การตรวจเอกลักษณ์ของมลทินในอัญมณีบางชนิดด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟน

Identification of inclusions in some gemstones by smartphone microscope

โดย

นางสาวกมลชนก จ.คุโนปกรณ์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เรื่อง การตรวจเอกลักษณ์ของมลทินในอัญมณีบางชนิดด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟน

โดย นางสาวกมลชนก จ.คุโนปกรณ์

ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ ประไพรักษ์สิทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ชูชาติ ธรรมเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.นำพล อินสิน)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2559

คุณภาพของการเขียนรายงานเล่มนี้อยู่ในระดับ ☑ ดีมาก ☐ ดี ☐ พอใช้

ชื่อโครงการ การตรวจเอกลักษณ์ของมลทินในอัญมณีบางชนิดด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟน
ชื่อนิสิตในโครงการ นางสาวกมลชนก จ.คุโนปกรณ์ เลขประจำตัว 5533053623
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ชูชาติ ธรรมเจริญ
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่และมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง สร้างรายได้ให้กับประเทศไทยมาก โดยมูลค่าของอัญมณีนั้นขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของอัญมณี ได้แก่ อัญมณีจากธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์ และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งมูลค่าของอัญมณีสังเคราะห์และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพนั้นต่ำกว่าอัญมณีธรรมชาติที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมาก ดังนั้นการจำแนกอัญมณีจากทั้ง 3 ชนิด จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อการค้าขายอย่างยุติธรรม หนึ่งในวิธีที่ใช้จำแนกคือการวิเคราะห์มลทินในอัญมณีโดยอาศัยกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์ และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีมลทินภายใน (เช่น growth zonings, crystals, fingerprints, fluid inclusions, halos, needles, Saturn-like inclusions, silk, twinning, gas bubbles and voids) ที่เป็นเอกลักษณ์แตกต่างกัน ทำให้สามารถจำแนกได้อย่างแม่นยำ ในปัจจุบันกล้องสมาร์ทโฟนมีประสิทธิภาพสูง และคนโดยทั่วไปมักมีสมาร์ทโฟนเป็นของตัวเอง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลกำลังขยายสูงจากสมาร์ทโฟน ให้ภาพมีความคมชัด สีเหมือนจริง และแสดงรายละเอียดของมลทินได้เทียบเท่ากับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา สามารถนำไปใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา และมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่ากล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการมาก

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำสำคัญ: อัญมณี, เครื่องประดับ, การจำแนกอัญมณี, มลทิน, กล้องจุลทรรศน์, สมาร์ทโฟน

Title Identification of inclusions in some gemstones by smartphone microscope

Student Name Miss Kamonchanok Jorkunopakorn ID 5533053623

Advisor name Assoc. Prof. Chuchaat Thammacharoen

Co-Advisor name Assoc. Prof. Dr. Sanong Ekgasit

Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2015

Abstract

Gems and jewelry are the important industry of Thailand. It creates large trade and economic surplus for Thai economy. The value of gemstones depends strongly on its origin (natural, natural with treatment, or synthetic). The value of natural gemstones is much higher than that of synthetic and treated gemstones. In this case, the identification of gemstones are undoubtedly necessary for gemstone trading. One common technique is the inclusion analysis via microscopic images taken by an optical microscope. Each type of inclusion (i.e., growth zonings, crystals, fingerprints, fluid inclusions, halos, needles, Saturn-like inclusions, silk, twinning, gas bubbles and voids) is unique to gemstones and can be correctly identified. Over recent years, because of the ubiquitous of smartphone and its capabilities, in this research we have develop a simple, rapid, mobile and cost effective technique for differentiating natural gemstones from treated natural and synthetic gemstones by smartphone digital microscope. Smartphone digital microscope enables microscopic image acquisitions at high resolution and magnification. The image quality is comparable to those acquired by a research grade optical microscope.

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Keywords: Gemstones, Jewelry, Identification, Inclusion, Microscope, Smartphone

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในหัวข้อ “การตรวจเอกลักษณ์ของมลทินในอัญมณีบางชนิดด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟน” สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของ รองศาสตราจารย์ ชูชาติ ธรรมเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม ซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำตั้งแต่การเริ่มค้นคว้าข้อมูล ให้ความรู้ ชี้แนะการออกแบบอุปกรณ์และการทดลอง รวมถึงการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นอย่างใกล้ชิดจนประสบผลสำเร็จ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ ประไพรักษ์สิทธิ์ และ อาจารย์ ดร. นำพล อินสิน ที่ให้ความกรุณาสละเวลามาเป็นประธานและกรรมการสอบ รวมทั้งตรวจทานและให้คำแนะนำที่ก่อให้เกิดประโยชน์ในการปรับปรุงข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น เพื่อให้การเขียนรายงานฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด ขอขอบคุณหน่วยวิจัยอุปกรณ์รับรู้ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกด้านตำรา เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำโครงการ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์นี้จนกระทั่งประสบความสำเร็จด้วยดี

ผู้วิจัย

นางสาวกมลชนก จ.คุโนปกรณ์

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อ ค

Abstract ง

กิตติกรรมประกาศ จ

สารบัญ ฉ

สารบัญตาราง ซ

สารบัญรูป ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วรรณกรรมและสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง 3

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ 10

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 10

บทที่ 2 ทฤษฎี 11

2.1 กล้องจุลทรรศน์อัญมณี (Gemological Microscope, Gemolite) 11

2.2 ข้อมูลอัญมณีที่ศึกษา 15

2.3 การสังเคราะห์อัญมณี 18

2.4 มลทินในอัญมณี 22

บทที่ 3 การทดลอง 58

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ 58

3.2 หลักการณ์สร้างกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนเพื่อการวิเคราะห์อัญมณี 58

3.3 การสร้างกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนเพื่อการวิเคราะห์อัญมณี 59

3.4 วิธีการทดลอง 61

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง 65

4.1 ภาพถ่ายเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนและกล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการ 65

4.2 ภาพถ่ายมลทินในอัญมณีโดยกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนและการวิเคราะห์เพื่อจำแนกที่มาของอัญมณีที่ศึกษา 67

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 72

5.1 สรุปผลการทดลอง 72

5.2 ข้อเสนอแนะ 72

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ 72

เอกสารอ้างอิง 73

ภาคผนวก ก 75

ภาคผนวก ข 84

ประวัติผู้วิจัย 90

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงมลทิน Growth zoning ในทับทิม 22
ตารางที่ 2.2 มลทิน Crystals ในทับทิม 24
ตารางที่ 2.3 มลทิน Fingerprint ในทับทิม 25
ตารางที่ 2.4 มลทิน Needles ในทับทิม 27
ตารางที่ 2.5 มลทิน Voids (Negative crystal) ในทับทิม 28
ตารางที่ 2.6 มลทิน Saturn-like ในทับทิม 29
ตารางที่ 2.7 มลทิน Silk ในทับทิม 30
ตารางที่ 2.8 มลทิน Twining ในทับทิม 32
ตารางที่ 2.9 มลทิน Lead glass filling ในทับทิม 33
ตารางที่ 2.10 ตารางมลทิน Halos ในทับทิม 33
ตารางที่ 2.11 มลทิน Quench cracking ในทับทิม 34
ตารางที่ 2.12 มลทิน Gas bubble ในทับทิม 35
ตารางที่ 2.13 มลทิน Fingerprint ในไพลิน 36
ตารางที่ 2.14 มลทิน Crystal ในไพลิน 37
ตารางที่ 2.15 มลทิน Silk ในไพลิน 39
ตารางที่ 2.16 มลทิน Voids (negative crystals) ในไพลิน 41
ตารางที่ 2.17 มลทิน Needles ในไพลิน 42
ตารางที่ 2.18 มลทิน Growth zoning ในไพลิน 43
ตารางที่ 2.19 มลทินใน Halos ไพลิน 45
ตารางที่ 2.20 มลทิน Internal diffusion ในไพลิน 46
ตารางที่ 2.21 มลทิน Gas bubbles ในไพลิน 47
ตารางที่ 2.22 มลทิน Fluid inclusion ในมรกต 48
ตารางที่ 2.23 มลทิน Crystal ในมรกต 49
ตารางที่ 2.24 มลทิน Needle ในมรกต 51
ตารางที่ 2.25 มลทิน Emerald filling ในมรกต 52
ตารางที่ 2.26 มลทิน Nail-head spicule ในมรกต 53
ตารางที่ 2.27 มลทิน Nail-head spicule ในมรกตธรรมชาติ 54
ตารางที่ 2.28 มลทิน Platelets ในมรกต 55
ตารางที่ 2.29 มลทิน Chevron growth ในมรกต 56
ตารางที่ 2.30 มลทิน Fingerprint ในมรกต 57

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 แสดงการใช้สมาร์ทโฟนถ่ายภาพไมโครสโคปจากกล้องจุลทรรศน์อัญมณี 3

รูปที่ 1.2 ภาพไมโครสโคปจากกล้องจุลทรรศน์บันทึกภาพโดยสมาร์ทโฟนของมลทิน Negative octahedral crystals ในสปิเนล 4

รูปที่ 1.3 กล้องดิจิตอล DSLR ต่อเข้ากับกล้องจุลทรรศน์อัญมณียี่ห้อ Nikon SMZ10 โดยใช้ Adarter 5

รูปที่ 1.4 Adapter tube ที่มี Helicoid-style extension tube สำหรับการปรับระยะกล้องดิจิตอลและกล้องจุลทรรศน์อัญมณีให้อยู่ในตำแหน่ง Parfocal 5

รูปที่ 1.5 กล้องดิจิตอล DSLR ต่อเข้ากับกล้องจุลทรรศน์ที่ไม่มี Trinocular port ทางเลนส์ใกล้ตา 6

รูปที่ 1.6 การปรับโฟกัสและตำแหน่งภาพของตัวอย่างโดย Software สังเกตภาพผ่านจอคอมพิวเตอร์ 6

รูปที่ 1.7 กล้องจุลทรรศน์ขนาดเล็กพร้อมหลอด LEDs ติดตั้งบริเวณกล้องสมาร์ทโฟน 7

รูปที่ 1.8 เลนส์ขยายติดกับกล้องสมาร์ทโฟน 8

รูปที่ 1.9 เปรียบเทียบการเจียระไนเพชรโดยสมาร์ทโฟนที่ติดตั้งเลนส์ขยาย 8

รูปที่ 1.10 องค์ประกอบของอุปกรณ์ที่ใช้ยึดติดโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้ากับเลนส์ใกล้ตาของกล้องจุลทรรศน์ 9

รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของฐานวางสมาร์ทโฟน 59

รูปที่ 3.2 องค์ประกอบของฐานวางตัวอย่าง 61

รูปที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนเพื่อการวิเคราะห์อัญมณี 61

รูปที่ 3.4 การทำความสะอาดอัญมณีด้วยผ้าชามัวร์ (Chamois) 61

รูปที่ 3.5 การใช้ Stone holder คีบอัญมณี 62

รูปที่ 3.6 การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ แหล่งกำเนิดแสง และอัญมณีแบบพร้อมใช้งาน 62

รูปที่ 3.7 ปุ่มปรับระดับฐานเพื่อหาระยะโฟกัสภาพ 63

รูปที่ 3.8 การเพิ่มกำลังขยายโดยใช้ Digital zoom 63

รูปที่ 3.9 เลนส์ที่ใช้ติดตั้งบริเวณกล้องสมาร์ทโฟน กำลังขยาย 20x 40x และ 50x 64

รูปที่ 3.10 บันทึกภาพมลทินด้วยกล้องจุลทรรศน์ห้องปฏิบัติการ ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A 64

รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายมลทินในทับทิม เปรียบเทียบระหว่างกล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการและกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟน 66

รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายมลทินในทับทิมธรรมชาติผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยการอุดแก้วตะกั่ว 67

รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายมลทินในทับทิมสังเคราะห์โดยวิธี Flame fusion 67

รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายมลทินในทับทิมธรรมชาติ 68

รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายมลทินในไพลินธรรมชาติไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ 68

รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายมลทิน ในไพลินธรรมชาติผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ 69

รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายมลทินในไพลินธรรมชาติไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ 69
รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายมลทินในมรกตสังเคราะห์ 70

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยถือเป็นศูนย์กลางการค้าอัญมณีอันดับต้น ๆ ของโลก มีสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับจากที่ต่าง ๆ ทำการซื้อขายที่ประเทศไทย อัญมณีจึงมีมูลค่าทางเศรษฐกิจซึ่งสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยมาก ซึ่งข้อมูลจากกรมศุลกากร ประมวลผลโดยสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) มูลค่าการส่งออกเฉพาะพลอยสีของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2556 มีมูลค่าถึง 22,911.24 ล้านบาท และ ในปี พ.ศ. 2557 มีมูลค่าถึง 29,412.64 ล้านบาท อัญมณีเป็นแร่ที่มีค่า มีความสวยงาม และมีมูลค่าสูง ควรค่าแก่การลงทุนสะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ทับทิม (ruby) มรกต (emerald) และแซฟไฟร์ (sapphire) จึงเป็นที่นิยมหาซื้อเป็นเครื่องประดับ หรือเก็บสะสมไว้เป็นทรัพย์สิน เมื่อความต้องการซื้ออัญมณีมีมากขึ้น ประกอบกับเป็นสินค้าที่มีมูลค่าสูง จึงมีการผลิตอัญมณีสังเคราะห์และอัญมณีปรับปรุงคุณภาพขึ้น ซึ่งมูลค่าของอัญมณีสังเคราะห์และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพนั้นต่ำกว่าอัญมณีธรรมชาติมาก จึงมักมีผู้บริโภคถูกหลอกลวงจากผู้ค้าอัญมณี อีกทั้งเนื่องจากประเทศไทยยังเป็นตลาดหลักในการซื้อขายอัญมณี ดังนั้นการจำแนกอัญมณีจากทั้ง 3 ชนิด คือ อัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์ และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพออกจากกันจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นและมีความสำคัญเพื่อการค้าขายอัญมณีอย่างยุติธรรม

หนึ่งในวิธีการจำแนกที่ง่ายและแม่นยำคือ การวิเคราะห์มลทิน (inclusion) ในอัญมณี ซึ่งอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์และอัญมณีที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจะมีมลทินภายในแตกต่างกันเป็นเอกลักษณ์เฉพาะ ทำให้สามารถแยกแยะได้ เช่น มลทินเส้นโค้งจากการเติบโตของผลึกที่มีลักษณะขนานกันหลายเส้นตลอดทั้งเม็ดอัญมณี (curved striae) และกลุ่มฟองอากาศขนาดเล็ก (bubbles) ซึ่งเป็นลักษณะของอัญมณีสังเคราะห์แบบเฟลมฟิวชั่น (flame fusion) และโซคราวสกี (czochralski) แต่หากเป็นอัญมณีที่เกิดตามธรรมชาติ มลทินจากการเติบโตของผลึกจะเป็นเส้นตรงหักมุมในแต่ละด้านการเติบโตผลึก (angular growth zoning) และมลทินที่เกิดจากการใส่แก้วตะกั่วอุดรอยแตกในทับทิมแล้วเผาเพื่อปรับปรุงคุณภาพ (lead glass filled ruby) จะมีลักษณะเป็นรุ้งประกายที่มักเป็นสีส้มและน้ำเงิน เนื่องจากแก้วตะกั่วและเนื้อทับทิมมีดัชนีหักเหไม่เท่ากัน และมักเกิดพร้อมฟองอากาศขนาดใหญ่ควบคู่กัน มลทินเหล่านี้ไม่สามารถมองได้ด้วยตาเปล่าหรือแม้กระทั่งแว่นขยาย (loupe) ที่ผู้ค้าอัญมณีใช้นั้นมีกำลังขยายเพียง 10 เท่า ซึ่งไม่เพียงพอต่อการสังเกตมลทินในอัญมณี

โดยทั่วไปการสังเกตมลทินในอัญมณีจะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ (microscope) ระดับห้องปฏิบัติการจึงจะสามารถมองเห็นมลทินภายในเพื่อวิเคราะห์และแยกแยะชนิดอัญมณีได้ แต่ด้วยข้อจำกัดของกล้อง

จุลทรรศน์ห้องปฏิบัติการ ที่มีราคาสูง ไม่สามารถพกพาได้ และความซับซ้อนในการใช้งาน ต้องใช้งานโดยผู้เชี่ยวชาญ ทำให้ร้านค้าอัญมณีโดยทั่วไปไม่มีกล้องจุลทรรศน์ อีกทั้งคนโดยทั่วไปมักไม่มีความรู้ทางด้านอัญมณีศาสตร์ จึงจำเป็นต้องอาศัยนักอัญมณีศาสตร์ที่ชำนาญในการวิเคราะห์ ดังนั้นการระบุมลทินและจำแนกชนิดอัญมณีจึงต้องส่งเข้าห้องปฏิบัติการเท่านั้น ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลานาน แต่ในปัจจุบันด้วยความสามารถของสมาร์ทโฟนที่กล้องมีความละเอียดสูง หน้าจอคมชัด หน่วยความจำมีความจุสูง อีกทั้งยังสามารถเผยแพร่ข้อมูลได้ง่ายผ่านทางระบบอินเทอร์เน็ต และคนโดยทั่วไปมักมีสมาร์ทโฟนเป็นของตัวเอง สมาร์ทโฟนนี้จึงพร้อมนำไปประยุกต์เพื่อใช้งานเป็นกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลแบบพกพาได้ทันที

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนากล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนที่มีความละเอียดภาพและกำลังขยายสูงเทียบเท่ากล้องจุลทรรศน์ห้องปฏิบัติการ แต่มีขนาดเล็กกว่า น้ำหนักเบา พกพาได้ ราคาประหยัด และไม่มีข้อจำกัดด้านพลังงาน พร้อมฐานวางสมาร์ทโฟนที่ปรับระดับได้ ทำให้สามารถปรับระยะโฟกัสได้แม่นยำ เหมาะแก่การสังเกตและบันทึกภาพมลทินในอัญมณี อีกทั้งระบบอินเทอร์เน็ตไร้สายของสมาร์ทโฟนทำให้สามารถส่งต่อข้อมูลมลทินเพื่อขอคำปรึกษาจากผู้เชี่ยวชาญหรือสามารถนำภาพถ่ายที่ได้เปรียบเทียบกับแหล่งข้อมูลได้ทันที ทำให้สามารถวิเคราะห์และจำแนกอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์ และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพออกจากกันได้ เปิดโอกาสให้ผู้ค้าอัญมณีซึ่งอาจจะต้องเดินทางไปยังแหล่งจำหน่ายอัญมณีบ่อย ๆ หรือบุคคลทั่วไปที่มีความสนใจในอัญมณี สามารถนำไปใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา และสามารถมองเห็นมลทินในอัญมณีในแบบเดียวกันที่นักอัญมณีศาสตร์เห็นจากกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการ ทำให้ข้อมูลมลทินในอัญมณีเป็นที่แพร่หลายมากขึ้น อีกทั้งเทคโนโลยีสารสนเทศอย่างสมาร์ทโฟนจะเป็นตัวกลางที่สำคัญในการจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลและเผยแพร่ความรู้มลทินในอัญมณีนี้ไปสู่คนทั่วไป ซึ่งจะช่วยสร้างความเชื่อมั่นให้ทั้งผู้ซื้อและผู้ขายและส่งเสริมธุรกิจการค้าอัญมณีอย่างเป็นธรรม

