



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ลักษณะเฉพาะทางอัญมณีวิทยาของดีมันทอยด์การ์เนตจากประเทศนามีเบีย

โดย

นางสาวเสาวพรรณ ไบรัมย์

เลขประจำตัวนิต 5832740123

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

ลักษณะเฉพาะทางอณูพันธุศาสตร์ของต้นหอมยัดการ์เน็ตจากประเทศนามิเบีย

นางสาวเสาวพรรณ ใบแย้ม

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

GEMOLOGICAL CHARACTERISTIC OF DEMANTOID GARNET FROM NAMIBIA

MISS SAOWAPAN BIYAM

A project submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Science in Geology

Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Academic Year 2018

หัวข้อโครงการ

ลักษณะเฉพาะทางอัญมณีวิทยาของดีมันทอยด์การ์เนตจากประเทศนามิเบีย

โดย

นางสาวเสาวพรรณ ไบรัมย์

สาขาวิชา

ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์

วันที่ส่ง.....13/05/62.....

วันที่อนุมัติ.....



.....
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์)

Project title GEMOLOGICAL CHARACTERISTIC OF DEMANTOID GARNET FROM NAMIBIA
By Saowapan Biyam
Field of Study Geology
Project Advisor Associate Professor Dr.Chakkaphan Sutthirat

Submitted date.....13/05/19.....

Approval date.....


.....

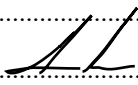
Project Advisor

(Associate Professor Dr.Chakkaphan Sutthirat)

เสาวพรรณ ใบแย้ม : ลักษณะเฉพาะทางอัญมณีวิทยาของดีมันทอยด์การ์เนตจากประเทศนามิเบีย.
(GEMOLOGICAL CHARACTERISTIC OF DEMANTOID GARNET FROM NAMIBIA) อ.ที่ปรึกษา
โครงการหลัก : รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์, 81 หน้า.

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะทางอัญมณีวิทยา และองค์ประกอบทางเคมีของดีมันทอยด์การ์เนต จากแหล่งประเทศนามิเบีย โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ขั้นพื้นฐานและขั้นสูงทางอัญมณีในการวิจัย เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับลักษณะกับดีมันทอยด์การ์เนตจากประเทศอื่น และเป็นการกำหนดคุณภาพและราคาต่อไป ดีมันทอยด์คือชื่อทางการตลาดของการ์เนตประเภทแอนดราไดต์ มีสีเขียวและสีเขียวอมเหลือง มีความแวววาวสูง โดยตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนตในการศึกษาครั้งนี้มาจากพื้นที่ด้านทิศตะวันตกของประเทศนามิเบีย มีต้นกำเนิดมาจากหินแปรในพื้นที่ เช่น หินชีสต์ หินแคลก์-ซิลิเกต หินอ่อน และถูกแทรกด้วยมวลหินแกรนิตในยุคครีเทเชียส ทำให้บางส่วนถูกแปรสภาพแบบสัมผัส และกลายเป็นแร่แอนดราไดต์ที่พบร่วมกับหินอ่อน และหินแคลก์-ซิลิเกต

ตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนตที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีทั้งสิ้น 34 ตัวอย่าง เป็นการ์เนตคุณภาพปานกลาง-ต่ำ บางตัวอย่างอาจสังเกตความขุ่นโดยตาเปล่า มีสีเขียวอมเหลือง โปร่งใส มีค่าความถ่วงจำเพาะ $3.648-3.907 \text{ g/cm}^3$ ค่าดัชนีหักเหแสงสูงกว่า 1.81 และไม่พบการเรืองแสงภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต ภายในพบรอยแตกที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าจำนวนมาก พบมลทินแร่และรอยแตกสมานลายนิ้วมือเด่น โดยอาจพบมลทินคราบสนิมเหล็ก มลทินผลึกเนกาทีฟ และอาจพบแถบการเจริญเติบโตของผลึกได้บ้าง จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่ามีองค์ประกอบหลักเป็น SiO_2 CaO และ $\text{FeO}_{\text{total}}$ และธาตุร่องรอยอื่นๆ สามารถคำนวณสัดส่วน End-member เป็นประเภทแอนดราไดต์มากกว่า 97.4% ขึ้นไป และพบว่ามีปริมาณธาตุร่องรอย Cr_2O_3 ในปริมาณต่ำ จากการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วง UV-Vis-NIR พบว่าสีดังกล่าวเป็นผลมาจากธาตุ Fe^{3+} และ Cr^{3+} ในองค์ประกอบ สามารถสรุปในเบื้องต้นได้ว่า Cr^{3+} ที่เป็นธาตุมลทินที่เป็นตัวกำหนดสีเขียวในดีมันทอยด์การ์เนต แต่ถ้า Cr^{3+} มีปริมาณที่ต่ำมาก จะปรากฏสีอมเหลืองเนื่องจากอิทธิพลขององค์ประกอบหลัก Fe^{3+} ในโครงสร้าง ซึ่งเป็นการเกิดสีแบบ Idiochromatic

ภาควิชา	ธรณีวิทยา	ลายมือชื่อนิสิต	เสาวพรรณ
สาขาวิชา	ธรณีวิทยา	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก.....	
ปีการศึกษา	2561	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม.....	

5832740123 : MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS : GARNET / DEMANTOID / INCLUSION / NAMIBIA / GEMMOLOGY

SAOWAPAN BIYAM : GEMOLOGICAL CHARACTERISTIC OF DEMANTOID GARNET FROM NAMIBIA. ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR DR.CHAKKAPHAN SUTTHIRAT, Ph.D., 81 pp.

Demantoid is a trade name of andradite garnet which has green to yellowish green color and high dispersion. the host rock of demantoid in Namibia is characterized by schist, calc-silicate and marble in the west of the country. These Neoproterozoic meta-sediments were intruded by granitic magma in Cretaceous; consequently, they were metamorphosed to andradite garnet-bearing zone.

The thirty-four demantoid samples under this study are mostly yellowish green with medium-low gem quality. Their luminescence is inert under UV lamps. Their specific gravity values range from 3.648 to 3.907 g/cm³ and refractive indices are over 1.81. Inclusions are significantly composed of mineral crystals and fingerprints. Moreover, iron strain in crack, negative crystal and growth line are also found in some samples. Chemical analyses indicate nearly pure andradite with $\geq 97.4\%$ end-member content. Cr₂O₃ contents of these samples are very low. UV-Vis-NIR absorption spectra indicate that Cr³⁺ and Fe³⁺ is the main cause of yellowish green color. Based on the results of this study and previous works, it can be assumed that the green hue is caused by Cr³⁺ Then lower Cr³⁺ content in demantoid, more intense of yellow hue appears which is influenced by Fe³⁺ idiochromatic coloration.

Department :	Geology	Student's Signature..... <i>Saowapan</i>
Field of Study :	Geology	Advisor's Signature..... <i>C. Suttirat</i>
Academic Year :	2018	Co-advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยชิ้นนี้ได้เกิดขึ้นจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์จากรองศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ สุทธิรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่คอยให้คำแนะนำตั้งแต่ขั้นต้นแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้าย ช่วยแก้ไข ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทำวิจัย อีกทั้งสละเวลาตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ และดูแลความเรียบร้อยของงานวิจัยนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณทัศนรา ศรีบุญจัน สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างในงานวิจัยฉบับนี้ อ.ดร.ภูวดล วัฒนชัยแสง ให้ความอนุเคราะห์ ห้องปฏิบัติการอัญมณีของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และคุณปณชรีย์ ล้อมทอง ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ จากห้องปฏิบัติการ ไอซีเอ เจม ลาบอราทอรี จำกัด และขอขอบพระคุณ อ.ดร.อลงกต ฝืนกา ที่ให้คำแนะนำการทำงานวิจัยครั้งนี้ตลอดมา

ขอขอบคุณบุคลากรภาควิชาธรณีวิทยา และบุคคลผู้เกี่ยวข้องในการทำงานวิจัยครั้งนี้ทุกท่าน คุณจงกล กนก กมลฉ่ำ คุณไศภิต พุ่มพวง คุณณัฐชนนธ์ สีทองสุด และเพื่อนๆธรณีวิทยาที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัย ในตลอดเวลาที่ผ่านมา ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดีมา ณ ที่นี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สมมติฐาน	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.5 พื้นที่ศึกษา	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	13
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย	13
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	15
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์	19
4.1 ลักษณะทั่วไป	19
4.2 สีของตัวอย่าง	19
4.3 นิสัยรูปผลึก	20
4.4 การเตรียมตัวอย่าง	21
4.5 ผลลัพธ์การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ	22
4.6 ลักษณะภายใน	23
4.7 การดูดกลืนคลื่นแสงช่วง UV-VIS-NIR	28
4.8 การดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นอินฟราเรด (FTIR)	29
4.9 องค์ประกอบทางเคมี	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 อภิปราย และสรุปผล	33
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก ก.	40
ภาคผนวก ข.	43
ภาคผนวก ค.	52
ภาคผนวก ง.	62

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 ตำแหน่งของเหมือง The Green Dragon บนแผนที่ธรณีวิทยาของประเทศนามิเบีย (จาก Gray et al, 2008)	3
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างผลึกของคาร์เนต เมื่อตัดตามหน้า (001) (Grew et al., 2013)	4
ภาพที่ 2.2 แสดงสเปกตรัมในช่วงอัลตราไวโอเล็ต-แสงที่ตามองเห็น (UV-Visible light) ของตัวอย่างแร่ในกลุ่มคาร์เนต (Phillips and Talantsev, 1996)	5
ภาพที่ 2.3 แสดงมลทินแบบหางม้าที่พบในดีมันทอยด์ จากประเทศรัสเซีย (Phillips and Talantsev, 1996)	6
ภาพที่ 2.4 แสดงมลทินภายในที่พบในตัวอย่างดีมันทอยด์ จากประเทศมาดากัสการ์ (Pezzotta et al., 2011)	10
ภาพที่ 2.5 backscattered electron image ของมลทินแร่โวลลาสโทไนต์ (wollastonite) ลักษณะผลึกเป็นแนวยาว ขนาดประมาณ 0.4 มิลลิเมตร (Pezzotta et al., 2011)	10
ภาพที่ 2.6 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนของดีมันทอยด์ จากประเทศอิตาลี (Adamo et al., 2015)	11
ภาพที่ 2.7 ตำแหน่งเหมือง The Green Dragon บนแผนที่ธรณีวิทยาของประเทศนามิเบีย (Gray et al, 2008)	12
ภาพที่ 3.1.1 แสดงลำดับขั้นตอนการวิจัย	13
ภาพที่ 3.2.1 เครื่องมือ hydrostatic balance จากวิทยาลัยอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	15
ภาพที่ 3.2.2 เครื่องมือ Refractometer (ภาพจาก thai.gemtestinginstruments.com)	16
ภาพที่ 3.2.3 เครื่องมือ UV Lamp (ภาพจาก thai.gemtestinginstruments.com)	16
ภาพที่ 3.2.4 เครื่องมือ gemological microscope จากวิทยาลัยอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	17
ภาพที่ 3.2.5 เครื่องมือ UV-Vis-NIR Spectrophotometer (JASCO Model: V-770) จากห้องปฏิบัติการ ไอซีเอ เจม ลาบอราทอรี จำกัด (ICA)	17
ภาพที่ 3.2.6 เครื่องมือ FTIR Spectrophotometer (Thermo Scientific Model: Nicolet iS50) จากห้องปฏิบัติการ ไอซีเอ เจม ลาบอราทอรี จำกัด (ICA)	18
ภาพที่ 3.2.7 เครื่องมือ EPMA จากภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (JEOL JXA-8100)	18

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.1.1 แสดงตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย จำนวน 34 ตัวอย่าง	19
ภาพที่ 4.2.1 แสดงตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนตสีเขียวมเหลืองเล็กน้อย จากประเทศนามิเบีย	20
ภาพที่ 4.2.2 แสดงตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนตสีเขียวมเหลืองมาก จากประเทศนามิเบีย	20
ภาพที่ 4.3.1 ตัวอย่างที่แสดงรูปผลึกทรงสิบสองหน้าบางส่วนของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้เลนส์กำลังขยาย20x (CU smart lens)	20
ภาพที่ 4.3.2 ตัวอย่างที่แสดงรูปผลึกทรงสิบสองหน้าบางส่วนของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้เลนส์กำลังขยาย20x (CU smart lens)	20
ภาพที่ 4.3.3 ตัวอย่างที่แสดงรูปผลึกทรงสิบสองหน้าบางส่วนของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้เลนส์กำลังขยาย20x (CU smart lens)	21
ภาพที่ 4.3.4 ตัวอย่างที่ไม่แสดงหน้าผลึกชัดเจนของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้เลนส์กำลังขยาย20x (CU smart lens)	21
ภาพที่ 4.3.5 แสดงตัวอย่างผลึกแผ่ของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้เลนส์กำลังขยาย20x (CU smart lens)	21
ภาพที่ 4.3.6 แสดงตัวอย่างผลึกรวมของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้เลนส์กำลังขยาย20x (CU smart lens)	21
ภาพที่ 4.5.1 ตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ภายใต้รังสีอัลตราไวโอเล็ต	22
ภาพที่ 4.6.1 แสดงรอยแตกภายในที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าในตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM4)	24
ภาพที่ 4.6.2 แสดงรอยแตกภายในที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าในตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM21)	24
ภาพที่ 4.6.3 แสดงมลทินแร่รูปแท่ง ในตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM6)	25
ภาพที่ 4.6.4 แสดงมลทินแร่รูปร่างประหลาด ในตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM8)	25
ภาพที่ 4.6.5 แสดงมลทินแร่ลักษณะคล้ายตะไคร่ ในตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบียถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM3)	25

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า	
ภาพที่ 4.6.6	แสดงมลทินแร่เส้นใย (fibrous mineral inclusion) ในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM16)	25
ภาพที่ 4.6.7	แสดงมลทินรอยแตกสมานรอยนิ้วมือรอยเดี่ยวในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM9)	26
ภาพที่ 4.6.8	แสดงมลทินรอยแตกสมานรอยนิ้วมือรอยเดี่ยวในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM1)	26
ภาพที่ 4.6.9	แสดงมลทินรอยแตกสมานรอยนิ้วมือแบบซับซ้อนในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM13)	26
ภาพที่ 4.6.10	แสดงมลทินรอยแตกสมานรอยนิ้วมือแบบซับซ้อนในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM5)	26
ภาพที่ 4.6.11	แสดงมลทินคราบสนิมในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM32)	27
ภาพที่ 4.6.12	แสดงมลทินคราบสนิมในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM26)	27
ภาพที่ 4.6.13	แสดงผลึกเนกาทีฟในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM13)	27
ภาพที่ 4.6.14	แสดงผลึกเนกาทีฟในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM26)	27
ภาพที่ 4.6.15	แสดงแถบการเจริญเติบโตของผลึกในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 20x (DG_NAM22)	28
ภาพที่ 4.6.16	แสดงแถบการเจริญเติบโตของผลึกในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM21)	28
ภาพที่ 4.7.1	ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย (DG_NAM01)	28

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 4.8.1	ตัวอย่างสเปกตรัมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับตำแหน่งเลขคลื่น (wave number) ในการดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรดของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย (DG_NAM25)	29
ภาพที่ 5.1	แสดงผลหินแร่รูปร่างประหลาดที่พบได้ในตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM8)	34
ภาพที่ 5.2	แสดงผลหินรอยแตกสมานรอยนิ้วมือแบบซับซ้อนที่พบได้ในตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM5)	34
ภาพที่ 5.3	แสดงผลหินแร่รูปร่างของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย(ซ้าย) เทียบเคียงกับ ภาพผลหินแร่โวลลาสโทไนต์จากการวิเคราะห์ผ่าน SEM-EDS ของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศมาดากัสการ์(ขวา) (Pezzotta et al., 2011)	34
ภาพที่ 5.4	ภาพผลึกผลหินแร่ลักษณะคล้ายตะไคร่ในดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย(ซ้าย) เทียบเคียงกับ ภาพผลหินแร่ไดออปไซด์ผลึกรวมสีขาว พบในดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศมาดากัสการ์(ขวา) (Pezzotta et al., 2011)	34
ภาพที่ 5.5	แสดงผลหินหางม้า ในดีมันทอยด์คาร์เนตจากประเทศรัสเซีย (Phillips and Talantsev, 1996) (ซ้าย) และภาพผลหินแร่เส้นใยในดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ที่พบเป็นเส้นใยเกาะกันหลวมๆ และไม่พบแร่โครไมต์(ขวา)	35
ภาพที่ 5.6	แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนของ Fe ³⁺ Al ³⁺ และ Cr ³⁺ ของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศมาดากัสการ์ อิตาลี และนามิเบีย(ในศึกษาครั้งนี้) (ข้อมูลจาก Pezzotta et al., 2011 และ Adamo et al., 2015)	36
ภาพที่ 5.7	แสดงการเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงในช่วง UV-Vis-NIR ของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย(ด้านบน)และอิตาลี(ด้านล่าง) (ดัดแปลงจาก Adamo et al., 2015) แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนในช่วง 3000-4000 cm ⁻¹ ของดีมันทอยด์คาร์เนต จาก	37
ภาพที่ 5.8	ประเทศนามิเบีย(ซ้าย) เปรียบเทียบกับสเปกตรัมการดูดกลืนในช่วง 3450-3650 cm ⁻¹ ของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศอิตาลี(ขวา) (Adamo et al., 2015)	38

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ชนิดแร่ในกลุ่มคาร์เนตทั้งหมด 14 ชนิด จำแนกตามสัดส่วนไอออนที่พบใน X Y และ Z sites	4
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติพื้นฐานทางอัญมณีของดีมันทอยด์ จากประเทศมาดากัสการ์ (Pezzotta et al., 2011)	7
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างดีมันทอยด์ จากประเทศมาดากัสการ์ วิเคราะห์โดย electron microprobe (Pezzotta et al., 2011)	8
ตารางที่ 2.4 แสดงธาตุร่องรอยของตัวอย่างดีมันทอยด์ จากประเทศมาดากัสการ์ วิเคราะห์โดย LA-ICP-MS (Pezzotta et al., 2011)	9
ตารางที่ 4.1 สรุปลักษณะทางกายภาพของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย	22
ตารางที่ 4.2 แสดงมลทินที่พบในตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย	23
ตารางที่ 4.3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีโดยเครื่องมือ EMPA ของตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย	31

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ดีมันทอยด์การ์เนต (demantoid garnet) เป็นชื่อทางการตลาดของอัญมณีที่อยู่ในกลุ่มแร่การ์เนต ประเภทแอนดราไดต์ (andradite) มีลักษณะเด่นคือ มีสีเขียวบริสุทธิ์จนถึงสีเขียวอมเหลือง มีค่าดัชนีการหักเหของแสงที่สูง และความวาวเทียบเท่าเพชร

โดยกลุ่มแร่การ์เนต (garnet group) สามารถจำแนกย่อยได้เป็น 2 กลุ่ม คือ Pyralspite ที่มีไอออนใน Y-site เป็น Al^{3+} ประกอบไปด้วย ไพโรป ($Mg^{2+}_3Al_2Si_3O_{12}$) แอลมันไดต์ ($Fe^{2+}_3Al_2Si_3O_{12}$) และ สเปสซาร์ไทต์ ($Mn^{2+}_3Al_2Si_3O_{12}$) และ กลุ่ม Ugrandite ที่มีไอออนใน X-site เป็น Ca^{2+} ประกอบไปด้วย แอนดราไดต์ ($Ca_3Fe^{3+}_2Si_3O_{12}$) อุวาร์ไวต์ $Ca_3Cr^{3+}_2Si_3O_{12}$ และกรอสซูลาร์ ($Ca_3Al^{3+}_2Si_3O_{12}$) สำหรับองค์ประกอบของดีมันทอยด์การ์เนตจัดเป็นแอนดราไดต์เป็นหลัก โดยอาจมีบางส่วนของ X-site ที่ Ca^{2+} ถูกแทนที่ด้วยธาตุประจุ 2+ อื่น เช่น Fe^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} ในทำนองเดียวกันด้านของ Y-site บางส่วน Al^{3+} ก็อาจถูกแทนที่ด้วยธาตุประจุ 3+ อื่นๆ เช่น Cr^{3+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , V^{3+} เป็นต้น

การ์เนตสีเขียวดีมันทอยด์นี้ในตลาดอัญมณี จัดว่าเป็นการ์เนตที่มีราคาสูงที่สุด เนื่องจากหาได้ยากและมีเหมืองที่พบน้อยแห่งในโลก อีกทั้งยังเป็นที่ยิยมของผู้สะสมทั่วโลก ซึ่งแหล่งกำเนิดดีมันทอยด์การ์เนตที่คุณภาพดีที่สุดอยู่ในประเทศรัสเซีย ซึ่งมีสีเขียวบริสุทธิ์และพบมลทินทางม้า แต่ก็สามารถพบดีมันทอยด์ได้ในประเทศนามิเบีย มาร์ดากัสการ์ และอิตาลีที่มีคุณภาพที่แตกต่างกันออกไป ทำให้ข้อมูลของแหล่งที่พบมีความสำคัญในการกำหนดคุณภาพและราคาของดีมันทอยด์การ์เนต ถึงแม้ปัจจุบัน ประเทศนามิเบียเป็นที่มีการทำเหมืองและส่งออกดีมันทอยด์การ์เนตเป็นอันดับ 1 ของโลก (Musiyarira et al., 2017) แต่ยังคงขาดการวิเคราะห์ทางอัญมณีวิทยา และเชื่อมโยงกับแหล่งกำเนิดดีมันทอยด์การ์เนตที่พบในประเทศนามิเบีย จึงเป็นเหตุผลสำคัญในการศึกษาลักษณะทางอัญมณีวิทยา (gemological characteristics) การศึกษาลักษณะภายใน (internal characteristics) และการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี (chemical properties) ของดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย เพื่อนำไปสู่การสร้างฐานข้อมูลจำเพาะแหล่ง ซึ่งมีความเชื่อมโยงการเกิดดีมันทอยด์การ์เนตในพื้นที่ประเทศนามิเบีย และนำไปสู่การเปรียบเทียบคุณภาพกับแหล่งอื่นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะทางอัญมณีวิทยา และองค์ประกอบทางเคมีของดีมันทอยด์การ์เน็ต จากแหล่งประเทศนามิเบีย

1.3 สมมติฐาน

ดีมันทอยด์การ์เน็ต จากประเทศนามิเบีย มีลักษณะเฉพาะทางอัญมณีวิทยาและลักษณะทางเคมีที่แตกต่างจากดีมันทอยด์การ์เน็ตจากแหล่งอื่น

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาดีมันทอยด์การ์เน็ต จากประเทศนามิเบีย จำนวน 34 ตัวอย่าง ประกอบด้วยการศึกษาลักษณะทางกายภาพ (physical properties) ลักษณะทางแสง (optical properties) และองค์ประกอบทางเคมี (chemical properties) โดยใช้การสังเกตลักษณะภายนอก รวมถึงการใช้เครื่องมือทางอัญมณีวิทยาขั้นพื้นฐาน และเครื่องมือขั้นสูงในการวิเคราะห์

1.5 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่เหมือง The Green Dragon Mine ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของประเทศนามิเบีย บริเวณเทือกเขาเอรองโก (Erongo Mountain) ที่อยู่ใน Damara Belt แสดงดังภาพที่ 1.1

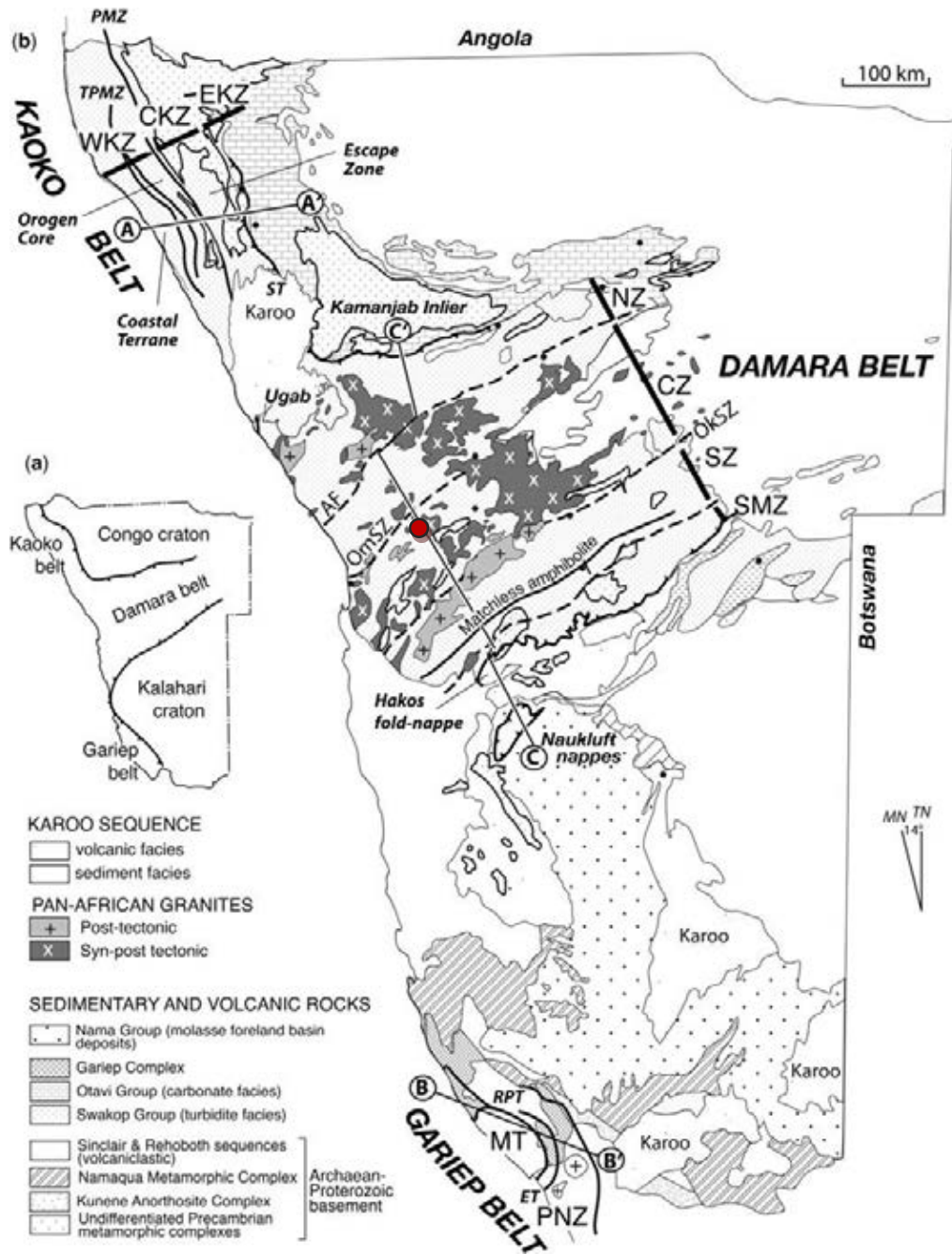
ดีมันทอยด์การ์เน็ตที่ได้จากการแปรสภาพแบบสัมผัส (contact metamorphism) ในชุดหิน Damara Meta-sediment เป็นหินเก่าแก่ที่อยู่ในยุค Neoproterozoic Era หรือ Late Precambrian ซึ่งประกอบไปด้วยหินแปรหลายชนิด เช่น หินชีสต์ (schists) หินแอมฟิโบลไลต์ (amphibolites) หินแคลก์-ซิลิเกต (calc-silicate rocks) และหินอ่อน (marbles) และเกิดการแทรกของมวลหินแกรนิต Erongo Igneous Complex ในยุคครีเทเชียส (Cretaceous) (Koller et al., 2012)

