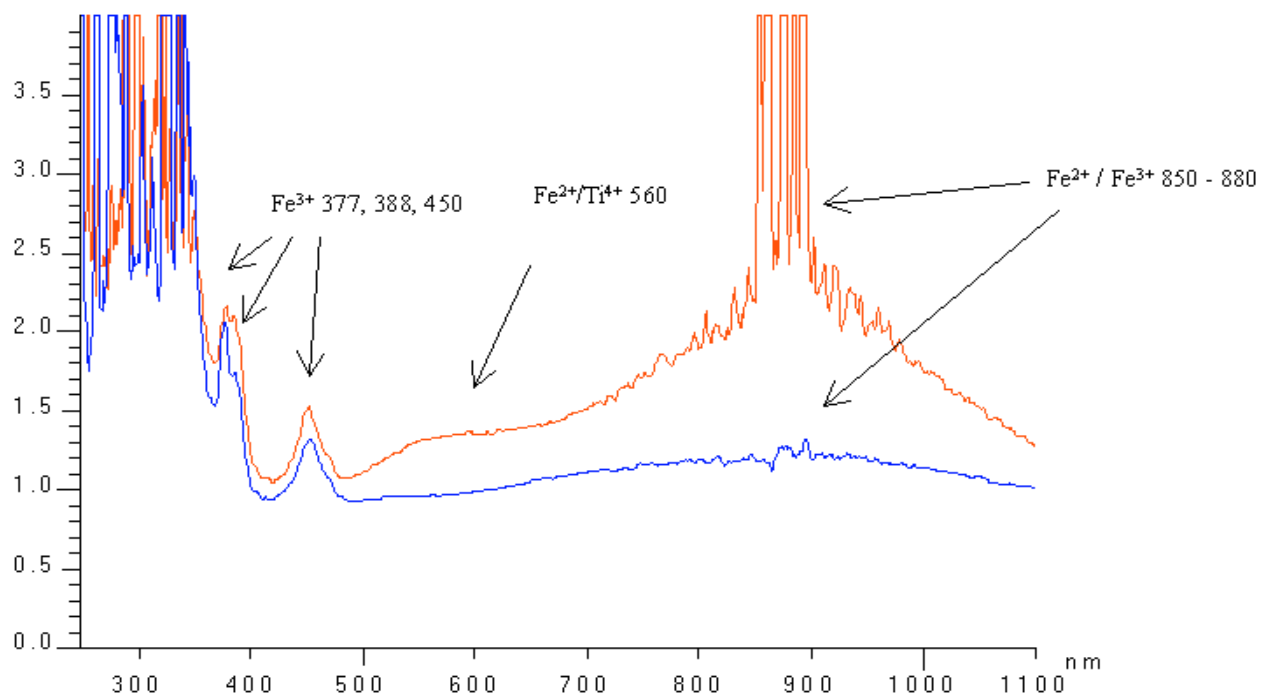
รูปที่ 52 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Vatomandry รหัสตัวอย่าง Vam4-004 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



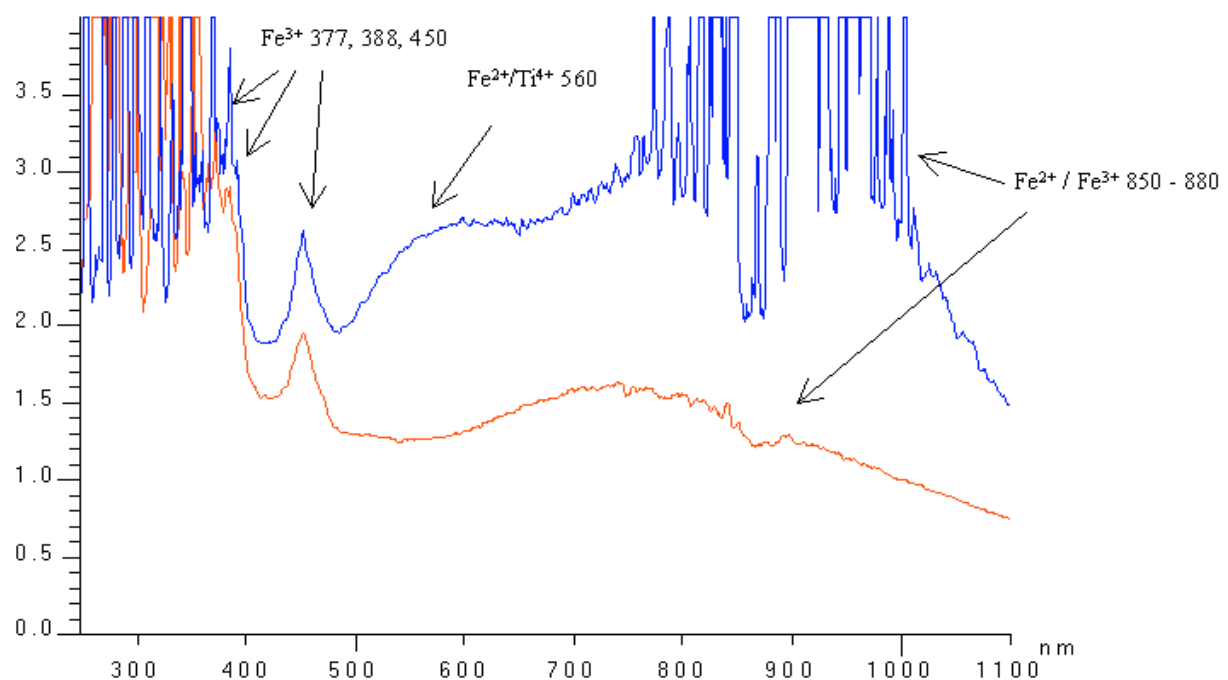
รูปที่ 53 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Diego รหัสตัวอย่าง Dig (b)007 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



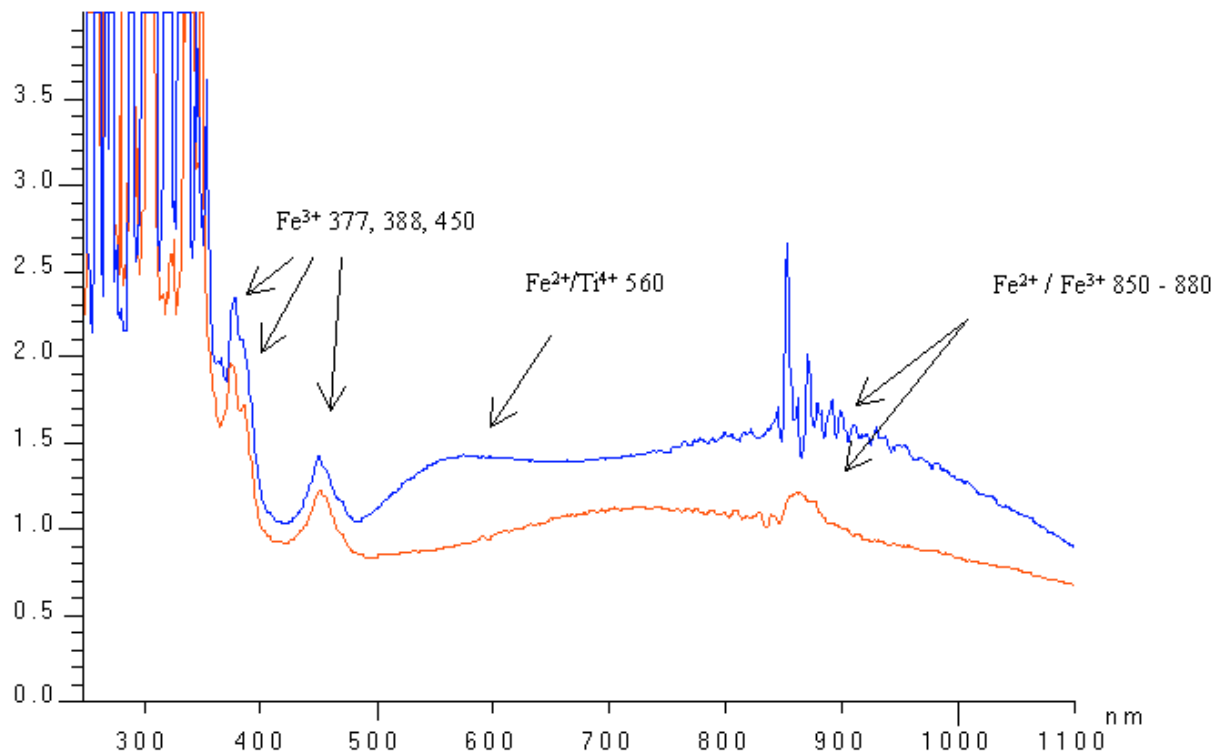
รูปที่ 54 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Diego รหัสตัวอย่าง Dig (b)013 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



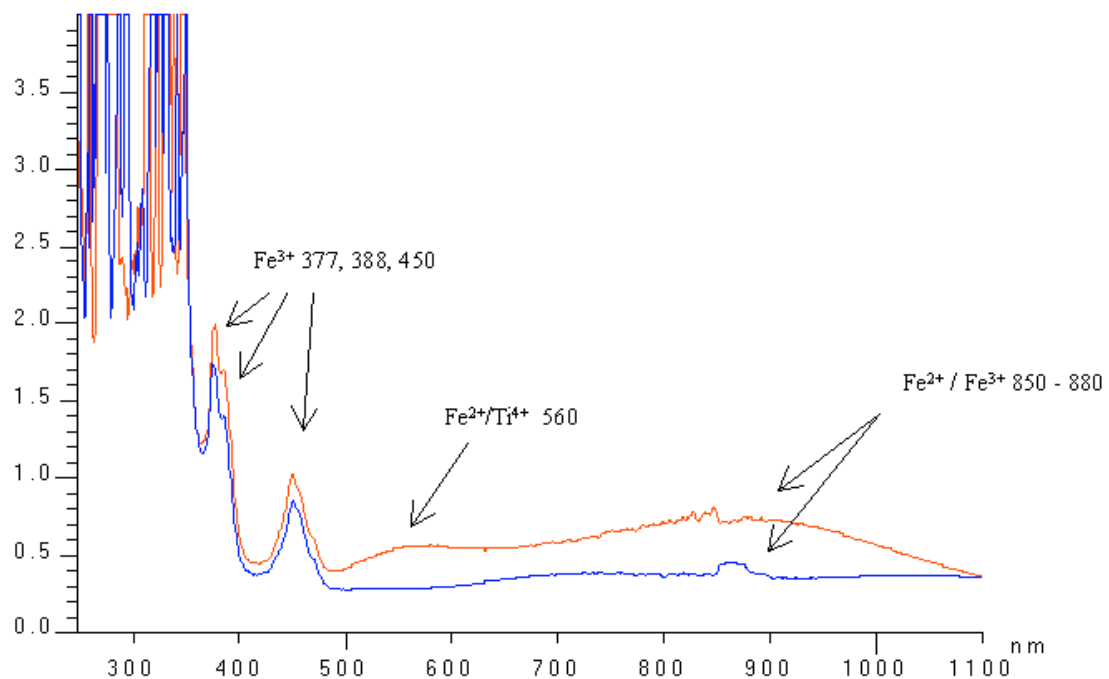
รูปที่ 55 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Diego รหัสตัวอย่าง Dig (b)016 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



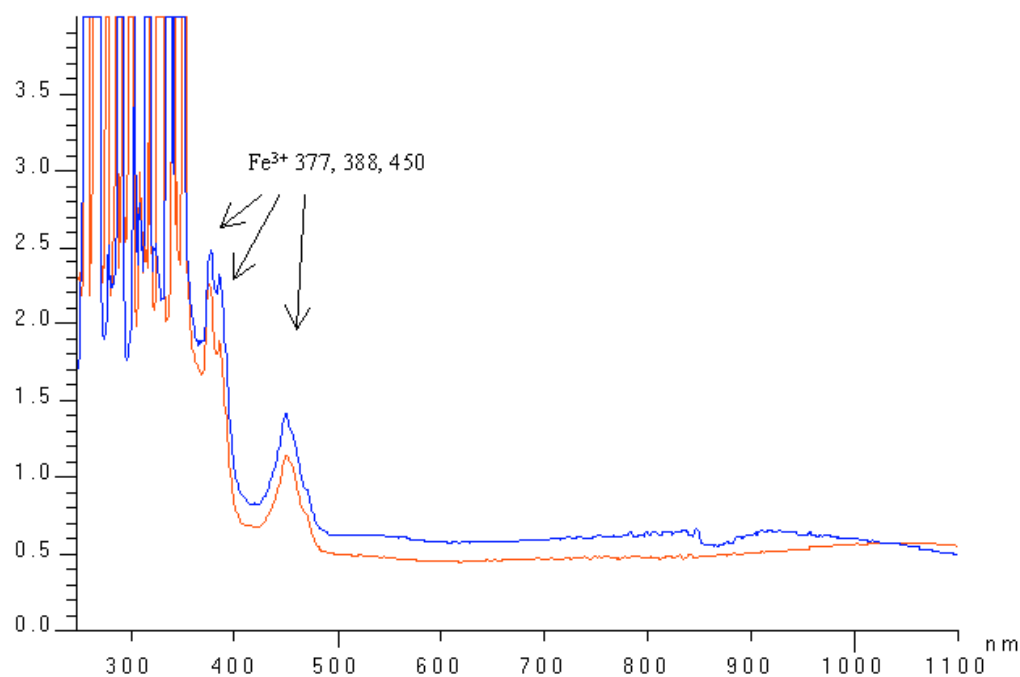
รูปที่ 56 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Diego รหัสตัวอย่าง Dig (cc)009 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



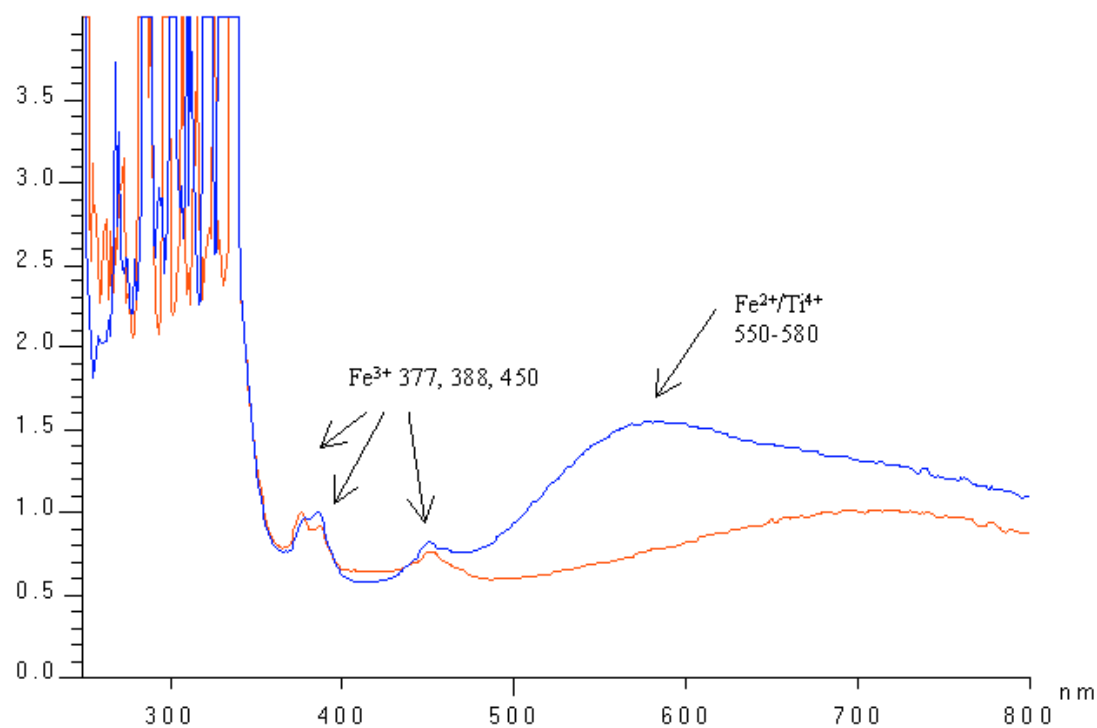
รูปที่ 57 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Diego รหัสตัวอย่าง Dig (bc)001 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



รูปที่ 58 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Diego รหัสตัวอย่าง Dig (yc)011 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



รูปที่ 59 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Diego รหัสตัวอย่าง Dig (y)027 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)



รูปที่ 60 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Andranondambo รหัสตัวอย่าง Anb035 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงระหว่างทิศทางขนานแกนแสง (e-ray : —) และตั้งฉากแกนแสง (o-ray : —)

ก. Absorption spectrum ของ varied-coloured sapphires จากแหล่ง Ilakaka

ก.1 กลุ่มสีฟ้าอ่อน : Ilk (b) และ Ilk 2-6-x

แสดง peaks ของ Fe^{3+} ที่ตำแหน่ง 377, 387 และ 450 nm และ IVCT band ของ $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ ที่ตำแหน่งประมาณ 550-580 nm (รูปที่ 61 และ 62)

ก.2 กลุ่มสีเขียวอ่อน : Ilk (g) และ Ilk 2-5-x

แสดง peaks ของ Fe^{3+} ที่ตำแหน่ง 377, 387 และ 450 nm (รูปที่ 63 และ 64)

ก.3 กลุ่มสีเหลืองอ่อน : Ilk (y) และ Ilk 2-2-x

แสดง weak peak ของ Fe^{3+} ที่ตำแหน่ง 377, 387 และ 450 nm (รูปที่ 65 ถึง 66)

ก.4 กลุ่มสีส้มอ่อน : Ilk (o) และ Ilk 2-3-x

คล้ายกับกลุ่มสีเขียวอ่อน และสีเหลืองอ่อน (รูปที่ 67 และ 68)

ก.5 กลุ่มสีชมพูอ่อน : Ilk 2-4-x

แสดง peaks ของ Cr^{3+} ที่ตำแหน่งประมาณ 400 และ 555 nm (รูปที่ 69)

ก.6 กลุ่มสีม่วงอ่อน : Ilk (v) ม่วงดอกอัญชัน และ Ilk (p) + Ilk 2-7-x ม่วงดอกมะเขือ

แสดง peaks ของ Cr^{3+} ที่ตำแหน่งประมาณ 400 และ 555 nm (รูปที่ 70) และ IVCT band ของ $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ ที่ตำแหน่งประมาณ 550-580 nm (รูปที่ 71 และ 72)

ก.7 กลุ่มไม่มีสี : Ilk (c) และ Ilk 2-1-x

แสดง peak ของ Fe^{3+} ที่ตำแหน่งประมาณ 387 และ 450 nm (รูปที่ 73 และ 74)

ก.8 กลุ่มหม่นทอง และหม่นอ่อน : Ilk 1-1-x และ Ilk 1-3-x

แสดง peak ของ Fe^{3+} ที่ตำแหน่งประมาณ 387 และ 450 nm และ IVCT ของ $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ ที่ตำแหน่งประมาณ 560 nm (รูปที่ 75 และ 76)

ก.9 กลุ่มหม่นเข้ม : Ilk 1-2-x

แสดง peak ของ Fe^{3+} ที่ตำแหน่ง 450 nm และ IVCT band ของ $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ ที่ตำแหน่งประมาณ 550-580 nm (รูปที่ 77)

ก.10 กลุ่มหม่นหิน : Ilk 1-4-x

แสดง IVCT band ของ $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ ที่ตำแหน่งประมาณ 550-580 nm (รูปที่ 78)

(2) ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี

ก. ภาพรวม

จำนวนตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์แบบต่างๆ ในการวิเคราะห์ชุดแรก แสดงในตารางที่ 1 และในการวิเคราะห์ชุดที่สองแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 สรุปจำนวนตัวอย่างและจำนวนการวิเคราะห์แบบต่างๆ ในการวิเคราะห์ชุดแรก (ก่อนเผา)

แหล่งตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง)		เทคนิค EPMA				เทคนิค SEM	
		การวิเคราะห์เป็นจุด (point analysis)		การวิเคราะห์เป็นแนวเส้น (line scan)		การวิเคราะห์ มลทิน	Element mapping
		จำนวนตัวอย่าง	จำนวน analysis	จำนวนตัวอย่าง	จำนวน analysis	จำนวนตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง
Diego (35)		28	58	11	164	2	1
Andilamena (23)		18	28	2	24*	15	2
Vatomandry (4)		4	6**	-	-	4	-
Andranondambo (14)		14	24	4	64	-	-
Ilakaka (113)	มีหม่า (23)	12	25	13	244	2	13
	ไม่มีหม่า (90)	90	137	-	-	-	-
รวม (189)		166	278	30	496	23	16

หมายเหตุ : ตัวอย่างบางตัวอย่างผ่านการวิเคราะห์หลายวิธี จำนวนตัวอย่างรวม และจำนวนตัวอย่างที่วิเคราะห์แต่ละวิธี จึงอาจไม่สอดคล้องกัน

*, ** มีจุดวิเคราะห์ที่บังเอิญผ่านตำแหน่งที่เป็นแร่มลทินอื่นพอดี 1 จุด ในการประมวลผลจึงไม่นำค่าของจุดดังกล่าวมาคิดรวมด้วย

ตารางที่ 2 สรุปจำนวนตัวอย่าง และจำนวนการวิเคราะห์แบบต่างๆ ในการวิเคราะห์ชุดที่สอง
(ส่วนใหญ่หลังเผา)

แหล่งตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่าง)		เทคนิค EPMA				เทคนิค SEM	
		การวิเคราะห์เป็นจุด (point analysis)		การวิเคราะห์เป็นแนวเส้น (line scan)		การวิเคราะห์ มัลทิน	Element mapping
		จำนวนตัวอย่าง	จำนวน analysis	จำนวนตัวอย่าง	จำนวน analysis	จำนวนตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง
Diego (34)		28	58	11	220	8	-
Andila- mena (42)	ก่อนเผา (12)	11	23	1	20	9	-
	หลังเผา (30)	29	60	4	80	24	1
Vatoman- dry (12)	ก่อนเผา (4)	4	8	-	-	3	-
	หลังเผา (8)	8	16	-	-	7	-
Andranondambo (14)		14	24	4	80	1	1
Ilakaka (110)	มีหม่า (21)	16	33	12	235	9	-
	ไม่มีหม่า (89)	89	179	-	-	15	-
รวม (212)		199	401	32	635	76	2

หมายเหตุ : ในการนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีชุดที่สอง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างหลังเผา ได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างก่อนเผา (ตัวอย่างที่ผ่าครึ่ง) พร้อมกันไปด้วยอีก ได้แก่

1. ทับทิมจากแหล่ง Andilamena จำนวน 12 ตัวอย่าง รวม 43 จุดวิเคราะห์
2. ทับทิมจากแหล่ง Vatomandry จำนวน 4 ตัวอย่าง รวม 8 จุดวิเคราะห์

ซึ่งผลการวิเคราะห์ตัวอย่างก่อนเผาดังกล่าวนี้นี้ ได้นำเสนอรวมเป็นผลวิเคราะห์ก่อนเผาทั้งหมดในคราวเดียวกันนี้ด้วย

ข. ผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์พบว่า การทำ element mapping ซึ่งต้องการตรวจว่าลักษณะ colour zoning หรือ growth zoning หรือ การกระจายตัวของ colour patches จะแสดงออกในรูปของการกระจายตัวของ trace elements หรือธาตุที่เป็นตัวให้สีหรือไม่ ปรากฏว่าไม่แสดงลักษณะดังกล่าว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณของธาตุที่เกี่ยวข้อง มีอยู่ในปริมาณน้อย และ colour หรือ growth zoning เกิดอยู่ในแร่ phase เดียวกัน ทำให้ไม่ปรากฏความแตกต่างจนสังเกตเห็นได้

อนึ่งการวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเทคนิค SEM-EDX โดยเฉพาะสำหรับธาตุร่องรอย มีความแม่นยำสู่เทคนิค EPMA ไม่ได้ จึงเหมาะสำหรับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเพื่อระบุชนิดของมลทินของแข็งชนิดต่างๆ ที่พบอยู่ในพลอยคอร์นดัม เพราะสะดวก รวดเร็ว และเห็นได้ชัดเจนเนื่องจากเป็นแร่ต่างชนิด (phase) กับพลอยคอร์นดัมซึ่งเป็น host

ผลการวิเคราะห์ ส่วนที่นำเสนอในที่นี้ เป็นการประมวลผลวิเคราะห์สรุปสำหรับพลอยจากแต่ละแหล่งและนำเสนอเฉพาะผลวิเคราะห์ ปริมาณธาตุร่องรอยในพลอย ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EPMA ทั้งจาก line scanning และ point analysis ซึ่งให้ค่าที่แม่นยำกว่าเท่านั้น

ค่า detection limit ของออกไซด์ของธาตุที่วิเคราะห์ คือ $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0.0500 \text{ wt\%}$, $\text{FeO} = 0.0100 \text{ wt\%}$, $\text{SiO}_2 = 0.0150 \text{ wt\%}$, $\text{MgO} = 0.0150 \text{ wt\%}$, $\text{V}_2\text{O}_5 = 0.0100 \text{ wt\%}$, $\text{TiO}_2 = 0.0100 \text{ wt\%}$, $\text{Ga}_2\text{O}_3 = 0.0100 \text{ wt\%}$ และ $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 0.0100 \text{ wt\%}$

ผลสรุปที่นำเสนอ ไม่ได้เสนอผลวิเคราะห์ของ Al, Si และ Mg เพราะ Al เป็นธาตุหลักของคอร์นดัมซึ่งมีปริมาณสูงมากอยู่แล้ว และความแปรปรวนของปริมาณ Al ไม่ส่งผลต่อความแตกต่างของสีพลอยแต่ประการใด ส่วน Si และ Mg แม้จะเป็น major elements ในหินและแร่ส่วนใหญ่ ปริมาณที่ปรากฏในพลอยคอร์นดัมที่วิเคราะห์ในครั้งนี้ ก็ค่อนข้างต่ำ ส่วนใหญ่ต่ำกว่า detection limit อีกทั้งไม่ปรากฏว่า ความแปรปรวนของธาตุทั้งสองส่งผลต่อสีพลอย หรือ สมบัติอื่นๆ ของพลอยแต่ประการใด การนำเสนอผลวิเคราะห์จึงจำกัดอยู่เฉพาะ Fe, Ti, Cr, Ga และ V ในรูปของ oxides ของธาตุเหล่านี้เท่านั้น

สรุปการประมวลผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยในตัวอย่างพลอยคอร์นดัมจากแหล่งต่างๆของมาดากัสการ์ ก่อนการทดลองเผา

(หมายเหตุ : mean = arithmetic mean; n = จำนวนผลวิเคราะห์ที่มีค่าตั้งแต่ detection limit ขึ้นไป เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณ mean ของแต่ละออกไซด์)

ข.1 ทับทิมจากแหล่ง Andilamena

ผลวิเคราะห์ที่นำเสนอ รวมตัวอย่างก่อนเผาที่ทำการวิเคราะห์ครั้งแรก จำนวน 19 ตัวอย่าง 52 จุดวิเคราะห์ และที่วิเคราะห์ครั้งที่สองอีก 12 ตัวอย่าง 43 จุดวิเคราะห์ รวมทั้งสิ้นเป็นทับทิม Anm ก่อนเผา จำนวน 31 ตัวอย่าง 95 จุดวิเคราะห์

Anm (31/94)*	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	0.2530	0.2650	< 0.0100
Maximum	0.1700	0.0500	1.5870	0.5360	0.0300
Mean	0.0252	0.0224	0.6508	0.3525	0.0176
n	92	83	94	94	44

หมายเหตุ : จำนวนจุดวิเคราะห์รวมที่นำมาประมวลผล ไม่รวมหนึ่งจุดที่วิเคราะห์ผ่านแร่ลทินอื่นพอดี

โดยสรุป ทับทิมจากแหล่ง Andilamena แสดงปริมาณธาตุที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับการกระจายตัวของสีและหมาในเนื้อพลอยเพียง 3 ธาตุคือ Cr, Fe และ Ti โดย Cr แสดงการแปรสอดคล้องกับความเข้มของสีแดง ส่วน Fe และ Ti แปรสอดคล้องกับสีม่วงที่ปนอยู่และ/หรือ ปริมาณหมาสีขาว ชุ่นที่มักปรากฏในส่วนแกน (core) ของเม็ดพลอย ทั้งนี้ปริมาณ Cr₂O₃ อยู่ระหว่าง 0.2530 จนถึง 1.5870 wt.% โดยมีค่าเฉลี่ย 0.6508 wt.% ปริมาณ FeO อยู่ระหว่าง 0.2650 จนถึง 0.5360 wt.% โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 0.3525 wt.% ส่วนปริมาณ TiO₂ อยู่ระหว่าง ต่ำกว่า 0.0100 จนถึง 0.1700 wt.% โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 0.0252 wt.%

ข.2 ทับทิมจากแหล่ง Vatomandry

ผลวิเคราะห์ที่นำเสนอ รวมตัวอย่างก่อนเผาที่ทำการวิเคราะห์ครั้งแรก จำนวน 4 ตัวอย่าง 6 จุดวิเคราะห์ และที่วิเคราะห์ครั้งที่สองอีก 4 ตัวอย่าง 8 จุดวิเคราะห์ รวมเป็น 8 ตัวอย่าง 14 จุดวิเคราะห์

Vam (8/13)*	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	0.2920	0.1180	< 0.0100
Maximum	0.0220	0.0460	0.6470	0.4080	0.0200
Mean	0.0139	0.0288	0.3998	0.2273	0.0168
n	8	12	13	13	4

หมายเหตุ : จำนวนจุดวิเคราะห์รวมที่นำมาประมวลผล ไม่รวมหนึ่งจุดที่วิเคราะห์ผ่านแร่ลทินอื่นพอดี

โดยสรุป ทับทิมจากแหล่ง Vatomandry แสดงความแปรปรวนของสีและหมำค่อนข้างน้อย จึงไม่ได้วิเคราะห์ตัวอย่าง และจุดวิเคราะห์จำนวนมาก เหมือนตัวอย่างพลอยจากแหล่งอื่นๆ แสดงปริมาณธาตุที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับการกระจายตัวของสีในเนื้อพลอยเพียง 2 ธาตุคือ Cr และ Fe โดย Cr แสดงการแปรสอดคล้องกับความเข้มของสีแดง ส่วน Fe แปรสอดคล้องกับสีม่วงที่ปนอยู่ ทั้งนี้ปริมาณ Cr_2O_3 อยู่ระหว่าง 0.2920 จนถึง 0.6470 wt% โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 0.3998 wt% ส่วนปริมาณ FeO อยู่ระหว่าง 0.1180 ถึง 0.4080 wt% โดยมีค่าเฉลี่ยคือ 0.2273 wt%

ข.3 พลอยแซปไฟร์สีน้ำเงินจากแหล่ง Diego Suarez

1) กลุ่มสีน้ำเงิน : Dig (b) และกลุ่มแกนกลางสีน้ำเงิน : Dig (bc) จำนวน 8 ตัวอย่าง มี 43 จุดวิเคราะห์

Dig(b+bc) (8/43)	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	FeO	Ga_2O_3
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.2870	0.0190
Maximum	0.2200	0.0210	0.0200	1.0600	0.0800
Mean	0.0579	0.0133	0.0108	0.7990	0.0426
n	40	30	12	43	43

2) กลุ่มแกนกลางสีเหลือง : Dig (yc) จำนวน 9 ตัวอย่าง มี 91 จุดวิเคราะห์

Dig(yc) (9/91)	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	FeO	Ga_2O_3
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.3500	0.0100
Maximum	0.4100	0.0300	0.0100	1.1500	0.0700
Mean	0.0540	0.0128	0.0100	0.7931	0.0338
n	65	83	5	91	91

3) กลุ่มแกนกลางใสไม่มีสี : Dig (cc) จำนวน 4 ตัวอย่าง มี 29 จุดวิเคราะห์

Dig(cc) (4/29)	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	FeO	Ga_2O_3
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.3600	0.0100
Maximum	0.1400	0.0200	0.0200	0.8040	0.0600
Mean	0.0346	0.0114	0.0106	0.5504	0.0416
n	27	17	18	29	29

4) กลุ่มสีเหลือง : Dig (y) จำนวน 13 ตัวอย่าง มี 58 จุดวิเคราะห์

Dig(y) (13/58)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.5790	0.0110
Maximum	0.2700	0.0270	0.0100	1.2400	0.0730
Mean	0.1029	0.0140	0.0100	0.8958	0.0405
n	51	50	35	58	58

5) รวมทุกกลุ่มสีของแหล่ง Diego Suarez จำนวน 34 ตัวอย่าง มี 221 จุดวิเคราะห์

Dig(all) (34/221)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.2870	0.0100
Maximum	0.4100	0.0300	0.0200	1.2400	0.0800
Mean	0.0662	0.0131	0.0097	0.7894	0.0383
n	183	180	75	221	221

โดยสรุป พลอยแซปไฟร์จากแหล่ง Diego Suarez ที่วิเคราะห์มีทั้งกลุ่มสีน้ำเงิน เขียว และเหลือง แสดงการกระจายตัวของสีไม่สม่ำเสมอ มักแสดง colour zoning และบางกรณีแสดงหม่าในเนื้อพลอย โดยเฉพาะส่วนที่สีพื้นเป็นสีเหลือง หรือเหลืองอมเขียว แสดงปริมาณของธาตุที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับการกระจายตัวของสีและหม่าในเนื้อพลอยเพียง 2 ธาตุ คือ Ti และ Fe โดยที่ทั้งสองธาตุแสดงการแปรสอดคล้องกัน และแสดงค่าสูงเมื่อเนื้อพลอยมีสีน้ำเงินเข้มกว่า และ/หรือ มีปริมาณหม่า (miliness) หนาแน่นกว่า ทั้งนี้ปริมาณ TiO₂ อยู่ระหว่าง ต่ำกว่า 0.0100 จนถึง 0.4100 wt% โดยกลุ่มสี greenish yellow (ซึ่งมีหม่าหนาแน่นกว่ากลุ่มสีอื่น) มีค่าเฉลี่ย TiO₂ สูงสุดคือ 0.1029 wt% และกลุ่มสี blue + colourless core มีค่าเฉลี่ย TiO₂ ต่ำสุดคือ 0.0346 wt% ส่วนปริมาณ FeO อยู่ระหว่าง 0.2870 ถึง 1.2400 wt% โดยกลุ่มสี greenish yellow มีค่าเฉลี่ย FeO สูงสุดคือ 0.8958 wt% และกลุ่มสี blue + colourless core มีค่าเฉลี่ย FeO ต่ำสุดคือ 0.5504 wt%

ข.4 พลอยแซปไฟร์สีน้ำเงินจากแหล่ง Andranondambo จำนวน 14 ตัวอย่าง มี 88 จุดวิเคราะห์

Anb (14/88)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.1350	< 0.0100
Maximum	0.3400	0.0300	0.0200	0.8100	0.0400
Mean	0.0480	0.0132	0.0104	0.3720	0.0196
n	82	76	28	88	74

โดยสรุป แชนไพร์สีน้ำเงินจากแหล่ง Andranondambo ที่วิเคราะห์มีทั้งกลุ่มสีน้ำเงิน และสีม่วง
อมน้ำเงิน แสดงปริมาณธาตุที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับการกระจายตัวของสีและหมาในเนื้อพลอยเพียง
2 ธาตุคือ Ti และ Fe โดยปริมาณ TiO_2 อยู่ระหว่างต่ำกว่า 0.0100 ถึง 0.3400 wt% และมีค่าเฉลี่ย 0.0480
wt% ส่วนปริมาณ FeO อยู่ระหว่าง 0.1350 ถึง 0.8100 wt% และมีค่าเฉลี่ย 0.3720 wt%

ข.5 พลอยแชนไพร์หลากสีจากแหล่ง Ilakaka แบ่งออกเป็นกลุ่มต่างๆ ทั้งที่มีหมา และไม่มีหมา ดังนี้

กลุ่มที่มีหมา แบ่งเป็นกลุ่มย่อยชนิดต่างๆ ได้แก่

1) หมาทอง จำนวน 8 ตัวอย่าง มี 109 จุดวิเคราะห์

Ilk 1-1-x (8/109)	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	FeO	Ga_2O_3
Minimum	0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0300	< 0.0100
Maximum	0.4070	0.0300	0.0100	0.1050	0.0300
Mean	0.1051	0.0166	0.0100	0.0527	0.0136
n	109	103	23	109	76

2) หมาเข็ม จำนวน 10 ตัวอย่าง มี 96 จุดวิเคราะห์

Ilk 1-2-x (10/96)	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	FeO	Ga_2O_3
Minimum	0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0400	< 0.0100
Maximum	0.2100	0.0300	0.0200	0.3820	0.0400
Mean	0.0643	0.0149	0.0106	0.1004	0.0161
n	96	94	18	96	81

3) หมาอ่อน เนื่องจากมีตัวอย่างน้อย และเนื้อพลอยค่อนข้างใส ไม่แสดงสี จึงนำไปประมวลผล
รวมกับกลุ่มเนื้อใสไม่มีสี : Ilk (c) และ Ilk 2-1-x

4) หมาปนหิน จำนวน 3 ตัวอย่าง มี 60 จุดวิเคราะห์

Ilk 1-4-x (3/62)	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	FeO	Ga_2O_3
Minimum	0.0300	0.0100	< 0.0100	0.0400	< 0.0100
Maximum	1.1500	0.0800	0.0100	0.1400	0.0300
Mean	0.1739	0.0221	0.0100	0.0942	0.0133
n	62	62	3	62	41

5) รวมกลุ่มที่มีหมาเป็นทั้งหมด (Ilk 1-1-x, Ilk 1-2-x, Ilk 1-4-x) จำนวน 21 ตัวอย่าง มี 267 จุดวิเคราะห์

Ilk 1-x-x (21/267)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0300	< 0.0100
Maximum	1.1500	0.0800	0.0200	0.3820	0.0400
Mean	0.1062	0.0173	0.0102	0.0806	0.0146
n	267	260	42	267	167

โดยสรุป กลุ่มที่มีหมาเป็น แสดงปริมาณธาตุที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสี และ/หรือ หมาเป็น เพียง 2 ธาตุคือ Ti และ Fe โดยปริมาณ TiO₂ อยู่ระหว่าง < 0.0100 ถึง 1.1500 wt% ทั้งนี้กลุ่มหมาเป็นหินมีค่าเฉลี่ย TiO₂ สูงสุดคือ 0.1739 wt% ส่วนกลุ่มหมาเป็นมีค่าเฉลี่ย TiO₂ ต่ำสุดคือ 0.0643 wt% สำหรับปริมาณ FeO อยู่ระหว่าง 0.0300 ถึง 0.3820 wt% โดยกลุ่มหมาเป็นมีค่าเฉลี่ย FeO สูงสุดคือ 0.1004 wt% และกลุ่มหมาเป็นทองมีค่าเฉลี่ย FeO ต่ำสุดคือ 0.0527 wt%

หมายเหตุ : กลุ่มหมาเป็นมีจำนวนตัวอย่างที่วิเคราะห์ และผลวิเคราะห์จำนวนน้อย (เพียง 1 และ 2 ตามลำดับ) จึงไม่นำมาเปรียบเทียบในเชิงสถิติ แต่นำไปประมวลผลรวมกับกลุ่มใสไม่มีสี

กลุ่มที่ใสไม่มีหมาเป็น แบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามสีต่างๆ ได้แก่

6) กลุ่มใสไม่มีสี รวมกับกลุ่มหมาเป็น จำนวน 8 ตัวอย่าง มี 11 จุดวิเคราะห์

Ilk(c), 2-1-x, 1-3-x (8/11)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0300	< 0.0100
Maximum	0.0700	0.0180	0.0200	0.3600	0.0400
Mean	0.0253	0.0120	0.0167	0.1624	0.0229
n	6	8	3	11	9

7) กลุ่มสีเหลือง จำนวน 15 ตัวอย่าง มี 25 จุดวิเคราะห์

Ilk(y), 2-2-x (15/25)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0190	< 0.0100
Maximum	0.0300	0.0200	0.0200	0.7500	0.0500
Mean	0.0145	0.0126	0.0117	0.1020	0.0172
n	10	15	12	25	20

8) กลุ่มสีส้ม จำนวน 12 ตัวอย่าง มี 22 จุดวิเคราะห์

Ilk(o), 2-3-x (12/22)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0360	< 0.0100
Maximum	0.0200	0.0140	0.0200	0.3490	0.0200
Mean	0.0122	0.0115	0.0133	0.1272	0.0146
n	16	13	6	22	14

9) กลุ่มสีชมพู จำนวน 6 ตัวอย่าง มี 15 จุดวิเคราะห์

Ilk 2-4-x (6/15)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0310	< 0.0100
Maximum	0.0150	0.0140	0.0230	0.0720	0.0230
Mean	0.0121	0.0122	0.0163	0.0476	0.0172
n	8	5	7	15	9

10) กลุ่มสีเขียว จำนวน 16 ตัวอย่าง มี 16 จุดวิเคราะห์

Ilk(g), 2-5-x (16/16)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.2910	< 0.0100
Maximum	0.0300	0.0200	0.0200	0.8900	0.0500
Mean	0.0172	0.0123	0.0140	0.6055	0.0223
n	6	11	5	16	11

11) กลุ่มสีฟ้า จำนวน 15 ตัวอย่าง มี 24 จุดวิเคราะห์

Ilk(b), 2-6-x (15/24)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.1000	< 0.0100
Maximum	0.0500	0.0250	0.0130	0.8670	0.0300
Mean	0.0212	0.0146	0.0105	0.3451	0.0206
n	19	20	10	24	15

12) กลุ่มสีม่วงดอกมะเขือ (purple) จำนวน 11 ตัวอย่าง มี 17 จุดวิเคราะห์

Ilk(p), 2-7-x (11/17)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	0.0190	0.0300	< 0.0100
Maximum	0.0200	0.0300	0.0750	0.4630	0.0230
Mean	0.0134	0.0151	0.0480	0.2165	0.0160
n	12	14	17	17	7

13) กลุ่มสีม่วงดอกอัญชัน (violet) จำนวน 8 ตัวอย่าง มี 9 จุดวิเคราะห์

Ilk(v) (8/9)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	0.0100	0.0100	< 0.0100	0.0840	< 0.0100
Maximum	0.7400	0.0600	0.3100	0.6200	0.0300
Mean	0.1006	0.0250	0.0899	0.2860	0.0198
n	9	9	8	9	6

14) รวมกลุ่มที่ไม่มีหม่นทั้งหมด (Ilk 2-x, Ilk(x) ทุกกลุ่ม และ Ilk 1-3-x) รวม 91 ตัวอย่าง
มี 139 จุดวิเคราะห์

Ilk-clear (all) (91/139)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0190	< 0.0100
Maximum	0.7400	0.0600	0.3100	0.8900	0.0500
Mean	0.0251	0.0143	0.0308	0.2307	0.0186
n	86	95	68	139	91

โดยสรุป แชนไพร์หลากสีจากแหล่ง Ilakaka กลุ่มที่ไม่มีหม่น แสดงปริมาณธาตุที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสี 3 ธาตุ คือ Ti, Fe และ Cr (ยกเว้นกลุ่ม colourless : Ilk(c) + Ilk 2-1-x และกลุ่ม blue : Ilk(b) + Ilk 2-6-x ซึ่งมีปริมาณ Cr₂O₃ ต่ำกว่า detection limit)

ปริมาณ TiO₂ อยู่ระหว่างต่ำกว่า 0.0100 จนถึง 0.7400 wt% โดยกลุ่มสี violet มีค่าเฉลี่ย TiO₂ สูงสุดคือ 0.1006 wt% และกลุ่มสี orange และ pink มีค่าเฉลี่ย TiO₂ ต่ำสุดคือ 0.012 wt%

ปริมาณ FeO อยู่ระหว่าง 0.0190 จนถึง 0.8900 wt% โดยกลุ่มสี green มีค่าเฉลี่ย FeO สูงสุดคือ 0.6055 wt% และกลุ่มสี pink มีค่าเฉลี่ย FeO ต่ำสุดคือ 0.0476 wt%

ปริมาณ Cr_2O_3 อยู่ระหว่าง ต่ำกว่า 0.0100 จนถึง 0.3100 wt% โดยกลุ่มสีม่วงดอกอัญชันมีค่าเฉลี่ย Cr_2O_3 สูงสุดคือ 0.0899 wt% และกลุ่มสีฟ้ามีค่าเฉลี่ย Cr_2O_3 ต่ำสุดคือ 0.0105 wt%

สรุปการประมวลผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุรองรอยในตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมจากแหล่งต่างๆของมาดากัสการ์ หลัง
การทดลองเผา

ข.6 ทับทิมจากแหล่ง Andilamena จำนวน 30 ตัวอย่าง มี 139 จุดวิเคราะห์

Anm (30/139)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	0.2730	0.2690	< 0.0100
Maximum	0.1920	0.0480	1.1080	0.7260	0.0280
Mean	0.0338	0.0216	0.5889	0.4054	0.0165
n	136	120	139	139	27

ข.7 ทับทิมจากแหล่ง Vatomandry จำนวน 8 ตัวอย่าง มี 16 จุดวิเคราะห์

Vam (8/16)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	0.2720	0.0840	< 0.0100
Maximum	0.0230	0.0450	0.6080	0.4450	0.0230
Mean	0.0148	0.0287	0.3979	0.2275	0.0178
n	11	14	16	16	5

ข.8 พลอยแซปไฟร์สีน้ำเงินจากแหล่ง Diego Suarez

1) กลุ่มสีน้ำเงิน : Dig(b) และกลุ่มแกนกลางสีน้ำเงิน : Dig(bc) จำนวน 8 ตัวอย่าง มี 58 จุดวิเคราะห์

Dig b + bc (8/58)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.3410	< 0.0100
Maximum	0.2470	0.0300	0.0190	1.1500	0.0550
Mean	0.0801	0.0172	0.0137	0.8003	0.0334
n	50	30	19	58	57

2) กลุ่มแกนกลางสีเหลือง : Dig(yc) จำนวน 9 ตัวอย่าง มี 90 จุดวิเคราะห์

Dig yc (9/90)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.4850	< 0.0100
Maximum	0.2150	0.0290	0.0220	1.0770	0.0740
Mean	0.0689	0.0162	0.0136	0.7974	0.0344
n	51	48	34	90	87

3) กลุ่มแกนกลางใสไม่มีสี : Dig(cc) จำนวน 4 ตัวอย่าง มี 46 จุดวิเคราะห์

Dig cc (4/46)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.3490	< 0.0100
Maximum	0.1050	0.0300	0.0220	0.7990	0.0580
Mean	0.0268	0.0171	0.0139	0.5163	0.0304
n	44	20	19	46	43

4) กลุ่มสีเหลือง : Dig(y) จำนวน 13 ตัวอย่าง มี 81 จุดวิเคราะห์

Dig y (13/81)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.5290	< 0.0100
Maximum	0.2440	0.0290	0.0220	1.2790	0.0770
Mean	0.1039	0.0161	0.0139	0.9090	0.0322
n	74	53	27	81	78

5) รวมทุกกลุ่มสีของแหล่ง Diego Suarez จำนวน 34 ตัวอย่าง มี 275 จุดวิเคราะห์

Dig All (34/275)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.3410	< 0.0100
Maximum	0.2470	0.0300	0.0220	1.2790	0.0770
Mean	0.0748	0.0165	0.0138	0.7839	0.0329
n	219	151	99	275	264

ข.9 พลอยแซปไฟร์สีน้ำเงินจากแหล่ง Andranondambo จำนวน 14 ตัวอย่าง มี 103 จุดวิเคราะห์

Anb (14/103)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0371	< 0.0100
Maximum	0.1920	0.0340	0.0230	0.8390	0.0350
Mean	0.0557	0.0158	0.0134	0.4033	0.0200
n	94	53	47	103	67

ข.10 พลอยแซปไฟร์หลากสีจากแหล่ง Ilakaka

กลุ่มที่มีหม่า

1) หม่าทอง จำนวน 7 ตัวอย่าง มี 85 จุดวิเคราะห์

Ilk 1-1-x (7/85)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0140	< 0.0100
Maximum	0.4520	0.0320	0.0280	0.2690	0.0300
Mean	0.1005	0.0182	0.0152	0.0776	0.0168
n	82	60	33	85	41

2) หม่าเข้ม จำนวน 10 ตัวอย่าง มี 117 จุดวิเคราะห์

Ilk 1-2-x (10/117)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	0.0200	< 0.0100	< 0.0100	0.0370	< 0.0100
Maximum	0.1650	0.0270	0.0260	0.4250	0.0350
Mean	0.0671	0.0163	0.0154	0.1324	0.0178
n	117	72	41	117	70

3) หม่าอ่อน นำไปประมวลผลรวมกับกลุ่มใสไม่มีสี : Ilk(c) และ Ilk 2-1-x

4) หม่าปนหิน จำนวน 3 ตัวอย่าง มี 63 จุดวิเคราะห์

Ilk 1-4-x (3/63)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	0.0220	< 0.0100	< 0.0100	0.0480	< 0.0100
Maximum	0.3250	0.0340	0.0260	0.1510	0.0320
Mean	0.0882	0.0193	0.0147	0.0961	0.0174
n	63	46	18	63	26

5) รวมกลุ่มที่มีหม่าทั้งหมด (Ilk 1-1-x, 1-2-x, 1-4-x) จำนวน 20 ตัวอย่าง มี 265 จุดวิเคราะห์

Ilk1-x-x (20/265)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0140	< 0.0100
Maximum	0.4520	0.0340	0.0280	0.4250	0.0350
Mean	0.0826	0.0177	0.0152	0.1062	0.0174
n	262	177	93	265	136

กลุ่มที่ไม่มีหมา

6) กลุ่มใสไม่มีสี รวมกับกลุ่มหมาอ่อน จำนวน 8 ตัวอย่าง มี 14 จุดวิเคราะห์

Ilk(c), 21-x, 1-3-x(8/14)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0400	< 0.0100
Maximum	0.0600	0.0180	0.0200	0.3460	0.0270
Mean	0.0185	0.0160	0.0163	0.1756	0.0215
n	10	3	4	14	2

7) กลุ่มสีเหลือง จำนวน 15 ตัวอย่าง มี 29 จุดวิเคราะห์

Ilk(y), 2-2-x (15/29)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0260	< 0.0100
Maximum	0.0930	0.0210	0.0220	0.7980	0.0340
Mean	0.0297	0.0136	0.0138	0.1436	0.0187
n	6	11	12	29	13

8) กลุ่มสีส้ม จำนวน 12 ตัวอย่าง มี 24 จุดวิเคราะห์

Ilk(o), 2-3-x (12/24)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0510	< 0.0100
Maximum	0.0230	0.0200	0.0260	0.3730	0.0320
Mean	0.0144	0.0141	0.0175	0.1408	0.0158
n	14	7	16	24	9

9) กลุ่มสีชมพู จำนวน 6 ตัวอย่าง มี 15 จุดวิเคราะห์

Ilk 2-4-x (6/15)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0450	< 0.0100
Maximum	0.0180	0.0250	0.0260	0.0940	0.0270
Mean	0.0130	0.0174	0.0182	0.0737	0.0189
n	9	5	11	15	9

10) กลุ่มสีเขียว จำนวน 16 ตัวอย่าง มี 27 จุดวิเคราะห์

Ilk(g), 2-5-x (16/27)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.2420	< 0.0100
Maximum	0.0300	0.0210	0.0290	0.8860	0.0280
Mean	0.0155	0.0150	0.0170	0.5679	0.0197
n	15	9	10	27	17

11) กลุ่มสีฟ้า จำนวน 14 ตัวอย่าง มี 31 จุดวิเคราะห์

Ilk(b), 2-6-x (14/31)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0860	< 0.0100
Maximum	0.0520	0.0250	0.0220	0.5940	0.0230
Mean	0.0214	0.0164	0.0146	0.3043	0.0149
n	28	15	14	31	15

12) กลุ่มสีม่วงดอกมะเขือ (purple) จำนวน 11 ตัวอย่าง มี 24 จุดวิเคราะห์

Ilk(p), 2-7-x (11/24)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	0.0160	0.0570	< 0.0100
Maximum	0.0320	0.0270	0.0830	0.4460	0.0340
Mean	0.0157	0.0155	0.0482	0.1738	0.0176
n	20	14	24	24	16

13) กลุ่มสีม่วงดอกอัญชัน (violet) จำนวน 8 ตัวอย่าง มี 17 จุดวิเคราะห์

Ilk(v) (8/17)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0910	< 0.0100
Maximum	0.2270	0.0480	0.2690	0.5710	0.0380
Mean	0.0454	0.0241	0.0828	0.2668	0.0206
n	15	14	16	17	7

14) รวมกลุ่มที่ไม่มีหมำ้ทั้งหมด Ilk(x) และ Ilk 2-x-x ทุกกลุ่ม รวม 90 ตัวอย่าง มี 181 จุดวิเคราะห์

Ilk clear (all) (90/181)	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Minimum	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	0.0260	< 0.0100
Maximum	0.2270	0.0480	0.2690	0.8860	0.0380
Mean	0.0219	0.0169	0.0333	0.2463	0.0181
n	117	78	107	181	88

การเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ก่อนและหลังการทดลองเผา

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุร่องรอยในพลอยคอร์นดัมก่อนและหลังการทดลองเผา โดยวิเคราะห์ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันที่สุด

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยปริมาณออกไซด์ของธาตุร่องรอยในพลอยคอร์นดัมจากแหล่งต่างๆ ของมาดากัสการ์ จากการวิเคราะห์ก่อนและหลังการทดลองเผา

แหล่ง / กลุ่ม	ค่าเฉลี่ยปริมาณ trace element oxides (wt%)			
		ก่อนเผา	หลังเผา	ความแตกต่าง
Anm Number of analysis before : after 95 : 139	TiO ₂	0.0252	0.0338	-0.0086
	V ₂ O ₅	0.0224	0.0216	0.0008
	Cr ₂ O ₃	0.6508	0.5889	0.0619
	FeO	0.3525	0.4054	-0.0529
	Ga ₂ O ₃	0.0176	0.0165	0.0011
Anb Number of analysis before : after 88 : 103	TiO ₂	0.0480	0.0557	-0.0077
	V ₂ O ₅	0.0132	0.0158	-0.0025
	Cr ₂ O ₃	0.0104	0.0134	-0.0030
	FeO	0.3720	0.4033	-0.0310
	Ga ₂ O ₃	0.0196	0.0200	-0.0004

ตารางที่ 3 (ต่อ)

แหล่ง / กลุ่ม	ค่าเฉลี่ยปริมาณ trace element oxides (wt%)			
		ก่อนเผา	หลังเผา	ความแตกต่าง
Vam Number of analysis before : after 13 : 16	TiO ₂	0.0139	0.0148	-0.0009
	V ₂ O ₅	0.0288	0.0287	0.0000
	Cr ₂ O ₃	0.3998	0.3979	0.0019
	FeO	0.2273	0.2275	-0.0002
	Ga ₂ O ₃	0.0168	0.0178	-0.0011
Dig (b+bc) Number of analysis before : after 43 : 58	TiO ₂	0.0579	0.0801	-0.0222
	V ₂ O ₅	0.0133	0.0172	-0.0039
	Cr ₂ O ₃	0.0108	0.0137	-0.0029
	FeO	0.7988	0.8003	-0.0015
	Ga ₂ O ₃	0.0426	0.0334	0.0091
Dig (yc) Number of analysis before : after 91 : 90	TiO ₂	0.0540	0.0689	-0.0149
	V ₂ O ₅	0.0128	0.0162	-0.0034
	Cr ₂ O ₃	0.0100	0.0136	-0.0036
	FeO	0.7931	0.7974	-0.0043
	Ga ₂ O ₃	0.0338	0.0344	-0.0007
Dig (cc) Number of analysis before : after 29 :46	TiO ₂	0.0346	0.0268	0.0078
	V ₂ O ₅	0.0114	0.0171	-0.0057
	Cr ₂ O ₃	0.0106	0.0139	-0.0033
	FeO	0.5504	0.5163	0.0341
	Ga ₂ O ₃	0.0416	0.0304	0.0112
Dig (y) Number of analysis before : after 58 : 81	TiO ₂	0.1029	0.1039	-0.0010
	V ₂ O ₅	0.0140	0.0161	-0.0021
	Cr ₂ O ₃	0.0100	0.0139	-0.0039
	FeO	0.8958	0.9090	-0.0132
	Ga ₂ O ₃	0.0405	0.0322	0.0083
Dig (All) Number of analysis before : after 221 : 275	TiO ₂	0.0662	0.0748	-0.0086
	V ₂ O ₅	0.0131	0.0165	-0.0034
	Cr ₂ O ₃	0.0097	0.0138	-0.0041
	FeO	0.7893	0.7839	0.0055
	Ga ₂ O ₃	0.0384	0.0329	0.0055

ตารางที่ 3 (ต่อ)

แหล่ง / กลุ่ม	ค่าเฉลี่ยปริมาณ trace element oxides (wt%)			
		ก่อนเผา	หลังเผา	ความแตกต่าง
Ilk 1-1-x Number of analysis before : after 109 : 117	TiO ₂	0.1051	0.1005	0.0047
	V ₂ O ₅	0.0166	0.0182	-0.0016
	Cr ₂ O ₃	0.0100	0.0152	-0.0052
	FeO	0.0527	0.0776	-0.0249
	Ga ₂ O ₃	0.0136	0.0168	-0.0031
Ilk 1-2-x Number of analysis before : after 96 : 117	TiO ₂	0.0643	0.0671	-0.0027
	V ₂ O ₅	0.0149	0.0163	-0.0014
	Cr ₂ O ₃	0.0100	0.0154	-0.0054
	FeO	0.1004	0.1324	-0.0319
	Ga ₂ O ₃	0.0161	0.0178	-0.0018
Ilk 1-4-x Number of analysis before : after 62 : 63	TiO ₂	0.1739	0.0882	0.0856
	V ₂ O ₅	0.0221	0.0193	0.0028
	Cr ₂ O ₃	0.0100	0.0147	-0.0047
	FeO	0.0942	0.0961	-0.0019
	Ga ₂ O ₃	0.0133	0.0174	-0.0041
Ilk 1-x-x Number of analysis before : after 267 : 265	TiO ₂	0.1062	0.0826	0.0236
	V ₂ O ₅	0.0173	0.0177	-0.0005
	Cr ₂ O ₃	0.0102	0.0152	-0.0049
	FeO	0.0806	0.1062	-0.0256
	Ga ₂ O ₃	0.0146	0.0174	-0.0029
Ilk (c), 2-1-x, 1-3-x Number of analysis before : after 11 : 14	TiO ₂	0.0253	0.0185	0.0068
	V ₂ O ₅	0.0120	0.0160	-0.0040
	Cr ₂ O ₃	0.0167	0.0163	0.0004
	FeO	0.1918	0.1756	0.0162
	Ga ₂ O ₃	0.0229	0.0215	0.0014
Ilk (y), 2-2-x Number of analysis before : after 25 : 29	TiO ₂	0.0145	0.0297	-0.0152
	V ₂ O ₅	0.0126	0.0136	-0.0010
	Cr ₂ O ₃	0.0117	0.0138	-0.0021
	FeO	0.1020	0.1436	-0.0416
	Ga ₂ O ₃	0.0172	0.0187	-0.0015