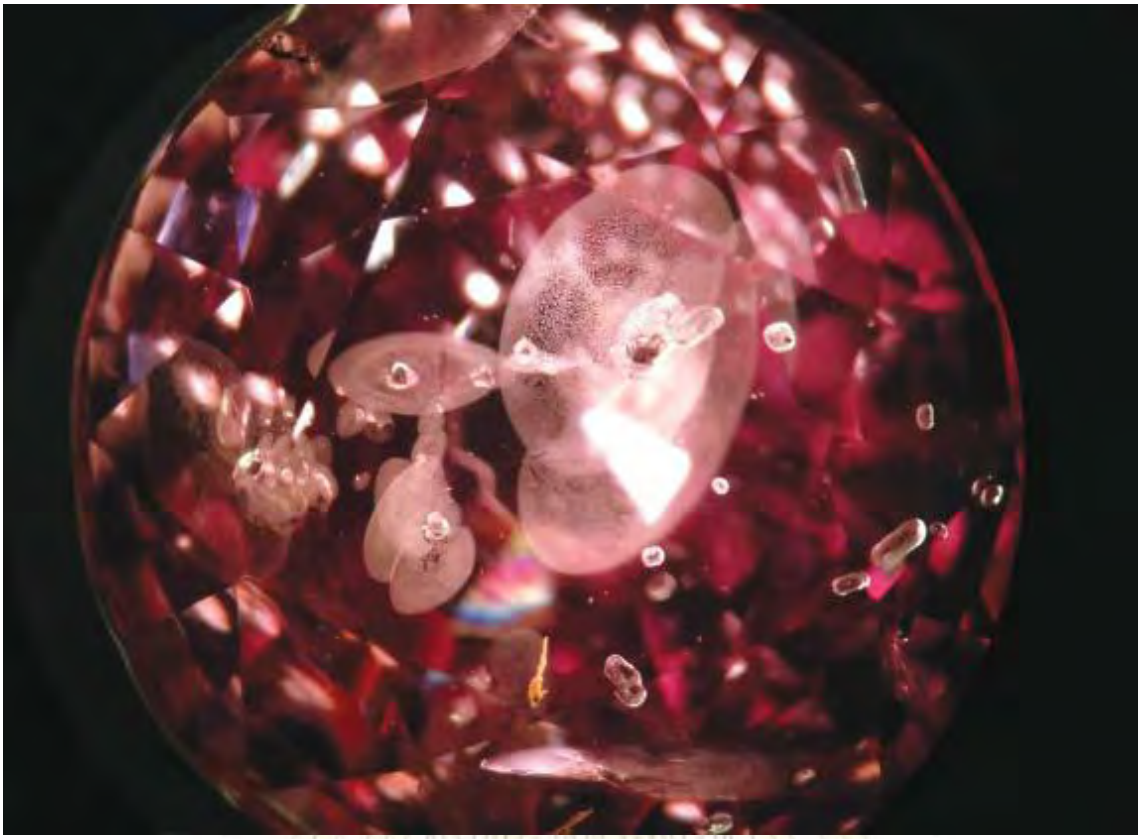
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วรรณกรรมและสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลมลทินภายในอัญมณีมีความสำคัญอย่างมากในการจำแนกอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์และอัญมณีธรรมชาติปรับปรุงคุณภาพ ดังนั้นภาพถ่ายไมโครสโคปของมลทินในอัญมณีมีความสำคัญมากในการเป็นแหล่งอ้างอิงทั้งด้านการวิจัยและการศึกษา จึงมีนักวิทยาศาสตร์และนักอัญมณีศาสตร์พยายามพัฒนาวิธีการถ่ายภาพมลทินในอัญมณี ดังนี้

ในปี 2014 บทความเรื่อง Photomicrography Using a Smartphone Camera โดย Edward Boehm[1] ได้กล่าวถึงวิธีการการถ่ายภาพมลทินในอัญมณีโดยใช้สมาร์ทโฟน (iPhone) เล็งที่บริเวณกึ่งกลางเลนส์ใกล้ตา (ocular) ของกล้องจุลทรรศน์อัญมณีโดยไม่ใช้อะแดปเตอร์ใด ๆ และเลือกใช้กำลังขยายต่ำสุดของกล้องจุลทรรศน์ก่อนเพื่อให้ง่ายต่อการสังเกตมลทินที่สนใจและง่ายต่อการโฟกัสภาพ กล้องสมาร์ทโฟนและเลนส์ใกล้ตาห่างกันประมาณ 1 เซ็นติเมตร และเลือกโหมด HDR เพื่อเพิ่มคุณภาพของรูป วิธีนี้ให้ภาพมลทินในอัญมณีที่คมชัดและสีเหมือนกับภาพที่ปรากฏในกล้องจุลทรรศน์ ดัง**รูปที่ 1.2** ช่วยอำนวยความสะดวกแก่นักอัญมณีเมื่อต้องการเก็บข้อมูลและแสดงข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบนอกห้องปฏิบัติการ

รูปที่ 1.1 การใช้สมาร์ทโฟนถ่ายภาพไมโครสโคปจากกล้องจุลทรรศน์อัญมณี

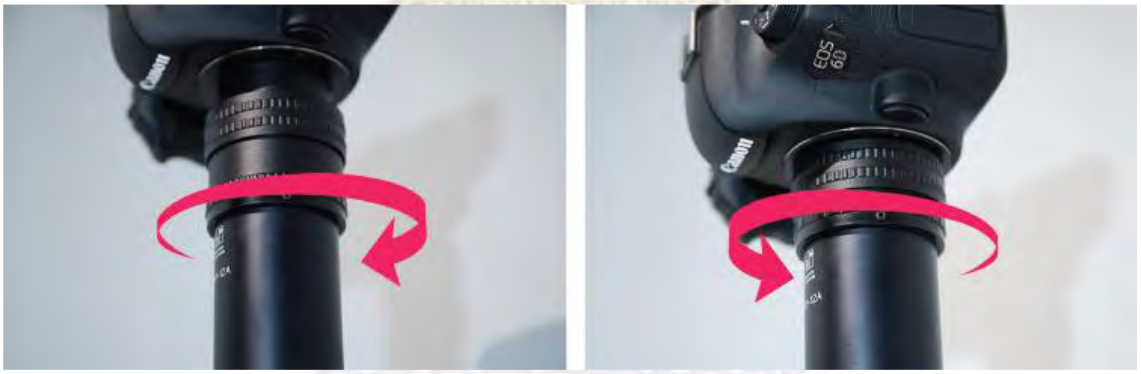


รูปที่ 1.2 ภาพไมโครสโคปบันทึกโดยใช้สมาร์ทโฟนถ่ายภาพจากเลนส์ตาของมลทิน Negative octahedral crystals ในสปิเนล

ในปี 2015 บทความเรื่อง Digital Photomicrography for Gemologists โดย Nathan Renfro[2] เป็นการนำกล้องดิจิตอล DSLR ต่อกับกล้องจุลทรรศน์อัญมณีโดยมี Adapter เป็นตัวเชื่อม ความยากของการถ่ายภาพลักษณะนี้คือการเลือกคู่ระหว่างกล้องดิจิตอลและกล้องจุลทรรศน์อัญมณีเพื่อให้เกิด Parfocal (Parfocal คือเลนส์ของกล้องดิจิตอลสามารถโฟกัสวัตถุได้แม้ว่ามีการเปลี่ยนกำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้บ้างแต่อยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ ซึ่ง Parfocal นี้เป็นสิ่งที่ทำให้ได้องค์ประกอบของภาพคมชัดและประหยัดเวลา)

Adapter ใช้เป็นตัวเชื่อมระหว่างกล้องจุลทรรศน์อัญมณี (บริเวณ Trinocular port) และกล้องดิจิตอล DSLR เพื่อให้ได้ Parfocal ที่เหมาะสม จากบทความ Nathan Renfro ใช้กล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Nikon SMZ10 กับกล้องดิจิตอล DSLR ยี่ห้อ Canon โดยใช้ Adapter tube ที่มี Helicoid-style extension tube สำหรับการปรับระยะกล้องดิจิตอลและกล้องจุลทรรศน์ให้อยู่ในตำแหน่ง Parfocal ที่เหมาะสม ดัง**รูปที่ 1.3** และ**รูปที่ 1.4**

รูปที่ 1.3 กล้องดิจิตอล DSLR ต่อเข้ากับกล้องจุลทรรศน์อัญมณียี่ห้อ Nikon SMZ10 โดยใช้ Adarter



รูปที่ 1.4 Adapter tube ที่มี Helicoid-style extension tube สำหรับการปรับระยะกล้องดิจิตอลและกล้องจุลทรรศน์อัญมณีให้อยู่ในตำแหน่ง Parfocal

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับกล้องจุลทรรศน์อัญมณีที่ไม่มี Trinocular port ตัว Adapter สามารถเชื่อมกล้องดิจิตอลเข้ากับเลนส์ใกล้ตาของกล้องจุลทรรศน์อัญมณี แต่ต้องโฟกัสและปรับตำแหน่งภาพของตัวอย่างผ่าน software โดยดูภาพจากจอคอมพิวเตอร์ ดัง**รูปที่ 1.5** และ**รูปที่ 1.6** ในปัจจุบันเริ่มมีการใช้สมาร์ทโฟนในการบันทึกภาพถ่ายผ่านกล้องจุลทรรศน์อัญมณีเนื่องจากกล้องสมาร์ทโฟนให้ภาพถ่ายคุณภาพสูง ใช้งานได้ง่าย อีกทั้งสามารถพกพาได้สะดวกและการทำงานไม่ยุ่งยากเท่ากล้องดิจิตอล DSLR

รูปที่ 1.5 กล้องดิจิตอล DSLR ต่อเข้ากับกล้องจุลทรรศน์ที่ไม่มี Trinocular port ทางเลนส์ใกล้ตา

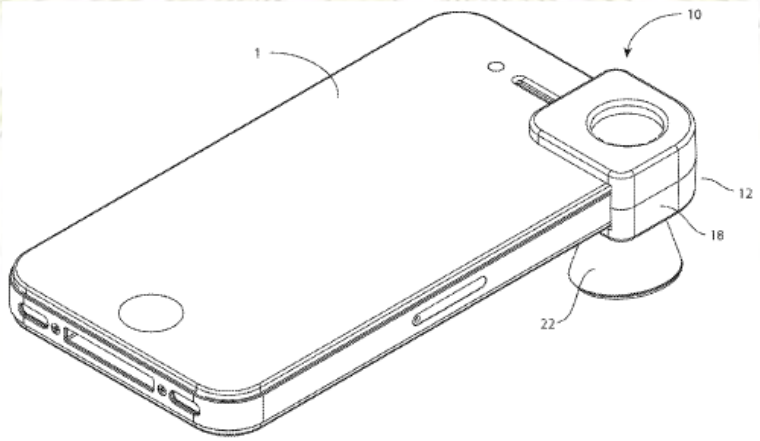
รูปที่ 1.6 การปรับโฟกัสและตำแหน่งภาพของตัวอย่างโดย Software สังเกตภาพผ่านจอคอมพิวเตอร์

ในปี 2010 บทความเรื่อง Gem News International: Smartphone photomicrography โดย Thomas W. Overton[3] ได้ใช้กล้องจุลทรรศน์ขนาดเล็กในลักษณะเป็นอุปกรณ์เสริมติดตั้งเข้ากับกล้องของสมาร์ทโฟนดัง**รูปที่ 1.7** มีกำลังขยายได้ถึง 60 เท่า แหล่งกำเนิดแสงใช้ LEDs 2 หลอด โดยปรับหมุนได้ 45 องศา อย่างไรก็ตามกล้องจุลทรรศน์ขนาดเล็กนี้สามารถโฟกัสภาพได้ดีที่กำลังขยายประมาน 20 เท่า ดังนั้นเพื่อให้ได้รูปถ่ายมลทินที่มีคุณภาพดี ต้องใช้ Digital zoom ของสมาร์ทโฟนเพื่อเพิ่มกำลังขยายแทน อุปกรณ์เสริมนี้ช่วยอำนวยความสะดวกให้กับนักอัญมณีเมื่อต้องการใช้ถ่ายภาพมลทินนอกสถานที่ แต่ไม่สามารถใช้งานแทนกล้องจุลทรรศน์อัญมณีในห้องปฏิบัติการได้

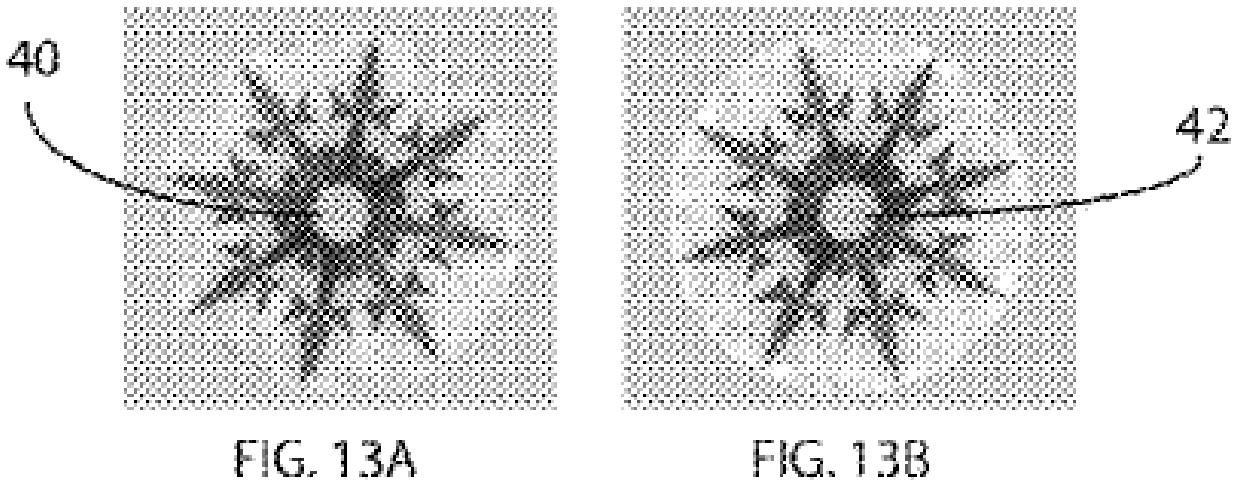
รูปที่ 1.7 กล้องจุลทรรศน์ขนาดเล็กพร้อมหลอด LEDs ติดตั้งบริเวณกล้องสมาร์ทโฟน

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในปี 2014 Wagner และคณะ ได้จดสิทธิบัตรเรื่อง Gem identification method and Apparatus using digital imaging viewer[4] เป็นการพัฒนาเลนส์ขยายติดกับกล้องสมาร์ทโฟนและระบบถ่ายภาพอัญมณีแบบดิจิตอล ดัง**รูปที่ 1.8** ซึ่งข้อมูลภาพถ่ายที่ได้สามารถนำมาระบุคุณภาพการเจียระไนโดยการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลภาพถ่าย เลนส์ของอุปกรณ์มีกำลังขยายโดยประมาณ 10 เท่า หรืออาจมีกำลังขยายมากกว่าหรือน้อยกว่านี้ได้ ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของกล้องดิจิตอล หากประสิทธิภาพของกล้องดิจิตอลสูงเพียงพอ เลนส์นี้ไม่จำเป็นต้องมีกำลังขยายสูงถึง 10 เท่า เพียงแต่ช่วยให้เลนส์ของกล้องดิจิตอลสามารถโฟกัสอัญมณีในระยะใกล้ๆ ได้ จากภาพการเปรียบเทียบการเจียระไนเพชร ดัง**รูปที่ 1.9** จะเห็นได้ว่าอัญมณีภาพ 13A บริเวณตรงกลาง (หมายเลข 40) มีลักษณะแปดเหลี่ยมเท่ากัน ในขณะที่ภาพ 13B เป็นแปดเหลี่ยมที่ไม่เท่ากันนัก บ่งบอกคุณภาพการเจียระไน ซึ่งมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า

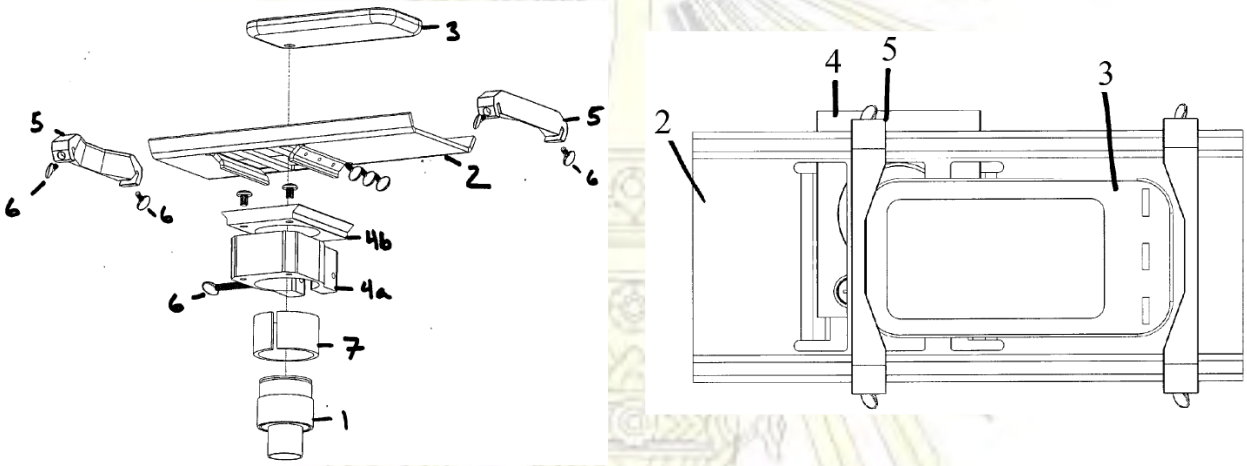


รูปที่ 1.8 เลนส์ขยายติดกับกล้องสมาร์ทโฟน



รูปที่ 1.9 เปรียบเทียบการเจียระไนเพชรโดยสมาร์ทโฟนที่ติดตั้งเลนส์ขยาย

ในปี 2013 Andrew Miller ได้จดสิทธิบัตรเรื่อง Device for fastening imaging units on a microscope[5] เป็นการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ยึดติดกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Imaging Unit) กับกล้องจุลทรรศน์เข้าด้วยกัน โดยไม่จำกัดรุ่นของโทรศัพท์และกล้องจุลทรรศน์ เมื่อวางโทรศัพท์ (หมายเลข 3) ลงบนแท่น ตัวยึดที่เลื่อนได้อย่างอิสระ (หมายเลข 5) จะเลื่อนมายึดตรึงโทรศัพท์ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม และสามารถเลื่อนขึ้น-ลงได้โดยปรับ Adapter component (บริเวณ 4a, 4b) เพื่อหาระยะโฟกัสบน Eye piece (หมายเลข 1) โดยมีกระบอกสวม (หมายเลข 7) ยึดอุปกรณ์เข้ากับเลนส์ใกล้ตา Eyepiece



รูปที่ 1.10 อุปกรณ์ที่ใช้ยึดติดโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้ากับเลนส์ใกล้ตาของกล้องจุลทรรศน์

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การบันทึกภาพไมโครสโคปจากกล้องจุลทรรศน์ ไม่ว่าจะบันทึกด้วยกล้องดิจิตอลหรือจากสมาร์ทโฟน การใช้ Adapter เชื่อมระหว่างอุปกรณ์บันทึกภาพและกล้องจุลทรรศน์เป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อให้บันทึกภาพได้ชัดเจนที่สุด หากปราศจาก Adapter แล้วจะทำให้การบันทึกภาพยุ่งยาก ใช้เวลานาน ภาพที่ได้มีความคมชัดน้อย และประสิทธิภาพในการใช้วิเคราะห์มลทินต่ำลง อีกทั้งกล้องจุลทรรศน์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้งานนอกสถานที่ได้ นอกจากนี้งานวิจัยที่ผ่านมามีการประดิษฐ์อุปกรณ์เสริมที่ยึดติดเลนส์ขยายเข้ากับเลนส์กล้องสมาร์ทโฟนเพื่อการใช้งานนอกสถานที่ อย่างไรก็ตามกำลังขยายของอุปกรณ์ไม่สูงเพียงพอต่อการสังเกตมลทินในอัญมณีและให้รายละเอียดได้ไม่มาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีความแตกต่างกับงานวิจัยที่ผ่านมา คือ เป็นกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนเพื่อการสังเกตมลทินในอัญมณีที่ให้กำลังขยายสูง พร้อมฐานวางสมาร์ทโฟนที่ปรับระดับได้ ช่วยให้โฟกัสภาพได้อย่างแม่นยำ ภาพที่ได้มีความละเอียด คมชัด เทียบเท่ากับกล้องจุลทรรศน์ห้องปฏิบัติการ แต่มีน้ำหนักเบาขนาดเล็ก สามารถนำไปใช้งานนอกสถานที่ได้ทุกที่ ทุกเวลา