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ลักษณะเฉพาะทางอัญมณีวิทยาของดีมันทอยด์การ์เน็ต จากประเทศนามิเบีย ประกอบไปด้วยลักษณะทางกายภาพ ลักษณะทางแสง และองค์ประกอบทางเคมี

1.6.2 เพื่อพัฒนาฐานข้อมูลทางอัญมณี ในการตรวจสอบดีมันทอยด์การ์เน็ต นำไปสู่การตรวจสอบคุณภาพเทียบกับแหล่งอื่นต่อไป

1.6.3 เพิ่มทักษะการวิเคราะห์ผลลัพธ์จากเครื่องมือพื้นฐานและเครื่องมือขั้นสูง ในการหาคุณสมบัติทางอัญมณี และองค์ประกอบทางเคมีของแร่ที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ

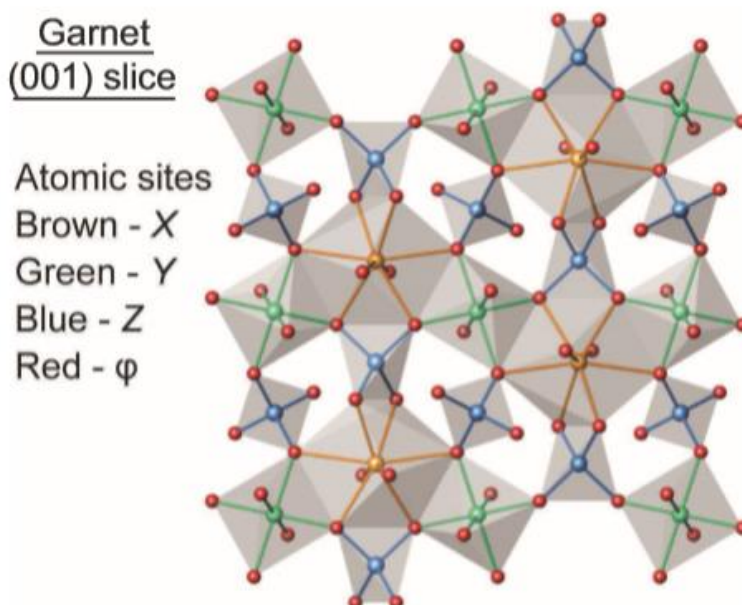


ภาพที่ 1.1 ตำแหน่งของเหมือง The Green Dragon บนแผนที่ธรณีวิทยาของประเทศนามิเบีย (จาก Gray et al, 2008)

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Grew et al. (2013) จำแนกให้กลุ่มแร่การ์เนต (garnet group) เป็นแร่ในกลุ่มนีโซซิลิเกต (Nesosilicates) มีสูตรทางเคมีอย่างง่ายคือ $X_3Y_2Z_3O_{12}$ ประกอบไปด้วยธาตุประจุ 2+ ใน X-site โดยเฉพาะ Ca^{2+} Mg^{2+} Fe^{2+} Mn^{2+} เกิดเป็นรูปทรงสิบสองหน้า (dodecahedral site) ธาตุประจุ 3+ ใน Y-site โดยเฉพาะ Al^{3+} Fe^{3+} Cr^{3+} และ Sc^{3+} V^{3+} ได้บ้าง เกิดเป็นรูปทรงแปดหน้า (octahedral site) และธาตุใน Z-site เป็น Si^{4+} เป็นหลัก อาจมี Al^{4+} Ti^{4+} ได้บ้างจับกับธาตุออกซิเจนข้างเคียงเกิดเป็นรูปทรงสี่หน้า (tetrahedral site) (ตามภาพที่ 2.1) โดยมีจำนวนประจรรวม (total charge) ใน X Y และ Z sites เท่ากับ 8 ทำให้กลุ่มแร่การ์เนตสามารถจำแนกได้เป็น 14 ชนิดตาม ตารางที่ 2.1

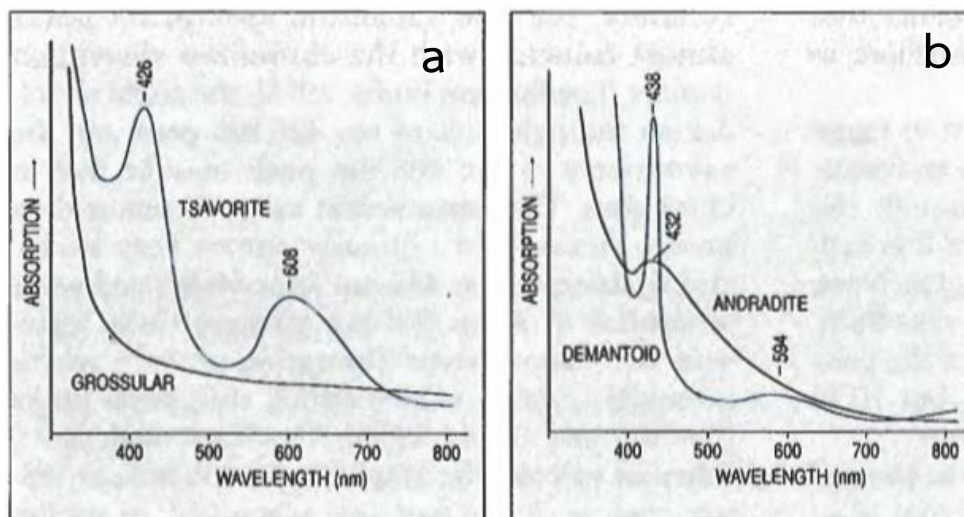


ภาพที่ 2.1 โครงสร้างผลึก(crystal structure) ของการ์เนต เมื่อตัดตามหน้า (001) (Grew et al., 2013)

ตารางที่ 2.1 ชนิดแร่ในกลุ่มการ์เนตทั้งหมด 14 ชนิด จำแนกตามสัดส่วนไอออนที่พบใน X Y และ Z sites

Spices name	X	Y	Z	O	Spices name	X	Y	Z	O
Menzerite-(Y)	Y_2Ca	Mg_2	Si_3	O_{12}	Momoiite	Mn_3^{2+}	V_2^{3+}	Si_3	O_{12}
Pyrope	Mg_3	Al_2	Si_3	O_{12}	Knorringite	Mg_3	Cr_2^{3+}	Si_3	O_{12}
Grossular	Ca_3	Al_2	Si_3	O_{12}	Uvarovite	Ca_3	Cr_2^{3+}	Si_3	O_{12}
Spessartine	Mn_3^{2+}	Al_2	Si_3	O_{12}	Andradite	Ca_3	Fe_2^{3+}	Si_3	O_{12}
Almandine	Fe_3^{2+}	Al_2	Si_3	O_{12}	Calderite	Mn_3^{2+}	Fe_2^{3+}	Si_3	O_{12}
Eringaitite	Ca_3	Sc_2	Si_3	O_{12}	Majorite	Mg_3	$SiMg$	Si_3	O_{12}
Goldmanite	Ca_3	V_2^{3+}	Si_3	O_{12}	Morimotoite	Ca_3	$TiFe^{2+}$	Si_3	O_{12}

Phillips and Talantsev (1996) ศึกษาดีมันทอยด์การ์เนต (demantoid garnet) จากประเทศรัสเซีย พบว่ามีองค์ประกอบร้อยละ 97.02-99.67 ต่อน้ำหนักเป็นแอนดราไดต์ (andradite) มีสีเขียวเข้มที่เกิดจากการแทนที่ Fe^{3+} ในองค์ประกอบด้วย Cr^{3+} อาจปรากฏสีเหลืองอ่อนเนื่องจาก Fe^{3+} ที่ยังคงอยู่ในโครงสร้าง และอาจพบธาตุร่องรอย (trace element) เป็นอลูมิเนียม (aluminium), ไทเทเนียม (titanium), วาเนเดียม (vanadium) และแมงกานีส (manganese) มีค่าการหักเหแสง (refractive index) 1.880-1.889 ค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) 3.80-3.88 และค่าการกระจายแสง (Dispersion) 0.057



ภาพที่ 2.2 แสดงสเปกตรัมในช่วงอัลตราไวโอเล็ต-แสงที่ตามองเห็น (UV-Visible light) ของตัวอย่างแร่ในกลุ่มการ์เนต (Phillips and Talantsev, 1996)

- (a) สเปกตรัมของแร่ซาโวไรต์สีเขียว (tsavorite) เทียบกับกรอสซูลาร์ที่ไม่มีสี (grossular)
 (b) ดีมันทอยด์การ์เนตสีเขียวอมเหลืองจากเทือกเขาอูราล ประเทศรัสเซีย เทียบกับแอนดราไดต์สีน้ำตาลอมเหลือง จากรัฐแคลิฟอร์เนีย

จากการศึกษาสเปกตรัมของกรอสซูลาร์ที่ไม่มีธาตุโครเมียมและวาเนเดียม (ภาพที่ 2.1a) ทำให้กรอสซูลาร์ธรรมชาติไม่ปรากฏสี ในทำนองเดียวกับสเปกตรัมของแอนดราไดต์ที่ไม่มีธาตุโครเมียมและวาเนเดียม (ภาพที่ 2.1b) ให้มีแอนดราไดต์ธรรมชาติเป็นสีน้ำตาลอมเหลืองเนื่องจากธาตุ Fe^{3+} ที่เป็นองค์ประกอบหลัก

ทั้งดีมันทอยด์และซาโวไรต์มีตำแหน่งการดูดกลืน (absorption peak) 2 ตำแหน่งหลัก คือตำแหน่งความยาวคลื่นสีน้ำเงิน-ม่วง และความยาวคลื่นสีส้ม-แดง

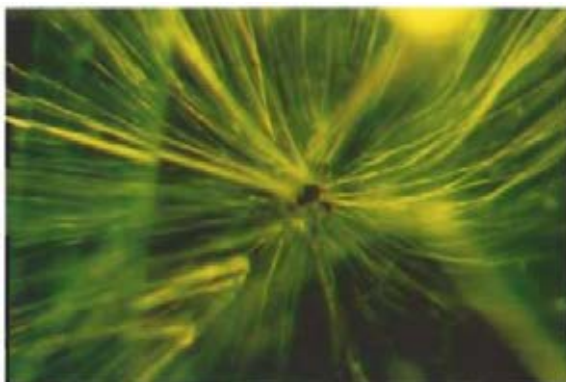
แร่ซาโวไรต์มีตำแหน่งการดูดกลืนที่ 426 และ 608 นาโนเมตร เป็นผลมาจาก V^{3+} ที่มากกว่า Cr^{3+} แต่มีตำแหน่งการดูดกลืนของวาเนเดียมที่เกิดขึ้นพร้อมกันกับโครเมียม 2 ตำแหน่ง ทำให้ความชันลาดทางด้านขวาของการดูดกลืนที่ 426 นาโนเมตร (ในภาพที่ 2.2a) ไม่ดังลงชัดเจนเหมือนกับการดูดกลืนที่ 438 นาโนเมตร

ของสเปกตรัมดีมันทอยด์ (ในภาพที่ 2.2b) ซึ่งการดูดกลืนคลื่นแสงทั้ง 2 ตำแหน่งที่กล่าวมาเป็นการแสดงลักษณะการดูดกลืนของ Cr^{3+}

Fe^{3+} ที่พบในแอนดราไดต์ จะเพิ่มยอดการดูดกลืนที่ตำแหน่ง 438 นาโนเมตรของ Cr^{3+} ในดีมันทอยด์ (ภาพที่ 2.2b) เมื่อดีมันทอยด์มีปริมาณ Cr^{3+} น้อย จะมีการส่งผ่านคลื่นทุกชนิดสีกเว้นสีม่วง ทำให้มีการปรากฏสีเหลืองที่เด่นชัด

ในกรณีที่มี Cr^{3+} มาก การดูดกลืนที่ตำแหน่ง 594 นาโนเมตรจะสูงขึ้นและมีฐานที่กว้างขึ้น ทำให้มีการดูดซับสีส้ม-เหลือง-แดงมากขึ้น และทำให้มีการดูดกลืนคลื่นความยาวสั้นมากขึ้นที่ตำแหน่ง 438 นาโนเมตร ส่งผลให้เกิดการส่งผ่านคลื่นแสงสีเขียวเพียงอย่างเดียว ดังนั้นดีมันทอยด์ที่มี Cr^{3+} สูงมักปรากฏสีเขียวบริสุทธิ์ ปราศจากสีอื่นเจือปน และการดูดกลืนแสงของ Cr^{3+} ในช่วงอัลตราไวโอเล็ต อาจเป็นผลทำให้เกิดการเรืองแสงสีแดงได้

ลักษณะภายในของดีมันทอยด์จากเทือกเขาอูราล ประเทศรัสเซีย พบมลทิน (inclusion) ลักษณะคล้ายหางม้า (horsetail-like inclusion) โดยพบว่าในตัวอย่างดีมันทอยด์ จากประเทศรัสเซียอาจปรากฏลักษณะดังกล่าวแค่บางส่วนหรือทั่วทั้งเม็ด มลทินแบบหางม้าแสดงถึงแร่โครโซไทล์ (chrysotile) หรืออาจพบผลึกขนาดเล็กในแร่กลุ่มสปิเนล (spinel-group mineral) และแร่โครไมต์ (chromite) ได้ แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.3 แสดงมลทินแบบหางม้าที่พบในดีมันทอยด์ จากประเทศรัสเซีย (Phillips and Talantsev, 1996)

- (a) ลักษณะแร่โครโซไทล์แผ่เป็นรัศมี (radiate) มีผลึกแร่โครไมต์เป็นอยู่ตรงกลาง ภายใต้กำลังขยาย 20x
 (b) แสดงมลทินแบบหางม้าของโครโซไทล์ เป็นลักษณะคล้ายกรวย (cone-like) ภายใต้กำลังขยาย 20x

ดีมันทอยด์ที่พบในบริเวณตอนกลางของเทือกเขาอูราล ประเทศรัสเซีย เป็นแหล่งแร่ปฐมภูมิ (primary deposits) ในบริเวณเขต Tochilny Kluch พบผลึกดีมันทอยด์ร่วมกับแร่โครไมต์ ในบริเวณรอยสัมผัสที่มีการแตกหักสูง (highly fractured contact zone) ระหว่างสายแร่โครโซไทล์ (chrysotile vein) และเซอร์เพนทีน (serpentine) ในหินอัคนีจำพวกอัลตราเมฟิก (ultramafic rock) มักจะมีธาตุโครเมียมปริมาณมาก และเป็น

แหล่งแร่โครไมต์ ทำให้สามารถเกิดผลึกอัญมณีที่มีโครเมียมเป็นองค์ประกอบได้ เช่น มรกต (emerald), อะเล็กซานไดรต์ (alexandrite) และดีมันทอยด์ (demantoid)

Pezzotta et al. (2011) ศึกษาตัวอย่างอัญมณีจากเขต Antsiranana ทางเหนือของเกาะมาดากัสการ์ ประกอบไปด้วยตัวอย่างดีมันทอยด์ทั้งหมด 20 ตัวอย่าง โดยศึกษาลักษณะพื้นฐานทางด้านอัญมณี สรุปผลได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติพื้นฐานทางอัญมณีของดีมันทอยด์ จากประเทศมาดากัสการ์ (Pezzotta et al., 2011)

Properties	A	B	D	E	I	M	L	H
Colour (in daylight)	Bluish green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellowish green	Yellowish green
Weight(ct)	1.37	1.15	3.04	1.99	4.22	2.82	1.88	2.30
SG(g/cm ³)	3.81	3.86	3.83	3.88	3.81	3.79	3.82	3.83
Internal features ^a	Fractures (some partially healed), wollastonite and diopside inclusion, straight and angular growth structure, growth channels	Two-phase inclusion, wollastonite inclusion	Two-phase inclusion, fractures (some partially healed)	Diopside inclusion, straight and angular growth structure, growth channels	Fractures (some partially healed), wollastonite and diopside inclusion	Fractures, diopside inclusion	Two-phase inclusion, fractures (some partially healed), diopside inclusion and pyrite inclusion	Fractures

^aLiquid inclusions were observed in all sample.

ตัวอย่างดีมันทอยด์ที่ได้จากแหล่งนี้ แสดงสีเขียวเหลือง สีเขียว และสีเขียวอมน้ำเงิน ความอิ่มตัวของสีปานกลาง (moderate saturation) มีค่าดัชนีหักเหแสงมากกว่า 1.81 และค่าความถ่วงจำเพาะ 3.79-3.90 g/cm³ ไม่มีการเรืองแสงภายใต้อัลตราไวโอเล็ตทั้งคลื่นยาวและสั้น

จากการหาค่าองค์ประกอบทางเคมีโดย Electron Microprobe แสดงให้เห็นว่าการเนตมีองค์ประกอบเป็นแอนดราไต์มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ และพบธาตุไทเทเนียม, อลูมิเนียม, แมงกานีส, โซเดียม และโพแทสเซียมค่อนข้างต่ำ ในขณะที่โครเมียมและวาเนเดียมไม่สามารถตรวจพบได้ในทุกตัวอย่าง เนื่องจากมีปริมาณน้อยกว่า 0.01 เปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบทางเคมีของดีมันทอยด์ จากประเทศมาดากัสการ์ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างดีมัทอยด์ จากประเทศมาดากัสการ์ วิเคราะห์โดย electron microprobe (Pezzotta et al., 2011)

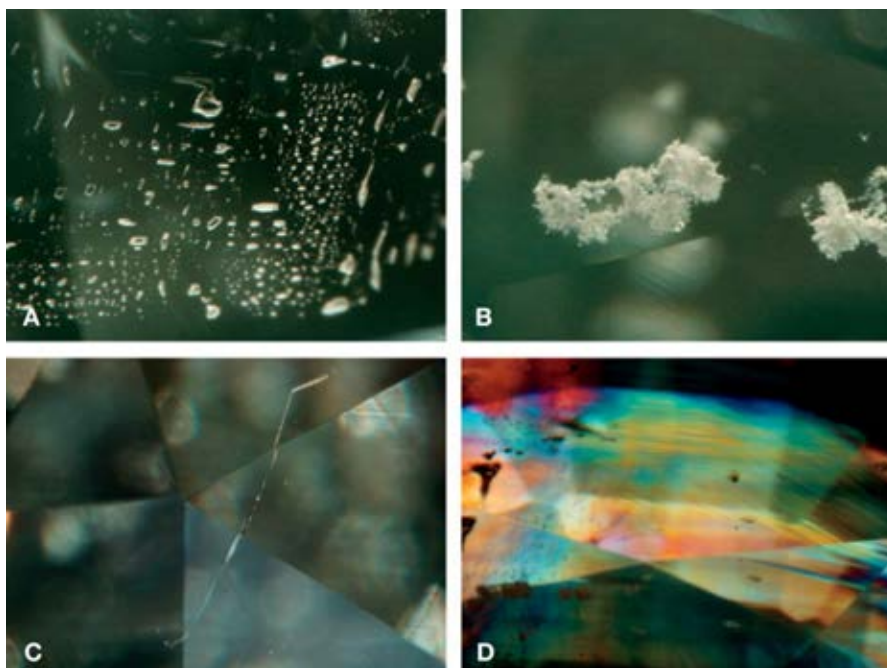
Chemical composition	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Color (in daylight)	Bluish green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellowish green	Yellowish green
Weight (g)	0.11	1.51	0.12	0.32	0.58	2.00	0.19	8.49	1.70	0.43
No. points analyzed	10	10	15	15	15	15	10	15	5	8
Oxides (wt.%)										
SiO ₂	35.47	34.90	34.90	34.23	34.63	36.09	34.00	34.39	35.94	35.60
TiO ₂	0.01	nd	nd	0.01	nd	nd	nd	0.01	0.01	nd
Al ₂ O ₃	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	nd	nd	0.03	0.08	nd
Fe ₂ O ₃ ^b	31.93	31.54	31.43	31.34	31.50	31.51	31.42	31.18	31.54	31.59
MnO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	nd	0.01	0.01	0.01
MgO	0.07	0.08	0.08	0.08	0.06	0.08	0.13	0.10	0.30	0.11
CaO	33.24	32.95	33.20	32.84	32.95	32.67	32.90	33.02	33.38	33.00
Na ₂ O	nd	0.05	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
K ₂ O	nd	0.02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Total	100.74	99.56	99.63	98.53	99.18	100.36	98.45	98.74	101.26	100.31
Ions per 12 oxygens										
Si	2.979	2.964	2.962	2.940	2.954	3.013	2.922	2.945	2.995	3.001
Ti	0.001	nd	nd	0.001	nd	nd	nd	0.001	0.001	nd
Al	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	nd	nd	0.003	0.008	nd
Fe ³⁺	2.018	2.016	2.007	2.025	2.022	1.990	2.032	2.009	1.978	1.998
Mn	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	nd	0.001	0.001	0.001
Mg	0.009	0.010	0.010	0.010	0.008	0.011	0.017	0.013	0.037	0.014
Ca	2.991	2.998	3.019	3.022	3.012	2.970	3.029	3.029	2.981	2.981
Na	nd	0.008	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
K	nd	0.002	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Mol.% end members										
Andradite	99.70	99.60	99.40	99.60	99.70	99.50	99.50	99.50	98.30	99.50
Others	0.03	0.04	0.06	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	1.40	0.05

สำหรับธาตุร่องรอย (trace elements) มีการตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือ LA-ICP-MS พบว่ามีปริมาณแมกนีเซียมอยู่ที่ 307–1423 ppm อลูมิเนียม 15–5467 ppm และแมงกานีส 9–92 ppm ธาตุที่พบลำดับถัดมาคือไทเทเนียม มีปริมาณอยู่ที่ 7.5 ppm ส่วนธาตุสแกนเดียม วาเนเดียม และโครเมียม พบในปริมาณที่ต่ำ และธาตุในกลุ่มแร่หายาก (rare earth element) มีค่าอยู่ที่ 0.037–100.8 ppm แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงธาตุร่องรอยของตัวอย่างดีมันทอยด์ จากประเทศมาดากัสการ์ วิเคราะห์โดย LA-ICP-MS (Pezzotta et al., 2011)

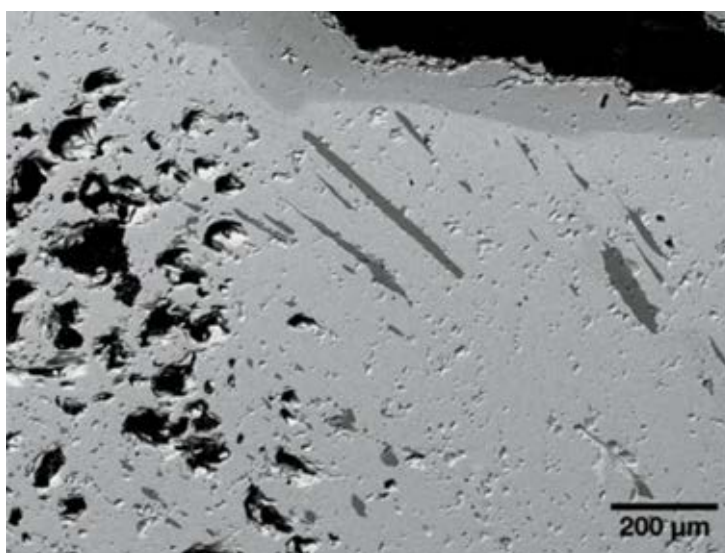
Element (ppm)	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Color	Bluish green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellowish green	Yellowish green
Mg	418.4	395.9	358.9	449.5	336.0	503.3	408.7	720.3	1423	677.5
Al	26.37	15.14	16.84	58.58	99.02	24.47	42.81	32.10	5467	302.8
Sc	0.58	1.50	1.20	0.89	0.73	0.55	0.97	0.70	1.14	1.13
Ti	2.05	0.17	0.61	3.09	0.95	1.70	1.30	0.24	7.50	5.30
V	0.06	nd	0.03	0.04	0.04	0.02	0.02	nd	3.09	0.36
Cr	1.15	0.59	0.59	0.99	0.98	0.00	0.63	0.50	2.20	2.35
Mn	53.98	85.91	37.63	18.09	34.98	9.01	37.12	13.73	29.88	33.45
La	1.24	0.019	0.118	0.515	1.11	0.171	0.386	0.592	0.194	2.60
Ce	12.04	0.009	0.324	3.41	2.66	1.73	1.63	4.26	0.389	7.54
Pr	1.03	0.002	0.026	0.388	0.208	0.203	0.165	0.715	0.036	0.670
Nd	1.25	0.008	0.039	1.04	0.431	0.361	0.375	2.18	0.123	2.16
Sm	0.037	0.002	0.009	0.057	0.019	0.017	0.021	0.036	0.010	0.151
Eu	0.199	0.006	0.006	0.075	0.102	0.053	0.048	0.124	0.085	0.377
Gd	0.034	nd	0.007	0.012	0.004	0.007	0.006	0.017	0.007	0.095
Tb	0.002	nd	nd	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.004
Dy	0.013	0.001	0.002	nd	0.003	0.002	0.002	nd	0.002	0.034
Ho	0.003	0.001	0.001	nd	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.010
Er	nd	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	nd	0.036
Tm	nd	nd	0.001	0.001	nd	0.002	0.001	0.001	nd	0.005
Yb	0.003	0.002	0.007	0.002	0.008	0.003	0.004	0.003	0.006	0.022
Lu	0.001	0.001	nd	nd	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004
Σ REE	15.85	0.037	0.542	5.51	4.54	2.55	2.64	7.93	0.853	13.70
Σ LREE (La+Ce+Pr+Nd)	15.56	0.030	0.507	5.35	4.40	2.46	2.55	7.75	0.742	12.97
Σ HREE (Er+Tm+Yb+Lu)	0.004	0.005	0.010	0.007	0.010	0.008	0.009	0.007	0.007	0.066

มลทินภายในของดีมันทอยด์ จากประเทศมาดากัสการ์ พบลักษณะ liquid inclusion (ภาพที่ 2.4a), liquid veil, two-phase inclusion และ fingerprint ภายในพบรอยแตกทั่วไป บางตัวอย่างพบมลทินผลึกรูปแท่งเป็นโวลลาสโทไนต์ (wollastonite) โดยการวิเคราะห์ SEM-EDS (ภาพที่ 2.5) ในตัวอย่างอาจพบเป็นกลุ่มผลึกสีขาวเป็นแร่ไดออปไซด์ วิเคราะห์โดยเครื่องมือ Raman spectroscope (ภาพที่ 2.4b) และ etch channel ที่เป็นร่องรอยของแร่โวลลาสโทไนต์ (wollastonite) (ภาพที่ 2.4c) และลักษณะ growth structure ที่สามารถพบได้ในหลายตัวอย่างของดีมันทอยด์การ์เน็ต จากประเทศมาดากัสการ์ (ภาพที่ 2.4d)



ภาพที่ 2.4 แสดงมลทินภายในที่พบในตัวอย่างดีมอนด์จากประเทศมาดากัสการ์ (Pezzotta et al., 2011)