ตารางที่ 3 (ต่อ)

แหล่ง / กลุ่ม	ค่าเฉลี่ยปริมาณ trace element oxides (wt%)			
		ก่อนเผา	หลังเผา	ความแตกต่าง
Ilk (o), 2-3-x Number of analysis before : after 22 : 24	TiO ₂	0.0122	0.0144	-0.0022
	V ₂ O ₅	0.0115	0.0141	-0.0026
	Cr ₂ O ₃	0.0133	0.0175	-0.0042
	FeO	0.1272	0.1408	-0.0136
	Ga ₂ O ₃	0.0146	0.0158	-0.0011
Ilk 2-4-x Number of analysis before : after 15 : 15	TiO ₂	0.0121	0.0130	-0.0009
	V ₂ O ₅	0.0138	0.0174	-0.0036
	Cr ₂ O ₃	0.0335	0.0182	0.0153
	FeO	0.0521	0.0737	-0.0215
	Ga ₂ O ₃	0.0168	0.0189	-0.0021
Ilk (g), 2-5-x Number of analysis before : after 16 : 27	TiO ₂	0.0172	0.0155	0.0016
	V ₂ O ₅	0.0123	0.0150	-0.0027
	Cr ₂ O ₃	0.0140	0.0170	-0.0030
	FeO	0.6055	0.5679	0.0376
	Ga ₂ O ₃	0.0223	0.0197	0.0026
Ilk (b), 2-6-x Number of analysis before : after 24 : 31	TiO ₂	0.0212	0.0214	-0.0002
	V ₂ O ₅	0.0146	0.0164	-0.0019
	Cr ₂ O ₃	0.0105	0.0146	-0.0041
	FeO	0.3451	0.3043	0.0408
	Ga ₂ O ₃	0.0206	0.0149	0.0057
Ilk (p), 2-7-x Number of analysis before : after 17 : 24	TiO ₂	0.0134	0.0182	-0.0048
	V ₂ O ₅	0.0151	0.0155	-0.0004
	Cr ₂ O ₃	0.0480	0.0482	-0.0002
	FeO	0.2165	0.1738	0.0427
	Ga ₂ O ₃	0.0160	0.0176	-0.0016
Ilk (v) Number of analysis before : after 9 : 17	TiO ₂	0.1006	0.0454	0.0552
	V ₂ O ₅	0.0250	0.0241	0.0009
	Cr ₂ O ₃	0.0899	0.0828	0.0071
	FeO	0.2860	0.2668	0.0192
	Ga ₂ O ₃	0.0198	0.0206	-0.0008

ตารางที่ 3 (ต่อ)

แหล่ง / กลุ่ม	ค่าเฉลี่ยปริมาณ trace element oxides (wt%)			
		ก่อนเผา	หลังเผา	ความแตกต่าง
Ilk clear (All) Number of analysis before : after 139 : 181	TiO ₂	0.0253	0.0219	0.0034
	V ₂ O ₅	0.0143	0.0169	-0.0026
	Cr ₂ O ₃	0.0308	0.0333	-0.0025
	FeO	0.2307	0.2463	-0.0156
	Ga ₂ O ₃	0.0187	0.0181	0.0006

เห็นได้ว่า ส่วนประกอบทางเคมีของพลอยคอร์ันดัม โดยเฉพาะปริมาณธาตุร่องรอย ที่วิเคราะห์ในตัวอย่างก่อนและหลังการทดลองเผา ไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

(3) ผลการวิเคราะห์ห้มลทิน

การวิเคราะห์ห้มลทินในเนื้อพลอยคอร์ันดัมจากแหล่งต่างๆ ของมาดากัสการ์ อาศัยเทคนิค Raman spectroscopy และ SEM-EDX โดยทำการตรวจวิเคราะห์ทั้งก่อนและหลังการทดลองเผาตัวอย่างพลอยผลสรุปมลทินที่ตรวจพบ แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุปผลตรวจวิเคราะห์ห้มลทินในพลอยคอร์ันดัมจากแหล่งต่างๆ ของมาดากัสการ์ เปรียบเทียบกับที่เคยมีการรายงาน

ชนิดของมลทิน	เทคนิควิเคราะห์ที่ใช้ (จำนวนตัวอย่างพลอยที่ตรวจพบ)		มลทินที่เคยมีการรายงาน โดยผู้อื่น
	Raman	SEM	
1. ทับทิมจากแหล่ง Andilamena			
alkali feldspar		1	Hänni, 2001; Schwarz and Schmetzer, 2001 apatite, rutile, zircon
anorthite		4	
apatite	1	4	
baddelelyite		8	
chlorite		1	
ferropicotite		1	
hibonite*		2	
mica	1		

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ชนิดของมลทิน	เทคนิควิเคราะห์ที่ใช้ (จำนวนตัวอย่างพลอยที่ตรวจพบ)		มลทินที่เคยมีการรายงาน โดยผู้อื่น
	Raman	SEM	
1. ทับทิมจากแหล่ง Andilamena (ต่อ)			
monazite	1	2	
mullite*		3	
pleonaste		1	
pyrite		1	
rutile	4	17	
sapphirine		1	
silico-ilmenite		1	
spinel		1	
staurolite	1	6	
tieilite*		9	
zircon	1	22	
2. ทับทิมจากแหล่ง Vatomandry			
apatite	1		Hänni, 2001; Schwarz and Schmetzer, 2001 apatite, rutile, zircon
baddeleyite		2	
kaersutite		1	
rutile	4	2	
spinel*		3	
thorianite		1	
zircon		6	
3. แชนปีไฟร์สีน้ำเงิน (เขียว/เหลือง) จากแหล่ง Diego Suarez			
analbite		1	Schwarz and others, 2000; Superchi and others, 1997 albite, columbite, hercynite, pyrochlore, uraninite, zircon
columbite (ferro-)	4	3	
melilite		1	
zircon	2	1	

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ชนิดของมลทิน	เทคนิควิเคราะห์ที่ใช้ (จำนวนตัวอย่างพลอยที่ตรวจพบ)		มลทินที่เคยมีการรายงานโดยผู้อื่น
	Raman	SEM	
4. แซปไฟร์สีน้ำเงิน จากแหล่ง Andranondambo			
calcite		1	Gübelin and Peretti, 1997; Kiefert and others, 1996; Milisenda and others, 2001; Schwarz and others, 1996
CO ₂ (in negative crystal)	2		
diaspore	2		
eastonite (mica)		1	apatite, baddeleyite, calcite, diaspore, dolomite, feldspar, fluorite, hedenbergite, Mg-hornblende, phlogopite, rutile, spinel, thorianite-uraninite, zircon, zirconolite
sapphirine		1	
spinel		1	
thorianite		1	
zircon		1	
5. แซปไฟร์หลากสีจากแหล่ง Ilakaka			
amphibole	1		Milisenda and others, 2001; Schmetzer, 1999; Hänni, 1999
baddeleyite	1	3	
celsian (Ba-anorthite)		1	boehmite, rutile, zircon
chalcocite		1	
cheralite (Ce-apatite)		1	
hibonite*		1	
monazite		3	
rutile	3	2	
xenotime		3	
zircon	10	10	

* พบเฉพาะในตัวอย่างหลังเผา เชื่อว่าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงด้วยความร้อน

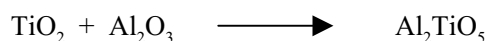
ข้อสังเกต : โครงการวิจัยนี้ มิได้มุ่งเน้นการศึกษามลทินในตัวอย่างคอร์ันดัม การตรวจวิเคราะห์มลทินส่วนใหญ่ศึกษาจากตัวอย่างที่เตรียมไว้เพื่อการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี อย่างไรก็ตาม การตรวจวิเคราะห์มลทินในตัวอย่างพลอย มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบแหล่งที่มาของตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบกับรายงานที่เคยมีผู้ศึกษามาแล้ว และเพื่อศึกษาผลกระทบและการเปลี่ยนแปลงของมลทินต่างๆ ต่อและจากการเผาพลอยด้วย

เหตุที่ชนิดและจำนวนของมลทินที่ตรวจพบในงานวิจัยนี้ กับที่เคยมีการรายงานค่อนข้างแตกต่างกัน เป็นเพราะส่วนใหญ่ของรายงานที่อ้างถึง ก็มีได้มุ่งเน้นการศึกษามลทิน ยกเว้นงานของ Gübelin and Peretti (1997) ที่เน้นการศึกษามลทินในแซปไฟร์ของแหล่ง Andranondambo เพื่อผลสืบเนื่องเกี่ยวกับกำเนิด (genesis) ของพลอยในแหล่งนั้นเป็นหลัก ทำให้ตรวจพบมลทินหลากหลายชนิด

โดยสรุป มลทินที่พบเสมอในคอร์ันดัมจากแหล่งต่างๆ ของมาดากัสการ์คือ zircon รองลงมาคือ rutile และ baddeleyite ส่วนมลทินชนิดอื่นๆ พบน้อยกว่า หากพิจารณาผลกระทบของมลทินที่ปรากฏอยู่ในเนื้อพลอย ต่อการเผาผลายและคุณภาพพลอย จะเห็นว่ามีทั้งผลกระทบทั้งด้านบวกและด้านลบ กล่าวคือ มลทินของแร่บางชนิดที่มีธาตุส่วนประกอบเป็นธาตุให้สีในพลอยได้ เช่น oxides ของ Ti และ/หรือ Fe หากเกิดเป็นมลทินขนาดเล็กมากในรูปของหม่า (milky) หรือ เหลือบ/ไหม (silky) สามารถเผาทำให้พลอยที่มีมลทินดังกล่าวอยู่แสดงสีได้ง่าย นอกจากนั้น ชนิดของมลทินหรือกลุ่ม (suite) ของแร่มลทิน เป็นดัชนีที่สามารถบ่งบอกว่าพลอยจากแหล่งหนึ่งๆ มีกำเนิดสัมพันธ์กับหินอัคนีหรือหินแปรกลุ่มใดภายใต้สภาวะทางธรณีวิทยา (geologic setting) เช่น โคโลนไดคัวย (เช่น Sutherland and Schwarz, 2001) ประโยชน์ทางด้านการตรวจพิสูจน์อัญมณี คือ ใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ว่าเป็นอัญมณีแท้หรือสังเคราะห์ และหากศึกษาอย่างละเอียดสามารถใช้ลักษณะ ชนิด และการกระจายตัวของมลทินในเนื้ออัญมณีเป็นเสมือน “รอยนิ้วมือ (fingerprint)” ประจำตัวของอัญมณีแต่ละเม็ดได้

ในส่วนของผลกระทบทางด้านลบที่เห็นได้ชัดเจน คือ ขนาด และปริมาณของมลทินที่ปรากฏอยู่ในเนื้อพลอย ทำให้คุณภาพของพลอย โดยเฉพาะด้าน clarity ลดลง นอกจากนั้น ผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับการเผาผลายคือ มลทินบางชนิด (เช่น มลทินของไหล : fluid inclusions) อาจทำให้พลอยแตกร้าว หรือเสียหายระหว่างการเผา สืบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลง หรือขยายตัวเนื่องจากความร้อนได้ ซึ่งในการตรวจวิเคราะห์แร่มลทินในเนื้อพลอยหลังการเผา มีแร่มลทินหลายชนิดแสดงการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ดังนี้

(1) แร่มลทินทำปฏิกิริยากับคอร์ันดัมเกิดเป็นแร่ phase ใหม่ เช่น มลทินแร่ rutile (TiO_2) ทำปฏิกิริยากับคอร์ันดัม (Al_2O_3) เป็น tieilite (Al_2TiO_5)



ดังแสดงในรูปที่ 79, 80 และ 81

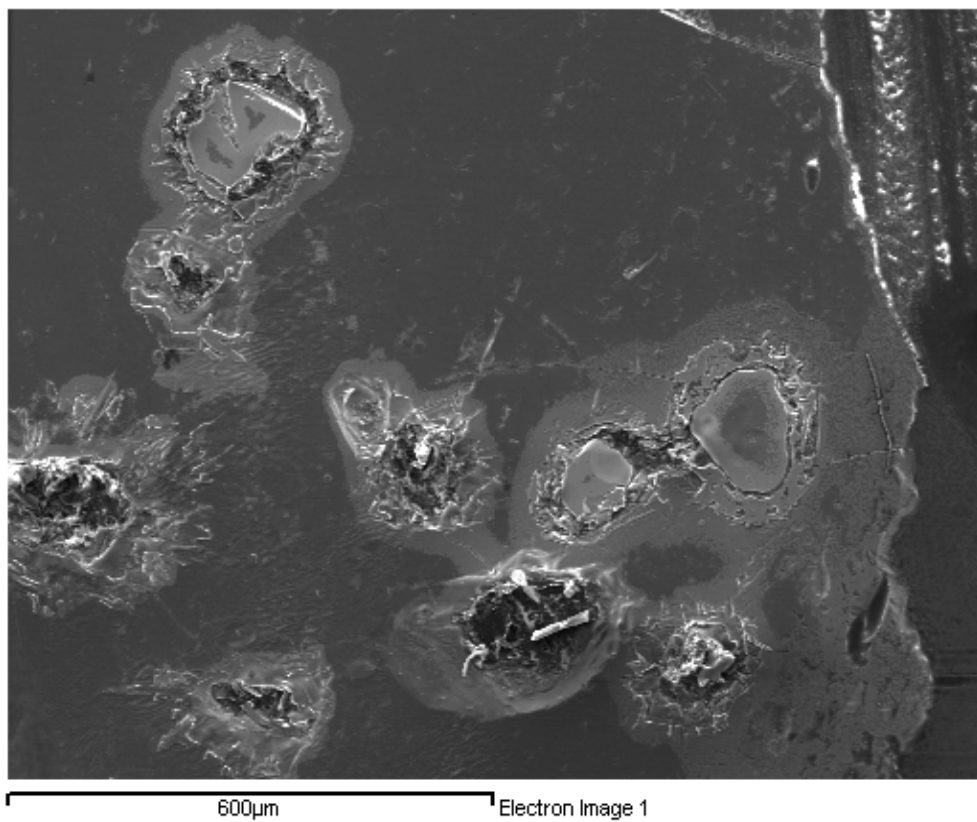
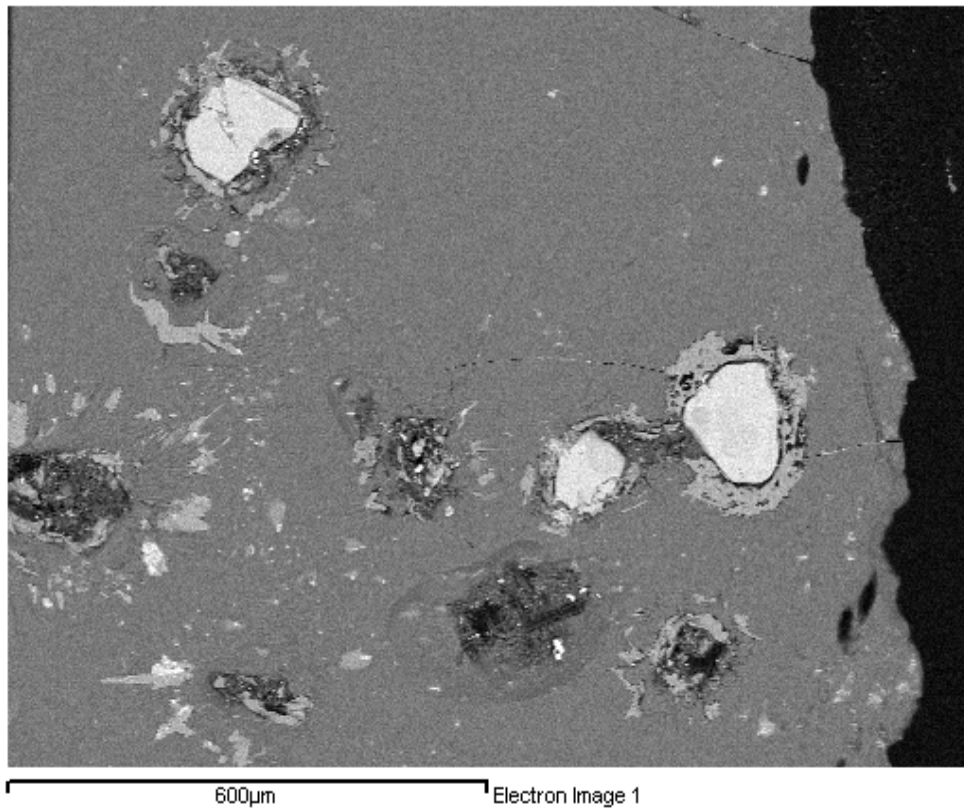
ในบางกรณี TiO_2 ทำปฏิกิริยากับ Al_2O_3 และ inclusion phase อื่น ซึ่งเป็น oxides ของ Ca, Mg และ Fe เกิดเป็น phase ใหม่ในรูป oxide ของ Al รวมกับ Ca, Ti, Mg และ Fe (รูปที่ 82)

หรือมลทินของแร่ apatite (CaPO_4) ทำปฏิกิริยากับคอร์ันดัมเกิดเป็นแร่ phase ใหม่ คือ hibonite (?) : $\text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$ (รูปที่ 83)

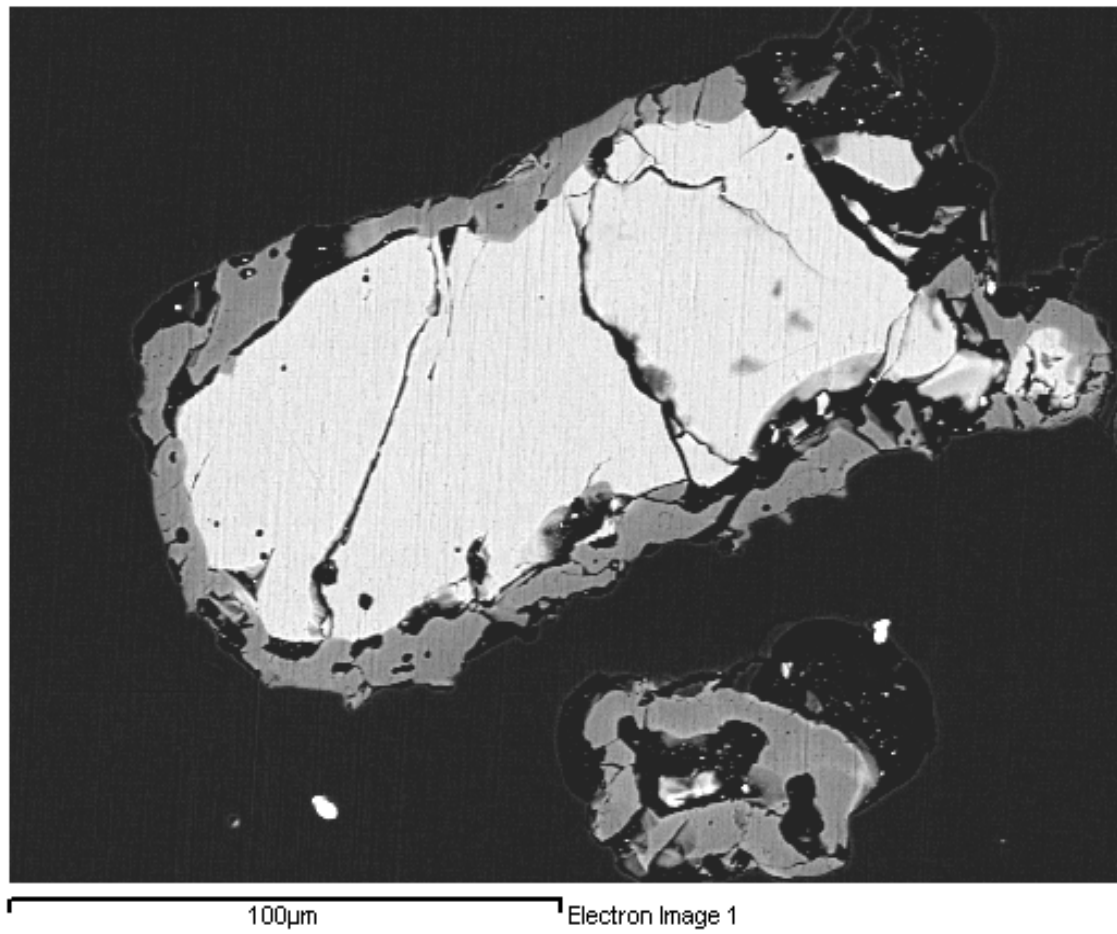
(2) แร่ลทินบางชนิด หลอมละลายเมื่อได้รับความร้อนสูง แล้วตกผลึกใหม่ (ไม่สมบูรณ์)
เมื่อเย็นตัวอย่างรวดเร็ว เช่น

การตกผลึกเป็น skeleton crystal ของ rutile (รูปที่ 84) และของ zircon (รูปที่ 85)

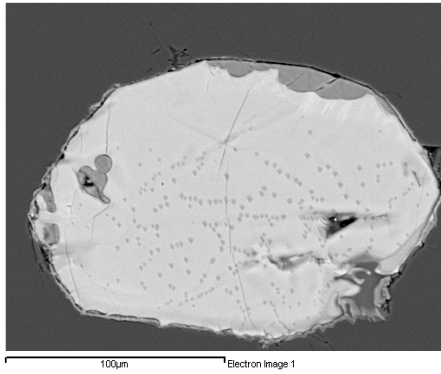
การแตกออกเป็น rounded inclusions ของ baddeleyite และการตกผลึกเป็น bladed crystals
ของ staurolite (?) (รูปที่ 86)



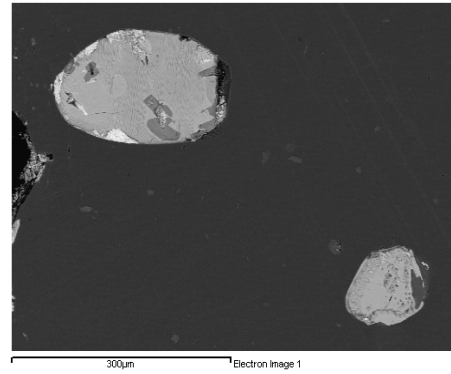
รูปที่ 79 ภาพจาก back-scattered electron image (รูปบน) และจาก secondary electron (รูปล่าง) แสดง haloes รอบๆมลทินแร่ TiO_2 ในพลอยคอรันดัม ซึ่งเกิดจากการเผาทำให้เกิดเป็น phase ใหม่ คือ tieilite : $\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{TiO}_5$.



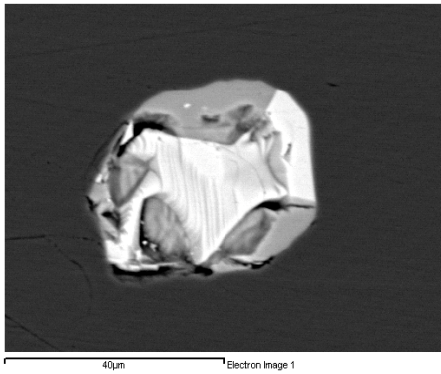
รูปที่ 80 มลทินแร่ rutile (สีขาว) ล้อมรอบด้วย tieilite (Al_2TiO_5) ซึ่งเกิดจากการเผาผลาญคอร์ันดัม



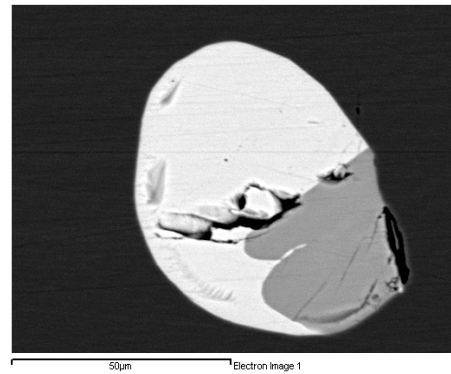
Anm 1-4-002



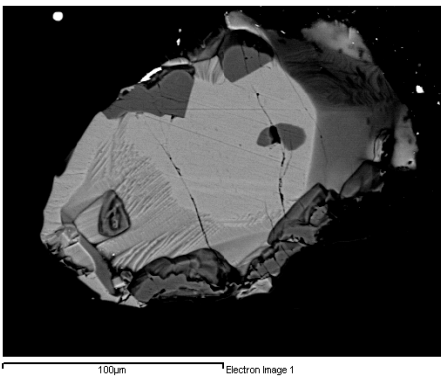
Anm 3-2-006



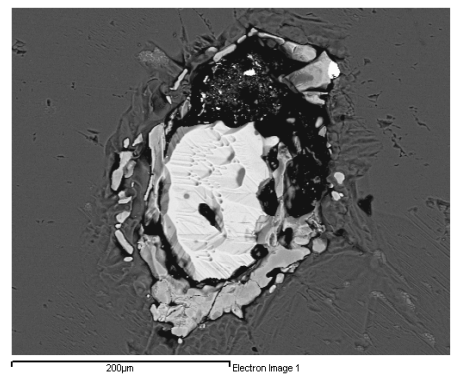
Anm 3-2-006



Anm 3-2-006

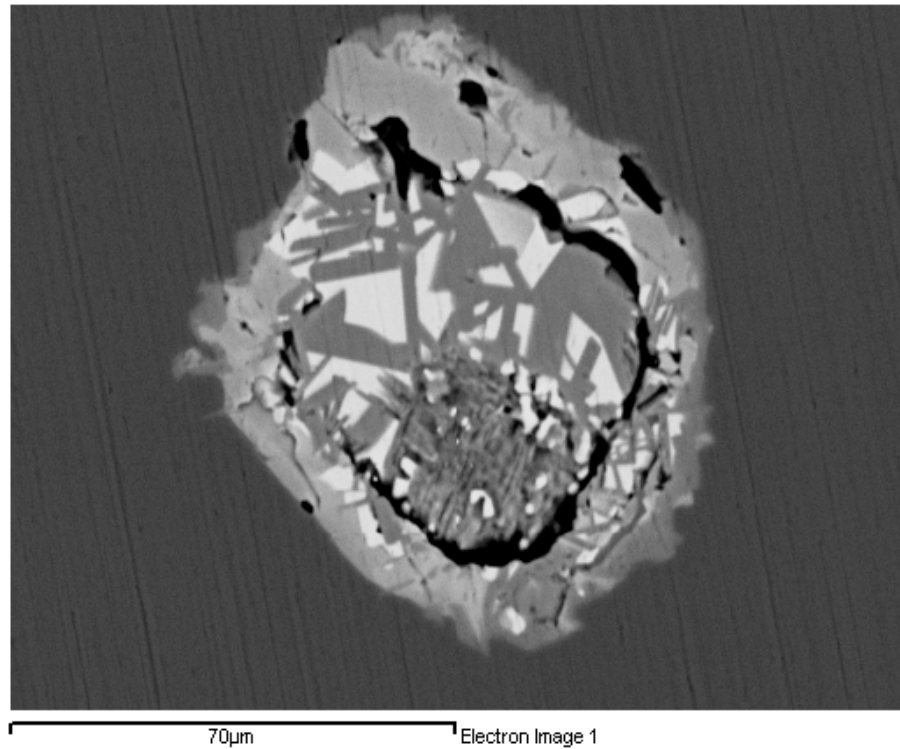


Anm 3-2-006

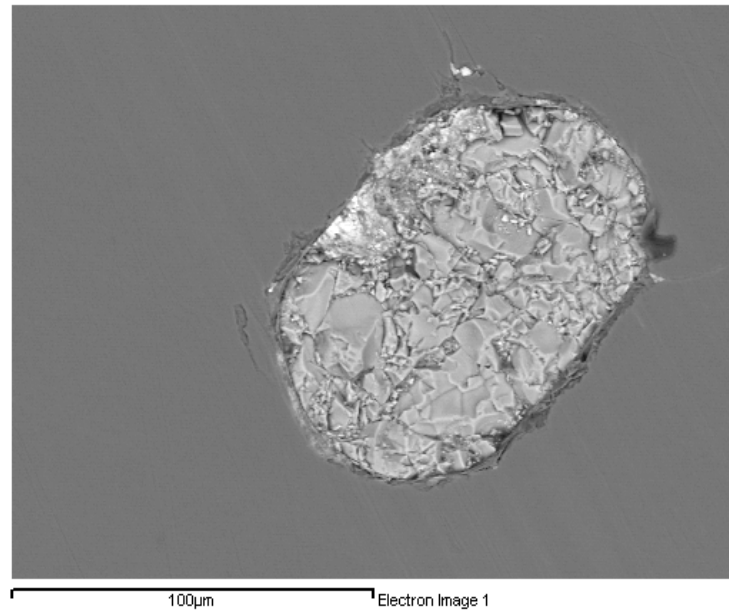


Anm 3-5-008

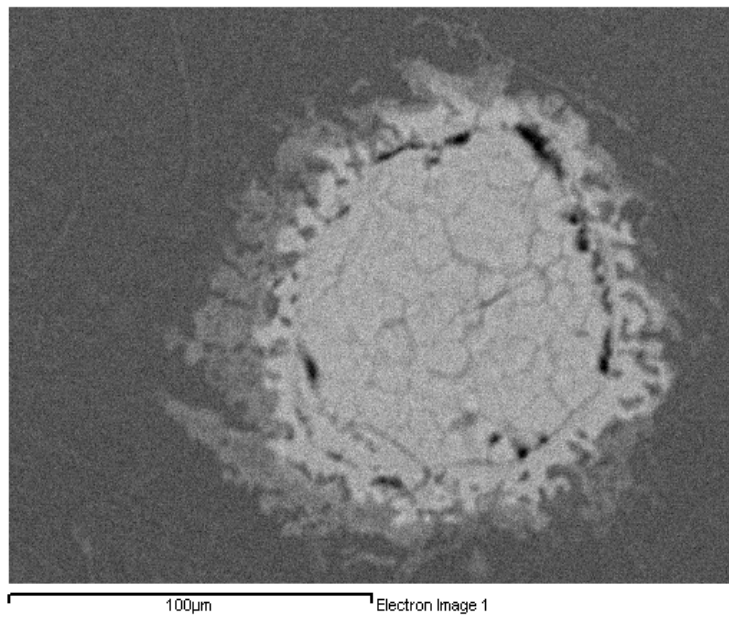
รูปที่ 81 ปฏิกริยาระหว่างมลทินแร่ rutile กับคอรัันดัม หลังการเผาทำให้เกิด tieilite ล้อมรอบ rutiles



รูปที่ 82 มลทินแร่ rutile (สีขาว) ทำปฏิกิริยากับคอร์ันดัม (สีเทาเข้ม) เกิดเป็น tieilite (สีเทาอ่อน) และผลึกรูปแท่งแบนของ phase ใหม่ (สีเทาปานกลาง) ซึ่งมีส่วนประกอบเป็น (Ti, Ca, Mg, Fe) Al oxide. (Anm 4-5-004)

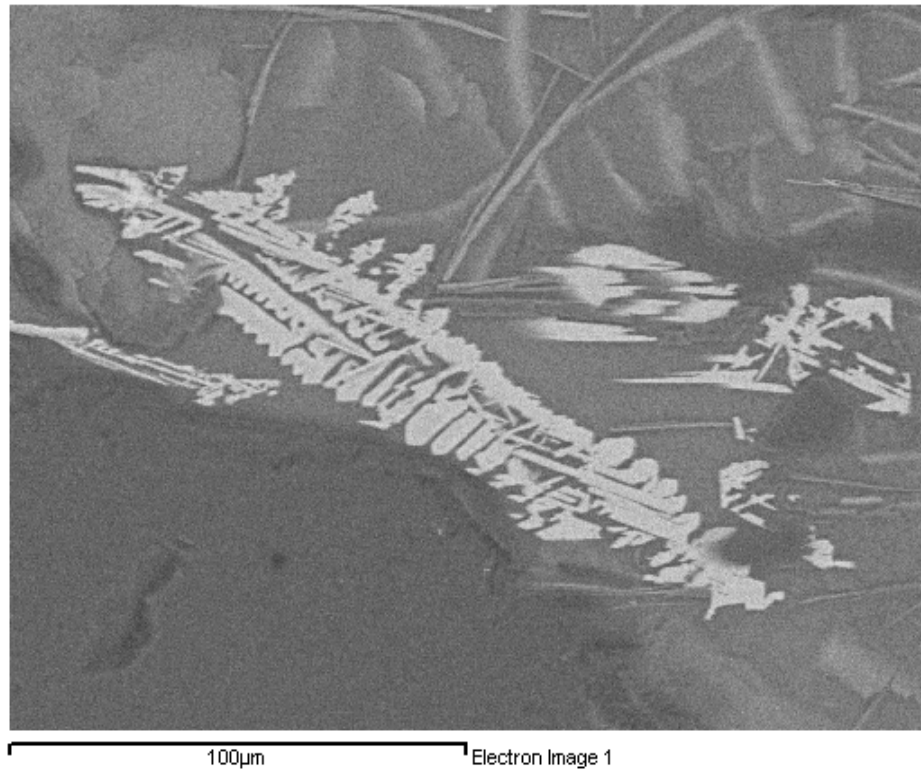


Anm 2-1-008

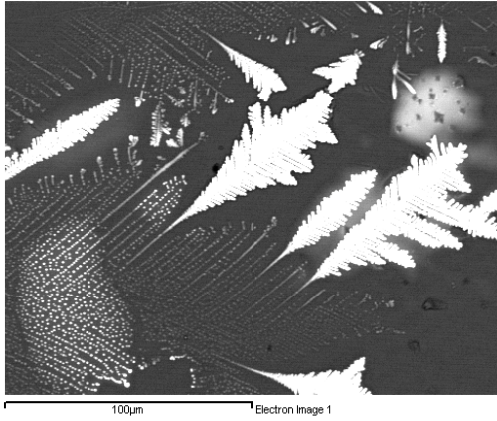


Anm 2-1-009

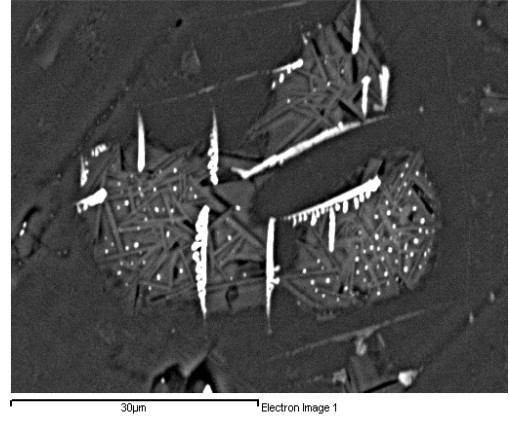
รูปที่ 83 มลทินแร่ apatite (รูปบน) และแร่ apatite ทำปฏิกิริยากับคอร์นดัมระหว่างเผาเกิดเป็น phase ใหม่อยู่รอบๆ



รูปที่ 84 ผลึกแร่ TiO_2 ในคอร์นดัม หลังการเผาแล้วปล่อยให้เย็นตัวเร็ว ทำให้ตกผลึกเป็นรูป
สมบูรณ์ไม่ทัน (Anm3-1-003)



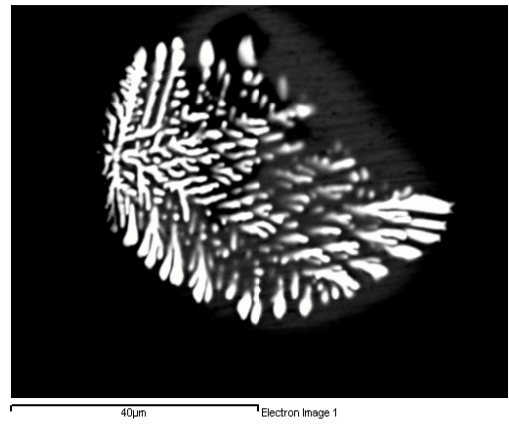
Ilk 2-5-009



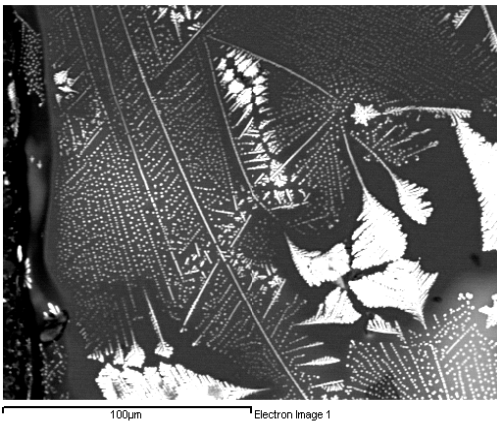
Anm 3-5-020



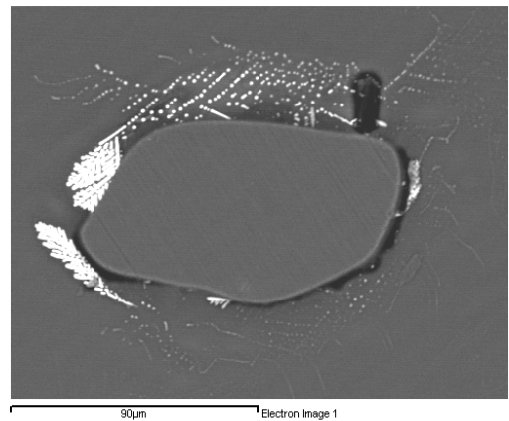
Ilk 2-5-009



Ilk (y) 002

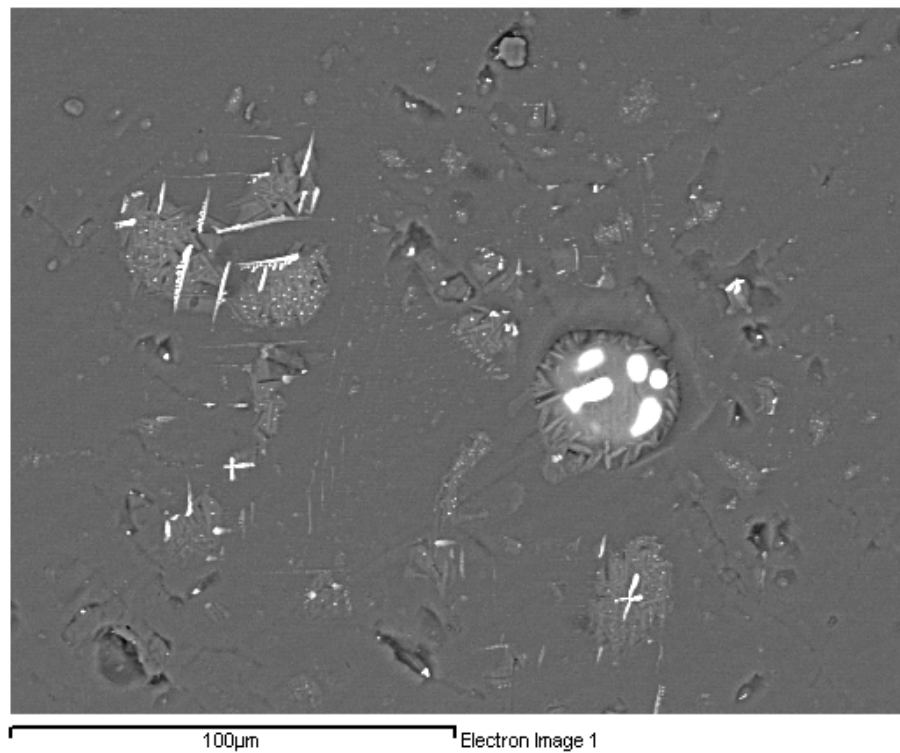


Ilk 2-5-009



Ilk 2-5-012

รูปที่ 85 ผลึกแร่ zircon ที่ตกผลึกไม่สมบูรณ์ (Skeleton crystals) หลังการเผาออรันดัม แล้วให้เย็นตัวเร็ว



รูปที่ 86 ผลของการเผา ทำให้กลุ่มมอลทินแร่ Baddeleyite (ZrO_2) มีแท่งผลึกแบนของแร่ alumino-silicate ของ Mg (แร่ staurolite ?) เกิดล้อมรอบอยู่ ผลึกสีขาวที่ตกผลึกไม่สมบูรณ์ (Skeleton crystals) คือ Zircon (Anm3-5-020)

3. การทดลองเผาผลาญ

3.1 คำนำ

การเผาผลาญ หรือ การหุงผลาญ หมายถึง การพยายามทำให้ผลาญดิบ มีคุณภาพดีขึ้นโดยใช้ความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง เป็นการเลียนแบบกระบวนการธรรมชาติ หรือเป็นการต่อ ยอดกระบวนการธรรมชาติที่ยังดำเนินไปไม่แล้วเสร็จ ใช้อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม กระตุ้นหรือเร่งให้กระบวนการดังกล่าวดำเนินไปจนสมบูรณ์ หรือดำเนินไปตามครรลองที่จะส่งผลให้ผลาญมีคุณภาพดีที่สุดตามส่วนประกอบตั้งต้นที่มีอยู่ในเนื้อผลาญนั้นๆ

ผลาญที่เผาได้ผล ต้องมีส่วนประกอบตั้งต้นที่เหมาะสมอยู่แล้ว และนักเผาผลาญต้องใช้กรรมวิธีที่ถูกต้องเหมาะสมไปกระตุ้นหรือเร่งให้ผลาญแสดงคุณภาพที่ดีของตนออกมาได้ ส่งผลให้ผลาญเมื่อนั้นมีมูลค่าเพิ่มขึ้น ส่วนผลาญที่เผาไม่ได้ผลอาจเป็นเพราะส่วนประกอบตั้งต้นไม่เหมาะสม และ/หรือ นักเผาผลาญใช้กรรมวิธีที่ไม่เหมาะสมกับผลาญเมื่อนั้น ส่งผลให้ผลาญเมื่อนั้นมูลค่าไม่เพิ่มขึ้น อาจมีมูลค่าลดลง หรือเสียหายจนไร้ค่าไปเลยก็ได้

กรรมวิธีการเผาผลาญดังกล่าวนี้ ต้องไม่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มเติมสารใดๆ ลงในเนื้อผลาญอันเป็นการเพิ่มสีหรือปรากฏการณ์พิเศษใดๆ บนตัวผลาญ ดังเช่นที่ปฏิบัติกันในการบวนการเคลือบสี หรือชานสี (diffusion) หรือการสร้างสาแหรก หรือ “สตาร์” ในเนื้อผลาญ ซึ่งไม่ปรากฏเป็นกระบวนการธรรมชาติ

จากการศึกษา ทบทวน เอกสาร ตำรา บทความ รายงาน ทั้งที่มีการตีพิมพ์เผยแพร่ทั่วไป และที่เผยแพร่ในวงจำกัด (ประจักษ์ อังคะหิรัญ, 2543 ; 2545 ; พงศ์ทิพย์ วิโนทัย และคณะ, 2541 ; ประพจน์ แดตาล, 2533 ; พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ และคณะ, 2535 ; 2541 ; 2543 ; โพยม อรัณยกันนัท และคณะ, 2521 ; 2529 ; ภัทราวรรณ คหะวงศ์, 2538 ; ภิญโญ มีชานะ, 2534 ; รัก หรรษาเวก, 2531 ; รัก หรรษาเวก และ กฤตยา ปัทมาลัย, 2539 ; สมยศ หอวรรณกุล, 2531 ; สุรชาติพิทย์ ศิริไพศาลพัฒน์ และคณะ, 2541 ; 2543 ; สุภาณี ลิ้มสุวรรณ และคณะ, 2536 ; อภิลักษณ์ มาสกุล, 2542 ; อิศรา ชีระวัฒน์สกุล และคณะ, 2540 ; Abraham, 1982 ; Crowningshield and Nassau, 1981 ; Ediriweera and Perera, 1989 ; Ediriweera and others, 1991 ; Emmett, 1999 ; Emmett and Douthit, 1993 ; Gunaratne, 1981 ; Gunawadene, 1984 ; Hughes, 1997 ; Jobbins, 1971 ; Maxwell, 2002 ; McClure and others, 1993 ; McClure and Smith, 2000 ; Nassau, 1981 ; 1984a ; 1984b ; 1994 ; 1999 ; Pemadasa and others, 1994 ; Perera and others, 1991 ; Peretti and Gunther, 2002 ; Sasaki, 1980 ; Schmetzer and others, 1983 ; Schmetzer and Kiefert, 1990 ; Themelis, 1992 ; 2003 ; Thiramongkol, 1995 ; Tombs, 1980) สามารถสรุปเทคนิคที่เกี่ยวกับการเผาผลาญคอรัณคัมได้ดังนี้ :

3.2 วัตถุประสงค์ของการเผาพลอย มีสามประการที่สำคัญ คือ

(1) เผาเพิ่มสี

หมายถึง การนำพลอยที่มีสีอ่อน จาง หรือไม่แสดงสี มาเผาเพื่อให้มีสีเข้ม สวยงามขึ้น โดยมีเงื่อนไขว่า พลอยดิบที่จะนำมาเผาได้ผล ต้องมี “เชื้อสี” หรือธาตุร่องรอย (trace element) ที่สามารถกระตุ้นให้แสดงสีในเนื้อพลอยได้ พลอยคอร์ันดัมบริสุทธิ์ (100.00% Al_2O_3) จะเป็นผลึกใสไม่มีสี และจะไม่สามารถแสดงสีใดๆ ไม่ว่าจะเผาอย่างไร ยกเว้นการเผาแรงที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างผลึกของพลอย จนพลอยแสดงสีได้ ในลักษณะเดียวกับสีที่เกิดจากศูนย์กลางสี (colour center) เมื่อนำพลอยไปอบรังสี (irradiate)

(2) เผาลดสี

หมายถึง การนำพลอยที่มีสีเข้มมากเกินไป หรือมีสีอื่นปะปนมาเผาเพื่อให้สีพลอยลดความเข้มหรือจางลง หรือกำจัดสีอื่นที่ปะปนอยู่ออกเสีย เพื่อให้สีหลัก สดสวยขึ้น

(3) เผาใส

หมายถึง การนำพลอยที่ขุ่น ทึบ หรือไม่โปร่งใส มาเผาเพื่อให้แสงสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อพลอยได้มากขึ้น ทำให้ “น้ำพลอย” หรือ “ไฟ” สวยขึ้น

3.3 อุปกรณ์ในการเผาพลอย

(1) เถ้า (crucible) มีรูปร่าง ขนาด และทำจากวัสดุต่างๆ ทำให้ทนความร้อนได้ต่างกัน ในการเผาพลอยคอร์ันดัม ควรเลือกใช้เถ้าที่ทำจากสารอะลูมินา ซึ่งทนความร้อนได้สูงถึง 1,850 – 1,950 °C

(2) เตาเผาพลอย ที่นิยมใช้ มี 5 ชนิด

ก. เตาถ่านไม้ ลักษณะเป็นเตาทรงกระบอก โพรงเตาทำจากปูนทนไฟ ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง ทำอุณหภูมิได้ไม่สูงนัก ขึ้นอยู่กับชนิดของถ่าน นิยมใช้เผาพลอยเพทายเท่านั้น

ข้อดี : ราคาถูก ค่าใช้จ่ายต่ำ

ข้อเสีย : ควบคุมอุณหภูมิได้ยาก

ข. เตาถ่านหิน ลักษณะคล้ายเตาถ่านไม้ ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง สามารถทำอุณหภูมิได้สูงสุด 1,600 °C

ข้อดี : ค่าใช้จ่ายไม่สูงนัก ให้บรรยากาศแบบ reduction

ข้อเสีย : ควบคุมอุณหภูมิได้ยาก

- ค. เตาน้ำมัน ลักษณะเป็นเตาทรงกระบอก คล้ายเตาถ่าน ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ทำอุณหภูมิได้สูงสุด $1,650^{\circ}\text{C}$
 ข้อดี : สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ เหมาะสำหรับการเผาพลอย blue sapphire
 ข้อเสีย : อุณหภูมิยังไม่สูงพอ สำหรับการเผาบางกรณี
- ง. เตาแก๊ส ลักษณะคล้ายเตาน้ำมัน แต่มักมีขนาดเล็กกว่า สามารถทำอุณหภูมิได้สูงถึง $1,750^{\circ}\text{C}$ ในบรรยากาศแบบ reduction หรือสูงถึง $2,350^{\circ}\text{C}$ ในบรรยากาศแบบ oxidation เหมาะสำหรับการเผา yellow sapphire และการเผาใส
 ข้อดี : ควบคุมอุณหภูมิได้สะดวก เผาในบรรยากาศต่างๆ ได้
 ข้อเสีย : ใช้เผาพลอย blue sapphire สวีสู่เผาด้วยเตา น้ำมันไม่ได้
- จ. เตาไฟฟ้า มักเป็นเตาสีเหลี่ยม มีอุปกรณ์วัดและควบคุมอุณหภูมิ สามารถทำอุณหภูมิสูงสุดประมาณ $1,800^{\circ}\text{C}$ ในบรรยากาศแบบ oxidation เหมาะสำหรับการเผาทับทิม
 ข้อดี : ใช้งานสะดวก ควบคุมอุณหภูมิได้ง่าย
 ข้อเสีย : ราคาและค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

3.4 ตัวแปร หรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเผาพลอย

ตัวแปรหรือปัจจัยเกี่ยวข้องที่สำคัญ และส่งผลต่อความสำเร็จในการเผาพลอย ได้แก่

(1) อุณหภูมิ แบ่งเป็นสองระดับอุณหภูมิหลักๆ คือ

- ก. ระดับอุณหภูมิต่ำ หมายถึง การเผาที่ทำอุณหภูมิไม่เกิน $1,500^{\circ}\text{C}$
 ข. ระดับอุณหภูมิสูง หมายถึง การเผาที่ทำอุณหภูมิตั้งแต่ $1,500^{\circ}\text{C}$ ขึ้นไป จนถึงระดับสูงสุด ที่ทำได้ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ เช่น ชนิดของเตา บรรยากาศ ความทนอุณหภูมิของเบ้า และ/หรือ พลอยที่เผา เป็นต้น

(2) ระยะเวลา แบ่งออกเป็นสองระดับเช่นกัน คือ

- ก. ระยะเวลาสั้น หมายถึง การเผาที่เมื่อทำอุณหภูมิถึงระดับที่ต้องการแล้ว ปิดเตาทันที หรือ การเผาในระดับอุณหภูมิต่ำที่ยืนอุณหภูมิเป็นระยะเวลาไม่เกิน 30 นาที
 ข. ระยะเวลายาว หมายถึง การเผาที่เมื่อทำอุณหภูมิถึงระดับที่ต้องการแล้ว ยืนอุณหภูมินั้น เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 3 – 5 ชั่วโมง

(3) บรรยากาศในการเผา แบ่งออกเป็นสองแบบ คือ

- ก. บรรยากาศแบบ oxidation หมายถึง การเผาที่บรรยากาศในเตามี oxygen สูง หรือมี oxygen เกินพอหลังจากการเผาไหม้แล้ว เตาเผาบางชนิดอาจติดตั้งอุปกรณ์วัดและควบคุมปริมาณ oxygen ในเตาได้

ข. บรรยากาศแบบ reduction หมายถึง การเผาที่บรรยากาศในเตามี oxygen ต่ำมากหรือแทบไม่มีอยู่เลย เตาเผาบางชนิดสามารถวัดและควบคุมภาวะ reduction ภายในเตาได้

(4) วัตถุประสงค์ หมายถึง ส่วนประกอบทางเคมีของพลอยที่จะนำมาเผา โดยเฉพาะชนิดและปริมาณของธาตุร่องรอย รวมทั้งมลทิน หรือตำหนิต่างๆ ที่มีอยู่ในเนื้อพลอย ที่จะส่งผลให้การเผาพลอยประสบผลสำเร็จ หรือล้มเหลว โดยเฉพาะธาตุร่องรอยที่เกี่ยวข้องกับการแสดงสีของพลอย ซึ่งในกรณีของพลอยคอร์ันดัม ได้แก่ ธาตุโลหะทรานซิชันแถวแรก เช่น Cr, Fe, Ti, V, Ni, Co, Mn

ตัวแปรหรือปัจจัยอื่นๆ ซึ่งอาจส่งผลต่อการเผาพลอยในบางกรณี ได้แก่ อัตราเพิ่ม-ลด อุณหภูมิระหว่าง และหลังการเผา โดยทั่วไป ไม่ควรเพิ่มอุณหภูมิเร็วเกินไป เพราะอาจทำให้พลอยแตกร้าวเสียหายได้ ส่วนการปล่อยให้พลอยเย็นตัวหลังเผา อาจปล่อยให้เย็นตัวในเตาโดยอุณหภูมิลดลงช้าๆ (เรียกว่า “เผาอบ”) หรือนำพลอยออกจากเตาขณะที่อุณหภูมิยังสูงอยู่ (เรียกว่า “เผายก”) เพื่อให้พลอยเย็นตัวอย่างรวดเร็ว (quench) โดยเฉพาะในกรณีการเผาใส ซึ่งจะป้องกันไม่ให้แร่อื่นที่เป็นมลทินทำให้เนื้อพลอยขุ่นมัว ตกผลึกกลับคืนหลังการเผาอีก

3.5 เทคนิคการเผาพลอยคอร์ันดัม

การเผาพลอยจะให้ได้ดี จำเป็นต้องทราบสาเหตุที่พลอยแสดงสี ในกรณีของพลอยคอร์ันดัม อาจแสดงสีต่างๆ กัน เช่น แดง เหลือง น้ำเงิน เขียว ม่วง ส้ม ชมพู เทา น้ำตาล ไม่มีสี หรือแสดงมากกว่าหนึ่งสีในเม็ดเดียว สีของพลอยคอร์ันดัม (Al_2O_3) เกิดจากการที่มีธาตุร่องรอยบางชนิด เข้าไปแทนที่ไอออนของ Al บางตำแหน่ง ในโครงสร้างผลึกของ Al_2O_3 การแทนที่อาจเกิดขึ้นกับธาตุใดธาตุหนึ่ง หรือหลายๆ ธาตุพร้อมๆ กันก็ได้ ทำให้พลอยแสดงสีหลากหลาย ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณความเข้มข้นของธาตุร่องรอยเหล่านั้น ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

ธาตุร่องรอยซึ่งแทนที่ Al^{3+}	สีที่แสดง
Cr^{3+} ($< 0.1\% \text{ Cr}^{3+}$)	ชมพู
Cr^{3+} ($0.1\% \text{ Cr}^{3+}$ ขึ้นไป)	แดง
Ni หรือ $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{3+}$	เหลือง
Mg^{2+}	เหลืองทอง
Ni + Cr^{3+} หรือ $\text{Mg}^{2+} + \text{Cr}^{3+}$ หรือ $\text{Cr}^{3+} + \text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{3+}$	ส้ม
$\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ หรือ $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$	น้ำเงิน
$\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+} + \text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{3+}$ หรือ Co + Ni + V	เขียว
V^{3+}	ม่วง / เขียว + แดง (เปลี่ยนสี)
$\text{Cr}^{3+} + \text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ หรือ $\text{Cr}^{3+} + \text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$	ม่วง

ในกรณีที่มีธาตุร่องรอยเกิดอยู่ในคอร์รันดัม แต่ไม่ไปแทนที่ไอออนของ Al^{3+} ในโครงสร้างผลึก หรือเกิดเป็นแร่มลทินชนิดอื่นปนอยู่ในเนื้อพลอยคอร์รันดัม ธาตุร่องรอยดังกล่าวจะไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการแสดงสี ต่อเมื่อผ่านกระบวนการเผาผลายที่ใช้ภาวะการเผาที่เหมาะสม ธาตุร่องรอยนั้นอาจถูกกระตุ้นให้เข้าแทนที่ Al^{3+} แล้วส่งผลให้พลอยแสดงสีขึ้นได้ ในทางตรงกันข้าม ธาตุร่องรอยที่เคยแทนที่ Al^{3+} อยู่แล้ว เมื่อผ่านการเผา อาจถูกผลักดันออกจากการแทนที่ Al^{3+} หรือเปลี่ยนประจุ เช่น จาก Fe^{3+} เป็น Fe^{2+} ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของพลอยได้ เทคนิคการเผาผลายคือ การหาภาวะการเผาที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ นั่นเอง

ธาตุร่องรอยที่มักพบเกิดอยู่เสมอในพลอยคอร์รันดัม ในปริมาณที่มากพอ และนับได้ว่าเป็นธาตุสำคัญ มีเพียง 3 ธาตุ คือ Cr, Fe และ Ti ซึ่งรับผิดชอบต่อการแสดงสีของทับทิม (ruby) ไพลิน (blue sapphire) บุษราคัม (yellow sapphire) และเขียวมรกต (green sapphire) การเผาผลายคอร์รันดัมโดยทั่วไป จึงมุ่งความสนใจไปที่การเผาให้ได้พลอยสีแดง น้ำเงิน หรือเหลือง เท่านั้น ซึ่งให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าในเชิงพาณิชย์

(1) การเผาเพิ่มสี : เนื่องจากสีแดง ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ Cr ที่มีอยู่ในเนื้อพลอยตั้งแต่ต้น จึงไม่สามารถเผาให้เพิ่มสีแดงขึ้นได้ ในกรณีนี้จึงกล่าวถึงเฉพาะการเพิ่มสีน้ำเงิน และ เหลือง เท่านั้น

ก. การเพิ่มสีพลอยน้ำเงิน

สีน้ำเงินเกิดจาก Fe^{2+} และ Ti^{4+} หากในพลอยดิบมีทั้ง Fe และ Ti อยู่ แต่ไม่แสดงสี หรือแสดงสีจาง หรือสีเขียวแสดงว่า Ti อาจอยู่ในรูปของแร่มลทิน เช่น แท่งเข็มของแร่รูไทล์ (TiO_2) หรือ หมา (แท่งเข็มขนาดจิ๋ว) Fe อาจอยู่ในรูปของ Fe^{3+} เป็นส่วนใหญ่ การเผาเพิ่มสีน้ำเงิน ต้องมุ่งทำให้ TiO_2 สลายตัวเพื่อให้ Ti^{4+} แทนที่ Al^{3+} ในขณะเดียวกัน ต้องมุ่งทำให้ Fe^{3+} เปลี่ยนเป็น Fe^{2+} ด้วย ภาวะการเผาเพิ่มสีน้ำเงิน จึงต้องเป็นบรรยากาศแบบ reduction ดังนี้