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. พัฒนาต้นแบบกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลแบบพกพาจากสมาร์ทโฟน ซึ่งมีความละเอียดภาพและกำลังขยายสูงเพื่อบันทึกภาพมลทินในอัญมณี และวิธีการบันทึกภาพให้ชัดเจนมากที่สุด
2. สร้างฐานข้อมูลภาพถ่ายมลทินพร้อมข้อมูลมลทินในอัญมณีบางชนิด เพื่อใช้ประกอบในการจำแนกอัญมณี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

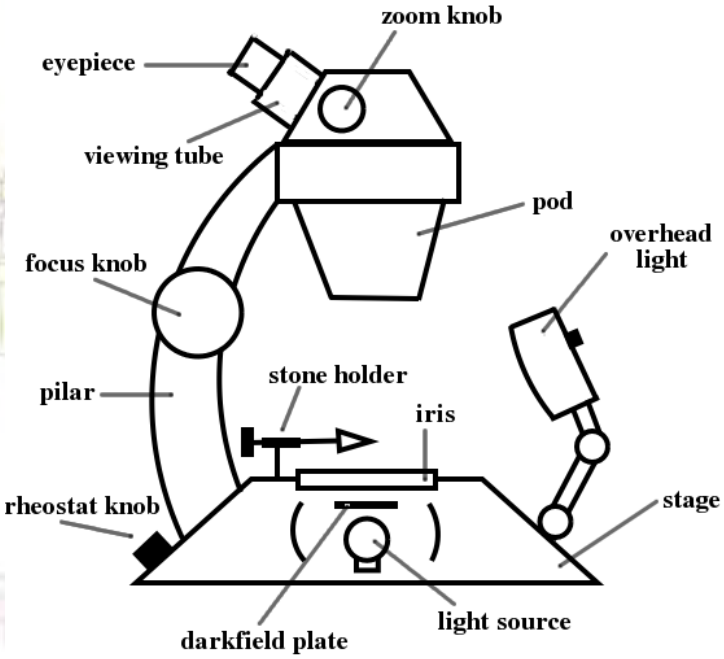
ได้กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนที่มีความละเอียดและกำลังขยายสูง เพื่อการบันทึกภาพถ่ายมลทินในอัญมณีได้อย่างชัดเจน และสามารถนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลเพื่อจำแนกอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์และอัญมณีที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพออกจากกันได้

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 กล้องจุลทรรศน์อัญมณี (Gemological Microscope, Gemolite)

กล้องจุลทรรศน์อัญมณีมีชื่อเฉพาะว่า Gemolite เป็นกล้องจุลทรรศน์แสงชนิดสเตอริโอ (stereo microscope) เพื่อการตรวจสอบอัญมณีโดยเฉพาะ องค์ประกอบและวิธีการใช้งานคล้ายกับกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงชนิดสเตอริโอทั่วไป ดัง**รูปที่ 2.1** เพียงแต่เพิ่มอุปกรณ์เสริมเพื่อให้เหมาะสมแก่การใช้งานกับอัญมณี ได้แก่ Stone holder เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หนีบอัญมณีเพื่อยึดเข้ากับแท่นวางวัตถุ สามารถหมุนกำหนดทิศทางอัญมณีได้อย่างอิสระ ดัง**รูปที่ 2.2** Overhead light แหล่งกำเนิดแสงบนแท่นวางวัตถุใช้เป็นแสงสะท้อนเพื่อดูพื้นผิวอัญมณี (reflected light) และมีระบบการให้แสงทั้ง Bright field Illumination และ Dark field Illumination โดยทั่วไปนักอัญมณีศาสตร์จะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อัญมณีนี้เพื่อช่วยในการสังเกตมลทินและตำหนิเล็กๆ บนพื้นผิวและภายในเนื้ออัญมณีซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือมองเห็นได้ยากเมื่อใช้แว่นขยายอัญมณี (hand lens หรือ loupes) กล้องจุลทรรศน์สำหรับอัญมณีจะเป็นชนิด 2 ตา (binocular microscope) เพื่อให้ได้ภาพในลักษณะ 3 มิติและเป็นภาพเสมือนหัวตั้ง กล่าวคือ ได้ภาพเหมือนจริง ไม่กลับหัวและไม่กลับซ้าย-ขวา ทำให้นักอัญมณีศาสตร์สังเกตและระบุตำแหน่งมลทินในเนื้ออัญมณีได้ง่าย กล้องจุลทรรศน์อัญมณีโดยทั่วไปมีเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 10 เท่าถึง 65 เท่า และเลนส์ใกล้ตากำลังขยาย 10 เท่า[6,7]



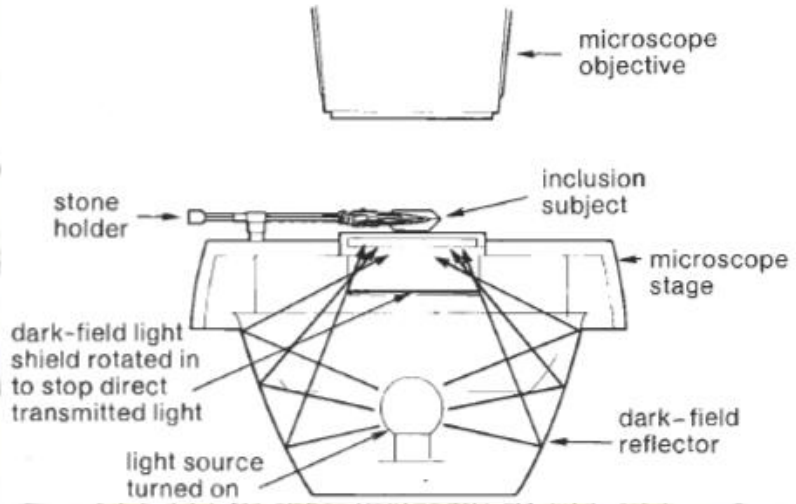
รูปที่ 2.1 กล้องจุลทรรศน์อัญมณี (Gemolite)
(ที่มา : http://gemologyproject.com)

รูปที่ 2.2 Stone holder ใช้หนีบอัญมณีเพื่อยึดเข้ากับแท่นวางวัตถุ

รูปที่ 2.3 กล้องจุลทรรศน์อัญมณี (gemolite)
(ที่มา : http://www.gia.edu)

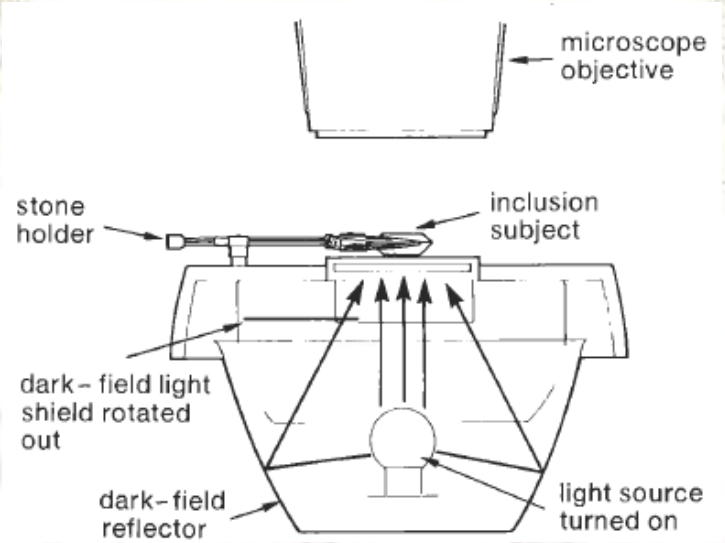
ระบบการให้แสงของกล้องจุลทรรศน์อัญมณี

1. Dark field illumination – เป็นระบบที่แหล่งกำเนิดแสงถูกปิดกั้นตรงกลาง มีเพียงแสงบางส่วนรอบนอกกระเจิง (scattering) และเลี้ยวเบนเข้าหาวัตถุ ทำให้มีเพียงวัตถุที่ได้รับแสงสว่างเต็มที่ในขณะที่พื้นหลังมืด จึงสามารถมองเห็นมลทินที่มีลักษณะโปร่งใสได้ซึ่งสังเกตได้ยากในเนื้ออัญมณีที่มีความโปร่งใสเช่นกัน ทำให้การให้แสงแบบ Dark field เป็นระบบที่ใช้มากที่สุดในการสังเกตอัญมณี[8]



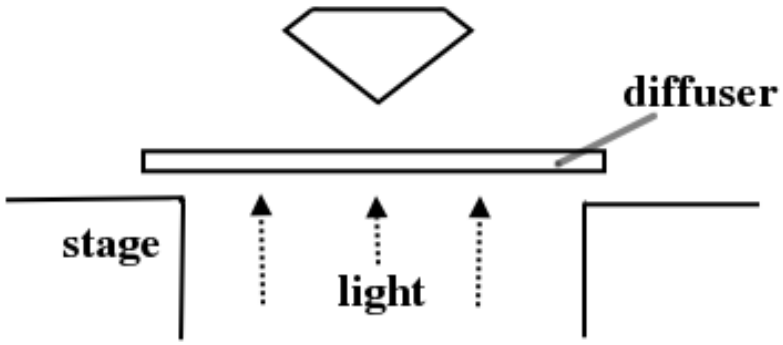
รูปที่ 2.4 Dark field illumination

2. Bright field illumination – เป็นระบบที่ให้ลำแสงเข้าที่ใต้อัญมณีโดยตรง ควมคุมปริมาณแสงโดยไดอะเฟรม (diaphragm) ภาพที่ได้วัตถุจะมืดในขณะที่พื้นหลังสว่าง การให้แสงควรเปิดไดอะเฟรมให้ลำแสงผ่านออกมาเล็กที่สุดเพราะจะให้ภาพชัดเจนกว่า[8]



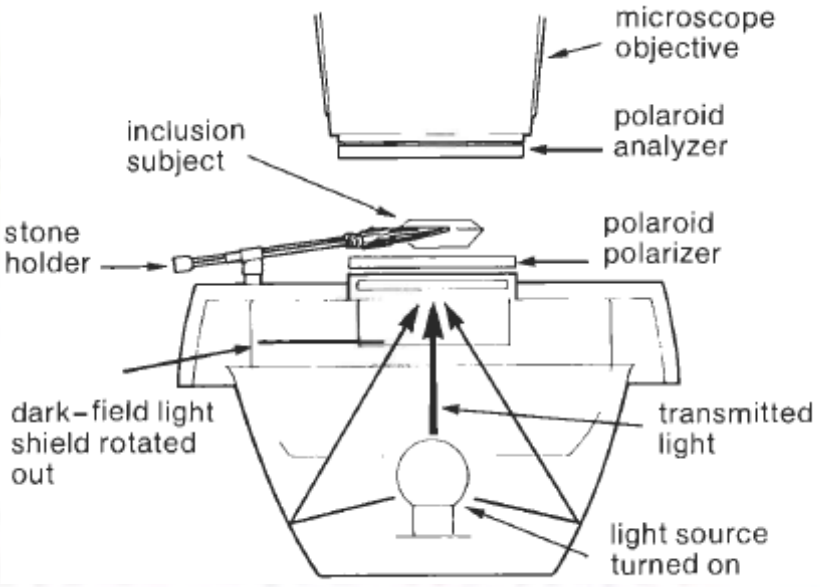
รูปที่ 2.5 Bright field illumination

3. Diffused illumination – เป็นระบบที่ให้แสงเข้าที่ใต้อัญมณี แต่ที่แท่นวางวัตถุมีกระจกหรือกระดาษบางขาวขุ่นโปร่งแสงปกคลุมเพื่อลดปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามาที่อัญมณีและช่วยให้แสงกระจายมากขึ้น ช่วยให้มองเห็นมลทิน Growth zoning ซึ่งเป็นแถบสีได้ดี ในกรณีที่อัญมณีมีสีเหลืองหรือส้ม ควรใช้กระจกหรือกระดาษบางสีน้ำเงินโปร่งแสง จะช่วยให้เห็นแถบสีได้ดีกว่า[6]



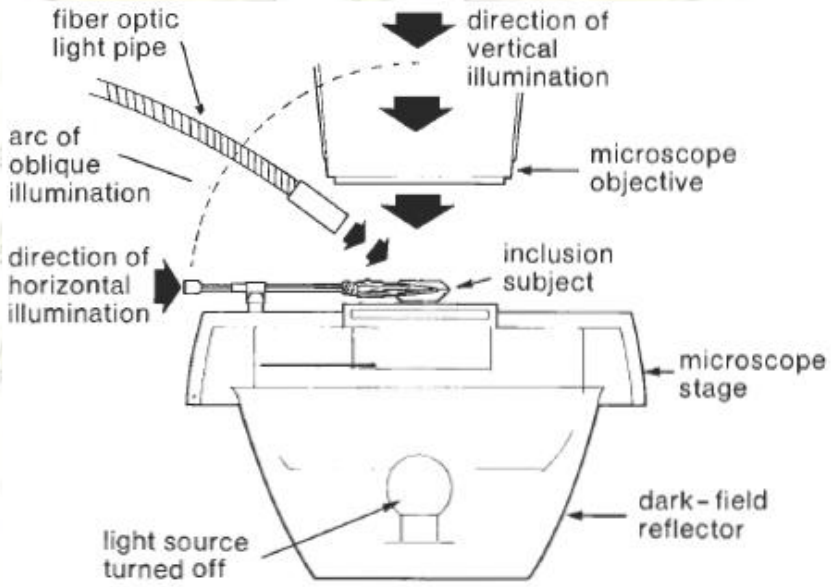
รูปที่ 2.6 Diffused illumination
(ที่มา : http://gemologyproject.com)

4. Polarized illumination – เป็นระบบการให้แสงเข้าที่ใต้อัญมณีผ่านแผ่นโพลารอยด์ 2 แผ่น โดยที่อัญมณีตัวอย่างอยู่ตรงกลาง แผ่นแรกจะวางบนแหล่งกำเนิดแสงด้านล่าง ส่วนอีกแผ่นผู้ทดลองจะถือไว้เหนืออัญมณี ระบบนี้ช่วยแยกมลทินผลึกและฟองอากาศออกจากกันได้ โดยจะมองเห็นผลึกมีลักษณะเป็นวงหลากสีคล้ายรุ้งในขณะที่ฟองอากาศจะไม่เห็นในลักษณะนี้[8]



รูปที่ 2.7 Polarized illumination

5. Oblique reflected illumination – เป็นระบบการให้แสงด้านบนโดยเอียงทำมุมระหว่าง 0 องศาถึง 90 องศากับแนวราบ แหล่งกำเนิดแสงอาจเป็น Overhead light หรือ Fiber optic ซึ่งแสงจะสะท้อนบนพื้นผิว ทำให้สามารถมองเห็นรอยตำหนิต่าง ๆ บนผิวอัญมณีได้ดีและสามารถมองเห็นมลทินที่มีลักษณะบางและแบนราบ เช่น มลทินลายนิ้วมือ (fingerprint) รอยแตกภายใน (cleavages) ได้อย่างชัดเจน[8]



รูปที่ 2.8 Oblique reflected illumination

2.2 ข้อมูลอัญมณีที่ศึกษา

2.2.1 มณีตระกูลแร่คอรันดัม (corundum)

คอรันดัมมีองค์ประกอบทางเคมีคืออะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เป็นแร่ที่มีความแข็งรองจากเพชร แบ่งเป็นอัญมณี 2 ประเภทคือ ทับทิม (ruby) และแซฟไฟร์ (sapphire) โดยธรรมชาติผลึกคอรันดัมจะใสปราศจากสี แต่สีต่างๆที่ปรากฏในทับทิมและแซฟไฟร์นั้นเกิดจากธาตุอื่น ๆ เข้าไปแทนที่อะลูมิเนียมในผลึกของคอรันดัม ได้แก่ โครเมียม (Cr^{3+}), เหล็ก (Fe^{2+}) ไทเทเนียม (Ti^{4+}) และอาจมีวาเนเดียม (V^{3+}) ปนอยู่ด้วย คุณสมบัติของคอรันดัมในแต่ละถิ่นกำเนิดต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยา เช่น คอรันดัมของประเทศไทยเกิดในหินบะซอลต์ ในขณะที่คอรันดัมพม่าเกิดในหินปูน จึงทำให้ลักษณะมลทินและสีต่างกัน

1. **ทับทิม (RUBY)** - ทับทิมเป็นอัญมณีที่มีสีแดงจนถึงสีม่วงแดงอันเนื่องมาการเจือปนของโครเมียมไอออน (Cr^{3+}) ที่เข้าไปแทนทีอะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) ในโครงสร้างผลึกคอรันดัม เนื้อพลอยอาจมีความโปร่งแสงหรือทึบแสง นิยมนำมาใช้ทำเป็นเครื่องประดับมากกว่าอัญมณีสีแดงอื่นๆ เนื่องจากมีสีสวย เปล่งประกายและมีความแข็งแกร่งคงทน เปล่งประกายสวยงาม อย่างไรก็ตามทับทิมธรรมชาติมักมีเนื้อขุ่นเนื่องจากมลทินมาก บางชิ้นทึบแสง ทำให้เมื่อเจียระไนแล้วดูไม่สวยงาม ประกอบกับพลอยทับทิมคุณภาพดีมีจำนวนลดลงและหาได้ยากมากขึ้น ดังนั้นทับทิมในท้องตลาดส่วนใหญ่มักผ่านการเพิ่มคุณภาพด้วยความร้อน ทับทิมที่หายากและมีราคาสูงมากคือทับทิมธรรมชาติสีแดงสดแบบเลือดนกพิราบ
2. **ไพลิน (Blue Sapphire)** - ไพลินเป็นอัญมณีสีน้ำเงินอ่อนถึงเข้มเนื่องจากไททาเนียมไอออน (Ti^{4+}) และเหล็กไอออน (Fe^{2+}) เข้าไปแทนที่อะลูมิเนียม (Al^{3+}) ในโครงสร้างผลึกคอรันดัมอยู่รวมกันในรูปของอิลเมไนต์ (ilmenite, $FeTiO_3$) ไพลินเป็นอัญมณีที่มีสีสวยเป็นที่ยอมรับมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีที่คล้ายกับสีดอกอัญชัญซึ่งพบในแซฟไฟร์จากแคชเมียร์ ส่วนไพลินที่มีสีอ่อนนิยมนำไปเผาปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้มีสีน้ำเงินเข้มสวยขึ้น โดยทั่วไปหากเรากล่าวถึงแซฟไฟร์ (Sapphire) จะหมายถึง Blue Sapphire หรือ ไพลิน เนื่องจากคำว่าแซฟไฟร์มาจากภาษาเปอร์เซีย (Saffir) มีความหมายว่า สีน้ำเงิน ซึ่งหากจะกล่าวแซฟไพร์สีอื่นๆ ต้องระบุสีให้ชัดเจน[9,10]

สมบัติของคอรันดัม

สูตรเคมี	:	อะลูมิเนียม ออกไซต์ Al_2O_3	
ธาตุที่ทำให้เกิดสี	:	สีแดง	โครเมียม (Cr^{3+})
		สีน้ำเงิน	เหล็ก (Fe^{2+}) และไทเทเนียม (Ti^{4+})
		สีม่วง	เหล็ก (Fe^{2+}) ไทเทเนียม (Ti^{4+}) และโครเมียม (Cr^{3+})
		สีเขียว	เหล็ก (Fe^{2+}) หรือเหล็ก (Fe^{2+}) ปนด้วยไทเทเนียม (Ti^{4+})
ค่าดัชนีหักเห	:	1.762 - 1.770	
ค่าไบรีฟรินเจนซ์	:	0.008-0.010	
ลักษณะทางแสง	:	ดัชนีหักเหคู่ (DR) uniaxial	
ความวาว	:	วาวแบบแก้ว (Vitreous)	
ระบบผลึก	:	เฮกซะโกนาล (Hexagonal system)	
ความแข็ง	:	9 เทียบกับค่าความแข็งสัมพัทธ์ของโมส์ (Mohs scale)	
ความถ่วงจำเพาะ	:	3.80-4.05[11]	