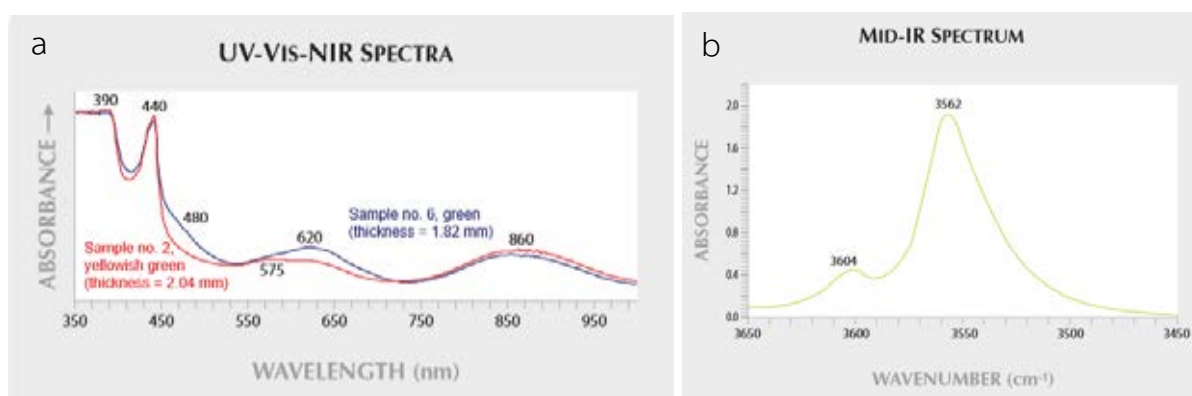
- (a) ภาพมลทิน Fluid inclusion ภายใต้กำลังขยาย 55x
- (b) ภาพกลุ่มผลึกสีขาวของแร่ไดออปไซด์ ภายใต้กำลังขยาย 50x
- (c) ภาพมลทิน etch channel ภายใต้กำลังขยาย 35x
- (d) ภาพมลทิน growth structure ภายใต้กำลังขยาย 15x (crossed polarizers)



ภาพที่ 2.5 backscattered electron image ของมลทินแร่โวลลาสโทไนต์ (wollastonite) ลักษณะผลึกเป็นแนวยาว ขนาดประมาณ 0.4 มิลลิเมตร (Pezzotta et al., 2011)

Adamo et al. (2015) วิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงโดยเครื่องมือ UV-Vis-NIR spectrometer ของดีมันทอยด์คาร์เนตสีเขียวและสีเขียวอมเหลือง จากประเทศอิตาลี พบว่ามีความสัมพันธ์กับ Fe^{3+} และ Cr^{3+} โดยมีตำแหน่งของการดูดกลืนของ Fe^{3+} ที่ตำแหน่ง 390 440 575 และ 860 นาโนเมตร และ Cr^{3+} ที่ตำแหน่งการดูดกลืน 440 480 และ 620 นาโนเมตร สีของตัวอย่างที่ปรากฏ จะขึ้นอยู่กับปริมาณของ Cr^{3+} และ Fe^{3+} แสดงดังภาพที่ 2.6a

ในการวิเคราะห์สเปกตรัมช่วงคลื่นอินฟราเรด พบว่ามีการดูดกลืนรวมอยู่ในช่วง $400\text{-}2250\text{ cm}^{-1}$ โดยเฉพาะช่วงการดูดกลืนระหว่าง $3450\text{-}3650\text{ cm}^{-1}$ สามารถพบตำแหน่งการดูดกลืนที่ชัดเจนที่ 3604 และ 3562 cm^{-1} ตามลำดับ แสดงถึงพันธะของหมู่ไฮดรอกไซด์(OH^-) ดังภาพที่ 2.6b

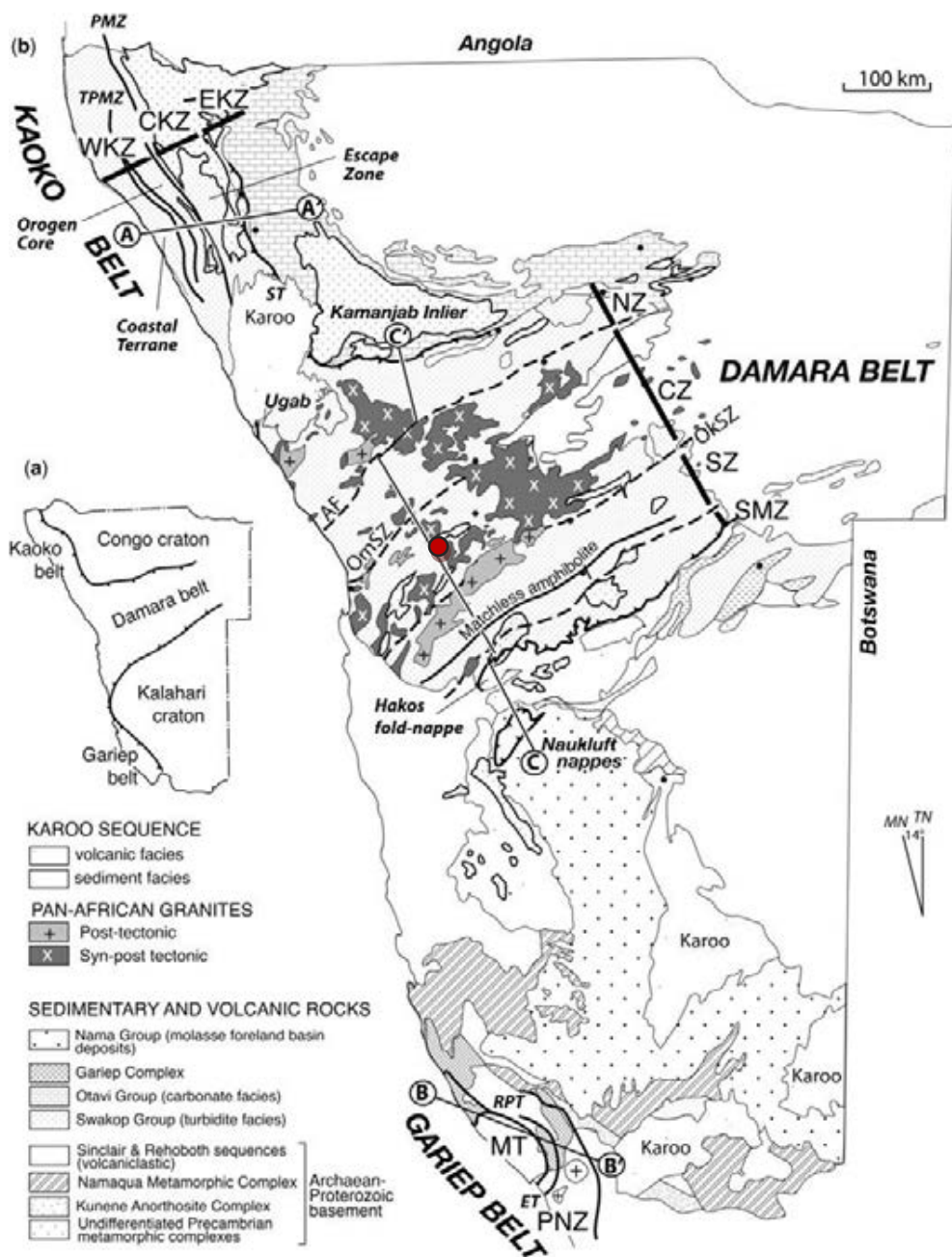


ภาพที่ 2.6 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนของดีมันทอยด์ จากประเทศอิตาลี (Adamo et al., 2015)

- (a) สเปกตรัมการดูดกลืนในช่วงอัลตราไวโอเล็ต แสงที่ตามองเห็น และอินฟราเรดใกล้ (UV-Vis-NIR) สีแดง แสดงข้อมูลของตัวอย่างดีมันทอยด์สีเขียวอมเหลือง และสีน้ำเงินแสดงข้อมูลตัวอย่างดีมันทอยด์สีเขียว
- (b) สเปกตรัมการดูดกลืนในช่วงอินฟราเรดกลาง (mid-Infrared) ที่สัมพันธ์กับหมู่ไฮดรอกไซด์

Koller et al. (2012) ศึกษาพื้นที่บริเวณเหมือง The Green Dragon บริเวณเทือกเขาเอรองโก (Erongo Mountain) ประเทศนามิเบีย มีการค้นพบดีมันทอยด์บริเวณส่วนหน้า (foreland) ของเทือกเขาช่วงประมาณปีค.ศ.1985

บริเวณเหมือง The Green Dragon ที่อยู่ใกล้กับเขต Tubussis เป็นส่วนหนึ่งของชุดหิน Neoproterozoic metasedimentary sequence ที่ประกอบไปด้วยหินแปร เช่น ซีสต์ (schists) แอมฟิโบไลต์ (amphibolite) หินแคลก์-ซิลิเกต (calc-silicate rock) และหินอ่อน (marble) ซึ่งพื้นที่นี้เป็นส่วนหนึ่งของ The Damara Belt แสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ตำแหน่งเหมือง The Green Dragon บนแผนที่ธรณีวิทยาของประเทศนามิเบีย (Gray et al, 2008)

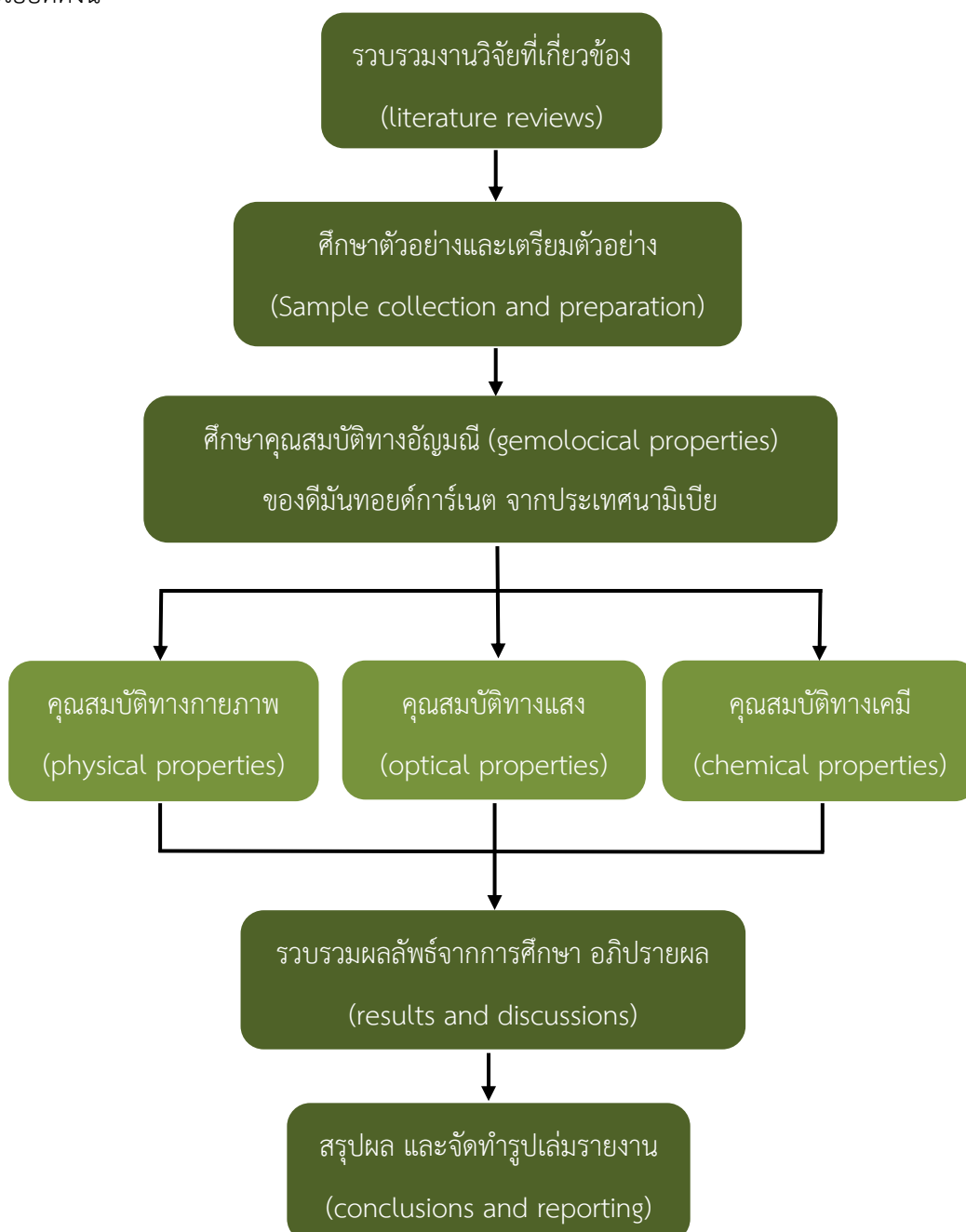
ซึ่งในยุคครีเทเชียส (Cretaceous) ได้มีการแทรกตัดโดยหินแกรนิต (granitic rock) ของ The Erongo complex โดยหินแกรนิตสามารถพบได้ในเหมือง The Green Dragon มีบางส่วนของผนังหิน (dike) ที่ถูกทำให้เกิดการแปรสภาพแบบสัมผัส (contact metamorphism) ทำให้หินท้องที่กลายเป็นหินอ่อน หินแคลก์-ซิลิเกต และมีการ์เนตแอนดราไดต์ได้ ดังนั้นดิ้มันทอยด์การ์เนตสามารถพบได้ทั้งในหินอ่อนและหินแคลก์-ซิลิเกต ตามแนวสัมผัสของสายแร่แกรนิต (granite vein) และปล่องลำหิน (plugs) ในเหมือง The Green Dragon พบการสะสมตัวเป็นบริเวณกว้างที่มีการ์เนตสีเขียวขนาดใหญ่ 1-2 เซนติเมตร ร่วมกับผลึกควอร์ตซ์ (quartz) และแร่ในกลุ่มซิลิเกตอื่นๆ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

สำหรับโครงการวิจัยในหัวข้อ “ลักษณะเฉพาะทางอัญมณีวิทยาของดีมอนด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย” ได้แบ่งลำดับขั้นตอนวิธีวิจัยออกเป็น 5 ขั้นตอน ตามแผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาภาพที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 3.1.1 แสดงลำดับขั้นตอนการวิจัย

3.1.1 รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รวบรวม ศึกษา และประมวลความรู้จากงานวิจัยที่ผ่านมาและเกี่ยวข้องกับดีมันทอยด์คาร์เนต จากแหล่งอื่น กระบวนการเกิดและสภาพธรณีวิทยาในพื้นที่ประเทศนามิเบีย รวมถึงศึกษาวิธีและขั้นตอนการใช้เครื่องมือเพื่อวิเคราะห์ลักษณะทั่วไปของอัญมณี ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง และกระบวนการวิเคราะห์ทางเคมี

3.1.2 คัดเลือก ศึกษาตัวอย่าง และเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย เป็นพลอยก้อนที่ได้รับความอนุเคราะห์จาก คุณทัศนรา ศรีปุ่นจัน สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) จำนวน 34 ตัวอย่าง น้ำหนักรวม 46.83 กะรัต นำตัวอย่างที่ได้มาศึกษาสี ปรากฏ ระบบผลึกที่ปรากฏบนตัวอย่าง และถ่ายรูป ก่อนนำตัวอย่างมาเปิดหน้าเรียบสองด้าน เพื่อใช้ในการหาคุณสมบัติทางแสงต่อไป

3.1.3 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของอัญมณี

นำตัวอย่างที่เตรียมแล้ว เข้าสู่ขั้นตอนการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) คุณสมบัติทางแสง (optical properties) และองค์ประกอบทางเคมี (chemical composition) ตามลำดับดังนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ประกอบไปด้วยค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) โดยเครื่องชั่งค่าความถ่วงจำเพาะ (hydrostatic balance) วัดค่าดัชนีหักเหแสง (refractive index) โดยเครื่องวัดค่าดัชนีหักเหแสง (refractometer) ตรวจสอบการเรืองแสงภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) และศึกษามลทินภายในโดยกล้องจุลทรรศน์อัญมณี (gemological microscope) โดยเครื่องมือการตรวจสอบทางอัญมณีได้รับการอนุเคราะห์เครื่องมือจากห้องปฏิบัติการอัญมณี วิทยาลัยอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
2. จากนั้นตรวจสอบลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนทางแสงด้วยเครื่องมือขั้นสูง เช่น FTIR Spectrophotometer, UV-VIS-NIR Spectrophotometer และวิเคราะห์องค์ประกอบเคมี โดย Electron probe micro-analyzer (EPMA) โดยได้รับความอนุเคราะห์เครื่องมือจากห้องปฏิบัติการ ไอซีเอ เจม ลาบอราทอรี จำกัด (ICA) และภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.4 รวบรวมผลลัพธ์จากการศึกษาคุณสมบัติด้านอัญมณี สรุปผล และอภิปรายผล

นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในแต่ละขั้นตอน ประกอบไปด้วย ลักษณะทางกายภาพของอัญมณี ลักษณะการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต-แสงที่ตามองเห็น การดูดกลืนแสงช่วงอินฟราเรด และองค์ประกอบทางเคมีมาทำการวิเคราะห์เพิ่มเติม และแปลความหมายจากข้อมูลดังกล่าว

และนำไปเปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมา และวิเคราะห์ความเชื่อมโยงการเกิดกับสภาพทางธรณีวิทยาจากประเทศนัมเบีย

3.1.5 นำเสนองานวิจัย และจัดทำรูปเล่มรายงาน

นำผลลัพธ์และอภิปรายผลมารวบรวมเพื่อนำเสนอ และจัดทำรูปเล่มรายงาน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.2.1. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางแสง

- Hydrostatic Balance

เครื่องชั่งน้ำหนักวัตถุที่เป็นของแข็ง แสดงดังภาพที่ 3.2.1 สามารถเลือกชั่งวัตถุในน้ำหรืออากาศได้ และสามารถหาค่าความถ่วงจำเพาะโดยสมการ

$$SG = \frac{W_A}{W_A - W_W}$$

SG = ค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity; g/cm³)

W_A = น้ำหนักของวัตถุที่ชั่งภายใต้อากาศ (g หรือ ct)

W_W = น้ำหนักของวัตถุที่ชั่งในน้ำ (g หรือ ct)



ภาพที่ 3.2.1 เครื่องมือ hydrostatic balance จากวิทยาลัยอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

- Refractometer

เครื่องมือวัดค่าดัชนีหักเหของแสง ใช้ร่วมกับน้ำยาเมทิลีนไอโอดีน หรือ RI liquid ที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากับ 1.81 ข้อจำกัดของเครื่องมือนี้คือ สามารถค่าดัชนีหักเหของแสงในช่วง 1.350-1.810 ถ้าหากมีค่าเกินกว่า 1.81 จะไม่สามารถอ่านค่าจาก refractometer ได้ ที่เรียกว่า OTL (over the limit) แสดงดังภาพที่ 3.2.2

- UV Lamp

หลอดแสงอัลตราไวโอเล็ตคลื่นสั้นและคลื่นยาว ใช้ตรวจสอบการเรืองแสงในอัญมณี แสดงดังภาพที่ 3.2.3



ภาพที่ 3.2.2 เครื่องมือ Refractometer

(ภาพจาก thai.gemtestinginstruments.com)



ภาพที่ 3.2.3 เครื่องมือ UV Lamp

(ภาพจาก thai.gemtestinginstruments.com)

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะมลทิน

- กล้องจุลทรรศน์อัญมณีวิทยา (Gemological microscope)

เครื่องมือศึกษาผิวและมลทินภายในของอัญมณี เมื่อส่องผ่านเข้าไปในตัวอย่างจะแยกความแตกต่างระหว่างมลทินกับเนื้อพลอยได้ยาก เพราะตัวอย่างมีแสงสะท้อนผิวภายนอก ดังนั้นกล้องจุลทรรศน์อัญมณีจึงมีระบบ dark field เพื่อใช้แยกมลทินออกจากเนื้อพลอย และมีระบบ light field ที่ใช้ศึกษามลทินที่มีสีเข้มและมลทินแร่ที่มีสีแตกต่างกับเนื้อพลอย แสดงดังภาพที่ 3.2.4



ภาพที่ 3.2.4 เครื่องมือ gemological microscope จากวิทยาลัยอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

3.2.3 เครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง

- Ultraviolet-Visible-Near Infrared Spectrophotometer (UV-Vis-NIR)

เครื่องมือศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอัญมณีในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต แสงที่ตามองเห็น และอินฟราเรด เพื่อศึกษาสาเหตุการเกิดสีของอัญมณีจากธาตุร่องรอยบางชนิด แสดงดังภาพที่ 3.2.5



ภาพที่ 3.2.5 เครื่องมือ UV-Vis-NIR Spectrophotometer (JASCO Model: V-770)

จากห้องปฏิบัติการ ไอซีเอ เจม ลาบอราเทอรี จำกัด (ICA)

- Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)

ใช้สำหรับการวิเคราะห์หาสารประกอบอินทรีย์ โดยอาศัยหลักการของการดูดกลืนคลื่นรังสีช่วงกลางอินฟราเรด (Middle infrared) ของอัญมณีที่จะตรวจสอบ เมื่อโมเลกุลบางกลุ่มองค์ประกอบได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรด ที่มีความถี่ตรงกับความถี่ของการสั่น (Stretching) หรือการหมุน (Bending) ของพันธะโควาเลนต์โมเลกุล จาการที่โมเลกุลดังกล่าวดูดกลืนแสงอินฟราเรด สามารถใช้วิเคราะห์การดูดกลืนในหมู่ไฮดรอกไซด์ (OH) ไฮโดรคาร์บอน (C-H) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ภาพที่ 3.2.6



ภาพที่ 3.2.6 เครื่องมือ FTIR Spectrophotometer (Thermo Scientific Model: Nicolet iS50)

จากห้องปฏิบัติการ ไอซีเอ เจม ลาบอราทอรี จำกัด (ICA)

- Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA)

เครื่องมือวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบทางเคมีเชิงปริมาณที่มีประสิทธิภาพสูง จุดวิเคราะห์มีขนาดเล็กถึงระดับไมโครเมตร (micro-analysis) ใช้เพื่อศึกษาธาตุองค์ประกอบทางเคมี โดยการยิงลำแสงอิเล็กตรอนไปบนผิวของตัวอย่าง โดยตัวอย่างก็จะมีการปล่อยรังสีเอกซเรย์ (x-ray) ในลักษณะเฉพาะของแต่ละธาตุ โดยสามารถกำหนดธาตุที่สนใจในการวิเคราะห์ แสดงดังภาพที่ 3.2.7



ภาพที่ 3.2.7 เครื่องมือ EPMA จากภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (JEOL JXA-8100)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์

4.1 ลักษณะทั่วไป (General characteristics)

ตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนตที่นำมาศึกษาเป็นพลอยเม็ดจากแหล่งประเทศนามิเบีย จำนวนทั้งหมด 34 ตัวอย่าง มีน้ำหนักรวม 46.83 กรัม (น้ำหนักก่อนการเตรียมตัวอย่าง) แสดงดังภาพที่ 4.1.1 มีทั้งตัวอย่างที่แสดงหน้าเรียบตามนิสัรูปผลึก (crystal habits) และตัวอย่างที่มีรูปร่างไม่ชัดเจน ไม่แสดงหน้าเรียบใดๆ อันเนื่องมาจากรอยแตก หรือเป็นผลึกรวม (aggregate) ตัวอย่างทั้งหมดมีสีเขียวอมเหลือง มีความโปร่งใสระดับโปร่งแสง (transparent) หากมองด้วยตาเปล่าอาจจะเห็นความขุ่นและมลทินอยู่บ้าง



ภาพที่ 4.1.1 แสดงตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย จำนวน 34 ตัวอย่าง

4.2 สีของตัวอย่าง (colour)

ตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย สามารถจำแนกสีด้วยสายตาได้เป็นตัวอย่างสีเขียวอมเหลือง แต่จะมีโทนสีเหลืองมากน้อยแตกต่างกันออกไป ตัวอย่างที่มีสีเขียวอมเหลืองเล็กน้อยจะแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 4.2.1 และตัวอย่างที่มีสีเขียวอมเหลืองมาก จะแสดงดังภาพที่ 4.2.2

อนึ่ง ยังมีความคล้ายกันของโทนสีเขียวอมเหลือง ไม่สามารถจำแนกอย่างชัดเจนได้จากการสังเกตด้วยสายตา อาจต้องใช้หลักเกณฑ์อื่นในการจำแนกเป็นกลุ่ม



ภาพที่ 4.2.1 แสดงตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนตสีเขียวอมเหลืองเล็กน้อย จากประเทศนามิเบีย



ภาพที่ 4.2.2 แสดงตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนตสีเขียวอมเหลืองมาก จากประเทศนามิเบีย

4.3 นิสัยรูปผลึก (crystal habits)

บางตัวอย่างแสดงหน้าเรียบของผลึกอย่างชัดเจน สามารถสังเกตเห็นนิสัยของรูปผลึกได้ จากการสังเกตลักษณะภายนอก สามารถแบ่งตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนตออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ตัวอย่างที่แสดงรูปผลึกทรงสิบสองหน้า (rhombohedral form) (ภาพที่ 4.3.1 4.3.2 และ 4.3.3) และตัวอย่างที่ไม่แสดงรูปผลึก (ภาพที่ 4.3.4)



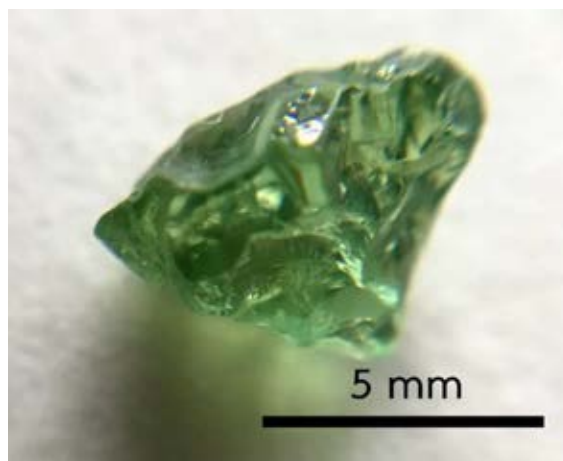
ภาพที่ 4.3.1 ตัวอย่างที่แสดงรูปผลึกทรงสิบสองหน้า บางส่วนของดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้เลนส์กำลังขยาย20x (CU smart lens)



ภาพที่ 4.3.2 ตัวอย่างที่แสดงรูปผลึกทรงสิบสองหน้า บางส่วนของดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้เลนส์กำลังขยาย20x (CU smart lens)

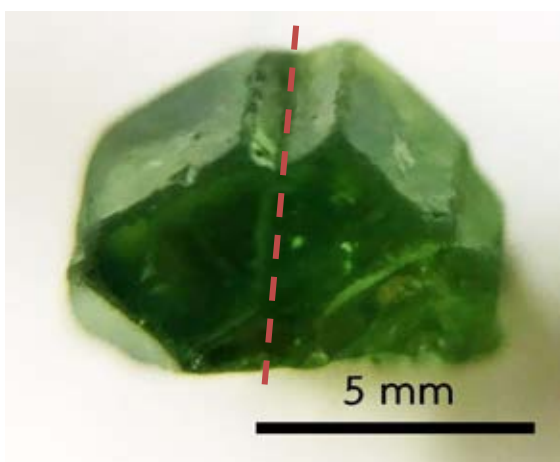


ภาพที่ 4.3.3 ตัวอย่างที่แสดงรูปผลึกทรงสิบสองหน้า
บางส่วนของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่าย
ภายใต้เลนส์กำลังขยาย20x (CU smart lens)



ภาพที่ 4.3.4 ตัวอย่างที่ไม่แสดงหน้าผลึกชัดเจนของดีมัน
ทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้เลนส์
กำลังขยาย20x (CU smart lens)