- บรรยากาศ $\rightarrow$ reduction
- อุณหภูมิ $\rightarrow$ ระหว่าง $1,450 - 1,650^\circ C$
- ระยะเวลา $\rightarrow$ สั้น, เมื่อถึงอุณหภูมิที่ต้องการ ดับเตาทันที “เผาอบ”

ข. การเพิ่มสีพลอยเหลือง

สีเหลือง เกิดจาก Fe^{3+} (Ni, Cs, Mn, Mg ให้สีเหลืองได้เหมือนกัน แต่มักไม่พบในคอร์รันดัม --- Ni และ Cs ในธรรมชาติมีปริมาณน้อย, Mn และ Mg มีขนาดไอออนโตเกินไป เข้าแทนที่ Al ได้ยาก) หากในพลอยดิบมี Fe อยู่ แต่ไม่แสดงสี หรือสีจาง หรือเป็นสีเขียว แสดงว่า Fe ส่วนใหญ่อาจอยู่ในรูปของ Fe^{2+} การเผาเพิ่มสีเหลืองต้องมุ่งทำให้ Fe^{2+} เปลี่ยนเป็น Fe^{3+} ภาวะการเผาจึงต้องเป็น oxidation ดังนี้

- บรรยากาศ	→	oxidation	} เพราะการเปลี่ยน Fe^{2+} เป็น Fe^{3+} เกิดได้ยากกว่า และช้ากว่า เปลี่ยนจาก $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ และต้องการให้ Fe^{3+} แทนที่ Al^{3+}
- อุณหภูมิ	→	สูง : $1,900^{\circ}\text{C}$	
- ระยะเวลา	→	นาน : 5 ชั่วโมงขึ้นไป	
- การเย็นตัว	→	“เผายก” : เพื่อให้ใส	

(2) การเผาผลาญ :

ก. **พลอยแดง :** การเผาผลาญในพลอยแดง คือ ลดสีอื่นที่ปะปนอยู่ทำให้สีแดงไม่สดหรือดูคล้ำไป สีที่มักปะปนอยู่คือ สีม่วง หรือน้ำตาล เกิดจากปริมาณ Fe^{2+} การเผาให้ได้สีแดงสดใส หรือลดสีม่วง/น้ำตาล ต้องมุ่งทำให้ Fe^{2+} เปลี่ยนเป็น Fe^{3+} ภาวะการเผาก็ต้องเป็น oxidation ดังนี้

- บรรยากาศ	→	oxidation
- อุณหภูมิ	→	ต่ำ : $1,200 - 1,550^{\circ}\text{C}$ (Fe^{3+} ไม่จำเป็นต้องแทนที่ Al^{3+})
- ระยะเวลา	→	นาน : 5 ชั่วโมงขึ้นไป (เปลี่ยน $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ ใช้เวลานาน)
- การเย็นตัว	→	“เผายก” : เพื่อให้ใส

ข. **พลอยน้ำเงิน :** พลอยดิบที่สีเข้มมากตามธรรมชาติ อาจเผาผลาญได้ยาก แต่ถ้าไม่เข้มมากนักเผาผลาญได้โดยทำตรงกันข้ามกับการเผาเพิ่มสี ดังนี้

- บรรยากาศ	→	oxidation
- อุณหภูมิ	→	ต่ำ : $1,450^{\circ}\text{C}$ ขึ้นไป
- ระยะเวลา	→	นาน : 1 ชั่วโมงขึ้นไป, “เผายก”

ค. **พลอยเหลือง :** โอกาสที่จะพบพลอยเหลืองสีเข้มเกินไป มีค่อนข้างน้อย หากจำเป็นต้องเผาผลาญเหลือง ต้องทำตรงกันข้ามกับการเผาเพิ่มสีเหลือง ดังนี้

- บรรยากาศ	→	reduction หรือ atmosphere
- อุณหภูมิ	→	ต่ำ : $1,200^{\circ}\text{C}$ ขึ้นไป
- ระยะเวลา	→	นาน : 1 ชั่วโมงขึ้นไป, “เผายก”

(3) **การเผาใส :** โดยทั่วไปการเผาใส เป็นการลดความเข้มของสีพลอย หรือการเผาไล่ความขุ่นมัวเนื่องจากมลทินแร่ชนิดอื่นที่ปรากฏอยู่ โดยหลักการเผาใสต้องใช้อุณหภูมิสูง และระยะเวลานาน

ก. เผาใสพลอยน้ำเงิน

- บรรยากาศ	→	atmosphere : กรณีที่สีเข้มจนทึบ
	→	reduction : กรณีที่ขุ่นมัวเพราะมีมลทินแร่อื่น
- อุณหภูมิ	→	สูง : $1,900^{\circ}\text{C}$

- ระยะเวลา → ไม่แน่นอน : ต้องทดลอง
- การเย็นตัว → “เผายก”

ข. เเผาโลหะแดง

- บรรยากาศ → atmosphere หรือ oxidation
- อุณหภูมิ → สูง : 1,750 °C
- ระยะเวลา → นาน : 5 ชั่วโมงขึ้นไป
- การเย็นตัว → “เผายก”

ค. เเผาโลหะเหลือง : มักเผาโลหะ ก่อนเผาเพิ่มสี

- บรรยากาศ → atmosphere
- อุณหภูมิ → สูง : 1,900 °C
- ระยะเวลา → นานมาก : 100 ชั่วโมงขึ้นไป
- การเย็นตัว → “เผายก”

3.6 เตาที่ใช้ในการเผาผลอย

การเลือกใช้เตาเผาผลอย ขึ้นกับชนิดของผลอยที่ทำการเผา และสถานะในการเผา ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เตา 3 ชนิด ที่มีอยู่ ณ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้แก่

(1) เตาไฟฟ้า

เตาไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นเตาไฟฟ้าที่ประกอบภายในประเทศ ชนิดประตูเตาเปิดออก ด้านหน้า ขนาดโพรงเตาประมาณ 6 x 6 x 6 นิ้ว ใช้ลวดให้ความร้อน (heating element) รูปตัว “ U ” จำนวน 4 เส้น สามารถทำอุณหภูมิได้สูงถึง 1,850 °C มีระบบควบคุมการตั้งอุณหภูมิและเวลา (controller/ programmer) ของ Eurotherm Controls 818 สามารถตั้งโปรแกรมกำหนดอัตราเร่งอุณหภูมิ อุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการ และระยะเวลาการขึ้นอุณหภูมิ และยังติดตั้งเครื่องควบคุมและวัดปริมาณแก๊ส oxygen ในเตาเผา โดยสามารถเผาในภาวะบรรยากาศปกติ (ปริมาณ oxygen ประมาณ 20%) ภาวะ reduction เล็กน้อย (ลดปริมาณ oxygen ลงได้ถึงประมาณ 2%) โดยผ่านแก๊ส nitrogen เข้าในโพรงเตา หรือภาวะ oxidation สูง (เพิ่มปริมาณ oxygen ได้สูงกว่า 40%) โดยผ่าน oxygen เข้าในโพรงเตา

โดยทั่วไป เตาไฟฟ้าเหมาะสำหรับการเผาในสถานะ oxidation

(2) เตาแก๊ส

เตาแก๊สที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเตาที่ผลิตในประเทศ ลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก มีฝาปิดด้านบน ใช้แก๊สหุงต้ม และออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิง มีหัวเผา 8 หัว สามารถทำอุณหภูมิได้สูงถึง $1,900^{\circ}\text{C}$ มีระบบระบายความร้อนหัวเผาด้านด้วยน้ำ มีอุปกรณ์ปรับแรงดันของเชื้อเพลิง สามารถปรับสภาพบรรยากาศการเผาเป็นภาวะ oxidation หรือ reduction ได้

(3) เตาน้ำมัน

เตาน้ำมันที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเตาที่ผลิตในประเทศเช่นกัน ลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก มีฝาปิดด้านบน ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และสามารถเพิ่มออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงด้วยได้ มีพัดลมอัดอากาศประกอบอุปกรณ์สแตนเลสให้เป็นฝอย สามารถทำอุณหภูมิได้สูงสุดถึง $1,650^{\circ}\text{C}$ และปรับสภาวะการเผาเป็น reduction ได้

3.7 การทดลองใช้เตาเผาพลอย

การทดลองใช้เตาเผาพลอย มีวัตถุประสงค์เพื่อ

- (1) ศึกษาขั้นตอนการใช้งานของเตาแก๊ส เตาไฟฟ้า และทดสอบการทำงานของเตา ก่อนทำการทดลองต้องมีการอุ่นเตาก่อนการใช้งานจริง เนื่องจากเตาแก๊ส และเตาน้ำมันเป็นเตาที่ติดตั้งใหม่ ต้องทำการอุ่นเตาเพื่อไล่ไอน้ำจากผนังเตา (ซึ่งเป็นปูนทนไฟ) ออกให้หมด สำหรับเตาไฟฟ้าต้องมีการอุ่นเตาด้วยเช่นกัน โดยการเร่งอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ เพื่อถนอมผนังเตา

- (2) เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีก่อน-หลังการเผาพลอย ตัวอย่างพลอยคอรัันดัมที่ทำการทดลองประกอบด้วย

ก. แชนไพร์กลุ่มที่มีแกนสีเหลือง (yellow core with blue rim sapphire) จากแหล่ง Diego 1 กลุ่ม จำนวน 8 เม็ด

- วัตถุประสงค์ : ลดสีเหลืองบริเวณ yellow core เพิ่มสีน้ำเงินบริเวณ blue rim
- การเผาพลอย : เผาโดยใช้เตาน้ำมัน ภายใต้สภาวะรีดักชัน ที่อุณหภูมิสูงสุด $1,650^{\circ}\text{C}$ องศาเซลเซียส เมื่อถึงอุณหภูมิสูงสุดแล้วปิดเตา ทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง จึงนำพลอยออกจากเตา
- ผลการทดลอง :

- พบว่าภายหลังการเผาบริเวณที่เป็น blue rim ของพลอยทุกเม็ด มีสีน้ำเงินเข้มขึ้น (รูปที่ 87)

- บริเวณที่เป็น yellow core เปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมเขียว (มีสีอมเขียวเพิ่มมากขึ้นจากเดิมที่เป็นสีเหลือง) (รูปที่ 87)
- การศึกษามลทินภายในพบว่า พลอยมีความขุ่นมากขึ้น ไม่สามารถมองเห็นมลทินภายใน

ข. ทับทิมจากแหล่ง Andilamena 2 กลุ่ม จำนวน 12 เม็ด และ 10 เม็ด

- วัตถุประสงค์ : ลดสีอมน้ำเงิน เพื่อให้สีแดงเด่นชัดขึ้น

- การเผาพลอย :

- กลุ่มแรก (12 เม็ด) เผาโดยใช้เตาไฟฟ้าภายใต้สภาวะออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิสูงสุด 1,350 องศาเซลเซียส ยืนอุณหภูมิสูงสุดไว้ 3 ชั่วโมง เาพลอยออกจากเตาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส
- กลุ่มที่ 2 (10 เม็ด) เผาโดยใช้เตาไฟฟ้า ภายใต้สภาวะออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิสูงสุด 1,450 องศาเซลเซียส เมื่อถึงอุณหภูมิสูงสุดแล้วยืนอุณหภูมิสูงสุดไว้ 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงถึง 1,200 องศาเซลเซียส จึงนำพลอยออกจากเตา

- ผลการทดลอง :

- พบว่าภายหลังการเผาพลอยทุกเม็ดมีสีอมน้ำเงินลดลง ทำให้เห็นสีแดงชัดขึ้น (รูปที่ 88)

ค. ทับทิมจากแหล่ง Vatomandry 1 กลุ่ม จำนวน 10 เม็ด

- วัตถุประสงค์ : ลดสีอมน้ำเงิน เพื่อให้สีแดงเด่นชัดขึ้น

- การเผาพลอย : เผาโดยใช้เตาไฟฟ้า ภายใต้สภาวะออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูงสุด 1,450 องศาเซลเซียส เมื่อถึงอุณหภูมิสูงสุดแล้วยืนอุณหภูมิสูงสุดไว้ 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงถึง 1,200 องศาเซลเซียส จึงนำพลอยออกจากเตา

- ผลการทดลอง :

- พบว่าภายหลังการเผาพลอยทุกเม็ดมีสีอมน้ำเงินลดลง ทำให้เห็นสีแดงชัดขึ้น (รูปที่ 89)

ง. แซปไฟร์กลุ่มที่มีสีอ่อนใส จากแหล่ง Ilakaka 6 กลุ่ม ได้แก่

ง.1) แซปไฟร์สีเหลืองอ่อน (light yellow sapphire) จำนวน 10 เม็ด

- วัตถุประสงค์ : เพิ่มสีเหลือง

- การเผาพลอย : เผาโดยใช้เตาแก๊ส ภายใต้สภาวะออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิสูงสุด 1,850 องศาเซลเซียส เมื่อถึงอุณหภูมิสูงสุดแล้วยืนอุณหภูมิสูงสุดไว้ 3 ชั่วโมงจึงนำพลอยออกจากเตา

- ผลการทดลอง :

- พบว่าภายหลังการเผาพลอยมีสีเหลืองเข้มขึ้น 2 เม็ด (เม็ดที่ 1,4) (รูปที่ 90)

- พลอยส่วนใหญ่มีสีเหลืองลดลง พลอยบางเม็ดมีสีอ่อนลงจนเกือบใสไม่มีสี การที่พลอยมีสีอ่อนลงซึ่งให้ผลแตกต่างจากทฤษฎี น่าจะเป็นเพราะสภาวะออกซิเดชันในการเผาครั้งนี้อาจไม่เพียงพอต่อปฏิกิริยาที่จะทำให้พลอยเม็ดยังเกิดการเปลี่ยนแปลงให้เกิดสีเหลืองได้ (ออกซิเจนไม่พอที่จะทำให้ Fe^{2+} เปลี่ยนเป็น Fe^{3+} หรือ $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{3+}$) (รูปที่ 90)
- พลอยมีความใสมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ง.2) แซปไฟร์สีส้ม (orange sapphire) จำนวน 10 เม็ด

- วัตถุประสงค์ : ลดสีอมเหลือง เพื่อให้สีชมพูเด่นชัดขึ้น
- การเผาพลอย : เผาโดยใช้เตาแก๊ส ภายใต้สภาวะออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิสูงสุด 1,850 องศาเซลเซียส เมื่อถึงอุณหภูมิสูงสุดแล้วยืนอุณหภูมิสูงสุดไว้ 3 ชั่วโมง จึงนำพลอยออกจากเตา
- ผลการทดลอง :
 - พบว่าภายหลังการเผาพลอยบางเม็ดมีสีอมเหลืองลดลง ทำให้เห็นสีชมพูชัดขึ้น (เข้มขึ้นเล็กน้อย) (รูปที่ 91)
 - พลอยจำนวน 3 เม็ดมีสีอมเหลืองเพิ่มมากขึ้น (เม็ดที่ 2, 3 และ 4) ทำให้พลอยมีสีส้มเด่นชัดขึ้น (รูปที่ 91)
 - พลอยทุกเม็ดมีความใสขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ง.3) แซปไฟร์สีชมพูอ่อน (light pink sapphire) จำนวน 10 เม็ด

- วัตถุประสงค์ : ลดสีอมเหลือง เพื่อให้สีชมพูเด่นชัดขึ้น
- การเผาพลอย : เผาโดยใช้เตาไฟฟ้า ภายใต้สภาวะออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิสูงสุด 1,450 องศาเซลเซียส เมื่อถึงอุณหภูมิสูงสุดแล้วยืนอุณหภูมิสูงสุดไว้ 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงถึง 1,200 องศาเซลเซียส จึงนำพลอยออกจากเตา
- ผลการทดลอง :
 - พบว่าภายหลังการเผาพลอยมีสีอมเหลืองลดลง ทำให้เห็นสีชมพูชัดขึ้น (เข้มขึ้นเล็กน้อย) (รูปที่ 92)
 - พลอยมีความใสขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ง.4) แชนปไฟร์สีเขียว (light green sapphire) จำนวน 10 เม็ด

- วัตถุประสงค์ : ลดสีเขียว เพิ่มสีเหลือง

- การเผาพลอย : เผาโดยใช้เตาแก๊ส ภายใต้สภาวะออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิสูงสุด 1850 องศาเซลเซียส เมื่อถึงอุณหภูมิสูงสุดแล้วย็นอุณหภูมิสูงสุดไว้ 3 ชั่วโมง จึงนำพลอยออกจากเตา

- ผลการทดลอง :

- พบว่าภายหลังการเผาพลอยมีสีเหลืองเข้มขึ้น แต่ยังคงมีสีอมเขียวปนอยู่ทุกเม็ด (รูปที่ 93)
- พลอยมีความใสมากขึ้น

ง.5) แชนปไฟร์สีน้ำเงินอ่อน (light blue sapphire) จำนวน 10 เม็ด

- วัตถุประสงค์ : เพื่อให้พลอยมีความใสขึ้น

- การเผาพลอย : เผาโดยใช้เตาแก๊ส ภายใต้สภาวะออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิสูงสุด 1,850 องศาเซลเซียส เมื่อถึงอุณหภูมิสูงสุดแล้วย็นอุณหภูมิสูงสุดไว้ 3 ชั่วโมง จึงนำพลอยออกจากเตา

- ผลการทดลอง :

- พบว่าภายหลังการเผาพลอยมีสีน้ำเงินอ่อนลงทุกเม็ด (รูปที่ 94)
- พลอยมีความใสขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ง.6) แชนปไฟร์สีม่วงอ่อน (light purple sapphire) จำนวน 10 เม็ด

- วัตถุประสงค์ : ลดสีอมน้ำเงิน เพื่อให้สีชมพูเด่นชัดขึ้น

- การเผาพลอย : เผาโดยใช้เตาไฟฟ้า ภายใต้สภาวะออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิสูงสุด 1,450 องศาเซลเซียส เมื่อถึงอุณหภูมิสูงสุดแล้วย็นอุณหภูมิสูงสุดไว้ 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงถึง 1,200 องศาเซลเซียส จึงเอาพลอยออกจากเตา

- ผลการทดลอง :

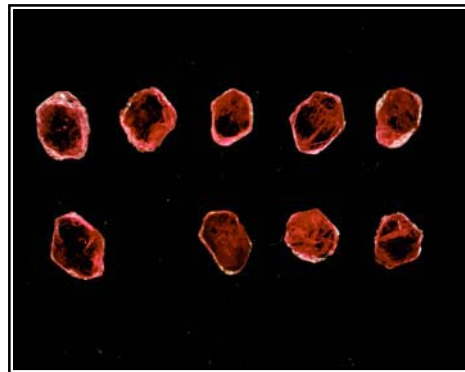
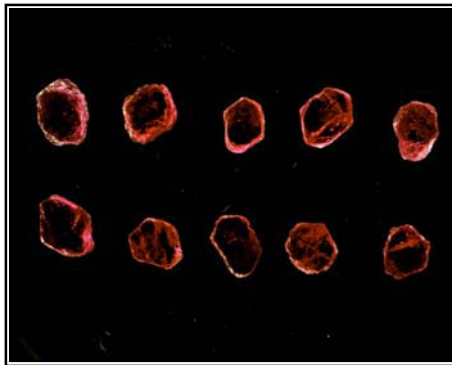
- พบว่าภายหลังการเผาพลอยทุกเม็ดมีสีอมน้ำเงินลดลง ทำให้เห็นสีชมพูชัดขึ้น (รูปที่ 95)
- พลอยมีความใสขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

สรุปผลการทดลองเผาพลอยครั้งที่ 1

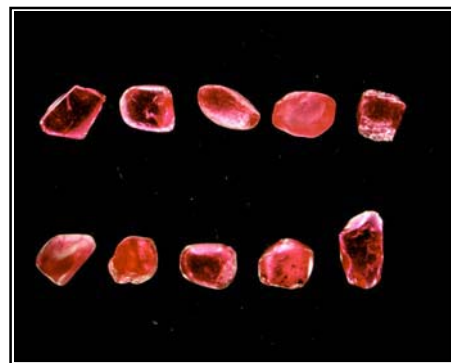
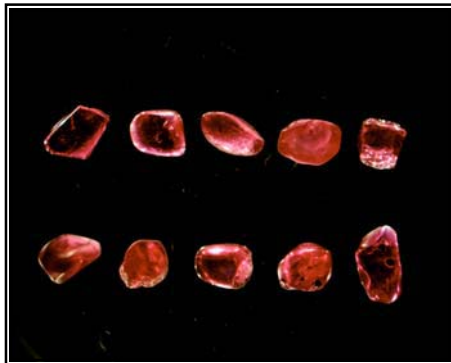
จากการทดลองเผาพลอยคอร์ันดัมจากมาดากัสการ์ เตาที่ใช้ในการทดลอง สามารถใช้งานได้ดี สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีของคอร์ันดัมภายหลังการทดลอง กลุ่มที่มีการเปลี่ยนแปลงสีชัดเจน ได้แก่ ทับทิมจากแหล่ง Vatomandry, Andilamena มีสีอมม่วงลดลง แสดงสีแดงได้ชัดขึ้น และ purple sapphire จาก Ilakaka มีการเปลี่ยนแปลงจากสีม่วงอ่อนเป็นสีชมพูอย่างชัดเจน ส่วนคอร์ันดัมกลุ่มอื่นๆ จากแหล่ง Ilakaka มีการเปลี่ยนแปลงสีไม่มาก หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่จะมีความใสขึ้นทุกกลุ่ม สำหรับ



รูปที่ 87 เปรียบเทียบสีของแซปไฟร์ จากแหล่ง Diego ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)



รูปที่ 88 เปรียบเทียบสีของทับทิม จากแหล่ง Andilamena ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)



รูปที่ 89 เปรียบเทียบสีของทับทิม จากแหล่ง Vatomandry ก่อนเผา(ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)



รูปที่ 90 เปรียบเทียบสีของแซปไฟร์สีเหลือง จากแหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)



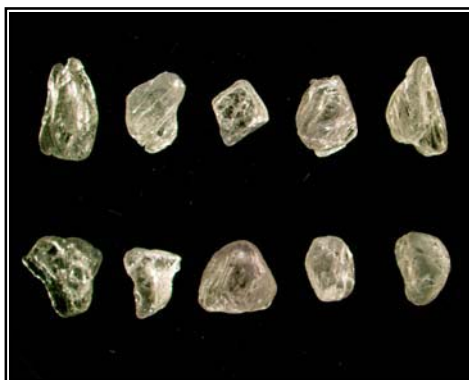
รูปที่ 91 เปรียบเทียบสีของแซปไฟร์สีส้ม จากแหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)



รูปที่ 92 เปรียบเทียบสีของแซปไฟร์สีชมพู จากแหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)



รูปที่ 93 เปรียบเทียบสีของแซปไฟร์สีเขียว จากแหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)



รูปที่ 94 เปรียบเทียบสีของแซปไฟร์สีฟ้า จากแหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)



รูปที่ 95 เปรียบเทียบสีของแซปไฟร์สีม่วงดอกมะเขือจากแหล่ง Ilakaka ก่อนเผา(ซ้าย) และหลังเผา(ขวา)

เซปไฟร์ส่นำเงินจากแหล่ง Diego ซึ่งมีแกนสีเหลือง พบว่าแกนกลางสีเหลือง มีสีอมเขียว และขอบมีสี
น้ำเงินเข้มขึ้น เนื้อพลอยมีความขุ่นขึ้นมาก

3.8 การทดลองเผาด้วยเตาไฟฟ้า

(1) การทดลองเผาทับทิม ภาวะออกซิไดซ์

ตัวอย่างทับทิมที่ใช้ทดลองเผา มีจำนวน 56 เม็ด ได้แก่ ทับทิมแหล่ง Andilamena จำนวน 40 เม็ด และ ทับทิมแหล่ง Vatomandry จำนวน 16 เม็ด ในการทดลองเผา แบ่งทับทิมทั้งสองแหล่งออกเป็น 2 กลุ่มเท่าๆ กัน (กลุ่ม A และ B) ในแต่ละกลุ่ม แบ่งให้มีทับทิมในแต่ละกลุ่มสีและชนิดของมลทินภายในจำนวนใกล้เคียงกัน เพื่อใช้เปรียบเทียบทดลองเผาในภาวะต่างกัน ดังนี้

กลุ่ม A ภาวะการเผา → บรรยากาศปกติ (oxygen ประมาณ 20 %)

กลุ่ม B ภาวะการเผา → เพิ่ม oxygen (oxygen ประมาณ 40 %)

แต่ละกลุ่ม ทดลองเผากลุ่มละ 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,350 °C เมื่อเผาแล้ว นำมาตรวจสอบสีและคัดทับทิมที่ได้สีที่ต้องการแล้วออก ส่วนที่ยังไม่ได้ตามที่ต้องการ นำไปเผาโดยเพิ่มอุณหภูมิสูงสุดอีก 100 °C ในครั้งถัดไป

วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของปริมาณออกซิเจนต่อการเปลี่ยนแปลงระหว่างเผา

กลุ่ม A ทดลองเผา 3 ครั้ง โดยใช้สภาวะบรรยากาศปกติ (oxygen $\approx$ 20 %)

พลอยที่ทดลองเผาในกลุ่ม A ได้แก่ ทับทิมแหล่ง Andilamena จำนวน 20 เม็ด [Anm1-3-002, Anm 2-1-002, Anm 2-4-001, Anm 2-4-006, Anm 2-5-005, Anm 2-5-016, Anm 2-5-030, Anm 2-5-042, Anm 2-6-006, Anm 2-7-002, Anm 3-1-001, Anm 3-2-001, Anm 3-5-001, Anm 3-5-008, Anm 3-5-020, Anm 4-1-002, Anm 4-3-001, Anm 4-4-001, Anm 4-5-001 และ Anm 4-5-004] ทับทิมแหล่ง Vatomandry จำนวน 8 เม็ด [Vam 3-001, Vam 3-006, Vam 3-019, Vam 3-051, Vam 3-054, Vam 4-003, Vam 4-006 และ Vam 4-013]

ครั้งที่ 1 ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,350 °C

ใช้อัตราเร่ง 125 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 25 - 250 °C

ใช้อัตราเร่ง 300 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 250 - 1,350 °C

เย็นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง นำพลอยออกจากเตาที่อุณหภูมิ 1,200 °C

ครั้งที่ 2 ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,450 °C

ใช้อัตราเร่ง 125 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 25 - 250 °C

ใช้อัตราเร่ง 300 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 250 - 1,450 °C

เย็นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง นำพลอยออกจากเตาที่อุณหภูมิ 1,200 °C

ครั้งที่ 3 ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,550 °C

ใช้อัตราเร่ง 125 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 25 - 250 °C

ใช้อัตราเร่ง 300 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 250 - 1,550 °C

เย็นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง นำพลอยออกจากเตาที่อุณหภูมิ 1,200 °C

กลุ่ม B ทดลองเผา 3 ครั้ง โดยเติม oxygen เข้าไป และควบคุมให้ปริมาณ oxygen ให้อยู่ที่ประมาณ 40 % พลอยที่ทดลองเผาในกลุ่ม B ได้แก่ ทับทิมแหล่ง Andilamena จำนวน 20 เม็ด [Anm 1-4-002, Anm 2-1-005, Anm 2-4-002, Anm 2-5-002, Anm 2-5-015, Anm 2-5-027, Anm 2-5-040, Anm 2-6-005, Anm 2-7-001, Anm 2-7-004, Anm 3-1-003, Anm 3-2-007, Anm 3-5-002, Anm 3-5-014, Anm 3-6-006, Anm 4-2-003, Anm 4-3-003, Anm 4-4-002, Anm 4-5-002 และ Anm 4-5-007] ทับทิมแหล่ง Vatomandry จำนวน 8 เม็ด [Vam 3-005, Vam 3-010, Vam 3-049, Vam 3-053, Vam 3-057, Vam 4-004, Vam 4-012 และ Vam 4-014]

ครั้งที่ 1 ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,350 °C

ใช้อัตราเร่ง 125 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 25 - 250 °C

ใช้อัตราเร่ง 300 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 250 - 1,350 °C

เย็นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง นำพลอยออกจากเตาที่อุณหภูมิ 1,200 °C

ครั้งที่ 2 ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,450 °C

ใช้อัตราเร่ง 125 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 25 - 250 °C

ใช้อัตราเร่ง 300 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 250 - 1,450 °C

เย็นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง นำพลอยออกจากเตาที่อุณหภูมิ 1,200 °C

ครั้งที่ 3 ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,550 °C

ใช้อัตราเร่ง 125 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 25 - 250 °C

ใช้อัตราเร่ง 300 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 250 - 1,550 °C

เย็นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง นำพลอยออกจากเตาที่อุณหภูมิ 1,200 °C

ผลการทดลองเผาทับทิมกลุ่ม A โดยใช้สภาวะบรรยากาศปกติ (oxygen $\approx$ 20 %)

เผาครั้งที่ 1 ($T_{\max} = 1,350\text{ }^{\circ}\text{C}$) พลอยส่วนใหญ่ไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสี (รูปที่ 96ก., รูปที่ 97ก.) หรือแสดงการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ไม่สามารถเทียบความเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเทียบกับ colour master ได้ จึงนำพลอยทั้งกลุ่ม (Andilamena 20 เม็ด, Vatomandry 8 เม็ด) ไปทดลองเผาต่อในครั้งที่ 2

เผาครั้งที่ 2 ($T_{\max} = 1,450\text{ }^{\circ}\text{C}$) พลอยไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสี (รูปที่ 96ข., รูปที่ 97ข.) หรือแสดงการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ไม่สามารถเทียบความเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเทียบกับ colour master ได้ จึงนำพลอยทั้งกลุ่มไปทดลองเผาต่อในครั้งที่ 3

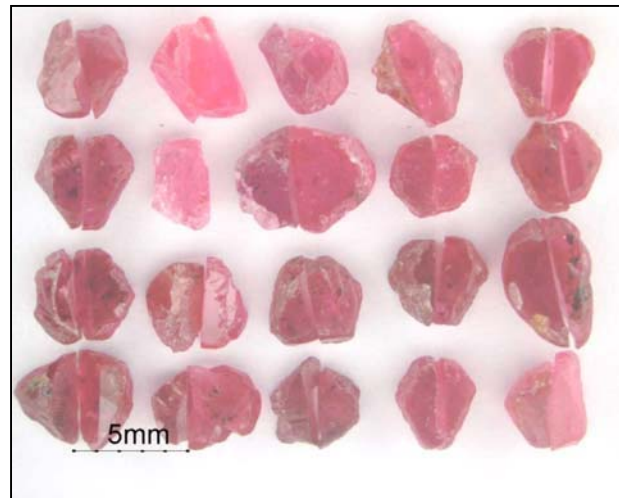
เผาครั้งที่ 3 ($T_{\max} = 1,550\text{ }^{\circ}\text{C}$) พลอยส่วนใหญ่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสี (รูปที่ 96ค., รูปที่ 97ค.) แต่พลอยบางเม็ดไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงสี และพบว่าพลอยบางส่วนที่เดิมมีแกนกลาง(core) เป็นสีขาวขุ่น เริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำเงิน ทำให้พลอยดูมีสีม่วงมากขึ้น หรือมีสีคล้ำขึ้น

ผลการทดลองเผาทับทิมกลุ่ม B โดยใช้สภาวะ oxidation (oxygen $\approx$ 40 %)

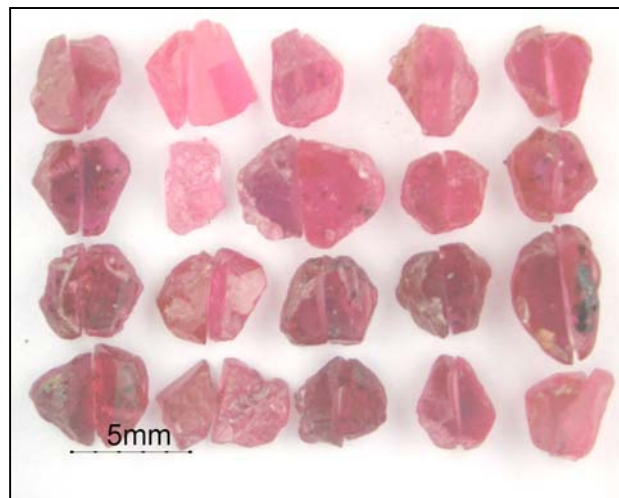
เผาครั้งที่ 1 ($T_{\max} = 1,350\text{ }^{\circ}\text{C}$) พลอยส่วนใหญ่ไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสี (รูปที่ 98ก., รูปที่ 99ก.) หรือแสดงการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ไม่สามารถเทียบความเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเทียบกับ colour master ได้ จึงนำพลอยทั้งกลุ่ม (Andilamena 19 เม็ด, Vatomandry 8 เม็ด) ไปทดลองเผาต่อในครั้งที่ 2 (ยกเว้นทับทิมแหล่ง Andilamena รหัส Anm 1-4-002 ซึ่งเดิมมีสี red อยู่แล้ว หลังเผาครั้งที่ 1 มีสีคล้ำ/ดำลง จึงไม่นำไปเผาในครั้งต่อไป

เผาครั้งที่ 2 ($T_{\max} = 1,450\text{ }^{\circ}\text{C}$) พลอยส่วนใหญ่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสี (รูปที่ 98ข., รูปที่ 99ข.) แต่พลอยบางเม็ดไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงสี แต่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของมลทินภายใน เช่น เกิดรอยแตก(tension crack) ล้อมรอบมลทินของแข็ง และมีมลทินบางส่วนที่โผล่ขึ้นมาถึงผิวเริ่มหลอมละลาย และพบว่า พลอยบางส่วนที่เดิมมีแกนกลาง (core) เป็นสีขาวขุ่น เริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำเงิน ทำให้พลอยดูมีสีม่วงมากขึ้น หรือมีสีคล้ำขึ้น

เผาครั้งที่ 3 ($T_{\max} = 1,550\text{ }^{\circ}\text{C}$) พลอยส่วนใหญ่ไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสี (รูปที่ 98ค., รูปที่ 99ค.) พลอยที่แกนกลางเป็นสีน้ำเงินยังไม่เปลี่ยนแปลง



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 96 ตัวอย่างทับทิมแหล่ง Andilamena (กลุ่ม A) หลังการเผาครั้งที่ 1 (รูป ก.) ครั้งที่ 2 (รูป ข.) และครั้งที่ 3 (รูป ค.) โดยเปรียบเทียบตัวอย่างก่อนเผา (ตัวอย่างซีกซ้ายมือ) และหลังเผา (ตัวอย่างซีกขวามือ)



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 97 ตัวอย่างทับทิมแหล่ง Vatomandry (กลุ่ม A) หลังการเผาครั้งที่ 1 (รูป ก.) ครั้งที่ 2 (รูป ข.) และครั้งที่ 3 (รูป ค.) โดยเปรียบเทียบตัวอย่างก่อนเผา (ตัวอย่างซีกซ้ายมือ) และหลังเผา (ตัวอย่างซีกขวามือ)

(2) การทดลองเผาแท่งที่มีแกนกลางขาวขุ่น ภาวะออกซิไดซ์ ($O_2 \approx 40\%$)

วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อเผาให้พลอยใสขึ้น (พยายามกำจัดแกนกลางสีขาวขุ่น โดยใช้ อุณหภูมิต่ำ และภาวะออกซิไดส์สูง)

ตัวอย่างที่ทดลองเผาได้แก่ แท่งจากแหล่ง Andilamena จำนวน 7 เม็ด [Anm 2-1-008, Anm 2-1-009, Anm 2-2-014, Anm 2-5-041, Anm 3-2-006, Anm 3-5-018 และ Anm 3-6-005]

สภาวะที่ใช้ในการเผา คือ

ใช้อุณหภูมิสูงสุด $1,200\text{ }^{\circ}\text{C}$, ภาวะออกซิไดส์ (40% oxygen)

ใช้อัตราเร่ง $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ $25 - 250\text{ }^{\circ}\text{C}$

ใช้อัตราเร่ง $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ $250 - 1,200\text{ }^{\circ}\text{C}$

ยืนอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง นำพลอยออกจากเตาที่อุณหภูมิ $1,200\text{ }^{\circ}\text{C}$

ผลการทดลองเผาแท่ง

จากการเผาโดยใช้อุณหภูมิสูงสุด $1,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ (40% oxygen) ยืนอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง พบว่า สีของ แท่งจากแหล่ง Andilamena ก่อนและหลังการเผาส่วนใหญ่ สีไม่เปลี่ยนแปลง มีเพียง 2 ตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 3 และ 4) ที่มีอมม่วงมากขึ้น (รูปที่ 100)

(3) การทดลองเผาแท่งที่มีแกนกลางขาวขุ่น และที่แกนกลางเปลี่ยนเป็นสีอมม่วงจากการเผาครั้งก่อนๆ ใช้ภาวะออกซิไดส์สูง และระยะเวลาสั้นขึ้น

วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อพยายามกำจัดแกนกลางให้พลอยใสขึ้น

ตัวอย่างที่ทดลองเผา ได้แก่ แท่งจากแหล่ง Andilamena จำนวน 7 ตัวอย่าง (ที่เคยเผามาแล้วใน ข้อ 2) และแท่งจากแหล่ง Andilamena และ Vatomandry กลุ่ม A และกลุ่ม B ที่ผ่านการเผา (ในข้อ 1) มาแล้ว เฉพาะตัวอย่างที่แกนกลาง (core) สีขาวขุ่นยังคงอยู่ หรือบริเวณแกนกลางเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน-ม่วง ทำให้พลอยดูมีสีคล้ำ ได้แก่ แท่งจากกลุ่ม A [Anm 2-5-005, Anm 2-5-016, Anm 2-5-030, Anm 2-5-042, Anm 3-5-001, Anm 3-5-008, Anm 3-5-020, Anm 4-5-001 และ Anm 4-5-004] และ กลุ่ม B [Anm 2-5-015, Anm 2-5-027, Anm 2-5-040, Anm 3-5-002, Anm 3-5-014 และ Anm 4-5-002]

สภาวะที่ใช้ในการเผา คือ

ใช้อุณหภูมิสูงสุด $1,200\text{ }^{\circ}\text{C}$, ภาวะออกซิไดส์ (40 % oxygen)

ใช้อัตราเร่ง $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ $25 - 250\text{ }^{\circ}\text{C}$

ใช้อัตราเร่ง $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ $250 - 1,200\text{ }^{\circ}\text{C}$

ยืนอุณหภูมิสูงสุด 48 ชั่วโมง นำพลอยออกจากเตาที่อุณหภูมิ $1,200\text{ }^{\circ}\text{C}$

ผลการทดลองเผา

สำหรับทับทิมจากแหล่ง Andilamena 7 ตัวอย่าง ทับทิมกลุ่ม A (9 ตัวอย่าง) และทับทิมกลุ่ม B (4 ตัวอย่าง) ทั้งสีและลักษณะแกนกลาง ก่อนและหลังเผาไม่เปลี่ยนแปลง มีเพียง 2 ตัวอย่างของทับทิมกลุ่ม B (Anm 2-5-015 และ Anm 3-5-014) ที่หลังเผา สีขาวขุ่นบริเวณแกนกลางจางหายไป (ตัวอย่างที่ 9 และ 13 ในรูปที่ 101)

(4) การทดลองเผาทับทิมที่มีลักษณะแกนกลางขาวขุ่นที่ยังไม่เคยผ่านการเผามาก่อน เพื่อกำจัดแกนกลางเผาในสถานะออกซิไดส์สูง อุณหภูมิต่ำ ระยะเวลาค่อนข้างนาน และนาน

ตัวอย่างที่ทดลองเผาได้แก่ ทับทิมจากแหล่ง Andilamena จำนวน 20 ตัวอย่าง ได้แก่ Anm 1-5-001, Anm 1-5-007, Anm 2-5-001, Anm 2-5-003, Anm 2-5-009, Anm 2-5-013, Anm 2-5-021, Anm 2-5-022, Anm 2-5-023, Anm 2-5-024, Anm 3-5-003, Anm 3-5-007, Anm 3-5-010, Anm 3-5-013, Anm 3-5-021, Anm 4-5-003, Anm 5-5-001, Anm 6-5-001, Anm 6-5-002 และ Anm 6-5-004 โดยใช้สถานะออกซิไดส์ (oxygen $\approx$ 40%)

สถานะที่ใช้ในการเผาคือ

ครั้งที่ 1 ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,200 °C

ใช้อัตราเร่ง 125 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 25-250 °C

ใช้อัตราเร่ง 300 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 250-1,200 °C

เย็นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง นำพลอยออกจากเตาทันทีที่ 1,200 °C

ครั้งที่ 2 ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,200 °C

ใช้อัตราเร่ง 125 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 25-250 °C

ใช้อัตราเร่ง 300 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 250-1,200 °C

เย็นอุณหภูมิสูงสุด 48 ชั่วโมง นำพลอยออกจากเตาทันทีที่ 1,200 °C

ผลการทดลองเผา

ครั้งที่ 1 ทั้ง 20 ตัวอย่าง ไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงทั้งสี และลักษณะแกนกลาง

ครั้งที่ 2 ทั้ง 20 ตัวอย่าง ยังคงลักษณะแกนกลางเช่นเดิม และมีเพียงบางเม็ดที่สีเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

(5) การทดลองเผาทับทิมแหล่ง Andilamena ที่มีแกนกลาง (core)

ทับทิมจากแหล่ง Andilamena ที่มีแกนกลางขาวขุ่น เท่าที่ทำการทดลองเผาทั้งในสถานะออกซิไดส์ปกติ และสถานะออกซิไดส์สูง (oxygen $\approx$ 40 %) เผาที่อุณหภูมิต่ำ (1,200 °C) หรือปานกลาง (1,350-1,550 °C) เย็นอุณหภูมิก่อนข้างนาน (5 ชั่วโมง) หรือนาน (48 ชั่วโมง) ปรากฏว่า ส่วนใหญ่แกนกลางยังคง

อยู่ หรือเปลี่ยนเป็นสีม่วงน้ำเงิน ทำให้พลอยคูมิลีคล้ำขึ้น จึงทำการทดลองเผาใส่ ใช้อุณหภูมิสูง โดยเลือกตัวอย่างที่มีมลทิน และ/หรือ รอยแตกร้าวภายในน้อยที่สุด ได้แก่ ตัวอย่างพลอย 13 ตัวอย่างดังนี้
Anm 1-5-001, Anm 1-5-007, Anm 2-2-014, Anm 2-5-003, Anm 2-5-021, Anm 2-5-023, Anm 2-5-024,
Anm 3-5-003, Anm 3-5-007, Anm 3-5-018, Anm 4-5-003, Anm 4-5-005 และ Anm 5-5-001

สภาวะที่ใช้ในการเผาคือ

ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,800 °C ภาวะออกซิไดส์ (oxygen $\approx$ 20 %)
ใช้อัตราเร่ง 125 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 25 - 250 °C
ใช้อัตราเร่ง 300 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 250 - 1,800 °C
โดยไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด เมื่ออุณหภูมิถึง 1,800°C คับเตาทันที
และนำพลอยออกจากเตาที่ 1,600 °C

ผลการทดลองเผา

จากการเผาทั้งทิมด้วยอุณหภูมิสูงทำให้แกนกลาง (core) หายไป 7 เม็ด [Anm 1-5-001, Anm 1-5-007, Anm 2-2-014, Anm 2-5-021, Anm 3-5-007, Anm 3-5-018 และ Anm 4-5-003] (รูปที่ 102) แต่พลอยเกือบทั้งหมดมีรอยแตกร้าวเพิ่มขึ้น มีลักษณะของ skeleton - like haloes (รูปที่ 103) ลักษณะผิวที่ถูกหลอมเพิ่มขึ้น ลักษณะของวงที่เกิดล้อมรอบผลึกขนาดเล็ก (รูปที่ 104) ทำให้พลอยคูมิลีคล้ำ หรือดูขุ่นมัวอยู่

(6) การทดลองเผาทั้งทิมแหล่ง Andilamena

ตัวอย่างที่นำมาทดลองส่วนใหญ่เป็นตัวอย่างที่ผ่านการเผามาก่อนแล้ว แต่ยังปรากฏลักษณะแกนกลางขาวขุ่น หรือเปลี่ยนเป็นสีม่วง มีเพียงตัวอย่างเดียว (Anm 1-5-004) ซึ่งมีผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี แต่ยังไม่เคยผ่านการทดลองเผา ต้องการทดลองเผาเพื่อกำจัดแกนกลาง โดยใช้อุณหภูมิต่ำ (1,200 °C) และระยะเวลานาน (48 ชั่วโมง) ทั้งนี้ เป็นกลุ่มตัวอย่างที่มีรอยร้าว และ/หรือ มลทินค่อนข้างมาก ไม่เหมาะที่จะเผาอุณหภูมิสูงมาก เพราะพลอยอาจแตกร้าว เสียหายได้

ตัวอย่างที่ทดลองเผา จำนวน 8 ตัวอย่างได้แก่ Anm 1-5-004, Anm 2-1-008, Anm 2-1-009, Anm 2-5-009, Anm 2-5-016, Anm 3-2-006, Anm 3-5-001 และ Anm 4-5-005

สภาวะที่ใช้ในการเผาคือ

ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,200 °C ภาวะออกซิไดส์ (oxygen $\approx$ 20 %)
ใช้อัตราเร่ง 125 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 25 - 250 °C
ใช้อัตราเร่ง 300 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 250 - 1,200 °C
ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด 48 ชั่วโมง นำพลอยออกจากเตาทันที

ผลการทดลองเผา

ปรากฏว่า ตัวอย่างที่ผ่านการเผามาแล้วทั้ง 7 ตัวอย่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีและลักษณะแกนกลางขาวขุ่นมากนัก ตัวอย่างที่เคยเผาแล้ว แกนกลางเปลี่ยนเป็นสีม่วง (Anm 2-5-016 และ Anm 3-5-001) หลังเผา แกนกลางสีม่วงยังคงปรากฏอยู่เช่นเดิม ส่วนตัวอย่างที่เพิ่งผ่านการทดลองเผาเป็นครั้งแรก (Anm 1-5-004) ปรากฏว่า หลังเผามีลักษณะแกนกลางขาวขุ่นเหลืออยู่เล็กน้อย

(7) การทดลองเผาแซปไฟร์สีม่วงดอกมะเขือ (purple) จากแหล่ง Ilakaka จำนวน 17 ตัวอย่าง

วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อลดสีม่วง

ตัวอย่างที่ทดลองเผา จำนวน 17 ตัวอย่าง ได้แก่ Ilk(p)002, Ilk(p)003, Ilk(p)004, Ilk(p)006, Ilk(p)009, Ilk(p)010, Ilk(p)013, Ilk(p)014, Ilk(p)015, Ilk(p)016, Ilk(p)020, Ilk(p)022, Ilk(p)023, Ilk(p)026, Ilk(p)028, Ilk(p)029 และ Ilk(p)030

สถานะที่ใช้ในการเผาคือ

ครั้งที่ 1 ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,350 °C, ภาวะออกซิไดส์ (ไม่เติม oxygen, $O_2 \approx 20\%$)

ใช้อัตราเร่ง 125 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 25 - 250 °C

ใช้อัตราเร่ง 300 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 250 - 1,350 °C

เย็นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง นำพลอยออกจากเตาที่อุณหภูมิ 1,200 °C

ครั้งที่ 2 ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,550 °C, ภาวะออกซิไดส์ (40% oxygen)

ใช้อัตราเร่ง 125 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 25 - 250 °C

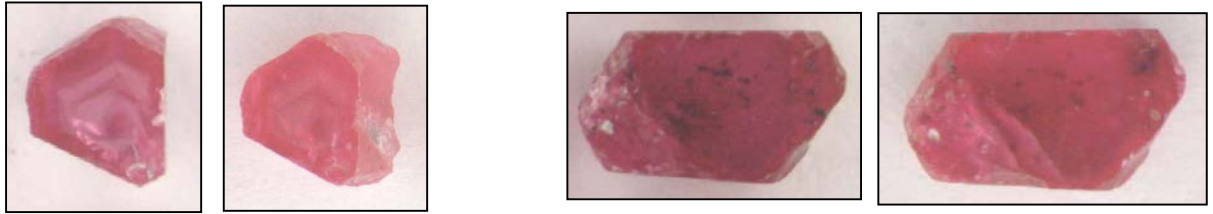
ใช้อัตราเร่ง 300 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 250 - 1,550 °C

เย็นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง นำพลอยออกจากเตาที่อุณหภูมิ 1,200 °C

ผลการทดลองเผา

ครั้งที่ 1 จากการทดลองเผา purple sapphire ด้วยเตาไฟฟ้า ในภาวะออกซิไดส์ แบบไม่เติม oxygen ($O_2 \approx 20\%$) โดยใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,350 °C พบว่าสีของพลอยก่อนและหลังการเผาส่วนใหญ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง มีเพียง 4 ตัวอย่าง (เม็คที่ 12, 13, 14 และ 15 = Ilk(p)022, Ilk(p)023, Ilk(p)026 และ Ilk(p)028) ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสี (รูปที่ 105)

ครั้งที่ 2 จากการทดลองเผา purple sapphire ด้วยเตาไฟฟ้า ในภาวะออกซิไดส์ (40% oxygen) ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,550 °C พบว่าสีของพลอยก่อนและหลังการเผาส่วนใหญ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

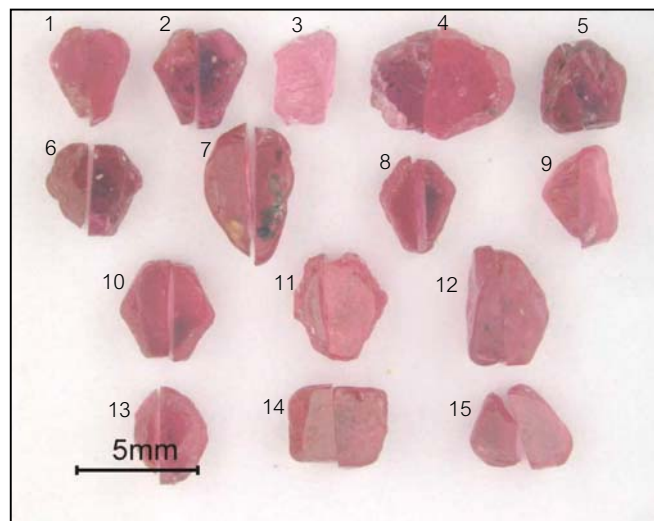


ก.

ข.

รูปที่ 100 เปรียบเทียบตัวอย่างทับทิม ก. รหัส Anm 2-2-014 ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)

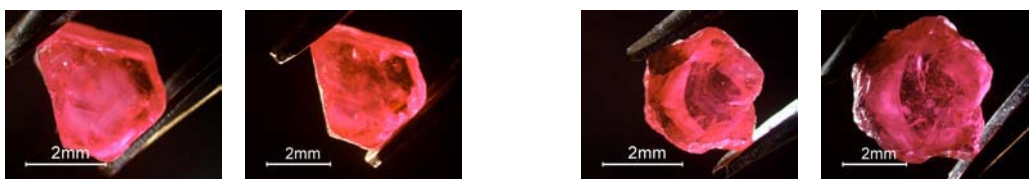
ข. รหัส Anm 3-2-006 ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)



รูปที่ 101 ตัวอย่างทับทิมแหล่ง Andilamena กลุ่ม A และ B หลังการเผาภาวะออกซิไดส์ (oxygen $\approx 40\%$)

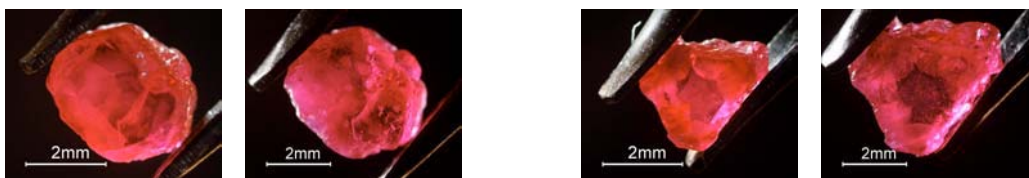
อุณหภูมิ $1,200^{\circ}\text{C}$, ยืนอุณหภูมิ 48 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบตัวอย่างก่อนเผา (ตัวอย่างซีกซ้ายมือ)

และหลังเผา (ตัวอย่างซีกขวามือ)



ก. Anm 2-2-014

ข. Anm 3-5-007

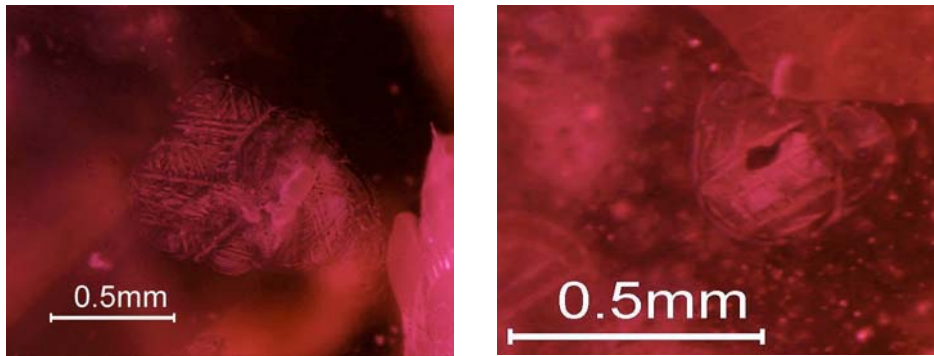


ค. Anm 3-5-018

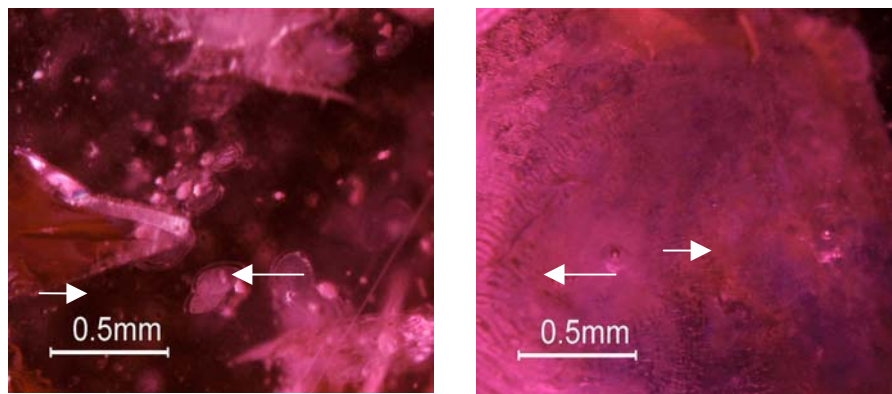
ง. Anm 4-5-003

รูปที่ 102 เปรียบเทียบทับทิมแหล่ง Andilamena กลุ่มที่มีแกนกลาง (core) ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)

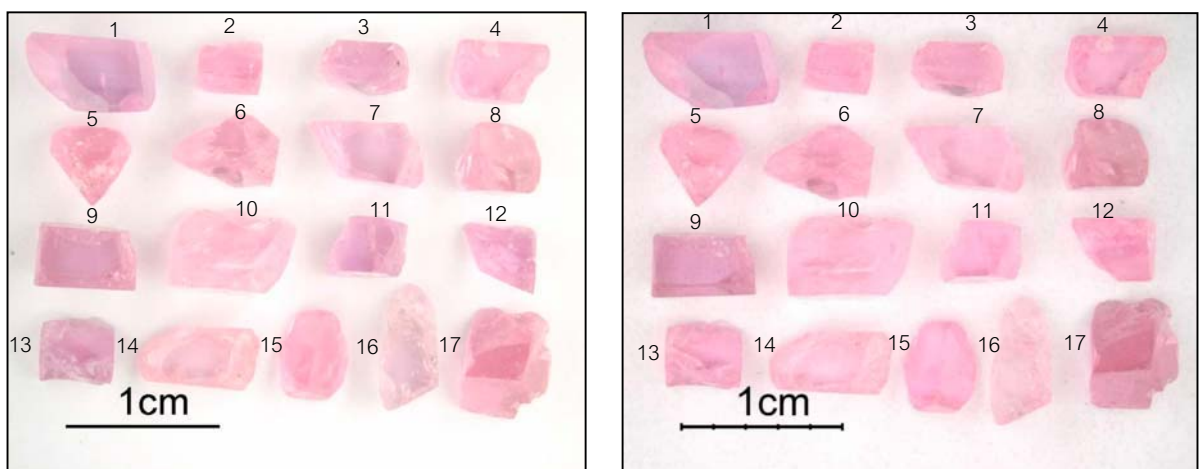
ด้วยเตาไฟฟ้า (1800°C , ไม่ยืนอุณหภูมิสูงสุด)



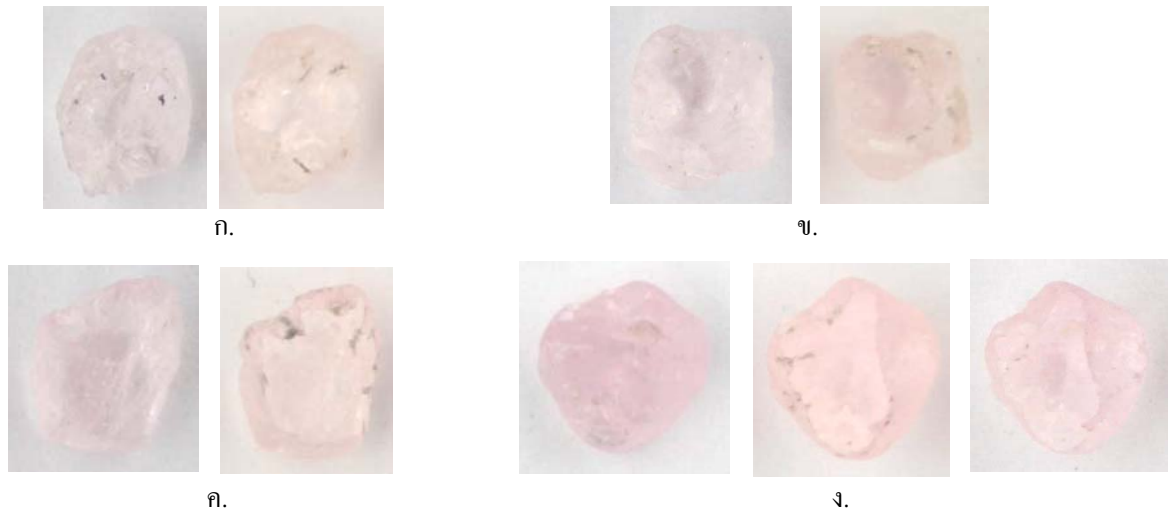
รูปที่ 103 ลักษณะของ Skeleton-like haloes ที่เกิดขึ้นหลังการเผาที่บิทิมแหล่ง Andilamena
กลุ่มที่มีแกนกลาง (core) รหัสตัวอย่าง Anm 2-2-014 (ซ้าย) และ Anm 3-5-018 (ขวา)



รูปที่ 104 ลักษณะผลหินหลังการเผาเกิดวงล้อมรอบผลึกขนาดเล็ก
รหัสตัวอย่าง Anm 1-5-001 (ซ้าย) และ Anm 2-5-003 (ขวา)



รูปที่ 105 เปรียบเทียบตัวอย่างเซปไฟร์กลุ่มสีม่วงดอกมะเขือ แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ภาวะออกซิไดส์ อุณหภูมิ 1,350 °C ไม่เติม oxygen



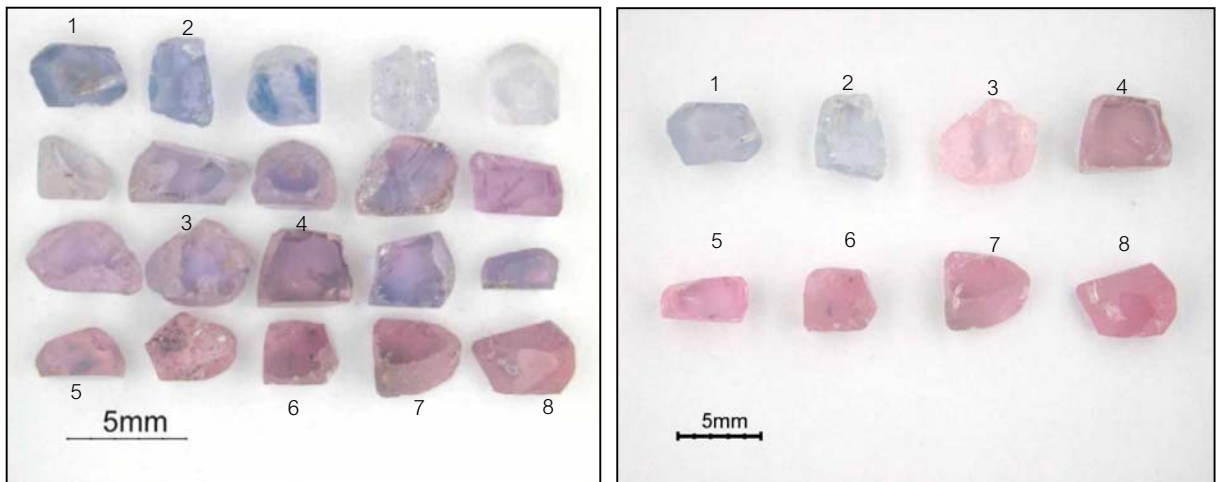
รูปที่ 106 เปรียบเทียบแซปไฟร์กลุ่มสีชมพู แหล่ง Ilakaka ก่อนและหลังการเผาด้วยเตาไฟฟ้า

ก. แซปไฟร์กลุ่มสีชมพู รหัส Ilk 2-4-004 ก่อน(ซ้าย) และหลัง(ขวา) การเผาครั้งที่ 1

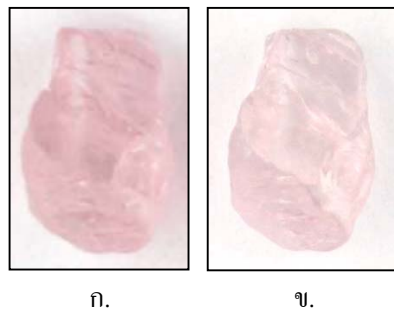
ข. แซปไฟร์กลุ่มสีชมพู รหัส Ilk 2-4-005 ก่อน(ซ้าย) และหลัง(ขวา) การเผาครั้งที่ 1

ค. แซปไฟร์กลุ่มสีชมพู รหัส Ilk 2-4-006 ก่อน(ซ้าย) และหลัง(ขวา) การเผาครั้งที่ 1

ง. แซปไฟร์กลุ่มสีชมพู รหัส Ilk 2-4-014 ก่อน(ซ้าย) และหลังการเผาครั้งที่ 1(กลาง) และครั้งที่ 2 (ขวา)



รูปที่ 107 เปรียบเทียบแซปไฟร์กลุ่มสีม่วงดอกอัญชัน แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาไฟฟ้า



รูปที่ 108 รูปเปรียบเทียบแซปไฟร์กลุ่มสีม่วงดอกกะเจือ แหล่ง Ilakaka รหัส Ilk 2-7-006 ก่อน (ก.) และหลัง (ข.)