การกำเนิดของคอรันดัมตามธรรมชาติ

พลอยในตระกูลคอรันดัมซึ่งมักพบในหินอัคนี โดยแหล่งกำเนิดแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

1. กำเนิดในแหล่งแร่ปฐมภูมิ (Primary deposits) เป็นคอรันดัมที่พบอยู่ในหินต้นกำเนิด โดยผลึกแร่จะฝังในหิน ซึ่งมักเป็นหินอัคนีและหินแปร แหล่งแร่ปฐมภูมินี้จะพบทับทิมที่คุณภาพไม่ดีนัก
2. กำเนิดในแหล่งแร่ทุติยภูมิ (Secondary deposits) เกิดจากการผุพังของแหล่งแร่ปฐมภูมิและถูกพัดพาไปตามทางน้ำ เกิดการสะสมของแร่บริเวณแอ่งหรือที่ราบที่ไกลไปจากแหล่งแร่เดิมซึ่งสามารถเก็บพลอยได้ดี เรียกว่า ลานแร่ (Placer deposits) คอรันดัมส่วนใหญ่พบในแหล่งแร่ทุติยภูมิ ซึ่งหากหินจากแหล่งแร่ปฐมภูมิถูกพัดไปไม่ไกลนักพลอยมักจะมีขนาดใหญ่ แต่ถ้าถูกพัดพาไปไกลพลอยมักจะมีขนาดเล็ก[9,12]

2.2.2 มรกต (Emerald)

มรกตเป็นอัญมณีกลุ่มแร่เบริล (Beryl, $Be_3Al_2Si_6O_{18}$) มีสีเขียวสดสวยงามกว่าอัญมณีชนิดอื่นๆ โดยทั่วไปแล้วผลึกเบริลมีลักษณะใส ไม่มีสี สีเขียวในมรกตนั้นเกิดจากธาตุโครเมียม (Cr^{3+}) และ/หรือ วาเนเดียม (V^{3+}) เข้าไปแทนที่อะลูมิเนียม (Al^{3+}) ในผลึกเบริล หรืออาจปนด้วยเหล็ก (Fe^{2+}) ซึ่งทำให้มรกตมีสีอมน้ำเงิน มรกตคุณภาพดีต้องมีมลทินน้อย สีเขียวสด ไม่อ่อนหรือคล้ำเกินไป หรืออาจมีสีเขียวอมน้ำเงินปนได้เล็กน้อย มรกตเป็นอัญมณีเนื้อค่อนข้างเปราะ ไม่ทนต่อแรงกระแทกและความร้อน ต้องระมัดระวังในการใช้งานและดูแลรักษา นอกจากนี้มรกตมักอยู่รวมกับแร่อื่นๆ จึงมีมลทินค่อนข้างมากโดยธรรมชาติ เช่นของเหลวหรือผลึกของแร่อื่นๆ และมักมีรอยแตกร้าว จึงนิยมอุดด้วยน้ำมันหรือพอลิเมอร์บางชนิดที่มีดัชนีหักเหใกล้เคียงมรกต เพื่อให้รอยแตกร้าวดูจางลง ดังนั้นมรกตที่มีสีสวยและมลทินน้อยจึงหาได้ยากและมีราคาสูง[10,13]

สมบัติของมรกต

สูตรเคมี	:	เบริลเลียม อลูมิเนียม ซิลิเกต $Be_3Al_2Si_6O_{18}$
ธาตุที่ทำให้เกิดสี	:	สีเขียวมรกต โครเมียม (Cr^{3+}) หรือวาเนเดียม (V^{3+}) หรือทั้งคู่ สีเขียวอมฟ้า โครเมียม (Cr^{3+}) และเหล็ก (Fe^{2+})
ค่าดัชนีหักเห	:	1.568 - 1.590
ค่าไบรีฟรินเจนซ์	:	0.005 - 0.009
ลักษณะทางแสง	:	ดัชนีหักเหคู่ (DR) uniaxial
ความวาว	:	วาวแบบแก้ว Vitreous
ระบบผลึก	:	เฮกซะโกนาล (Hexagonal system)
ความแข็ง	:	7.5 - 8 เทียบกับค่าความแข็งสัมพัทธ์ของโมส์ (Mohs scale)
ความถ่วงจำเพาะ	:	2.68 - 2.80 (โดยปกติมีค่า 2.72) [11]

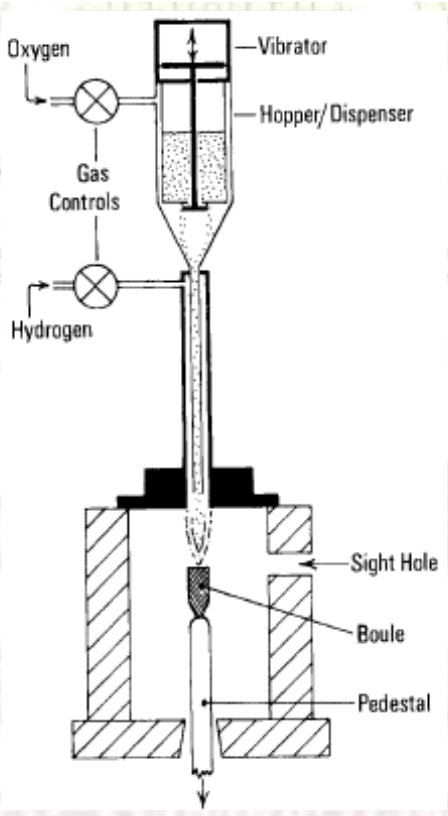
การกำเนิดของมรกตตามธรรมชาติ

มรกตมีลักษณะการเกิดได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับภูมิประเทศต่างๆ โดยทั่วไปพบมากในหินแกรนิตและสายแร่เพกมาไทต์ (pegmatite) และยังพบในหินแปรจำพวกไมกาชิลต์ซึ่งมีแร่ดีบุกปะปนอยู่ (mica schist) แหล่งมรกตที่โคลัมเบียและอัฟกานิสถาน เป็นการตกผลึกจากน้ำแร่ร้อน (hydrothermal) มรกตจะตกผลึกเป็นสายแร่แล้วแทรกตัวเข้าไปในหินปูนหรือหินดินดานสีเข้ม นอกจากนี้อาจพบปะปนกับแร่ไพไรต์ (Pyrite)[14]

2.3 การสังเคราะห์อัญมณี

กรรมวิธีที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์อัญมณีประกอบด้วย

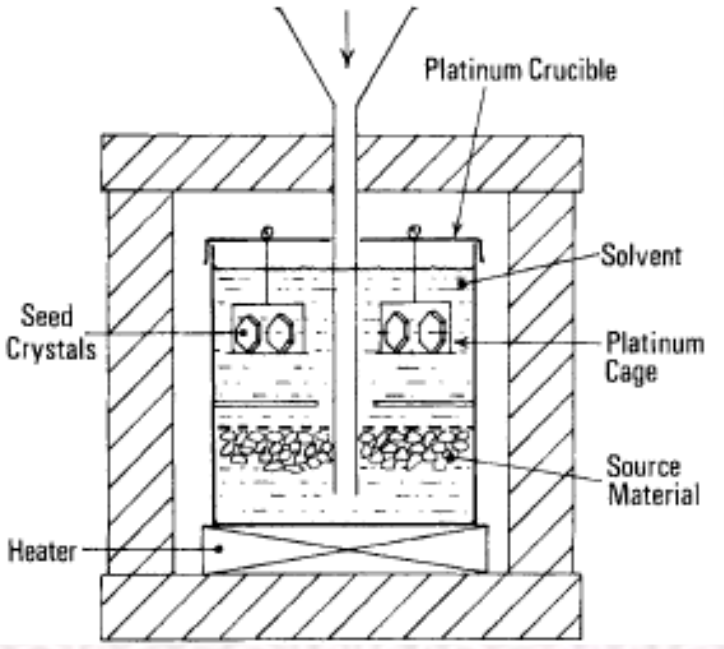
1. Frame Fusion (Verneuil) - เป็นกรรมวิธีสังเคราะห์ที่นิยมใช้สังเคราะห์คอรันดัมและมีต้นทุนต่ำ กระบวนการคือโดยการหลอมผงวัตถุดิบกำเนิดคอรันดัม คือ ผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) โครเมียม (Cr^{3+}) เหล็ก (Fe^{2+}) หรือวาเนเดียม (V^{3+}) ในบรรยากาศออกซิเจนและไฮโดรเจน เมื่ออะลูมิเนียมและโครเมียมไอออนหลอมรวมกันแล้วจะค่อยๆตกลงมาที่แท่นหมุนด้านล่าง เกิดการตกผลึกใหม่เป็นแท่งพลอยคอรันดัมที่มีเนื้อเป็นเส้นโค้ง (Curved growth lines) [15,16]



รูปที่ 2.9 แสดงวิธีการสังเคราะห์แบบ Frame Fusion (Verneuil)

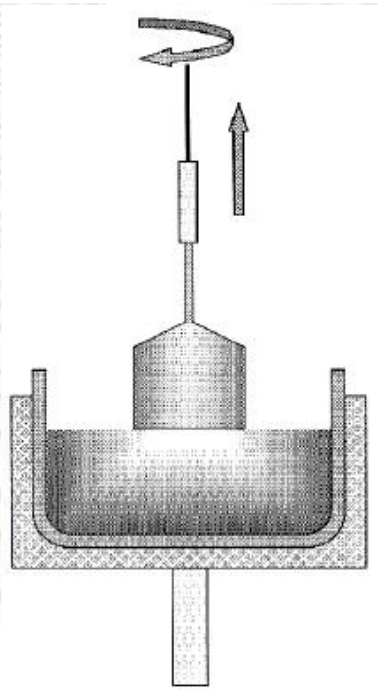
รูปที่ 2.10 แท่งคอรันดัมสังเคราะห์โดยวิธี Frame Fusion (Verneuil)

2. Flux Growth - เป็นกรรมวิธีที่ให้มลทินคล้ายคลึงกับอัญมณีธรรมชาติ ใช้สังเคราะห์ทั้งคอรันดัมและมรกต ทำได้โดยหลอมวัตถุดิบ ถ้าสังเคราะห์คอรันดัมใช้อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) หรือสังเคราะห์มรกตจะใช้เบริลเลียมอะลูมิเนียมซิลิเกต ($Be_3Al_2Si_6O_{18}$) รวมกับโครเมียม (Cr^{3+}) เหล็ก (Fe^{2+}) หรือวาเนเดียม (V^{3+}) ในตัวประสารหลอมเหลวที่เรียกว่าฟลักซ์ (Flux) และใช้ผลึกอัญมณีเล็กๆ (Seed plate) เป็นตัวเริ่มการเติบโตของผลึก ใช้เวลานานหลายเดือนถึงปี ขึ้นอยู่กับขนาดของอัญมณี การสังเคราะห์โดยวิธีนี้จะต่างจากของอัญมณีธรรมชาติตรงที่ Fingerprint (มลทินในอัญมณีที่มีลักษณะคล้ายร่างแหหรือลายนิ้วมือมนุษย์) มีความขุ่นมัว (opaque) และส่วนใหญ่จะมีสีขาว แต่ Fingerprint หรือ Flux veil ของอัญมณีธรรมชาติจะคล้ายของเหลวหรือแก๊สที่โปร่งแสง อาจต้องดูด้วยเลนส์ที่มีกำลังขยายถึง 40 เท่าจึงจะแยกแยะความแตกต่างนี้ได้[15,16]



รูปที่ 2.11 แสดงวิธีการสังเคราะห์โดยวิธี Flux Growth

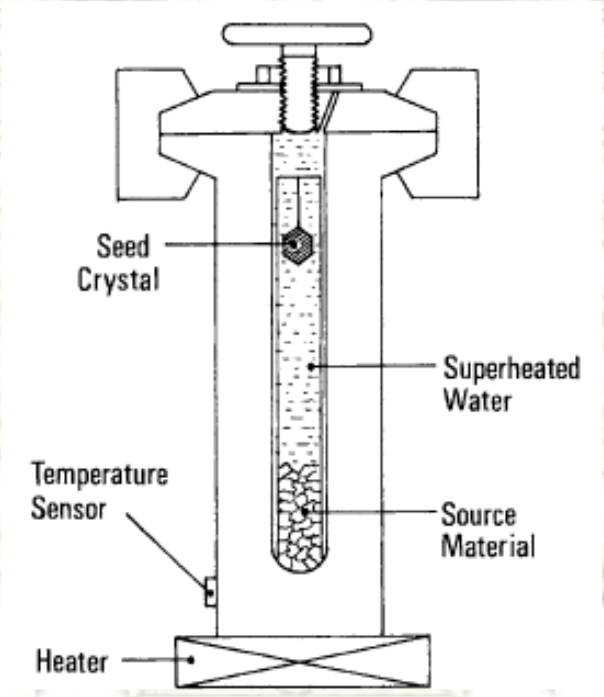
3. The melt-pulled (Czochralski) - เป็นกรรมวิธีที่สามารถสังเคราะห์คอรันดัมได้รวดเร็วในไม่กี่ชั่วโมง และมักได้ทับทิมที่มีเนื้อใสสะอาด ทำได้โดยการหลอมสารวัตถุดิบคือผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) โครเมียม (Cr^{3+}) เหล็ก (Fe^{2+}) หรือวาเนเดียม (V^{3+}) ในเตาและใช้แท่งที่มีผลึกคอรันดัม (Seed) ค่อยๆจุ่มลงไปในของเหลว จากนั้นดึงขึ้นช้าๆ จะได้แท่งทับทิมสังเคราะห์ทรงกระบอกที่มีริ้วลายเส้นโค้ง เกิดแถบสีและกลุ่มฟองอากาศ[15,16]



รูปที่ 2.12 แสดงการสังเคราะห์คอรันดัมโดยวิธี The melt-pulled (Czochralski)

รูปที่ 2.13 แท่งทับทิมสังเคราะห์โดยวิธี The melt-pulled (Czochralski)
(ที่มา: http://www.theimage.com/newgems/synthetic/syntheticanimate2.html)

4. Hydrothermal process - เป็นกรรมวิธีที่ใกล้เคียงกับการเกิดอัญมณีตามธรรมชาติ ใช้ในการๆสังเคราะห์ทั้งคอรันดัมและมรกต มลทินภายในเนื้ออัญมณีคล้ายกับมลทินในธรรมชาติเพียงแต่มีความสะอาดสูงกว่า ทำได้โดยใส่วัตถุดิบในเตาไอน้ำ (Autoclave) ที่อุณหภูมิและความดันสูง เมื่อหลอมเหลวเวลาผ่านไปจะได้สารละลายอิ่มตัวยิ่งยวด จากนั้นอัญมณีจะตกผลึกบนผลึกตัวล่อ (Seed) ที่อยู่บนเตาอบไอน้ำ ส่วนใหญ่อัญมณีสังเคราะห์ที่เกิดด้วย hydrothermal มักจะเกิดผลึกรอบๆ เมล็ดผลึกที่ใส่เข้าไปเป็นตัวล่อ[15,16]



รูปที่ 2.14 แสดงวิธีการสังเคราะห์โดยวิธี Hydrothermal process

รูปที่ 2.15 อัญมณีที่ได้จากการสังเคราะห์โดยวิธี Hydrothermal process

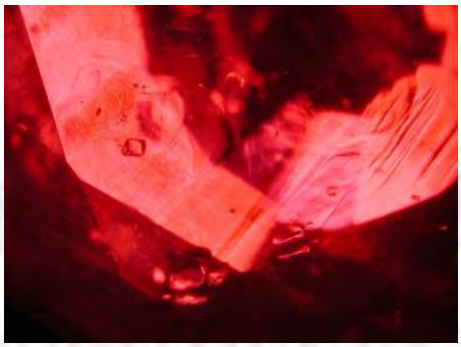
2.4 มลทินในอัญมณี

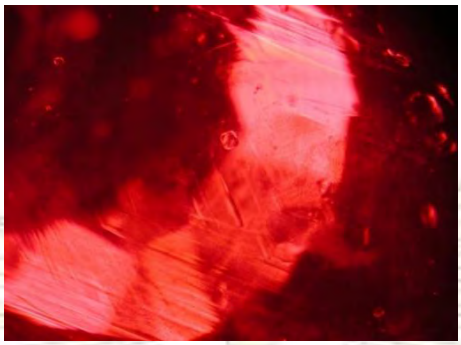
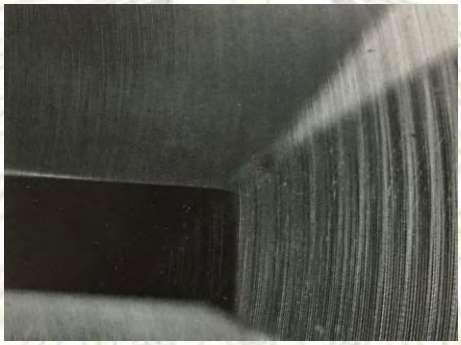
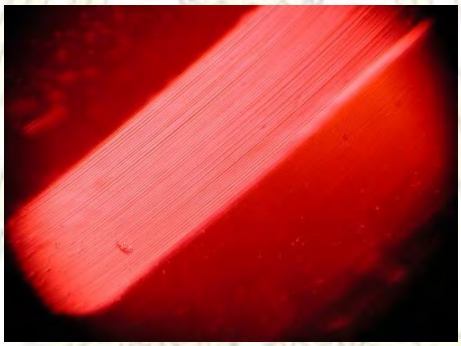
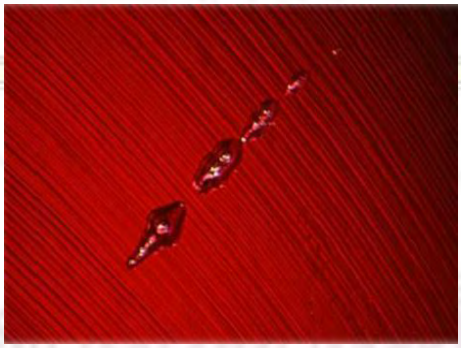
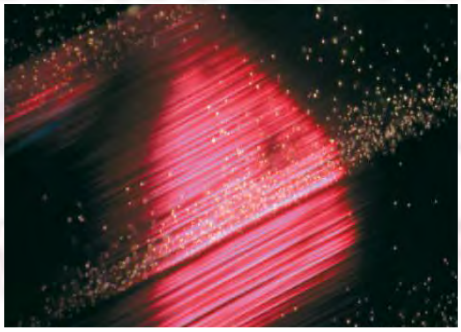
การวิเคราะห์มลทินในอัญมณีมีความสำคัญมากในการจำแนกอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์และอัญมณีธรรมชาติปรับปรุงคุณภาพ เป็นวิธีที่ง่ายและเป็นที่นิยมที่สุด อัญมณีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะมีมลทินที่มีลักษณะเฉพาะ ซึ่งไม่พบในอัญมณีสังเคราะห์ เช่น มลทินเส้นเข็ม (Needle), มลทินเส้นไหม (Silk), ผลึกแร่ (Crystal) เป็นต้น และมลทินบางชนิดของอัญมณีสังเคราะห์ เช่น มลทินเส้นโค้ง (Curved striae) จะไม่พบในอัญมณีธรรมชาติ หรือถ้าเป็นอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ มลทินจะมีลักษณะผิดปกติไปจากเดิม สิ่งเหล่านี้สามารถทำให้เราวิเคราะห์และแยกแยะอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพออกจากกันได้ โดยการวิเคราะห์ภาพด้วยไมโครสโคป

2.4.1 มลทินในทับทิม (Inclusion in ruby)

1. **Growth zoning** – มลทินมีลักษณะเป็นแถบหรือเส้น ที่มีสีเข้มและอ่อนสลับกันเป็นชั้นๆ เกิดจากการเจริญเติบโตของผลึกอัญมณีตามธรรมชาติ คล้ายกับวงปีที่แสดงการเจริญเติบโตของต้นไม้ ต่างกันที่การเจริญเติบโตของผลึกอัญมณีธรรมชาติจะไม่เป็นลักษณะเส้นโค้ง แต่จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่หักมุมและขนานไปตามด้านที่ผลึกอัญมณีเติบโต อาจเป็นแถบหนาหรือบางก็ได้ (Angular growth zoning) มลทินนี้มีลักษณะเฉพาะใช้แยกอัญมณีธรรมชาติออกจากอัญมณีสังเคราะห์ได้ เนื่องจากอัญมณีสังเคราะห์ผลึกจะเติบโตเป็นเส้นโค้ง สามารถเห็นได้ชัดเจนจากกล้องจุลทรรศน์[17]