บางตัวอย่างพบลักษณะผลึกแฝด (twin crystal) ร่วมด้วย โดยแสดงระนาบผลึกแฝดตามเส้นประสีแดง (ภาพที่ 4.3.5) และยังพบเป็นผลึกรวม (aggregate) สังเกตจากการซ้อนกันของหน้าผลึกที่จัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (ภาพที่ 4.3.6)



ภาพที่ 4.3.5 แสดงตัวอย่างผลึกแฝดของดีมันทอยด์คาร์เนต
จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้เลนส์กำลังขยาย20x
(CU smart lens)



ภาพที่ 4.3.6 แสดงตัวอย่างผลึกรวมของดีมันทอยด์คาร์เนต
จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้เลนส์กำลังขยาย20x
(CU smart lens)

4.4 การเตรียมตัวอย่าง (Preparing the samples)

จากตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนตทั้งหมด 34 ตัวอย่าง ได้นำมาทำการเปิดหน้าพลอย โดยใช้หลักการ
คัดเลือกหน้าผลึกที่เรียบที่สุดเป็นหลัก และเปิดหน้าผลึกอีกด้านให้ขนานกับหน้าผลึกดังกล่าว เนื่องจากแกน

แสงของแร่จำพวกไอโซทรอปิก (isotropic mineral) มีแกนแสงที่เท่ากันทั้ง 3 แกน จึงเป็นอิสระในการคัดเลือกหน้าผลึก ก่อนจะนำไปตรวจวัดสมบัติทางกายภาพ (physical properties) รวมถึงศึกษาลักษณะมลทินภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์ทางอัญมณี และตรวจวัดสมบัติทางแสงและวิเคราะห์ผลทางเคมีด้วยเครื่องมือขั้นสูง ได้แก่ UV-Vis-NIR Spectroscopy, FTIR Spectroscopy และ EPMA

4.5 ผลลัพธ์การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ (physical properties)

สมบัติทางกายภาพที่ตรวจสอบ ได้แก่ น้ำหนัก, ค่าความถ่วงเฉพาะ, ค่าดัชนีหักเหแสง และการเรืองแสงภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปสมบัติทางกายภาพของดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย

Colour	Luster	Transparency	Weight(ct)	SG(g/cm ³)	RI	Fluorescence
Yellowish green	Vitreous	Transparent	0.490-1.837	3.648-3.907	>1.81 (OTL)	inert

พบว่าดีมันทอยด์การ์เนต จากแหล่งประเทศนามิเบีย มีค่าความถ่วงจำเพาะ 3.648-3.907 g/cm³ และค่าดัชนีหักเห (refractive index) ไม่สามารถวัดค่าที่แน่นอนได้ เนื่องจากดีมันทอยด์การ์เนต มีค่าดัชนีหักเหแสงสูงกว่าช่วง 1.350-1.810 จึงไม่สามารถอ่านค่าจาก refractometer ได้ สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ (Phillips and Talantsev, 1996; Pezzotta et al., 2011; Adamo et al., 2015) พบว่าตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต มีค่าดัชนีหักเหที่สูงกว่า 1.810 ซึ่งเกินค่าที่อ่านได้หรือเรียกว่า OTL (over the limit) และตัวอย่างจากแหล่งนี้ ไม่ปรากฏการเรืองแสงภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต ดังภาพที่ 4.5.1



ภาพที่ 4.5.1 ตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ภายใต้รังสีอัลตราไวโอเล็ต

4.6 ลักษณะภายใน (internal characteristics)

จากการศึกษามลทินภายในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย โดยกล้องจุลทรรศน์อัญมณี (gemological microscope) พบว่าตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย มีคุณภาพปานกลางถึงคุณภาพต่ำ บางตัวอย่างมีความขุ่นมาก เนื่องจากพบรอยแตก (fracture) ภายในที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า พบมลทินแร่ (mineral crystal) และมลทินรอยแตกสมานรอยนิ้วมือ (fingerprint) ภายในจำนวนมาก

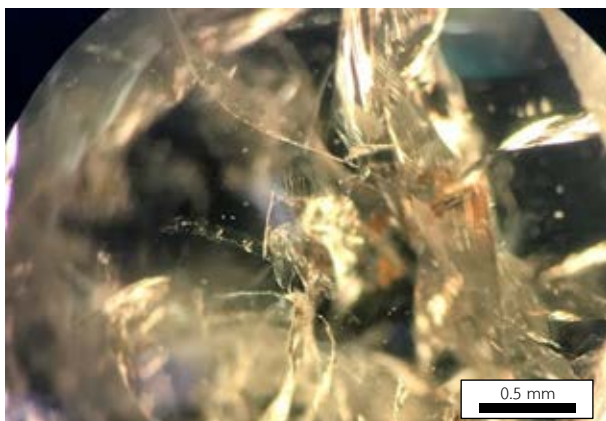
นอกจากนี้ยังพบลักษณะมลทินอื่นๆ เช่น มลทินคราบสนิม (iron strain), กลุ่มมลทินผลึกเนกาทีฟ (Negative crystal) และแถบการเจริญเติบโตของผลึก (growth line) สรุปลักษณะมลทินที่พบดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงมลทินที่พบในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย

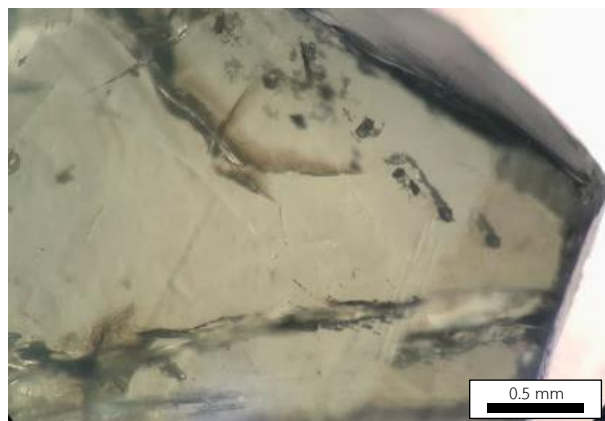
มลทิน	รูปร่างที่พบ	ความถี่	ลักษณะ
มลทินแร่ (mineral crystal)	มลทินแร่รูปร่างแท่ง	***	พบเป็นแร่ที่แสดงรูปร่างอย่างชัดเจน พบอยู่รวมกันหลายผลึก
	มลทินแร่รูปร่างประหลาด	****	มีสีที่ขุ่นทึบ ผสานเข้ากับเนื้อตัวอย่างหรือเป็นรูปทรงกลม สัมผัสแยกออกจากเนื้อพลอยได้โดยง่าย
	มลทินแร่ลักษณะคล้ายตะไคร้	**	ลักษณะคล้ายตะไคร้ พบการเรียงตัวเป็นเส้นตรงในเนื้อของตัวอย่าง
	มลทินแร่เส้นใย	***	แร่ที่แสดงลักษณะเส้นใย (fibrous form) เกาะกันอยู่หลวมๆ
รอยแตกสมานลายนิ้วมือ (fingerprint)	รอยเดี่ยว	**	ลักษณะคล้ายรอยนิ้วมือ มีขอบเขตวงกลมหรือวงรี
	แบบซับซ้อน	****	มีรูปร่างซับซ้อน ไม่มีขอบเขตเป็นวงกลมชัดเจน กระจายอยู่ทั่วเนื้อพลอย
แถบการเจริญเติบโตของผลึก (growth line)		***	เส้นบอกทิศทางการเจริญเติบโตของผลึก
มลทินคราบสนิม (iron strain)		***	พบลักษณะคล้ายปานสีน้ำตาล มีรูปร่างซับซ้อน
กลุ่มมลทินผลึกเนกาทีฟ (negative crystal)		***	ช่องว่างจากการเย็นตัวขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วไป
สัญลักษณ์แสดงแทน: ****พบได้มาก ***พบได้บ้าง **พบได้น้อย			

- รอยแตก (fracture)

ลักษณะที่พบได้ทั่วไปในตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย โดยมักพบรอยแตกภายในที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าทั่วทั้งตัวอย่าง ถ้าหากสังเกตจากภายนอกจะเป็นตัวอย่างที่มีความขุ่นกว่าตัวอย่างอื่น เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย10เท่าขึ้นไป จะปรากฏรอยแตกรูปก้นหอย (conchoidal fracture) ชัดเจน ดังภาพที่ 4.6.1 และมักพบร่วมกับมลทินคราบสนิม (iron stain) ดังภาพที่ 4.6.2



ภาพที่ 4.6.1 แสดงรอยแตกภายในที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ในตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM4)



ภาพที่ 4.6.2 แสดงรอยแตกภายในที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ในตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM21)

- มลทินแร่ (mineral crystal)

พบได้บ่อยในตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย จำแนกเป็นมลทินแร่รูปแท่ง เป็นผลึกรูปแท่งรวมกันอยู่2-3ผลึก ไม่พบทิศทางการวางตัวที่ชัดเจน ดังภาพที่ 4.6.3

มลทินแร่รูปร่างประหลาด มีสีขุ่นทึบ ผสานเข้ากับเนื้อตัวอย่างหรือเป็นรูปทรงกลมที่สังเกตแยกออกจากเนื้อพลอยได้โดยง่าย ดังภาพที่ 4.6.4 มักพบร่วมกับรอยแตกสมานรอยนิ้วมือแบบซับซ้อน

มลทินแร่ลักษณะคล้ายตะไคร่ อาจพบเป็นกลุ่มสีขาวในเนื้อของตัวอย่าง เกาะกลุ่มเรียงตัวกันเป็นเส้นตรง ดังภาพที่ 4.6.5

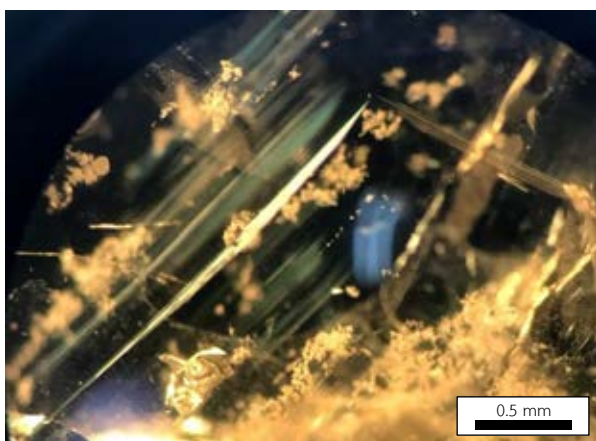
มลทินแร่เส้นใย แสดงลักษณะคล้ายเส้นใย (fibrous form) เกาะกันอยู่หลวมๆ ดังภาพที่ 4.6.6



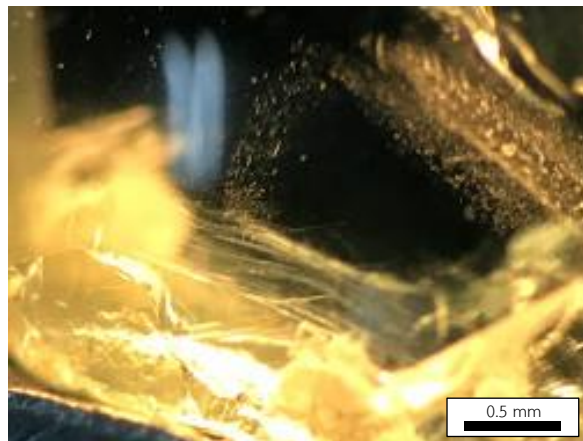
ภาพที่ 4.6.3 แสดงมลทินแร่รูปร่างไม่แน่นอน ในตัวอย่างดีมันทอยด์ การ์เน็ต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM6)



ภาพที่ 4.6.4 แสดงมลทินแร่รูปร่างประหลาด ในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เน็ต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM8)



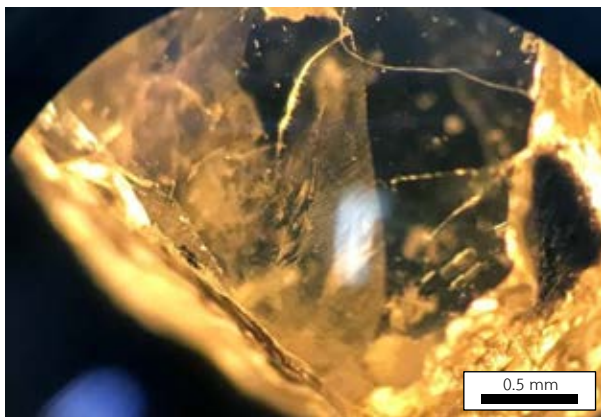
ภาพที่ 4.6.5 แสดงมลทินแร่ลักษณะคล้ายตะไคร้ ในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เน็ต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM3)



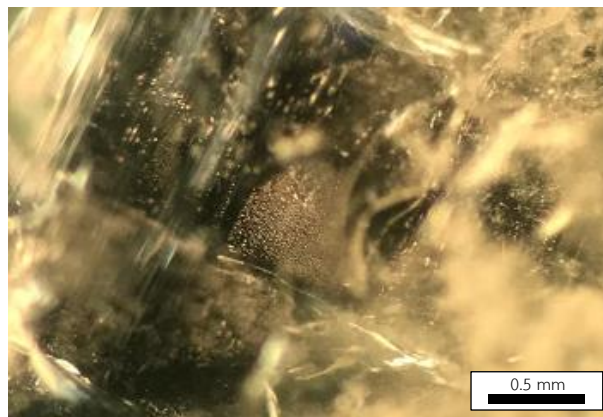
ภาพที่ 4.6.6 แสดงมลทินแร่เส้นใย (fibrous mineral inclusion) ในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เน็ต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM16)

- มลทินรอยแตกสมานลายนิ้วมือ (fingerprint)

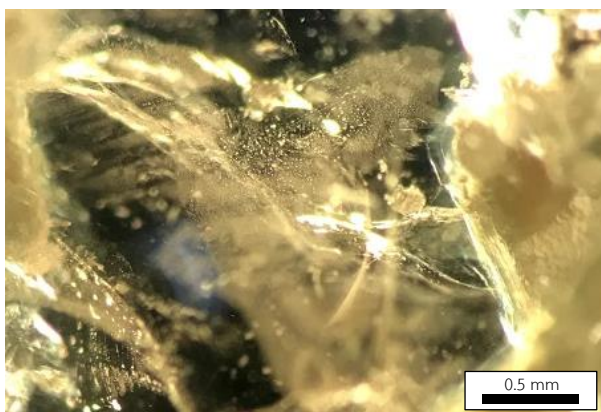
รอยแตกสมานลายนิ้วมือที่พบในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เน็ต จากประเทศนามิเบีย มีทั้งลักษณะเป็นรอยเดี่ยว ดังภาพที่ 4.6.7 และ 4.6.8 และรอยแตกสมานลายนิ้วมือแบบซับซ้อน ไม่พบรูปร่างที่ชัดเจนแผ่กระจายทั่วทั้งตัวอย่าง ดังภาพที่ 4.6.9 และ 4.6.10 มักปรากฏร่วมกับรอยแตกภายใน มลทินคราบสนิม และมลทินแร่รูปร่างประหลาด



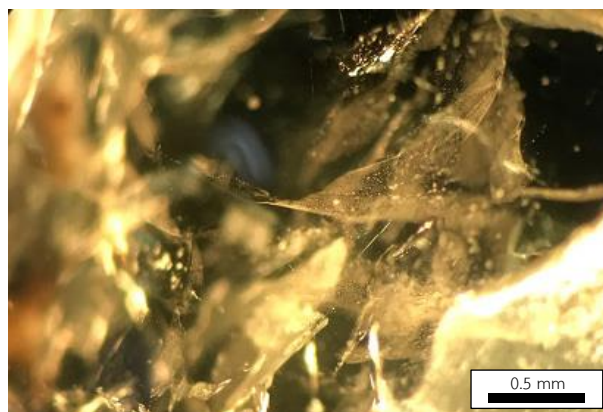
ภาพที่ 4.6.7 แสดงมลทินรอยแตกสमानรอยนิ้วมือรอยเดี่ยว
ในตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่าย
ภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM9)



ภาพที่ 4.6.8 แสดงมลทินรอยแตกสमानรอยนิ้วมือรอยเดี่ยว
ในตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่าย
ภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM1)



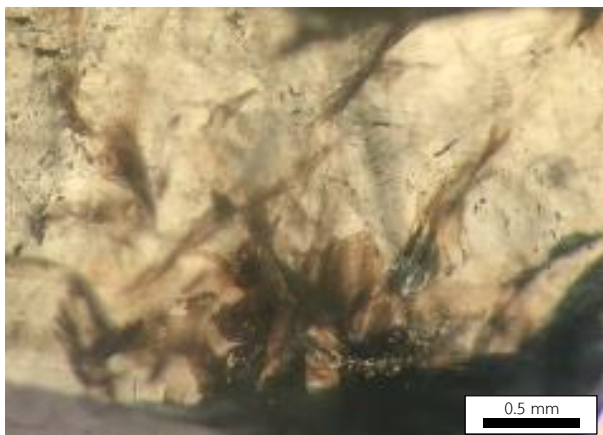
ภาพที่ 4.6.9 แสดงมลทินรอยแตกสमानรอยนิ้วมือแบบ
ซับซ้อนในตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย
ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM13)



ภาพที่ 4.6.10 แสดงมลทินรอยแตกสमानรอยนิ้วมือแบบ
ซับซ้อนในตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย
ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM5)

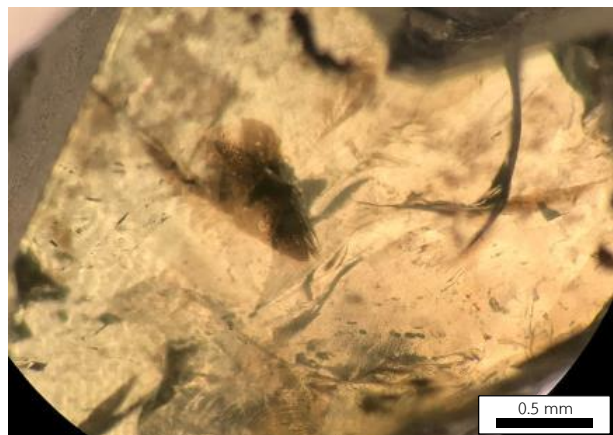
- มลทินคราบสนิม (iron stain)

พบมลทินคราบสนิมในตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบียได้มาก มีลักษณะคล้าย
ปานสีน้ำตาล มีรูปร่างซับซ้อน ดังภาพที่ 4.6.11 มองเห็นชัดเจนภายใต้พื้นหลังสีขาว (light field) มักพบ
ร่วมกับรอยแตกจำนวนมากในเนื้อพลอย



ภาพที่ 4.6.11 แสดงมลทินคราบสนิมในตัวอย่างดีมันทอยด์
การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x

(DG_NAM32)

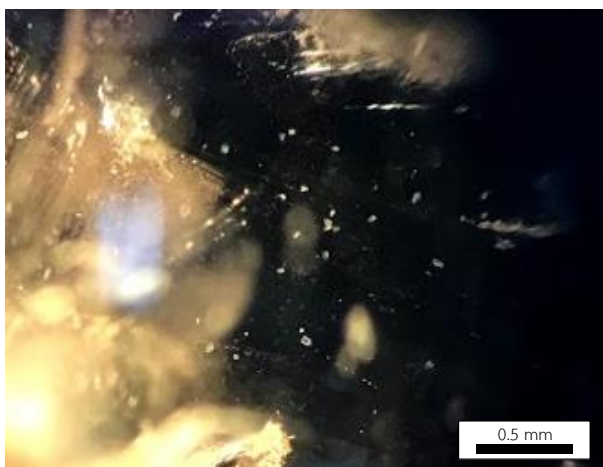


ภาพที่ 4.6.12 แสดงมลทินคราบสนิมในตัวอย่างดีมันทอยด์
การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x

(DG_NAM26)

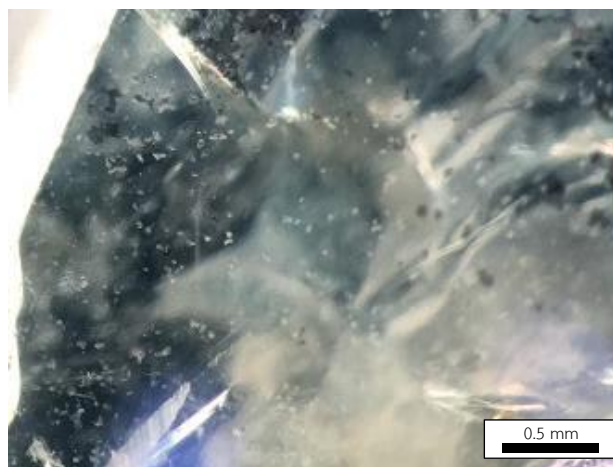
- มลทินผลึกเนกาทีฟ (negative crystal)

พบมลทินผลึกเนกาทีฟกระจายอยู่ทั่วไปในตัวอย่าง ไม่มีรูปร่างที่แน่นอน ดังภาพที่ 4.6.13 และ
4.6.14



ภาพที่ 4.6.13 แสดงผลึกเนกาทีฟในตัวอย่างดีมันทอยด์
การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x

(DG_NAM13)

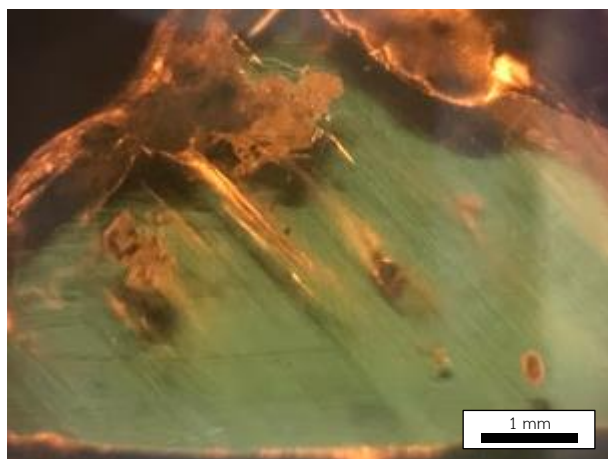


ภาพที่ 4.6.14 แสดงผลึกเนกาทีฟในตัวอย่างดีมันทอยด์
การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x

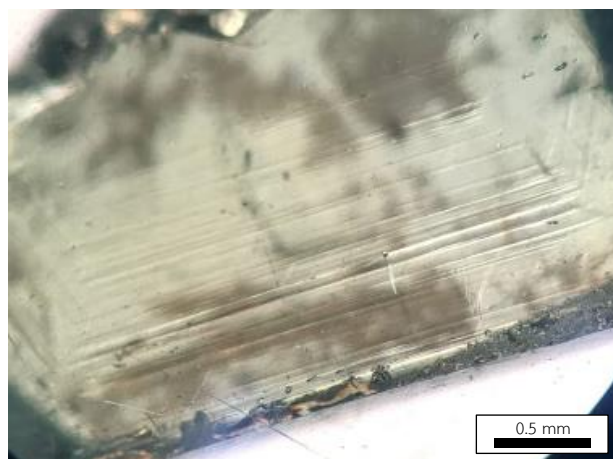
(DG_NAM26)

- มลทินแถบการเจริญเติบโตของผลึก (growth line)

เป็นลักษณะแสดงการเจริญเติบโตของผลึก พบภายในตัวอย่างบางตัวอย่าง มักมองเห็นเป็นแถบ
สะท้อนกับแสงอย่างชัดเจน แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 4.6.15 และ 4.6.16



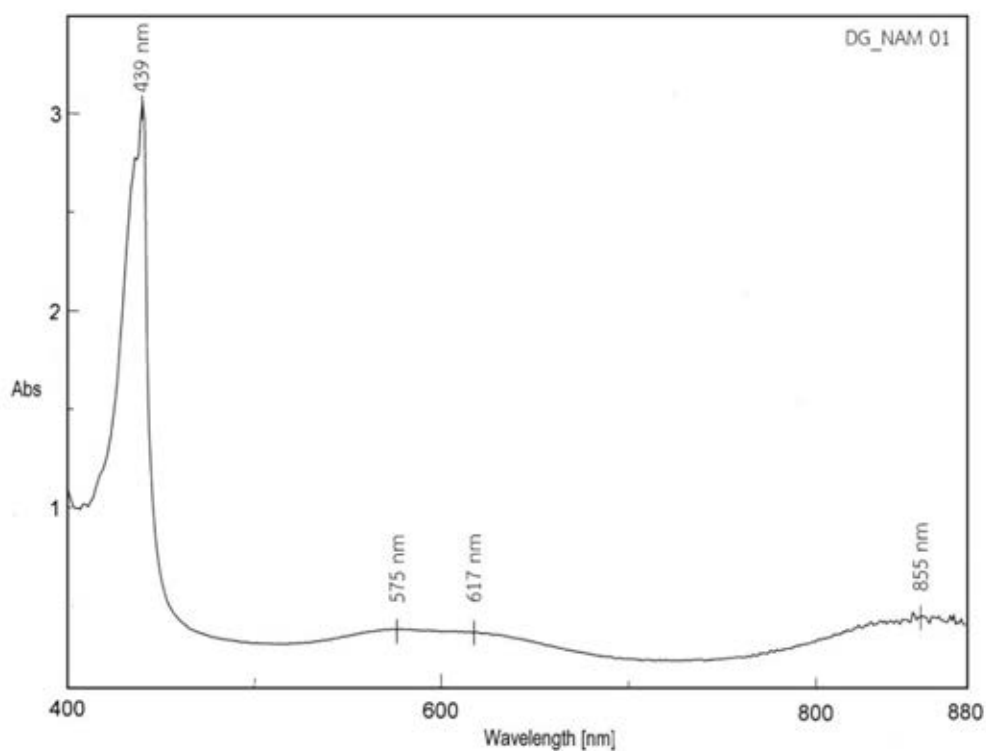
ภาพที่ 4.6.15 แสดงแถบการเจริญเติบโตของผลึกในตัวอย่าง
 ตีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้
 กำลังขยาย20x (DG_NAM22)



ภาพที่ 4.6.16 แสดงแถบการเจริญเติบโตของผลึกในตัวอย่าง
 ตีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้
 กำลังขยาย40x (DG_NAM21)

4.7 การดูดกลืนคลื่นแสงช่วง UV-VIS-NIR (UV-VIS-NIR absorption)

การดูดกลืนคลื่นแสงของตีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) แสงที่ตามองเห็น (visible light) และอินฟราเรดใกล้ (near-infrared) โดยทำการวิเคราะห์ ในช่วงคลื่น 280-880 นาโนเมตร แสดงสเปกตรัมในภาพที่ 4.7.1