การเผาด้วยเตาไฟฟ้า อุณหภูมิสูงสุด 1,200 °C (40% oxygen) ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด 48 ชั่วโมง

(8) การทดลองเผาแชปไฟร์สีม่วงดอกมะเขือ (purple), สีชมพู และสีม่วงดอกอัญชัน (violet) จากแหล่ง Ilakaka

วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อลดสีม่วงที่สอตกแทรก และเพื่อให้แสดงสีชมพูเด่นชัดขึ้น

ตัวอย่างที่ทดลองเผา ประกอบด้วย แชปไฟร์สีม่วงดอกมะเขือ 6 ตัวอย่าง [Ilk(p)001, Ilk(p)007, Ilk(p)012, Ilk(p)018, Ilk(p)021 และ Ilk(p)025] สีชมพู 6 ตัวอย่าง [Ilk 2-4-004, Ilk 2-4-005, Ilk 2-4-006, Ilk 2-4-014, Ilk 2-4-016 และ Ilk 2-4-017] และสีม่วงดอกอัญชัน 13 ตัวอย่าง [Ilk(v)001, Ilk(v)002, Ilk(v)012, Ilk(v)013, Ilk(v)016, Ilk(v)018, Ilk(v)019, Ilk(v)020, Ilk 2-7-001, Ilk 2-7-006, Ilk 2-7-010, Ilk 2-7-012 และ Ilk 2-7-015]

สภาวะที่ใช้ในการเผา

- ครั้งที่ 1 ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,200 °C, ภาวะออกซิไดส์ (40% oxygen)
 ใช้อัตราเร่ง 125 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 25 - 250 °C
 ใช้อัตราเร่ง 300 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 250 - 1,200 °C
 ยืนอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง นำพลอยออกจากเตาทันที
- ครั้งที่ 2 ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,200 °C, ภาวะออกซิไดส์ (40% oxygen)
 ใช้อัตราเร่ง 125 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 25 - 250 °C
 ใช้อัตราเร่ง 300 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 250 - 1,200 °C
 ยืนอุณหภูมิสูงสุด 48 ชั่วโมง นำพลอยออกจากเตาทันที

ผลการทดลองเผา ปรากฏว่า

แชปไฟร์สีม่วงดอกมะเขือ (purple) ทั้ง 6 ตัวอย่าง ไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงสีก่อนและหลังการทดลองเผาทั้งสองครั้ง (1,200 °C + 40% O₂ ยืนอุณหภูมิ 5 และ 48 ชั่วโมง)

แชปไฟร์สีชมพู มี 2 ตัวอย่าง (Ilk 2-4-016 และ Ilk 2-4-017) สีไม่เปลี่ยนแปลงหลังการทดลองเผาทั้งสองครั้ง อีก 4 ตัวอย่างที่เหลือมีสีชมพูเพิ่มขึ้น หลังการเผาครั้งแรก (ยืนอุณหภูมิ 5 ชั่วโมง) ส่วนหลังการเผาครั้งที่สองสีไม่เปลี่ยนแปลงอีก ยกเว้น Ilk 2-4-014 ซึ่งสีชมพูอ่อนลงเล็กน้อยหลังการเผาครั้งที่สอง (รูปที่ 106)

แชปไฟร์สีม่วงดอกอัญชัน (violet) กลุ่ม Ilk(v) ทั้ง 8 ตัวอย่าง หลังการเผาครั้งแรก (ยืนอุณหภูมิ 5 ชั่วโมง) ส่วนใหญ่มีสีน้ำเงินลดลง ทำให้เห็นสีชมพูชัดเจนขึ้น (รูปที่ 107) แต่หลังการเผาครั้งที่สอง (48 ชั่วโมง) สีไม่เปลี่ยนแปลงไปจากหลังการเผาครั้งแรก ส่วนกลุ่มสีม่วงอ่อน (Ilk 2-7-x) ทั้ง 5 ตัวอย่าง หลังการเผาครั้งแรก สีไม่เปลี่ยนแปลง และหลังการเผาครั้งที่สอง มีเพียง 1 ตัวอย่าง (Ilk 2-7-006) ที่มีสีอ่อนลง (รูปที่ 108)

(9) การทดลองเผาแซปไฟร์สีม่วงดอกมะเขือ [Ilk (p)] และสีม่วงดอกอัญชัน [Ilk (v)] ในบรรยากาศออกซิไดส์ปกติ (oxygen $\approx$ 20%) ที่อุณหภูมิต่ำ ระยะเวลาสั้น (48 ชั่วโมง)

วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อพยายามลดสีน้ำเงินลง

ตัวอย่างที่ทดลองเผา เป็นตัวอย่างที่เคยผ่านการเผามาแล้ว ในข้อที่ 8 ประกอบด้วย Ilk(p)001, Ilk(p)007, Ilk(p)012, Ilk(p)018, Ilk(p)021 และ Ilk(p)025 รวม 6 ตัวอย่าง และ Ilk(v)001, Ilk(v)002, Ilk(v)012, Ilk(v)013, Ilk(v)016, Ilk(v)018, Ilk(v)019 และ Ilk(v)020 รวม 8 ตัวอย่าง

สภาวะที่ใช้ในการเผาคือ

ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,200 °C ภาวะออกซิไดส์ (oxygen $\approx$ 20 %)

ใช้อัตราเร่ง 125 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 25 - 250 °C

ใช้อัตราเร่ง 300 °C ต่อชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 250 - 1,200 °C

เย็นอุณหภูมิสูงสุด 48 ชั่วโมง นำพลอยออกจากเตาทันที

ผลการทดลองเผา

แซปไฟร์สีม่วงดอกมะเขือ และสีม่วงดอกอัญชัน จากแหล่ง Ilakaka ปรากฏว่า ตัวอย่างแซปไฟร์สีม่วงดอกมะเขือ ส่วนใหญ่สีไม่เปลี่ยนแปลง มีเพียง 2 ตัวอย่าง คือ Ilk(p)018 และ Ilk(p)025 ที่สีม่วงลดลง ส่วนตัวอย่างแซปไฟร์สีม่วงดอกอัญชันส่วนใหญ่มีสีอมม่วงลดลง นอกจาก 3 ตัวอย่างคือ Ilk(v)001, Ilk(v)002 และ Ilk(v)020 ที่สีไม่เปลี่ยนแปลง (รูปที่ 109 และ 110)

3.9 การทดลองเผาด้วยเตาน้ำมัน

(1) การทดลองเผาพลอยแซปไฟร์สีฟ้าอ่อน จากแหล่ง Ilakaka ภาวะรีดิวซ์

วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อเพิ่มสีน้ำเงิน

ตัวอย่างที่ทดลองเผา ได้แก่ Ilk(b)005, Ilk(b)007, Ilk(b)009, Ilk(b)011, Ilk(b)013, Ilk(b)017, Ilk(b)018 และ Ilk(b)019 รวม 8 ตัวอย่าง

สภาวะที่ใช้ในการเผาคือ

ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,500 °C ภาวะรีดิวซ์

อุณหภูมิขึ้นจาก 250 °C ถึง 1,500 °C ใช้เวลาประมาณ 7 ชั่วโมง

ไม่เย็นอุณหภูมิสูงสุด เมื่ออุณหภูมิถึง 1,500 °C ดับเตาทันที

เผาอบ = ทิ้งให้พลอยเย็นตัวในเตา 1 คืน นำพลอยออกจากเตาที่อุณหภูมิห้อง

ผลการทดลอง

ตัวอย่างพลอยแสดงการเปลี่ยนแปลงสีก่อนและหลังเผาแตกต่างกัน (รูปที่ 111) กล่าวคือ Ilk(b)009 (ตัวอย่างหมายเลข 8 ในรูป) มีสีเข้มขึ้นชัดเจน Ilk(b)005 และ Ilk(b)017 (หมายเลข 1 และ 6 ในรูป) มีสีเข้มขึ้นเล็กน้อย ที่เหลืออีก 5 ตัวอย่าง มีสีอ่อนลง

(2) การทดลองเผาพลอยแซปไฟร์สีฟ้า จากแหล่ง Ilakaka ภาวะรีดิวซ์

วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อเพิ่มสีน้ำเงิน

ตัวอย่างที่ทดลองเผา เป็นตัวอย่างในชุด Ilk 2-6-x จำนวน 12 ตัวอย่าง ประกอบด้วยหมายเลข 001, 002, 003, 004, 005, 006, 007, 008, 009, 010, 012 และ 014

สภาวะที่ใช้ในการเผาคือ

ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,546 °C ภาวะรีดิวซ์

อุณหภูมิขึ้นจาก 238 °C ถึง 1,546 °C ใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง 30 นาที

ไม่เย็นอุณหภูมิสูงสุด

เผาอบ = ทิ้งให้พลอยเย็นตัวในเตา 1 คืน นำพลอยออกจากเตาที่อุณหภูมิห้อง

ผลการทดลอง

ปรากฏว่า ตัวอย่างส่วนใหญ่ (Ilk 2-6-001 ถึง Ilk 2-6-010 และ Ilk 2-6-012 มีสีอ่อนลง) ในขณะที่ หมายเลข Ilk 2-6-014 มีสีเข้มขึ้นชัดเจน (รูปที่ 112)

หมายเหตุ ตัวอย่างหมายเลข 11 และ 13 (Ilk 2-6-011 และ Ilk 2-6-013) ในรูป ไม่ได้นำไปทดลอง เนื่องจากมีสีเข้มอยู่แล้ว

(3) การทดลองเผาพลอยแซปไฟร์สีน้ำเงิน จากแหล่ง Andranondambo แหล่ง Diego Suarez และแหล่ง Ilakaka ภาวะรีดิวซ์

ตัวอย่างที่ทดลองเผา ประกอบด้วย

blue sapphire จากแหล่ง Andranondambo จำนวน 14 ตัวอย่าง ได้แก่ Anb002, Anb007, Anb009, Anb012, Anb014, Anb018, Anb020, Anb023, Anb026, Anb028, Anb032, Anb039, Anb043 และ Anb048

blue sapphire จากแหล่ง Diego Suarez จำนวน 6 ตัวอย่าง ได้แก่ Dig(b)001, Dig(b)002, Dig(b)003, Dig(b)005, Dig(b)010 และ Dig(b)012

blue sapphire ที่แกนกลางใสไม่มีสี จากแหล่ง Diego Suarez จำนวน 4 ตัวอย่าง ได้แก่ Dig(cc)001, Dig(cc)004, Dig(cc)011 และ Dig(cc)012

blue sapphire ที่มีแกนกลางสีน้ำเงินจากแหล่ง Diego Suarez จำนวน 2 ตัวอย่าง ได้แก่ Dig(bc)001 และ Dig(bc)002

blue sapphire ที่มีแกนกลางสีเหลืองจากแหล่ง Diego Suarez จำนวน 9 ตัวอย่าง ได้แก่ Dig(yc)003, Dig(yc)005, Dig(yc)016, Dig(yc)021, Dig(yc)025, Dig(yc)031, Dig(yc)032, Dig(yc)035, Dig(yc)038

blue sapphire จากแหล่ง Ilakaka จำนวน 9 ตัวอย่าง ได้แก่ Ilk(b)003, Ilk(b)004, Ilk(b)006, Ilk(b)008, Ilk(b)010, Ilk(b)012, Ilk(b)014, Ilk(b)016 และ Ilk(b)020

สภาวะที่ใช้ในการเผา คือ

ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,450 °C ภาวะรีดิวซ์

อุณหภูมิขึ้นจาก 400 °C ถึง 1,450 °C ใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง 50 นาที

ไม่เย็นอุณหภูมิสูงสุด

เผาอบ = นำพลอยออกจากเตาที่อุณหภูมิห้องหลังจากให้เย็นตัวในเตา 1 คืน

ผลการทดลอง

3.1 blue sapphire แหล่ง Andranondambo หลังเผา มีสีน้ำเงินเข้มขึ้น 1 ตัวอย่าง คือ Anb009 (รูปที่ 113 ฉ.) มีสีอ่อนลง 8 ตัวอย่าง คือ Anb007, Anb012, Anb023, Anb026, Anb028, Anb032, Anb039 และ Anb048 (รูปที่ 113 ก. ถึง ซ.) ที่เหลืออีก 5 ตัวอย่าง สีไม่เปลี่ยนแปลง

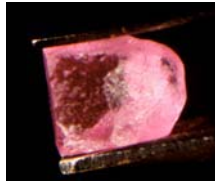
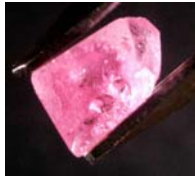
3.2 blue sapphire แหล่ง Diego Suarez หลังเผา ตัวอย่างส่วนใหญ่สีไม่เปลี่ยนแปลง มีเพียง 2 ตัวอย่างที่มีสีอ่อนลงเล็กน้อย คือ Dig(b)003 และ Dig(b)005 (รูปที่ 114)

3.3 blue sapphire ที่มีแกนกลางใสไม่มีสี จากแหล่ง Diego Suarez หลังเผา ปรากฏว่า บริเวณแกนกลางยังคงใสไม่มีสี ส่วนบริเวณขอบ (rim) มีสีเข้มขึ้น 2 ตัวอย่าง คือ Dig(cc)001 และ Dig(cc)004 (รูปที่ 115 ก. และ ข.) และขอบมีสีอ่อนลง 2 ตัวอย่าง คือ Dig(cc)011 และ Dig(cc)012 (รูปที่ 115 ค. และ ง.)

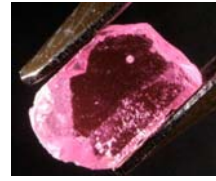
3.4 blue sapphire ที่มีแกนกลางสีน้ำเงิน จากแหล่ง Diego Suarez หลังเผา ปรากฏว่า มีสีเข้มขึ้นทั้งบริเวณแกนกลางและบริเวณขอบทั้ง 2 ตัวอย่าง (รูปที่ 116)

3.5 blue sapphire ที่มีแกนกลางสีเหลือง จากแหล่ง Diego Suarez หลังเผา ปรากฏว่า บริเวณแกนกลางมีสีเหลืองอ่อนลง และใสขึ้น เกือบทุกตัวอย่าง ในขณะที่บริเวณขอบ (rim) มีสีเข้มขึ้นเกือบทุกตัวอย่าง (รูปที่ 117 ก. ถึง ซ.) ยกเว้น Dig(yc)038 ที่บริเวณขอบมีสีอ่อนลง (รูปที่ 117 ฉ.)

3.6 blue sapphire จากแหล่ง Ilakaka หลังเผาปรากฏว่ามีสีเข้มขึ้น 2 ตัวอย่าง คือ Ilk(b)006 และ Ilk(b)010 (รูปที่ 118 ก. และ ข.) มีสีอ่อนลง และใสขึ้น 3 ตัวอย่าง คือ Ilk(b)014, Ilk(b)016 และ Ilk(b)020 (รูปที่ 118 ค. ถึง จ.) ที่เหลืออีก 4 ตัวอย่างไม่เปลี่ยนแปลง

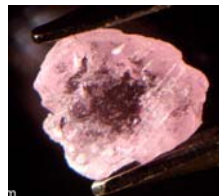


ก. Ilk(p)018

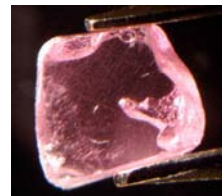


ข. Ilk(p)025

รูปที่ 109 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์สีม่วงดอกมะเขือ แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาไฟฟ้า (อุณหภูมิสูงสุด 1,200 °C, 20% Oxygen, ยืนอุณหภูมิสูงสุด 48 ชั่วโมง)



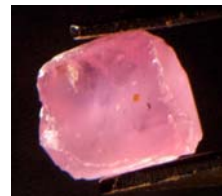
ก. Ilk(v)012



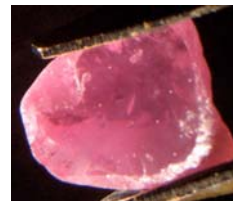
ข. Ilk(v)013



ค. Ilk(v)016

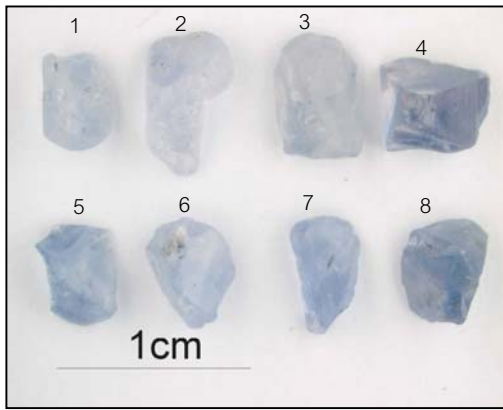


ง. Ilk(v)018



จ. Ilk(v)019

รูปที่ 110 รูปเปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์สีม่วงดอกอัญชัน แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาไฟฟ้า (อุณหภูมิสูงสุด 1,200 °C, 20% Oxygen, ยืนอุณหภูมิสูงสุด 48 ชั่วโมง)



รูปที่ 111 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์กลุ่มสีน้ำเงิน แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ก.) และหลังเผา (ข.)
ด้วยเตาน้ำมัน (1,500 °C, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)



รูปที่ 112 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์กลุ่มสีฟ้าอ่อน แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ก.) และหลังเผา (ข.)
ด้วยเตาน้ำมัน (1,546 °C, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)



ก. Anb007



ข. Anb012



ค. Anb023



ง. Anb026



จ. Anb028



ฉ. Anb032



ช. Anb039

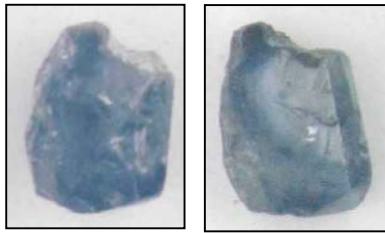


ซ. Anb048

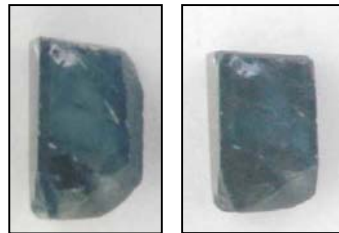


ณ. Anb009

รูปที่ 113 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์สีน้ำเงิน แหล่ง Andranondambo ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาน้ำมัน (1,450 °C, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)

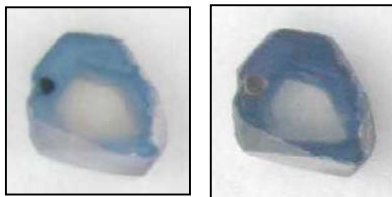


ก. Dig(b)003

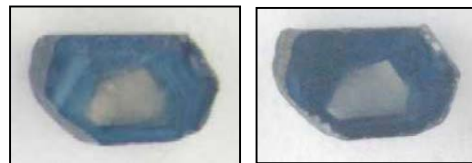


ข. Dig(b)005

รูปที่ 114 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์สีน้ำเงิน แหล่ง Diego Suarez ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาน้ำมัน (1,450 °C, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)



ก. Dig(cc)001



ข. Dig(cc)004

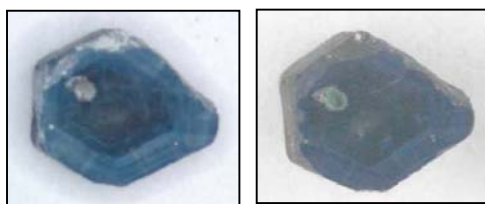


ก. Dig(cc)011

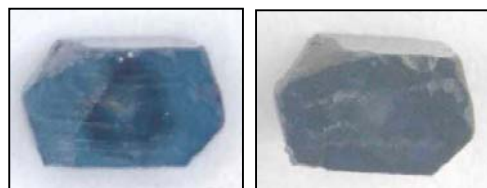


ง. Dig(cc)012

รูปที่ 115 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์สีน้ำเงิน แหล่ง Diego Suarez กลุ่มที่มีแกนกลางใสไม่มีสี ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาน้ำมัน (1,450 °C, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)

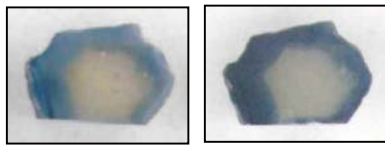


ก. Dig(bc)001

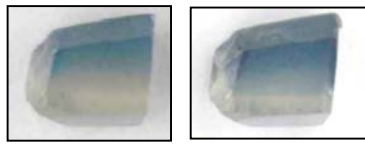


ข. Dig(bc)002

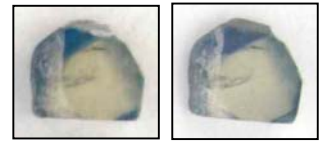
รูปที่ 116 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์สีน้ำเงิน แหล่ง Diego Suarez กลุ่มที่มีแกนกลางใสสีน้ำเงิน ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาน้ำมัน (1,450 °C, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)



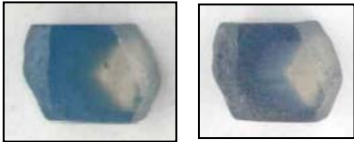
ก. Dig(yc)003



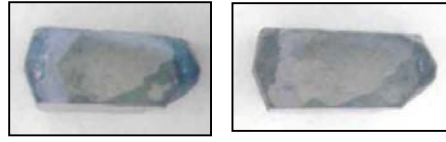
ข. Dig(yc)005



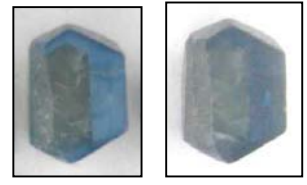
ค. Dig(yc)016



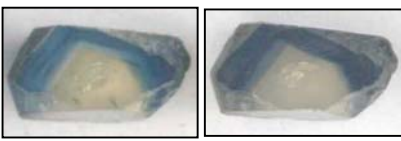
ง. Dig(yc)021



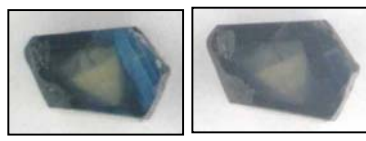
จ. Dig(yc)025



ฉ. Dig(yc)031



ช. Dig(yc)032

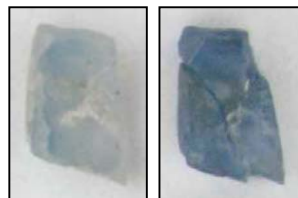


ซ. Dig(yc)035



ณ. Dig(yc)038

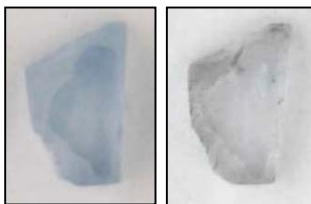
รูปที่ 117 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์สีน้ำเงิน แหล่ง Diego Suarez กลุ่มที่มีแกนกลางสีเหลือง ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาน้ำมัน (1,450 °C, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)



ก. Ilk(b)006



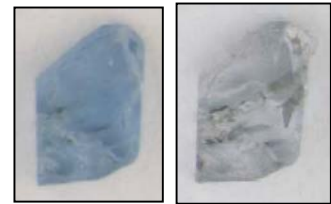
ข. Ilk(b)010



ค. Ilk(b)014

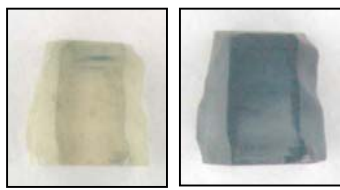


ง. Ilk(b)016

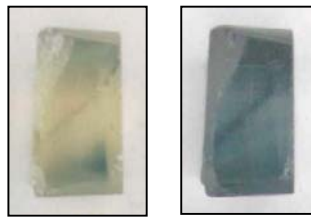


จ. Ilk(b)020

รูปที่ 118 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์สีน้ำเงิน แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาน้ำมัน (1,450 °C, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)



ก. Dig(y)001



ข. Dig(y)002



ค. Dig(y)006



ง. Dig(y)007



จ. Dig(y)008



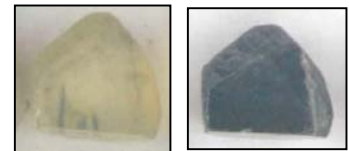
ฉ. Dig(y)013



ช. Dig(y)014



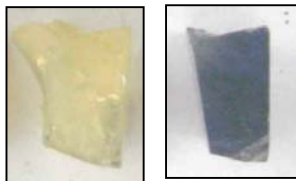
ซ. Dig(y)017



ณ. Dig(y)018



ญ. Dig(y)022

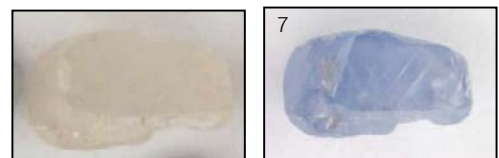
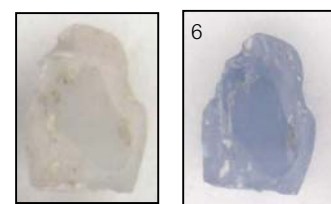
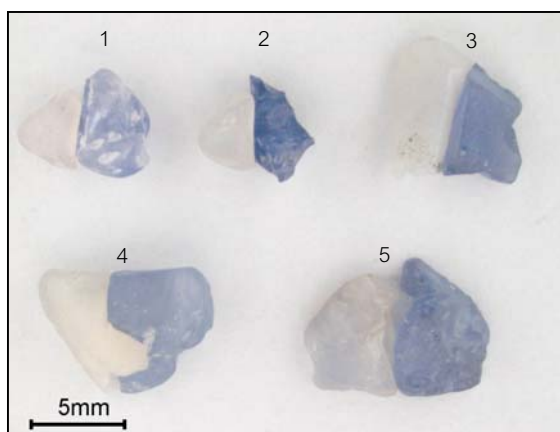


ฎ. Dig(y)024

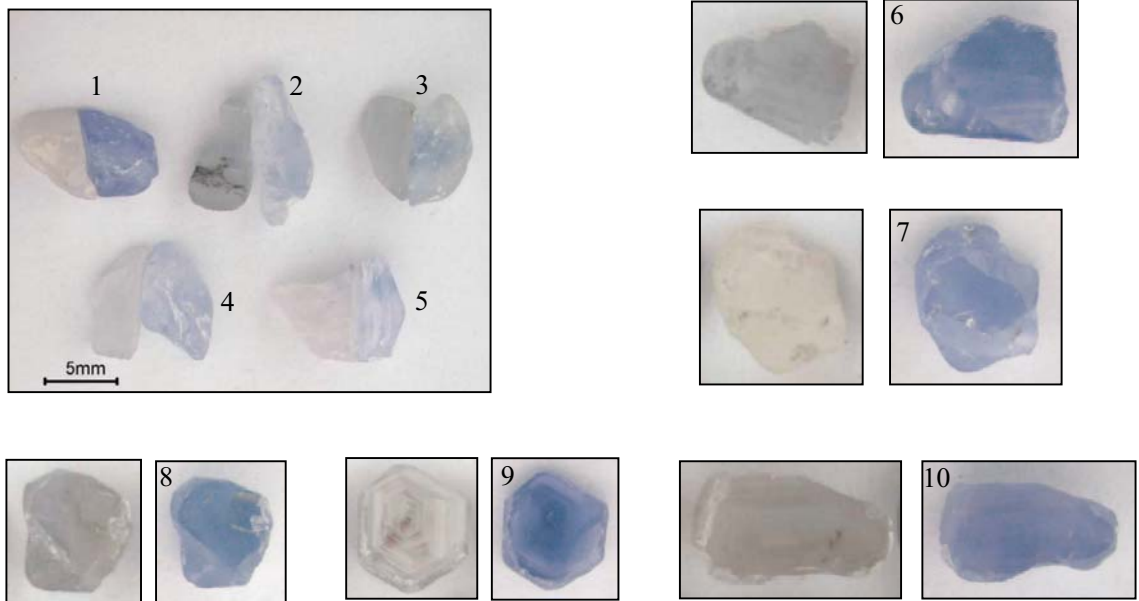


ฏ. Dig(y)025

รูปที่ 119 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์สีเหลือง แหล่ง Diego Suarez ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาน้ำมัน (1,450 °C, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)



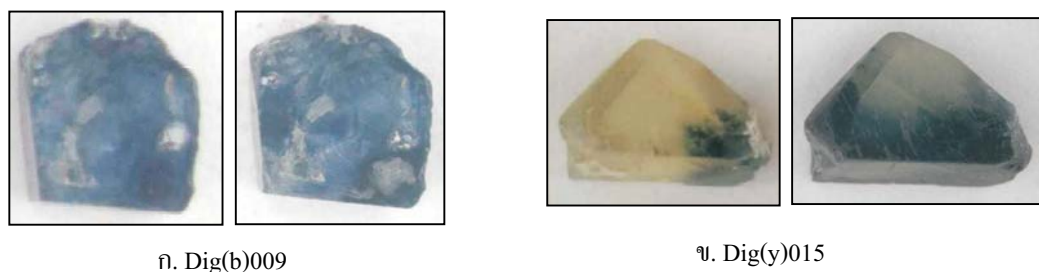
รูปที่ 120 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์ แหล่ง Ilakaka (หม่าทอง) ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาน้ำมัน (1,582 °C, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)



รูปที่ 121 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์แหล่ง Ilakaka (หมาเข็ม) ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาน้ำมัน ($1,582^{\circ}\text{C}$, ไม่เย็นอุณหภูมิสูงสุด)



รูปที่ 122 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาน้ำมัน ($1,582^{\circ}\text{C}$, ไม่เย็นอุณหภูมิสูงสุด) [รูป ก. หมาอ่อน และ รูป ข. หมาป็นหิน]



ก. Dig(b)009

ข. Dig(y)015

รูปที่ 123 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์สีน้ำเงิน (ก.) และ แซปไฟร์สีเหลือง (ข.) แหล่ง Diego Suarez ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาน้ำมัน ($1,582^{\circ}\text{C}$, ไม่เย็นอุณหภูมิสูงสุด)

Ilk 1-2-016, Ilk 1-2-017, Ilk 1-2-018 และ Ilk 1-2-020] กลุ่มหม่าอ่อน 1 ตัวอย่าง [Ilk 1-3-001] กลุ่มหม่าป็นหิน 3 ตัวอย่าง [Ilk 1-4-001, Ilk 1-4-002 และ Ilk 1-4-004] ตัวอย่างแชปไฟร์สีฟ้าอ่อนจากแหล่ง Ilakaka รวม 13 ตัวอย่าง [Ilk 2-6-001, Ilk 2-6-002, Ilk 2-6-003, Ilk 2-6-004, Ilk 2-6-005, Ilk 2-6-006, Ilk 2-6-007, Ilk 2-6-008, Ilk 2-6-009, Ilk 2-6-010, Ilk 2-6-012, Ilk(b)005 และ Ilk(b)007]

สภาวะที่ใช้ในการเผาคือ

ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,600 °C ภาวะรีดิวซ์

อุณหภูมิขึ้นจาก 300 °C ถึง 1,600 °C ใช้เวลาประมาณ 17 ชั่วโมง 20 นาที

ไม่เย็นอุณหภูมิสูงสุด

เผาอบ = ทิ้งไว้ให้เย็นตัวภายในเตา 1 คืน เอาจลอยออกที่อุณหภูมิห้อง

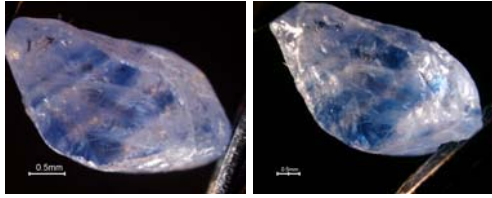
ผลการทดลอง ปรากฏว่า

- 7.1 แชปไฟร์จากแหล่ง Andranondambo (Anb022) หลังเผา มีสีน้ำเงินอ่อนลงและใสขึ้น
- 7.2 แชปไฟร์จากแหล่ง Diego Suarez (Dig(b)009) หลังเผา มีสีน้ำเงินเข้มขึ้น และใสขึ้น
- 7.3 แชปไฟร์จากแหล่ง Ilakaka กลุ่มหม่าทอง หลังเผามีความใสเพิ่มขึ้น 3 ตัวอย่าง คือ Ilk 1-1-002, Ilk 1-1-003 และ Ilk 1-1-015 (รูปที่ 124) เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน 1 ตัวอย่าง คือ Ilk 1-1-008 (รูปที่ 125) นอกนั้นไม่เปลี่ยนแปลง
- 7.4 กลุ่มหม่าเข้ม หลังเผามีสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น 9 ตัวอย่าง (รูปที่ 126) และสีไม่เปลี่ยนแต่มีความใสเพิ่มขึ้น 1 ตัวอย่าง คือ Ilk 1-2-005 (รูปที่ 127)
- 7.5 กลุ่มหม่าอ่อน หลังเผาสีไม่เปลี่ยน แต่ความใสเพิ่มขึ้น (รูปที่ 128)
- 7.6 กลุ่มหม่าป็นหิน หลังเผามีสีน้ำเงินเข้มขึ้น 2 ตัวอย่าง (รูปที่ 129) ส่วนอีก 1 ตัวอย่าง (Ilk 1-4-002) สีไม่เปลี่ยนแปลง
- 7.7 กลุ่มไม่มีหม่า สีฟ้าอ่อน หลังเผากลุ่มตัวอย่าง Ilk 2-6-x มีสีเข้มขึ้น 1 ตัวอย่าง (Ilk 2-6-008) และมีความใสเพิ่มขึ้น 1 ตัวอย่าง (Ilk 2-6-009) (รูปที่ 130) ที่เหลือไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนกลุ่มตัวอย่าง Ilk(b)x มีสีน้ำเงินเข้มขึ้นทั้งสองตัวอย่าง (รูปที่ 131)

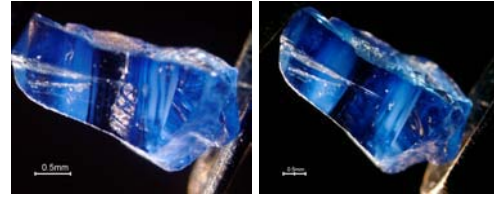
(8) การทดลองเผาพลอยแชปไฟร์ จากแหล่ง Andranondambo, แหล่ง Diego Suarez และแหล่ง Ilakaka ภาวะรีดิวซ์

วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อเพิ่มสีตัวอย่างแชปไฟร์ที่เคยทดลองเผามาแล้ว โดยใช้ภาวะรีดิวซ์ และพยายามใช้อุณหภูมิสูงขึ้น

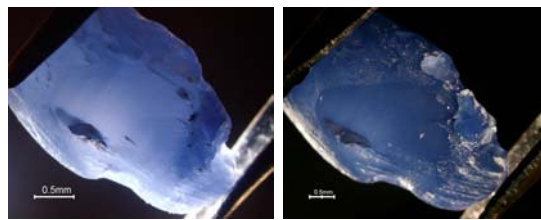
ตัวอย่างที่ทดลองเผา ประกอบด้วย แชปไฟร์จากแหล่ง Andranondambo จำนวน 6 ตัวอย่าง [Anb002, Anb007, Anb009, Anb012, Anb023 และ Anb048] แชปไฟร์จากแหล่ง Diego Suarez จำนวน



ก. Ilk 1-1-002

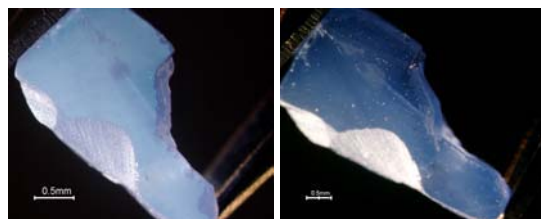


ข. Ilk 1-1-003



ค. Ilk 1-1-015

รูปที่ 124 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์ กลุ่มหม่าทอง แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาน้ำมัน (1600°C, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)



รูปที่ 125 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์ กลุ่มหม่าทอง แหล่ง Ilakaka รหัสตัวอย่าง Ilk 1-1-008 ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาน้ำมัน (1600°C, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)

9 ตัวอย่าง [Dig(b)001, Dig(b)002, Dig(b)003, Dig(b)005, Dig(y)006, Dig(y)012, Dig(y)013, Dig(y)014 และ Dig(y)015] แชนป์ไฟร์จากแหล่ง Ilakaka ประกอบด้วยกลุ่มที่มีหม่า ได้แก่ กลุ่มหม่าทอง จำนวน 2 ตัวอย่าง [Ilk 1-1-002 และ Ilk 1-1-006] กลุ่มหม่าเข้ม จำนวน 4 ตัวอย่าง [Ilk 1-2-005, Ilk 1-2-006, Ilk 1-2-007 และ Ilk 1-2-008] กลุ่มหม่าอ่อน จำนวน 1 ตัวอย่าง [Ilk 1-3-001] และกลุ่มหม่าปนหิน จำนวน 1 ตัวอย่าง [Ilk 1-4-002] กลุ่มไม่มีหม่า จำนวน 15 ตัวอย่าง [Ilk(b)003, Ilk(b)004, Ilk(b)005, Ilk(b)007, Ilk(b)008, Ilk(b)009, Ilk(b)010, Ilk(b)011, Ilk(b)012, Ilk(b)013, Ilk(b)014, Ilk(b)016, Ilk(b)017, Ilk(b)018 และ Ilk(b)020]

สภาวะที่ใช้ในการเผา คือ

ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,610 °C ภาวะรีดิวซ์

อุณหภูมิขึ้นจาก 300 °C ถึง 1,610 °C ใช้เวลาประมาณ 9 ชั่วโมง 35 นาที

ไม่เย็นอุณหภูมิสูงสุด

เผาอบ : ปลดปล่อยพลอยเย็นตัวในเตา 1 คืน นำพลอยออกที่อุณหภูมิห้อง

ผลการทดลองเผา ปรากฏว่า

8.1 แชนป์ไฟร์จากแหล่ง Andranondambo มีสีน้ำเงินเข้มชัดขึ้นทุกตัวอย่าง (รูปที่ 132)

8.2 แชนป์ไฟร์จากแหล่ง Diego Suarez กลุ่ม Dig(b) มีสีน้ำเงินเข้มขึ้นทั้ง 4 ตัวอย่าง (รูปที่ 133) ส่วนกลุ่ม Dig(y) มีสีน้ำเงินเข้มขึ้น 2 ตัวอย่าง คือ Dig(y)006 และ Dig(y)014 (รูปที่ 134) มีสีเหลืองเข้มขึ้น 1 ตัวอย่าง คือ Dig(y)012 (รูปที่ 135) ส่วนที่เหลืออีก 2 ตัวอย่างสีไม่เปลี่ยนแปลง

8.3 แชนป์ไฟร์จากแหล่ง Ilakaka กลุ่มที่มีหม่า ชุดหม่าทองสีน้ำเงินเข้มขึ้น 1 ตัวอย่าง คือ Ilk 1-1-002 (รูปที่ 136) ส่วนอีก 1 ตัวอย่าง สีไม่เปลี่ยนแปลง ชุดหม่าเข้ม สีน้ำเงินเข้มขึ้นทั้ง 4 ตัวอย่าง (รูปที่ 137) ชุดหม่าอ่อน สีไม่เปลี่ยนแปลง ชุดหม่าปนหิน มีสีน้ำเงินเข้มขึ้น (รูปที่ 138)

8.4 แชนป์ไฟร์จากแหล่ง Ilakaka กลุ่มที่ไม่มีหม่า ชุด Ilk(b) มีสีน้ำเงินเข้มขึ้น 4 ตัวอย่างคือ Ilk(b)004, Ilk(b)005, Ilk(b)009 และ Ilk(b)017 (รูปที่ 139) นอกนั้นสีไม่เปลี่ยนแปลง

3.10 การทดลองเผาด้วยเตาแก๊ส

(1) การทดลองเผาพลอยแชนป์ไฟร์ จากแหล่ง Ilakaka ภาวะออกซิไดส์

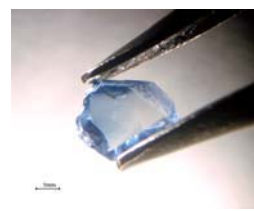
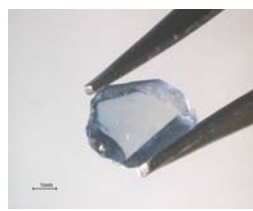
วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อเพิ่มสีเหลือง หรือเปลี่ยนสีจากสีเขียวอ่อนเป็นเหลือง

ตัวอย่างที่ทดลองเผา เป็นกลุ่มพลอยแชนป์ไฟร์สีอ่อนใส ไม่มีหม่า ประกอบด้วย กลุ่มใสไม่มีสี

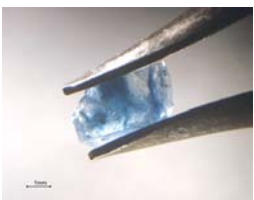
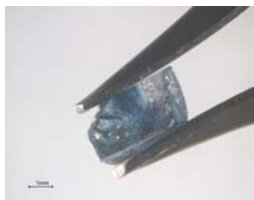
6 ตัวอย่าง [Ilk 2-1-001, Ilk 2-1-004, Ilk 2-1-005, Ilk 2-1-008, Ilk 2-1-009 และ Ilk 2-1-010] กลุ่มสีเหลืองอ่อน 12 ตัวอย่าง [Ilk 2-2-001, Ilk 2-2-002, Ilk 2-2-005, Ilk 2-2-007, Ilk 2-2-008, Ilk 2-2-009,



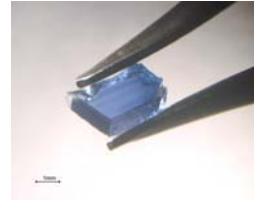
ก. Anb002



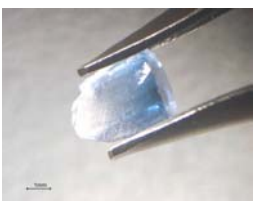
ข. Anb007



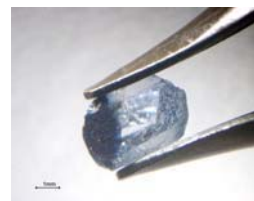
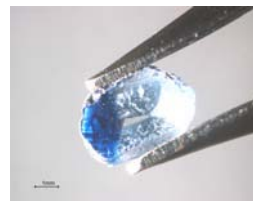
ค. Anb009



ง. Anb012

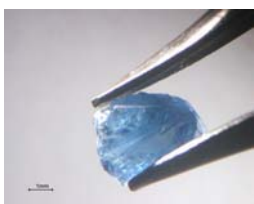


จ. Anb023



ฉ. Anb048

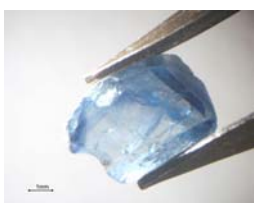
รูปที่ 132 เปรียบเทียบแซปไฟร์แหล่ง Andranondambo ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาน้ำมัน (1,610 °C, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)



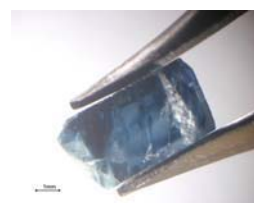
ก. Dig(b)001



ข. Dig(b)002

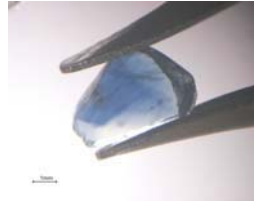
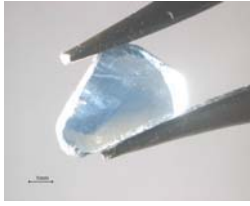


ค. Dig(b)003



ง. Dig(b)005

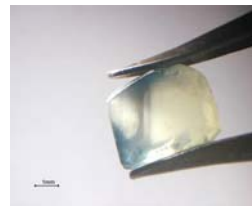
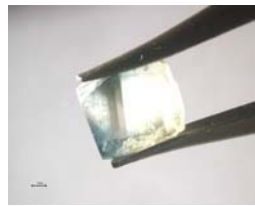
รูปที่ 133 เปรียบเทียบแซปไฟร์แหล่ง Diego Suarez ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาน้ำมัน (1,610 °C, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)



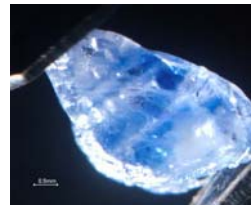
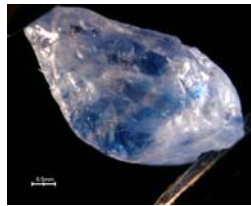
ก. Dig(y)006

ข. Dig(y)014

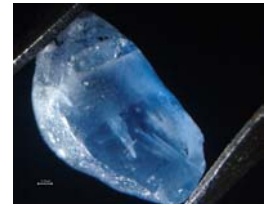
รูปที่ 134 เปรียบเทียบแซปไฟร์แหล่ง Diego Suarez ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาน้ำมัน ($1,610^{\circ}\text{C}$, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)



รูปที่ 135 เปรียบเทียบแซปไฟร์แหล่ง Diego Suarez รหัส Dig(y)012 ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาน้ำมัน ($1,610^{\circ}\text{C}$, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)

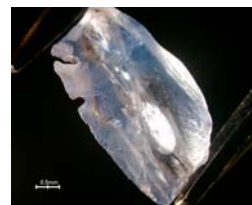
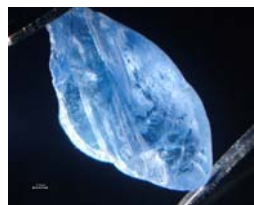


รูปที่ 136 เปรียบเทียบแซปไฟร์แหล่ง Ilakakarหัส Ilk 1-1-002 ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาน้ำมัน ($1,610^{\circ}\text{C}$, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)



ก. Ilk 1-2-005

ข. Ilk 1-2-006



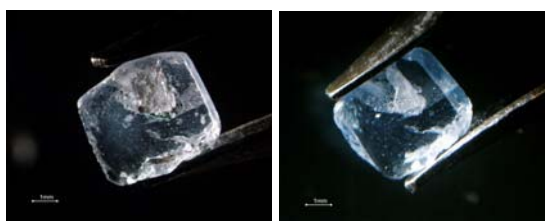
ค. Ilk 1-2-007

ง. Ilk 1-2-008

รูปที่ 137 เปรียบเทียบแซปไฟร์แหล่ง Ilakaka กลุ่มหม่าเข้ม ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาน้ำมัน ($1,610^{\circ}\text{C}$, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)



รูปที่ 138 เปรียบเทียบแซปไฟร์แหล่ง Ilakaka กลุ่มหมาปนหิน รหัส Ilk 1-4-002 ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาน้ำมัน (1,610 °C, ไม่เย็นอุณหภูมิสูงสุด)



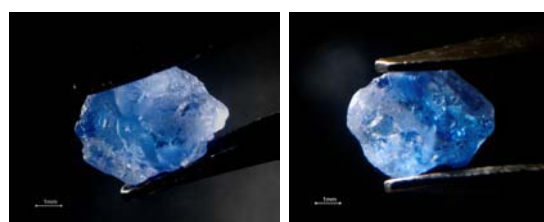
ก. Ilk(b)004



ข. Ilk(b)005



ค. Ilk(b)009



ง. Ilk(b)017

รูปที่ 139 เปรียบเทียบแซปไฟร์แหล่ง Ilakaka กลุ่มสีน้ำเงิน ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาน้ำมัน (1,610 °C, ไม่เย็นอุณหภูมิสูงสุด)

Ilk 2-2-011, Ilk 2-2-013, Ilk 2-2-015, Ilk 2-2-016, Ilk 2-2-018 และ Ilk 2-2-019] กลุ่มสีส้มอ่อน 6 ตัวอย่าง [Ilk 2-3-002, Ilk 2-3-004, Ilk 2-3-005, Ilk 2-3-006, Ilk 2-3-008 และ Ilk 2-3-010] และกลุ่มสีเขียวอ่อน 5 ตัวอย่าง [Ilk 2-5-001, Ilk 2-5-003, Ilk 2-5-007, Ilk 2-5-011 และ Ilk 2-5-013]

สภาวะที่ใช้ในการเผาคือ

ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,612 °C ภาวะออกซิไดส์

อุณหภูมิขึ้นจาก 160 °C ถึง 1,612 °C ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง 30 นาที

ไม่เย็นอุณหภูมิสูงสุด

เผาอบ : ปลดปล่อยพลอยเย็นตัวในเตา 1 คืน นำพลอยออกที่อุณหภูมิห้อง

ผลการทดลองเผา ปรากฏว่า

กลุ่มแซปไฟร์ใสไม่มีสี ส่วนใหญ่ไม่เปลี่ยนแปลง มีเพียง 1 ตัวอย่างคือ Ilk 2-1-009 เปลี่ยนเป็นสีฟ้า (รูปที่ 140)

กลุ่มสีเหลืองอ่อน ส่วนใหญ่ไม่เปลี่ยนแปลง มีเพียง 1 ตัวอย่างคือ Ilk 2-2-007 เปลี่ยนเป็นสีฟ้า (รูปที่ 141)

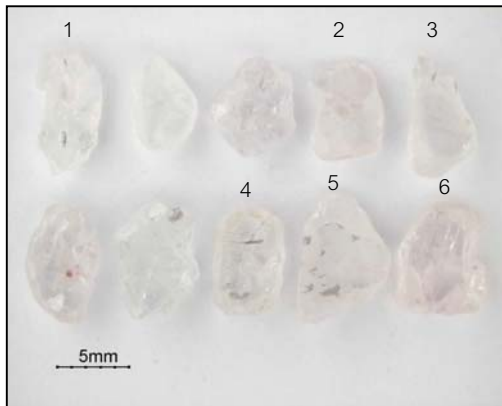
กลุ่มสีส้มอ่อน ส่วนใหญ่เปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน (รูปที่ 142)

กลุ่มสีเขียวอ่อน ส่วนใหญ่ไม่เปลี่ยนแปลง มีเพียง 2 ตัวอย่าง [Ilk 2-5-011 และ Ilk 2-5-013] ที่สีเขียวเข้มขึ้นเล็กน้อย (รูปที่ 143)

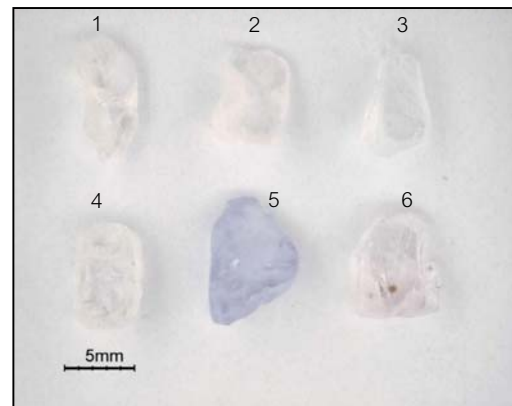
(2) การทดลองเผาแซปไฟร์จากแหล่ง Ilakaka ภาวะออกซิไดส์

วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อเพิ่มสีหรือเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง

ตัวอย่างที่ทดลองเผา ประกอบด้วย กลุ่มแซปไฟร์สีอ่อน ไม่มีหม่า ได้แก่ กลุ่มใสไม่มีสี 7 ตัวอย่าง [Ilk 2-1-002, Ilk 2-1-003, Ilk 2-1-006, Ilk 2-1-007, Ilk(c)001, Ilk(c)003 และ Ilk(c)007] กลุ่มสีเหลืองอ่อน 15 ตัวอย่าง [Ilk 2-2-003, Ilk 2-2-004, Ilk 2-2-006, Ilk 2-2-010, Ilk 2-2-012, Ilk 2-2-014, Ilk 2-2-017, Ilk 2-2-020, Ilk(y)001, Ilk(y)002, Ilk(y)004, Ilk(y)006, Ilk(y)007, Ilk(y)008 และ Ilk(y)009] กลุ่มสีส้มอ่อน 12 ตัวอย่าง [Ilk 2-3-001, Ilk 2-3-003, Ilk 2-3-007, Ilk 2-3-009, Ilk 2-3-011, Ilk 2-3-012, Ilk 2-3-013, Ilk 2-3-014, Ilk(o)001, Ilk(o)002, Ilk(o)003 และ Ilk(o)004] และกลุ่มสีเขียวอ่อน 16 ตัวอย่าง [Ilk 2-5-002, Ilk 2-5-004, Ilk 2-5-005, Ilk 2-5-006, Ilk 2-5-008, Ilk 2-5-009, Ilk 2-5-010, Ilk 2-5-012, Ilk(g)002, Ilk(g)003, Ilk(g)004, Ilk(g)006, Ilk(g)008, Ilk(g)009, Ilk(g)011 และ Ilk(g)012]



ก.



ข.

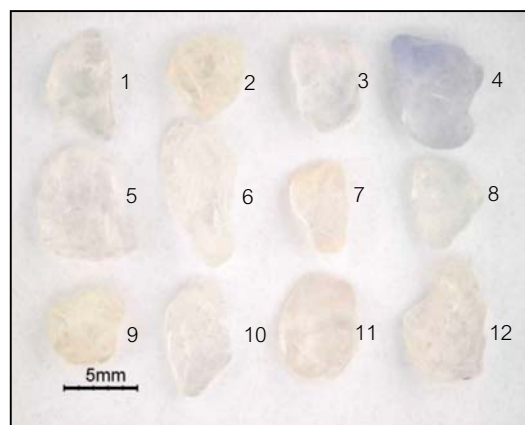
รูปที่ 140 เปรียบเทียบแซปไฟร์แหล่ง Ilakaka กลุ่มสีไม่มีสี ก่อนเผา (ก.) และหลังเผา (ข.)
ด้วยเตาแก๊ส ($1,612^{\circ}\text{C}$, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)



ก.



ข.



ก.