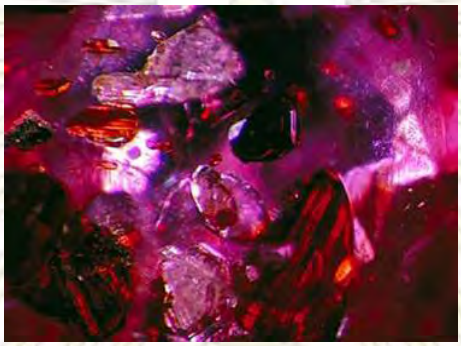
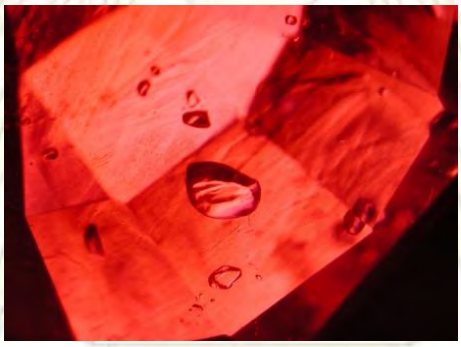
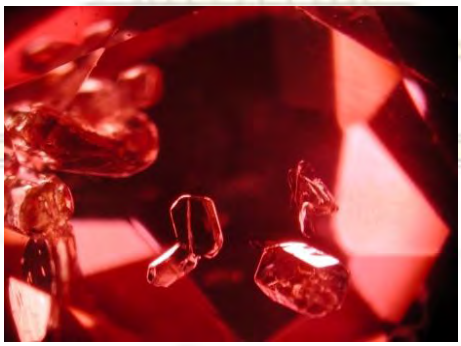
ตารางที่ 2.1 แสดงมลทิน Growth zoning ในทับทิม

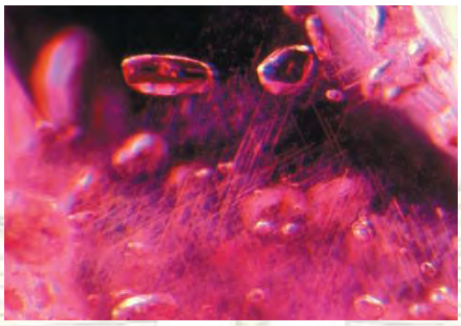
มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Growth zoning (Natural Ruby) นอกจาก Growth zoning แล้วยังพบผลึกแร่อื่นและ Rutile silk ที่ยังไม่หลอมละลาย แสดงว่าเป็นทับทิมไม่ผ่านการเผา		ทับทิมธรรมชาติจากโมกอก ไม่ผ่านการเผา ที่มา: http://www.apsara.co.uk/

Growth zoning (Natural Ruby) พบผลึกแร่อื่น		ทับทิมธรรมชาติจากโมกอก ไม่ผ่านการเผา ที่มา: http://www.apsara.co.uk/
Growth zoning (synthetic ruby) เส้นโค้งเรียบข้ามมุม (ไม่หักมุม) แสดงถึงการเติบโตของผลึกทับทิมสังเคราะห์แบบ Frame fusion		ที่มา: Newman, R. Ruby, Sapphire & Emerald Buying Guide. 2th ed.; International Jewelry Publications: Singapore, 2002; pp 67-72.
Growth zoning (Synthetic ruby) เส้นโค้งเรียบและฟองอากาศในทับทิมสังเคราะห์แบบ Flame fusion		ที่มา: http://apsara.co.uk/index.php/gallery/inclusions/synthetic-rubies-sapphires.html
Growth zoning (synthetic ruby) ฟองอากาศยาวไปทางทิศที่ผลึกเจริญเติบโตเป็นเส้นโค้งเรียบ ในทับทิมสังเคราะห์แบบ Flame fusion		กำลังขยาย 100 เท่า ที่มา: http://www.ruby-sapphire.com/verneuil-synthetic-corundum-dangerous-curves.htm
Growth zoning (synthetic ruby) เส้นโค้งเรียบและกลุ่มฟองอากาศทับทิมสังเคราะห์แบบ Flame fusion		ที่มา: http://www4.gia.edu/tryelearning/240-06/media/resources/gi06_printable.pdf

2. **Crystals** – มลทินแร่ของแข็งหลากหลายรูปร่างและขนาดภายในเนื้อทับทิม เกิดขึ้นในขณะที่ผลึกทับทิมเจริญเติบโต ผลึกที่มักพบในทับทิม ได้แก่ pyrite, garnet, zircon, calcite และ spinel[17]

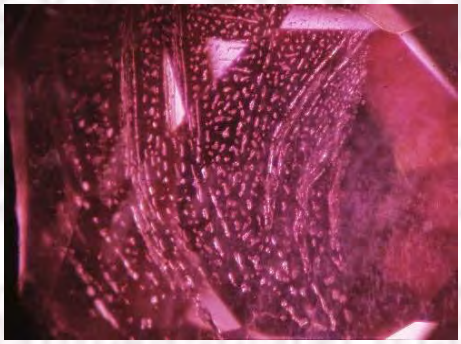
ตารางที่ 2.2 มลทิน Crystals ในทับทิม

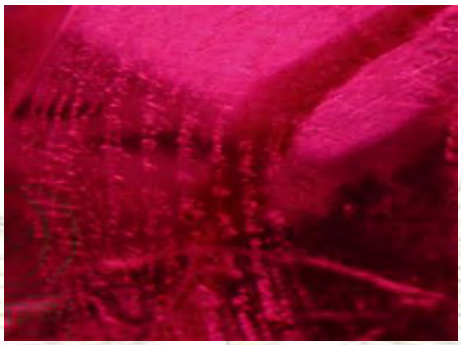
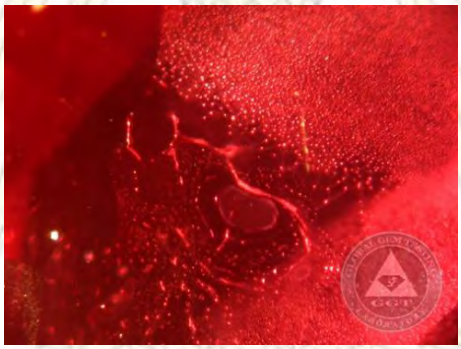
มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Crystals ผลึกแร่ Rutile, Sphalerite และ Calcite เกิดขึ้นในเนื้อทับทิม		กำลังขยาย 50 เท่า ทับทิมธรรมชาติจากโมกอก ที่มา: http://www.ruby-sapphire.com
Crystals ผลึกกลมมนของ Calcite ในทับทิม		ทับทิมธรรมชาติจากโมกอก ไม่ผ่านการเผา ที่มา: http://gemologyproject.com
Crystals ผลึกแร่ Apatite ในทับทิม		ทับทิมธรรมชาติจากโมกอก ไม่ผ่านการเผา ที่มา: http://gemologyproject.com
Crystals ผลึกแร่ apatite, calcite และมลทิน silk มักพบในทับทิมพม่า		ทับทิมธรรมชาติจากโมกอก ไม่ผ่านการเผา ที่มา: http://gemologyproject.com .

Crystals ทับทิมที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มักพบมลทินที่เป็นผลึกแร่และ silk		ที่มา: http://www4.gia.edu/tryelearning/240-06/media/resources/gi06_printable.pdf

3. **Fingerprint** – เป็นมลทินที่เกิดขึ้นพร้อมกับการเติบโตของผลึกทับทิมธรรมชาติที่ทำหน้าที่ซ่อมแซมผลึกส่วนที่แตกร้าวโดย มีลักษณะเป็นเส้นหรือจุดเล็กๆ เรียงต่อกันเป็นโครงข่าย หรือมีลักษณะเป็นเส้นโค้งคล้ายลายนิ้วมือ (Arches) มลทินชนิดนี้มีลักษณะคล้ายลายนิ้วมือมนุษย์, ร่างแหหรือเป็นแผ่นๆ แผ่ออกคล้ายขนนก ซึ่งหากเป็นมลทิน Fingerprint ธรรมชาติเส้นขนาดจะไม่ใหญ่นักและไม่ซับซ้อน แต่หากเป็น fingerprint ที่เกิดจากสังเคราะห์มักมีลักษณะซับซ้อน ขาวขุ่นคล้ายม่าน[19,20]

ตารางที่ 2.3 มลทิน Fingerprint ในทับทิม

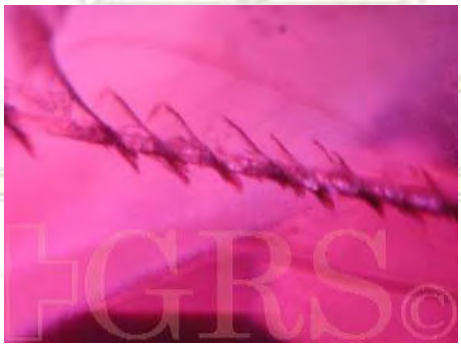
มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Fingerprint **(Natural ruby)** ทับทิมธรรมชาติที่มีมลทิน Fingerprint จำนวนมาก		ที่มา: http://www.bwsmigel.info/Lesson5/DE.Magnification.html
Fingerprint **(Natural ruby)**		ที่มา: http://www.amnh.org/our-research/physical-sciences/earth-and-planetary-sciences

Fingerprint **(Natural ruby)**		ที่มา: http://www.edelsteine.at/Ruby-and-sapphire-news/7-10e/
Fingerprint **(synthetic ruby)** มลทิน Fingerprint ที่เกิดจาก Flux synthetic		ที่มา: http://www.ggtlaboratory.com/content-SyntheticRuby(flux)-4-255-1997-2.html
Fingerprint **(synthetic ruby)** มลทิน Fingerprint จากที่เกิดจากการสังเคราะห์แบบ Flux		ที่มา: http://www.ggtlaboratory.com/content-SyntheticRuby(flux)-4-255-1997-2.html
Fingerprint **(synthetic ruby)** มลทิน Fingerprint ลักษณะคล้ายม่าน ขาวขุ่น เกิดจากการสังเคราะห์ทับทิมแบบ Flux		ทับทิมจากคาซาน อิหร่าน ที่มา: Newman, R. Ruby, Sapphire & Emerald Buying Guide. 2th ed.; International Jewelry Publications: Singapore, 2002; pp 93-133.

คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. **Needles** – มลทินมีลักษณะเป็นเส้นเรียวยาวซึ่งอาจเป็นผลึก หรือเป็นท่อกลวงที่ภายในบรรจุแก๊สหรือของเหลว เรียกว่า Growth tubes เป็นสิ่งหนึ่งที่ยืนยันได้ว่าทับทิมนั้นเป็นทับทับจากธรรมชาติ ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ มลทิน Needles มักถูกสับสนกับ Silk โดยทั่วไปสังเกตได้จากลักษณะของเส้นเข็ม ซึ่ง Needles จะมีลักษณะยาวเรียว อาจอยู่เพียงเส้นเดียวหรือหลายเส้นเรียงตัวในระนาบ 2 หรือ 3 มิติ ในขณะที่มลทิน Silk เส้นเข็มเรียงตัดกันที่ประมาณ 60/120 องศา และเส้นเข็มมีลักษณะเล็กละเอียดกว่า Needles อย่างชัดเจน[17,20]

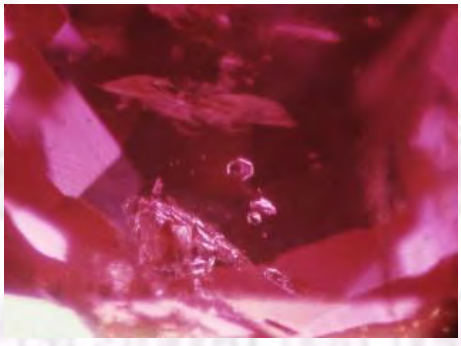
ตารางที่ 2.4 มลทิน Needles ในทับทิม

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Needle (Natural ruby) มลทิน Needles ของแร่ Boehmite ในทับทิมจากธรรมชาติ		ที่มา: http://www.ruby-sapphire.com/r-s-bk-ch5.htm
Needle (Natural ruby) มลทิน Needles ของแร่ Bohemite ล้อมรอบด้วย Satellite secondary feathers ในทับทิมธรรมชาติ		ทับทิมจากโมกอก พม่า ที่มา: http://gemresearch.ch/inclusion-gallery/
Needle (Natural ruby) มลทิน Needles ซึ่งเกิดจากแร่ Boehmite		ทับทิมไทย ที่มา: http://gemresearch.ch/inclusion-gallery/

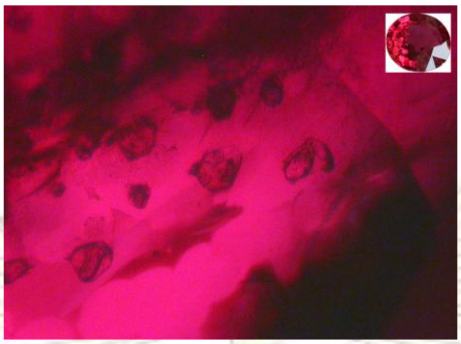
Needle **(Natural ruby)** มลทิน Needles ซึ่งเป็นแร่ Boehmite ที่เรียงตัดกัน 3 มิติ		ทับทิมไทย ที่มา: http://gemresearch.ch/inclusion-gallery/
Needle **(Heat treated ruby)** มลทินซึ่งมีลักษณะรอยแก้วใส แตกออกเป็นวงรอบมลทิน บ่งบอกว่าเป็นทับทิมที่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		ทับทิมไทย ที่มา: Ruby, Sapphire & Emerald Buying Guide 2th

5. **Voids (negative crystals) –** มลทินผลึกกลวงใสซึ่งเป็นโพรงหรือช่องว่างภายในอัญมณี มีรูปร่างคล้ายคลึงกับผลึกแร่ทั่วไป ซึ่งภายในอาจเป็นแก๊สหรือของเหลว หรือทั้งแก๊สและของเหลวรวมกันเป็นมลทิน 2 สถานะ (2-phase inclusion) มลทินนี้อาจเรียกว่า “Included crystals”[20]

ตารางที่ 2.5 มลทิน Voids (Negative crystal) ในทับทิม

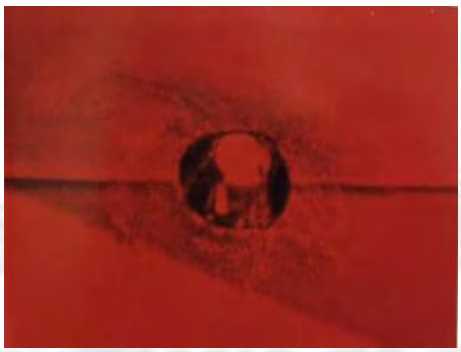
มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Voids **(Negative crystal)** มลทินผลึกกลวงปนกับผลึกคาร์บอเนตและของเหลว		ที่มา: http://www.amnh.org/our-research/physical-sciences/earth-and-planetary-sciences

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Voids **(Negative crystal)** ผลึกกลวงในทับทิมไม่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		ทับทิมจากโมซัมบิก กำลังขยาย 64 เท่า ที่มา: www.gia.edu

6. **Saturn-like** – มลทินมีลักษณะมีแกนกลางซึ่งอาจเป็นผลึก แก๊ส ของเหลว หรือเป็นช่องกลวง ล้อมรอบด้วยมลทินแผ่นกลมแบนของ Fingerprint มลทินนี้มักพบในทับทิมไทยและกัมพูชา[20]

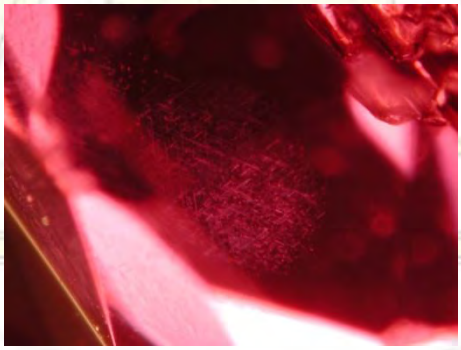
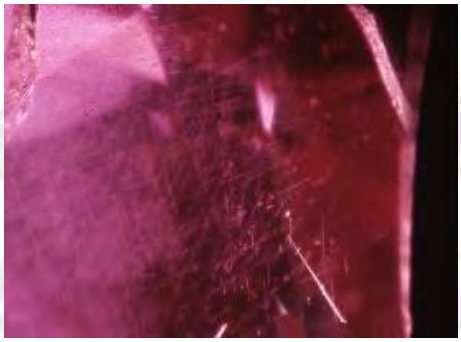
ตารางที่ 2.6 มลทิน Saturn-like ในทับทิม

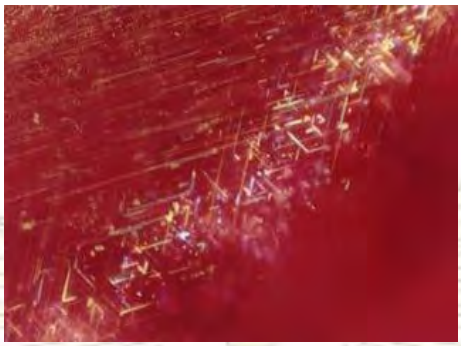
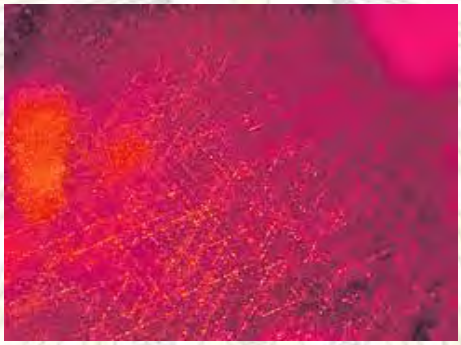
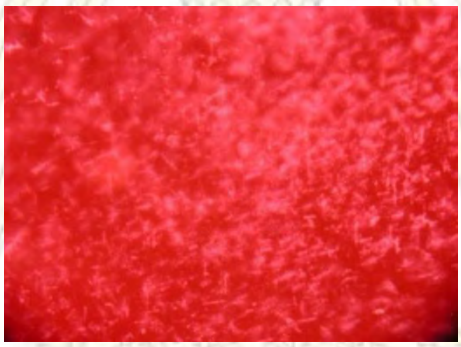
มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Saturn-like มลทิน Saturn-like ซึ่งพบได้ทั่วไปในทับทิมไทย		ทับทิมไทย ที่มา: Newman, R. Ruby, Sapphire & Emerald Buying Guide. 2th ed.; International Jewelry Publications: Singapore, 2002; pp 93-133.
Saturn-like ระนาบกลมแบบล้อมรอบแกนกลางของมลทิน Saturn-like		ที่มา: Newman, R. Ruby, Sapphire & Emerald Buying Guide. 2th ed.; International Jewelry Publications: Singapore, 2002; pp 93-133.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. **Silk** – ในคอรันดัมประกอบไปด้วยเส้นใยละเอียดของแร่รูไทล์ (rutile) หรืออาจเป็นแร่อื่นๆ มีลักษณะเป็นเส้นสั้นๆ เรียวเล็ก เรียงตัวตัดกันในในระนาบ 2 มิติทำมุมตัดกันประมาณ 60°/120° มลทินนี้สามารถใช้เป็นสิ่งยืนยันได้ว่าเป็นทับทิมจากธรรมชาติที่ ไม่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ หากทับทิมถูกเผาปรับปรุงคุณภาพ เส้นไหมจะสลายตัว มลทินจะมีลักษณะเป็นจุดเล็กๆต่อกันหรืออาจฟุ้งกระจายออกเนื่องจากการละลายของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) จากแร่รูไทล์[17,20]