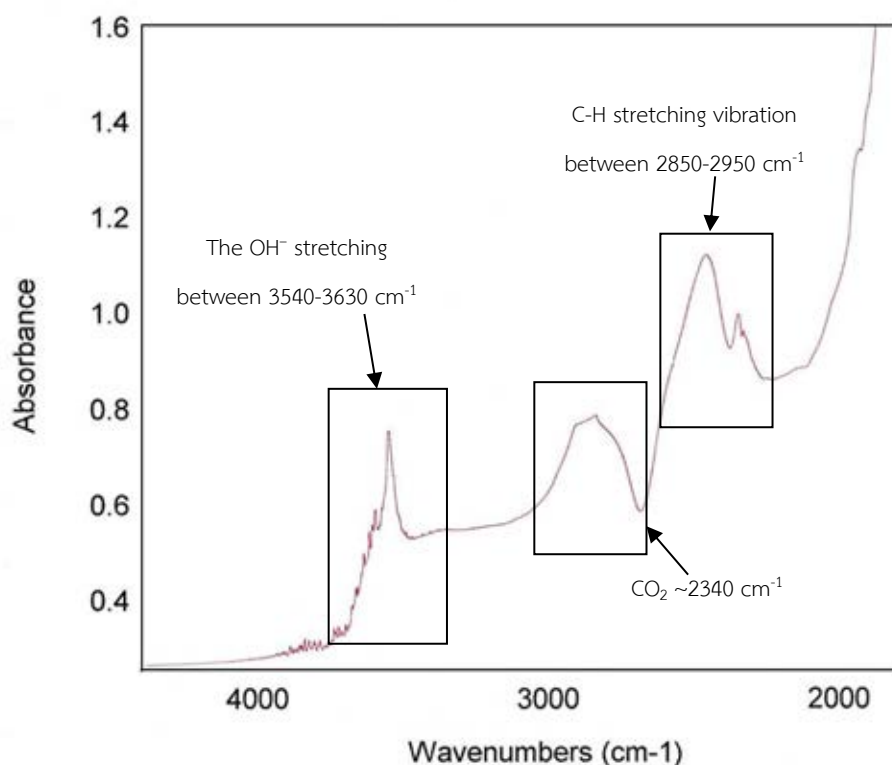


ภาพที่ 4.7.1 ตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-VIS-NIR ของตีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย
 (DG_NAM01)

โดยตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย มีการแสดงรูปแบบการดูดกลืนที่คล้ายกันทั้งหมด โดยมีตำแหน่งการดูดกลืน 4 ตำแหน่ง ประกอบไปด้วยการดูดกลืนช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน-ม่วงที่ 439 นาโนเมตร การดูดกลืนช่วงคลื่นแสงสีเหลืองและส้มที่ 575 และ 617 นาโนเมตร และที่การดูดกลืนในช่วงอินฟราเรดระยะใกล้ที่ 855 นาโนเมตร

4.8 การดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นอินฟราเรด (FTIR)

การดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรดของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย แสดงดังภาพที่ 4.8.1



ภาพที่ 4.8.1 ตัวอย่างสเปกตรัมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับตำแหน่งเลขคลื่น (wave number) ในการดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรดของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย (DG_NAM25)

พบสเปกตรัมแสดงการดูดกลืนจากไฮดรอกไซด์(OH⁻ stretching) อยู่ในช่วง 3540-3630 cm⁻¹ เป็นยอดการดูดกลืนเฉพาะตัวที่พบในการ์เนตประเภทแอนดราไซด์ (Amthauer et al., 1998) การดูดกลืนจาก CO₂ ที่ตำแหน่งประมาณ 2340 cm⁻¹ และการดูดกลืนจากหมู่ไฮโดรคาร์บอน (C-H stretching vibration) 2850-2950 cm⁻¹ ซึ่งตำแหน่งการดูดกลืนทั้งหมดที่กล่าวมา พบได้ในทุกตัวอย่างของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย

4.9 องค์ประกอบทางเคมี (chemical composition)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย โดยเครื่องมือ EMPA มีองค์ประกอบหลักคือ SiO_2 CaO และ FeO total และยังมีพบธาตุร่องรอยอื่นๆ เช่น TiO_2 Al_2O_3 Cr_2O_3 MnO MgO Na_2O และ V_2O_3

เมื่อนำองค์ประกอบทางเคมีมาคำนวณหาสัดส่วนปริมาณธาตุเทียบกับจำนวนออกซิเจนในโครงสร้าง (atomic proportion) พบว่าดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย มีองค์ประกอบเป็นการ์เนตประเภทแอนดราไดต์มากกว่า 97.4% อาจพบ End member ของการ์เนตอื่น เช่น กรอสซูลาร์ และอูวาโรไวต์ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ตามปริมาณ Al^{3+} และ Cr^{3+} ที่พบในตัวอย่างตามลำดับ ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากเครื่องมือ EPMA แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีโดยเครื่องมือ EMPA ของตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เน็ต จากประเทศนามิเบีย

Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Oxides (wt%)																	
SiO ₂	36.85	36.82	36.59	36.65	36.91	36.09	36.04	36.85	36.95	36.98	36.30	36.34	36.66	36.55	36.91	36.38	36.86
Al ₂ O ₃	0.04	0.00	0.03	0.01	0.02	0.04	0.06	0.06	0.01	0.48	0.39	0.04	0.06	0.05	0.02	0.07	0.00
TiO ₂	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.25
Cr ₂ O ₃	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.03	0.00	0.00
FeO	28.52	28.40	28.35	28.52	28.40	28.95	28.05	28.62	28.89	28.84	28.77	28.42	28.50	28.34	28.27	28.03	28.21
MnO	0.00	0.02	0.09	0.10	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04	0.06	0.01	0.05	0.01
MgO	0.09	0.06	0.06	0.07	0.09	0.08	0.11	0.11	0.04	0.08	0.09	0.11	0.06	0.08	0.15	0.06	0.07
CaO	33.41	33.40	33.43	33.16	33.23	33.43	33.74	33.40	33.81	33.03	33.52	33.73	33.49	33.26	33.13	33.21	33.99
Na ₂ O	0.02	0.01	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.05	0.06	0.01	0.03	0.00	0.02	0.00	0.03	0.03	0.02
V ₂ O ₃	0.00	0.53	0.57	0.24	0.00	0.00	0.96	0.00	0.43	0.00	0.29	0.33	0.00	0.48	0.38	0.38	0.19
Total	98.95	99.22	99.18	98.76	98.68	98.67	98.96	99.10	100.20	99.41	99.45	98.98	98.84	98.82	98.93	98.21	99.60
Ions calculated on 12 oxygens																	
Si	3.048	3.041	3.023	3.041	3.063	2.996	2.984	3.043	3.021	3.045	2.989	3.006	3.036	3.031	3.055	3.032	3.029
Al	0.004	0.000	0.002	0.001	0.002	0.004	0.006	0.006	0.001	0.046	0.037	0.004	0.006	0.005	0.002	0.007	0.000
Ti	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.016
Cr	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.000	0.000
Fe ³⁺	1.751	1.737	1.762	1.750	1.724	1.839	1.802	1.764	1.780	1.719	1.806	1.801	1.769	1.750	1.720	1.757	1.750
Fe ²⁺	0.221	0.224	0.196	0.228	0.246	0.171	0.139	0.212	0.195	0.266	0.174	0.165	0.204	0.214	0.236	0.197	0.188
Mn	0.000	0.001	0.006	0.007	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.003	0.004	0.001	0.003	0.001
Mg	0.011	0.007	0.008	0.009	0.011	0.010	0.014	0.013	0.005	0.009	0.011	0.013	0.007	0.010	0.018	0.007	0.009
Ca	2.960	2.954	2.958	2.947	2.952	2.972	2.992	2.954	2.960	2.913	2.955	2.988	2.970	2.953	2.937	2.965	2.992
Na	0.003	0.001	0.005	0.000	0.000	0.005	0.000	0.008	0.009	0.001	0.004	0.000	0.003	0.000	0.004	0.005	0.003
V	0.000	0.035	0.038	0.016	0.000	0.000	0.064	0.000	0.028	0.000	0.019	0.022	0.000	0.032	0.025	0.026	0.013
Total	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Mol.% end-members																	
And%	99.7	100.0	99.9	100.0	99.9	99.8	99.7	99.7	99.9	97.4	98.0	99.7	99.6	99.7	99.8	99.6	100.0
Others	0.3	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	2.6	2.0	0.3	0.4	0.3	0.2	0.4	0.0

Sample No.	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Oxides (wt%)																	
SiO ₂	36.29	36.78	36.59	36.60	36.99	36.10	35.38	35.75	37.39	37.78	36.45	36.71	36.21	36.77	36.98	36.18	36.59
Al ₂ O ₃	0.07	0.03	0.03	0.04	0.04	0.00	0.03	0.68	0.01	0.01	0.05	0.05	0.03	0.08	0.34	0.06	0.02
TiO ₂	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.05	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.04	0.02	0.00
Cr ₂ O ₃	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
FeO	28.07	28.04	28.21	28.98	28.64	28.87	28.88	28.96	28.80	28.41	28.87	28.33	28.68	28.90	28.66	28.35	28.90
MnO	0.09	0.03	0.01	0.01	0.02	0.04	0.03	0.07	0.00	0.00	0.02	0.03	0.03	0.04	0.01	0.05	0.02
MgO	0.10	0.10	0.04	0.10	0.09	0.06	0.10	0.03	0.04	0.08	0.13	0.10	0.07	0.09	0.07	0.08	0.04
CaO	33.38	33.20	33.76	33.42	33.35	33.49	33.33	34.55	33.30	33.64	33.65	33.54	33.47	33.28	33.30	33.84	33.25
Na ₂ O	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.04	0.03
V ₂ O ₃	0.00	1.44	0.29	1.44	0.00	0.00	1.53	0.49	0.00	0.00	0.00	1.15	0.96	0.00	1.15	0.00	0.86
Total	98.05	99.68	98.93	100.59	99.14	98.62	99.33	100.60	99.57	99.99	99.18	99.93	99.47	99.19	100.55	98.62	99.72
Ions calculated on 12 oxygens																	
Si	3.029	3.027	3.028	2.988	3.055	2.998	2.925	2.908	3.076	3.091	3.009	3.012	2.987	3.036	3.017	3.001	3.011
Al	0.007	0.003	0.003	0.004	0.004	0.000	0.003	0.066	0.001	0.001	0.005	0.005	0.003	0.008	0.032	0.006	0.002
Ti	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.003	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001	0.000
Cr	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001
Fe ³⁺	1.778	1.704	1.768	1.771	1.735	1.838	1.873	1.904	1.709	1.683	1.813	1.748	1.797	1.767	1.711	1.831	1.768
Fe ²⁺	0.181	0.226	0.184	0.207	0.242	0.166	0.124	0.065	0.272	0.260	0.180	0.195	0.181	0.228	0.244	0.135	0.220
Mn	0.007	0.002	0.001	0.000	0.001	0.003	0.002	0.005	0.000	0.000	0.001	0.002	0.002	0.003	0.000	0.003	0.001
Mg	0.012	0.012	0.004	0.012	0.011	0.007	0.012	0.003	0.005	0.010	0.016	0.012	0.008	0.010	0.008	0.010	0.004
Ca	2.984	2.927	2.993	2.923	2.950	2.979	2.952	3.010	2.934	2.947	2.975	2.947	2.957	2.944	2.909	3.006	2.931
Na	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.005	0.006	0.005	0.004	0.006	0.000	0.003	0.000	0.003	0.000	0.007	0.005
V	0.000	0.095	0.019	0.094	0.000	0.000	0.102	0.032	0.000	0.000	0.000	0.076	0.063	0.000	0.075	0.000	0.057
Total	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Mol.% end-members																	
And%	99.5	99.7	99.8	99.8	99.8	99.9	99.8	96.7	100.0	99.9	99.7	99.7	99.8	99.5	98.1	99.7	99.8
Others	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	3.3	0.0	0.1	0.3	0.3	0.2	0.5	1.9	0.3	0.2

บทที่ 5

อภิปราย และสรุปผล

ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่เหมืองดีมันทอยด์การ์เนต ประเทศนามิเบียนี้ประกอบไปด้วยหินชีสต์ แอมฟิโบลิต หินแคลก์-ซิลิเกต และหินอ่อน จัดเป็นหินเก่าแก่ที่อยู่ในยุค Neoproterozoic Era หรือ Late Precambrian ที่ถูกแทรกตัดด้วยมวลหินแกรนิตยุคครีเทเชียส โดยบางส่วนถูกแปรสภาพแบบสัมผัส ทำให้เกิดแร่แอนดราไดต์ร่วมกับหินอ่อนและหินแคลก์-ซิลิเกต (Koller et al., 2012) เมื่อเปรียบเทียบกับธรณีวิทยาของแหล่งแร่ดีมันทอยด์การ์เนต บริเวณทางตอนเหนือของประเทศมาดากัสการ์ ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับแหล่งแร่ในประเทศนามิเบีย ที่พบการแทรกดันตัวของหินแกรนิตยุคซีโนโซอิกในเข้ามาในหินท้องถิ่นที่เป็นชุดหิน Isalo Formation ที่ประกอบไปด้วย หินทรายเนื้อปูน และหินปูนอายุเพอร์เมียน-มีโซโซอิก ทำให้เกิดแหล่งแร่แบบสการ์น (skarn deposit) และให้กำเนิดดีมันทอยด์การ์เนตร่วมในหินแปรในพื้นที่ดังกล่าว ดังนั้นจากการเทียบเคียงมลทินแร่ที่พบจากแหล่งมาดากัสการ์กับแหล่งนามิเบียจึงมีความใกล้เคียงกัน

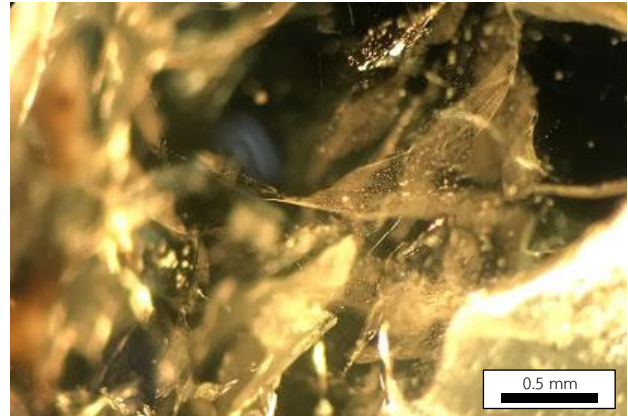
จากการศึกษาตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย รวมทั้งหมด 34 ตัวอย่าง พบว่าในหลายตัวอย่างปรากฏหน้าเรียบบางส่วนของนิสยผลึกสิบสองหน้า (rhombododecahedron) และอาจปรากฏเป็นผลึกรวมหรือผลึกแฝดในบางตัวอย่าง ตัวอย่างพลอยก้อนทั้งหมดมีคุณภาพปานกลาง-ต่ำ หากสังเกตด้วยตาเปล่าอาจเห็นความขุ่นมลทินแร่ชนิดอื่นเจือปน เมื่อสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์จะพบมลทินกระจายอยู่เป็นจำนวนมากในเนื้อพลอยเหล่านี้

ลักษณะทางกายภาพของดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย โดยทั่วไปเนื้อพลอยมีความโปร่งแสง มีสีเขียวมเหลือง มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 3.648-3.907 g/cm³ มีค่าดัชนีหักเหที่สูงกว่า 1.810 และไม่พบการเรืองแสงภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต

ลักษณะภายในที่พบโดยส่วนมากเป็นรอยแตกที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าจำนวนมาก มักพบลักษณะมลทินแร่ ได้แก่ ผลึกรูปร่าง มลทินรูปร่างประหลาด ผลึกลักษณะคล้ายตะไคร่ และลักษณะเส้นใย พบรอยแตกสมานลายนิ้วมือ ทั้งแบบรอยเดี่ยวและแบบซับซ้อน โดยอาจมีมลทินคราบสนิมเหล็กแทรกอยู่ในรอยแตก มลทินผลึกเนกาทีฟ และอาจพบแถบการเจริญเติบโตของผลึกในบางตัวอย่าง เมื่อศึกษาลักษณะมลทินเทียบกับดีมันทอยด์การ์เนตจากแหล่งอื่น (ข้อมูลจาก Phillips and Talantsev, 1996; Pezzotta et al., 2011; Adamo et al., 2015) พบว่ามลทินแร่รูปร่างประหลาดและรอยแตกสมานลายนิ้วมือแบบซับซ้อน เป็นมลทินที่โดดเด่นและพบได้เฉพาะในดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 5.1 และ 5.2

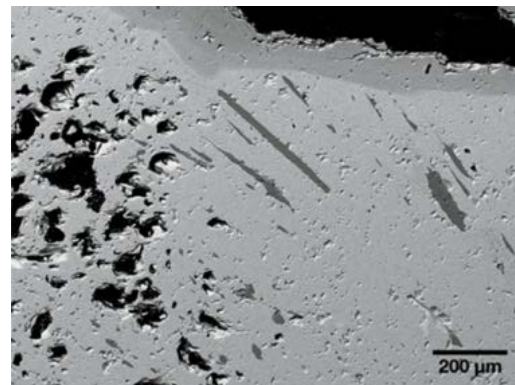


ภาพที่ 5.1 แสดงมลทินแร่รูปร่างประหลาดที่พบได้ในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM8)

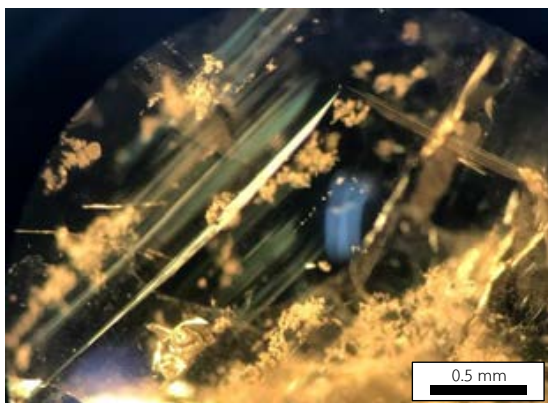


ภาพที่ 5.2 แสดงมลทินรอยแตกสมานรอยนิ้วมือแบบซับซ้อนที่พบได้ในตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ถ่ายภายใต้กำลังขยาย 40x (DG_NAM5)

โดยเทียบเคียงการศึกษาดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศมาดากัสการ์ มลทินแร่รูปร่างที่พบ อาจเป็นแร่โวลลาสโตไนต์ แสดงดังภาพที่ 5.3 และมลทินแร่ลักษณะคล้ายตะไคร่ที่พบอาจเป็นแร่ไดออปไซด์ที่อยู่ในรูปของผลึกรวมขนาดเล็กที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า (Pezzotta et al., 2011) แสดงดังภาพที่ 5.4



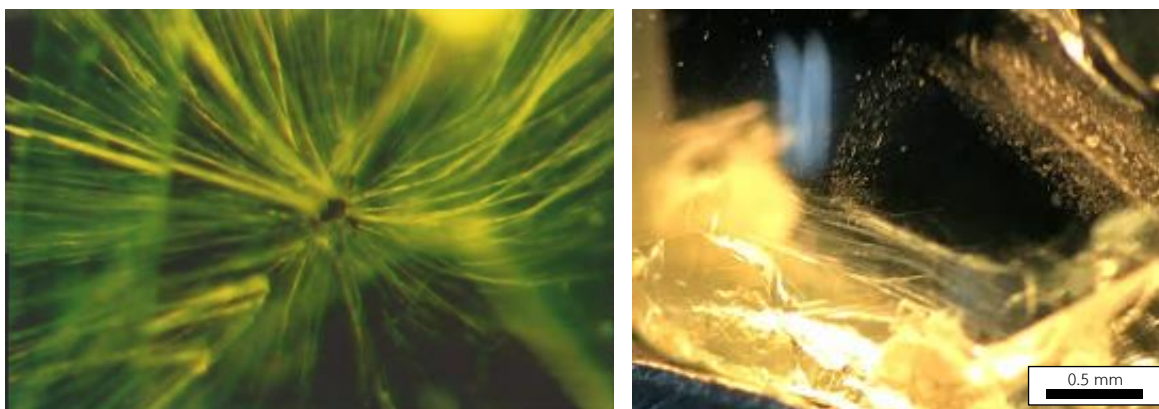
ภาพที่ 5.3 แสดงภาพมลทินแร่รูปร่างของดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย(ซ้าย) เทียบเคียงกับ ภาพมลทินแร่โวลลาสโตไนต์จากการวิเคราะห์ผ่าน SEM-EDS ของดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศมาดากัสการ์(ขวา) (Pezzotta et al., 2011)



ภาพที่ 5.4 ภาพผลึกมลทินแร่ลักษณะคล้ายตะไคร่ในดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย(ซ้าย) เทียบเคียงกับ ภาพมลทินแร่ไดออปไซด์ผลึกรวมสีขาว พบในดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศมาดากัสการ์(ขวา) (Pezzotta et al., 2011)

จากการศึกษามลทินเด่นในดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศรัสเซียและอิตาลี โดย Phillips and Talantsev (1996) และ Adamo et al. (2015) พบว่าทั้งสองแหล่งพบมลทินทางม้าในเนื้อพลอย ซึ่งมีลักษณะที่เป็นเส้นใยแผ่รัศมีออกมาจากผลึกสีดำ พบว่าเป็นแร่โครโซไทล์ซึ่งเป็นแร่ใยหินกลุ่มแร่เซอร์เพนทีน (Deer et al., 2013) และแร่โครไมต์ ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะธรณีวิทยาที่พบในพื้นที่ ซึ่งเป็นหินอัลตราเมฟิกและเซอร์เพนทีไนต์ อีกทั้งพบเป็นแหล่งแร่โครเมียมในพื้นที่นี้อีกด้วย

จากรายงานข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว ไม่พบมลทินทางม้าในดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบียและมาดากัสการ์ อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาลักษณะภายในตัวอย่างจากประเทศนามิเบียในครั้งนี้ กลับพบมลทินแร่ลักษณะเป็นเส้นใยอยู่ในเนื้อของบางตัวอย่าง ลักษณะเป็นเส้นใยอยู่รวมกันหลวมๆ อาจเป็นลักษณะมลทินเด่นอีกชนิดหนึ่งที่ได้พบในดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย แสดงดังภาพที่ 5.5

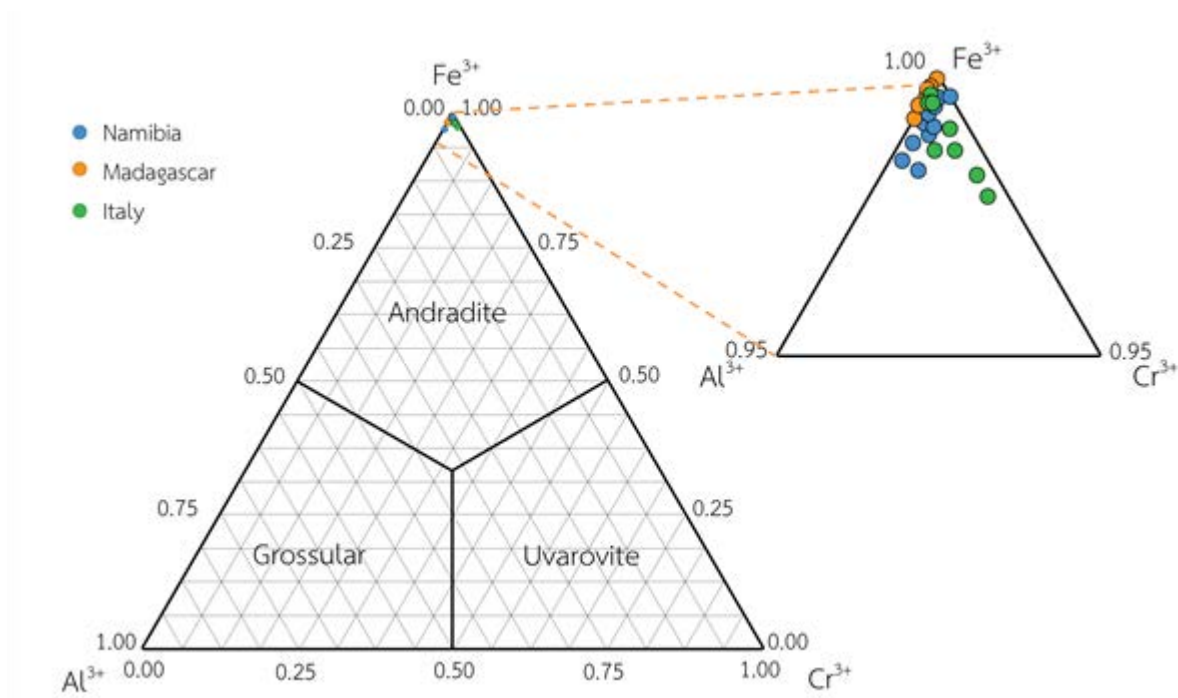


ภาพที่ 5.5 แสดงภาพมลทินทางม้า ในดีมันทอยด์การ์เนตจากประเทศรัสเซีย (Phillips and Talantsev, 1996) (ซ้าย) เทียบกับภาพมลทินแร่เส้นใยในดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย ที่พบเป็นเส้นใยเกาะกันหลวมๆ และไม่พบแร่โครไมต์ตรงกลาง(ขวา)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย มีองค์ประกอบหลักใกล้เคียงกันทุกตัวอย่าง คือ SiO_2 , CaO และ $\text{FeO}_{\text{total}}$ และมีธาตุร่องรอยที่พบคือ Al_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_3 , MnO , MgO , Na_2O และ V_2O_5 สามารถคำนวณสัดส่วน End-member เป็นประเภทแอนดราไดต์ได้มากกว่า 97.4% ขึ้นไป

จากการศึกษาดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศรัสเซียและอิตาลี พบว่าดีมันทอยด์การ์เนตในพื้นที่หินเซอร์เพนทีไนต์ร่วมกับแหล่งแร่โครไมต์ ทำให้ดีมันทอยด์จากแหล่งดังกล่าว มี Cr^{3+} สูง (≤ 9.1 %wt และ ≤ 5.54 %wt ตามลำดับ) จึงมี Cr^{3+} เข้ามาแทนที่ Fe^{3+} ในองค์ประกอบ ทำให้เกิดเป็นสีเขียวบริสุทธิ์ มักมีราคาและคุณภาพที่ดีกว่าแหล่งประเทศนามิเบีย

แต่จากการสังเกตปริมาณองค์ประกอบในตัวอย่งดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย พบว่ามี Cr_2O_3 ในปริมาณต่ำมาก (≤ 0.045 wt%) เปรียบเทียบข้อมูลในภาพที่ 5.6 อย่างไรก็ตามการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนในช่วง UV-Vis-NIR พบว่าในดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย กลับพบว่ามีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกับดีมันทอยด์การ์เนตสีเขียวอมเหลือง จากแหล่งประเทศอิตาลี (ข้อมูลจาก Adamo et al., 2015) ดังเปรียบเทียบในภาพที่ 5.7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสีที่เขียวอมเหลืองที่ปรากฏเป็นผลมาจากทั้ง Fe^{3+} และ Cr^{3+} ที่พบในโครงสร้างของดีมันทอยด์การ์เนต