รูปที่ 141 เปรียบเทียบแซปไฟร์แหล่ง Ilakaka กลุ่มสีเหลืองอ่อน ก่อนเผา (ก.,ข.) และหลังเผา (ค.)
ด้วยเตาแก๊ส ($1,612^{\circ}\text{C}$, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)

สภาวะที่ใช้ในการเผาคือ

ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,867 °C ภาวะออกซิไดส์

อุณหภูมิขึ้นจาก 400 °C ถึง 1,867 °C ใช้เวลาประมาณ 9 ชั่วโมง 45 นาที

ไม่เย็นอุณหภูมิสูงสุด

เผาอบ : ปลอຍให้พลอยเย็นตัวในเตา 1 คืน นำพลอยออกที่อุณหภูมิห้อง

ผลการทดลองเผา ปรากฏว่า

กลุ่มแซปไฟร์ใสไม่มีสี ส่วนใหญ่สีไม่เปลี่ยนแปลง มีเพียง 1 ตัวอย่าง คือ Ilk 2-1-002 ที่เปลี่ยนเป็นสีฟ้า (รูปที่ 144)

กลุ่มแซปไฟร์สีเหลืองอ่อน ส่วนใหญ่มีสีเข้มขึ้น ได้แก่ Ilk 2-2-004, Ilk 2-2-012, Ilk 2-2-014, Ilk 2-2-020, Ilk(y)004, Ilk(y)006 และ Ilk(y)007 มี 3 ตัวอย่างสีเพิ่มขึ้น คือ Ilk(y)002, Ilk(y)008 และ Ilk(y)009 (รูปที่ 145)

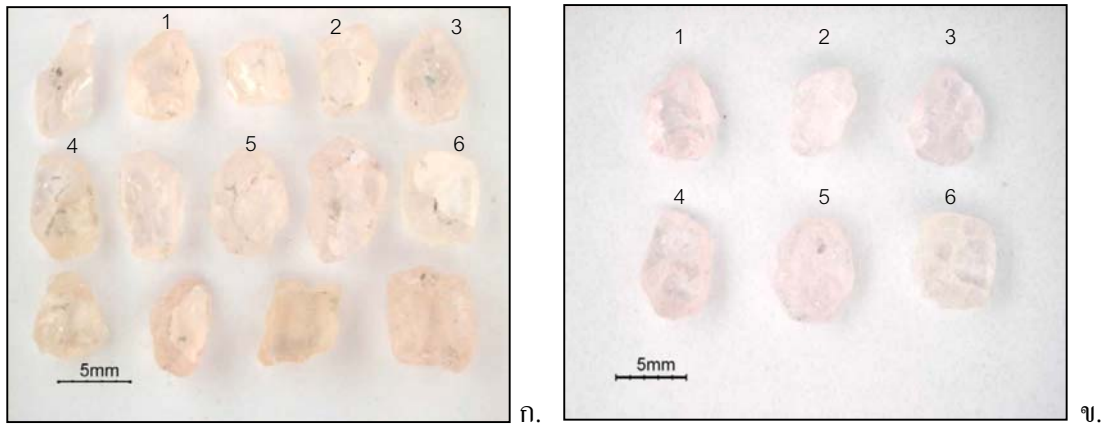
กลุ่มแซปไฟร์สีส้มอ่อน ส่วนใหญ่มีสีเข้มขึ้น มีเพียง 2 ตัวอย่างคือ Ilk 2-3-009 และ Ilk(o)003 ที่สีอ่อนลงเล็กน้อย (รูปที่ 146) และมี 2 ตัวอย่างคือ Ilk(o)001 และ Ilk(o)002 ที่สีไม่เปลี่ยนแปลง

กลุ่มแซปไฟร์สีเขียวอ่อน ส่วนใหญ่ (7 ตัวอย่าง คือ Ilk 2-5-002, Ilk 2-5-004, Ilk 2-5-005, Ilk 2-5-006, Ilk 2-5-008, Ilk(g)009 และ Ilk(g)012) มีสีเขียวลดลง และสีเหลืองเพิ่มขึ้น (รูปที่ 147) มี 2 ตัวอย่าง คือ Ilk(g)008 และ Ilk(g)011 มีสีเขียวเข้มขึ้น (รูปที่ 148) และมี 4 ตัวอย่างคือ Ilk 2-5-009, Ilk 2-5-010, Ilk 2-5-012 และ Ilk(g)003 ที่สีอ่อนลง (รูปที่ 147) ที่เหลืออีก 3 ตัวอย่างสีไม่เปลี่ยนแปลง

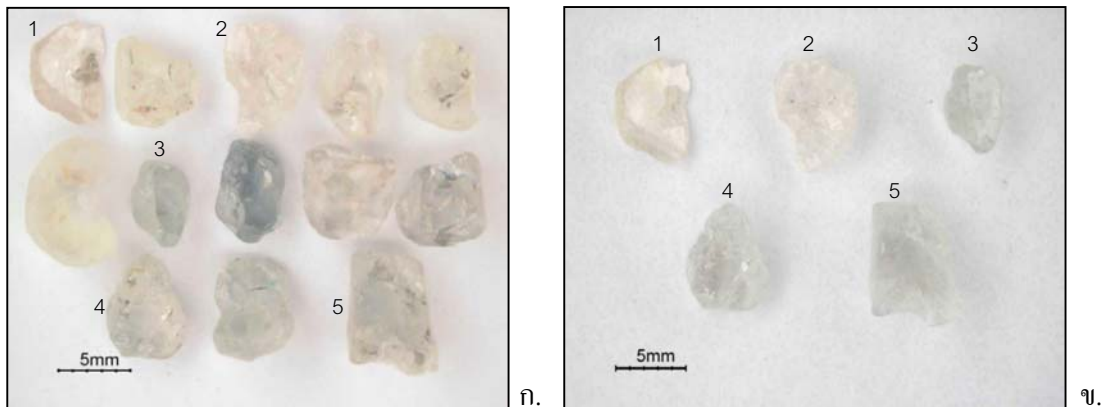
(3) การทดลองเผาแซปไฟร์ จากแหล่ง Ilakaka ภาวะออกซิไดส์

วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อทดลองเผาตัวอย่างพลอยแซปไฟร์กลุ่มไม่มีสี ที่เคยผ่านการทดลองเผามาแล้ว แต่สีอ่อนลง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือสีเข้มขึ้น มาเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อเป็นการเผาเพิ่มสี

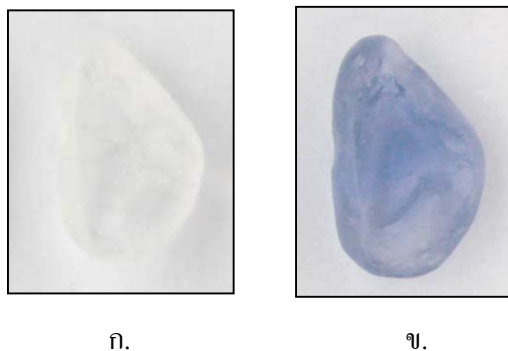
ตัวอย่างที่ทดลองเผา มีทั้งหมด 59 ตัวอย่าง ประกอบด้วย กลุ่มใสไม่มีสี จำนวน 11 ตัวอย่าง [Ilk 2-1-001, Ilk 2-1-003, Ilk 2-1-004, Ilk 2-1-005, Ilk 2-1-007, Ilk 2-1-008, Ilk 2-1-009, Ilk 2-1-010, Ilk(c)001, Ilk(c)003 และ Ilk(c)007] กลุ่มสีเหลืองอ่อน จำนวน 20 ตัวอย่าง [Ilk 2-2-001, Ilk 2-2-002, Ilk 2-2-003, Ilk 2-2-005, Ilk 2-2-006, Ilk 2-2-008, Ilk 2-2-009, Ilk 2-2-010, Ilk 2-2-011, Ilk 2-2-012, Ilk 2-2-013, Ilk 2-2-014, Ilk 2-2-015, Ilk 2-2-016, Ilk 2-2-017, Ilk 2-2-018, Ilk 2-2-019, Ilk(y)001, Ilk(y)002 และ Ilk(y)008] กลุ่มสีส้มอ่อน จำนวน 13 ตัวอย่าง [Ilk 2-3-001, Ilk 2-3-002, Ilk 2-3-003, Ilk 2-3-004, Ilk 2-3-005, Ilk 2-3-006, Ilk 2-3-008, Ilk 2-3-009, Ilk 2-3-010, Ilk 2-3-014, Ilk(o)001, Ilk(o)002 และ Ilk(o)003] กลุ่มสีเขียวอ่อน จำนวน 15 ตัวอย่าง [Ilk 2-5-001, Ilk 2-5-002, Ilk 2-5-003,



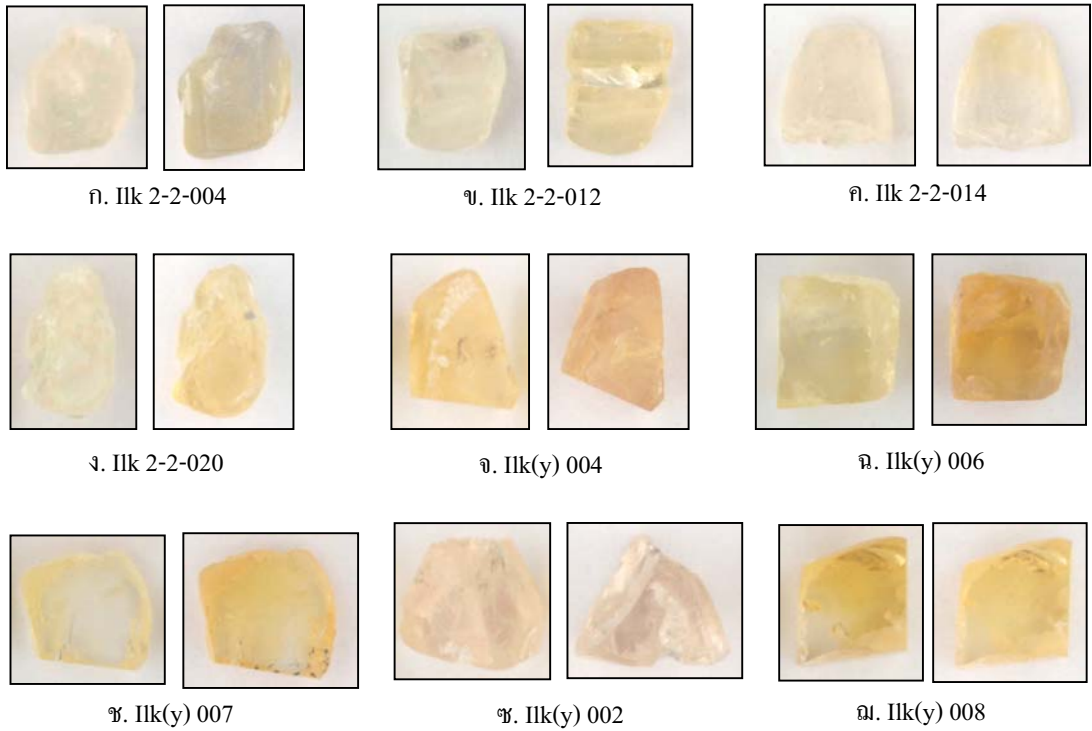
รูปที่ 142 เปรียบเทียบตัวอย่างแชปไฟร์ แหล่ง Ilakaka กลุ่มสีส้มอ่อน ก่อนเผา (ก.) และหลังเผา (ข.) ด้วยเตาแก๊ส ($1,612^{\circ}\text{C}$, ไม่ขึ้นอุณหภูมิ)



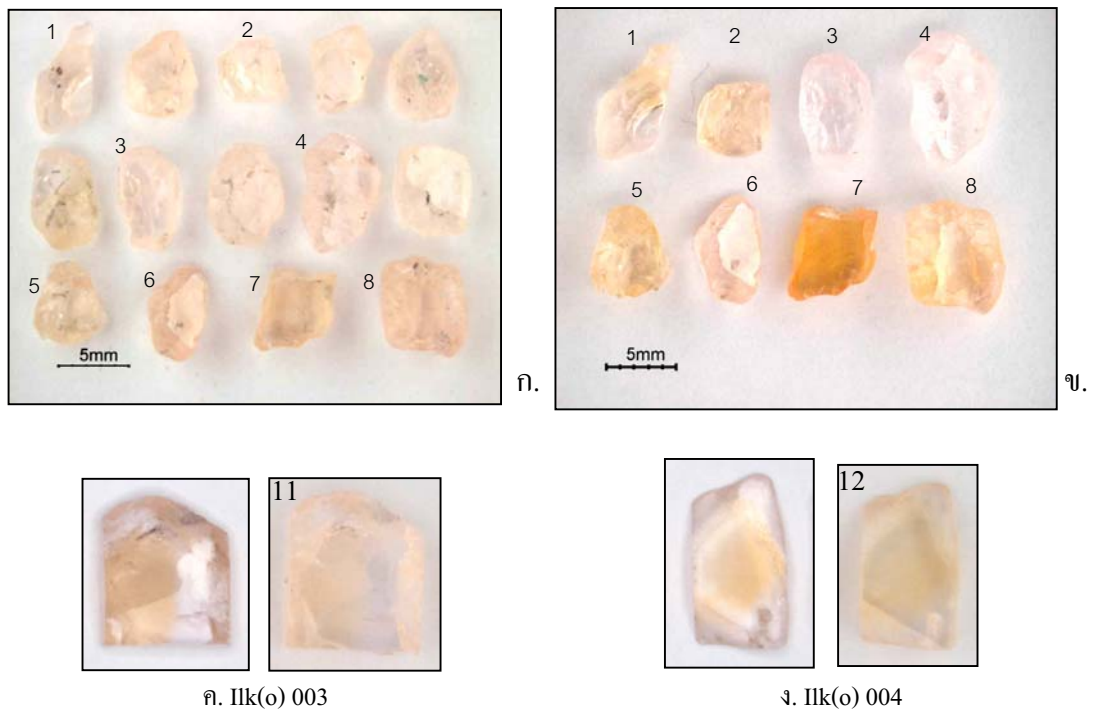
รูปที่ 143 เปรียบเทียบตัวอย่างแชปไฟร์ แหล่ง Ilakaka กลุ่มสีเขียวอ่อน ก่อนเผา (ก.) และหลังเผา (ข.) ด้วยเตาแก๊ส ($1,612^{\circ}\text{C}$, ไม่ขึ้นอุณหภูมิ)



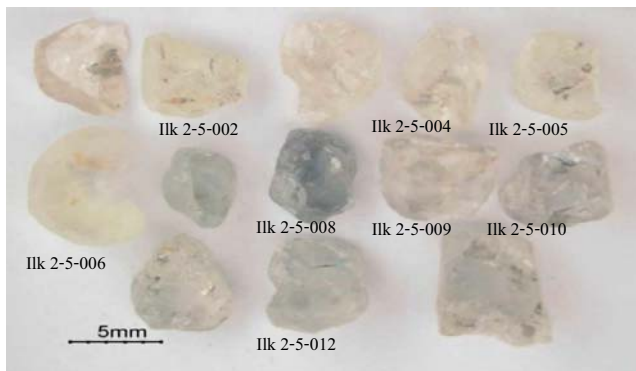
รูปที่ 144 เปรียบเทียบตัวอย่างแชปไฟร์สีไม่มีสี แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ก.) และหลังเผา (ข.) ด้วยเตาแก๊ส ($1,867^{\circ}\text{C}$, ไม่ขึ้นอุณหภูมิ)



รูปที่ 145 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์สีเหลืองจากแหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาแก๊ส (1,867 °C, ไม่ขึ้นอุณหภูมิ)



รูปที่ 146 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์สีส้มจากแหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ก.) และหลังเผา (ข.)
ด้วยเตาแก๊ส (1,867 °C, ไม่ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด)



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 147 เปรียบเทียบตัวอย่างฟอสซิลกลุ่มสีเขียวอ่อน ก่อนเผา (ก.) และหลังเผา (ข.)

- ฟอสซิล 7 เม็ด [Ilk 2-5-002, Ilk 2-5-004, Ilk 2-5-005, Ilk 2-5-006, Ilk 2-5-008, Ilk(g)009, Ilk(g)012] ที่ฟอสซิลมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น
- ฟอสซิล 4 เม็ด [Ilk 2-5-009, Ilk 2-5-010, Ilk 2-5-012 และ Ilk(g)003] ที่สีอ่อนลง



Ilk(g)008



Ilk(g)011

รูปที่ 148 เปรียบเทียบตัวอย่างฟอสซิลกลุ่มสีเขียวอ่อนที่มีสีเข้มขึ้น 2 ตัวอย่าง ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)

Ilk 2-5-006, Ilk 2-5-007, Ilk 2-5-008, Ilk 2-5-009, Ilk 2-5-010, Ilk 2-5-011, Ilk 2-5-012, Ilk 2-5-013, Ilk(g)002, Ilk(g)003, Ilk(g)004 และ Ilk(g)006]

สภาวะที่ใช้ในการเผาคือ

ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,860 °C ภาวะออกซิไดส์

อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 340 °C ถึง 1,860 °C ใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง 45 นาที

เย็นอุณหภูมิสูงสุด 2 ชั่วโมง

เผาอบ : ทิ้งพลอยให้เย็นในเตา 1 คืน นำพลอยออกที่อุณหภูมิห้อง

ผลการทดลอง ปรากฏว่า

กลุ่มไสไม่มีสี หลังเผาส่วนใหญ่ไม่เปลี่ยนแปลง มีเพียง 1 ตัวอย่าง คือ Ilk 2-1-009 เปลี่ยนเป็นสีฟ้าอ่อน (รูปที่ 149)

กลุ่มสีเหลืองอ่อน หลังเผามีสีเหลืองเข้มขึ้น 12 ตัวอย่าง ได้แก่ Ilk 2-2-001, Ilk 2-2-002, Ilk 2-2-006, Ilk 2-2-011, Ilk 2-2-012, Ilk 2-2-013, Ilk 2-2-014, Ilk 2-2-015, Ilk 2-2-017, Ilk 2-2-018, Ilk(y)002, Ilk(y)008 (รูปที่ 150) มีสีอ่อนลง 1 ตัวอย่าง คือ Ilk(y)001 (รูปที่ 151) ไสเพิ่มขึ้น 3 ตัวอย่าง คือ Ilk 2-2-005, Ilk 2-2-016 และ Ilk 2-2-019 (รูปที่ 152) ที่เหลืออีก 4 ตัวอย่างไม่เปลี่ยนแปลง

กลุ่มสีส้มอ่อน หลังเผามีสีเข้มขึ้น 2 ตัวอย่าง คือ Ilk 2-3-006 และ Ilk 2-3-014 (รูปที่ 153) สีอ่อนลง 1 ตัวอย่าง คือ Ilk 2-3-009 (รูปที่ 154) ที่เหลืออีก 10 ตัวอย่าง ไม่เปลี่ยนแปลง

กลุ่มสีเขียวอ่อน หลังเผามีสีเข้มขึ้น 2 ตัวอย่าง คือ Ilk 2-5-013 และ Ilk(g)006 (รูปที่ 155) มีสีเหลืองเพิ่มขึ้น 4 ตัวอย่าง คือ Ilk 2-5-001, Ilk 2-5-003, Ilk 2-5-007 และ Ilk(g)002 (รูปที่ 156) ที่เหลืออีก 9 ตัวอย่างไม่เปลี่ยนแปลง

(4) การทดลองเผาแชปไฟร์ จากแหล่ง Ilakaka ภาวะออกซิไดส์

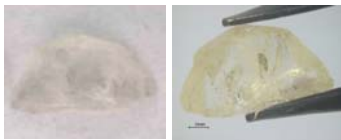
วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อเผาเพิ่มสีแชปไฟร์กลุ่มไม่มีหม่า ที่เคยทดลองเผาแล้ว แต่สียังไม่ดีขึ้น โดยใช้ อุณหภูมิสูง ยืนเวลานานขึ้น

ตัวอย่างที่ใช้ทดลองเผา มีทั้งหมด 78 ตัวอย่าง ประกอบด้วย กลุ่มไสไม่มีสี รวม 12 ตัวอย่าง [ได้แก่ 11 ตัวอย่างที่ทดลองตามข้อ 3 และ Ilk 2-1-002] กลุ่มสีเหลืองอ่อน รวม 27 ตัวอย่าง [ได้แก่ 20 ตัวอย่างที่ทดลองตามข้อ 3 และ Ilk 2-2-004, Ilk 2-2-007, Ilk 2-2-020, Ilk(y)004, Ilk(y)006, Ilk(y)007 และ Ilk(y)009] กลุ่มสีส้มอ่อน รวม 18 ตัวอย่าง [ได้แก่ 13 ตัวอย่างที่ทดลองตามข้อ 3 และ Ilk 2-3-007, Ilk 2-3-011, Ilk 2-3-012, Ilk 2-3-013 และ Ilk(o)004] กลุ่มสีเขียวอ่อน รวม 21 ตัวอย่าง [ได้แก่ 15 ตัวอย่างที่ทดลองตามข้อ 3 และ Ilk 2-5-004, Ilk 2-5-005, Ilk(g)008, Ilk(g)009, Ilk(g)011 และ Ilk(g)012]

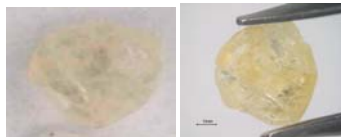


Ilk 2-1-009

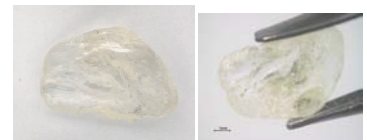
รูปที่ 149 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์กลุ่มสีไม่มีสี แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาแก๊ส (1,860 °C, ยืนอุณหภูมิสูงสุด 2 ชั่วโมง)



ก. Ilk 2-2-001



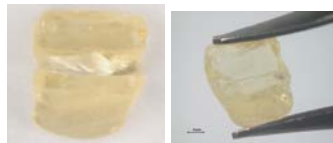
ข. Ilk 2-2-002



ค. Ilk 2-2-006



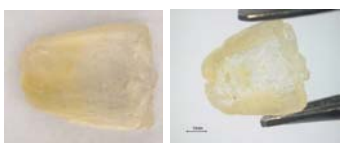
ง. Ilk 2-2-011



จ. Ilk 2-2-012



ฉ. Ilk 2-2-013



ช. Ilk 2-2-014



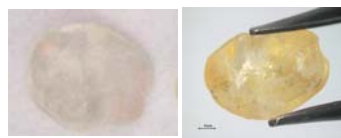
ซ. Ilk 2-2-015



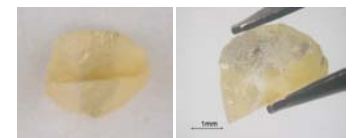
ณ. Ilk 2-2-015



ด. Ilk 2-2-017

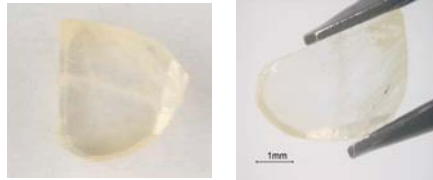


ฎ. Ilk 2-2-018

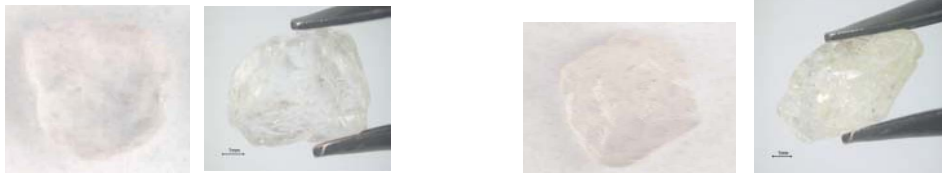


ฎ. Ilk(y)008

รูปที่ 150 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์กลุ่มสีเหลือง แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาแก๊ส (1,860 °C, ยืนอุณหภูมิสูงสุด 2 ชั่วโมง)

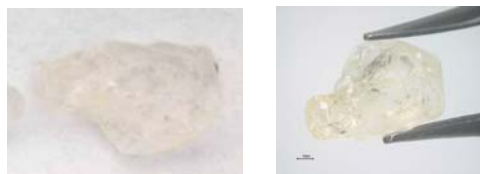


รูปที่ 151 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์ กลุ่มสีเหลือง แหล่ง Ilakaka รหัสตัวอย่าง Ilk(y)001 ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาแก๊ส ($1,860^{\circ}\text{C}$, ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด 2 ชั่วโมง)



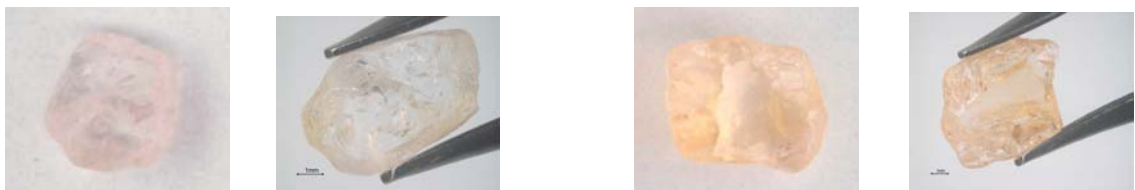
ก. Ilk 2-2-005

ข. Ilk 2-2-016



ค. Ilk 2-2-019

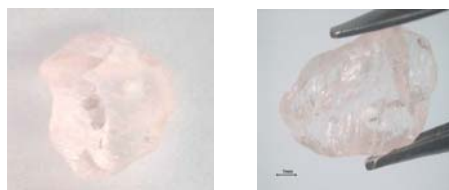
รูปที่ 152 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์ กลุ่มสีเหลือง แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาแก๊ส ($1,860^{\circ}\text{C}$, ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด 2 ชั่วโมง)



ก. Ilk 2-3-006

ข. Ilk 2-3-014

รูปที่ 153 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์ กลุ่มสีส้ม แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และ หลังเผา (ขวา) ด้วยเตาแก๊ส ($1,860^{\circ}\text{C}$, ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด 2 ชั่วโมง)



รูปที่ 154 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์ กลุ่มสีส้ม แหล่ง Ilakaka รหัส Ilk 2-3-009 ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาแก๊ส ($1,860^{\circ}\text{C}$, ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด 2 ชั่วโมง)



รูปที่ 155 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์ กลุ่มสีเขียว แหล่ง Ilakaka รหัส Ilk 2-5-013 ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาแก๊ส ($1,860^{\circ}\text{C}$, ยืนอุณหภูมิสูงสุด 2 ชั่วโมง)



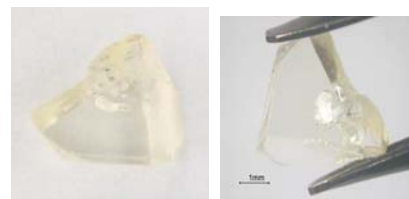
ก. Ilk 2-5-001



ข. Ilk 2-5-003

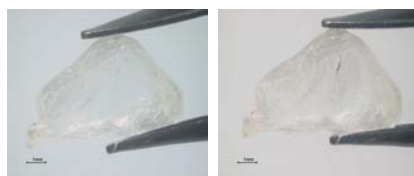


ค. Ilk 2-5-007

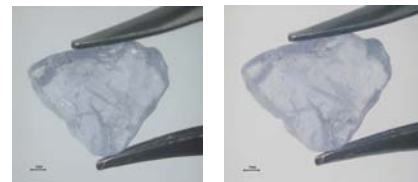


ง. Ilk(g)002

รูปที่ 156 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์ กลุ่มสีเขียว แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาแก๊ส ($1,860^{\circ}\text{C}$, ยืนอุณหภูมิสูงสุด 2 ชั่วโมง)



ก. Ilk 2-1-005



ข. Ilk 2-1-009

รูปที่ 157 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์ กลุ่มสีไม่มีสี แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาแก๊ส ($1,900^{\circ}\text{C}$, ยืนอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง)

สภาวะที่ใช้ในการเผาคือ

ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,900 °C ภาวะออกซิไดส์

อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 340 °C ถึง 1,900 °C ใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง

เย็นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง

เผาอบ : ทิ้งพลอยให้เย็นในเตา 1 คืน นำพลอยออกที่อุณหภูมิห้อง

ผลการทดลอง ปรากฏว่า

กลุ่มใสไม่มี หลังเผามีความใสเพิ่มขึ้น 1 ตัวอย่าง คือ Ilk 2-1-005 และมีสีฟ้าเข้มขึ้น 1 ตัวอย่าง คือ Ilk 2-1-009 (รูปที่ 157) นอกนั้นไม่เปลี่ยนแปลง

กลุ่มสีเหลืองอ่อน หลังเผามีสีเข้มขึ้น 18 ตัวอย่าง ได้แก่ Ilk 2-2-001, Ilk 2-2-002, Ilk 2-2-004, Ilk 2-2-006, Ilk 2-2-008, Ilk 2-2-009, Ilk 2-2-010, Ilk 2-2-011, Ilk 2-2-013, Ilk 2-2-014, Ilk 2-2-015, Ilk 2-2-016, Ilk 2-2-018, Ilk 2-2-019, Ilk 2-2-020, Ilk(y)006, Ilk(y)008, Ilk(y)009 (รูปที่ 158) ใสขึ้น 1 ตัวอย่าง คือ Ilk(y)004 (รูปที่ 159) ที่เหลืออีก 8 ตัวอย่าง ไม่เปลี่ยนแปลง

กลุ่มสีส้มอ่อน หลังเผาสีเข้มขึ้น 15 ตัวอย่าง ได้แก่ Ilk 2-3-001, Ilk 2-3-002, Ilk 2-3-003, Ilk 2-3-004, Ilk 2-3-005, Ilk 2-3-006, Ilk 2-3-008, Ilk 2-3-009, Ilk 2-3-010, Ilk 2-3-011, Ilk 2-3-012, Ilk 2-3-013, Ilk 2-3-014, Ilk(o)002 และ Ilk(o)003 (รูปที่ 160) เปลี่ยนเป็นสีชมพู 1 ตัวอย่าง คือ Ilk 2-3-007 (รูปที่ 161) ที่เหลืออีก 2 ตัวอย่าง ไม่เปลี่ยนแปลง

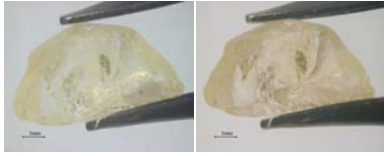
กลุ่มสีเขียวอ่อน หลังเผา มีสีเหลืองเพิ่มขึ้น 12 ตัวอย่าง ได้แก่ Ilk 2-5-001, Ilk 2-5-002, Ilk 2-5-003, Ilk 2-5-004, Ilk 2-5-005, Ilk 2-5-006, Ilk 2-5-007, Ilk 2-5-008, Ilk 2-5-010, Ilk 2-5-012, Ilk(g)004, Ilk(g)006 (รูปที่ 162) สีส้มเหลืองลดลงทำให้เห็นเป็นสีฟ้าขึ้น 2 ตัวอย่าง คือ Ilk(g)008 และ Ilk(g)011 (รูปที่ 163) ที่เหลืออีก 7 ตัวอย่าง ไม่เปลี่ยนแปลง

(5) การทดลองเผาทับทิม จากแหล่ง Andilamena และแซปไฟร์ จากแหล่ง Ilakaka ภาวะออกซิไดส์

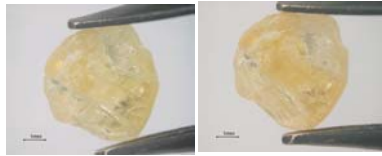
วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อกำจัดลักษณะขาวขุ่นหรือน้ำเงิน-ม่วงในแกนกลางของทับทิมจากแหล่ง Andilamena ที่เคยพยายามทดลองไล่แล้ว แต่ยังคงปรากฏอยู่ โดยคัดเลือกตัวอย่างที่มีมลทิน และรอยแตกร้าวน้อยที่สุด ใช้อุณหภูมิสูง เย็นอุณหภูมิก่อนช้าๆ และเผา (หมายถึง นำตัวอย่างออกจากเตาทันที) ส่วนตัวอย่างแซปไฟร์จากแหล่ง Ilakaka เป็นตัวอย่างกลุ่มไม่มีหมากที่เคยทดลองเผามาแล้ว แต่ยังไม่ได้อธิบายที่ต้องการ

ตัวอย่างที่ใช้ทดลองเผา ประกอบด้วย

ทับทิมจากแหล่ง Andilamena ที่ผ่านการทดลองเผามาแล้ว และยังคงแสดงลักษณะแกนกลางขาวขุ่นหรือน้ำเงิน จำนวนรวม 15 ตัวอย่าง ได้แก่ Anm 2-5-001, Anm 2-5-009, Anm 2-5-013,



ก. Ilk 2-2-001



ข. Ilk 2-2-002



ค. Ilk 2-2-004



ง. Ilk 2-2-006



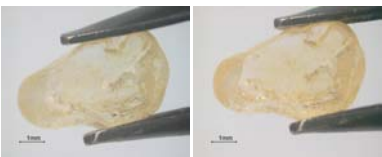
จ. Ilk 2-2-008



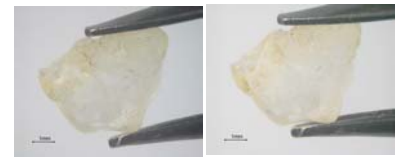
ฉ. Ilk 2-2-009



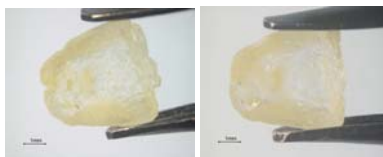
ช. Ilk 2-2-010



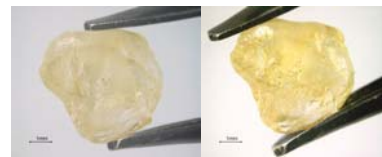
ซ. Ilk 2-2-011



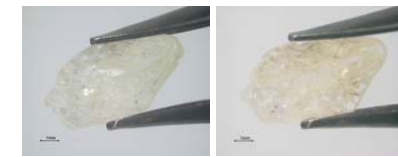
ณ. Ilk 2-2-013



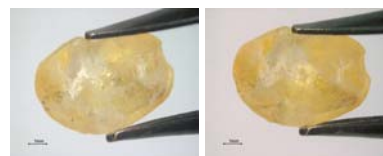
ด. Ilk 2-2-014



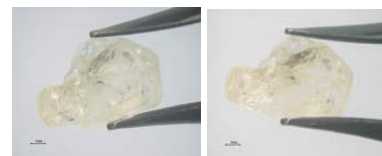
ต. Ilk 2-2-015



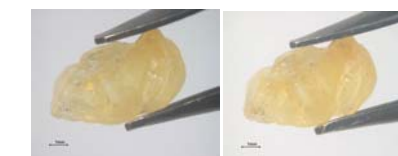
ถ. Ilk 2-2-016



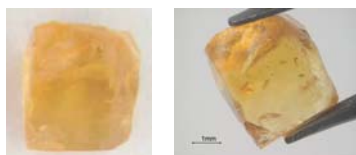
ท. Ilk 2-2-018



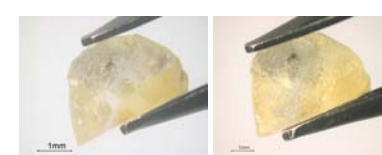
ฑ. Ilk 2-2-019



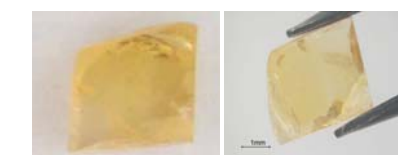
ฒ. Ilk 2-2-020



ณ. Ilk(y)006

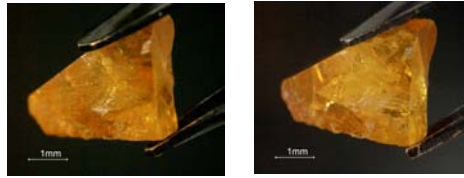


ด. Ilk(y)008



ต. Ilk(y)009

รูปที่ 158 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์ กลุ่มสีเหลือง แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาแก๊ส (1,900 °C, ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง)



รูปที่ 159 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์ กลุ่มสีเหลือง แหล่ง Ilakaka รหัสตัวอย่าง Ilk(y)004 ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาแก๊ส (1,900 °C, ยืนอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง)



ก. Ilk 2-3-001



ข. Ilk 2-3-002



ค. Ilk 2-3-003



ง. Ilk 2-3-004



จ. Ilk 2-3-005



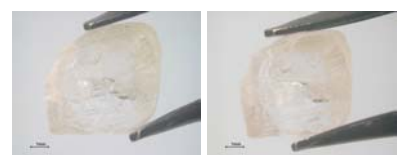
ฉ. Ilk 2-3-006



ช. Ilk 2-3-008



ซ. Ilk 2-3-009



ณ. Ilk 2-3-010



ญ. Ilk 2-3-011



ฎ. Ilk 2-3-012



ฏ. Ilk 2-3-013



ฐ. Ilk 2-3-014



ฑ. Ilk(o)002



ฒ. Ilk(o)003

รูปที่ 160 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์ กลุ่มสีส้ม แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาแก๊ส (1,900 °C, ยืนอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง)



รูปที่ 161 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์ แหล่ง Ilakaka รหัส Ilk 2-3-007 ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาแก๊ส (1,900 °C, ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง)



ก. Ilk 2-5-001

ข. Ilk 2-5-002

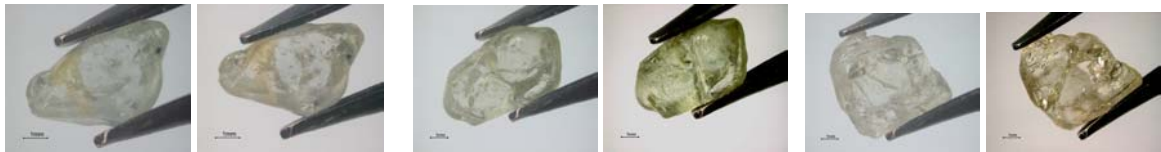
ค. Ilk 2-5-003



ง. Ilk 2-5-004

จ. Ilk 2-5-005

ฉ. Ilk 2-5-006



ช. Ilk 2-5-007

ซ. Ilk 2-5-008

ณ. Ilk 2-5-010



ด. Ilk 2-5-012

ฎ. Ilk(g)004

ฏ. Ilk(g)006

รูปที่ 162 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์ กลุ่มสีเขียว แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาแก๊ส (1,900 °C, ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง)



ก. Ilk(g)008

ข. Ilk(g)011

รูปที่ 163 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์ กลุ่มสีเขียว แหล่ง Ilakaka ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาแก๊ส (1,900 °C, ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง)

Anm 2-5-014, Anm 2-5-018, Anm 2-5-022, Anm 3-5-010, Anm 3-5-012, Anm 3-5-013, Anm 3-5-015, Anm 3-5-017, Anm 3-5-021, Anm 6-5-001, Anm 6-5-002 และ Anm 6-5-004

แชปไฟร์จากแหล่ง Ilakaka กลุ่มใสไม่มีสี 5 ตัวอย่าง [ได้แก่ Ilk(c)001, Ilk(c)003, Ilk(c)007, Ilk 2-1-003 และ Ilk 2-1-007] กลุ่มสีเหลืองอ่อน 11 ตัวอย่าง [ได้แก่ Ilk(y)001, Ilk(y)002, Ilk(y)008, Ilk 2-2-003, Ilk 2-2-004, Ilk 2-2-006, Ilk 2-2-010, Ilk 2-2-012, Ilk 2-2-014, Ilk 2-2-017 และ Ilk 2-2-020] กลุ่มสีส้มอ่อน 11 ตัวอย่าง [ได้แก่ Ilk(o)001, Ilk(o)002, Ilk(o)003, Ilk(o)004, Ilk 2-3-001, Ilk 2-3-003, Ilk 2-3-007, Ilk 2-3-009, Ilk 2-3-011, Ilk 2-3-012 และ Ilk 2-3-014] และ กลุ่มสีเขียวอ่อน 20 ตัวอย่าง [ได้แก่ Ilk(g)002, Ilk(g)003, Ilk(g)004, Ilk(g)006, Ilk(g)008, Ilk(g)011, Ilk(g)012, Ilk 2-5-001, Ilk 2-5-002, Ilk 2-5-003, Ilk 2-5-004, Ilk 2-5-005, Ilk 2-5-006, Ilk 2-5-007, Ilk 2-5-008, Ilk 2-5-009, Ilk 2-5-010, Ilk 2-5-011, Ilk 2-5-012 และ Ilk 2-5-013]

สภาวะที่ใช้ในการเผาคือ

ใช้อุณหภูมิสูงสุด 1,800 °C ภาวะออกซิไดส์

อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 200 °C ถึง 1,800 °C ใช้เวลาประมาณ 7 ชั่วโมง 30 นาที

เย็นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง

เผายก : เอาพลอยออกจากเตาทันที

ผลการทดลอง ปรากฏว่า

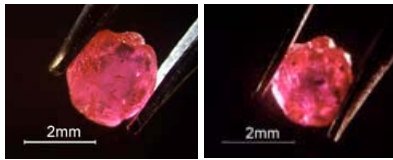
ตัวอย่างทับทิมจากแหล่ง Andilamena หลังเผาปรากฏว่า ตัวอย่างส่วนใหญ่ [ได้แก่ Anm 2-5-001, Anm 2-5-009, Anm 2-5-013, Anm 2-5-014, Anm 2-5-022, Anm 3-5-012, Anm 3-5-017 และ Anm 6-5-002] ลักษณะแกนกลางขาวพุ่งหายไป (รูปที่ 164) ตัวอย่างที่มีมลทินภายใน [Anm 2-5-001 และ Anm 2-5-009] ปรากฏว่า รอยแตกรอบๆ (tension crack) มลทิน เหล่านั้น และมี 1 ตัวอย่าง [Anm 2-5-022] ที่แตกออกเป็น 2 ส่วน ตัวอย่างอีก 6 ตัวอย่าง ลักษณะแกนกลางจางหายไปจนเกือบหมด ยังคงหลงเหลืออยู่เพียงเล็กน้อย ได้แก่ Anm 2-5-018, Anm 3-5-010, Anm 3-5-013, Anm 3-5-015, Anm 3-5-021 และ Anm 6-5-004 (รูปที่ 165) มีเพียง 1 ตัวอย่าง คือ Anm 6-5-001 ที่บริเวณแกนกลางกลายเป็นสีม่วงคล้ำ และรอบๆ มลทิน มี tension crack (รูปที่ 166)

สำหรับแชปไฟร์จากแหล่ง Ilakaka ปรากฏว่า

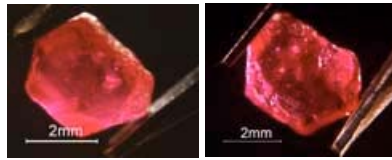
กลุ่มใสไม่มีสี หลังเผามี 3 ตัวอย่าง คือ Ilk(c)001, Ilk(c)003 และ Ilk(c)007 มีสีชมพูเพิ่มขึ้น (รูปที่ 167) อีก 2 ตัวอย่าง ไม่เปลี่ยนแปลง

กลุ่มสีเหลืองอ่อน หลังเผามีสีเหลืองเข้มขึ้น 2 ตัวอย่าง คือ Ilk(y)001 และ Ilk(y)002 (รูปที่ 168 ก.และ ข.) มีสีจางลง 1 ตัวอย่าง คือ Ilk(y)008 (รูปที่ 168 ค.) ที่เหลืออีก 8 ตัวอย่าง ไม่เปลี่ยนแปลง

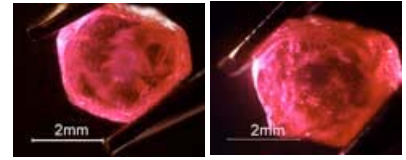
กลุ่มสีส้มอ่อน หลังเผามีสีเข้มขึ้น 1 ตัวอย่าง คือ Ilk(o)004 (รูปที่ 169 ก.) สีจางลง 1 ตัวอย่าง คือ Ilk(o)002 (รูปที่ 169 ข.) ที่เหลืออีก 9 ตัวอย่างไม่เปลี่ยนแปลง



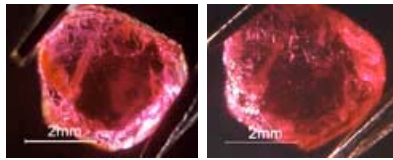
ก. Anm 2-5-001



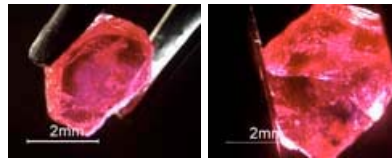
ข. Anm 2-5-009



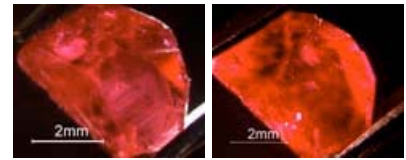
ค. Anm 2-5-013



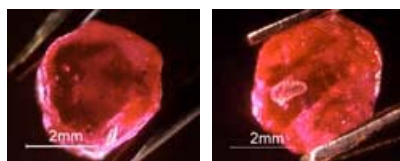
ง. Anm 2-5-014



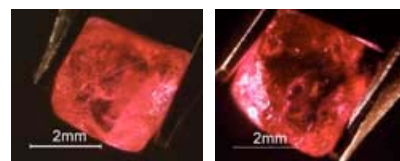
จ. Anm 2-5-022



ฉ. Anm 3-5-012

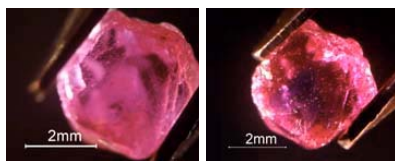


ช. Anm 3-5-017

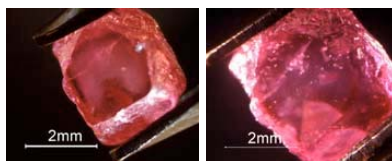


ซ. Anm 6-5-002

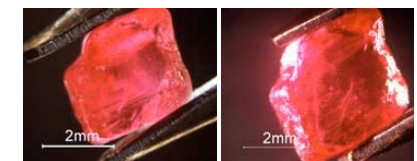
รูปที่ 164 เปรียบเทียบตัวอย่างทับทิมแหล่ง Andilamena ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาแก๊ส ($1,800^{\circ}\text{C}$, ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง)



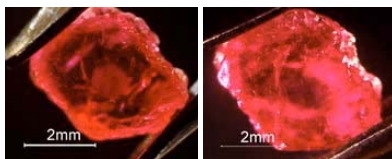
ก. Anm 2-5-018



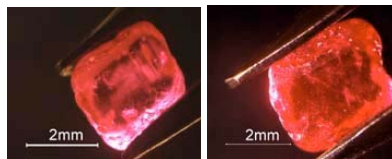
ข. Anm 3-5-010



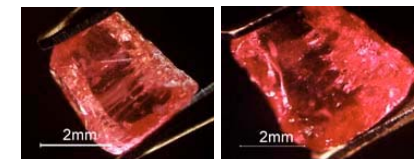
ค. Anm 3-5-013



ง. Anm 3-5-015

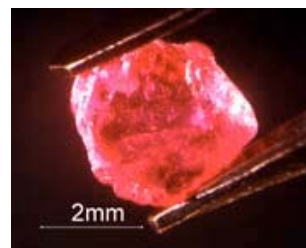
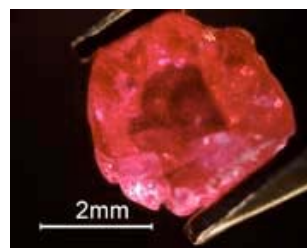


จ. Anm 3-5-021

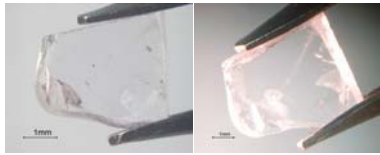


ฉ. Anm 6-5-004

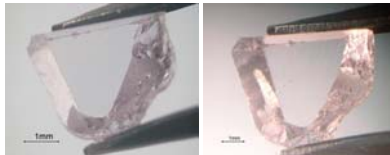
รูปที่ 165 เปรียบเทียบตัวอย่างทับทิมแหล่ง Andilamena ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาแก๊ส ($1,800^{\circ}\text{C}$, ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง)



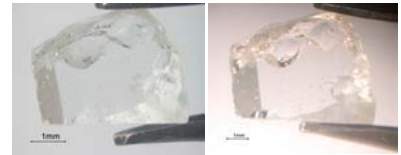
รูปที่ 166 เปรียบเทียบตัวอย่างทับทิมแหล่ง Andilamena รหัส Anm 6-5-001 ก่อนเผา (ซ้าย)
และหลังเผา (ขวา) ด้วยเตาแก๊ส ($1,800^{\circ}\text{C}$, ขึ้นอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง)



ก. Ilk(c)001



ข. Ilk(c)003

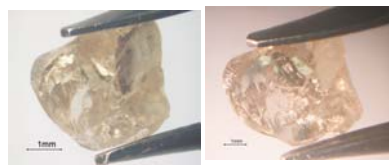


ค. Ilk(c)007

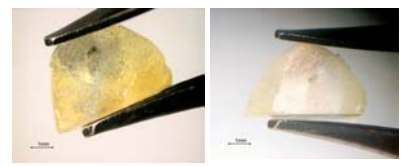
รูปที่ 167 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์แหล่ง Ilakaka กลุ่มสีไม่มีสี ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาแก๊ส (1,800 °C, ยืนอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง)



ก. Ilk(y)001

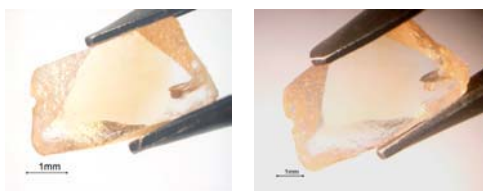


ข. Ilk(y)002



ค. Ilk(y)008

รูปที่ 168 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์แหล่ง Ilakaka กลุ่มสีเหลือง ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาแก๊ส (1,800 °C, ยืนอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง)

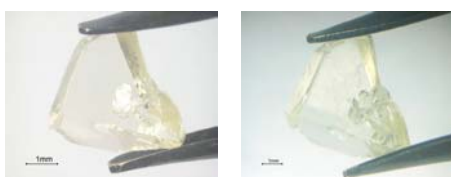


ก. Ilk(o)004



ข. Ilk(o)002

รูปที่ 169 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์แหล่ง Ilakaka กลุ่มสีส้ม ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาแก๊ส (1,800 °C, ยืนอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง)



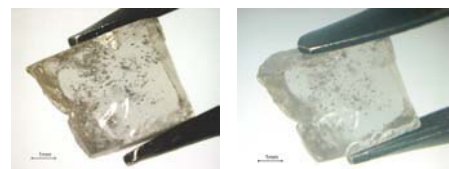
ก. Ilk(g)002



ข. Ilk(g)003



ก. Ilk(g)004



ง. Ilk(g)006

รูปที่ 170 เปรียบเทียบตัวอย่างแซปไฟร์แหล่ง Ilakaka กลุ่มสีเขียว ก่อนเผา (ซ้าย) และหลังเผา (ขวา)
ด้วยเตาแก๊ส (1,800 °C, ยืนอุณหภูมิสูงสุด 5 ชั่วโมง)

กลุ่มสีเขียวอ่อน หลังเผามีสีเข้มขึ้น 2 ตัวอย่าง คือ Ilk(g)002 และ Ilk(g)003 (รูปที่ 170 ก.และข.) มีสีจางลง 2 ตัวอย่าง คือ Ilk(g)004 และ Ilk(g)006 (รูปที่ 170 ค. และ ง.) ที่เหลืออีก 16 ตัวอย่างไม่เปลี่ยนแปลง

3.11 การตรวจวัด absorption spectrum ของตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมหลังการทดลองเผา

หลังการทดลองเผาในแต่ละครั้ง ก่อนที่จะนำพลอยไปทดลองเผาในครั้งต่อไป ในกรณีที่ยังไม่ได้สีตามที่ต้องการ ต้องนำตัวอย่างพลอยมาทำการวัด absorption spectrum ด้วย UV-Vis-NIR spectrophotometer เพื่อเก็บข้อมูลไว้เปรียบเทียบกับ spectrum ก่อนเผา ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากในกรณีที่การเปลี่ยนแปลงสีก่อนและหลังเผาไม่สามารถเทียบสีกับ colour master ได้

Absorption spectrum ของตัวอย่างพลอยก่อนและหลังการเผาที่แสดงการเปลี่ยนแปลงสี และ/หรือ ความใส ชัดเจนของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง แสดงในรูปที่ 171 ถึง 202

การเปรียบเทียบ absorption spectrum ของทับทิมก่อนและหลังเผา

ส่วนใหญ่ตำแหน่งของ absorption peaks หรือ bands ไม่เปลี่ยนแปลงตำแหน่ง เพราะสีหลักคือสีแดง ซึ่งเกี่ยวข้องกับ peaks ของ Cr^{3+} ยังคงเดิม ส่วนใหญ่จะแสดง absorption intensity (ความสูงของ peak) ลดลง เนื่องจากเนื้อพลอยมีความใสมากขึ้น สำหรับทับทิมที่มีสีอมม่วง ซึ่งตำแหน่งของ Cr^{3+} peak ที่ 555 nm และ IVCT band ของ $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ ที่ระหว่าง 550-700 nm ซึ่งเป็น broad band มียอด peak ที่ประมาณ 560 nm จะคาบเกี่ยวกันอยู่ เมื่อเผาจนสีอมม่วงหายไป ความกว้างของ broad band ของ IVCT ระหว่าง $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ ก็จะลดลง หรือ band แคบลง (รูปที่ 172)

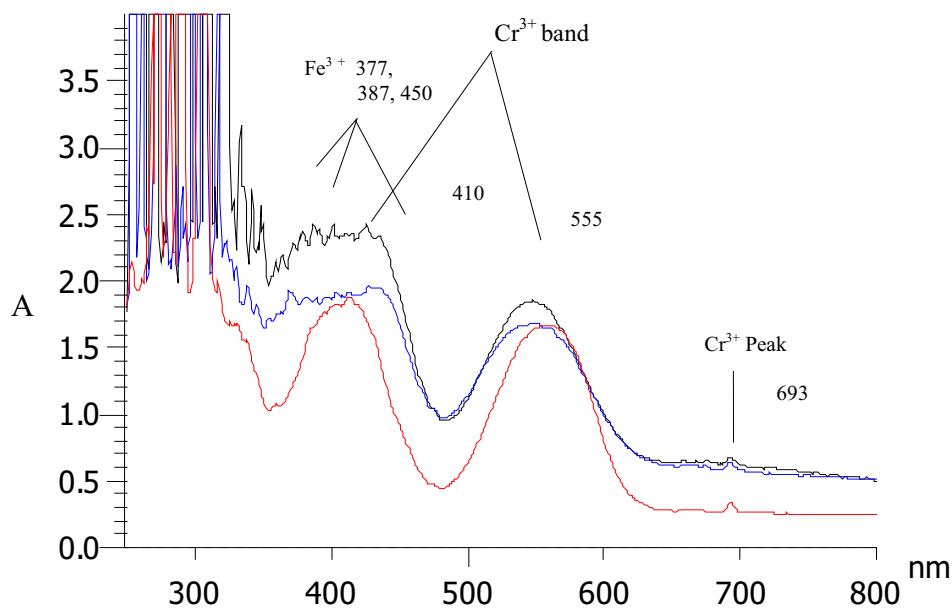
การเปรียบเทียบ absorption spectrum ของแซปไฟร์ก่อนและหลังเผา

สำหรับแซปไฟร์จากแหล่ง Diego Suarez กลุ่มสีน้ำเงิน : Dig(b) และ แกนกลางสีน้ำเงิน : Dig(bc) หลังเผา เนื้อพลอยใสมากขึ้น เห็นได้จากค่า intensity ของ absorption ลดลง (รูปที่ 179 และ 180) ส่วนกลุ่มสีเหลือง : Dig(y) กลุ่มแกนกลางใส : Dig(cc) และกลุ่มแกนกลางสีเหลือง : Dig(yc) หลังเผาจะเห็น IVCT bands ของ $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ และ $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ชัดเจนขึ้น (รูปที่ 181 ถึง 183) แสดงว่า พลอยมีสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น

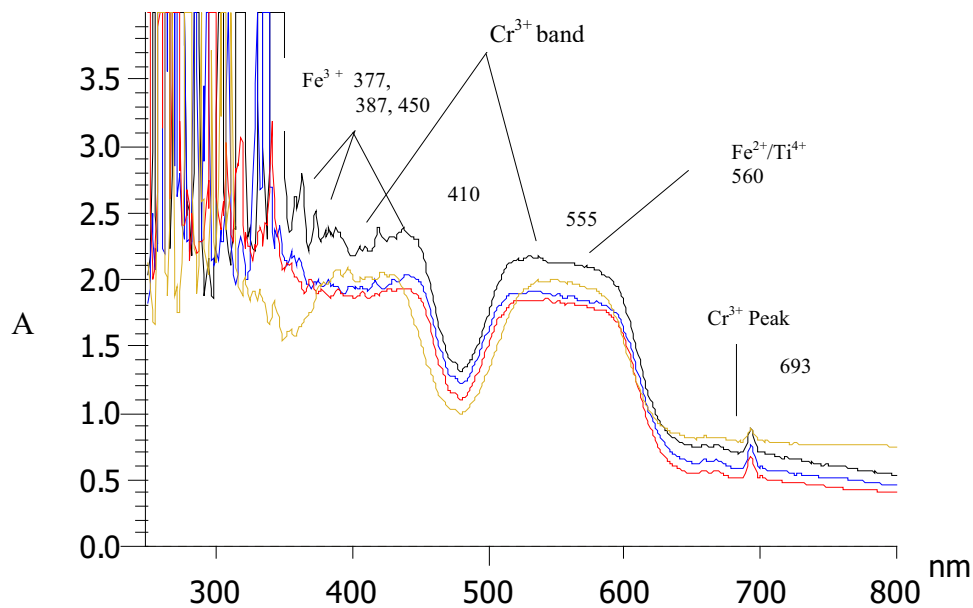
แซปไฟร์จากแหล่ง Andranondambo ซึ่งก่อนเผาไม่แสดง IVCT band ของ $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ (เป็น characteristics ของ spectrum ของ metamorphic sapphire ที่ไม่ผ่านการเผา) หลังเผาจะปรากฏ IVCT band ดังกล่าวชัดเจน (รูปที่ 184) ซึ่งห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีส่วนใหญ่ใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ว่า แซปไฟร์จากแหล่งที่เป็น metamorphic affiliation ผ่านการเผาเพิ่มคุณภาพมาแล้ว ถ้าปรากฏ IVCT band นี้

แซปไฟร์จากแหล่ง Ilakaka โดยเฉพาะกลุ่มที่มีหมา : Ilk 1-x-x แสดงการเปลี่ยนแปลงของ spectrum หลังเผาที่ชัดเจน กล่าวคือ การปรากฏขึ้นของ IVCT band ของ Fe^{2+} / Ti^{4+} เมื่อพลอยหมาเปลี่ยนเป็นสีฟ้าหรือน้ำเงินหลังเผา (รูปที่ 185 ถึง 188)