ตารางที่ 2.7 มลทิน Silk ในทับทิม

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Silk (Untreated natural ruby) มลทิน Silk จากแร่รูไทล์		ที่มา: http://www4.gia.edu/tryelearning/240-06/media/resources/gi06_printable.pdf
Silk (Untreated natural ruby) มลทิน Silk จากแร่รูไทล์ในทับทิมไม่ผ่านการเผา		ทับทิมจากโมกอก พม่า ที่มา: http://gemologyproject.com/wiki/index.php?title=Ruby
Silk (Untreated natural ruby) การเรียงตัวอย่างหนาแน่นของมลทิน Silk ทำให้เกิดลักษณะคล้ายกลุ่มหมอก		ที่มา: http://www.amnh.org/our-research

Silk **(Untreated natural ruby)** ลักษณะมลทินที่ยังคงเป็นเส้นเรียวเล็ก บ่งบอกว่าไม่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		ที่มา: http://gemsandjewelrylovers.blogspot.com/2011/04/ruby-inclusions.html
Silk **(Heat treated natural ruby)** ลักษณะมลทิน Silk เส้นเข็มที่ขาดออกจากกันและเรียงต่อเป็นจุด บ่งบอกว่าทับทิมผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		ที่มา: http://buygemstone.info
Silk **(Heat treated natural ruby)** มลทิล Silk ที่มีลักษณะฟุ้งกระจายเนื่องจากการละลายของแร่รูไทล์		ทับทิมจากเวียดนาม ที่มา: http://gemologyproject.com/wiki/index.php?title=Ruby

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

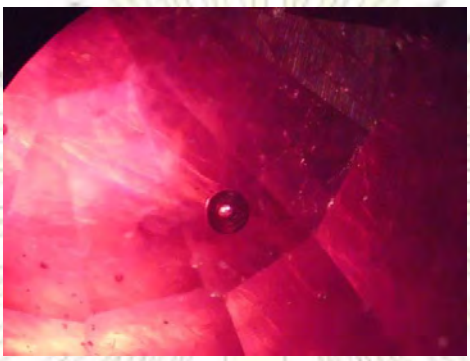
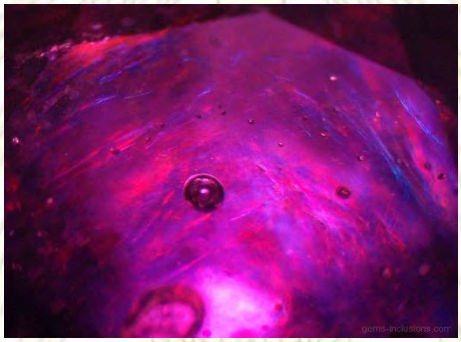
8. **Twinning** - มลทินมีลักษณะเป็นเส้นตรงขนานกันบนผิวหน้าทับทิม เกิดจากผลึกแร่ที่เป็นชนิดเดียวกัน 2 ผลึกหรือมากกว่าเติบโตโดยใช้แลตทิซบางจุดร่วมกัน มลทินนี้ไม่พบในทับทิมสังเคราะห์จึงสามารถใช้ระบุทับทิมแท้จากธรรมชาติได้ มักพบในทับทิมธรรมชาติจากไทยและกัมพูชา[20,21]

ตารางที่ 2.8 มลทิน Twining ในทับทิม

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Twinning		ทับทิมไทย ที่มา: Newman, R. Ruby, Sapphire & Emerald Buying Guide. 2th ed.; International Jewelry Publications: Singapore, 2002; pp 70.
Twinning		ที่มา: http://www.ngi.com.sg/gallery.html

9. **Lead glass filling (Treated ruby)** – มลทินชนิดมีลักษณะแสงสะท้อนสีต่างๆ ในรอยแตกของทับทิม มักพบสีน้ำเงิน สีม่วง สีส้ม เกิดจากการนำทับทิมมาเผาและเติมแก้วตะกั่วลงไปเพื่อให้อุดรอยแตกและเพิ่มความสวยงามให้กับทับทิม แต่เนื่องจากตะกั่วมีดัชนีหักเหต่างกับทับทิมจึงทำให้เกิดการกระจายแสงสะท้อนสีต่างๆออกมา นอกจากนี้อาจพบฟองก๊าซซึ่งเกิดจากแก้วตะกั่วเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ทำให้มีฟองก๊าซหลงเหลือภายในทับทิม[22]

ตารางที่ 2.9 มลทิน Lead glass filling ในทับทิม

ตำหนิ (Inclusions)	ภาพถ่ายของตำหนิ	หมายเหตุ
Lead glass filling (Heat treated ruby) ฟองอากาศขนาดใหญ่และการสะท้อนแสงสีเหลืองส้มที่บ่งบอกว่าเป็นทับทิมอัดแก้วตะกั่ว		ที่มา: http://sedagems.com/blog/technical/why-are-rubies-heated/ 27/1/2016
Lead glass filling (Heat treated ruby) ฟองอากาศขนาดใหญ่และแสงสะท้อนสีส้มกับสีม่วง		ที่มา: http://gems-inclusions.com/inclusions-photo-gallery/ 27/1/2016

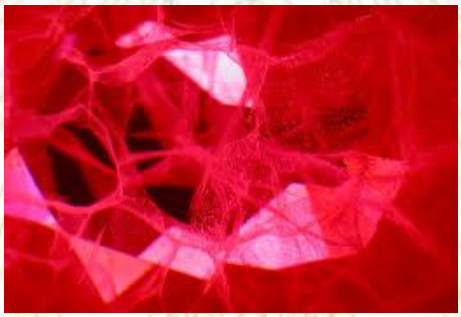
10. Halo Inclusion (Heat treated rubies) – มลทินมีลักษณะเป็นผลึกที่มีรอยแตกทรงกลม มันวาวคล้ายแก้วล้อมรอบ ซึ่งเกิดจากการขยายตัวของผลึกเมื่อถูกความร้อนจากการเผา มักเป็นผลึกของเซอร์คอน (zircon) [20,21]

ตารางที่ 2.10 ตารางมลทิน Halos ในทับทิม

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Halos (Heat treated rubies)		ที่มา: http://buygemstone.info

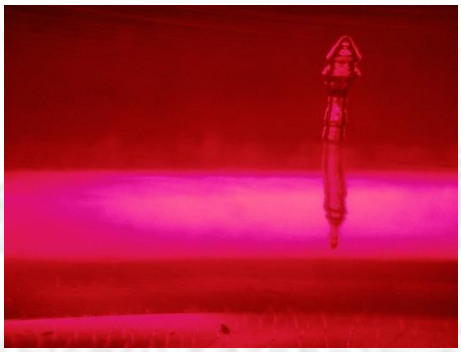
11. Quench cracking (Synthetic ruby) – มลทินจะปรากฏ fingerprint ในลักษณะคล้ายรอยแตกหรือร่างแห ทั่วทั้งเม็ดอัญมณี เกิดจากการนำทับทิมที่สังเคราะห์โดยวิธี Flame fusion ไปเผาให้ความร้อนสูง (heating) จากนั้นทำให้เย็นลงทันที (quenching) ซึ่งกระบวนการนี้จะทำกับทับทิมสังเคราะห์เพื่อเลียนแบบมลทินในทับทิมธรรมชาติ หรือต้องการสร้างรอยแตกเพื่อทำให้สีเข้าไปในเนื้อทับทิมได้ทั่วถึง ในกรณีที่ย้อมสีทับทิม[23]

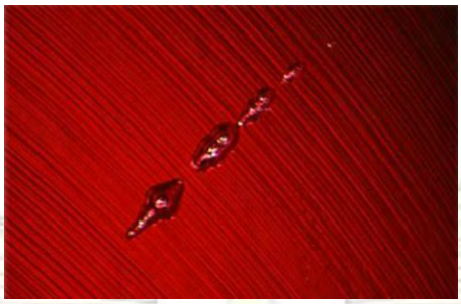
ตารางที่ 2.11 มลทิน Quench cracking ในทับทิม

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Quench cracking (Flame fusion synthetic ruby)		ที่มา: http://gemologyproject.com
Quench cracking (Flame fusion synthetic ruby)		ที่มา: http://www.yourgemologist.com/rubyflamequench.html
Quench cracking (Flame fusion synthetic ruby)		ที่มา: http://www.ngi.com.sg/gallery.html

12. Gas bubble (Synthetic ruby) – มลทินกลุ่มฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งฟองอากาศนั้นอาจจะเป็นทรงกลมหรือไม่ก็ได้ และมักพบในทับทิมสังเคราะห์ บางครั้งรวมกลุ่มหนาจนคล้ายหมอก หรืออาจพบฟองอากาศขนาดใหญ่ที่มีลักษณะเรียวยาวไปในทิศทางที่ผลึกเจริญเติบโต ซึ่งมักพบร่วมกับเส้นโค้งจากการเติบโตของผลึกโดยการสังเคราะห์ (Curved striae) [20,24]

ตารางที่ 2.12 มลทิน Gas bubble ในทับทิม

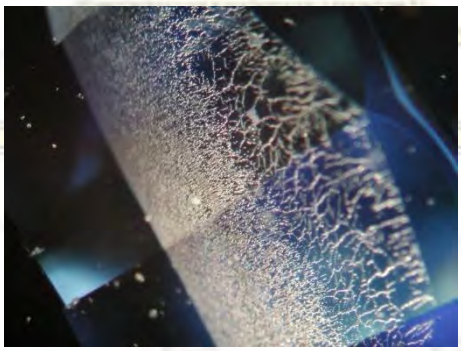
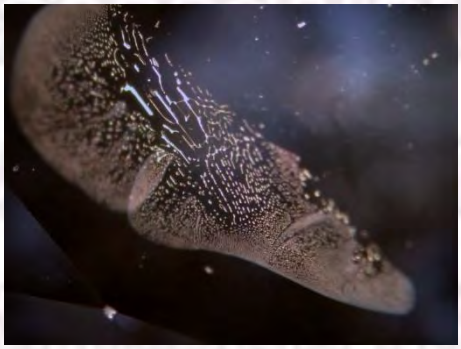
มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Gas bubbles (Flame fusion synthetic ruby)		ที่มา: http://www4.gia.edu/tryelearning/240-06/media/resources/gi06_printable.pdf
Gas bubbles (synthetic ruby)		ที่มา: Newman, R. Ruby, Sapphire & Emerald Buying Guide. 2th ed.; International Jewelry Publications: Singapore, 2002; pp 93-133.
Gas bubbles (synthetic ruby) ฟองอากาศเรียวยาวตามแนวการเจริญเติบโตผลึกของทับทิมสังเคราะห์		ที่มา: http://orissaminerals.gov.in/Geology/InterestingInclusion_Next.aspx?GL=facilities&PL=16

Gas bubbles (synthetic ruby) ฟองอากาศเรียวทางยาวในทิศทางที่ผลึกเจริญเติบโตของทับทิบสังเคราะห์แบบFlame fusion		กำลังขยาย 100 เท่า ที่มา: http://www.ruby-sapphire.com/verneuil-synthetic-corundum-dangerous-curves.htm

2.4.2 มลทินในไพลิน (Inclusion in blue sapphire)

1. **Fingerprint** - มลทินที่เกิดขึ้นพร้อมกับการเติบโตของผลึกแซฟไฟร์ธรรมชาติที่ซ่อมแซมผลึกส่วนที่แตกร้าวโดย มีลักษณะเป็นเส้นหรือจุดเล็กๆของของเหลว เรียงต่อกันเป็นโครงข่าย หรือมีลักษณะเป็นเส้นโค้งคล้ายลายนิ้วมือ (Arches) มลทินชนิดนี้มีลักษณะคล้ายลายนิ้วมือมนุษย์, ร่างแหหรือเป็นแผ่นๆ แผ่ออกคล้ายขนนก ซึ่งหากเป็นมลทิน Fingerprint ธรรมชาติเส้นขนาดจะไม่ใหญ่นักและไม่ซับซ้อน แต่หากเป็น fingerprint ที่เกิดจากสังเคราะห์มักมีลักษณะซับซ้อน ขาวขุ่นคล้ายม่าน[20,25]

ตารางที่ 2.13 มลทิน Fingerprint ในไพลิน

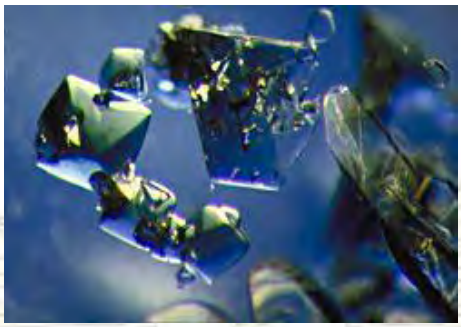
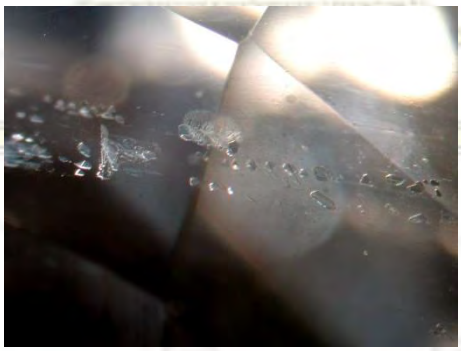
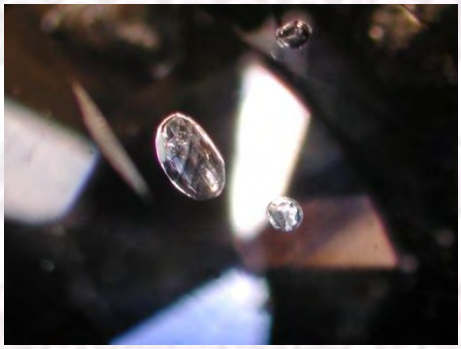
มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Fingerprint fingerprint ซึ่งเป็นของเหลวในแซฟไฟร์ธรรมชาติไม่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		แซฟไฟร์จากพม่า ที่มา: http://gemologyproject.com
Fingerprint fingerprint ซึ่งเป็นของเหลวในแซฟไฟร์ธรรมชาติไม่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		แซฟไฟร์จากพม่า ที่มา: http://gemologyproject.com

Fingerprint แซฟไฟร์ธรรมชาติไม่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		แซฟไฟร์จากมาดากัสการ์ ที่มา: http://gemresearch.ch/inclusion-gallery/
Fingerprint มลทิน Fingerprint นั้นอาจเป็นของเหลว 2 สถานะได้ จากภาพเป็นแซฟไฟร์ธรรมชาติไม่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		แซฟไฟร์จากพม่า ที่มา: http://gemresearch.ch/inclusion-gallery/
Fingerprint Fingerprint ลักษณะคล้ายขนนก		แซฟไฟร์จากโมกอก พม่า กำลังขยาย 70 เท่า ที่มา: http://www.pillarandstone.com/inclusion.html

2. Crystals – มลทินแร่ของแข็งหลากหลายรูปร่างและขนาด อาจใสหรือทึบแสงภายในเนื้อแซฟไฟร์ เกิดขึ้นพร้อมกับขณะที่ผลึกแซฟไฟร์เจริญเติบโต ผลึกที่มักพบในแซฟไฟร์ ได้แก่ ฮีมาไทต์ เซอร์คอน สปิเนล แคลไซต์ และไมก้า[25]

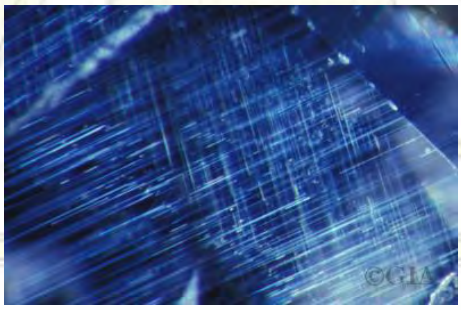
ตารางที่ 2.14 มลทิน Crystal ในไพลิน

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Crystals ผลึกขนาดเล็กของแซฟไฟร์ธรรมชาติไม่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		แซฟไฟร์จากแคชเมียร์ กำลังขยาย 70 เท่า ที่มา: http://www.pillarandstone.com/inclusion.html

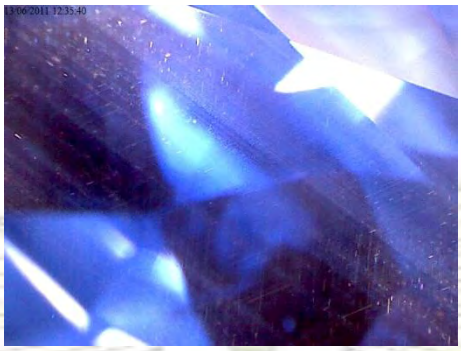
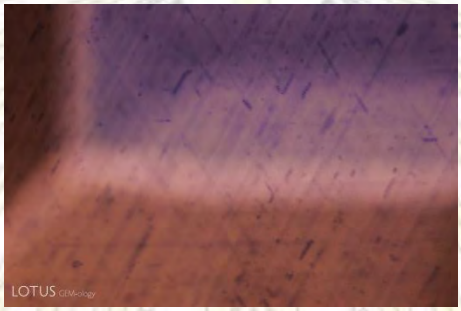
Crystals มลทินผลึกแร่สปิเนลในแซฟไฟร์จากธรรมชาติ ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ		แซฟไฟร์จากศรีลังกา กำลังขยาย 25 เท่า ที่มา: http://www.ruby-sapphire.com/r-s-bk-ch5.htm
Crystals ผลึกรูไทล์ (สีส้ม) ในแซฟไฟร์ธรรมชาติ		แซฟไฟร์จากรัฐมอนแทนา สหรัฐอเมริกา กำลังขยาย 25 เท่า ที่มา: http://www.ruby-sapphire.com/r-s-bk-ch5.htm
Crystals ผลึกที่มีลักษณะมลทินคล้ายดาวหางอยู่ติดกัน		แซฟไฟร์จากแคชเมียร์ ที่มา: http://gemresearch.ch/inclusion-gallery/
Crystals ผลึกรูปร่างกลมของแคลไซต์ในแซฟไฟร์ธรรมชาติไม่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		แซฟไฟร์จากพม่า ที่มา: http://gemologyproject.com
Crystals ผลึกกลมซึ่งมักเป็นแร่แคลไซต์พบในแซฟไฟร์ธรรมชาติ ไม่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		แซฟไฟร์จากพม่า ที่มา: http://gemologyproject.com

3. **Silk** – ในคอรันดัมประกอบไปด้วยเส้นใยละเอียดของแร่รูไทล์ (rutile) หรืออาจเป็นแร่อื่นๆ มีลักษณะเป็นเส้นสั้นๆ เรียวเล็ก ซึ่งเรียงตัวตัดกันในในระนาบ 2 มิติทำมุมตัดกันประมาณ 60°/120° มลทินนี้สามารถใช้เป็นสิ่งยืนยันได้ว่าเป็นแซฟไฟรจากธรรมชาติที่ไม่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ แต่อย่างไรก็ตามแซฟไฟร์ทุกเม็ดไม่จำเป็นต้องมีมลทิน silk หากแซฟไฟร์ถูกเผาปรับปรุงคุณภาพ เส้นไหมจะสลายตัว มลทินจะมีลักษณะเป็นจุดเล็กๆต่อกันหรืออาจฟุ้งกระจายออกเนื่องจากการละลายของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) จากผลึกแร่รูไทล์[17,20,26]

ตารางที่ 2.15 มลทิน Silk ในไพลิน

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Silk เส้นเข็มแร่รูไทล์ในแซฟไฟร์ธรรมชาติ		แซฟไฟร์จากพม่า กำลังขยาย 21 เท่า ที่มา: http://www.pillarandstone.com/inclusion.html
Silk เส้นเข็มรูไทล์ที่ยังคงความชัดเจน บ่งบอกว่าเป็นแซฟไฟร์ธรรมชาติไม่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		ที่มา : http://buygemstone.info
Silk เส้นเข็มรูไทล์ที่ยังไม่สลายตัวในแซฟไฟร์ธรรมชาติไม่เผาปรับปรุงคุณภาพ สีเหลือบรุ้งนี้เกิดจากการใช้ใยแก้วนำแสงเป็นแหล่งกำเนิดแสง		แซฟไฟร์จากศรีลังกา ที่มา: http://Apsara.co.uk