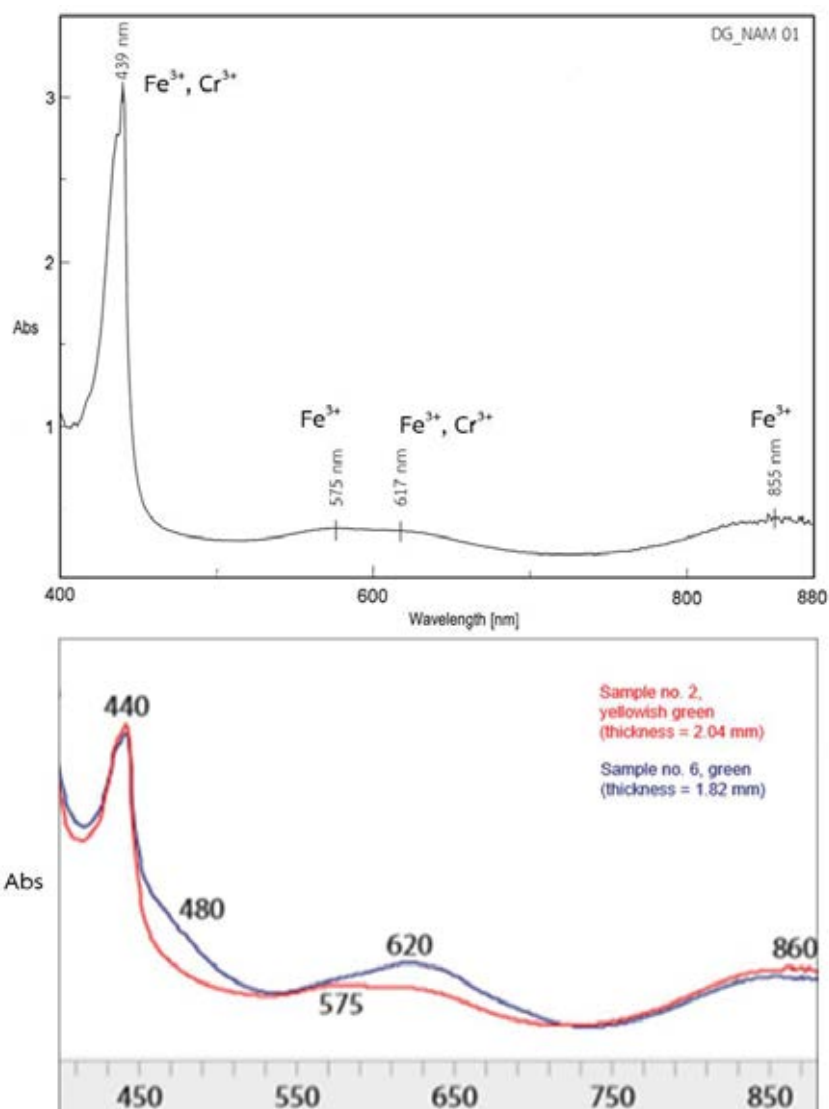


ภาพที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนของ Fe^{3+} Al^{3+} และ Cr^{3+} ของดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศมาดากัสการ์ อิตาลี และนามิเบีย(ในศึกษาครั้งนี้) (ข้อมูลจาก Pezzotta et al., 2011 และ Adamo et al., 2015)

ในเบื้องต้น จากผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า Cr^{3+} ที่เป็นธาตุมลทินที่เป็นตัวกำหนดสีเขียวในดีมันทอยด์การ์เนต แต่ถ้า Cr^{3+} มีปริมาณต่ำมาก สีที่ปรากฏจะอมเหลืองจากอิทธิพลขององค์ประกอบหลัก Fe^{3+} ในโครงสร้าง ซึ่งเป็นการเกิดสีแบบ Idiochromatic สำหรับธาตุ Cr^{3+} ที่พบเป็นสาเหตุการเกิดสีเขียวชัดเจนในดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศรัสเซียและอิตาลี เป็นการเกิดสีแบบ Allochromatic คือจากอิทธิพลของธาตุร่องรอยในโครงสร้างนั่นเอง

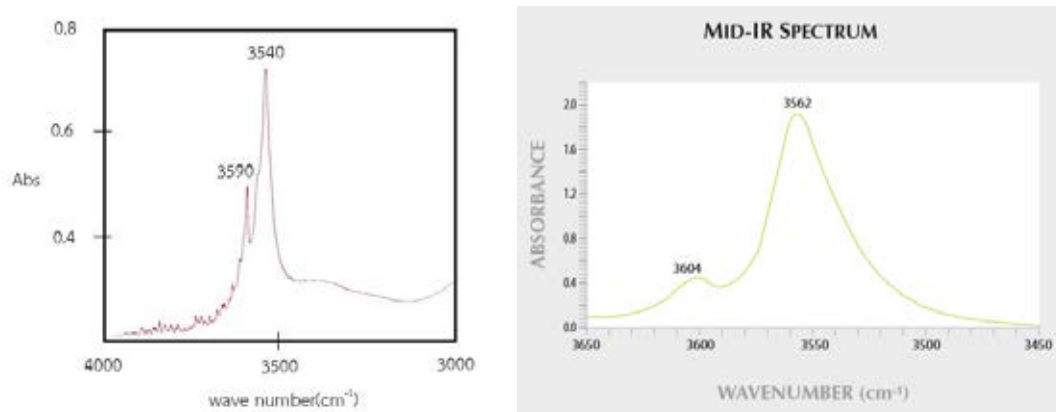
นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์โดย FTIR spectrophotometer ตัวอย่างแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนเด่นที่ตำแหน่งระหว่าง $3500\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงพันธะกลุ่มไฮดรอกไซด์ (OH^- bond) ในองค์ประกอบบางอย่าง มี

ยอดการดูดกลืนประมาณ 3540 และ 3590 cm^{-1} ซึ่งคล้ายกับลักษณะสเปกตรัมที่พบในดีมันทอยด์คาร์เนตจากประเทศอิตาลี (Adamo et al., 2015) แสดงดังภาพที่ 5.8



ภาพที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงในช่วง UV-Vis-NIR ของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย(ด้านบน)

และอิตาลี(ด้านล่าง) (ดัดแปลงจาก Adamo et al., 2015)



ภาพที่ 5.8 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนในช่วง $3000\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ ของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย(ซ้าย) เปรียบเทียบกับสเปกตรัมการดูดกลืนในช่วง $3450\text{-}3650\text{ cm}^{-1}$ ของดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศอิตาลี(ขวา) (Adamo et al., 2015)

ตัวอย่างดีมันทอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบียในการศึกษาครั้งนี้ เป็นตัวอย่างที่คุณภาพปานกลาง-ค่อนข้างต่ำ อาจถูกใช้ประโยชน์ในด้านอื่น เช่น ด้านอุตสาหกรรม จึงเป็นคุณภาพที่ไม่เหมาะกับการเจียรไนเป็นอัญมณี ควรมีการศึกษาตัวอย่างเพิ่มเติมที่มีคุณภาพมากขึ้นจากแหล่งนี้ และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับชนิดของมลทินแร่รูปร่างต่างๆที่พบภายในตัวอย่าง ด้วยเครื่องมือขั้นสูงทางอัญมณี เช่น RAMAN Spectroscopy เพื่อระบุชนิดแร่ที่ถูกต้องต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Ilaria Adamo, Rosangela Bocchio, Valeria Diella, Alessandro Pavese, Pietro Vignola, Loredana Prospero and Valentina Palanza, “DEMANTOID FROM VAL MALENCO, ITALY: REVIEW AND UPDATE,” *Gems & Gemology* (winter 2009): 280-287.
- Georg Amthauer and George R. Rossman, “The hydrous component in andradite garnet,” *American Mineralogist* vol.83, Issue 7-8: 835-840.
- W. A. Deer, R. A. Howie and J. Zussman. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*, 3rd edition (England: Longman Essex, 2013)
- D. R. Gray, D. A. Foster, J. G. Meert, B. D. Goscombe, R. Armstrong, R. A. J. Trouw and C. W. Passchier, “A Damara orogen perspective on the assembly of southwestern Gondwana,” *Geological Society, London: Special Publications*(2008): 257-278.
- Edward S. Grew, Andrew J. Locock, Stuart J. Mills, Irina O. Galuskina, Evgeny V. Galuskin and Ulf Hålenius, “Nomenclature of the garnet supergroup,” *American Mineralogist* vol.93 Issue 4: 785-811.
- Harmony. K. Musiyarira, Ditend Tesh, Mallikarjun Pillalamarri and Nikowa Namate, “Development of a Sector Growth Strategy for the Semi-Precious Stones (Jewellery) and Related Industries,” *Namibia University of Science and Technology (NUST)*
- KOLLER F., NIEDERMAYR G., PINTÉR Zs. and SZABÓ Cs. “The Demantoid garnets of the Green Dragon mine (Tubussi, Erongo Region, Namibia),” *Acta Mineralogica-Petrographica* vol.7, 2012: 72.
- Phillips W. R. and Talantsev A. S. “Russian Demantoid, Czar of the Garnet Family,” *Gems & Gemology* summer 1996: 100-111.
- Federico Pezzotta, Ilaria Adamo and Valeria Diella “Demantoid and Topazolite from Antetazambato, Northern Madagascar: Review and New Data,” *Gems & Gemology* (spring 2011): 2-14.

ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างดีมันทอยด์การ์เนต จากประเทศนามิเบีย
ลักษณะทางกายภาพ และสมบัติเฉพาะทางอัญมณี

ตัวอย่างดีมัททอยด์คาร์เนต จากประเทศนามิเบีย จำนวน 34 ตัวอย่าง



สมบัติทางกายภาพของดีมันทอยด์การ์เน็ต จากประเทศนามิเบีย

Sample	Colour	Luster	Transparency	Weight(ct)	SG(g/cm ³)	RI	Fluorescence
DG_NAM1	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.638	3.847	>1.81	inert
DG_NAM2	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.659	3.648	>1.81	inert
DG_NAM3	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.112	3.780	>1.81	inert
DG_NAM4	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.837	3.833	>1.81	inert
DG_NAM5	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.295	3.700	>1.81	inert
DG_NAM6	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.052	3.767	>1.81	inert
DG_NAM7	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.213	3.800	>1.81	inert
DG_NAM8	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.075	3.777	>1.81	inert
DG_NAM9	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.024	3.814	>1.81	inert
DG_NAM10	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.132	3.760	>1.81	inert
DG_NAM11	Yellowish green	Vitreous	transparent	0.864	3.857	>1.81	inert
DG_NAM12	Yellowish green	Vitreous	transparent	0.846	3.777	>1.81	inert
DG_NAM13	Yellowish green	Vitreous	transparent	0.920	3.833	>1.81	inert
DG_NAM14	Yellowish green	Vitreous	transparent	0.700	3.783	>1.81	inert
DG_NAM15	Yellowish green	Vitreous	transparent	0.764	3.825	>1.81	inert
DG_NAM16	Yellowish green	Vitreous	transparent	0.578	3.777	>1.81	inert
DG_NAM17	Yellowish green	Vitreous	transparent	0.519	3.810	>1.81	inert
DG_NAM18	Yellowish green	Vitreous	transparent	0.714	3.763	>1.81	inert
DG_NAM19	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.369	3.845	>1.81	inert
DG_NAM20	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.583	3.795	>1.81	inert
DG_NAM21	Yellowish green	Vitreous	transparent	0.877	3.804	>1.81	inert
DG_NAM22	Yellowish green	Vitreous	transparent	0.950	3.837	>1.81	inert
DG_NAM23	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.209	3.781	>1.81	inert
DG_NAM24	Yellowish green	Vitreous	transparent	0.945	3.780	>1.81	inert
DG_NAM25	Yellowish green	Vitreous	transparent	0.490	3.880	>1.81	inert
DG_NAM26	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.104	3.810	>1.81	inert
DG_NAM27	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.159	3.850	>1.81	inert
DG_NAM28	Yellowish green	Vitreous	transparent	0.838	3.907	>1.81	inert
DG_NAM29	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.156	3.787	>1.81	inert
DG_NAM30	Yellowish green	Vitreous	transparent	0.553	3.828	>1.81	inert
DG_NAM31	Yellowish green	Vitreous	transparent	0.741	3.795	>1.81	inert
DG_NAM32	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.009	3.885	>1.81	inert
DG_NAM33	Yellowish green	Vitreous	transparent	1.049	3.889	>1.81	inert
DG_NAM34	Yellowish green	Vitreous	transparent	0.802	3.810	>1.81	inert

ภาคผนวก ข.

ผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบเคมีโดย EPMA
ของดีมันทอยด์การ์เนต จากแหล่งประเทศนามิเบีย

Sample-point	5-2	5-3	6-1	6-2	6-3	7-1	7-2	7-3	8-1	8-2	8-3	9-1	9-2
SiO2	36.95	36.91	36.34	36.09	36.55	36.04	36.88	36.27	36.85	36.09	36.85	36.05	36.06
Al2O3	0.00	0.02	0.05	0.04	0.11	0.06	0.01	0.02	0.06	0.15	0.06	0.03	0.00
TiO2	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00
Cr2O3	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00
FeO total	28.25	28.40	28.76	28.95	28.38	28.05	28.14	28.05	28.23	28.08	28.62	28.59	28.95
MnO	0.05	0.01	0.03	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01
MgO	0.06	0.09	0.09	0.08	0.09	0.11	0.09	0.07	0.12	0.10	0.11	0.06	0.03
CaO	33.68	33.23	33.32	33.43	33.52	33.74	33.46	33.91	33.42	33.40	33.40	33.20	33.08
Na2O	0.03	0.00	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.04	0.08	0.05	0.03	0.03
V2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96	0.00	0.10	0.00	0.53	0.00	0.80	0.15
Total	99.025	98.684	98.633	98.670	98.697	98.957	98.608	98.425	98.724	98.443	99.095	98.819	98.296
Si	3.053	3.063	3.018	2.996	3.030	2.984	3.061	3.014	3.053	2.999	3.043	2.993	3.008
Al	0.000	0.002	0.005	0.004	0.011	0.006	0.001	0.002	0.006	0.015	0.006	0.003	0.000
Ti	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000
Fe3+	1.749	1.724	1.800	1.839	1.777	1.802	1.730	1.804	1.746	1.801	1.764	1.800	1.815
Fe2+	0.202	0.246	0.197	0.171	0.190	0.139	0.223	0.144	0.209	0.150	0.212	0.184	0.204
Mn	0.003	0.001	0.002	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001
Mg	0.007	0.011	0.011	0.010	0.011	0.014	0.011	0.009	0.015	0.013	0.013	0.007	0.003
Ca	2.980	2.952	2.963	2.972	2.976	2.992	2.973	3.018	2.965	2.973	2.954	2.951	2.955
Na	0.005	0.000	0.003	0.005	0.003	0.000	0.000	0.002	0.007	0.013	0.008	0.004	0.004
V	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.064	0.000	0.006	0.000	0.035	0.000	0.053	0.010
Total	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
And%	100.0	99.9	99.7	99.8	99.4	99.7	99.9	99.9	99.7	99.2	99.7	99.8	100.0
Others	0.0	0.1	0.3	0.2	0.6	0.3	0.1	0.1	0.3	0.8	0.3	0.2	0.0

Sample-point	9-3	10-1	10-2	10-3	11-1	11-2	11-3	12-1	12-2	12-3	13-1	13-2	13-3
SiO ₂	36.95	36.13	36.05	36.98	36.53	36.15	36.30	36.67	36.34	36.25	36.72	36.66	36.67
Al ₂ O ₃	0.01	0.01	0.09	0.48	0.13	0.07	0.39	0.03	0.04	0.08	0.17	0.06	0.16
TiO ₂	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.02	0.00
FeO total	28.89	28.77	28.91	28.84	28.70	28.96	28.77	28.74	28.42	28.35	28.15	28.50	28.51
MnO	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.05	0.04	0.02	0.00	0.05	0.07	0.04	0.00
MgO	0.04	0.12	0.01	0.08	0.13	0.06	0.09	0.08	0.11	0.12	0.07	0.06	0.09
CaO	33.81	33.22	34.00	33.03	33.31	32.91	33.52	33.19	33.73	33.56	33.48	33.49	33.39
Na ₂ O	0.06	0.04	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00	0.02	0.04
V ₂ O ₃	0.43	0.43	0.18	0.00	0.00	0.48	0.29	0.19	0.33	0.19	0.00	0.00	0.48
Total	100.198	98.735	99.268	99.409	98.788	98.697	99.446	98.925	98.984	98.646	98.667	98.839	99.332
Si	3.021	2.999	2.976	3.045	3.027	3.005	2.989	3.037	3.006	3.007	3.045	3.036	3.023
Al	0.001	0.001	0.009	0.046	0.013	0.007	0.037	0.003	0.004	0.008	0.016	0.006	0.015
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000
Fe ³⁺	1.780	1.814	1.856	1.719	1.777	1.791	1.806	1.760	1.801	1.804	1.744	1.769	1.760
Fe ²⁺	0.195	0.182	0.139	0.266	0.211	0.221	0.174	0.230	0.165	0.162	0.207	0.204	0.205
Mn	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.004	0.003	0.001	0.000	0.004	0.005	0.003	0.000
Mg	0.005	0.015	0.001	0.009	0.016	0.008	0.011	0.010	0.013	0.015	0.009	0.007	0.011
Ca	2.960	2.953	3.006	2.913	2.956	2.930	2.955	2.944	2.988	2.983	2.974	2.970	2.948
Na	0.009	0.006	0.000	0.001	0.000	0.001	0.004	0.003	0.000	0.002	0.000	0.003	0.006
V	0.028	0.029	0.012	0.000	0.000	0.032	0.019	0.013	0.022	0.013	0.000	0.000	0.032
Total	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
And%	99.9	99.9	99.5	97.4	99.3	99.6	98.0	99.8	99.7	99.5	99.1	99.6	99.1
Others	0.1	0.1	0.5	2.6	0.7	0.4	2.0	0.2	0.3	0.5	0.9	0.4	0.9

Sample-point	14-1	14-2	14-3	15-1	15-2	15-3	16-1	16-2	16-3	17-2	17-3	18-1	18-2
SiO ₂	36.36	36.12	36.55	36.74	36.83	36.91	36.38	36.01	36.63	36.09	36.86	36.29	36.01
Al ₂ O ₃	0.06	0.17	0.05	0.03	0.08	0.02	0.07	0.21	0.78	0.05	0.00	0.07	0.08
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
FeO total	28.76	28.76	28.34	28.15	28.96	28.27	28.03	28.34	28.85	28.95	28.21	28.07	28.32
MnO	0.03	0.03	0.06	0.00	0.07	0.01	0.05	0.03	0.01	0.03	0.01	0.09	0.00
MgO	0.11	0.08	0.08	0.12	0.08	0.15	0.06	0.14	0.05	0.11	0.07	0.10	0.06
CaO	33.40	33.32	33.26	33.33	33.19	33.13	33.21	33.15	33.35	33.40	33.99	33.38	33.57
Na ₂ O	0.04	0.02	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.02	0.02	0.00	0.06
V ₂ O ₃	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	0.38	0.38	0.29	0.89	0.00	0.19	0.00	0.00
Total	98.769	98.493	98.822	98.393	99.220	98.926	98.214	98.195	100.609	98.632	99.603	98.046	98.092
Si	3.014	3.003	3.031	3.055	3.041	3.055	3.032	3.001	2.982	3.008	2.997	3.029	3.029
Al	0.005	0.016	0.005	0.003	0.008	0.002	0.007	0.020	0.075	0.023	0.005	0.000	0.007
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000
Cr	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003
Fe ³⁺	1.812	1.819	1.750	1.739	1.760	1.720	1.757	1.803	1.758	1.802	1.835	1.750	1.778
Fe ²⁺	0.181	0.180	0.214	0.218	0.238	0.236	0.197	0.172	0.205	0.190	0.174	0.188	0.181
Mn	0.002	0.002	0.004	0.000	0.005	0.001	0.003	0.002	0.001	0.000	0.002	0.001	0.007
Mg	0.013	0.010	0.010	0.015	0.010	0.018	0.007	0.017	0.006	0.011	0.013	0.009	0.012
Ca	2.965	2.967	2.953	2.968	2.935	2.937	2.965	2.960	2.907	2.963	2.970	2.992	2.984
Na	0.007	0.004	0.000	0.001	0.002	0.004	0.005	0.006	0.007	0.002	0.002	0.003	0.001
V	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000	0.025	0.026	0.019	0.058	0.000	0.000	0.013	0.000
Total	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
And%	99.7	99.1	99.7	99.7	99.5	99.8	99.6	98.9	95.9	98.7	99.7	100.0	99.5
Others	0.3	0.9	0.3	0.3	0.5	0.2	0.4	1.1	4.1	1.3	0.3	0.0	0.5

Sample-point	18-3	19-1	19-2	19-3	20-1	20-2	20-3	21-1	21-2	21-3	22-1	22-2	22-3
SiO ₂	36.24	36.96	36.78	36.77	36.56	36.99	36.59	36.50	36.77	36.60	36.99	36.70	36.73
Al ₂ O ₃	0.03	0.00	0.03	0.10	0.19	0.05	0.03	0.35	0.02	0.04	0.04	0.03	0.09
TiO ₂	0.00	0.00	0.02	0.02	0.03	0.02	0.00	0.05	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.00	0.01	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO total	28.49	28.17	28.04	28.86	28.13	28.98	28.21	28.22	28.30	28.98	28.64	28.12	28.86
MnO	0.03	0.07	0.03	0.07	0.13	0.03	0.01	0.03	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00
MgO	0.04	0.05	0.10	0.09	0.05	0.03	0.04	0.06	0.07	0.10	0.09	0.07	0.06
CaO	33.53	33.27	33.20	33.26	33.34	33.48	33.76	33.59	33.33	33.42	33.35	33.30	33.23
Na ₂ O	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.02	0.00
V ₂ O ₃	0.00	0.00	1.44	0.00	0.00	0.10	0.29	0.00	0.00	1.44	0.00	0.00	0.00
Total	98.397	98.539	99.675	99.171	98.468	99.677	98.928	98.846	98.537	100.590	99.135	98.247	98.968
Si	3.015	3.071	3.027	3.037	3.038	3.041	3.028	3.019	3.053	2.988	3.055	3.056	3.040
Al	0.002	0.000	0.003	0.010	0.019	0.005	0.003	0.034	0.002	0.004	0.004	0.003	0.009
Ti	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.003	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000
Cr	0.000	0.001	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ₃₊	1.811	1.715	1.704	1.761	1.751	1.753	1.768	1.773	1.746	1.771	1.735	1.739	1.758
Fe ₂₊	0.171	0.242	0.226	0.232	0.203	0.239	0.184	0.179	0.218	0.207	0.242	0.219	0.239
Mn	0.002	0.005	0.002	0.005	0.009	0.002	0.001	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Mg	0.005	0.007	0.012	0.012	0.006	0.004	0.004	0.008	0.009	0.012	0.011	0.009	0.008
Ca	2.987	2.960	2.927	2.942	2.967	2.948	2.993	2.976	2.964	2.923	2.950	2.970	2.946
Na	0.006	0.000	0.002	0.000	0.003	0.000	0.000	0.006	0.006	0.000	0.000	0.003	0.000
V	0.000	0.000	0.095	0.000	0.000	0.006	0.019	0.000	0.000	0.094	0.000	0.000	0.000
Total	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
And%	99.9	100.0	99.7	99.5	98.8	99.7	99.8	98.1	99.9	99.8	99.8	99.8	99.5
Others	0.1	0.0	0.3	0.5	1.2	0.3	0.2	1.9	0.1	0.2	0.2	0.2	0.5

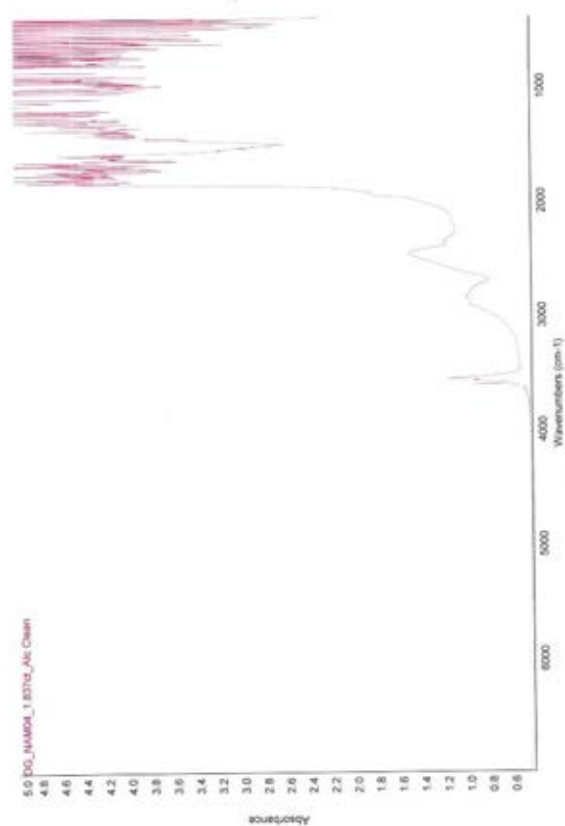
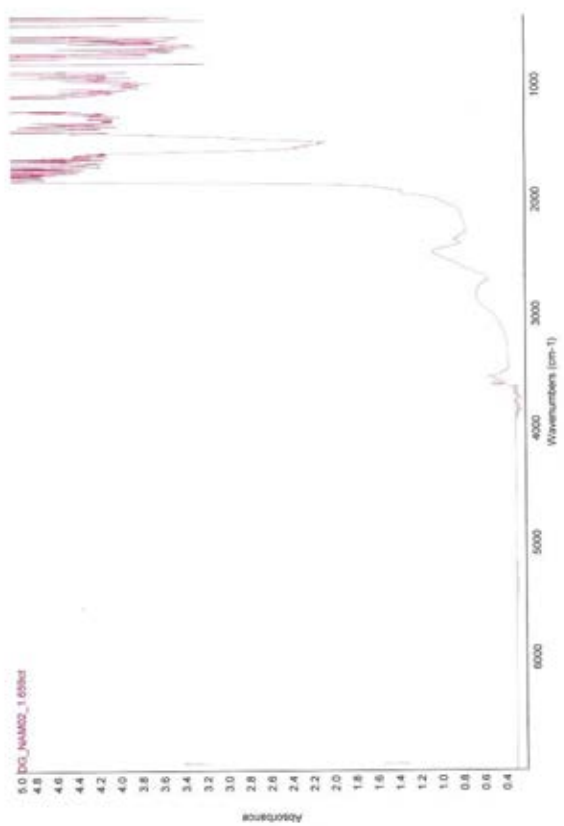
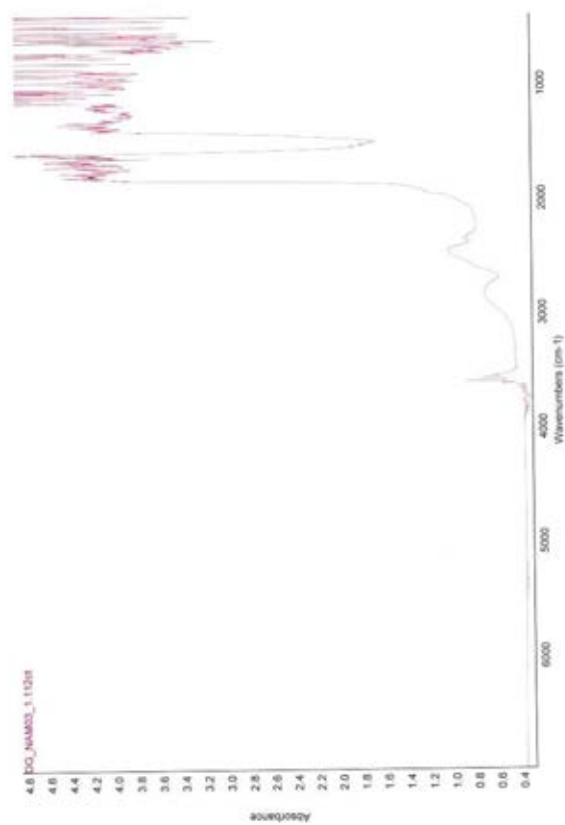
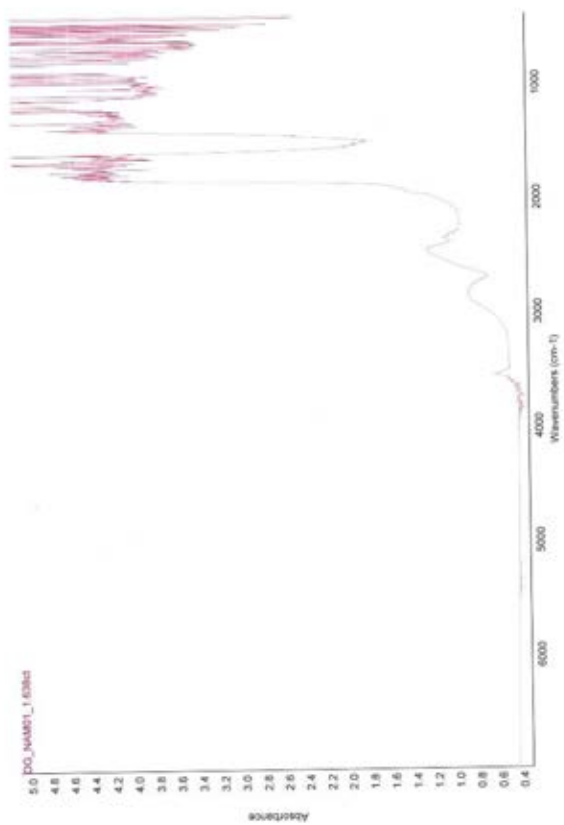
Sample-point	23-1	23-2	23-3	24-1	24-2	24-3	25-1	25-2	25-3	26-1	26-2	26-3	27-1
SiO ₂	36.37	36.10	36.41	36.44	36.76	35.38	36.57	34.40	35.75	37.09	37.47	37.39	37.48
Al ₂ O ₃	0.13	0.00	0.24	0.03	0.16	0.03	0.07	0.06	0.68	0.00	0.02	0.01	0.13
TiO ₂	0.01	0.01	0.00	0.01	0.04	0.01	0.00	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00	0.04
Cr ₂ O ₃	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
FeO total	28.51	28.87	28.10	28.51	28.17	28.88	28.56	28.98	28.96	28.13	28.71	28.80	28.03
MnO	0.00	0.04	0.03	0.04	0.10	0.03	0.02	0.00	0.07	0.03	0.00	0.00	0.04
MgO	0.06	0.06	0.10	0.09	0.11	0.10	0.10	0.08	0.03	0.06	0.05	0.04	0.10
CaO	33.75	33.49	33.59	33.55	33.41	33.33	33.47	33.58	34.55	33.62	33.65	33.30	33.53
Na ₂ O	0.01	0.03	0.02	0.00	0.05	0.04	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.03	0.01
V ₂ O ₃	0.00	0.00	0.48	1.05	0.00	1.53	0.00	1.58	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	98.841	98.621	98.979	99.734	98.790	99.333	98.779	98.691	100.596	98.944	99.924	99.567	99.350
Si	3.011	2.998	3.010	2.997	3.043	2.925	3.031	2.865	2.908	3.067	3.070	3.076	3.085
Al	0.013	0.000	0.024	0.003	0.016	0.003	0.007	0.006	0.066	0.000	0.001	0.001	0.012
Ti	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.000	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.002
Cr	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ³⁺	1.804	1.838	1.772	1.776	1.751	1.873	1.777	1.962	1.904	1.719	1.719	1.709	1.677
Fe ²⁺	0.170	0.166	0.171	0.184	0.198	0.124	0.202	0.055	0.065	0.225	0.247	0.272	0.251
Mn	0.000	0.003	0.002	0.003	0.007	0.002	0.001	0.000	0.005	0.002	0.000	0.000	0.003
Mg	0.007	0.007	0.012	0.012	0.013	0.012	0.012	0.009	0.003	0.007	0.006	0.005	0.012
Ca	2.993	2.979	2.975	2.955	2.962	2.952	2.971	2.996	3.010	2.977	2.952	2.934	2.955
Na	0.001	0.005	0.003	0.000	0.007	0.006	0.000	0.000	0.005	0.000	0.005	0.004	0.001
V	0.000	0.000	0.032	0.069	0.000	0.102	0.000	0.105	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
And%	99.3	99.9	98.6	99.8	99.1	99.8	99.6	99.7	96.7	100.0	99.9	100.0	99.3
Others	0.7	0.1	1.4	0.2	0.9	0.2	0.4	0.3	3.3	0.0	0.1	0.0	0.7