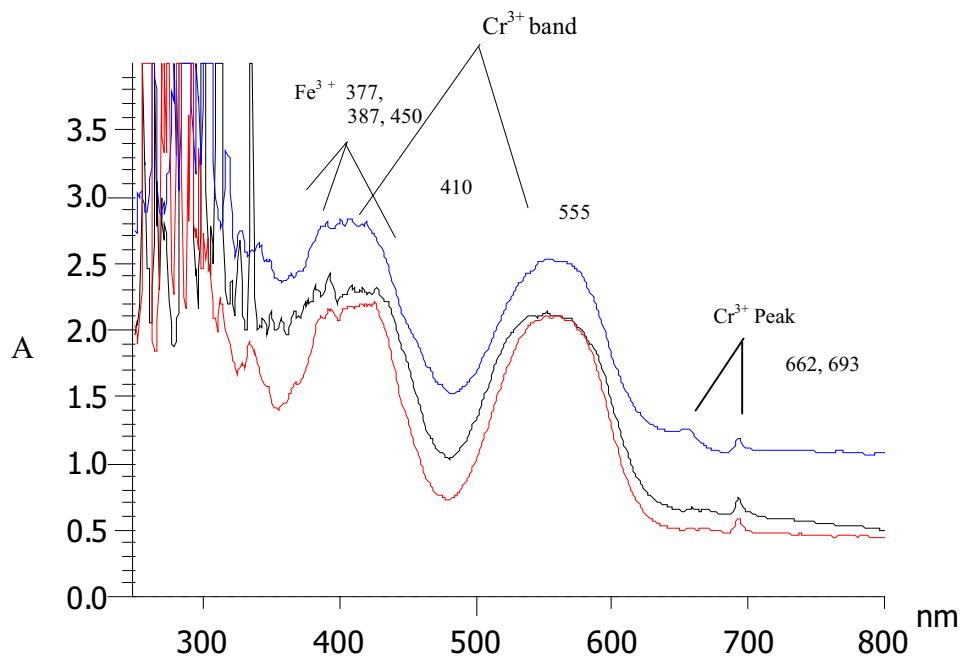
ส่วนแซปไฟร์จากแหล่ง Ilakaka กลุ่มที่ไม่มีหมา ซึ่งเดิมแสดงสีอ่อน spectrum หลังเผาจะมี intensity ลดลงเมื่อพลอยมีความใสเพิ่มขึ้น (เช่น รูปที่ 192) หรือมี intensity สูงขึ้น เมื่อพลอยมีสีเข้มขึ้น (เช่น รูปที่ 196) แล้วแต่กรณี



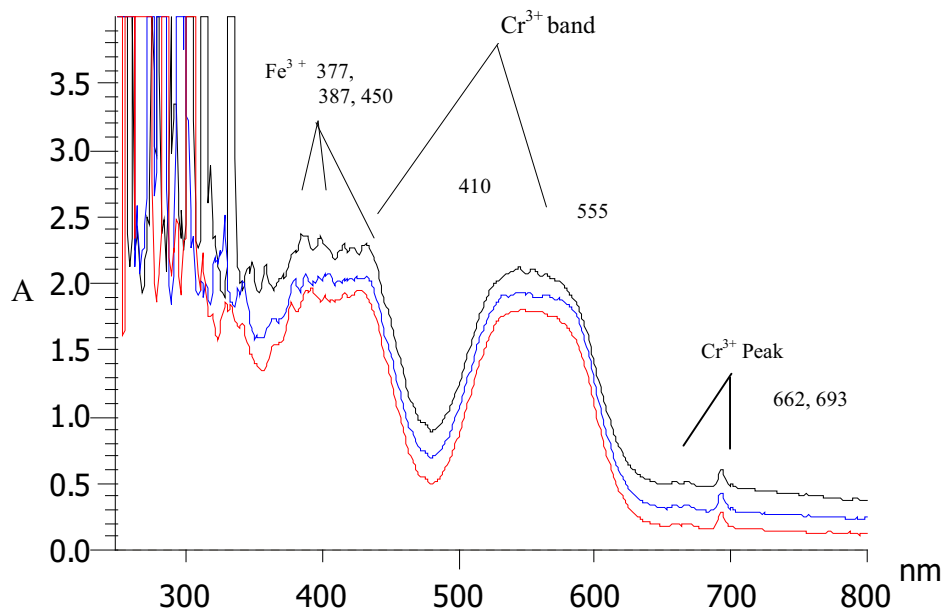
รูปที่ 171 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Andilamena รหัสตัวอย่าง Anm1-5-001เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



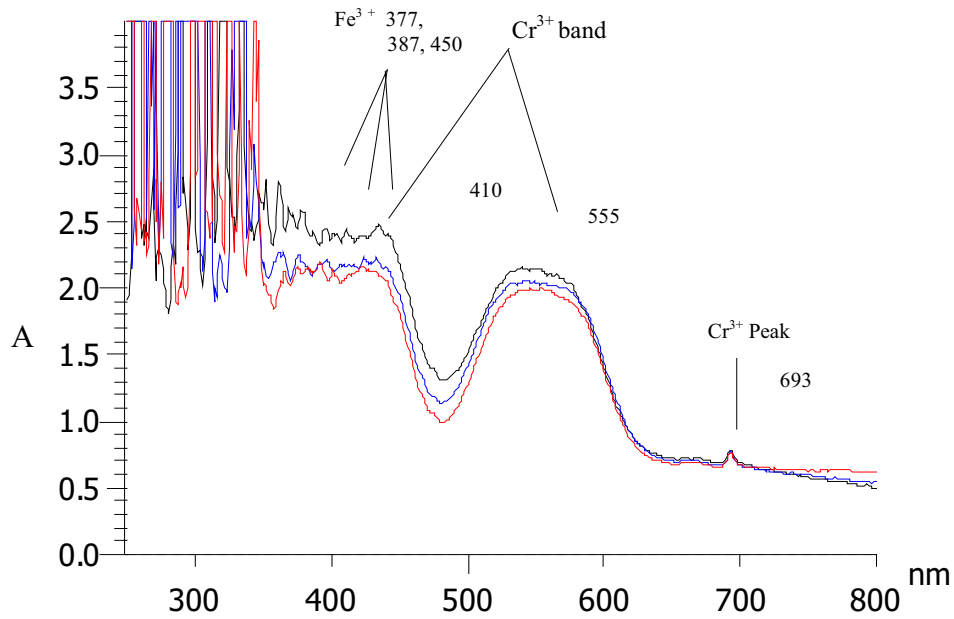
รูปที่ 172 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Andilamena รหัสตัวอย่าง Anm2-5-022เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—) เผาครั้งที่ 3 (—) สังเกตว่าหลังการเผาครั้งที่ 3 IVCT band ของ $\text{Fe}^{2+} / \text{Ti}^{4+}$ แคบลง เนื่องจากเสื่อมมัวของพลอยลดลง



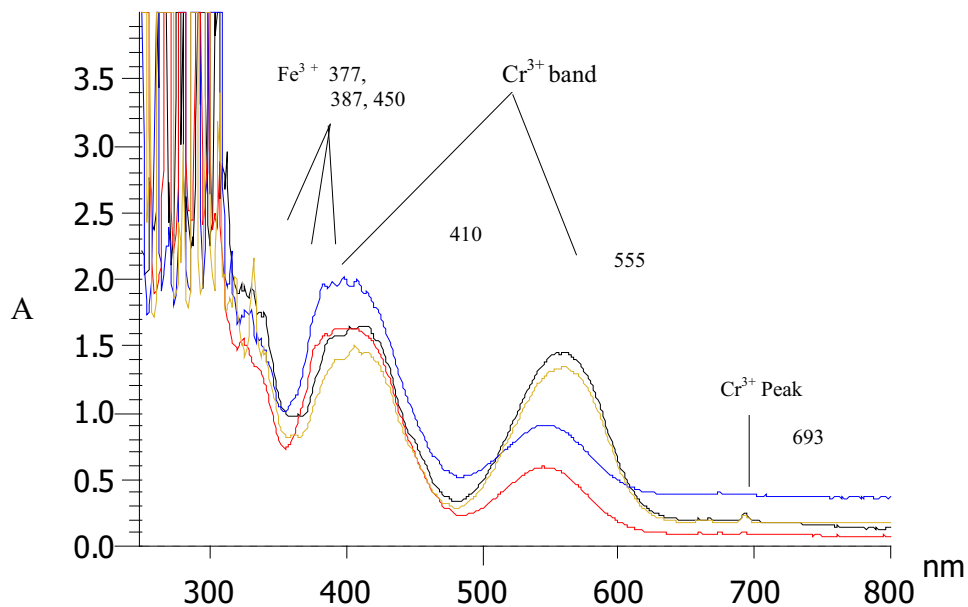
รูปที่ 173 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Andilamena รหัสตัวอย่าง Anm3-5-008 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากกับแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



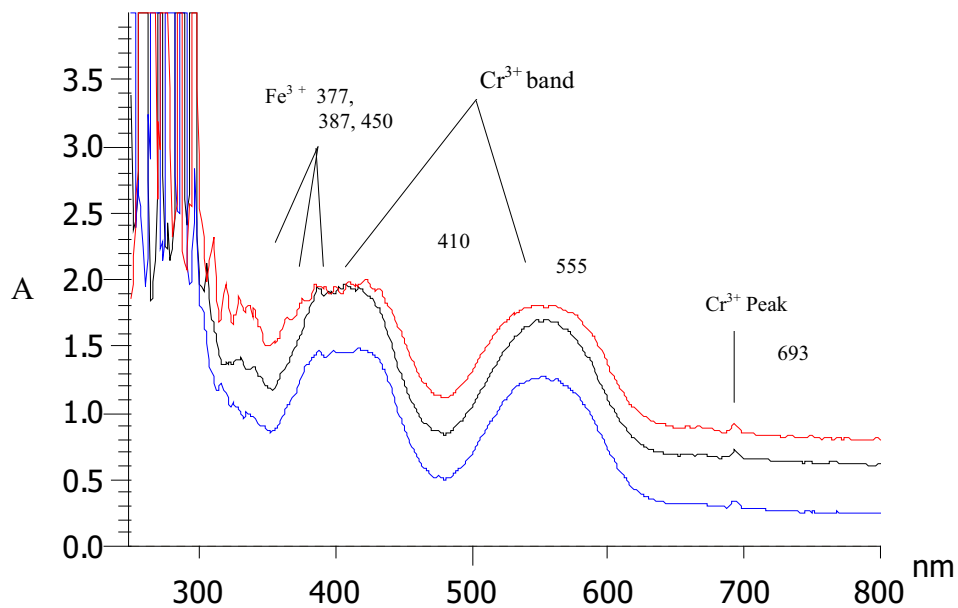
รูปที่ 174 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Andilamena รหัสตัวอย่าง Anm4-1-002 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากกับแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



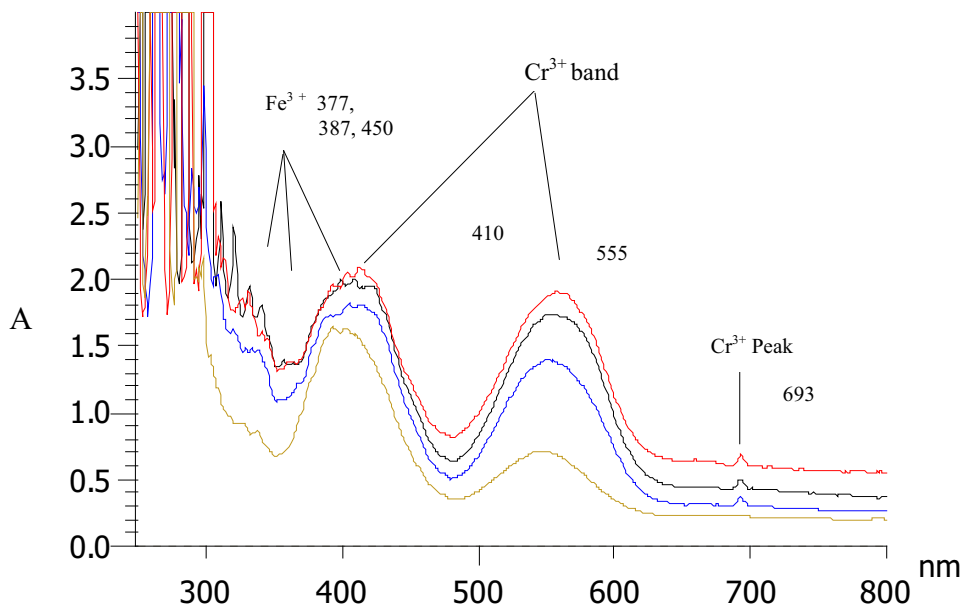
รูปที่ 175 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Andilamena รหัสตัวอย่าง Anm5-5-001 เปรียบเทียบ การดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



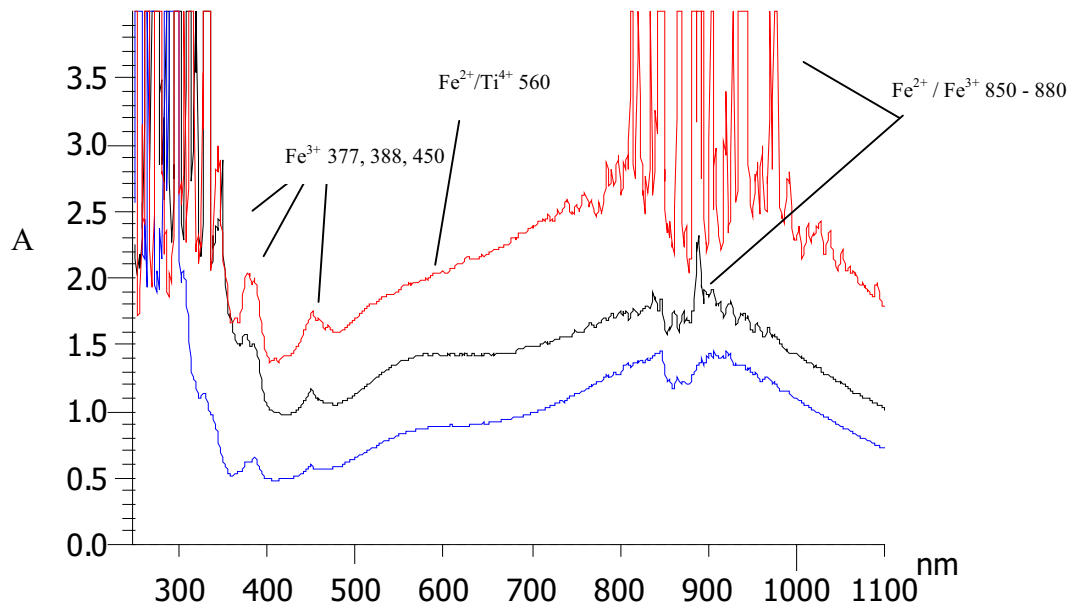
รูปที่ 176 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Andilamena รหัสตัวอย่าง Anm6-5-004 เปรียบเทียบ การดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—) เผาครั้งที่ 3 (—)



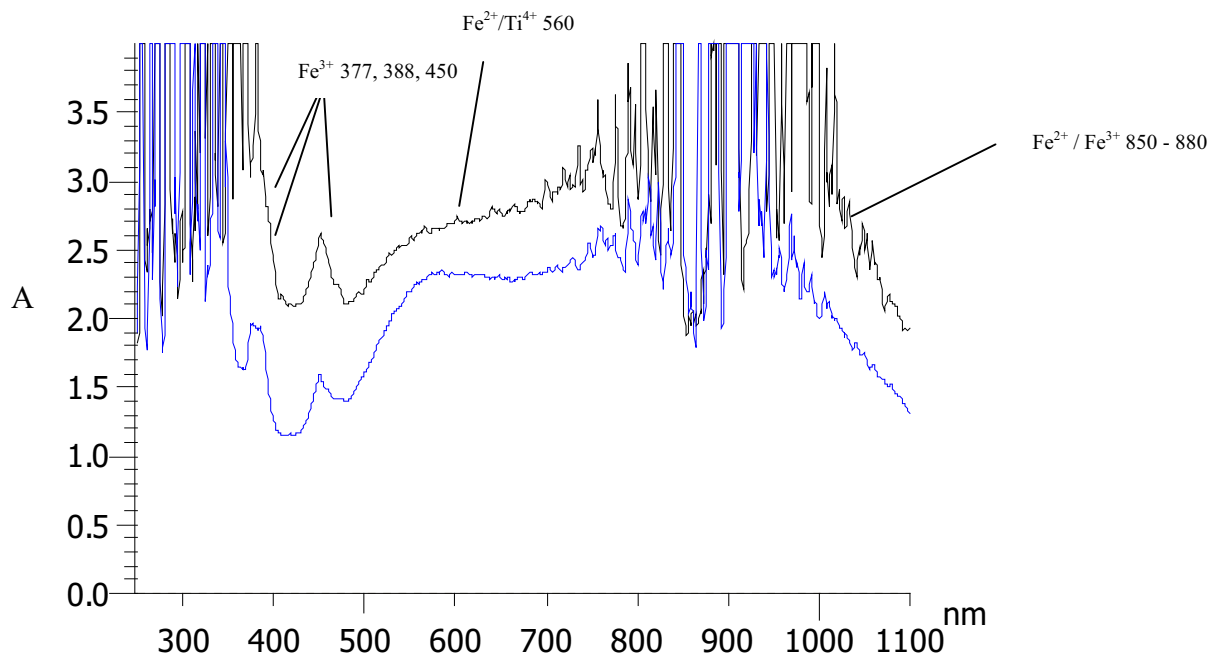
รูปที่ 177 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Vatomandry รหัสตัวอย่าง Vam3-019 เปรียบเทียบ การดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



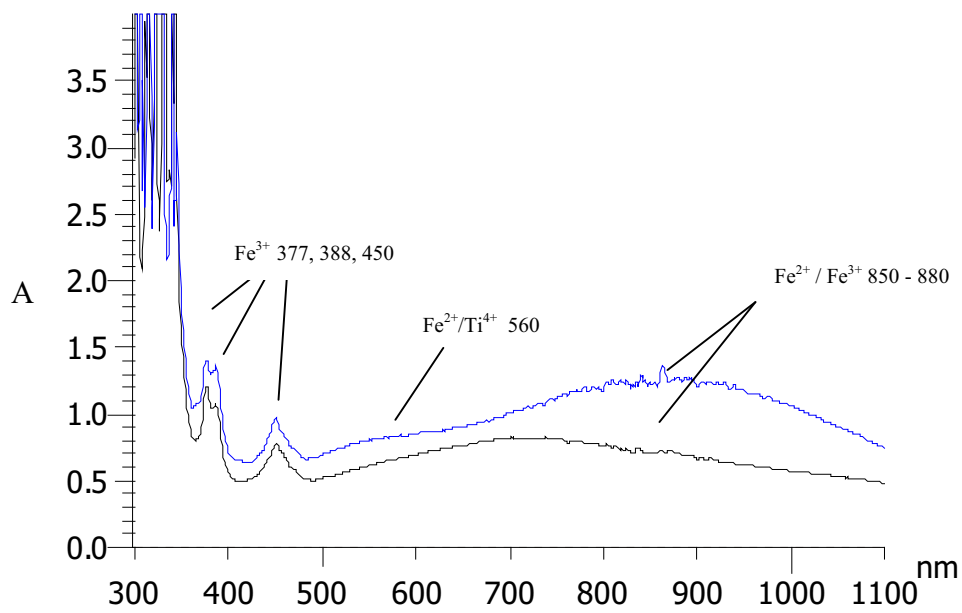
รูปที่ 178 Absorption spectrum ของทับทิมแหล่ง Vatomandry รหัสตัวอย่าง Vam4-004 เปรียบเทียบ การดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—) เผาครั้งที่ 3 (—)



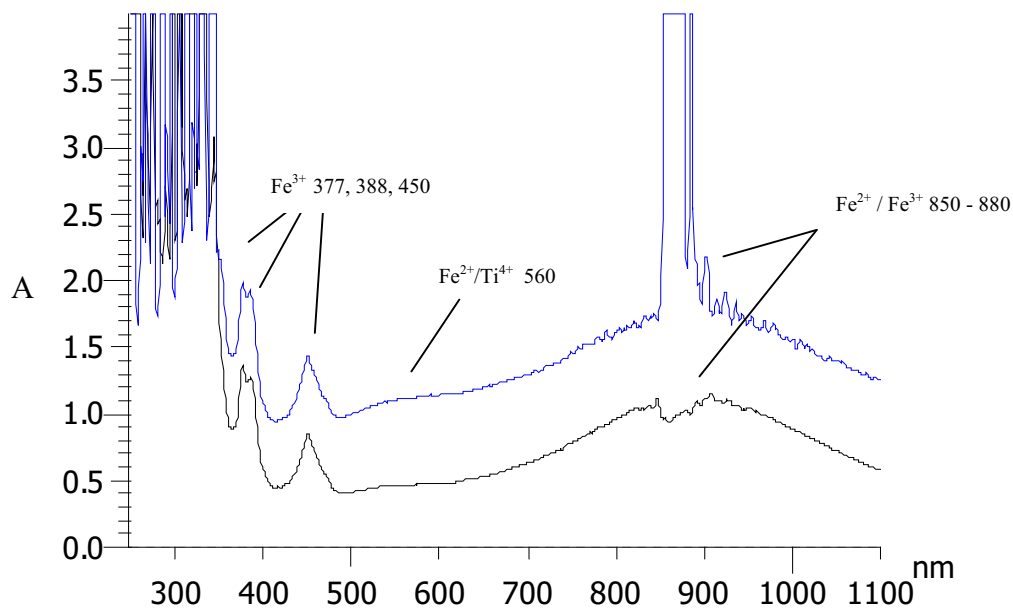
รูปที่ 179 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Diego รหัสตัวอย่าง Dig(b)002 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



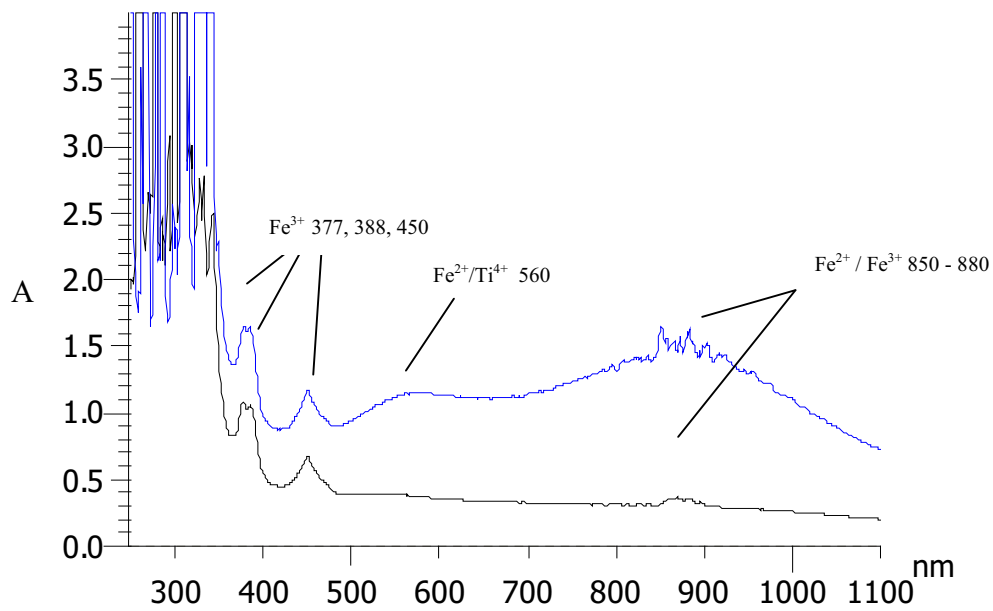
รูปที่ 180 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Diego รหัสตัวอย่าง Dig(bc)002 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



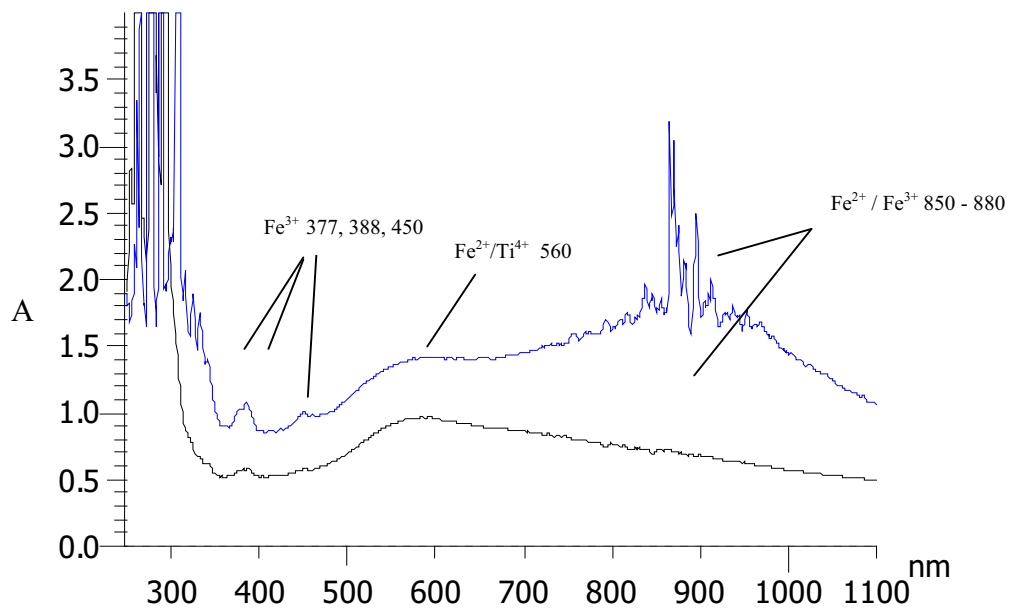
รูปที่ 181 Absorption spectrum ของเซปไฟร์แหล่ง Diego รหัสตัวอย่าง Dig(cc)011 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



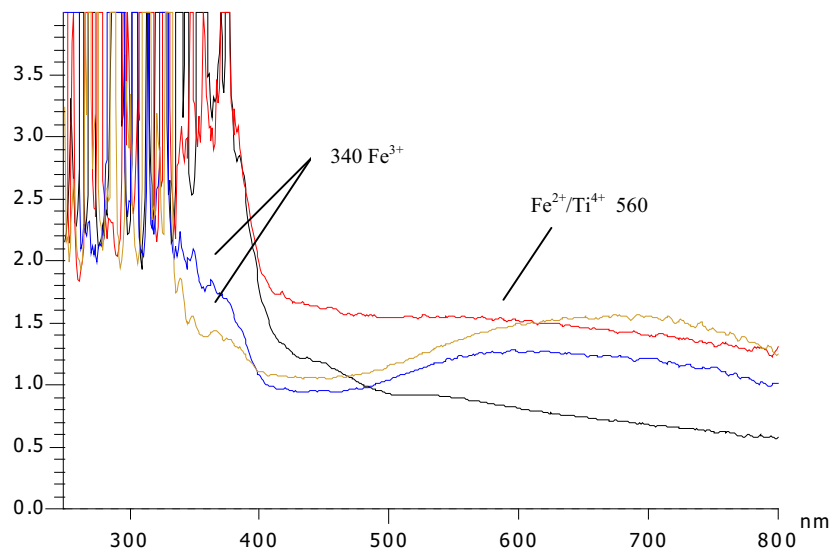
รูปที่ 182 Absorption spectrum ของเซปไฟร์แหล่ง Diego รหัสตัวอย่าง Dig(y)013 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



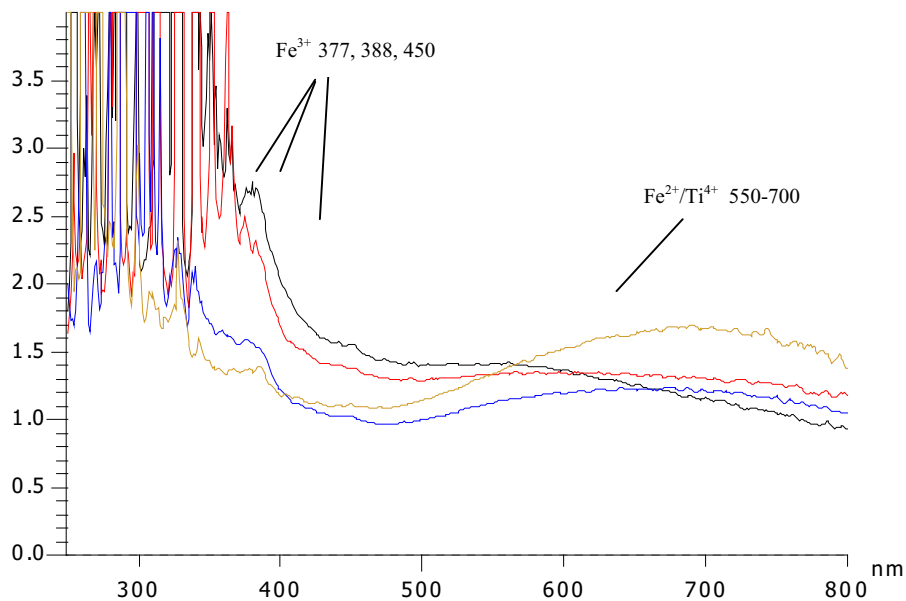
รูปที่ 183 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Diego รหัสตัวอย่าง Dig(yc)005 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



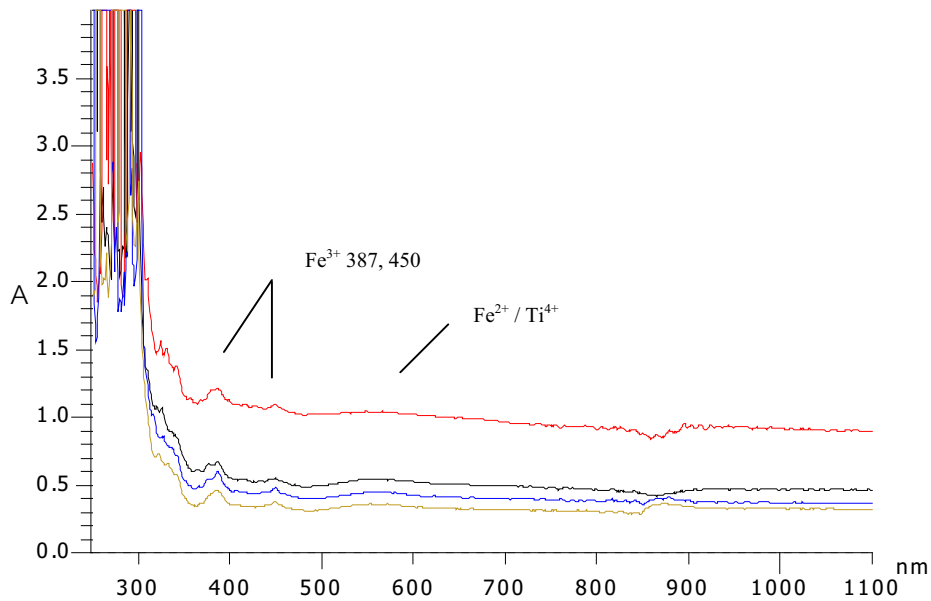
รูปที่ 184 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Andranondambo รหัสตัวอย่าง Anb018 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



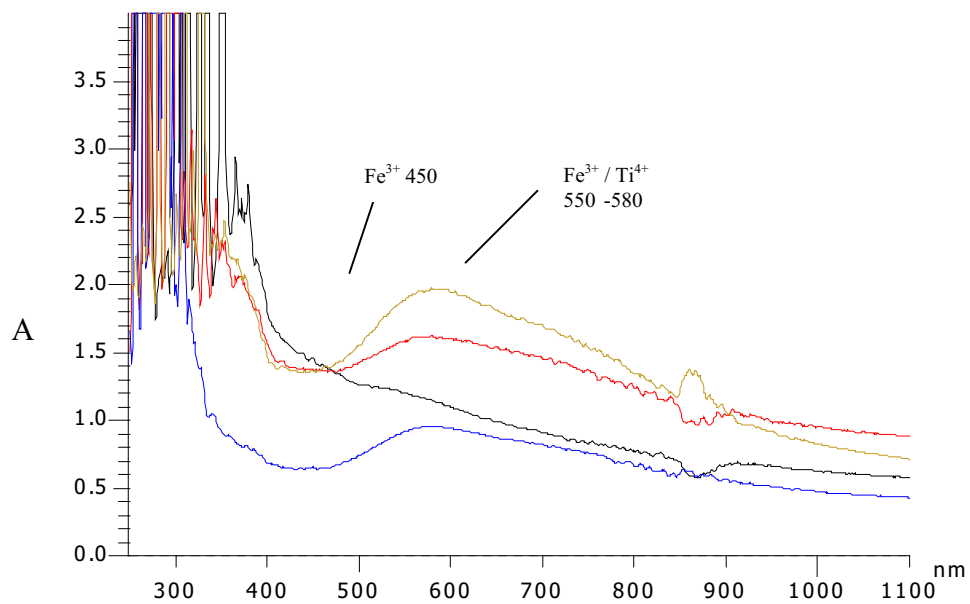
รูปที่ 185 แสดง Absorption spectrum ของเซปไฟร็กกลุ่มหว่าทอง รหัสตัวอย่าง IIk1-1-008 เปรียบเทียบระหว่างก่อนเผา (สีขาวขุ่น) (—) หลังเผาครั้งที่1 (ดูสีไม่ได้พลอยเคลือบด้วยเขม่า) (—) หลังเผาครั้งที่2 (สีฟ้าอ่อนหว่าไม่ขาด) (—) หลังเผาครั้งที่3 (สีน้ำเงินอ่อน) (—)



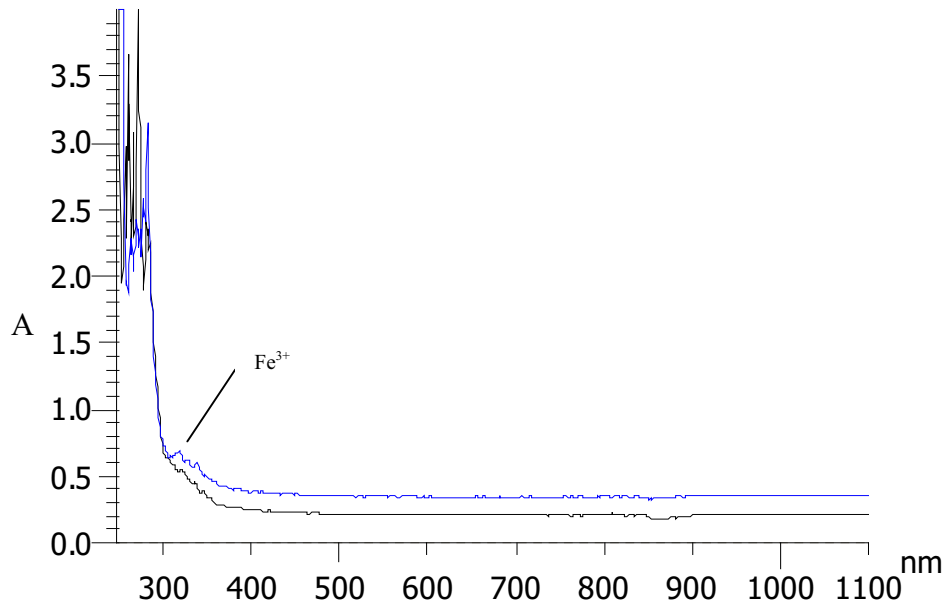
รูปที่ 186 แสดง Absorption spectrum ของเซปไฟร็กกลุ่มหว่าเข้ม รหัสตัวอย่าง IIk1-2-018 เปรียบเทียบระหว่างก่อนเผา (สีขาวขุ่น) (—) หลังเผาครั้งที่1 (ดูสีไม่ได้พลอยเคลือบด้วยเขม่า) (—) หลังเผาครั้งที่2 (สีน้ำเงินอ่อน) (—) หลังเผาครั้งที่3 (สีน้ำเงินเข้มขึ้น) (—)



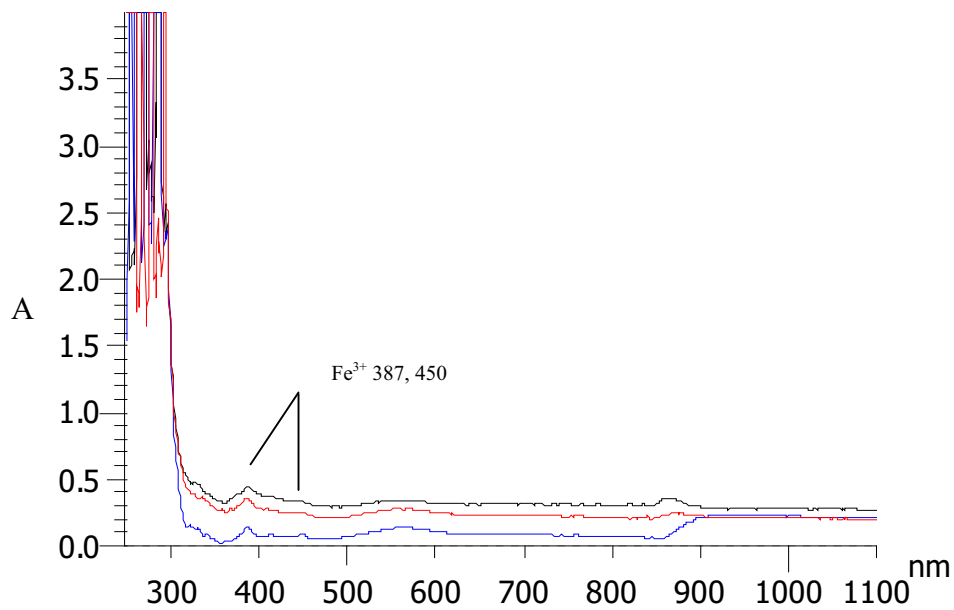
รูปที่ 187 Absorption spectrum ของเซปไฟร์แหล่ง Ilakaka รหัสตัวอย่าง Ilk1-3-001 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—) เผาครั้งที่ 3 (—)



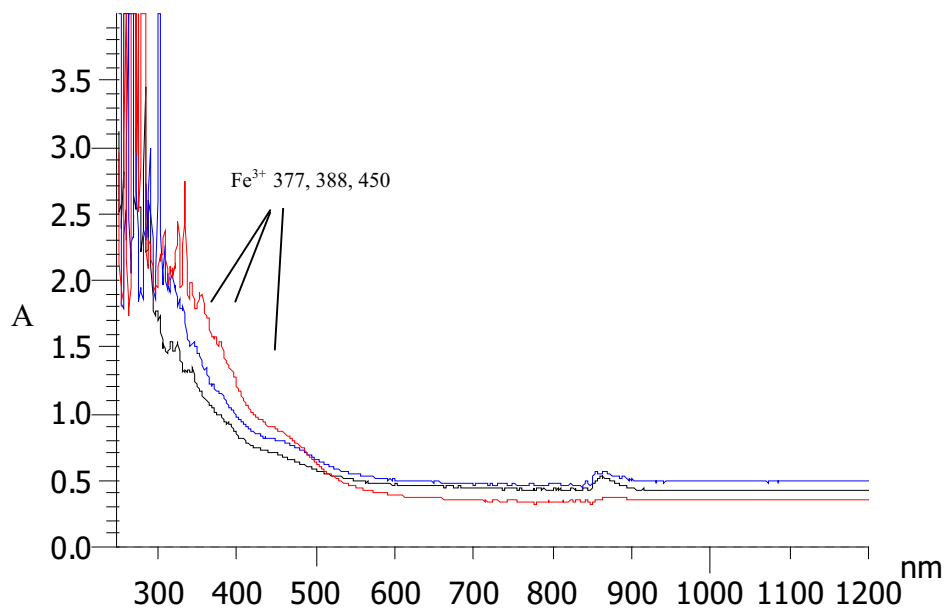
รูปที่ 188 Absorption spectrum ของเซปไฟร์แหล่ง Ilakaka รหัสตัวอย่าง Ilk1-4-001 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—) เผาครั้งที่ 3 (—)



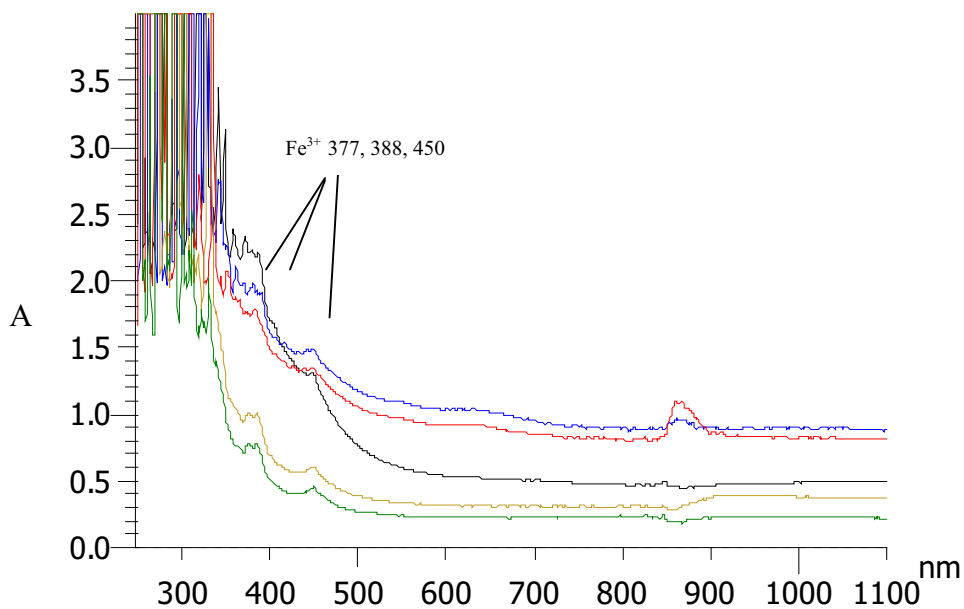
รูปที่ 189 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Ilakaka รหัสตัวอย่าง Ilk2-1-001 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



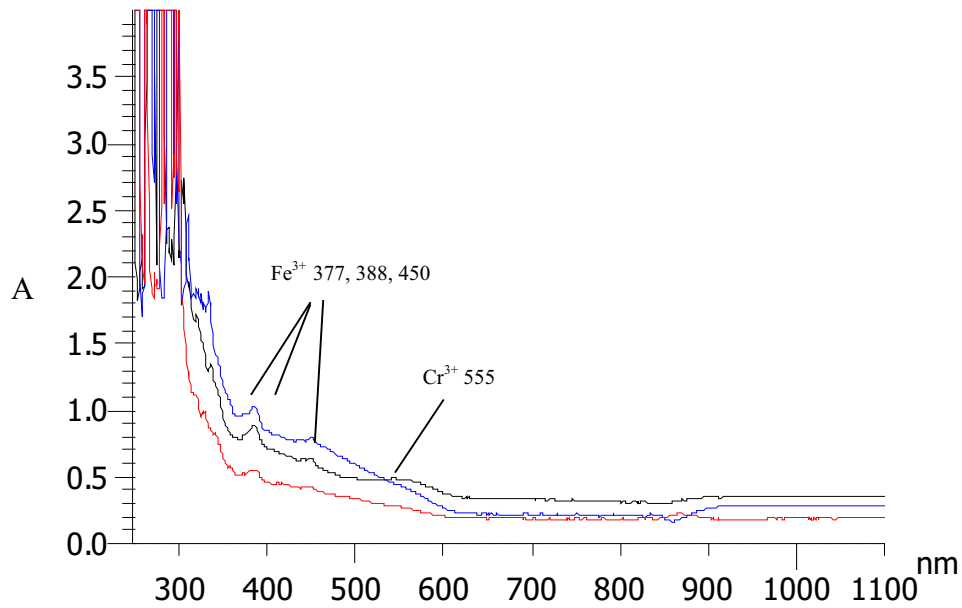
รูปที่ 190 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Ilakaka รหัสตัวอย่าง Ilk (c) 001 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



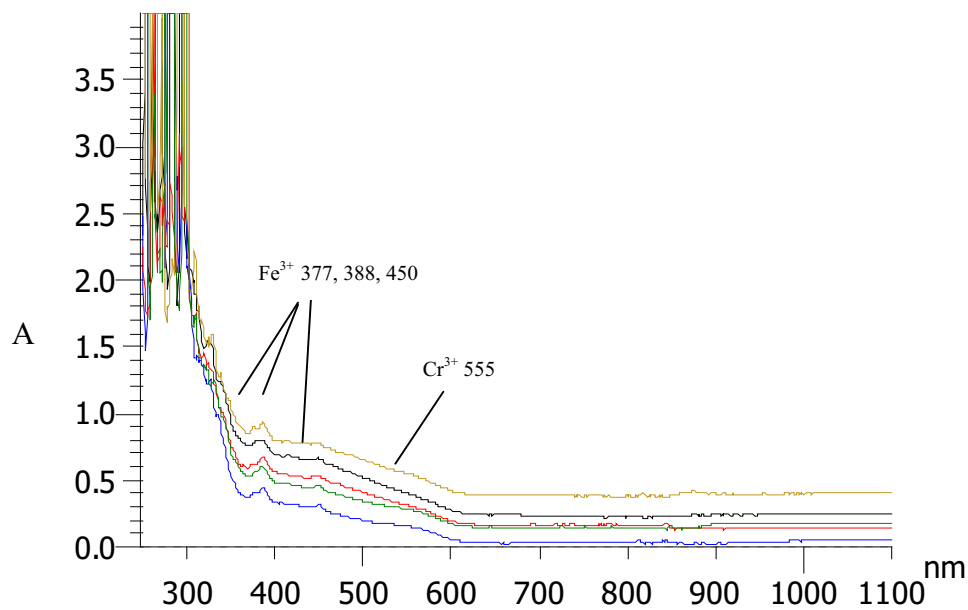
รูปที่ 191 Absorption spectrum ของเซปไฟร์แหล่ง Ilakaka รหัสตัวอย่าง IIk2-2-018 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



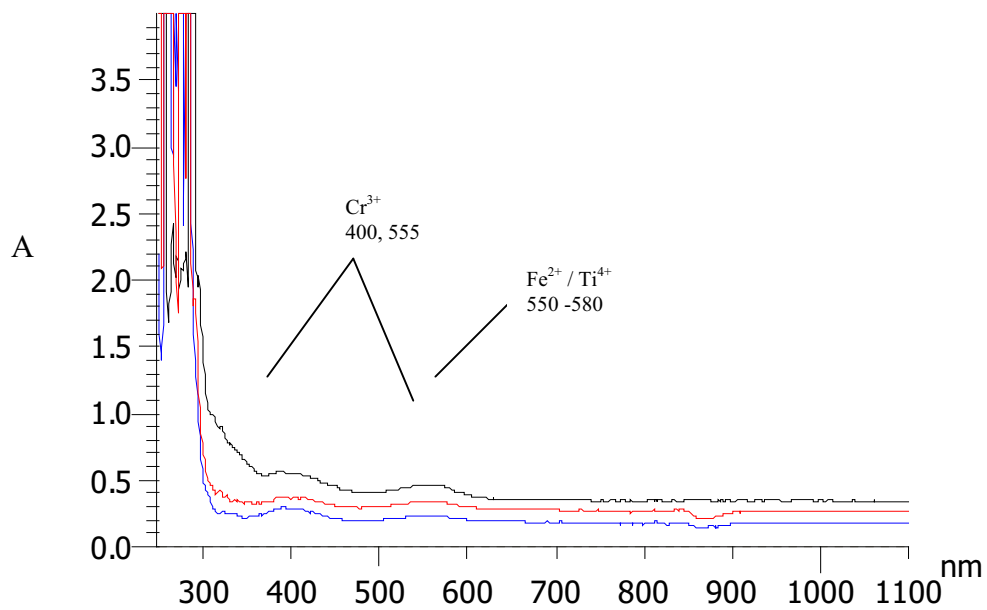
รูปที่ 192 Absorption spectrum ของเซปไฟร์แหล่ง Ilakaka รหัสตัวอย่าง IIk(y)008 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—) เผาครั้งที่ 3 (—) เผาครั้งที่ 4 (—)



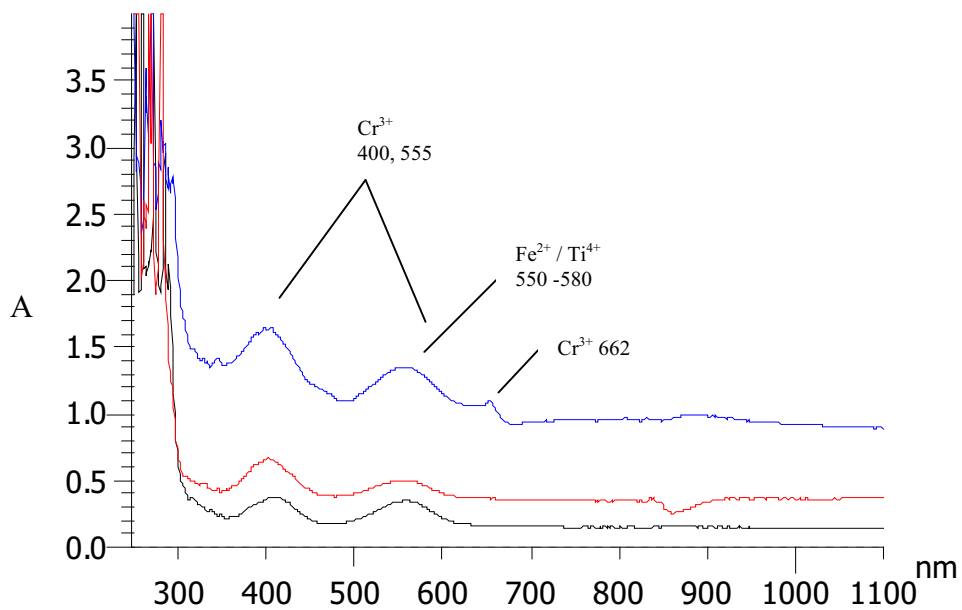
รูปที่ 193 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Ilakaka รหัสตัวอย่าง Ilk2-3-014 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



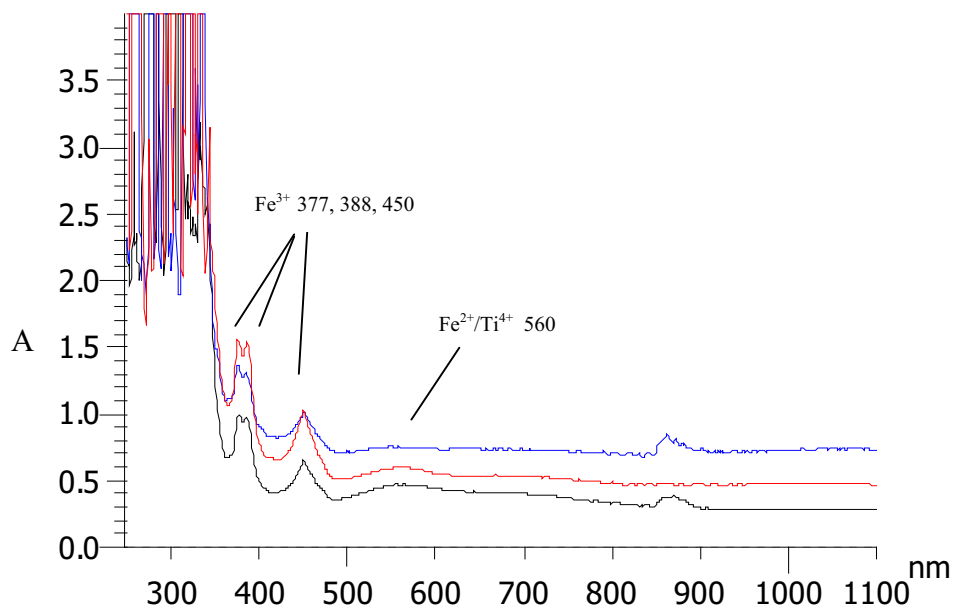
รูปที่ 194 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Ilakaka รหัสตัวอย่าง Ilk(o)001 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—) เผาครั้งที่ 3 (—) เผาครั้งที่ 4 (—)



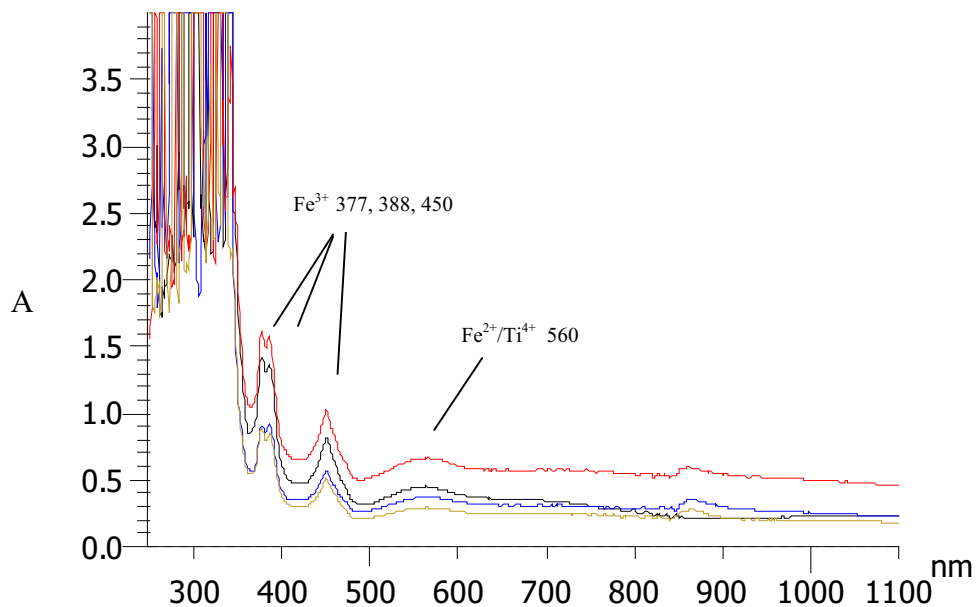
รูปที่ 195 Absorption spectrum ของเซปไฟร์แหล่ง Ilakaka รหัสตัวอย่าง Ilk2-4-006 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากกับแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



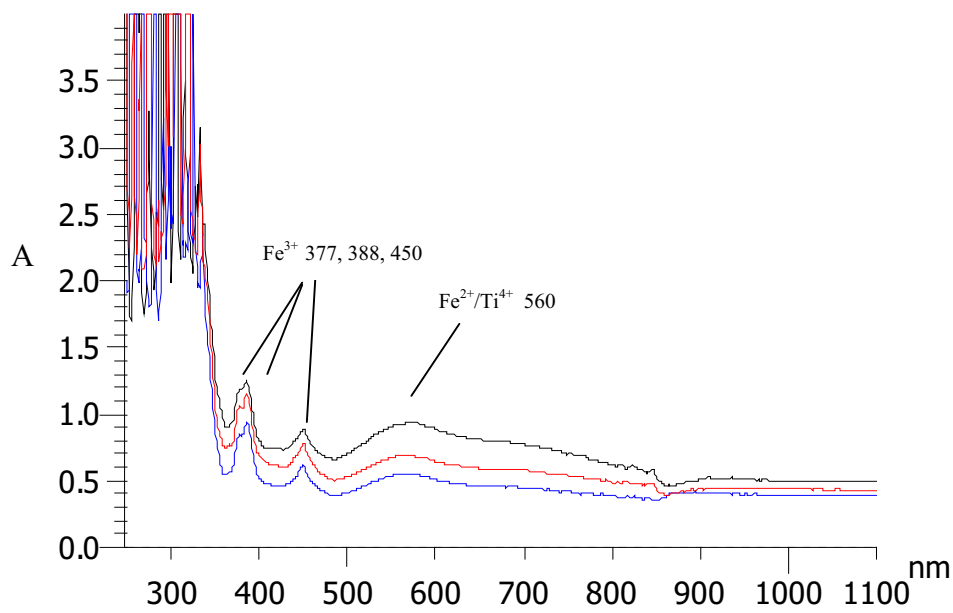
รูปที่ 196 Absorption spectrum ของเซปไฟร์แหล่ง Ilakaka รหัสตัวอย่าง Ilk(p)007 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากกับแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



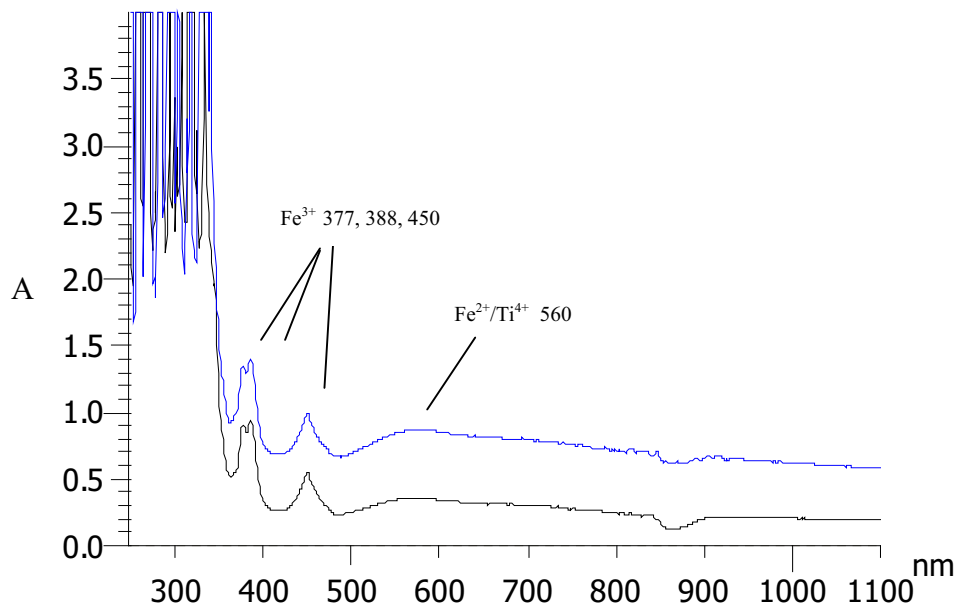
รูปที่ 197 Absorption spectrum ของเซปไฟร์แหล่ง Ilakaka รหัสตัวอย่าง Ilk2-5-010 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