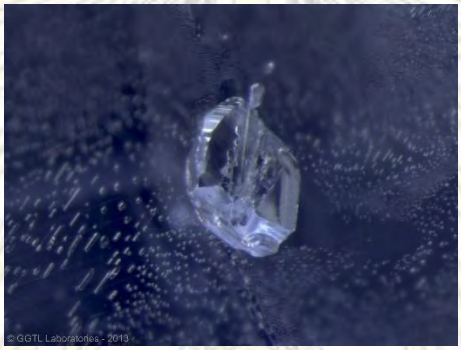
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Silk เส้นเข็มรูไทล์บริเวณบนซ้ายและล่างขวาของภาพ บ่งบอกว่าแซฟไฟร์นั้นไม่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		ที่มา: http://weldons.ie/sapphire-inclusions/
Silk (Heat treated sapphire) เส้นเข็มรูไทล์ที่ถูกความร้อนสูง ไทเทเนียมจากรูไทล์จะละลายออกมา และทำปฏิกิริยากับเหล็กทำให้เกิดสีน้ำเงินเข้มกว่าบริเวณรอบๆ		แซฟไฟร์จากศรีลังกา (ซีลอน) ที่มา: http://lotusgemology.com
Silk (Heat treated sapphire) เส้นเข็มที่มีสีน้ำเงินเข้มกระจายอยู่ล้อมรอบ เกิดจากการละลายของไทเทเนียมไดออกไซด์ในแร่รูไทล์บ่งบอกว่าเป็นแซฟไฟร์ที่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		แซฟไฟร์จากศรีลังกา (ซีลอน) ที่มา: http://www.lotusgemology.com

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. **Voids (negative crystals)** - ผลึกกลวงใสซึ่งเป็นโพรงหรือช่องว่างภายในอัญมณี มีรูปร่างคล้ายคลึงกับผลึกแร่ทั่วไป ซึ่งภายในอาจเป็นแก๊สหรือของเหลว หรือทั้งแก๊สและของเหลวรวมกันเป็นมลทิน 2 สถานะ (2-phase inclusion) มลทินนี้อาจเรียกว่า “Included crystals” [20]

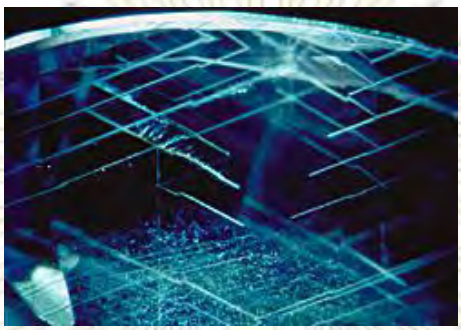
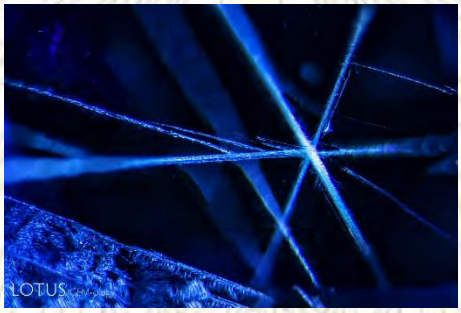
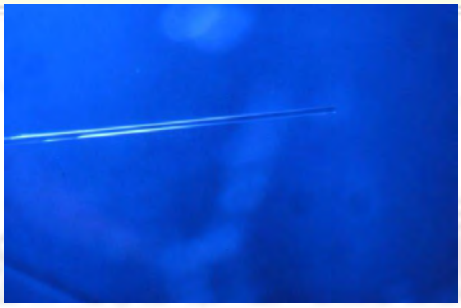
ตารางที่ 2.16 มลทิน Voids (negative crystals) ในไพลิน

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Voids (negative crystals) ผลึกกลวงที่ไม่ถูกทำลายในแซฟไฟร์ธรรมชาติไม่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		แซฟไฟร์จากมาดากัสการ์ ที่มา: http://buygemstone.info
Voids (negative crystals) ผลึกกลวงซึ่งภายในมีฟองแก๊สคาร์บอนไดอกไซด์ที่ยังไม่ถูกทำลาย บ่งบอกว่าไม่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		แซฟไฟร์จากโมกอก พม่า ที่มา: http://www.lotusgemology.com

5. **Needles** – มลทิน Needles มีลักษณะเป็นเส้นเรียวซึ่งอาจเป็นผลึก หรือเป็นท่อกลวงที่ภายในบรรจุแก๊สหรือของเหลว เรียกว่า Growth tubes โดยทั่วไปมักพบเรียงอยู่เพียงทิศทางเดียว น้อยครั้งจะพบเรียงในระนาบทั้ง 2 หรือ 3 มิติ มลทิน Needles เป็นสิ่งหนึ่งที่ยืนยันได้ว่าทับทิมนั้นเป็นทับทับจากธรรมชาติและไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ Needles มักถูกสับสนกับ Silk แต่สังเกตได้จากลักษณะของเส้นเข็ม ซึ่ง Needles จะมีลักษณะยาวเรียวอาจพบเพียงเส้นเดียว หรือหลายเส้นในระนาบ 2 หรือ 3 มิติใน ขณะที่ Silk เส้นเข็มจะเล็กละเอียดมีจำนวนมากและเรียงตัดกันที่ 60/120 องศา[27]

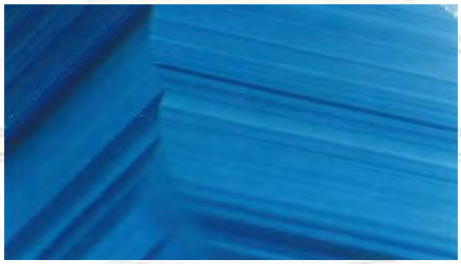
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

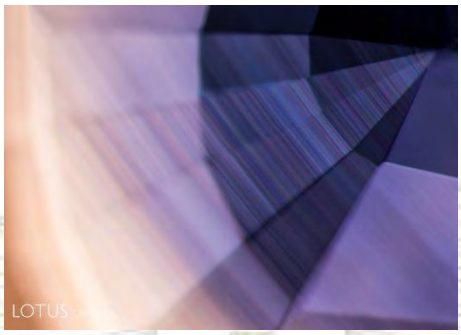
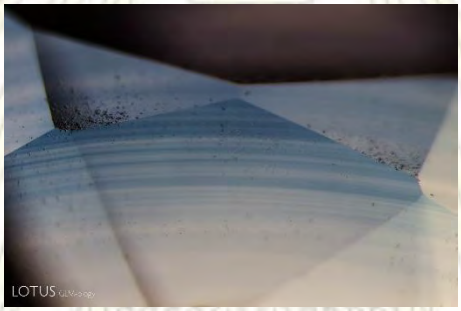
ตารางที่ 2.17 มลทิน Needles ในไพลิน

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Needles มลทินเส้นเข็มแร่เบอห์ไมต์ (boehmite) ในแซฟไฟร์		ที่มา: http://www.ruby-sapphire.com/r-s-bk-ch5.htm
Needles มลทินเส้นเข็มแร่เบอห์ไมต์ (boehmite) ตัดกันในแซฟไฟร์น้ำเงิน		แซฟไฟร์จากโมกอก พม่า ที่มา: http://www.lotusgemology.com
Needles มลทินเส้นเข็มเดี่ยวสีขาวในแซฟไฟร์ธรรมชาติ ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ		แซฟไฟร์จากพม่า ที่มา: http://www.lotusgemology.com
Needles เส้นเข็มยาวซึ่งเป็นแร่เซอร์คอน (zircon) ในแซฟไฟร์ธรรมชาติ		แซฟไฟร์จากแคชเมียร์ ที่มา: http://www.gemresearch.ch/kashmir/kashmir107.htm
Needles เส้นเข็มสีเขียวยาวของแร่พาร์กาไซต์ (pargasite) ซึ่งพบไม่บ่อยนักในแซฟไฟร์		แซฟไฟร์จากโมกอก พม่า ที่มา: http://www.lotusgemology.com

6. **Growth zoning –** มลทินมีลักษณะเป็นแถบหรือเส้น ที่มีสีเข้มและอ่อนสลับกันเป็นชั้นๆ เกิดจากการเจริญเติบโตของผลึกอัญมณีตามธรรมชาติ คล้ายกับวงปีที่แสดงถึงการเจริญเติบโตของต้นไม้ ต่างกันที่การเจริญเติบโตของผลึกอัญมณีธรรมชาติจะไม่เป็นลักษณะเส้นโค้ง แต่จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่หักมุมและขนานไปตามด้านที่ผลึกอัญมณีเติบโตเรียกว่า Angular growth zoning อาจเป็นแถบหนาหรือบางก็ได้ มลทินนี้สามารถทำให้แยกอัญมณีธรรมชาติออกจากอัญมณีสังเคราะห์ได้ เนื่องจากอัญมณีสังเคราะห์ผลึกจะเติบโตไม่เป็นเส้นตรง แต่เป็นเส้นโค้งตลอดเรียกว่า Curved striae จากวิธีการสังเคราะห์แบบ Verneuil หรือ Czochralski ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเจนจากกล้องจุลทรรศน์[20,28]

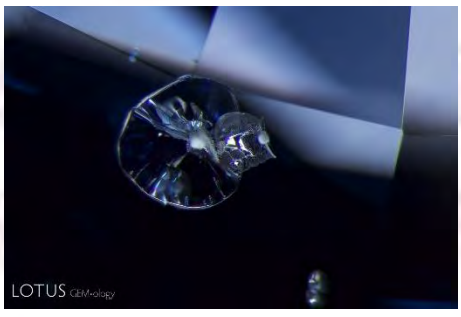
ตารางที่ 2.18 มลทิน Growth zoning ในไพลิน

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Growth zoning Angular growth zoning ที่มีลักษณะหักมุมตามด้านที่ผลึกเจริญเติบโตในแซฟไฟร์ธรรมชาติ		แซฟไฟร์จากออสเตรเลีย ที่มา: http://www.ruby-sapphire.com/r-s-bk-ch5.htm
Growth zoning Angular growth zoning ในแซฟไฟร์ธรรมชาติ		แซฟไฟร์จากเวียดนาม ที่มา: http://gemresearch.ch
Growth zoning Angular growth zoning ในแซฤไฟร์ธรรมชาติ		แซฟไฟร์จากมาดากัสการ์ ที่มา: http://www.lotusgemology.com/

Growth zoning Angular growth zoning ที่มีลักษณะเส้นที่เล็ก คมชัดในแซฟไฟร์ธรรมชาติ ซึ่งช่วยแยกแซฟไฟร์ธรรมชาติออกจากแซฟไฟร์สังเคราะห์ได้		แซฟไฟร์จากมาดากัสการ์ ที่มา: http://www.lotusgemology.com
Growth zoning **(Synthetic)** เส้นโค้งจากการโตของผลึกแซฟไฟร์สังเคราะห์		ที่มา: http://www.gia.edu
Growth zoning **(Synthetic)** เส้นโค้งและฟองอากาศจากแซฟไฟร์สังเคราะห์โดยวิธี flame fusion (verneuil)		ที่มา: http://www.lotusgemology.com
Growth zoning **(Synthetic)** เส้นโค้งในแซฟไฟร์สังเคราะห์แบบ flame fusion (verneuil) จากภาพแซฟไฟร์ถูกแช่ในเมทิลีนไอโอไดด์		ที่มา: http://www.lotusgemology.com
Growth zoning **(Synthetic)** เส้นโค้งและฟองอากาศมักในแซฟไฟร์สังเคราะห์		ที่มา: http://www.ngi.com.sg/gallery.html

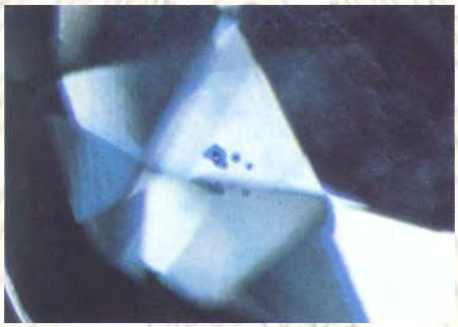
7. Halos (heat treated sapphire) – มลทินมีลักษณะเป็นผลึกที่มีรอยแตกทรงกลม มันวาวคล้ายแก้วล้อมรอบ ซึ่งเกิดจากการละลายและขยายตัวของผลึกเมื่อถูกความร้อนจากการเผา บางครั้งผลึกตรงกลางมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปคล้ายลูกหิมะ (snowball-like) หลังได้รับความร้อนสูง[20]

ตารางที่ 2.19 มลทินใน Halos ไพลิน

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Halos (heat treated sapphire) รอยแตกทรงกลมวาวใส และผลึกแกนกลางที่เปลี่ยนแปลงไปมีลักษณะคล้ายลูกหิมะเนื่องจากการเผาปรับปรุงคุณภาพ		ที่มา: http://buygemstone.info/tag/color-zoning/
Halos (heat treated sapphire) มลทินคล้ายลูกหิมะบริเวณแกนกลางและรอบแตกวาวใสรอบๆ บ่งบอกว่าผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		ที่มา: http://www.ngi.com.sg/gallery.html
Halos (heat treated sapphire) รอยแตกลักษณะวาวใสคล้ายแก้วล้อมรอบผลึกที่ละลายของแซฟไฟร์ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ		แซฟไฟร์จากไนจีเรีย ที่มา: http://www.lotusgemology.com
Halos (heat treated sapphire) ผลึกที่เปลี่ยนแปลงไปคล้ายลูกหิมะและรอยแตกวาวใสคล้ายแก้วล้อมรอบผลึก		แซฟไฟร์จากศรีลังกา (ซีลอน) ที่มา: http://www.lotusgemology.com

8. **Internal diffusion (Heat treated sapphire)** – ลักษณะมลทินเป็นผลึกที่มีแผ่นหมอกสีฟ้าเข้มแพร่กระจายอยู่รอบ ๆ เกิดจากผลึกแร่รูไทล์ (rutile) เฮมาไทต์ (hematite) หรือ อิลเมไนต์ (ilmenite) ที่อยู่ในแซฟไฟร์ได้รับความร้อนสูงจากการเผา และละลายให้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ซึ่งไทเทเนียมไอออน (Ti^{4+}) นี้จะรวมกับเหล็กไอออน (Fe^{2+}) ที่อยู่ในเนื้อแซฟไฟร์ เกิดเป็นคู่ Fe^{2+} - Ti^{4+} แลกเปลี่ยนประจุกัน (charge transfer) จึงทำให้เกิดสีฟ้าเข้มรอบผลึกรูไทล์[29]

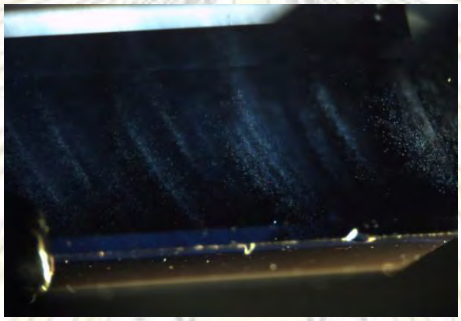
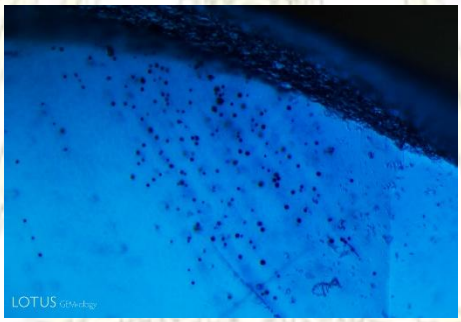
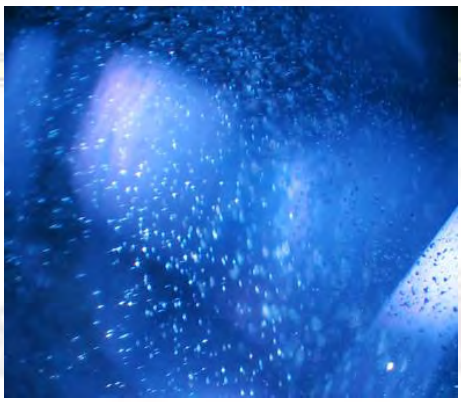
ตารางที่ 2.20 มลทิน Internal diffusion ในไพลิน

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Internal diffusion กลุ่มผลึกของแร่อิลเมไนต์ (ilmenite) ล้อมรอบด้วยมลทิน internal diffusion ในลักษณะคล้ายหมอกสีฟ้า		กำลังขยาย 45 เท่า แซฟไฟร์จากรัฐมอนแทนา สหรัฐอเมริกา ที่มา: Koivula, J.I. Internal diffusion. Journal of Gemmology. 1987, 20, 474-477
Internal diffusion กลุ่มผลึกของแร่รูไทล์ (rutile) ล้อมรอบด้วยมลทิน internal diffusion ลักษณะคล้ายเป็นทรงกลมล้อมรอบ		แซฟไฟร์จากรัฐมอนแทนา สหรัฐอเมริกา ที่มา: http://www.gia.edu/gem-inclusion-insight

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9. Gas bubbles (Synthetic blue sapphire) – มลทินกลุ่มฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งฟองอากาศนั้นอาจจะเป็นทรงกลมหรือไม่ก็ได้ และมักพบในคอรันดัมสังเคราะห์ บางครั้งรวมกลุ่มหนาแน่นคล้ายหมอก[24]

ตารางที่ 2.21 มลทิน Gas bubbles ในไพลิน

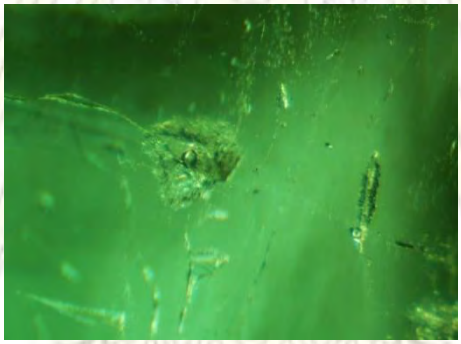
มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Gas bubbles (Synthetic) กลุ่มฟองอากาศขนาดเล็กมากมายรวมตัวกันมองเห็นเป็นแถบโค้งเกิดจากการสังเคราะห์โดยวิธี Flame fusion (verneuil)		ที่มา: http://gemologyproject.com/wiki/index.php?title=File:Verneuil_saph.jpg
Gas bubbles (Synthetic) จุดฟองอากาศขนาดเล็กมองเห็นเป็นสีน้ำเงินเข้มมักพบในแซฟไฟร์สังเคราะห์วิธี Flame fusion (verneuil)		ที่มา: http://www.lotusgemology.com
Gas bubbles (Synthetic) กลุ่มฟองก๊าซขนาดเล็กมากมาย มองเห็นคล้ายหมอก		ที่มา: http://university.langantiques.com/index.php/Flame_Fusion

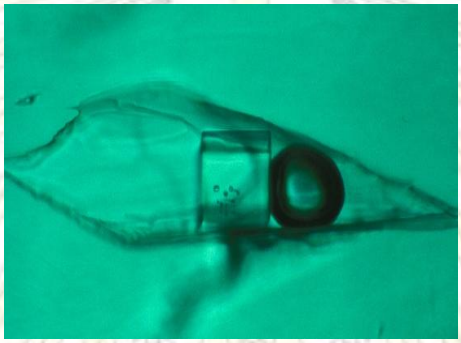
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.3 มลทินในมรกต (Inclusion in emerald)

1. **Fluid inclusion** – ช่องกลวงรูปร่างต่างๆ ที่อาจประกอบด้วยผลึกแร่ ของเหลว หรือก๊าซอยู่ภายในช่องกลวง มักพบในมรกต แบ่งเป็น 3 แบบ คือ 1. มลทินหนึ่งสถานะ (single-phase) พบเพียงของเหลวหรือก๊าซในช่องกลวง 2. มลทินสองสถานะ (two-phase) พบของเหลวกับก๊าซหรือของเหลวกับผลึกในช่องกลวง 3. มลทินสามสถานะ (three-phase) พบทั้งก๊าซ ของเหลวและผลึก fluid inclusion เป็นมลทินที่พบได้บ่อยและเป็นเอกลักษณ์ของมรกต อย่างไรก็ตาม มลทินสองสถานะ (two-phase) อาจพบได้ในมรกตสังเคราะห์ จำเป็นต้องพิจรณามลทินอื่นประกอบ[20,30,31]

ตารางที่ 2.22 มลทิน Fluid inclusion ในมรกต

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Fluid inclusion (Two-phase) มลทิน 2 สถานะ ฟองแก๊สกลมในช่องกลวงซึ่งอาจเป็นผลึกหรือของเหลว		ที่มา: http://lotusgemology.com/index.php/library/articles/298-emeralds-from-russia-a-closer-look
Fluid inclusion (Two-phase) มลทินของเหลว 2 สถานะ ประกอบด้วยน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์		ทับทิมจากแซมเบีย กำลังขยาย 100 เท่า ที่มา: Seifert, A.S.; Vrána, S. Emeralds from the Kafubuarea,Zambia. Gems and Gemology. 2005, 41, 116-148.
Fluid inclusion (Three-phase) มลทิน 3 สถานะ มีลักษณะค่อนข้างหนา ประกอบด้วยฟองก๊าซและผลึกอยู่ในช่องที่บรรจุด้วยของเหลว		มรกตจากโคลัมเบีย ที่มา: Newman, R. Ruby, Sapphire & Emerald Buying Guide. 2th ed.; International Jewelry Publications: Singapore, 2002; pp 67-72.