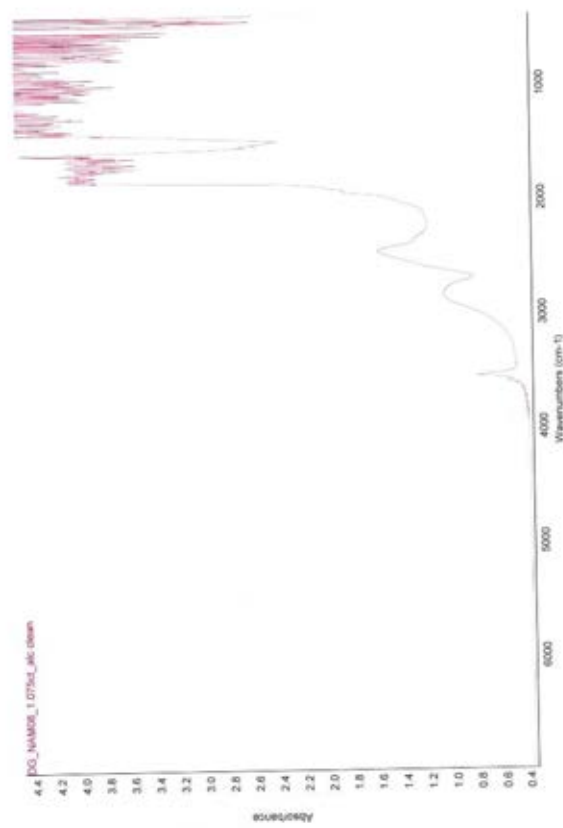
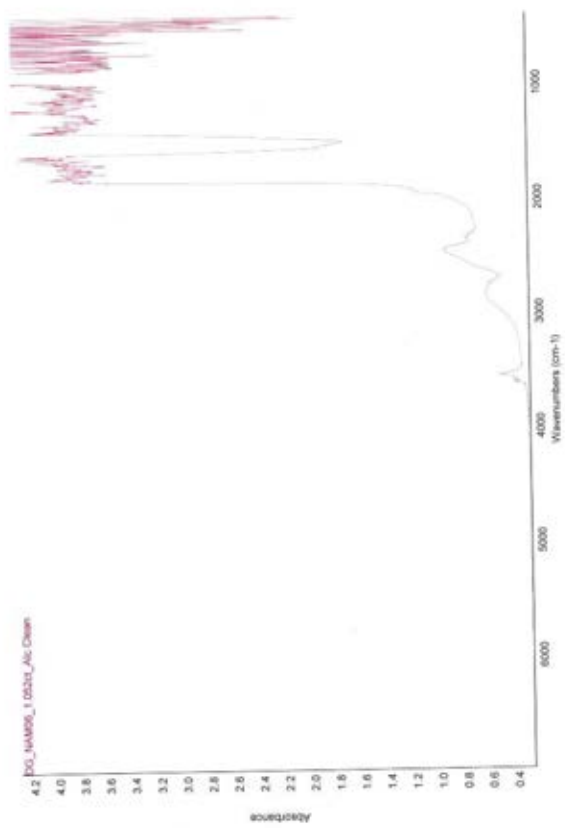
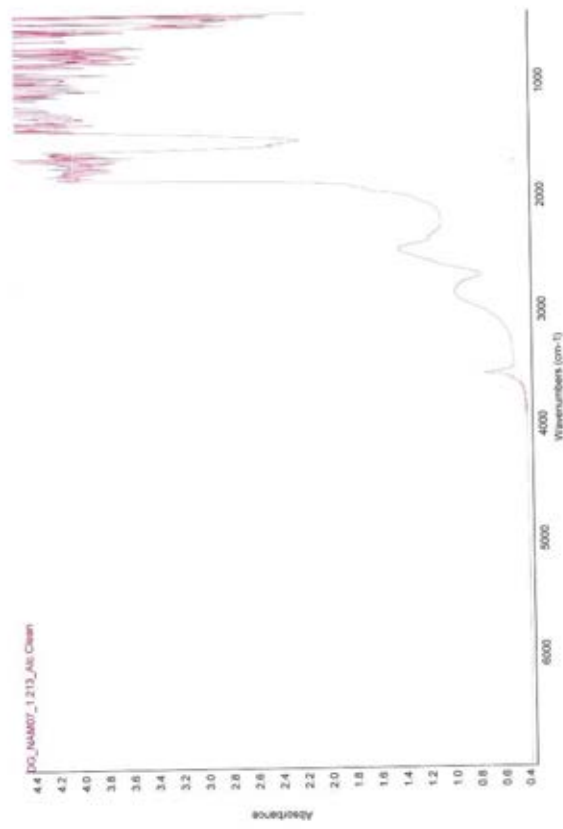
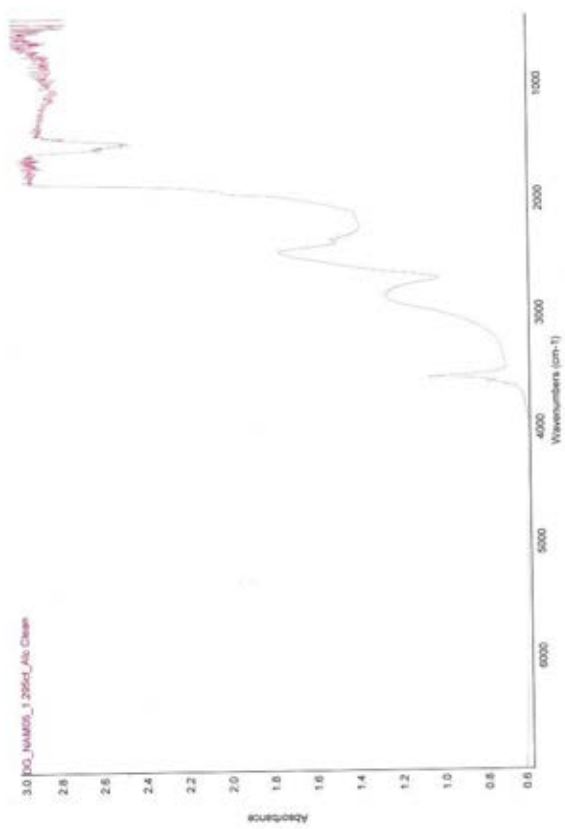
Sample	27-2	27-3	28-1	28-2	28-3	29-1	29-2	29-3	30-1	30-2	30-3	31-1	31-2
SiO ₂	37.79	37.78	36.71	36.27	36.45	36.41	36.71	36.80	36.68	36.74	36.21	36.39	36.87
Al ₂ O ₃	0.03	0.01	0.03	0.02	0.05	0.10	0.05	0.04	0.08	0.03	0.03	0.00	0.02
TiO ₂	0.02	0.01	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.01	0.00	0.02
FeO total	28.33	28.41	28.02	28.54	28.87	28.46	28.33	28.51	28.39	28.67	28.68	28.57	28.63
MnO	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.03	0.03	0.08	0.00	0.00	0.03	0.05	0.02
MgO	0.06	0.08	0.07	0.10	0.13	0.04	0.10	0.06	0.09	0.07	0.07	0.10	0.08
CaO	33.29	33.64	33.50	33.64	33.65	33.43	33.54	33.44	33.90	33.80	33.47	33.47	33.46
Na ₂ O	0.02	0.04	0.04	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00	0.05
V ₂ O ₃	0.00	0.00	0.38	0.00	0.00	1.34	1.15	0.00	0.00	0.00	0.96	0.29	0.00
Total	99.555	99.991	98.821	98.581	99.178	99.831	99.933	98.963	99.186	99.374	99.467	98.874	99.155
Si	3.106	3.091	3.040	3.012	3.009	2.993	3.012	3.045	3.024	3.026	2.987	3.015	3.043
Al	0.003	0.001	0.003	0.002	0.005	0.009	0.005	0.004	0.008	0.002	0.003	0.000	0.002
Ti	0.001	0.001	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001
Cr	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001
Fe ³⁺	1.650	1.683	1.744	1.814	1.813	1.766	1.748	1.752	1.792	1.789	1.797	1.792	1.764
Fe ²⁺	0.297	0.260	0.197	0.166	0.180	0.190	0.195	0.220	0.164	0.185	0.181	0.188	0.212
Mn	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.002	0.002	0.006	0.000	0.000	0.002	0.003	0.001
Mg	0.007	0.010	0.009	0.012	0.016	0.005	0.012	0.007	0.011	0.009	0.008	0.013	0.010
Ca	2.931	2.947	2.972	2.991	2.975	2.943	2.947	2.964	2.993	2.982	2.957	2.970	2.958
Na	0.003	0.006	0.007	0.003	0.000	0.004	0.003	0.000	0.007	0.005	0.000	0.000	0.008
V	0.000	0.000	0.025	0.000	0.000	0.088	0.076	0.000	0.000	0.000	0.063	0.019	0.000
Total	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
And%	99.7	99.9	99.9	99.9	99.7	99.5	99.7	99.7	99.6	99.7	99.8	100.0	99.8
Others	0.3	0.1	0.1	0.1	0.3	0.5	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.0	0.2

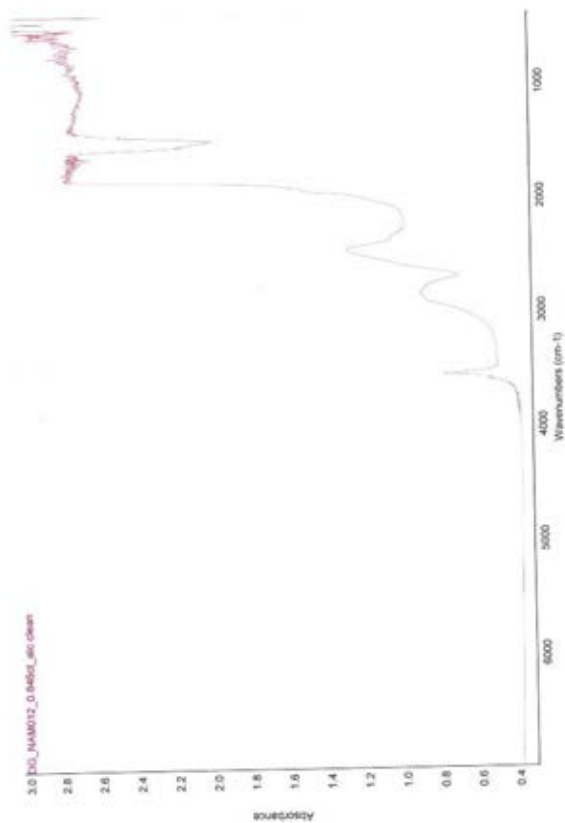
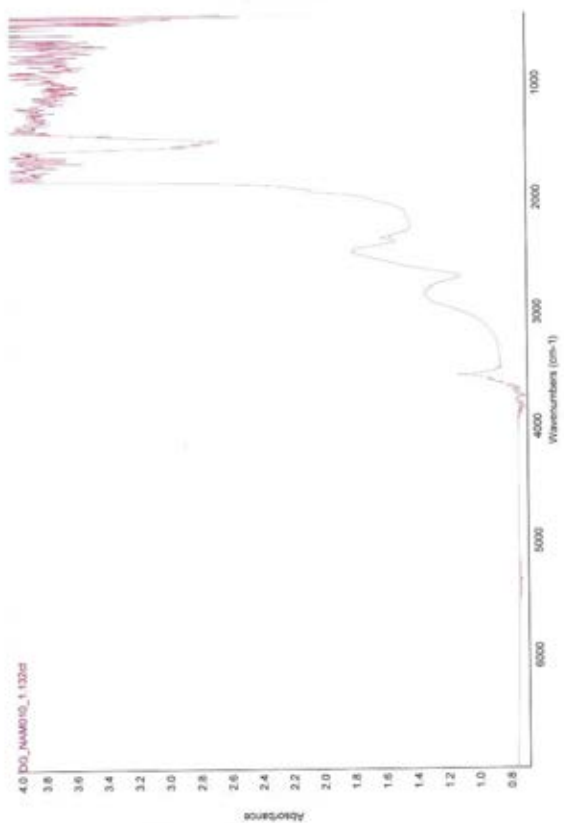
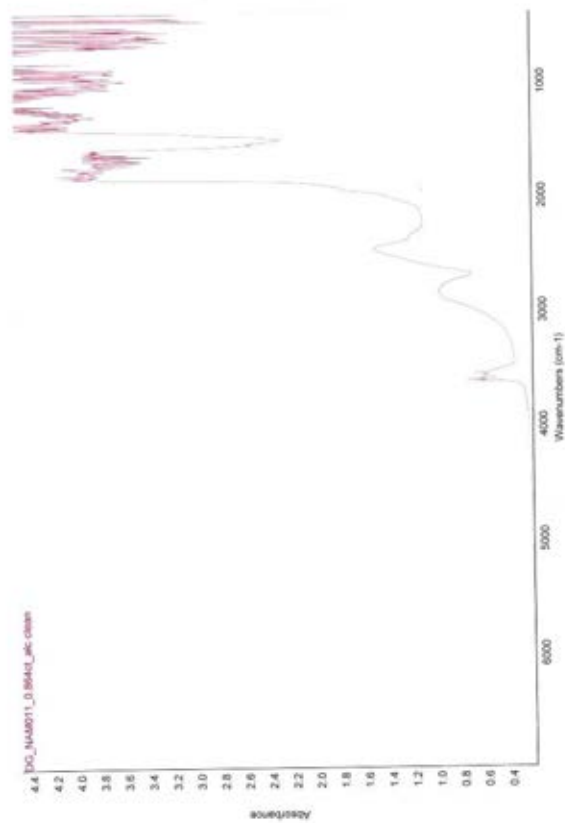
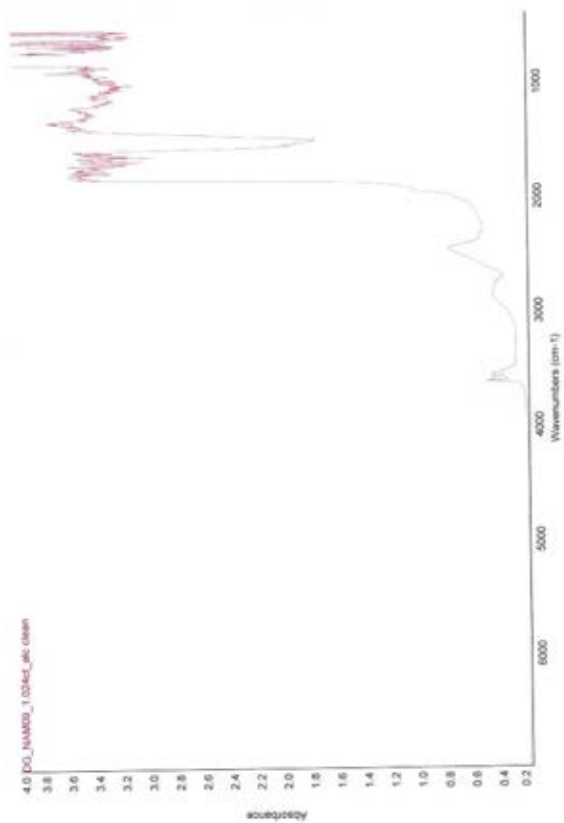
Sample-point	31-3	32-1	32-2	32-3	33-1	33-2	33-3	34-1	34-2	34-3
SiO ₂	36.77	36.43	36.81	36.98	36.74	36.65	36.18	36.59	36.68	36.40
Al ₂ O ₃	0.08	0.03	0.03	0.34	0.03	0.03	0.06	0.02	0.11	0.01
TiO ₂	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00
FeO total	28.90	28.69	28.79	28.66	28.09	28.85	28.35	28.90	28.93	28.22
MnO	0.04	0.02	0.07	0.01	0.03	0.06	0.05	0.02	0.04	0.04
MgO	0.09	0.09	0.08	0.07	0.15	0.11	0.08	0.04	0.07	0.13
CaO	33.28	33.46	33.02	33.30	33.20	33.69	33.84	33.25	33.05	34.00
Na ₂ O	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.04	0.03	0.07	0.04
V ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	1.15	0.00	0.00	0.00	0.86	0.19	0.29
Total	99.189	98.766	98.845	100.546	98.243	99.369	98.615	99.715	99.145	99.124
Si	3.036	3.021	3.051	3.017	3.059	3.020	3.001	3.011	3.030	3.004
Al	0.008	0.003	0.003	0.032	0.003	0.003	0.006	0.002	0.010	0.001
Ti	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Cr	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000
Fe ³⁺	1.767	1.795	1.745	1.711	1.733	1.797	1.831	1.768	1.771	1.816
Fe ²⁺	0.228	0.194	0.250	0.244	0.222	0.190	0.135	0.220	0.228	0.130
Mn	0.003	0.001	0.005	0.000	0.002	0.004	0.003	0.001	0.003	0.003
Mg	0.010	0.011	0.009	0.008	0.018	0.013	0.010	0.004	0.009	0.016
Ca	2.944	2.972	2.931	2.909	2.961	2.973	3.006	2.931	2.925	3.004
Na	0.003	0.001	0.003	0.000	0.001	0.000	0.007	0.005	0.011	0.007
V	0.000	0.000	0.000	0.075	0.000	0.000	0.000	0.057	0.013	0.019
Total	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
And%	99.5	99.8	99.7	98.1	99.8	99.8	99.7	99.8	99.4	99.9
Others	0.5	0.2	0.3	1.9	0.2	0.2	0.3	0.2	0.6	0.1

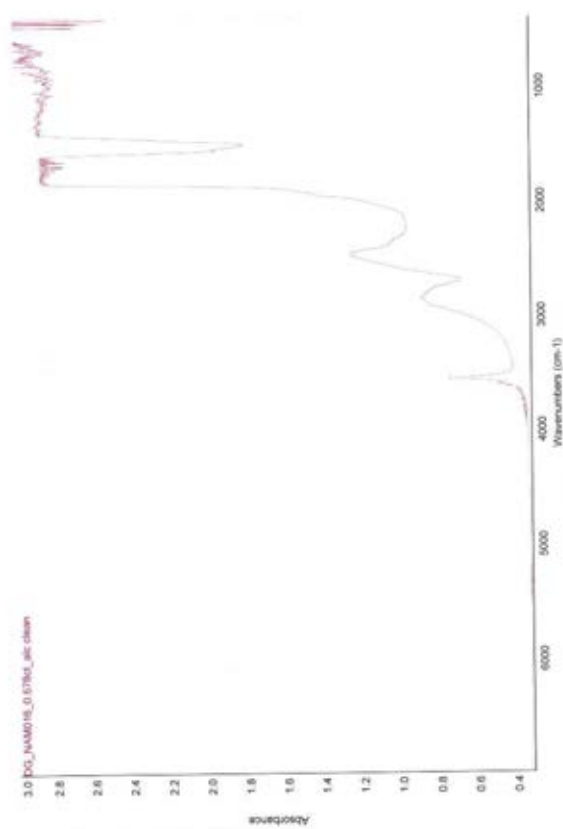
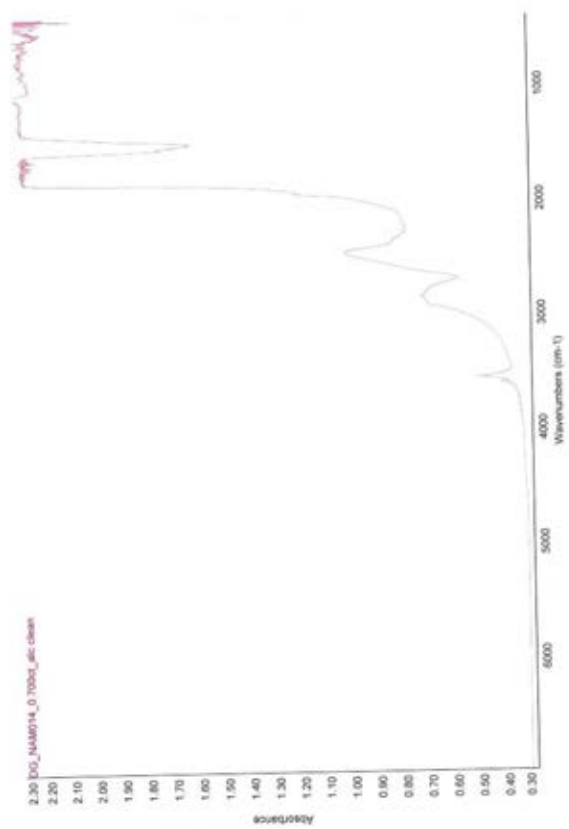
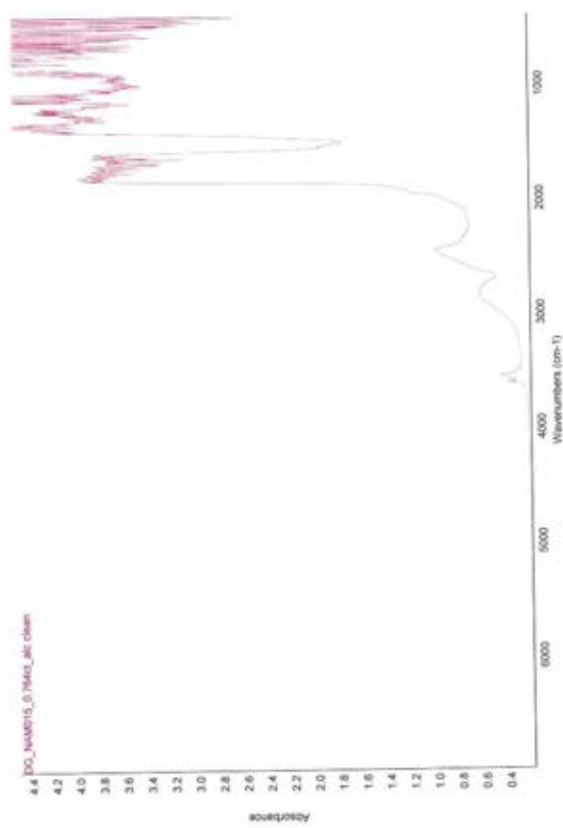
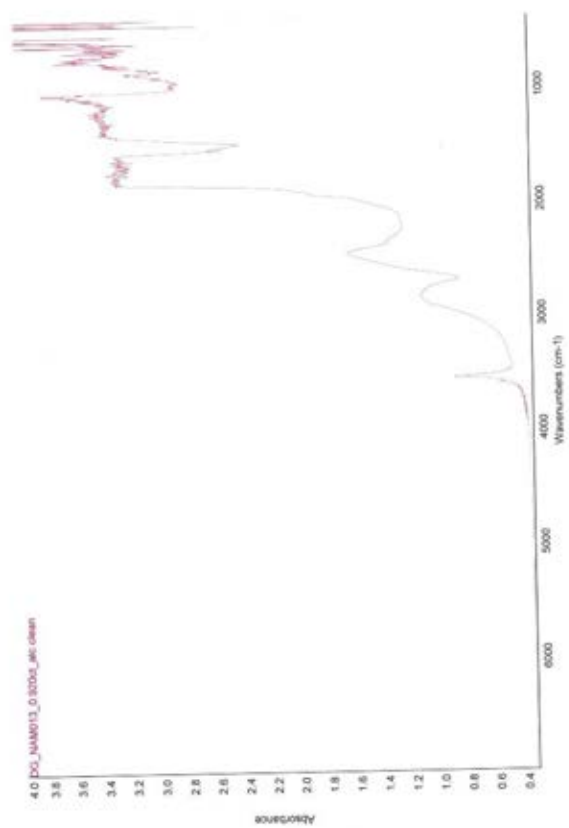
ภาคผนวก ค.