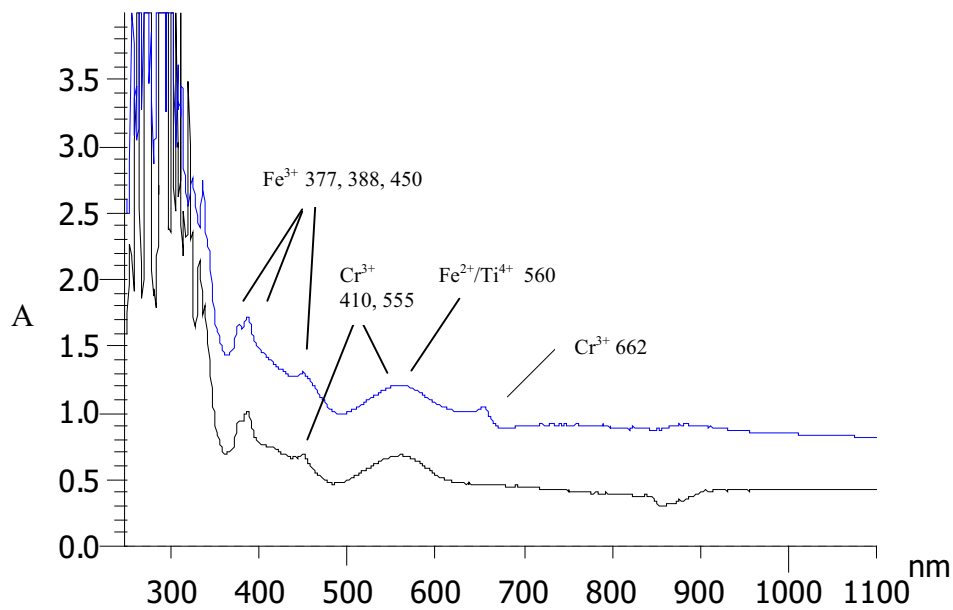
รูปที่ 198 Absorption spectrum ของเซปไฟร์แหล่ง Ilakaka รหัสตัวอย่าง Ilk(g)006 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—) เผาครั้งที่ 3 (—)



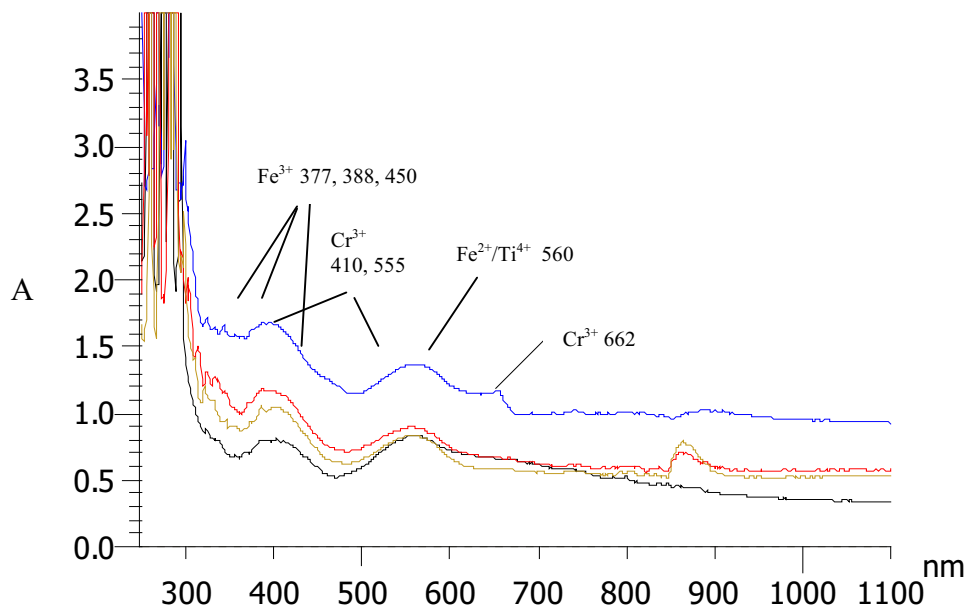
รูปที่ 199 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่งIlakaka รหัสตัวอย่าง Ilk2-6-001 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



รูปที่ 200 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่งIlakaka รหัสตัวอย่าง Ilk(b)003 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



รูปที่ 201 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Ilakaka รหัสตัวอย่าง IIk2-7-006 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 2 (—)



รูปที่ 202 Absorption spectrum ของแซปไฟร์แหล่ง Ilakaka รหัสตัวอย่าง IIk(v)012 เปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของทิศทางตั้งฉากแกนแสงระหว่างก่อนเผา (—) เผาครั้งที่ 1 (—) เผาครั้งที่ 2 (—) เผาครั้งที่ 3 (—)

4. สรุปและวิจารณ์ผล

4.1 ภาพรวม

จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในวิธีการศึกษาแบบต่างๆ พร้อมผลสรุปบางส่วนจากการศึกษานั้นๆ แสดงรวมในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 จำนวนตัวอย่าง วิธีการศึกษา และสรุปผลการศึกษาบางส่วน of โครงการวิจัย

แหล่งตัวอย่าง		Andilamena	Vatomandry	Diego Suarez	Andranondambo	Ilakaka
ชนิดของพลอย		ทับทิม	ทับทิม	แซปไฟร์สีน้ำเงิน-เขียว-เหลือง	แซปไฟร์สีน้ำเงิน	แซปไฟร์หลากสี
จำนวน (เม็ด)		368	93	99	48	5242
น้ำหนัก (กรัม)		369.023	66.346	118.368	27.685	5961.17
ตัวอย่างที่นำไปศึกษาสมบัติพื้นฐานทางอัญมณีวิทยา		302	93	99	48	มีหมา 56 ไม่มีหมา 205
ถ.พ.		3.930 – 4.103	3.894 – 4.096	3.960 – 4.065	3.825 – 4.070	3.811 – 4.037
R.I.	n_c	1.759 – 1.765	1.761 – 1.763	1.759 – 1.769	1.760 – 1.763	1.759 – 1.764
	n_w	1.768 – 1.774	1.769 – 1.771	1.767 – 1.779	1.768 – 1.771	1.767 – 1.772
การเรืองแสง UV*	คลื่นสั้น	+	+	-	-	-
	คลื่นยาว	+	+	-	-	±
กำเนิดของพลอย (จาก literature)		basaltic (?)	basaltic (?)	basaltic	pegmatitic (?) or metasomatic (?)	metamorphic
ตัวอย่างที่วัด absorption spectrum		302	93	99	48	มีหมา 56 ไม่มีหมา 205
ตัวอย่างที่วิเคราะห์เคมี		32	8	34	14	22 91
ตัวอย่างที่ศึกษามลทิน		34	11	7	8	5 21
ตัวอย่างที่ทดลองเผา		91	26	36	15	21 105

หมายเหตุ * + = เรืองแสง, - = ไม่เรืองแสง, ± = บางตัวอย่างเรืองแสง บางตัวอย่างไม่เรืองแสง

4.2 ผลการศึกษาสมบัติพื้นฐานทางอัญมณีวิทยาของตัวอย่างพลอย

พลอยตระกูลคอรันดัมจากแหล่งต่างๆ ของมาดากัสการ์ มีค่าสมบัติพื้นฐานทางอัญมณีวิทยาอยู่ในช่วงปกติของพลอยคอรันดัมทั่วไป โดยค่าความถ่วงจำเพาะต่ำสุด = 3.811 เป็นของแซปไฟร์จากแหล่ง Ilakaka และสูงสุด = 4.103 เป็นของทับทิมจากแหล่ง Andilamena มีค่าดัชนีหักเหของแสงต่ำสุด : $n_c = 1.759$ เป็นของทับทิมจากแหล่ง Andilamena และแซปไฟร์จากแหล่ง Diego Suarez และ Ilakaka ค่าดัชนีหักเหของแสงสูงสุด : $n_o = 1.779$ เป็นของแซปไฟร์จากแหล่ง Diego Suarez

4.3 ผลการศึกษามลทินในเนื้อพลอย

มลทินที่พบเสมอในพลอยจากทุกแหล่งคือ zircon รองลงมาคือ rutile เนื่องจากจำนวนตัวอย่างทับทิมจากแหล่ง Andilamena ที่นำมาศึกษาแร่มลทินสูงกว่าตัวอย่างจากแหล่งอื่นๆ จึงดูเหมือนว่า ทับทิมจาก Andilamena มีแร่มลทินหลากหลายชนิดที่สุด แต่ถ้าพิจารณาประกอบกับการศึกษาอื่นที่มีการตีพิมพ์เผยแพร่ แซปไฟร์จากแหล่ง Andranondambo น่าจะมีความหลากหลายของแร่มลทินใกล้เคียงกัน

การศึกษาตัวอย่างพลอยภายใต้กล้องจุลทรรศน์อัญมณี เพื่อตรวจสอบลักษณะภายในเนื้อพลอยสรุปแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สรุปผลการตรวจสอบลักษณะภายในเนื้อพลอยด้วยกล้องจุลทรรศน์

แหล่ง	จำนวนตัวอย่างพลอย			
	จำนวนตัวอย่างรวม	ตัวอย่างที่มีมลทิน	ตัวอย่างที่สะอาดไม่มีมลทิน	ตัวอย่างที่มีรอยแตกร้าว
Andilamena	246	135 (55%)	111 (45%)	72 (30%)
Vatomandry	85	75 (88%)	10 (12%)	13 (15%)
Diego Suarez	99	72 (73%)	27 (27%)	50 (50%)
Andranondambo	48	32 (62%)	16 (33%)	9 (19%)
ไม่มีหม่า	115	80 (70%)	35 (30%)	10 (8%)
Ilakaka	มีหม่า	56	56 (100%)	0 (0%)

จะเห็นได้ว่า หากไม่นับแซปไฟร์จากแหล่ง Ilakaka กลุ่มที่มีหม่า ซึ่งถือว่าหม่าคือมลทินที่มีอยู่ในเนื้อพลอย แต่ขนาดเล็กมาก เมื่อเปรียบเทียบพลอยจากแหล่งต่างๆ สัดส่วนของพลอยที่มีมลทินสูงสุดคือทับทิมจากแหล่ง Vatomandry ในขณะที่ทับทิมจากแหล่ง Andilamena สะอาดที่สุด (มีมลทินเป็นสัดส่วนน้อยที่สุด) สำหรับร่องรอยแตกร้าวในเนื้อพลอย ปรากฏว่า แซปไฟร์จากแหล่ง Diego Suarez มีสัดส่วนสูงสุด คือประมาณ 50% ที่มีรอยแตกร้าวน้อยที่สุดคือ แซปไฟร์จากแหล่ง Ilakaka ซึ่งหากพิจารณาจากกระบวนการสะสมตัวของพลอยจากแหล่ง Ilakaka ที่เกิดแบบ palaeo-placer deposits และต่อมา สะสม

ตัวใหม่แบบ placer deposit อีกครั้ง ก็จะสอดคล้องกับผลการตรวจสอบลักษณะแร่ขาวภายในเนื้อพลอยที่มีสัดส่วนต่ำ เพราะระหว่างสะสมตัว รอยร้าวที่มีอยู่จะทำให้พลอยแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ ที่เหลืออยู่จึงมีเพียงพลอยที่แตกร่วมน้อยเท่านั้น

4.4 ผลการศึกษา absorption spectrum

การศึกษา absorption spectrum ของตัวอย่างพลอยคอร์นคัม โดยเทคนิค UV-Vis-NIR spectrophotometry ดำเนินการตรวจวัดในตัวอย่างพลอยทั้งก่อนและหลังการทดลองเผา เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการเผา

ลักษณะ/รูปแบบ absorption spectrum ของตัวอย่างพลอยก่อนเผา ปรากฏว่า spectrum ของทับทิมจากแหล่ง Andilamena และ Vatomandry มีรูปแบบคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ แสดง absorption bands ของ Cr^{3+} ที่ตำแหน่ง 410 และ 555 nm และมักแสดง peaks ของ Fe^{3+} ที่ตำแหน่งประมาณ 377, 387 และ 450 nm ด้วย

แซปไฟร์จากแหล่ง Diego Suarez แสดง peaks ของ Fe^{3+} แสดง $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ IVCT band ที่ตำแหน่งประมาณ 560 nm และ $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ IVCT band ที่ประมาณ 850-880 nm ส่วนแซปไฟร์จากแหล่ง Andranondambo แสดงรูปแบบ spectrum คล้ายคลึงกัน แต่ไม่มี IVCT band ของ $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$

แซปไฟร์จากแหล่ง Ilakaka แสดงรูปแบบ spectrum ที่แตกต่างกันไป ตามสีหลักของตัวอย่างพลอย แต่เนื่องจากตัวอย่างพลอยส่วนใหญ่มีสีค่อนข้างอ่อน intensity ของ absorption จึงค่อนข้างต่ำ

การตรวจวัด absorption spectrum ของตัวอย่างพลอยหลังเผา หากมีการเปลี่ยนสี และ/หรือ ความใส จะเห็นความแตกต่างของ spectrum ที่ชัดเจน ใช้เป็นเครื่องบ่งบอกความเปลี่ยนแปลงระหว่างตัวอย่างพลอยก่อนและหลังเผาได้ดี

4.5 ผลการศึกษาคู่ประกอบทางเคมี

การศึกษาคู่ประกอบทางเคมีของตัวอย่างพลอย* โดยเฉพาะปริมาณธาตุร่องรอย ได้แก่ Ti, V, Cr, Fe และ Ga ใช้ผลวิเคราะห์ที่ได้จากเทคนิค electron probe microanalysis เป็นสำคัญ เพราะให้ผลที่แม่นยำกว่าเทคนิควิเคราะห์อื่นๆ เช่น ED-XRF หรือ PIXE แม้ว่า detection limit ของ PIXE อาจต่ำกว่าสำหรับธาตุบางธาตุที่วิเคราะห์ สำหรับตัวอย่างที่มี heterogeneity สูงเช่นตัวอย่างพลอยโดยทั่วไป เทคนิค EPMA เหมาะสมกว่า เพราะพื้นที่ที่ตรวจวัดมีขนาดเล็กมาก (ประมาณ 1 ไมครอน) ในขณะที่เทคนิค

หมายเหตุ ในการวิเคราะห์ได้ตรวจวัดปริมาณของ Al, Si และ Mg ด้วย แต่เนื่องจากไม่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีในพลอยตามหลักการที่เกี่ยวข้องในโครงการวิจัยนี้ จึงไม่นำมาพิจารณาด้วย

ED-XRF และ PIXE ตรวจวัดพื้นที่ประมาณ 2 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งเหมาะสำหรับตัวอย่างที่ค่อนข้าง homogeneous ข้อดีของเทคนิค EPMA คือสามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของบริเวณที่แสดงลักษณะกายภาพต่างกัน เช่น การกระจายตัวของสีหรือหมาในเนื้อพลอย เป็นต้น แต่ข้อเสียคือ ต้องใช้จุลวิเคราะห์จำนวนมากเพื่อหาค่าเฉลี่ยค่าความเข้มข้นของธาตุต่างๆ ในตัวอย่าง

การวิเคราะห์ ดำเนินการตรวจวัดในตัวอย่างพลอยทั้งก่อนและหลังการทดลองเผา ซึ่งปรากฏว่าปริมาณธาตุร่องรอยที่วัดในตัวอย่างพลอยก่อนและหลังเผา ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาปริมาณธาตุร่องรอยในตัวอย่างพลอยคอร์นดัมแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยปริมาณ oxide ของธาตุร่องรอยในคอร์นดัมจากแหล่งต่างๆ ของมาดากัสการ์ (คิดรวมผลวิเคราะห์ทั้งก่อนและหลังเผา)

แหล่งพลอย	จำนวนจุลวิเคราะห์	(wt%)				
		TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	FeO	Ga ₂ O ₃
Andilamena	234	0.0299	0.0203	0.6138	0.3841	0.0111
Vatomandry	29	0.0127	0.0266	0.3988	0.2274	0.0102
Diego Suarez	496	0.0627	0.0126	0.0091	0.7867	0.0348
Andranondambo	191	0.0494	0.0125	0.0091	0.3905	0.0176
Ilakaka (มีหมา)	532	0.0945	0.0175	0.0136	0.0934	0.0159
Ilakaka (ไม่มีหมา)	320	0.0233	0.0155	0.0323	0.2395	0.0184
Ilakaka (รวม)	852	0.0748	0.0169	0.0242	0.1483	0.0168

สรุปได้ว่า สำหรับ Ti แหล่งที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด (0.0748 wt%) คือ Ilakaka โดยเฉพาะกลุ่มที่มีหมา มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 0.0945 wt% TiO₂ ส่วนแหล่งที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด (0.0127 wt%) คือ Vatomandry

สำหรับ V แหล่งที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด (0.0266 wt%) คือ Vatomandry ส่วนแหล่งที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด (0.0125 wt%) คือ Andilamena

สำหรับ Cr แหล่งที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด (0.6138 wt%) คือ Andilamena ส่วนแหล่งที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด (0.0091 wt%) คือ Diego Suarez และ Andranondambo

สำหรับ Fe แหล่งที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด (0.7867 wt%) คือ Diego Suarez ส่วนแหล่งที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด (0.1483 wt%) คือ Ilakaka โดยเฉพาะกลุ่มที่มีหว่า มีค่าเฉลี่ยต่ำถึง 0.0934 wt% FeO

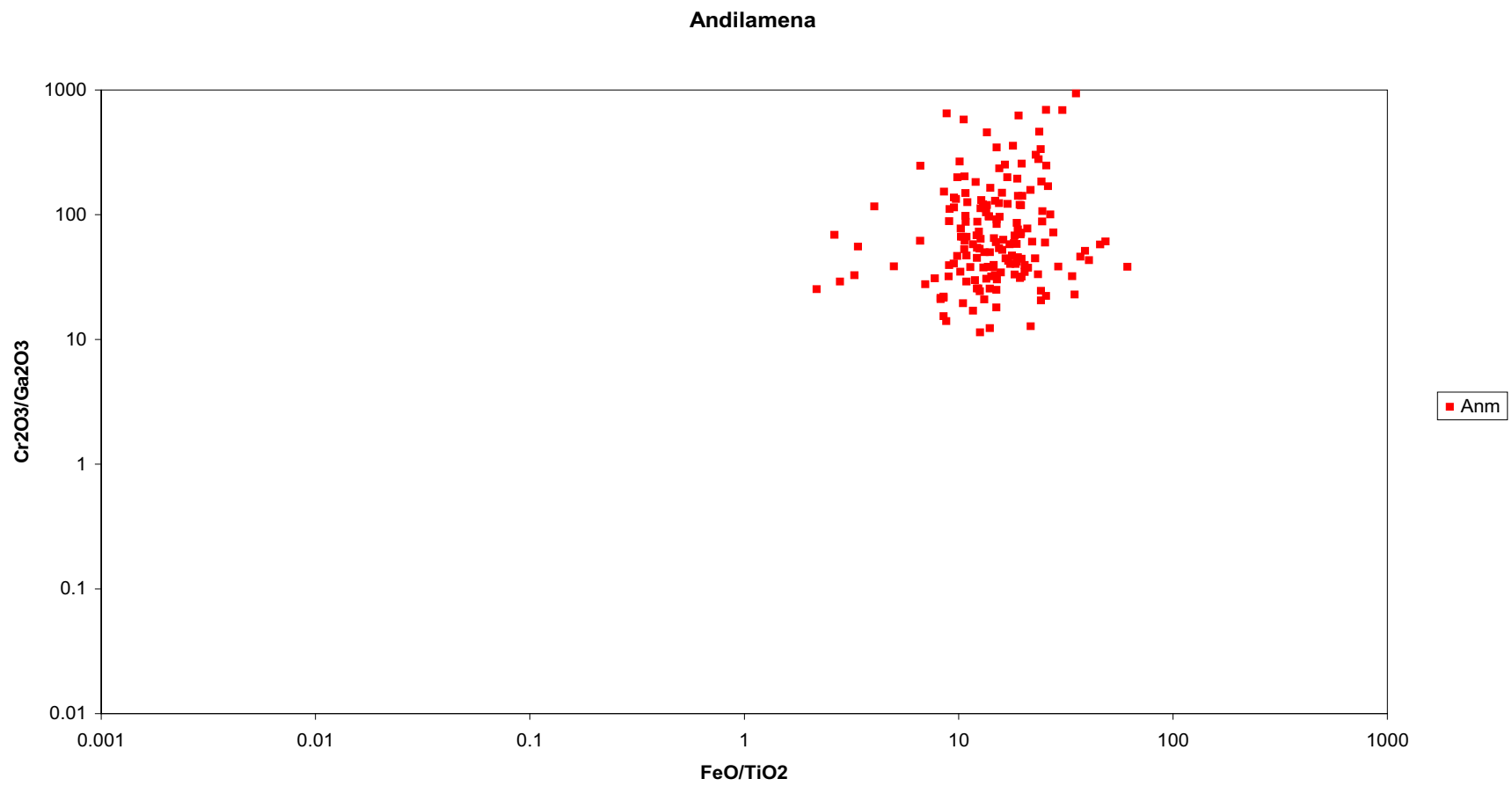
สำหรับ Ga แหล่งที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด (0.0348 wt%) คือ Diego Suarez ส่วนแหล่งที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด (0.0102 wt%) คือ Vatomandry

ปริมาณธาตุร่องรอยดังกล่าว เมื่อนำมา plot ลงใน variation diagrams ทำให้เห็นความแตกต่างของพลอยแต่ละแหล่งได้ชัดเจน (รูปที่ 203 ถึง 209)

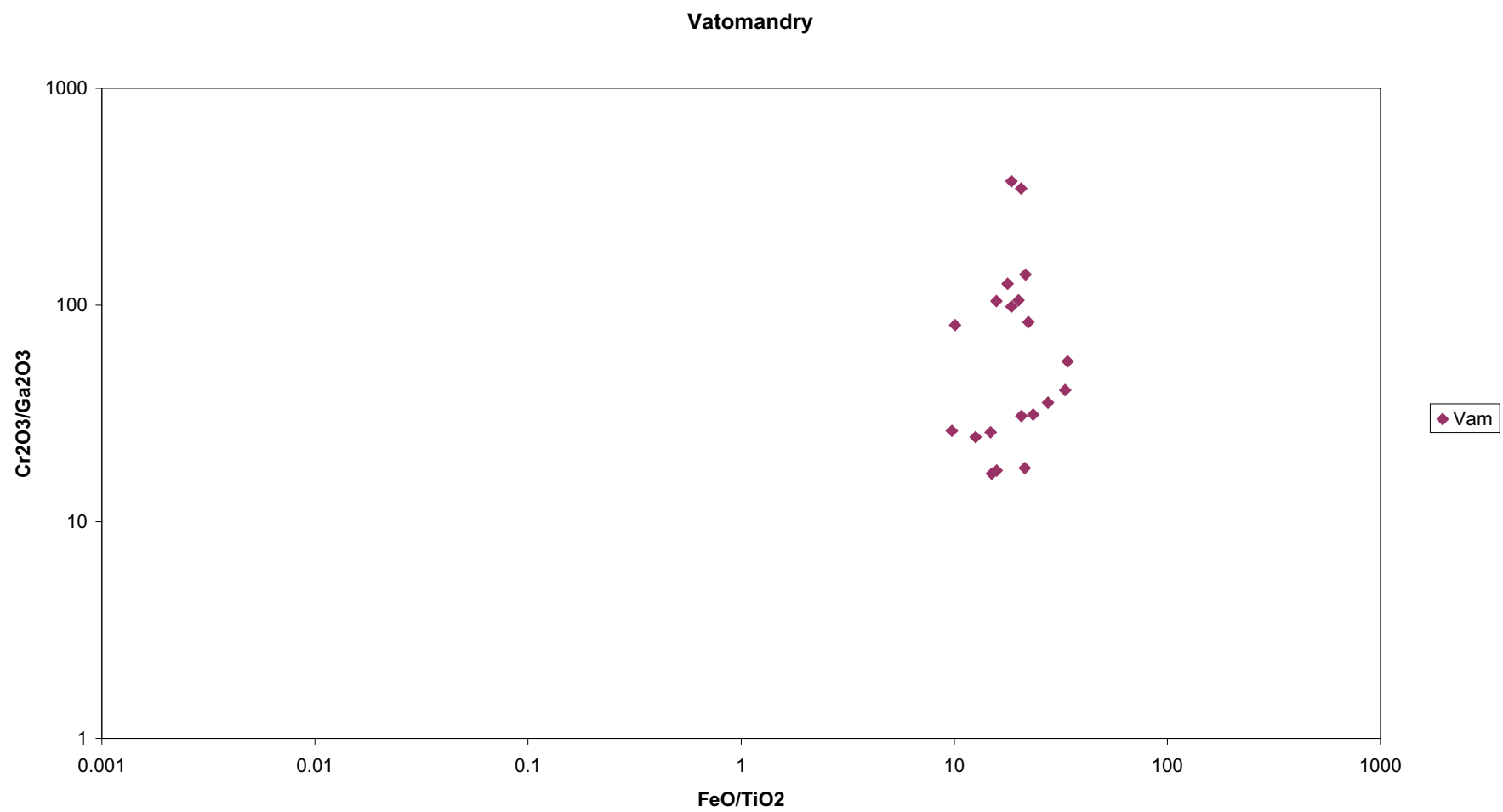
รูปที่ 210 แสดงความสัมพันธ์ของสปีพลอยคอร์รันดัม (ก่อนและหลังการทดลองเผา) กับธาตุ Cr, Fe และ Ti

4.6 การเปรียบเทียบลักษณะปรากฏทางกายภาพของพลอยกับสมบัติทางกายภาพ ทางแสงและทางเคมีที่ตรวจวัดได้โดยเครื่องมือวิทยาศาสตร์

ลักษณะปรากฏทางกายภาพ (physical appearance) ของพลอย หมายถึง ลักษณะสมบัติ (characteristics) ของพลอยก้อนหรือพลอยดิบที่ผู้ประกอบการหรือพ่อค้าพลอยใช้เป็นข้อบ่งชี้สำหรับการตัดสินใจเลือกซื้อ และกำหนดราคาพลอย การตรวจสอบลักษณะสมบัติเหล่านี้ ตามปกติผู้ประกอบการไม่มีโอกาสใช้เครื่องมือ/อุปกรณ์ขั้นสูงใดๆ นอกจากแว่นขยาย (loupe) (รูปที่ 211) หรือแว่นขยายชนิดสวมหัว (รูปที่ 212) และกระบอกไฟฉายสำหรับส่องดูภายในเนื้อพลอย (รูปที่ 213) โดยอาศัยประสบการณ์ (โดยเฉพาะบทเรียนที่ตนเคยประเมินค่าของพลอยผิดพลาดในอดีต) ประกอบกับไหวพริบและความช่างสังเกตของแต่ละบุคคล เป็นเครื่องช่วยตัดสินใจว่า พลอยก้อน/พลอยดิบที่ตรวจดูนั้น สมควรลงทุนซื้อหรือไม่? มีโอกาส/ศักยภาพที่จะนำไปเผาเพิ่มคุณภาพได้หรือไม่? ถ้าจะซื้อควรให้ราคาอย่างไร? ความสามารถของผู้ประกอบการแต่ละคนในการประเมินค่าคุณภาพและราคาของพลอยก้อน/พลอยดิบ จัดเป็นความสามารถเฉพาะบุคคลที่ผ่านการฝึกฝน ถ่ายทอด และมีโอกาสได้พบเห็นมามาก สิ่งที่รวบรวมนำเสนอในรายงานนี้ เป็นเพียงข้อมูลที่ได้รับถ่ายทอดจากที่ปรึกษาโครงการวิจัย (คุณประจักษ์ อังคะหิรัญ และคุณอนุภาพ ชินอุดมวงษ์) บางส่วนเท่านั้น โดยพยายามผูกโยงลักษณะปรากฏทางกายภาพต่างๆ ที่เชื่อว่าผู้ประกอบการใช้ในการตรวจดูพลอยกับสิ่งที่ตรวจวัดโดยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ได้เท่านั้น

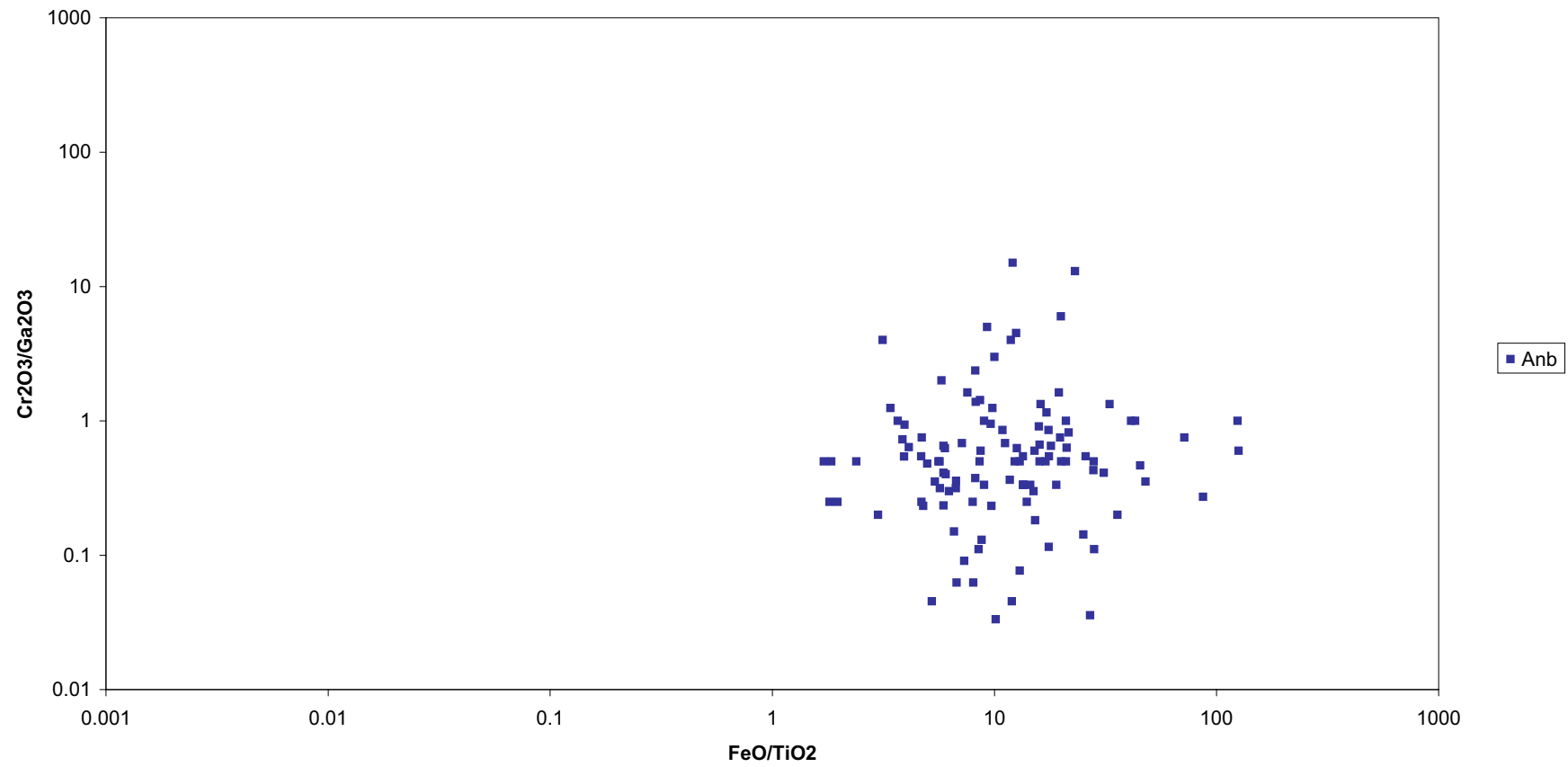


รูปที่ 203 Cr₂O₃ / Ga₂O₃ vs FeO / TiO₂ ของทับทิมแหล่ง Andilamena



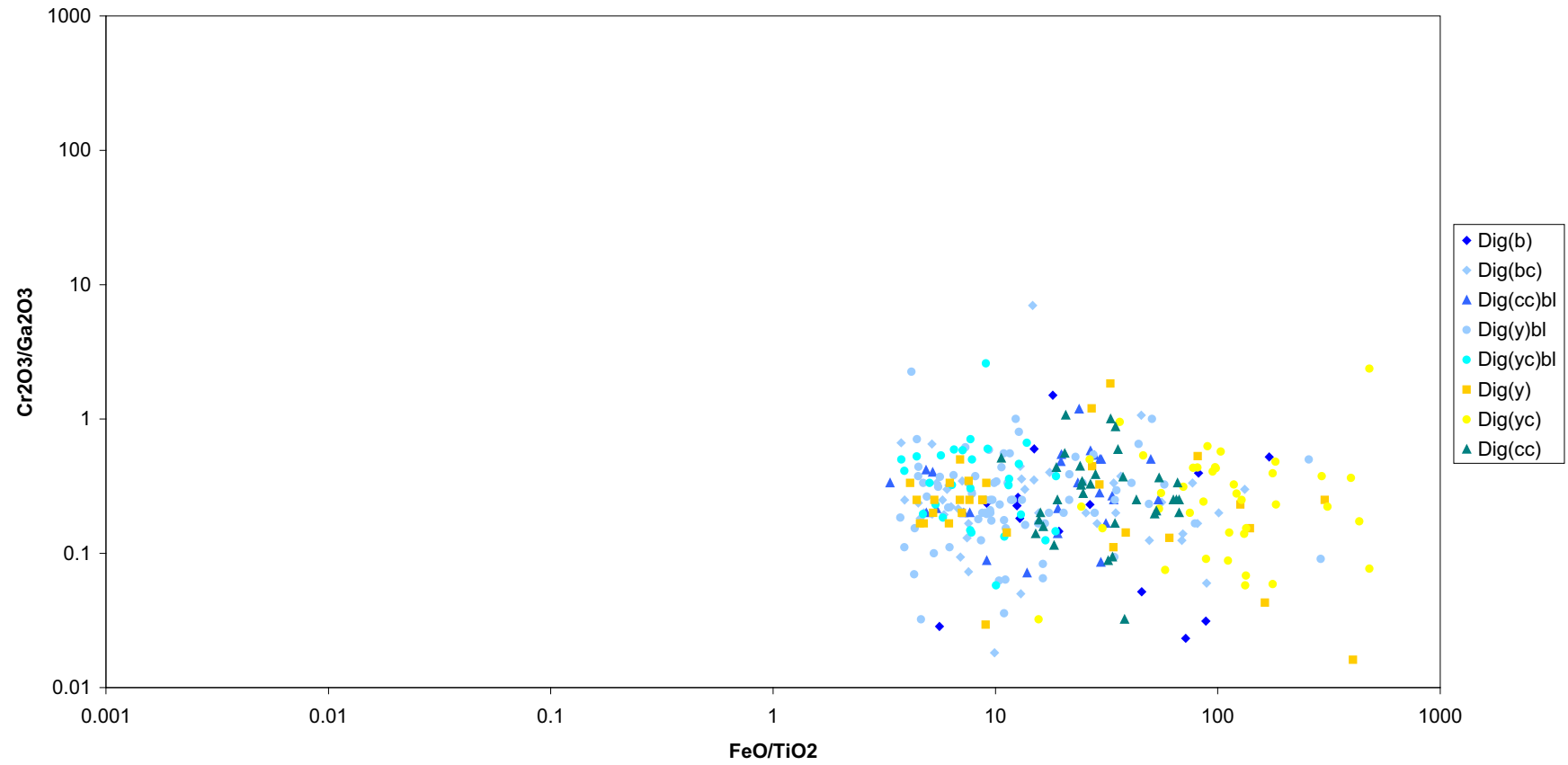
รูปที่ 204 Cr₂O₃ / Ga₂O₃ vs FeO / TiO₂ ของทับทิมแหล่ง Vatomandry

Andranondambo

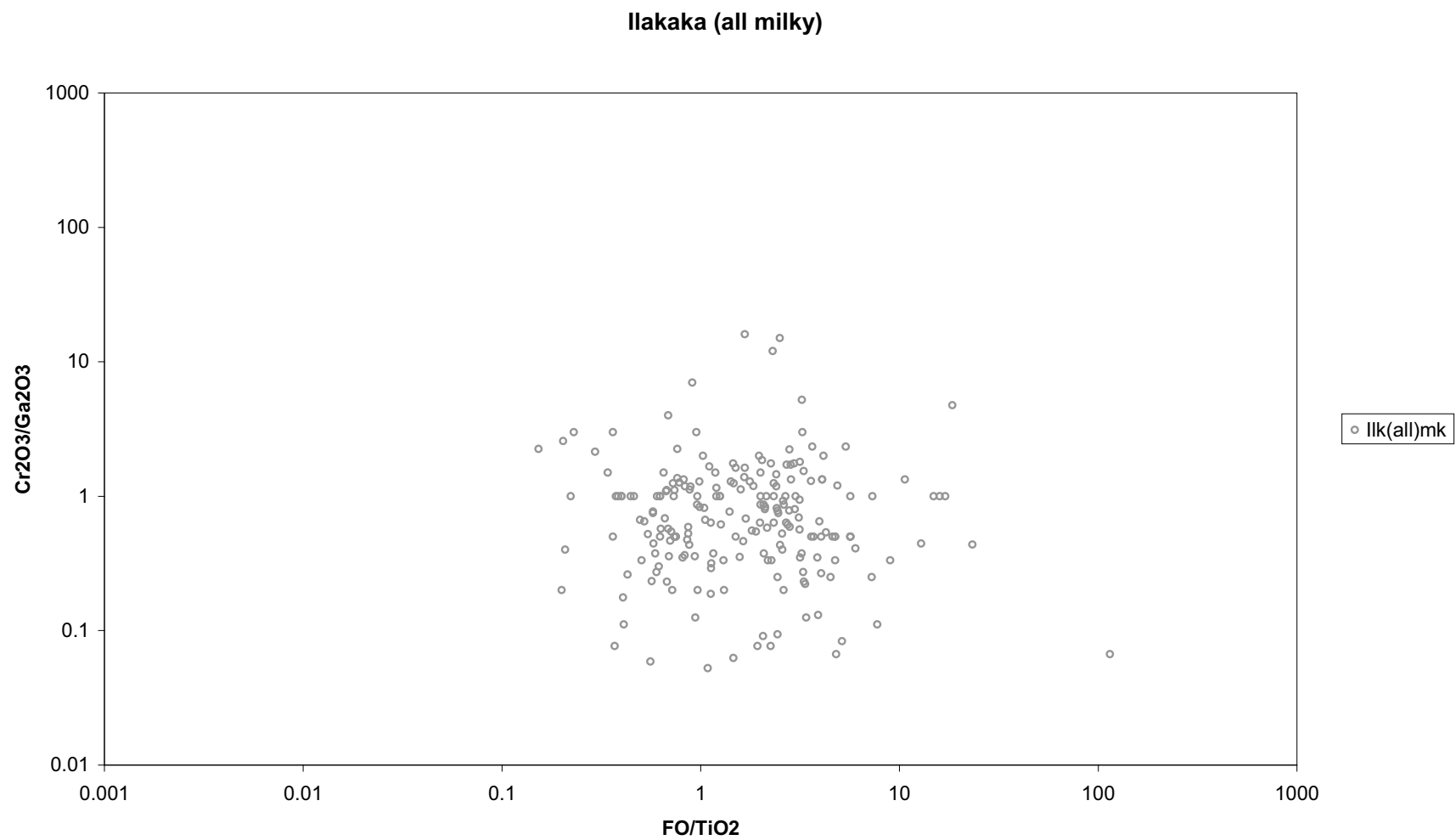


รูปที่ 205 $\text{Cr}_2\text{O}_3 / \text{Ga}_2\text{O}_3$ vs $\text{FeO} / \text{TiO}_2$ ของแซปไฟร์แหล่ง Andranondambo

Diego

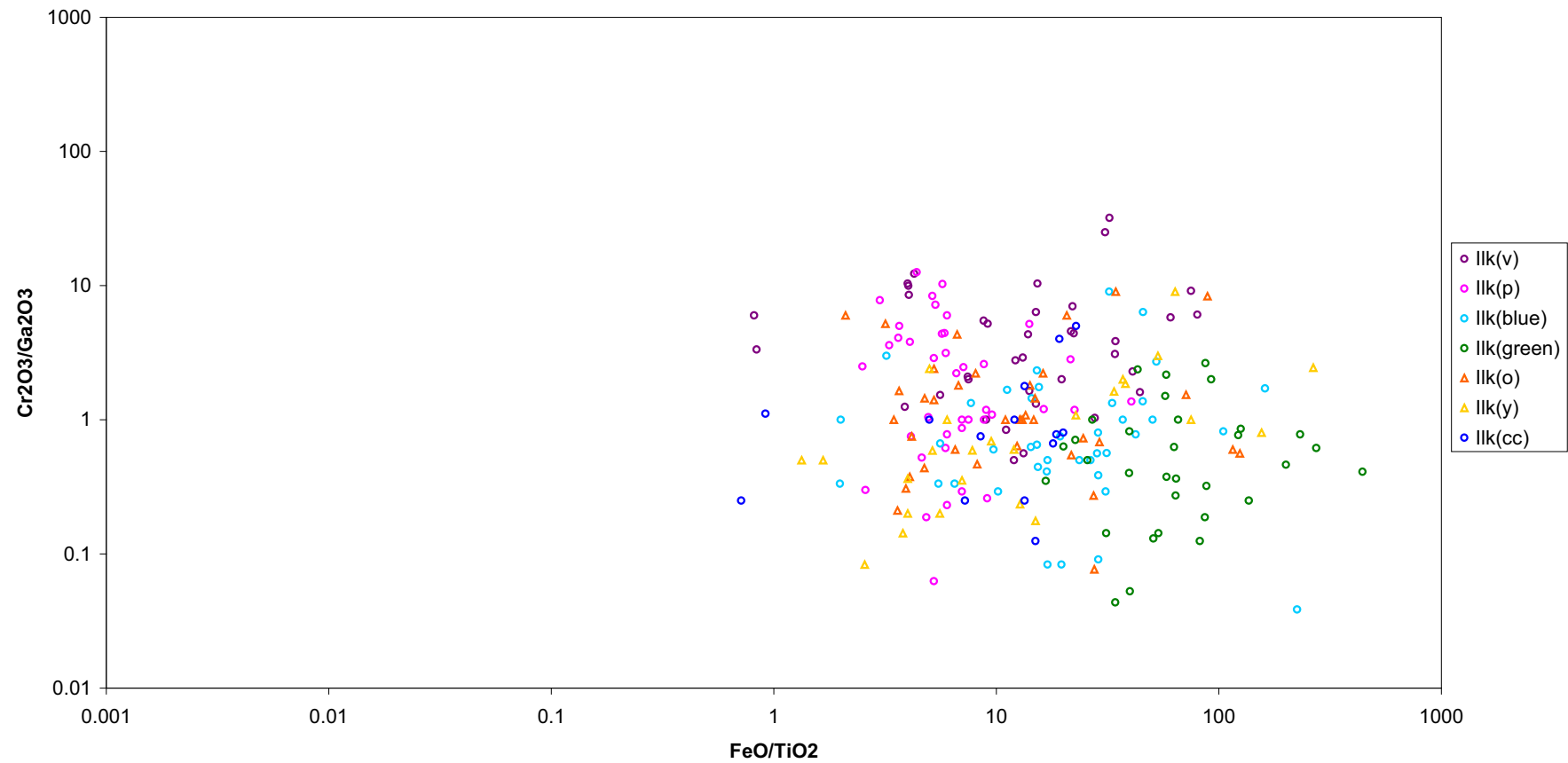


รูปที่ 206 $\text{Cr}_2\text{O}_3 / \text{Ga}_2\text{O}_3$ vs $\text{FeO} / \text{TiO}_2$ ของแซปไฟร์แหล่ง Diego

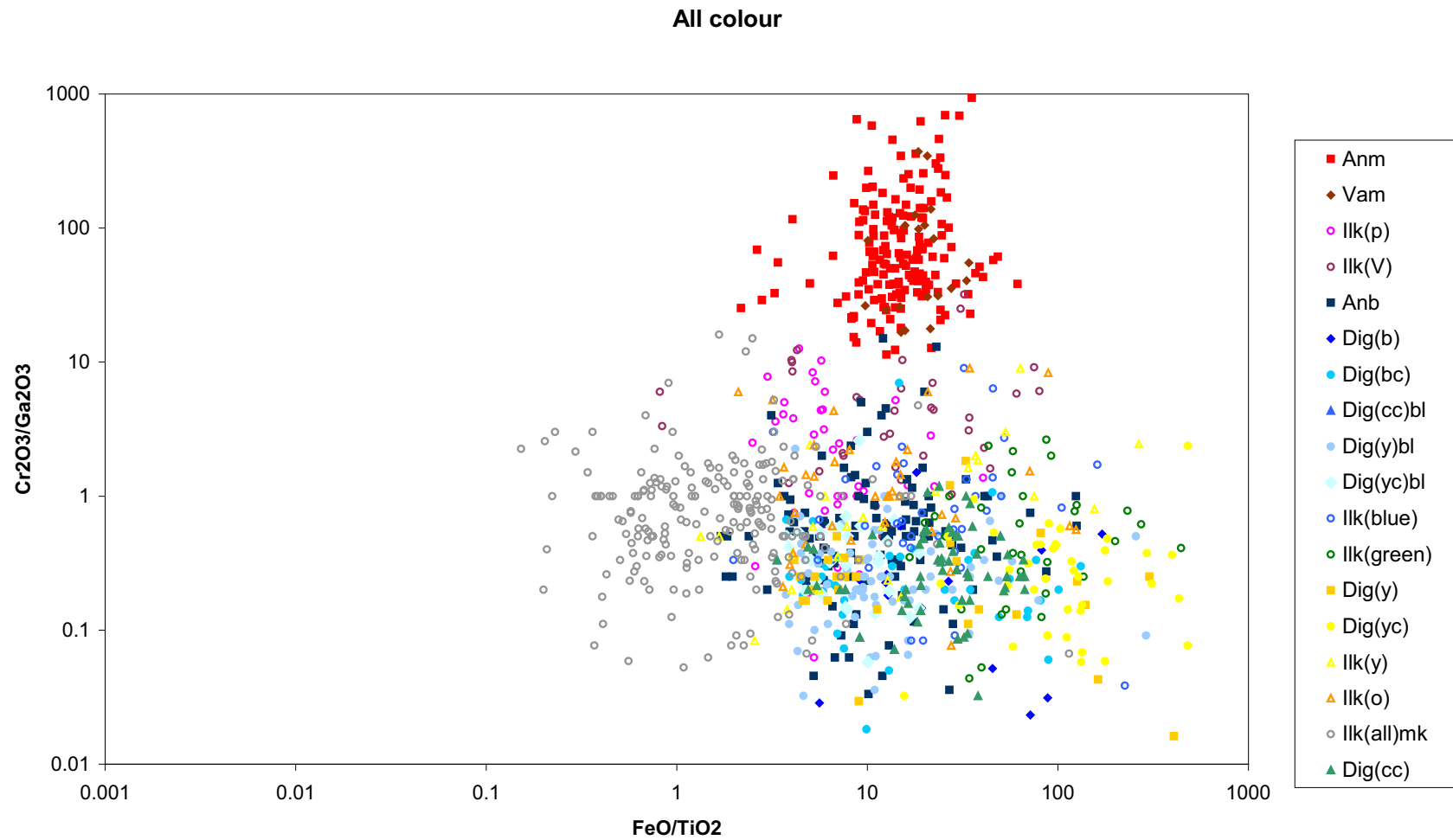


รูปที่ 207 Cr_2O_3 / Ga_2O_3 vs FeO / TiO_2 ของเซปไฟรกลุ่มห้วยแห่่ง Ilakaka

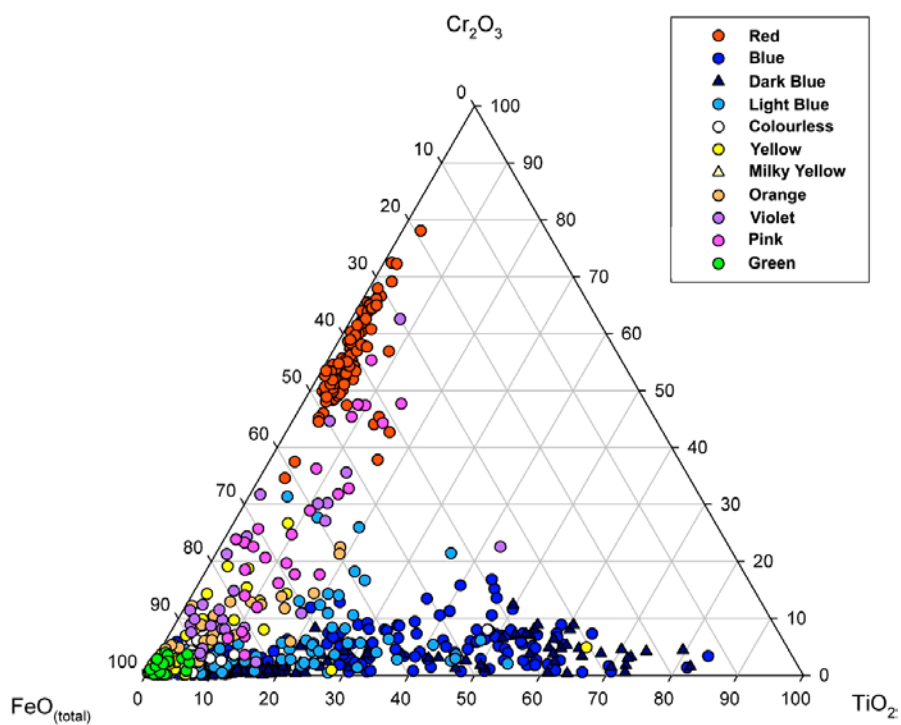
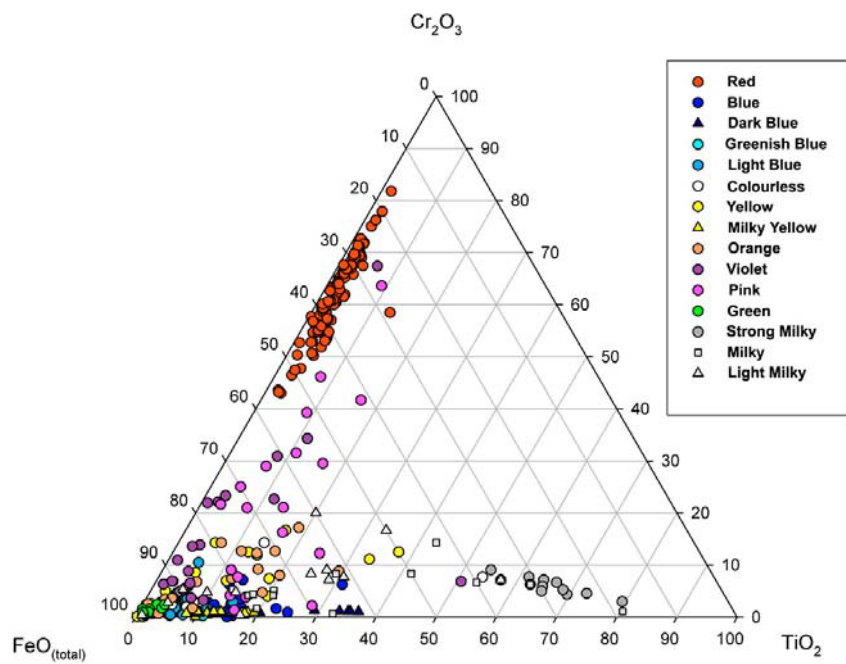
Ilakaka



รูปที่ 208 $\text{Cr}_2\text{O}_3 / \text{Ga}_2\text{O}_3$ vs $\text{FeO} / \text{TiO}_2$ ของแฮปไฟรากลุ่มไอเลคาคา Ilakaka



รูปที่ 209 $\text{Cr}_2\text{O}_3 / \text{Ga}_2\text{O}_3$ vs $\text{FeO} / \text{TiO}_2$ ของคอร์รัมคัมทุกสี จากทุกแหล่งที่ทำการศึกษา



รูปที่ 210 Cr_2O_3 - FeO - TiO_2 ternary diagram แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง oxides ของธาตุโลหะ
ทรานซิชันหลักที่เกี่ยวกับการแสดงสี และสีของพลอยคอร์ันดัมที่ศึกษาทั้งก่อนและหลังเผา

ลักษณะปรากฏทางกายภาพที่ผู้ประกอบการใช้ตรวจสอบพลอย (น่าจะ) ประกอบด้วย

1. สี (body colour) ทั้งสีที่ปรากฏให้เห็นบนผิวพลอยตามปกติ และสีที่เห็นเมื่อส่องดูกับแสงไฟเมื่อดูกับแสงธรรมชาติ (แสงอาทิตย์) หรือแสงจากแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ แล้วแต่ประสบการณ์ของแต่ละคน โดยต้องพิจารณาถึงการกระจายตัว/ความสม่ำเสมอของสี ความบริสุทธิ์ของสี มีสีอื่นสอดแทรกผสมอยู่ด้วยหรือไม่ อย่างไร? ความมืด/ความสว่างของโทนสี ความเข้ม/ความฉ่ำของสีหลัก สีรอง หรือสีสอดแทรก ลักษณะเหล่านี้ประสาทตาและสมองของมนุษย์ที่อาจต้องฝึกฝน จดจำบ้าง สามารถประมวลองค์ประกอบปลีกย่อยเข้าด้วยกัน แล้วสรุปผลได้ดีกว่าเครื่องมือวิทยาศาสตร์ใดๆ ซึ่งอาจวัดองค์ประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแสดงสีของพลอยออกมาเป็นตัวเลข เป็น graph หรือ diagram ได้ แต่การประมวลผลและการแปลผลยังต้องอาศัยการตัดสินใจของมนุษย์อยู่ดี

2. ความโปร่งใส (transparency) สัดส่วนที่แสงสามารถส่องทะลุผ่านเนื้อพลอย สำหรับลักษณะปรากฏข้อนี้ หากพลอยไม่ถึงกับทึบแสง หรือแทบไม่ยอมให้แสงผ่าน ที่เรียกกันว่า “พลอยตัน” ผู้ประกอบการอาจไม่กังวลมากนัก เพราะส่วนใหญ่เชื่อว่าจะสามารถเผาให้ใสขึ้นได้ หากความไม่ค่อยโปร่งใสเป็นเพราะมลทินที่ปนอยู่ในเนื้อพลอย อย่างไรก็ตาม ปกติพลอยที่จะ “เผาออก” หรือ “เผาได้” ไม่ควรที่จะ “ปิดกั้น” ไม่ยอมให้แสงผ่านเกินกว่า 50% ทั้งนี้ ลักษณะและชนิดของมลทินที่ทำให้พลอยขุ่นมัว จะเป็นปัจจัยในการประเมินคุณภาพของพลอยก้อนด้วย ลักษณะสมบัติข้อนี้ เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์สามารถวัดค่า (%) ที่แสงส่องผ่าน) ออกมาเป็นตัวเลขได้ แต่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้เท่าการตรวจดูด้วยสายตาของผู้ประกอบการหรือไม่ โดยเฉพาะในกรณีที่เนื้อพลอยมีความใส หรือขุ่นมัวไม่สม่ำเสมอทั่วไปทั้งเม็ด ยังเป็นที่สงสัยกันอยู่

3. ขนาด หรือน้ำหนัก และรูปทรง (size, weight, and shape or form) ของพลอยก้อน ลักษณะสมบัติเหล่านี้ เครื่องมือ/อุปกรณ์ตรวจวัดได้แม่นยำกว่าการประเมินด้วยสายตา และการสัมผัสด้วยมือมนุษย์แน่นอนในการเลือกซื้อพลอยเม็ด (selected individual stone) ผู้ประกอบการต้องใช้อุปกรณ์ เช่น เครื่องชั่ง หรือเครื่องวัดขนาดช่วย แต่ถ้าเป็นพลอยกลุ่ม หรือซื้อขายเป็น lot อาศัยการประเมินขนาดการกระจายตัวหรือสัดส่วนของขนาดต่างๆ หรืออาจใช้อุปกรณ์วัดขนาด เช่น ตะแกรงร่อน แล้วชั่งน้ำหนักรวม เพราะไม่คุ้มกับการเสียเวลาหาจะวัดขนาดและชั่งน้ำหนักพลอยทุกเม็ด

4. รอยแตก รอยร้าว (crack, fracture, fissure) ทั้งขนาด ปริมาณ การวางตัว ตำแหน่ง และลักษณะประกอบอื่นๆ เช่น มีสารหรือวัสดุอื่นใดเคลือบอยู่ตามพื้นผิวของรอยแตกเหล่านั้นหรือไม่? มีโอกาสกำจัดออกไปได้หรือไม่? ลักษณะปรากฏข้อนี้ แม้อาศัยเครื่องมือ/อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ตรวจวัดค่าเป็นตัวเลขแน่นอนได้ แต่ไม่คุ้มกับเวลา และความพยายามที่ต้องลงแรงไป แม้จะเป็นการเลือกซื้อพลอยเม็ดก็ตาม การประเมินด้วยสายตาให้ผลได้ดีพอ โดยทั่วไป ผู้ประกอบการจะไม่ซื้อพลอยที่มีรอยแตก รอย

ร้าวมาก (เกิน 10-15 %) เว้นแต่จะกระจุกตัวอยู่เฉพาะแห่ง เช่น บริเวณขอบ หรือส่วนนอกๆ ของก้อนพลอย กรณีที่มีรอยแตก รอยร้าวไม่มาก สิ่งที่ต้องประเมินคือ หากรอยแตกร้าวอยู่ภายในก้อนพลอย ไม่สามารถเนียนหรือฝนทิ้ง (โดยไม่เสียเนื้อพลอย หรือน้ำหนักพลอยมากนัก) ได้ จะพิจารณาว่า จะใช้วิธีการขึ้นรูปเพื่อเจียรระโนพลอยให้เหลี่ยมเจียรระโนบดบังร่องรอยของแนวแตกร้าว นั้นได้หรือไม่ หากเป็นพลอยที่ต้องนำมาเผาเพื่อเพิ่มคุณภาพ ต้องพิจารณาด้วยว่า รอยแตกร้าว นั้นๆ จะทำให้พลอยแตก เสียหายระหว่างการเผาหรือไม่ การประเมินเหล่านี้ไม่มีเครื่องมือวิทยาศาสตร์ใดๆ ตรวจวัดได้

5. มลทิน (inclusion) ทั้งชนิด ขนาด ปริมาณ และการกระจายตัว ผู้ประกอบการอาจไม่สามารถระบุได้ว่า มลทินนั้นๆ คืออะไร แต่จากประสบการณ์ จะสามารถบอกได้ว่า มลทินชนิดหนึ่งๆ จะเผากำจัดออกไปได้หรือไม่? จะส่งผลกระทบต่อเสียว (เช่น ทำให้พลอยแตกร้าว) ระหว่างเผาหรือไม่? หลักการพิจารณาประเมิน จะคล้ายคลึงกับกรณีของรอยแตกรอยร้าว กล่าวคือ ถ้าเลือกได้จะไม่ซื้อพลอยที่มีมลทินมาก (เกิน 10-15 %) เป็นต้น ลักษณะสมบัติข้อนี้ เครื่องมือ/อุปกรณ์วิทยาศาสตร์สามารถตรวจวัด และระบุชนิดของมลทินได้แม่นยำ แน่นนอน เว้นแต่มลทินนั้นๆ จะอยู่ลึกลงไปใ้เนื้อพลอยมาก ข้อเสียก็คือ ค่าใช้จ่ายในการตรวจพิสูจน์มลทินนั้นสูงมาก เหมาะกับการทำวิจัยเท่านั้น

6. ลักษณะพื้นผิวของพลอย (surface feature/characteristics) ได้แก่ ความเรียบ/ขรุขระ รอยขีดข่วน ความมัน ความวาว แม้กระทั่ง ความรู้สึกเมื่อสัมผัสด้วยมือ เป็นลักษณะปรากฏที่สะท้อนหรือเกี่ยวข้องกับความแข็ง (hardness) ความเหนียว (toughness) และความวาว (luster) ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของแร่ทั่วไป รวมทั้งแร่ที่เป็นอัญมณี ผู้ประกอบการโดยทั่วไปใช้เป็นเครื่องสังเกต แยกพลอยเนื้อแข็ง (พลอยตระกูลคอรันดัม) ออกจากพลอยเนื้ออ่อนอื่นๆ โดยพิจารณาประกอบกับลักษณะปรากฏอื่นๆ เช่น สี ลักษณะรอยแตกร้าว เป็นต้น

7. ลักษณะภายในเนื้อพลอย (internal characteristics/texture) เป็นลักษณะปรากฏที่ผู้ประกอบการสังเกตเห็นได้จากการใช้กระบอกไฟฉายส่องดูพลอยเทียบได้กับลักษณะที่สังเกตเห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ดูพลอย (gemmological microscope) เพียงแต่มีกำลังขยายเทียบกันไม่ได้เท่านั้น นอกเหนือจากลักษณะภายในเนื้อพลอยอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้ว เช่น มลทิน รอยแตกร้าว สี และความโปร่งใส ลักษณะปรากฏตามหัวข้อนี้ ได้แก่ หม่า เหลือบ และเชื้อสี

หม่า (miliness or cloudiness) หมายถึง ลักษณะที่เนื้อพลอยมีความขุ่นมัวคล้ายน้ำมันเจือจางหรือหมอกเมฆ ปกติมักมีสีขาวขุ่น แต่อาจอมหรือสอดแทรกด้วยสีอื่น เช่น สีฟ้าอ่อน สีเทา สีควนบุหรี่ สีเหลืองทองอ่อนๆ สีน้ำตาล หรือสีน้ำตาลอมแดงอ่อนๆ หรือสีอื่นๆ พลอยที่มีลักษณะเช่นนี้ ผู้ประกอบการไทย เรียกว่า “พลอยหม่า” ผู้ประกอบการศรีลังกาเรียกพลอยก้อนที่มีลักษณะเช่นนี้ว่า “geuda” โดยหมายรวมถึง พลอยก้อนตระกูลคอรันดัม ซึ่งมีลักษณะกึ่งโปร่งใส (semi-transparent) ถึงโปร่งแสง

(translucent) ประกอบกับลักษณะปรากฏอื่นๆ เช่น เหลือบ (silky) ขุ่นขาว (milky) หรือหมอกควัน (smoky) (Pemadasa and Danapala, 1994)

หมาเป็นมลทินขนาดเล็กมาก ที่พบในคอร์นคัมส่วนใหญ่เป็น oxide ของ Ti การกระจายตัวของ หมา อาจสม่ำเสมอทั่วหรือเกือบทั่วทั้งเม็ดพลอย หรืออาจกระจุกตัวอยู่บางบริเวณ เช่น บริเวณแกนกลางของเม็ดพลอย หรือตามแนว/ระนาบของโครงสร้างผลึก หรือตามระนาบหน้าผลึกระหว่างการเติบโตของผลึก หรือปรากฏเป็นหย่อมๆ รูปร่างไม่แน่นอน สำหรับพลอยหมาที่พบในการศึกษาพลอยคอร์นคัมจากแหล่งต่างๆ ของมาดากัสการ์ครั้งนี้ ส่วนใหญ่พบในแซปไฟร์จาก Ilakaka ซึ่งแบ่งออกได้ 4 ประเภท ดังนี้

(1) หมาทอง เนื้อพลอยมีลักษณะขาวขุ่นนวล เมื่อยกขึ้นส่องกับแสงธรรมชาติ หรือส่องด้วยกระบอกไฟฉายดูพลอย จะเห็นสีน้ำตาลแดง หรือสีทอง หรือสีทองแดง (บางกรณีเรียกว่า “หมาทองแดง”) เนื้อพลอยมีลักษณะโปร่งแสง เมื่อวางอยู่บนพื้น พลอยหมาชนิดนี้จะเห็นเป็นสีขาวขุ่นนวลตา

(2) หมาเข้ม เนื้อพลอยมีลักษณะขุ่นเข้ม ปริมาณหมามีความเข้มข้นสูงกว่าหมาทอง และโปร่งแสงน้อยกว่า อาจสอดแทรกด้วยสีเทา สีฟ้าอ่อน หรือสีควันบุรี แต่ไม่ใช่สีน้ำตาลแดง

(3) หมาอ่อน เนื้อพลอยมีปริมาณหมาก่อนข้างต่ำ มีลักษณะขาวขุ่นจางๆ และโปร่งแสงมากกว่าหมาทอง ไม่มีสีอื่นสอดแทรก

(4) หมาปนหิน เนื้อพลอยมีลักษณะขุ่นเข้ม คล้ายหมาเข้ม แต่มีเนื้อพลอยบางส่วนเป็นสีเทาหรือสีน้ำตาล ก่อนข้างทึบแสง คล้ายมีเนื้อหินปนอยู่

เหลือบ (silkeness) หมายถึง ลักษณะภายในเนื้อพลอยที่เป็นลายเส้น หรือแถบสะท้อนแสง เหลือบคล้ายเส้นไหม เมื่อส่องไฟและพลิกพลอยไปมา เกิดจากมลทินรูปแท่งเข็มของ oxide ของ Ti พลอยที่มีลักษณะภายในทั้งหมา และเหลือบอยู่ด้วยกัน จะเผาออก (ให้สี) ได้ง่ายกว่าพลอยที่มีเฉพาะเหลือบ และในพลอยที่มีเหลือบปริมาณมาก เผาแล้วแสดงปรากฏการณ์เหลือบแสงรูปดาว (star) ได้

เชื้อสี (coloured patch หรือ ethul ottu) หมายถึง แด้มสีที่ปรากฏอยู่ในเนื้อพลอยที่ใสไม่มีหมา ซึ่งโดยทั่วไปบริเวณอื่นๆ ของเนื้อพลอยไม่มีสี (colourless) เป็นลักษณะที่ผู้ประกอบการในศรีลังกาเรียกว่า พลอยอ็อตตู (ottu) ถ้ามีลักษณะเป็นจุดสี (coloured spot) ศรีลังกาเรียกว่า “dot ottu” ถ้าลักษณะเป็นเส้นสี (coloured line) ศรีลังกาเรียกว่า “iri ottu” และถ้ามีลักษณะเป็นปื้นหรือแด้มสี (coloured patch) ศรีลังกาเรียกว่า “normal ottu” แต่ถ้าแด้มสีปรากฏอยู่เฉพาะบริเวณผิวพลอยเรียกว่า “pita ottu” เฉพาะกลุ่ม ethul ottu (เชื้อสีอยู่ภายในเนื้อพลอย) สามารถเผาให้สีกระจายไปทั่วเม็ดพลอยได้ ถ้าบริเวณแนวรอยต่อระหว่างเชื้อสีกับเนื้อพลอยส่วนที่ใสไม่มีสีเป็นแนวคมชัด แต่ถ้าแนวรอยต่อมีลักษณะหม่นมัวไม่ชัดเจน (blurred) จะเผาให้สีกระจายไปส่วนอื่นๆ ของเนื้อพลอยได้ยากมาก

สำหรับตัวอย่างพลอยคอร์นคัมจากมาดากัสการ์ที่นำมาศึกษาในโครงการวิจัยนี้ ลักษณะภายในเนื้อพลอยที่พบมาก ได้แก่ หมา โดยเฉพาะในแซปไฟร์จากแหล่ง Ilakaka ซึ่งส่วนใหญ่เป็นชนิดหมาเข้ม

และหม่าทอง นอกจากนั้น ยังพบลักษณะหม่าเป็นลักษณะขุนขาว กระจุกตัวเป็นกลุ่มบริเวณแกนกลางของผลึกทับทิมจากแหล่ง Andilamena มักมีรูปหกเหลี่ยมชัดเจน (รูปที่ 214) หรือตามแนว growth zone ตัวอย่างพลอยที่ลักษณะภายในมีหม่าอีกแหล่งหนึ่ง คือ แซปไฟร์จากแหล่ง Diego Suarez โดยเฉพาะกลุ่มที่มีสีหลักเป็นสีเหลือง : Dig(y) และที่มีแกนกลางเป็นสีเหลือง : Dig(yc) และยังพบแต้มสี (coloured patch) เป็นสีน้ำเงินและสีน้ำตาลในบางตัวอย่างของแซปไฟร์ 2 กลุ่มดังกล่าวของแหล่ง Diego Suarez ด้วย



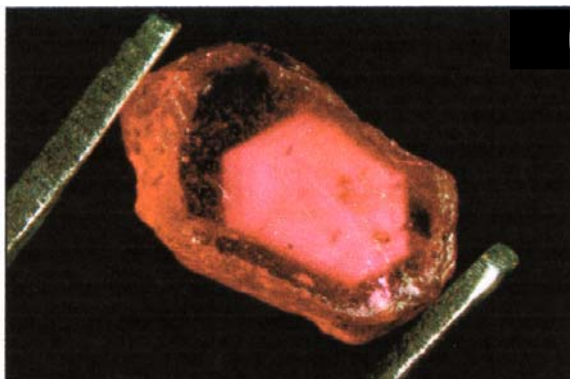
รูปที่ 211 แว่นขยาย (loupe)



รูปที่ 212 แว่นขยายชนิดสวมหัว



รูปที่ 213 กระบอกไฟฉายสำหรับส่องดูภายในเนื้อพลอย



รูปที่ 214 ลักษณะแกนกลางขาวขุนรูปหกเหลี่ยมในทับทิมจากแหล่ง Andilamena (Anm 2-5-034) (10x)

ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะหมำภายในเนื้อพลอย กับส่วนประกอบทางเคมี หรือปริมาณธาตุร่องรอย โดยเฉพาะ Ti, Cr และ Fe ของพลอยคอร์ันดัมจากบางแหล่งของมาดากัสการ์ที่มีหมำ แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณธาตุร่องรอย (Ti, Cr, Fe) ของตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมกลุ่มที่มีหมำ เปรียบเทียบกับที่ไม่มีหมำจากแหล่งเดียวกัน

แหล่งตัวอย่าง		ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) (wt.%)		
(จำนวนตัวอย่าง / จำนวนจุดวิเคราะห์)		TiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO
Andilamena ruby				
Anm 1-x	ใส (4/9)	0.0181	0.7488	0.3812
Anm 2-x	ใส (13/56)	0.0243	0.4728	0.3369
	หมำ (8/74)	0.0412	0.5194	0.3999
Anm 3-x	ใส (9/33)	0.0174	0.6180	0.3609
	หมำ (4/18)	0.0351	0.8681	0.3964
Anm 4-x	ใส (6/31)	0.0221	0.7835	0.3993
	หมำ (4/12)	0.0416	0.9226	0.5147
Diego Suarez sapphire				
Dig(y)	ใส (6/11)	0.0122	0.0107	0.7464
ส่วนที่สีเหลือง	หมำ (13/35)	0.1190	0.0089	0.9267
Ilakaka sapphire				
Ilk 1-1-x	หมำทอง (8/194)	0.1016	-	0.0636
Ilk 1-2-x	หมำเข้ม (10/212)	0.0671	-	0.1324
Ilk 1-3-x	หมำอ่อน (1/4)	0.0105	-	0.2445
Ilk 1-4-x	หมำปนหิน (3/125)	0.1307	-	0.0952
Ilk กลุ่มไม่มีหมำทั้งหมด (91/316)		0.0253	-	0.2307
Ilk กลุ่มที่มีหมำทั้งหมด (22/535)		0.1062	-	0.0806

ข้อมูลจากตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่า สำหรับตัวอย่างทับทิมจากแหล่ง Andilamena บริเวณที่มีหมำ แสดงปริมาณธาตุร่องรอยทั้ง Ti, Cr และ Fe สูงกว่าบริเวณที่เนื้อพลอยใส (ไม่มีหมำ) ทั้งสิ้น โดยเฉพาะ

ปริมาณ TiO_2 ของบริเวณจุดวิเคราะห์ที่มีหม่า แสดงปริมาณ TiO_2 สูงกว่าบริเวณที่ใสไม่มีหม่า ประมาณ เกือบ 2 เท่าเสมอ

สำหรับตัวอย่างแชปไฟร์จากแหล่ง Diego Suarez ก็เช่นเดียวกัน บริเวณที่มีหม่าในตัวอย่างที่สีหลักเป็นสีเหลือง แสดงปริมาณ TiO_2 สูงกว่าหลายเท่า และแสดงปริมาณ FeO สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

ส่วนตัวอย่างแชปไฟร์จากแหล่ง Ilakaka หากเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่มีหม่าและไม่มีหม่า จะเห็นว่า กลุ่มที่มีหม่า มีปริมาณ TiO_2 สูงกว่าหลายเท่า แต่มีปริมาณ FeO ต่ำกว่าหลายเท่าเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่มีหม่าด้วยกันเอง ปรากฏว่า กลุ่มหม่าปนหินมีปริมาณ TiO_2 สูงสุด รองลงมาเป็นกลุ่มหม่าทอง หม่าเข้ม และหม่าอ่อน ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณ FeO แปรผกผันกับปริมาณ TiO_2 ตามลำดับเช่นกัน

แสดงว่าลักษณะภายในเนื้อพลอยคอรัันดัมจากมาดากัสการ์ที่มีหม่า มีความสัมพันธ์กับปริมาณ TiO_2 อย่างชัดเจน ส่วนปริมาณธาตุร่องรอยอื่นที่ส่งผลต่อการแสดงสีของพลอย เช่น Cr และ Fe อาจแปรตามหรือผกผันกับปริมาณ Ti ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการบวนการกำเนิดของแหล่งพลอยนั้นๆ

4.7 ผลการทดลองเผาพลอย

จากผลของการทดลองเผาพลอยคอรัันดัม (ทับทิมและแชปไฟร์) จากแหล่งต่างๆ ของมาดากัสการ์ ตามรายละเอียดที่นำเสนอในบทที่ 3 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

(1) ข้อเท็จจริง

สำหรับพลอยธรรมชาติ ไม่เคยปรากฏว่ามีพลอย 2 เม็ดใดๆ ที่เหมือนกันทุกประการ แต่ละเม็ดจะมีลักษณะเฉพาะของตัวเอง อันที่จริงแม้แต่ในพลอยเม็ดเดียวกัน ก็ยังอาจแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งหรือบริเวณ ลักษณะสมบัติที่แตกต่างกัน อาจเป็น

- ก. องค์ประกอบทางเคมี โดยเฉพาะธาตุร่องรอย ทั้งชนิด การกระจายตัว และปริมาณ
- ข. มลทิน (inclusions/impurities) ทั้งชนิด สถานะ การกระจายตัว และปริมาณ
- ค. ความบกพร่องหรือผิดปกติของโครงสร้างผลึก (crystal defects) ทั้งชนิด ขนาด การกระจายตัว และความหนาแน่น
- ง. ปัจจัยอื่นๆ เช่น รูปร่าง ขนาด หรือน้ำหนักของเม็ดพลอย เป็นต้น

ดังนั้น ย่อมไม่สามารถกำหนดกรรมวิธี ตัวแปร และขั้นตอนต่างๆ ของการเผาพลอยใดๆ ที่จะทำให้พลอยทุกเม็ดตอบสนองเหมือนกัน

(2) หลักการเบื้องต้นของการเผาผลาย

สืบเนื่องจากข้อเท็จจริงดังกล่าวข้างต้น กรรมวิธีการเผาผลายที่น่าจะให้ผลดีและคุ้มค่าที่สุด จึงควรดำเนินการตามขั้นตอนโดยยึดหลักดังนี้

ก. จำแนกกลุ่ม และคัดเลือกพลอยที่จะเผา โดยพยายามคัดเลือกพลอยที่มีลักษณะสมบัติต่างๆ ใกล้เคียงกันให้มากที่สุด (สีหลัก, ปริมาณมลทิน, หมา ฯลฯ) และเป็นพลอยชนิดเดียวกัน เพื่อเผาด้วยกัน หรือเผาในบ้ำเดียวกัน

ข. กำหนดขั้นตอนการเผา โดยเริ่มต้นจากการเผาภายใต้ภาวะขั้นต่ำสุดที่คาดว่าจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังเผา ได้แก่ การกำหนดอุณหภูมิสูงสุด ระยะเวลา บรรยากาศ ฯลฯ แล้วคัดเลือกเม็ดที่ตอบสนองต่อการเผาได้ดีตามต้องการออก จากนั้นจึงเผาครั้งต่อไป โดยปรับภาวะการเพิ่มขึ้นทีละช่วง ตามที่จะพิจารณาว่าเหมาะสม โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงหรือการตอบสนองของพลอยที่เผาในครั้งที่ผ่านมา ด้วยทุกครั้ง เช่น อุณหภูมิอาจเพิ่มขึ้นขั้นละ หรือครั้งละ 100°C เวลาเพิ่มขึ้นขั้นละ 1 ชั่วโมง เป็นต้น การสังเกตและบันทึกข้อมูลต่างๆ ของแต่ละขั้นตอนการเผา จะช่วยให้สามารถกำหนดภาวะการเผาที่เหมาะสมได้ใกล้เคียงขึ้น ทั้งนี้ ต้องคัดเลือกพลอยที่ตอบสนองต่อการเผาเป็นที่ต้องการแล้วออกทุกครั้ง

(3) พิจารณาปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้อง

ก. ปัจจัยเกี่ยวกับการแสดงสีของพลอย

สำหรับพลอยตระกูลคอร์ันดัม ปัจจัยที่ส่งผลต่อการแสดงสีของพลอย ได้แก่ ธาตุร่องรอยกลุ่มโลหะทรานสิชัน (transition metals) โดยเฉพาะ Cr, Fe และ Ti ซึ่งแต่ละธาตุส่งผลต่อสีของคอร์ันดัม ดังนี้

Cr : พลอยคอร์ันดัมที่มีปริมาณ Cr_2O_3 สูงกว่า 0.1 wt.% จะแสดงสีแดง เช่น ทับทิมจากแหล่ง Andilamena มีค่าเฉลี่ยปริมาณ Cr_2O_3 (จาก 233 จุดวิเคราะห์) = 0.6138 wt.% และทับทิมจากแหล่ง Vatomandry (เฉลี่ยจาก 29 จุดวิเคราะห์) = 0.3988 wt.% ทำให้ทับทิมจากทั้งสองแหล่งมีสีแดงเข้ม แต่หากปริมาณ Cr_2O_3 อยู่ระหว่าง 0.10 ถึง 0.01 wt.% พลอยจะแสดงสีแดงอ่อน หรือสีชมพู เช่น แซปไฟร์จากแหล่ง Ilakaka กลุ่มสีส้ม, ชมพู, ม่วง มีค่าเฉลี่ยปริมาณ Cr_2O_3 ดังนี้

กลุ่มพลอย	ค่าเฉลี่ยปริมาณ Cr_2O_3 (wt.%)	จำนวนจุดวิเคราะห์
สีส้ม : Ilk(o) และ Ilk 2-3-x	0.0114	43
สีชมพู : Ilk 2-4-x	0.0124	30
สีม่วงดอกมะเขือ : Ilk(p)	0.0598	18
สีม่วงดอกอัญชัน : Ilk(v) และ Ilk 2-7-x	0.0614	48

Fe : เป็นธาตุที่พบเสมอในพลอยคอร์นดัมที่เกิดตามธรรมชาติ Fe ส่งผลต่อการแสดงสีของพลอยคอร์นดัมแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณของ Fe และธาตุร่องรอยอื่นๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างพลอยนั้นๆ คอร์นดัมที่มี Fe เป็นหลัก มีธาตุร่องรอยอื่นๆ น้อย จะแสดงสีเหลืองหรือเขียว ขึ้นอยู่กับ oxidation state ของ Fe ว่าจะมี Fe^{3+} หรือ Fe^{2+} ในสัดส่วนอย่างไร ถ้ามี Fe^{3+} เป็นหลักจะแสดงสีเหลือง ถ้ามีทั้ง Fe^{3+} และ Fe^{2+} จะแสดงสีเขียว โดยความเข้มของสีจะแปรตามความเข้มข้นหรือปริมาณของ Fe

คอร์นดัมที่มี Fe เป็นหลัก และมี Cr + Ti เป็นรอง จะแสดงสีม่วง (ปริมาณ Cr_2O_3 ควรอยู่ประมาณ 0.050 wt.%) โดยจะมีสีม่วงดอกมะเขือถ้ามีปริมาณ TiO_2 ค่อนข้างต่ำ และมีสีม่วงดอกอัญชันถ้ามีปริมาณ TiO_2 สูงขึ้น เช่น ตัวอย่างแซปไฟร์จากแหล่ง Ilakaka มีค่าเฉลี่ย TiO_2 ดังนี้

กลุ่มพลอย	ค่าเฉลี่ยปริมาณ TiO_2 (wt.%)	จำนวนจุดวิเคราะห์
สีม่วงดอกมะเขือ : Ilk(p)	0.0147	18
สีม่วงดอกอัญชัน : Ilk(v) และ Ilk 2-7-x	0.0404	47

คอร์นดัมที่มี Fe เป็นหลักและมี Ti เป็นรอง จะแสดงสีฟ้า (ถ้า TiO_2 ไม่สูงนัก) หรือสีน้ำเงิน (ถ้า TiO_2 ค่อนข้างสูง) เช่น ตัวอย่างแซปไฟร์จากแหล่ง Ilakaka, Andranondambo และ Diego Suarez ดังนี้

กลุ่มพลอย	ค่าเฉลี่ยปริมาณ oxide (wt.%)		จำนวนจุดวิเคราะห์
	TiO_2	FeO	
สีฟ้า : Ilk(b) + Ilk 2-6-x	0.0191	0.3221	55
สีน้ำเงิน : Anb	0.0494	0.3905	191
สีน้ำเงินเข้ม : Dig	0.0627	0.7867	496

Ti : โดยทั่วไป Ti ที่มีอยู่ในคอร์นดัม ตามลำพังตัวเองจะไม่ส่งผลต่อการแสดงสีของพลอย แต่จะส่งผลให้คอร์นดัมแสดงสีฟ้าหรือน้ำเงิน เมื่ออยู่ร่วมกับ Fe หากพลอยคอร์นดัมมี Ti เป็นหลัก และปริมาณ Fe ค่อนข้างต่ำ อาจไม่ส่งผลให้พลอยแสดงสี โดยลักษณะเนื้อพลอยเป็นหว่า หรือมีสีขุนขาว เช่น กลุ่มพลอยหว่าจากแหล่ง Ilakaka ซึ่งมีปริมาณ TiO_2 เฉลี่ย (จาก 532 จุดวิเคราะห์) = 0.0945 wt.% แต่มี FeO เฉลี่ย (จาก 532 จุดวิเคราะห์) เพียง 0.0934 wt.%

ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณ Ti, Cr และ Fe ในตัวอย่างพลอยคอร์ันดัมสีต่างๆจากมาดากัสการ์ เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุร่องรอยเหล่านี้กับการแสดงสีของพลอย

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุร่องรอยกับการแสดงสีของพลอยคอร์ันดัมจากมาดากัสการ์

สีพลอย	แหล่ง (จำนวนจุลวิเคราะห์)	ค่าเฉลี่ยปริมาณ oxides (wt.%)		
		TiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO
แดง	Anm (233)	0.0299	0.6138	0.3841
แดง	Vam (29)	0.0127	0.3988	0.2274
ม่วงดอกอัญชัน	Ilk (49)	0.0404	0.0614	0.2754
ม่วงดอกมะเขือ	Ilk (18)	0.0147	0.0598	0.0814
ชมพูอ่อน	Ilk (30)	0.0096	0.0124	0.0606
ส้มอ่อน	Ilk (46)	0.0107	0.0114	0.1343
น้ำเงินเข้ม	Dig (95)	0.1294	0.0080	0.8887
น้ำเงินเข้ม	Anb (46)	0.1135	0.0097	0.5073
น้ำเงิน	Dig (123)	0.0707	0.0096	0.7921
น้ำเงิน	Anb (48)	0.0403	0.0081	0.3834
น้ำเงินอ่อน	Dig (70)	0.0331	0.0098	0.6710
น้ำเงินอ่อน	Anb (85)	0.0224	0.0095	0.3265
ฟ้าอ่อน	Ilk (55)	0.0191	0.0092	0.3221
เขียวอ่อน	Ilk (43)	0.0081	0.0080	0.5040
เหลืองขุ่น	Dig (46)	0.0923	0.0093	0.8836
เหลืองใส	Dig (116)	0.0100	0.0092	0.8181
เหลืองอ่อน	Ilk (54)	0.0104	0.0099	0.1243
ใสไม่มีสี	Ilk (21)	0.0193	0.0079	0.1555
หม่นทอง	Ilk (194)	0.1016	0.0101	0.0636
หม่นเข้ม	Ilk (212)	0.0658	0.0098	0.1180
หม่นอ่อน	Ilk (4)	0.0105	0.0090	0.2445
หม่นปนหิน	Ilk (125)	0.1307	0.0084	0.0952

ข. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเผาพลอย : ที่สำคัญมี 2 ประการ คือ มลทิน (inclusions) และรอยแตกร้าว (fractures หรือ cracks) ในเนื้อพลอย

มลทินที่มีอยู่ในเนื้อพลอย อาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส หากมีปริมาณมาก ย่อมส่งผลให้ความใส (clarity) หรือไฟ (brilliance) ของพลอยลดลง มลทินที่เป็นของเหลว และ/หรือ แก๊ส และมลทินของแข็งบางชนิดอาจส่งผลให้พลอยแตกร้าวเสียหายจากการเผา เนื่องจากการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนระหว่างเผา จึงควรระมัดระวังตรวจสอบเป็นพิเศษ โดยเฉพาะในพลอยขนาดใหญ่ มลทินของแข็งส่วนใหญ่เป็นแร่ชนิดอื่นที่ถูกพลอยยอมไว้ระหว่างการตกผลึก ชนิด ขนาด และปริมาณของมลทินแร่บางชนิด เป็นปัจจัยสำคัญต่อความสำเร็จหรือความล้มเหลวในการเผาพลอย เช่น ถ้าเป็นมลทินแร่ rutile ขนาดเล็กที่มีอยู่หนาแน่น จนทำให้เนื้อพลอยมีลักษณะขาวขุ่น หรือเป็นพลอยหมัว เช่นเดียวกับตัวอย่างแซปไฟร์จากแหล่ง Ilakaka บางส่วน เมื่อนำไปเผาในภาวะที่เหมาะสม พลอยคอร์นคัมจะแสดงสีได้ง่ายในขณะเดียวกัน หากไปปรากฏอยู่ในพลอยทับทิม เช่นที่พบในตัวอย่างจากแหล่ง Andilamena บางกลุ่ม อาจส่งผลกระทบบทที่ไม่พึงประสงค์เมื่อนำพลอยไปเผา เพราะบริเวณที่มีมลทินเหล่านี้หนาแน่น อาจแสดงสีน้ำเงิน ทำให้ตัวอย่างทับทิมมีสีน้ำเงินหรือม่วงสอแทรกเป็นบางบริเวณได้ และอาจกำจัดได้ค่อนข้างยาก มลทินแร่บางชนิด เมื่อได้รับความร้อนจากการเผา อาจเกิดการเปลี่ยนแปลง และ/หรือ ทำปฏิกิริยากับมลทินแร่อื่นที่อยู่ข้างเคียง หรือทำปฏิกิริยากับคอร์นคัม กลายเป็นแร่ใหม่ ซึ่งในบางกรณีเป็นแร่ที่ไม่โปร่งแสง กลายเป็นลักษณะที่นักเผาพลอยเรียกว่า “เนื้อหิน” ทำให้พลอยที่เผาเสียหาย และอาจแก้ไขได้ยาก มลทินที่เป็นแร่สีเข้ม หรือทึบแสง และ/หรือ มลทินที่จะทำให้เกิดลักษณะ “เนื้อหิน” หากกำจัดออกได้ก่อนนำไปเผา อาจช่วยลดความเสียหายจากการเผาพลอยได้

สำหรับรอยแตกร้าวในเนื้อพลอย หากมีอยู่ เป็นปัจจัยด้านลบทั้งสิ้น เพราะนอกจากจะทำให้ความใสหรือไฟของพลอยลดลงแล้ว ยังอาจทำให้พลอยแตกเสียหาย หากนำไปเผาโดยไม่พิจารณาให้รอบคอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรอยแตกร้าวที่มีสารอื่นเคลือบอยู่ หรือที่มีแนวโน้มว่าจะชักนำให้พลอยแตกร้าวเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความร้อนสูง ในกรณีพลอยขนาดใหญ่ต้องพิจารณาว่าจำเป็นต้องกำจัดออกก่อนนำไปเผาหรือไม่

(4) การพิจารณาเลือกกรรมวิธีเผาพลอย

การพิจารณาเลือกกรรมวิธีการเผาพลอย เช่น ชนิดของเตาที่จะใช้ อุณหภูมิสูงสุด ระยะเวลาเผา บรรยากาศระหว่างเผา และการปล่อยให้พลอยเย็นตัวหลังเผา สามารถอาศัยหลักการในการเผาพลอยที่กล่าวถึงในบทที่ 3 เป็นแนวทางในการพิจารณาได้ ประเด็นสำคัญที่ต้องตัดสินใจ หรือกำหนดเบื้องต้นคือ วัตถุประสงค์ของการเผา เพื่อเพิ่ม-ลด-หรือเปลี่ยนสีเดิมของพลอย หรือ เพื่อลดความขุ่นมัวของเนื้อพลอย : “เผาใส” ซึ่งจะพิจารณาได้จากลักษณะสมบัติตั้งต้นของพลอยดิบ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สีหลักหรือสีเดิมของพลอย

โดยทั่วไป สีของพลอยดิบ จะเป็นเครื่องกำหนดว่า พลอยเมื่อนั้นอาจเผาให้ออกเป็นสีใดได้บ้าง สำหรับพลอยดิบที่แสดงสีเดิมในโทนสีแดง เช่น แดง ชมพู ม่วง ส้ม และน้ำตาลแดง เนื่องจากมี Cr เป็นธาตุร่องรอย การที่จะกำหนดวัตถุประสงค์ของการเผาพลอย เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสีในโทนอื่น ย่อมไม่สมเหตุผล ทั้งในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ กล่าวคือ พลอยแดงหรือชมพู มักมีราคาสูงกว่าพลอยสีอื่นๆ อยู่แล้ว และการที่จะกำจัดโทนสีแดง จำเป็นต้องทำให้ Cr^{3+} ออกจากตำแหน่งการแทนที่ Al^{3+} โครงสร้างผลึกของคอร์ันดัม หรืออย่างน้อยต้องเปลี่ยน oxidation state ของ Cr ซึ่งน่าจะทำได้ยาก เว้นแต่จะยอมให้พลอยเสียหาย เพราะถ้าพิจารณาเปรียบเทียบจุดหลอมเหลวของ Cr_2O_3 ($2,266 \pm 25$ °C) กับของ Al_2O_3 ($2,015 \pm 15$ °C) จะเห็นว่า กว่าที่จะเผาให้ Cr^{3+} เปลี่ยนแปลงพลอยอาจจะหลอมไปก่อนแล้วก็ได้ ด้วยเหตุนี้ การเผาพลอยดิบที่มีสีเดิมในโทนสีแดง จึงควรมุ่งเน้นการพยายามกำจัดสีสอดแทรกอื่นๆ เช่น สีน้ำตาลเนื่องจาก Fe หรือสีน้ำเงิน/ม่วง เนื่องจาก Fe และ Ti เพื่อให้พลอยที่เผามีสีแดงสดใสขึ้น

ส่วนพลอยดิบสีอื่นๆ เช่น น้ำเงิน เขียว เหลือง โดยหลักการควรพยายามเผาเพื่อเพิ่มหรือลดความเข้มของสีเดิมเป็นสำคัญ ซึ่งน่าจะทำได้ง่ายกว่า แม้ว่าโดยทฤษฎี การเผาเปลี่ยนสีระหว่างสีน้ำเงิน เขียว และเหลือง น่าจะเป็นไปได้ เพราะเกี่ยวข้องกับธาตุร่องรอยชุดเดียวกัน คือ Fe และ Ti ขึ้นอยู่กับว่า จะต้องการให้ธาตุใดแสดงบทบาทเด่นกว่ากันในการส่งผลต่อสีของพลอย อย่างไรก็ตาม ต้องพิจารณาถึงความคุ้มทุนด้วย เพราะการเผาเพื่อเปลี่ยนสี อาจต้องเผาซ้ำหลายๆ ครั้ง หรือเผายีนอุณหภูมิเป็นระยะเวลานานมาก กว่าที่จะพลอยจะแสดงผลตอบสนอง

สำหรับพลอยหมา จัดว่าเป็นพลอยที่เผาให้แสดงสีได้ง่ายที่สุด เพราะมีปริมาณ Ti ค่อนข้างสูง แม้ปริมาณ Fe จะค่อนข้างต่ำ แต่ก็เพียงพอที่ทั้งสองธาตุจะช่วยกันแสดงสีฟ้าหรือน้ำเงินได้ หลังจากเผาด้วยเตาน้ำมันในบรรยากาศแบบ reduction ที่อุณหภูมิสูงสุดเพียง 1,450 °C

(5) สรุป

โดยสรุป หลักปฏิบัติทั่วไปสำหรับการเผาพลอย ซึ่งต้องถือว่าเป็นการทดลองทุกครั้งที่ทำ การเผา คือ ควรเริ่มต้นที่อุณหภูมิขั้นต่ำ และระยะเวลาสั้นก่อน แล้วเลือกพลอยที่พิจารณาเห็นว่า มีสีและความใสเป็นที่น่าพอใจแล้วออกจากเตา ก่อนที่จะเผาครั้งต่อไปโดยเพิ่มอุณหภูมิ และ/หรือ ระยะเวลา เป็นลำดับตามขั้นตอน เหตุผลที่เสนอว่า ควรดำเนินการเป็นลำดับดังนี้ เพราะการเผาพลอยเชิงพาณิชย์ ย่อมไม่คุ้มที่จะนำพลอยไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เพื่อนำข้อมูลมาประกอบการพิจารณาว่าจะเผาพลอยอย่างไร อีกทั้งเทคนิควิเคราะห์ที่มีอยู่ในปัจจุบันให้ข้อมูลได้เฉพาะจุด เฉพาะตำแหน่งที่ทำกรวิเคราะห์เท่านั้น ไม่สามารถวิเคราะห์เชิงปริมาณในพื้นที่ที่ลึกจากผิวพลอยลงไปได้มาก โดยไม่ทำให้พลอยเสียหาย เท่ากับว่า แม้จะพยายามวิเคราะห์ให้มากที่สุดต่อตัวอย่างพลอยแต่ละตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้รับยังคงจำกัดอยู่เฉพาะบริเวณพื้นผิวรอบๆ เม็ดพลอยเท่านั้น หากเทียบกับความสามารถในการประเมิน

คุณภาพพลอยของผู้ประกอบการไทย ที่ใช้เพียงไฟฉายส่องดูพลอยกับแว่นขยายดูพลอย กลับให้ผลที่น่าเชื่อถือ ว่า พลอยดิบกลุ่มหนึ่งๆ ที่เลือกซื้อ มา จะมีโอกาสเผาสำเร็จได้มากกว่า

สิ่งหนึ่งที่เทคโนโลยีทันสมัย จะเป็นประโยชน์ต่อการเผาพลอยก็คือ การใช้มาตรวัดที่แม่นยำ และมีประสิทธิภาพสูง เช่น เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดการไหลเวียน หรือแรงดันของอากาศ เชื้อเพลิง หรือ แก๊สที่ใช้ในการปรับสภาวะบรรยากาศระหว่างการเผา เพราะค่าเหล่านี้ (อุณหภูมิ ความดัน บรรยากาศ และ oxygen fugacity หรือความแรง/ความเข้มของภาวะออกซิไดส์ หรือรีดิวซ์) เป็นค่าที่ค่อนข้างวิกฤต การเปลี่ยนแปลงของ oxidation state หรือสภาวะขณะที่ธาตุร่องรอยจะเข้าไปแทนที่ Al^{3+} หรือเข้าไปแทนที่ธาตุร่องรอยอื่น ในโครงสร้างของคอร์นดัม มักเกิดขึ้นได้ในช่วงแคบๆ เท่านั้น สูงหรือต่ำจากช่วงวิกฤต นั้นเพียงเล็กน้อย การเปลี่ยนแปลงที่ต้องการอาจไม่เกิดขึ้น หรือซ้ำร้าย อาจเผาจนถึงภาวะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์ และไม่สามารถแก้ไขหรือทำให้ย้อนกลับได้ พลอยที่เผาก็จะเสียหายไป ผู้ประกอบการจึงควรคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้ให้มากขึ้น เพราะถ้ามีอุปกรณ์มาตรวัดที่มีประสิทธิภาพเหมาะสม ประกอบด้วยความสามารถในการดูแลและประเมินพลอยดิบ ผู้ประกอบการบางราย อาจมีความสามารถระบุได้ใกล้เคียง หรือคำนวณได้ว่าพลอยเม็ดนี้ หรือกลุ่มนี้ จะต้องเผาอย่างไร ? (อุณหภูมิ ? แรงดันอากาศ ? อัตราการไหลของเชื้อเพลิง ? แรงดันแก๊สสำหรับปรับสภาวะบรรยากาศ ? ระยะเวลาของแต่ละปัจจัย ? ลำดับของการควบคุมแรงดัน/อัตราการไหล ฯลฯ ?) จึงจะได้ผลดี โดยแทบไม่ต้อง “ทดลอง” เผาก่อนเลย ก็เป็นไปได้

บรรณานุกรม

1. ชานูชัย อัสววินิจกุลชัย, อาริรัตน์ คอนดวงแก้ว และ วัลลภ บุญคง, 2529, *การเสริมคุณภาพของโทแพสด้วยการอาบนิวตรอน*, รายงานวิชาการประจำปี 2529, สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (พปส-3-9) หน้า 165-166.
2. ประจักษ์ อังคะหิรัญ, 2543, *การเผาผลาญ*, เอกสารคำสอนประกอบกระบวนการวิชาการเพิ่มคุณภาพอัญมณี, สาขาวิชาอัญมณีวิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 17 หน้า.
3. ประจักษ์ อังคะหิรัญ, 2545, *การเผาผลาญ*, เอกสารประกอบการบรรยายกระบวนการวิชาการเพิ่มคุณภาพอัญมณี, สาขาวิชาอัญมณีวิทยา, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 49 หน้า.
4. พงศ์ทิพย์ วิโนทัย, วรุณี ถิรมงคล, ไอ มิง ถัง, วิเรศ วีระสัย, ธนากร โอสดจันท์ และ ขวัญ อารยะชนิตกุล, 2541, การเพิ่มและลดสีในแซปไฟร์จากอัฟริกา, ใน “*วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกับอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ*”, นัตรชัย สมศิริ, พรสวาท วัฒนกุล, สุรพล ภัทรนคร และ พงษ์จันทร์ จันทยศ (บรรณาธิการ), สกว., กรุงเทพฯ, หน้า 101-112.
5. ประพจน์ แอดาล, 2533, *การออกแบบและก่อสร้างเตาเผาผลาญความร้อนสูง*, รายงานปริญา วศ.บ (วิศวกรรมศาสตร), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 217 หน้า.
6. พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ, มงคล ราชนิยม, สุภาณี ลิ้มสุวรรณ, พงศ์พันธ์ จินดาอุดม และสถาพร จันทน์หอม, 2535, *การสร้างและพัฒนาเตาไฟฟ้าอุณหภูมิสูงสำหรับการเผาผลาญ*, ภาควิชาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 12 หน้า.
7. พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ, มงคล ราชนิยม, วิยะพล พัฒนเศรษฐกุล และสถาพร จันทน์หอม, 2541, การวิจัยและพัฒนาเตาอุณหภูมิสูงแบบปรับบรรยากาศได้สำหรับการเผาผลาญ, ใน “*วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกับอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ*”, นัตรชัย สมศิริ, พรสวาท วัฒนกุล, สุรพล ภัทรนคร และพงษ์จันทร์ จันทยศ (บรรณาธิการ), สกว., กรุงเทพฯ, หน้า 129-138.
8. พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ, มงคล ราชนิยม, วิยะพล พัฒนเศรษฐกุล และสถาพร จันทน์หอม, 2543, *การพัฒนาเตาอุณหภูมิสูงแบบปรับบรรยากาศได้สำหรับการเผาผลาญ*, รายงานการวิจัย, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ, 74 หน้า.
9. โปยม อรัญยกานนท์, ประพิศ สัมปัตตะวนิช และ รัก หารษาเวก, 2521, การหุงผลอยตระกูลคอร์ันดัม, เอกสารสำหรับประชาชน ฉบับที่ 23, กรมทรัพยากรธรณี, เรื่อง “อัญมณี”, หน้า 12.
10. โปยม อรัญยกานนท์, วัลลภ บุญคง และ รัก หารษาเวก, 2529, การใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อพัฒนาคุณภาพรัตนชาติ, *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 3, หน้า 27-33.

11. ภัทรารธรรม คหะวงศ์, 2538, การทดลองเผาผลายสินน้ำเงินที่อุณหภูมิต่ำ, รายงานปัญหาพิเศษ หลักสูตร วท.บ.(เคมีอุตสาหกรรม), คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 48 หน้า.
12. ภิญโญ มีชำนะ, 2534, การปรับปรุงคุณภาพพลอยโดยใช้เทคนิคเผาอุณหภูมิสูงที่ผลิตในประเทศ, รายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัยและพัฒนาของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ครั้งที่ 1/2534 (พ.ค. – ต.ค. 2534), 26 หน้า.
13. รัก ธรรมชาติ, 2531, การเพิ่มคุณค่าทับทิมและแซปไฟร์ด้วยกรรมวิธีการใช้ความร้อน, การประชุมเหมืองแร่ ประจำปี 2531, กรมทรัพยากรธรณี, หน้า 241-247.
14. รัก ธรรมชาติ, 2544, ศักยภาพพลอยมาดากัสการ์กับแนวโน้มการลงทุน, เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง “พลอยมาดากัสการ์ : นิมิตรใหม่ของผู้ประกอบการไทย”, 15 กุมภาพันธ์ 2544, กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ, 10 หน้า.
15. รัก ธรรมชาติ และ กฤตยา ปัทมาลัย, 2539, เทคนิคการเผาพลอยทับทิมและแซปไฟร์, เอกสารประกอบการบรรยายเรื่อง “การเพิ่มคุณภาพรัตนชาติ” ในการอบรมเรื่อง “เรียนรู้การดูพลอย”, 21-25 สิงหาคม 2539, กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ, 3 หน้า.
16. วรณี ธีรมงคล, 2535, การศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มมูลค่ามรกตและเพทายด้วยการเผา, กองการวิจัย, กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 16 หน้า.
17. วัลลภ บุญคง, 2543, การเปลี่ยนสีของอัญมณีเมื่อนำย้อมสี, ใน “อัญมณีหายรังสี” กองพิสิทธ์, สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ, หน้า 6-12.
18. วัลลภ บุญคง, ชาญชัย อัสวินิกุลชัย, อารีรัตน์ คอนดงแก้ว, นพวรรณ ศรีรัตนประเสริฐ และอัจฉรา แสงอรียวนิช, 2533, การเพิ่มคุณภาพของพลอยโดยวิธีการอบรังสี, การสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง “พลอยอัญมณีอันมีค่าของไทย”, 17-21 ธันวาคม 2533, ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 187-197.
19. สมยศ หอวรรณกุล, 2531, การศึกษาเพื่อพัฒนาเทคนิคการเผาผลายสินน้ำเงิน, รายงานปริญา วศ.บ. (วิศวกรรมศาสตร์), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 124 หน้า.
20. สุชาติพิศ ศิริไพศาลพิพัฒน์, ทิพย์มนต์ ภัทรากร, สุกจิต สงวนเรือง, นัทธมน คุณแสง และสุรพล ภัทรากร, 2541, การศึกษาและพัฒนาสถานะการเผาทับทิม, ใน “วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกับอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ”, ฉัตรชัย สมศิริ, พรสวาท วัฒนกุล, สุรพล ภัทรากร และพงษ์จันทร์ จันทยศ (บรรณาธิการ), สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ, หน้า 115-125.
21. สุชาติพิศ ศิริไพศาลพิพัฒน์, สุกจิต สงวนเรือง และนัทธมน คุณแสง, 2543, การพัฒนาสถานะของการเผาทับทิม, รายงานการวิจัย, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ, 219 หน้า.

22. สุปานิ ลิมสุวรรณ, นพพร ศาสตร์จำ, พรเพ็ญ ไยเจริญ และพิเชษฐ ลิมสุวรรณ, 2536, *การสร้างและพัฒนาเตาไฟฟ้าอุณหภูมิสูงสำหรับการเผาพลอย*, รายงานการวิจัย, ภาควิชาฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 110 หน้า.
23. อภิลักขณ์ มาสกุล, 2542, *มูลค่าเพิ่มของพลอยจากกรรมวิธีการเผา : กรณีศึกษาจังหวัดจันทบุรี*, การค้นคว้าแบบอิสระ, เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 61 หน้า.
24. อิสรา วีระวัฒน์สกุล, สัมพันธ์ นันทขว้าง และชวลิต พรหมบุญ, 2540, *การศึกษาเพื่อพัฒนาเทคนิคการเผาพลอยตระกูลคอรันดัม*, รายงานการวิจัย, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 129 หน้า.
25. Abraham, J.S.D., 1982, Heat treating corundum : the Bangkok operation, *Gems & Gemology*, v. 18, no. 2, p. 79-82.
26. Chikayama, A. and Furuya, M., 2001, *Sparks gem rush at Ilakaka deposit in Madagascar*, 28th International Gemmological Conference, Madrid, Spain, p. 19-21.
27. Crowningshield R. and Nassau, K., 1981, The heat and diffusion treatment of natural and synthetic sapphires, *J. Gemm.*, v. 17, no. 8, p. 528-541.
28. Ediriweera, R.N. and Perera, S.I., 1989, Heat treatment of geuda stones – spectral investigation, *J. Gemm.*, v. 21, no. 7, p. 403-404.
29. Ediriweera, R.N., Perera, S.I., and Weerasinghe, W., 1991, Method for creating required atmospheric conditions within crucibles placed inside a furnace, *The Australian Gemmologist*, v. 17, no. 11, p. 443-445.
30. Emmett, J.L., 1999, Fluxes and the heat treatment of ruby and sapphire, *Gems & Gemology*, v. 35, no. 3, p. 90-92.
31. Emmett, J.L. and Douthit, T.R., 1993, Heat treating the sapphires of Rock Creek, Montana, *Gems & Gemology*, v. 29, no. 4, P. 250-272.
32. Emmett, J.L., Scarratt, K., McClure, S.F., Moses, T., Douthit, T.R., Hughes, R., Novak, S., Shigley, J.E., Wang, W., Bordelon, O. and Kane, R.E., 2003, Beryllium Diffusion of Ruby and Sapphire, *Gems & Gemology*, v. 39, no. 2, p. 84-135.
33. Fritsch, E. and Rossman, G.R., 1987, An update on color in gems. Part 1 : introduction and colors caused by dispersed metal ions, *Gems & Gemology*, v. 23, no. 3, p. 126-139.
34. Fritsch, E. and Rossman, G.R., 1988a, An update on color in gems. Part 2 : colors involving multiple atoms and color centers, *Gems & Gemology*, v. 24, no. 1, p. 3-15.

35. Fritsch, E. and Rossman, G.R., 1988b, An update on color in gems. Part 3 : colors caused by band gaps and physical phenomena, *Gems & Gemology*, v. 24, no. 2, p. 81-102.
36. Gübelin, E. and Peretti, A., 1997, Sapphires from Andranondambo mine in SE Madagascar : evidence for Metasomatic skarn formation, *J. Gemm.*, v. 25, no. 7, p. 453-470.
37. Gunaratne, H.S., 1981, 'Geuda sapphires' – their colouring elements and their reaction to heat, *J. Gemm.*, v. 17, no. 5, p. 292 – 300.
38. Gunawadene, M., 1984, Contribution towards the identification of treated corundums : heat and diffusion treated rubies, *J. Gemm.*, v. 19, no. 4, p. 298-310.
39. Häger, T., 2001, *High temperature treatment of natural corundum*, Proceedings of the International Workshop on Material Characterization by Solid State Spectroscopy : The Minerals of Vietnam, April 4-10, Institute of Materials Science, Hanoi.
40. Hänni, H.A., 1999, Blue, pink, and purple sapphires from Ilakaka, Madagascar, Gem News, *Gems & Gemology*, v. 27, no. 2, p. 149-150.
41. Hänni, H.A., 2001, Important new ruby deposits in eastern Madagascar : Chemistry and internal features, Gem News International, *Gems & Gemology*, v. 37, no. 2, p. 146-147.
42. Hänni, H.A., 2002, Orange treated sapphire – towards finding a name for a new product, *J. Gemm. Assoc. Hong Kong*, v. 23, p. 23-28.
43. Henn, U. and Milisenda, C.C., 2001, The gemstone occurrences of Madagascar, *The Australian Gemmologist*, v. 21, p. 76-82.
44. Hughes, R.W., 1997, *Ruby and Sapphire*, RWH Publishing, 511 p.
45. Jobbins, E.A., 1971, Heat-treatment of pale blue sapphire from Malawi, *J. Gemm.*, v. 12, no. 8, p. 342-343.
46. Kiefert, L., Schmetzer, K., Krzemnicki, M.S., Bernhardt, H.-J. and Hänni, H.A., 1996, Sapphires from Andranondambo area, Madagascar, *J. Gemm.*, v. 25, no. 3, p.185-209.
47. Leuenberger, A., 2001, The new ruby deposits in eastern Madagascar : Mining and production, Gem News International, *Gems & Gemology*, v. 37, no. 2, p.147-149.
48. Maxwell, M., 2002, The processing and heat treatment of Subera (Queensland) sapphire rough, *The Australian Gemmologist*, v. 21, p. 279-286.
49. McClure, S.F., 2002, Gem Trade Lab Notes : Bulk-diffusion treated sapphire with synthetic overgrowth, *Gems & Gemology*, v. 38, no. 3, p. 255-256.

50. McClure, S.F., Kammerling, R.C. and Fritsch, E., 1993, Update on diffusion-treated corundum : Red and other colors, *Gems & Gemology*, v. 29, no. 1, p. 16-28.
51. McClure, S.F., Moses, T., Wang, W., Hall, M. and Koivula, J.I., 2002, Gem News International : A new corundum treatment from Thailand, *Gems & Gemology*, v. 38, no. 1, p. 86-90.
52. McClure, S.F. and Smith, C.P., 2000, Gemstone enhancement and detection in the 1990s, *Gems & Gemology*, v. 36, no. 4, p. 336-359.
53. Milisenda, C.C. and Henn, U., 1996, Compositional characteristics of sapphires from a new find in Madagascar, *J. Gemm.*, v. 25, no. 3, p. 177-184.
54. Milisenda, C.C., Henn, U. and Henn, J., 2001, New gemstone occurrences in the south-west of Madagascar, *J. Gemm.*, v. 27, no. 7, p. 385-394.
55. Ministry of Energy and Mines, Madagascar, 2002, Direction of Mines and Geology.
56. Moses, T., Hall, M. and Wang, W., 2002, Gem Trade Lab Notes : More bulk diffusion-rubies and orange sapphires, *Gems & Gemology*, v. 38, no. 4, p. 342-344.
57. Nassau, K., 1981, Heat treating ruby and sapphire : technical aspects, *Gems & Gemology*, v. 17, no. 3, p. 121-131.
58. Nassau, K., 1983, *The physics and chemistry of color*, John Wiley & Sons, 454 p.
59. Nassau, K., 1984a, *Gemstone Enhancement*, 1st ed., Butterworths, 221 p.
60. Nassau, K., 1984b, The early history of gemstone treatments, *Gems & Gemology*, v. 20, no. 1, p. 22-33.
61. Nassau, K., 1994, *Gemstone Enhancement, History, Science and State of the Art*, 2nd ed., Butterworth – Heineman, 252 p.
62. Nassau, K., 1999, An overview of gemstone treatments, *Gems & Gemology*, v. 35, no. 3, p. 95-96.
63. Nassau, K., 2001, *The physics and chemistry of color*, 2nd ed., John Wiley & Sons, 481 p.
64. Nassau, K. and Nicolett, C., 1990, Crustal evolution of the granulites of Madagascar, in D. Vielzeuf and P. Vidal (eds) : *Granulites and crustal evolution*, Academic Publishers, p. 291-310.
65. Nicolett, C., 1990, Crustal evolution of the granulites of Madagascar, in D. Vielzeuf and P. Vidal (eds) : *Granulites and crustal evolution*, Academic Publishers, p. 291-310.
66. Paech, H.-J., 1988, Outline of the geologic history of South-East Africa and Madagascar, *Zeitschrift für geologische Wissenschaften*, Band 16, Heft 7, p. 569-676.
67. Pemadasa, T.G. and Danapala, M.V., 1994, Heat treated corundums of Sri Lanka: Their heat treatment, *The Australian Gemmologist*, v. 18, no. 11, p. 346-347.

68. Perera, S.I., Pannila, A.S., Gunasekera, H.P.N.J. and Ediriweera, R.N., 1991, Anomalous behaviour of certain geuda corundums during heat treatment, *J. Gemm.*, v. 22, no. 7, p. 405-407.
69. Peretti, A. and Gunther, D., 2002, The Color Enhancement of Fancy Sapphires with a New Heat-treatment Technique, *Contributions to Gemology*, no. 1, p. 1-48.
70. Peretti, A., Gunther, D. and Graber, A.L., 2003, The Beryllium Treatment of Fancy Sapphires with a New Heat-treatment Technique, *Contributions to Gemology*, no. 2, p. 21-36.
71. Pezzotta, F., 2001, Madagascar : A mineral and gemstone paradise, *extraLapis English*, No. 1, 97 p.
72. Pisutha-Arnond, V., Hager, T., Wathanakul, P. and Atichat, W., 2004, Yellow and brown coloration in beryllium-treated sapphires, *J. Gemm.*, v. 29, no. 2, p. 77-103.
73. Proust, M.A., 2002, New sapphire treatment still a mystery, *Colored Stone*, v. 15, no. 2, p. 12-13.
74. Qi, L., Yuan, X., Lin, S. and Wang, Z., 2002, Colouring mechanism of high-temperature heat-treated orange sapphire in Madagascar (in Chinese), *J. Gems and Gemology*, v. 4, no. 4, p. 1-5.
75. Sasaki, E., 1980, Treatment of sapphires, *Z.Dt. Gemmol.Ges.*, v. 29, no. 1/2, p. 66.
76. Scarratt, K., 1983, Notes from the Laboratory : Diffusion treated corundum, *J. Gemm.*, v. 18, no. 6, p. 523-530.
77. Schmetzer, K., 1999, Ruby and variously coloured sapphires from Ilakaka, Madagascar, *The Australian Gemmologist*, v. 20, p. 282-284.
78. Schmetzer, K., Bosshart, G. and Hanni, H.A., 1983, Naturally-coloured and treated yellow and orange-brown sapphires, *J. Gemm.*, v. 18, no.7, p. 607-622.
79. Schmetzer, K. and Kiefert, L., 1990, Spectroscopic evidence for heat treatment of blue sapphires from Sri Lanka – additional data, *J. Gemm.*, v. 22, no. 2, p. 80-82.
80. Schwarz, D., Kanis, J. and Schmetzer, K., 2000, Sapphires from Antsiranana Province, Northern Madagascar, *Gems & Gemology*, v. 36, no. 3, p. 216-233.
81. Schwarz, D., Petsch, E.J. and Kanis, J., 1996, Sapphires from the Andranondambo region, Madagascar, *Gems & Gemology*, v. 32, no. 2, p. 80-99.
82. Schwarz, D. and Schmetzer, K., 2001, Rubies from the Vatomandry area, eastern Madagascar, *J. Gemm.*, v.27, no. 7, p. 395-408.
83. Superchi, M., Donini, A., Muzzioli, D. and Roman, E., 1997, *Sapphire occurrences at Ambondromifehy on the Antsiranana province, north Madagascar*, 26th International Gemmological Conference, Idar –Oberstein, Germany, p. 62-63.

84. Sutherland, F.L., Hoskin, P.W.O., Fanning, C.M. and Coenraads, R.R., 1998a, Models of corundum origin from alkali basaltic terrains : A reappraisal, *Contr. Min. Pet.*, v. 133, no. 4, p. 356-372.
85. Sutherland, F.L., Schwarz, D., Jobbins, E.A., Coenraads, R.R. and Webb, G., 1998b, Distinctive gem corundum suites from discrete basalt fields : A comparative study of Barrington, Australia, and West Pailin, Cambodia, gem fields, *J.Gemm.*, v. 26, no. 2, p. 66-85.
86. Sutherland, F.L. and Schwarz, D., 2001, Origin of gem corundums from basaltic fields, *The Australian Gemmologist*, v. 21, p. 30-33.
87. Themelis, T., 1992, *The Heat Treatment of Ruby and Sapphire*, 1st ed., Gemlab, Inc., 236p.
88. Themelis, T., 2003, *Beryllium-Treated Rubies and Sapphires*, Bangkok, 48 p.
89. Thiramongkol. V., 1995, *The influence of the environment on heat treatment of corundum*, paper presented at the 25th International Gemmological Conference, 21-27 October 1995, Bangkok and Rayong, Thailand.
90. Tombs, G., 1980, Further thoughts and questions on Australian sapphires, their composition and treatment, *Z.Dt. Gemmol. Ges.*, v. 29, p. 79-81.
91. Wang, W. and Green, B., 2002, Gem News International : Update on Be-diffused corundum, *Gems & Gemology*, v. 38, no. 4, p. 363-364.