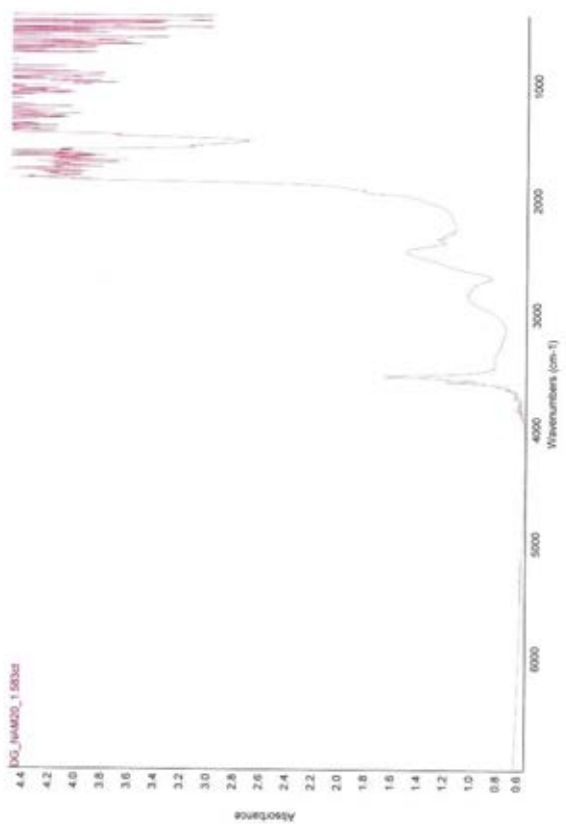
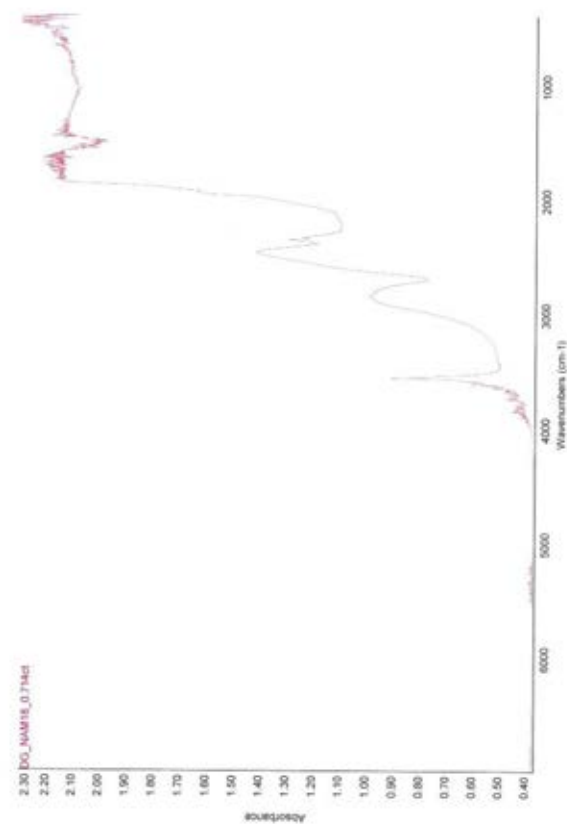
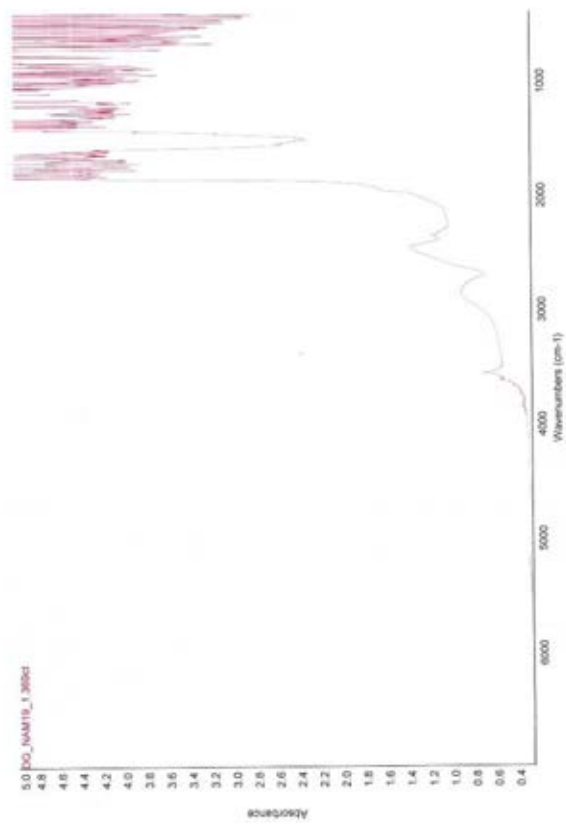
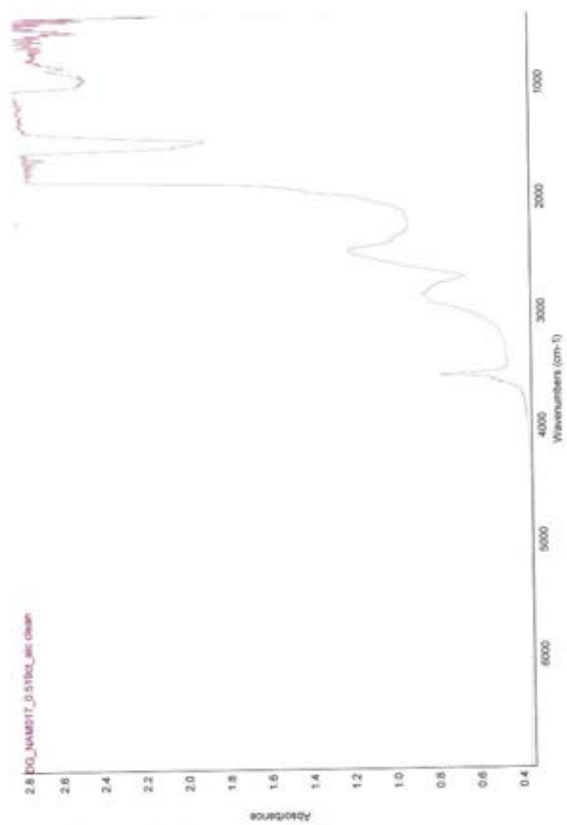
ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอินฟราเรด (FTIR)
ของดีมันทอยด์คาร์เนต จากแหล่งประเทศนามิเบีย

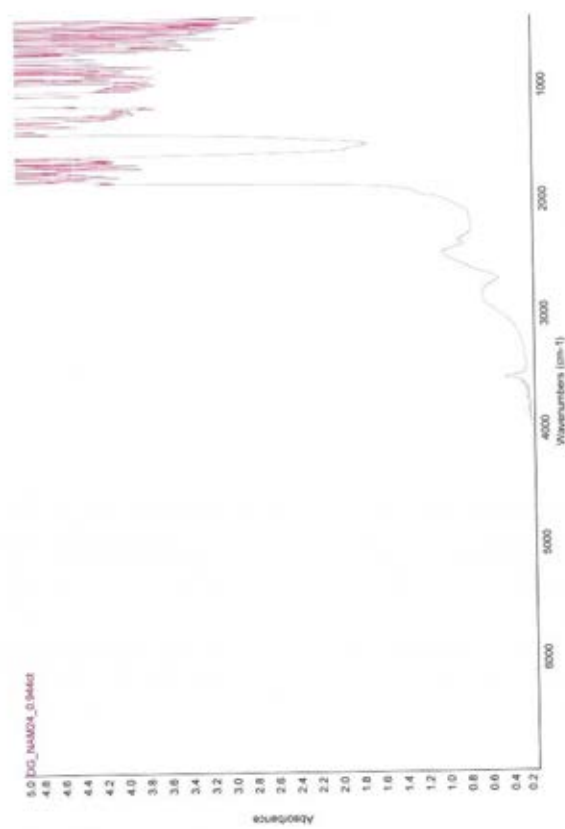
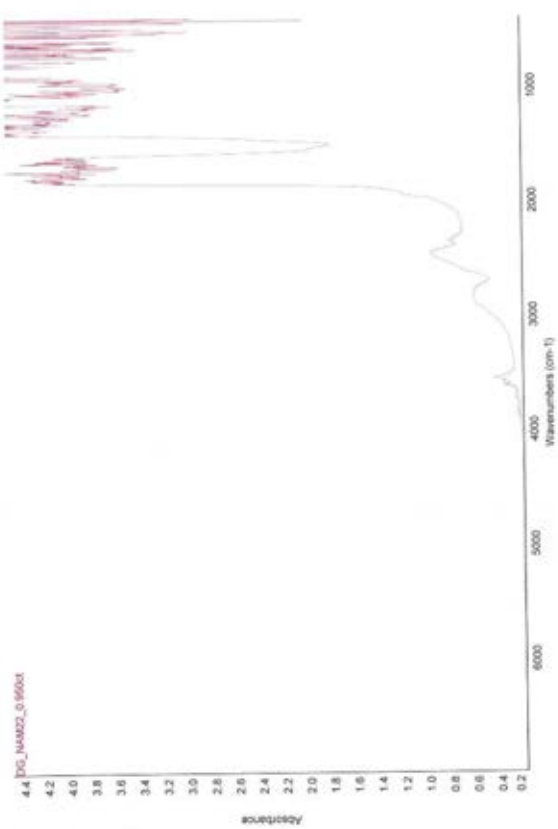
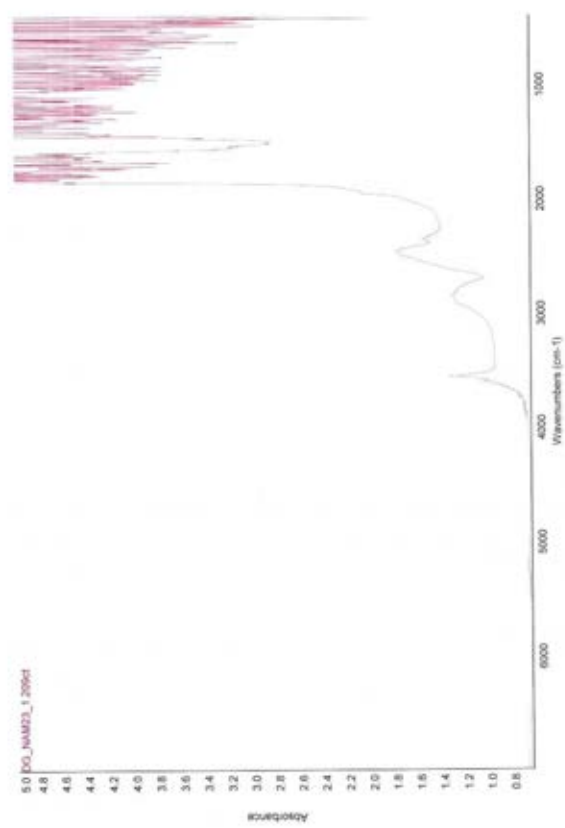
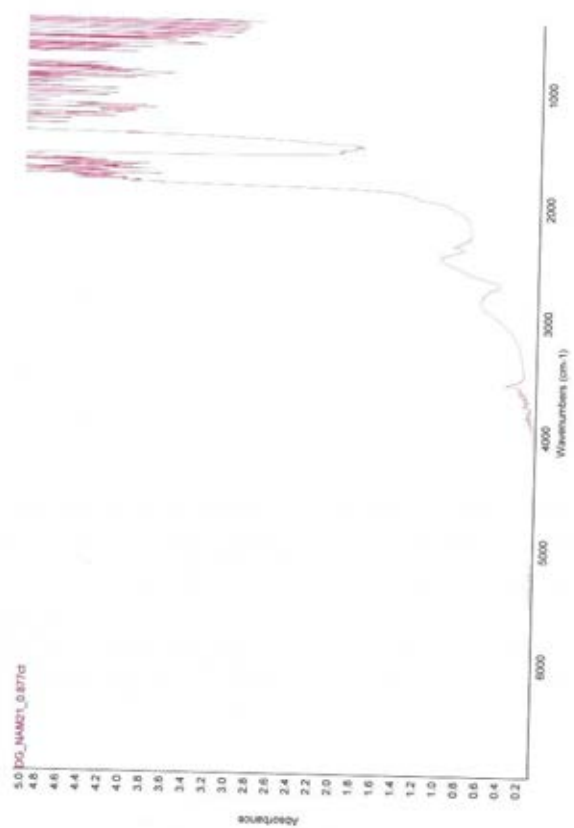


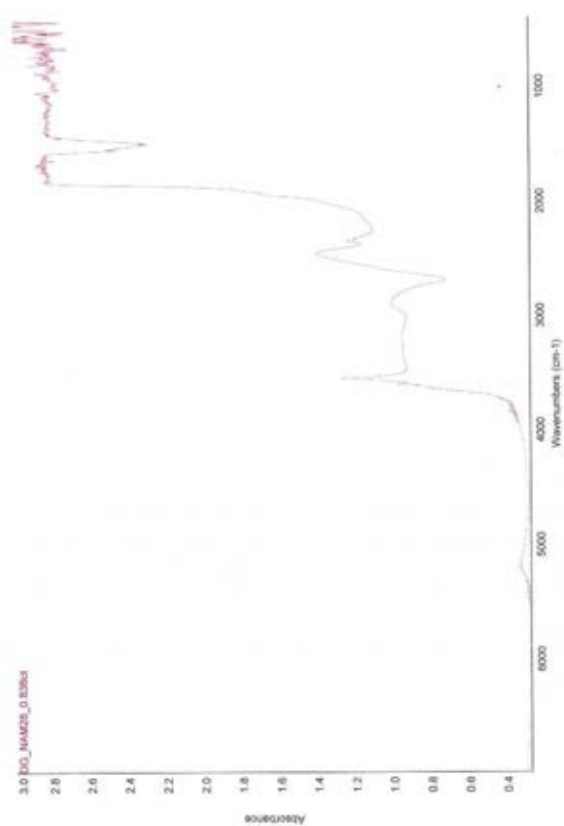
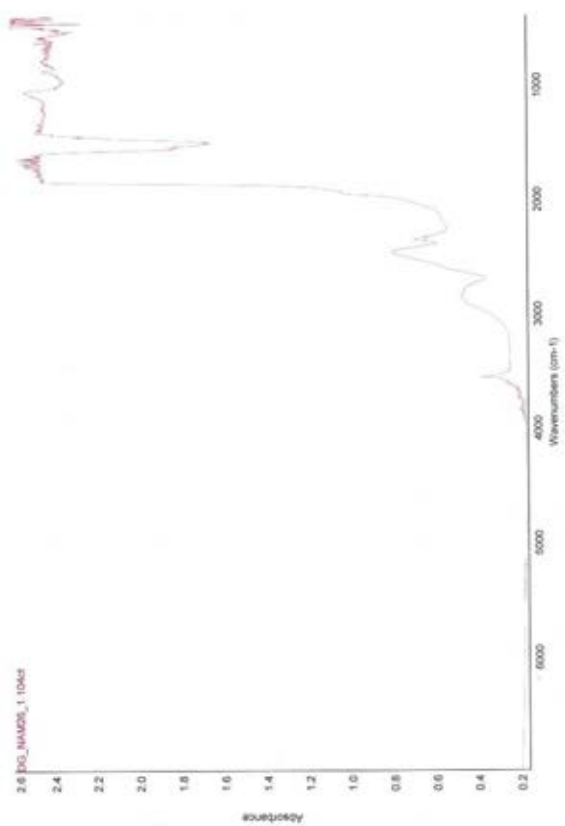
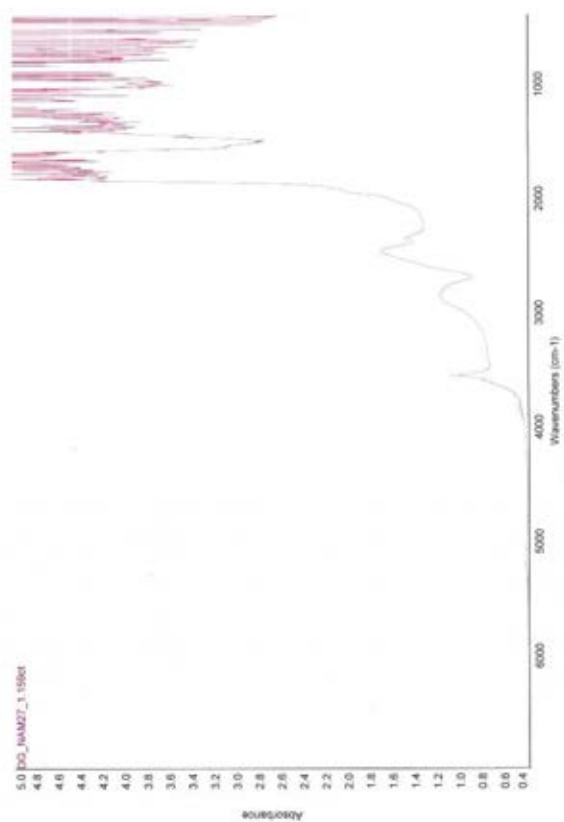
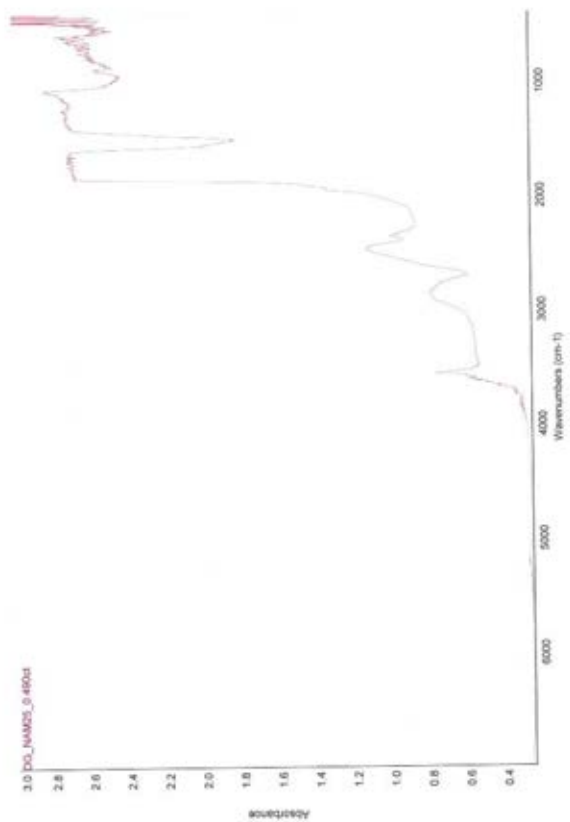


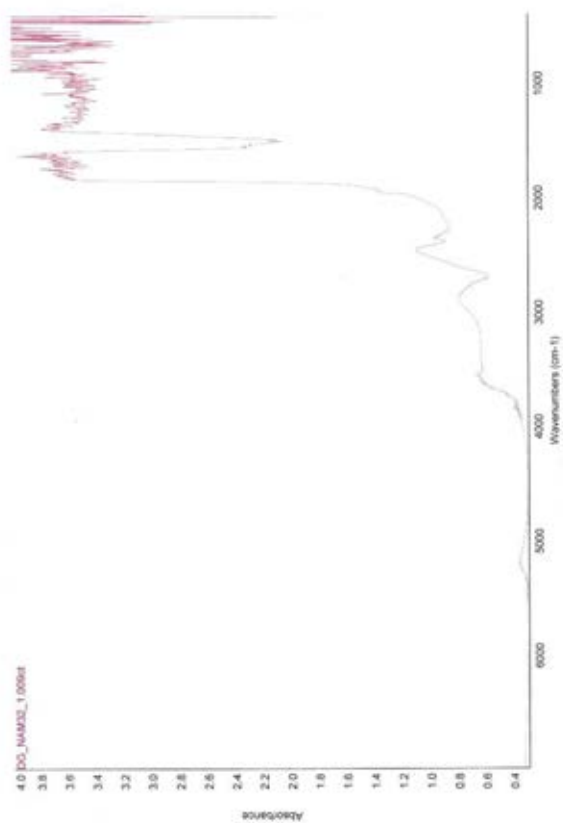
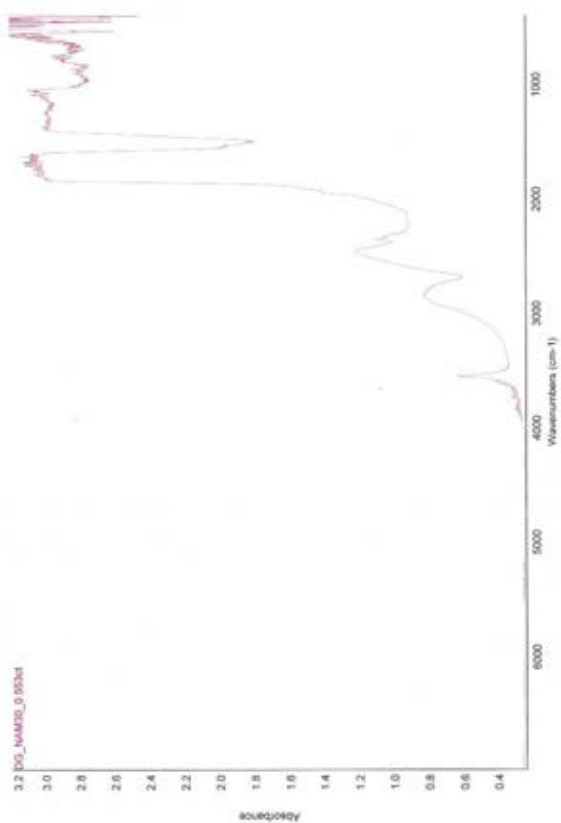
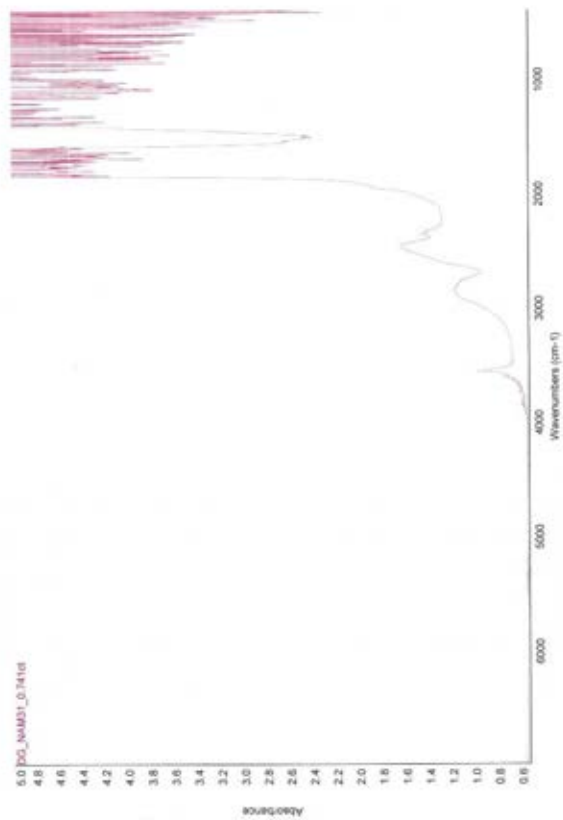
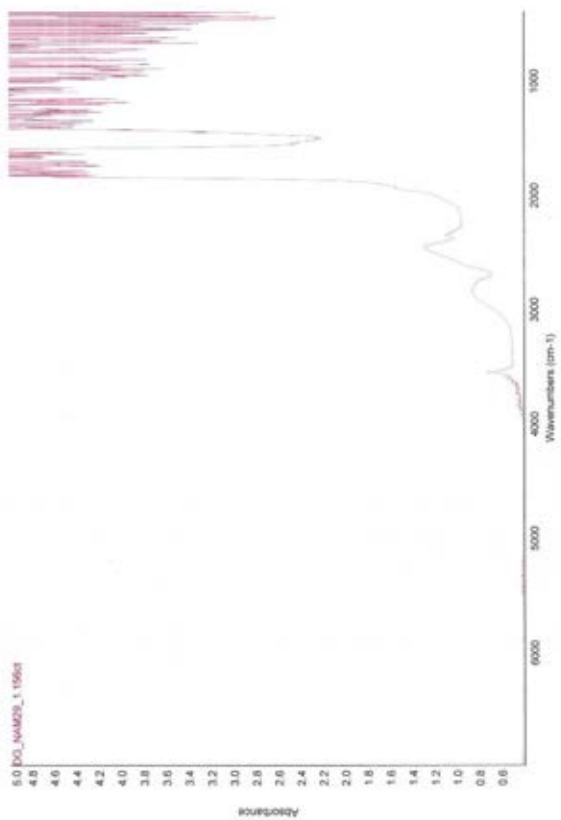


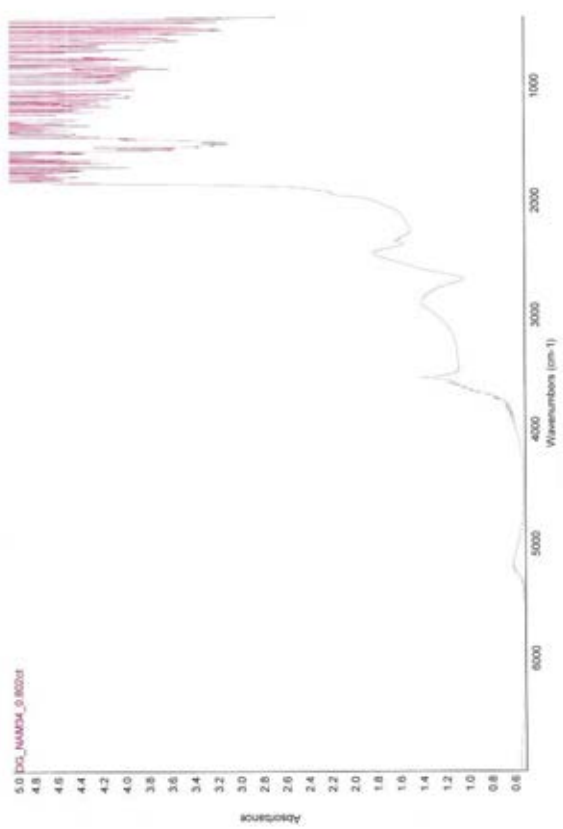
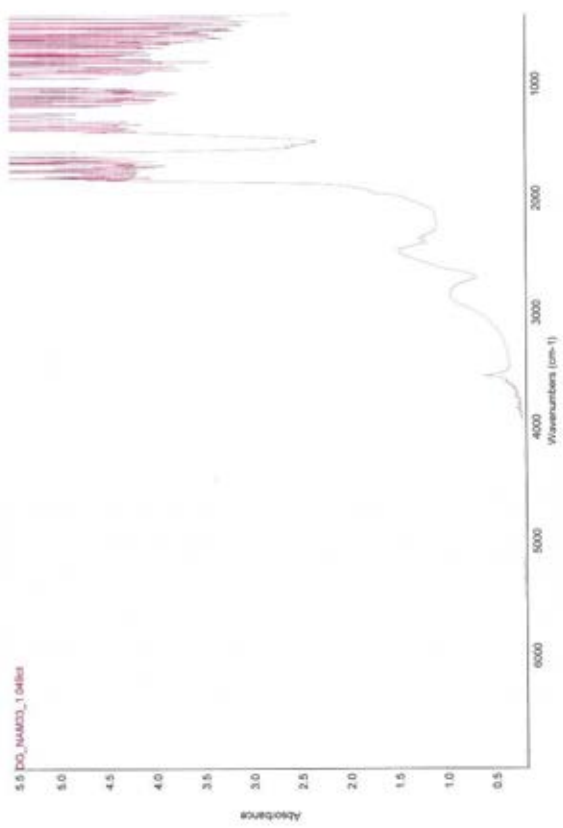












ภาคผนวก ง.

ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV-Vis-NIR
ของดีมันทอยด์คาร์เนต จากแหล่งประเศศนามิเบีย