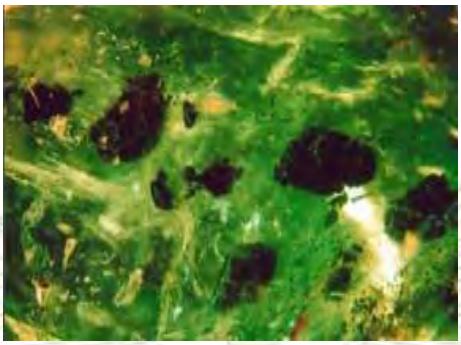
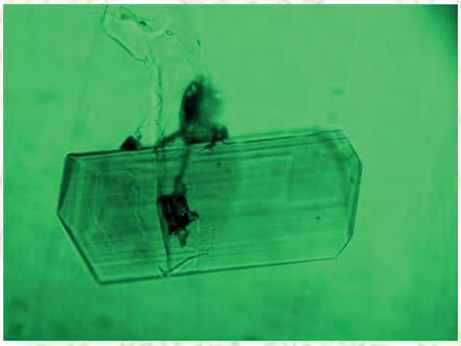
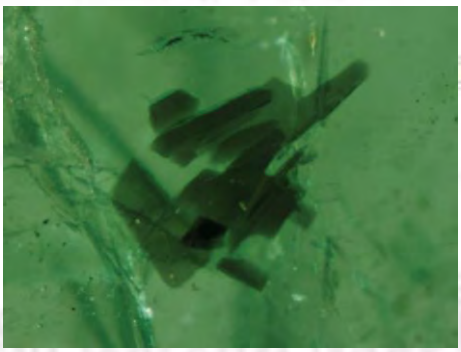
Fluid inclusion (Three-phase) มลทิน 3 สถานะ ลักษณะบางประกอบด้วยของเหลว ฟองก๊าซและผลึก		ที่มา: Newman, R. Ruby, Sapphire & Emerald Buying Guide. 2th ed.; International Jewelry Publications: Singapore, 2002; pp 67-72.
Fluid inclusion (Three-phase) มลทิน 3 สถานะ ฟองก๊าซและผลึกขนาดใหญ่ในช่องของเหลว		ที่มา: http://trangsucvn.com/article-373-dau-hieu-cua-bao-the-da-quy.html

2. Crystals – มลทินซึ่งเป็นแร่ของแข็งหลากหลายขนาดและรูปร่างอยู่ในเนื้ออัญมณี มีตั้งแต่ผลึกขนาดใหญ่อยู่โดดเดี่ยวหรือผลึกขนาดเล็กอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก็ได้[20]

ตารางที่ 2.23 มลทิน Crystal ในมรกต

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Crystals มลทินผลึกแร่อะพาไทต์ (apatite) ในมรกต		ที่มา: www.geminterest.com

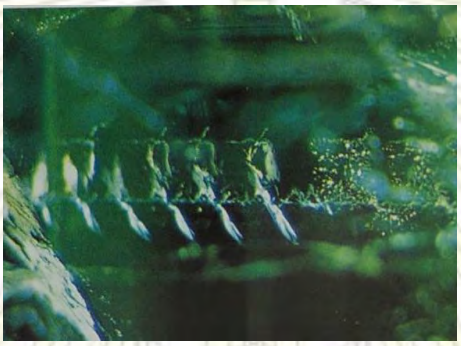
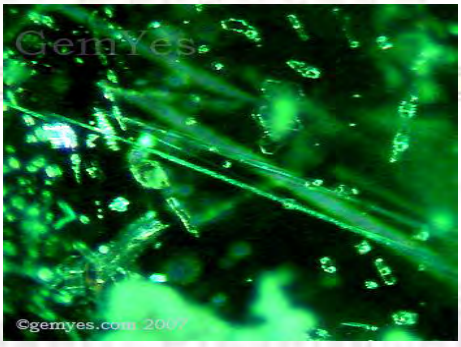
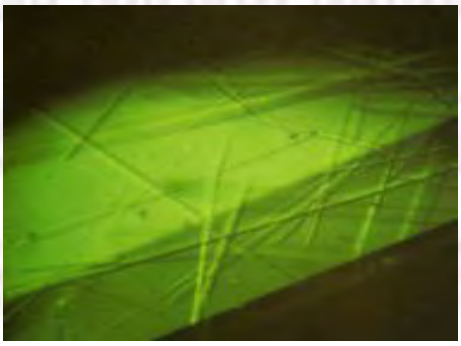
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Crystals มลทินผลึกแร่ไมก้า (mica) ในมรกต		มรกตจากบราซิล ที่มา: http://skywalker.cochise.edu/wellerr/students/emeralds-inc/emerald.htm
Crystals มลทินทรงสี่เหลี่ยมสีเหลือบเหลืองแร่ไพไรต์ (pyrite) ในมรกต		ที่มา: http://dupuisblog.com/inclusions-gems/
Crystals มลทินผลึกแร่ทัวร์มาลีน (tourmaline) ในมรกต		ที่มา: http://www.palagems.com/gem_news_2010_v1.php
Crystals มลทินผลึกแร่ฟลอโกไพท์ (phlogopite)		มรกตจากแซมเบีย กำลังขยาย 80 เท่า ที่มา: Zwaan, J. C.; Seifert, A.V.; Vrána, S. Emeralds from the Kafubu area, Zambia. Gems and Gemology. 2005, 41, 116-148

คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

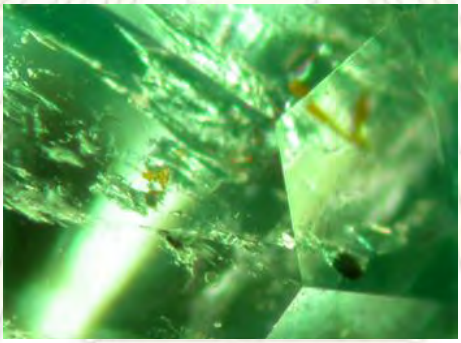
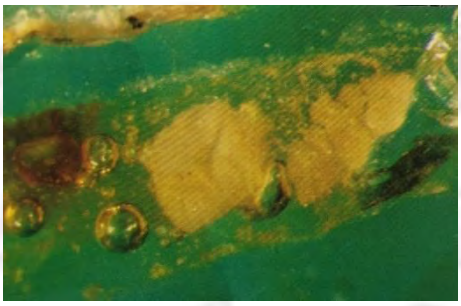
3. Needle - มลทินมีลักษณะเป็นเส้นเรียวยาวซึ่งอาจเป็นผลึก หรือเป็นท่อกลวงที่ภายในบรรจุแก๊สหรือของเหลว เรียกว่า Growth tubes เส้นเข็มอาจเรียวงตัวในลักษณะไขว้ตัดกัน บางครั้งเป็นเส้นโค้ง[20]

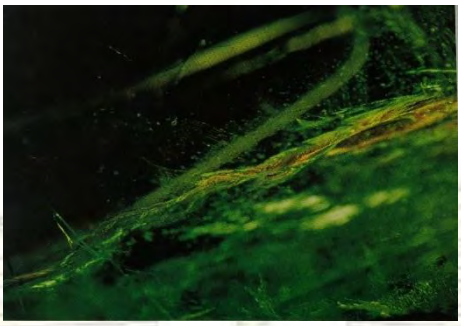
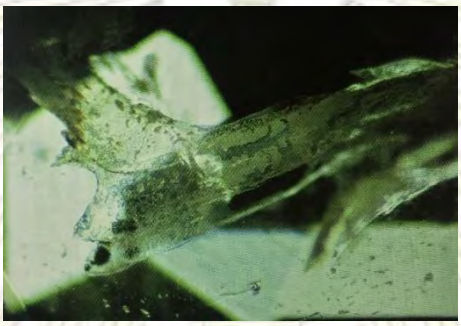
ตารางที่ 2.24 มลทิน Needle ในมรกต

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Needle มลทินเส้นเข็มเดี่ยวล้อมรอบด้วยของเหลวลักษณะขดเกลียวทรงกลม		มรกตจากโคลัมเบีย ที่มา: Newman, R. Ruby, Sapphire & Emerald Buying Guide. 2th ed.; International Jewelry Publications: Singapore, 2002; pp 67-72.
Needle มลทินเส้นเข็มเรียงตัวขนานกันในทิศทางเดียว		ที่มา: Saeseaw, S.; Pardieu, V.; sangsawong, S. Three-Phase Inclusions in Emerald and Their Impact on Origin Determination. Gems and Gemology. 2014, 50, 114-132
Needle มลทินเส้นเข็ม ล้อมรอบด้วยมลทินของเหลว 3 สถานะผลึกกลวง ผลึกแร่แอกทิโนไลต์ (Actinolite) และอะพาไทต์ (Apatite)		ที่มา: http://www.gemyes.com/ViewGemology.php?imgID=113;&%20ad=emerald.html
Needle มลทินเส้นเข็มผลึกแร่ทรีโมไลต์ (tremolite)		มรกตจากซิมบับเว ที่มา: http://www.suwagem.com/dictionary/quality/book1-8/3.html

4. **Emerald filling (Treated emerald)** – มรกตเป็นอัญมณีที่มีตำหนิรอยแตกร้าวภายในมาก จึงนิยมนำไปแช่น้ำมัน (Oiling) ที่มีดัชนีหักเห (R.I.) ใกล้เคียงกับมรกต (ประมาณ 1.568 - 1.590) ในเพื่อปกปิดรอยร้าวและทำให้มรกตดูใสขึ้น นิยมใช้น้ำมันไม้ซีดาห์ (cedarwood oil) ซึ่งมีค่าดัชนีหักเหใกล้เคียงกับมรกตมากที่สุด โดยทั่วไปเป็นวิธีที่ยอมรับได้ แต่ต้องเป็นน้ำมันใสเท่านั้น หากใช้น้ำมันสีเขียวจะถือว่าเป็นการหลอกลวง อย่างไรก็ตามการแช่น้ำมันอยู่ได้เพียงชั่วคราวเนื่องจากน้ำมันอาจหลุดออกหรือระเหยได้ ต่อมาจึงการใช้เรซิน (Resin) และ Wax เข้ามาแทนที่น้ำมันเพราะว่าอยู่ได้ทนทานกว่า แต่ไม่เป็นที่ยอมรับนัก มลทินที่มักพบได้แก่ ตำหนิสีเหลืองหรือส้มในรอยแตกร้าว มลทินลักษณะเศษก้อนและฟองอากาศ[20,32]

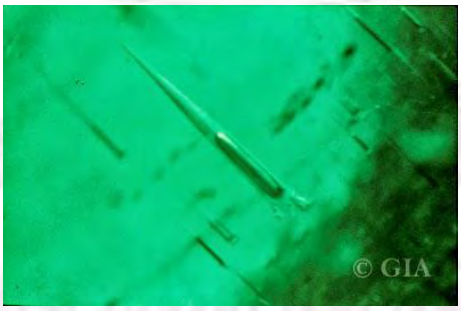
ตารางที่ 2.25 มลทิน Emerald filling ในมรกต

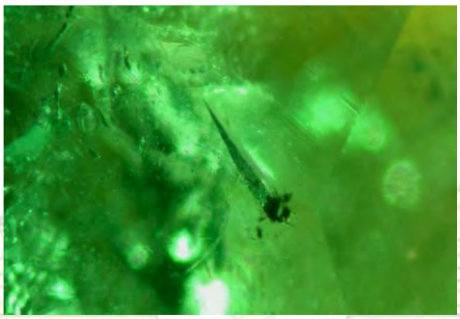
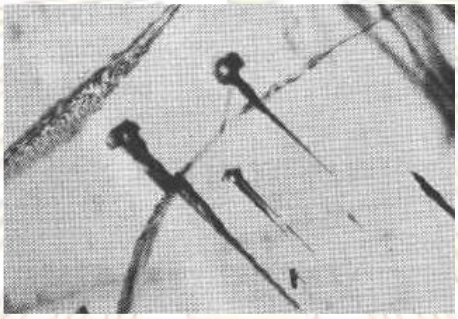
มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Emerald filling (Treated emerald) มลทินสีเหลืองของน้ำมันที่ซึมเข้าไปในเนื้อมรกต		มรกตจากโคลัมเบีย ที่มา: http://www.gemologyonline.com/emerald_inclusions.html
Emerald filling (Treated emerald) มลทินลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มรุ้งในรอยร้าวของมรกตและมลทินในลักษณะแตกแขนงที่ริมของฟิล์มน้ำมัน		ที่มา: Newman, R. Ruby, Sapphire & Emerald Buying Guide. 2th ed.; International Jewelry Publications: Singapore, 2002; pp 93-133.
Emerald filling (Treated emerald) มลทินเศษก้อนสีเหลืองและฟองอากาศในรอยร้าวที่เติมด้วยเรซิน (resin)		ที่มา: Newman, R. Ruby, Sapphire & Emerald Buying Guide. 2th ed.; International Jewelry Publications: Singapore, 2002; pp 93-133.

Emerald filling (Treated emerald) มลทินสีเหลือบส้มเหลืองของเรซิน (resin) ในรอยร้าวของมรกต		ที่มา: Newman, R. Ruby, Sapphire & Emerald Buying Guide. 2th ed.; International Jewelry Publications: Singapore, 2002; pp 93-133.
Emerald filling (Treated emerald) น้ำมันในรอยร้าวของมรกตระเหยออก ทิ้งร่องรอยเศษก้อนเล็ก ๆ ไว้ ซึ่งต้องนำไปเติมน้ำมันซ้ำ		ที่มา: Newman, R. Ruby, Sapphire & Emerald Buying Guide. 2th ed.; International Jewelry Publications: Singapore, 2002; pp 93-133.

5. Nail-head spicule – มลทินลักษณะคล้ายกรวยเรียวยาวหรือลิ่ม ภายในเป็นมลทิน 2 สถานะ (ของเหลวและก๊าซ) หรืออาจเป็นผลึกกลวง เกิดจากมลทินผลึกเล็กๆ มักเป็นผลึกเพนาไคต์ (phenakite), เบริล (beryl), คริโซเบริล (chrysoberyl) เป็นต้น ขัดขวางการเจริญเติบโตของผลึกมรกตทำให้เกิดช่องวางในลักษณะส่วนหัวที่ติดกับผลึกจะกว้างที่สุดและค่อย ๆ เรียวเล็กลง พบในมรกตสังเคราะห์ทั้งแบบ Hydrothermal และ Flux และมักพบใกล้กับมลทิน Platelets[33]

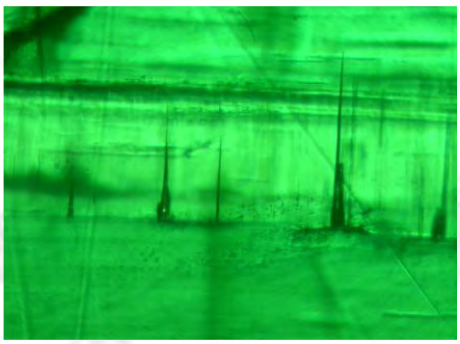
ตารางที่ 2.26 มลทิน Nail-head spicule ในมรกต

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Nail-head spicule (Synthetic emerald) มลทิน Nail-head spicule ในมรกตสังเคราะห์แบบ Hydrothermal		กำลังขยาย 80 เท่า ที่มา: Choudhary, G.; Golecha, C. A Study of Nail-head Spicule Inclusions in Natural Gemstones. Gems and Gemology. 2007, 43, 228-235

Nail-head spicule (Synthetic emerald) มลทิน Nail-head spicule ในมรกตสังเคราะห์แบบ Flux		กำลังขยาย 60 เท่า ที่มา: Choudhary, G.; Golecha, C. A Study of Nail-head Spicule Inclusions in Natural Gemstones. Gems and Gemology. 2007, 43, 228-235
Nail-head spicule (Synthetic emerald) มลทินมีลักษณะคล้ายตะปูด้านหัวเป็นผลึกต่อด้วยหางช่องว่าง ในมรกตสังเคราะห์แบบ Flux		กำลังขยาย 150 เท่า ที่มา: Flanigen, E.M.; Breck, D.W.; Mumbach, N.R.; Taylor, A.M. Characteristics of Synthetic Emeralds. The American Mineralogist. 1967, 52, 744-772

อย่างไรก็ตามมลทิน Nail-head spicule อาจพบได้ในมรกตธรรมชาติ แต่มีลักษณะแตกต่างกับในมรกตสังเคราะห์อย่างชัดเจน คือ ในมรกตธรรมชาติด้านหัวของมลทินหลาย ๆ จุด จะอยู่ในแนวเส้นเดียวกัน เรียงไปในทิศทางเดียวและขนานกัน ในขณะที่มรกตสังเคราะห์ทิศทางของมลทินจะไม่เรียงอยู่ในแนวเส้นเดียวกันและอาจเรียงไปในทิศทางใดก็ได้[33]

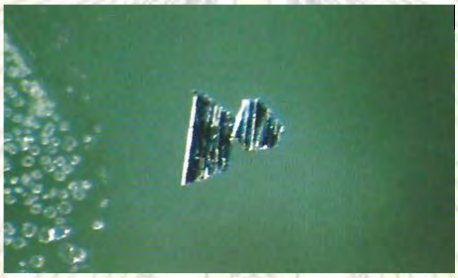
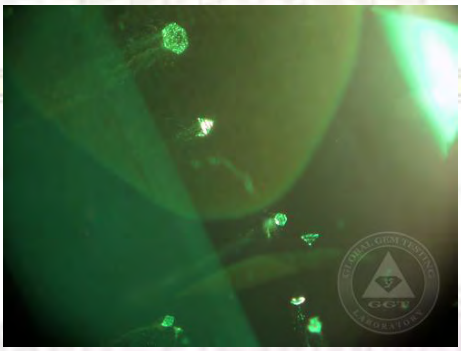
ตารางที่ 2.27 มลทิน Nail-head spicule ในมรกตธรรมชาติ

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Nail-head spicule (Natural) มลทิน Nail-head spiculeที่มีลักษณะส่วนหัวอยู่ในแนวเดียวกันพบในมรกตจากธรรมชาติ		ที่มา: Choudhary, G.; Golecha, C. A Study of Nail-head Spicule Inclusion in Natural Gemstones. Gems and Gemology. 2007, 43, 228-235

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. Platelets – มลทินมีลักษณะเป็นเกล็ดทึบมันเงาสีเงินขนาดเล็ก เกิดจากการสังเคราะห์มรกตแบบ Flux มักเป็นเกล็ดของแพลทินัม (platinum) ซึ่งมาจากเตาที่ใช้หลอมวัตถุดิบ มีความแข็งประมาณ 4-4.5 โมส์สเกล[34]

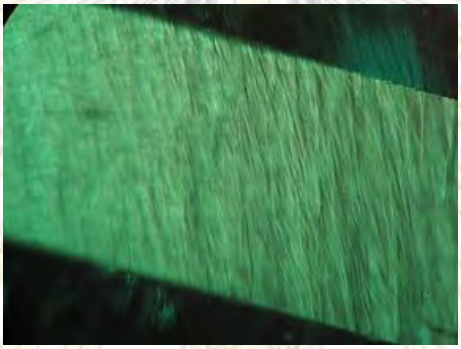
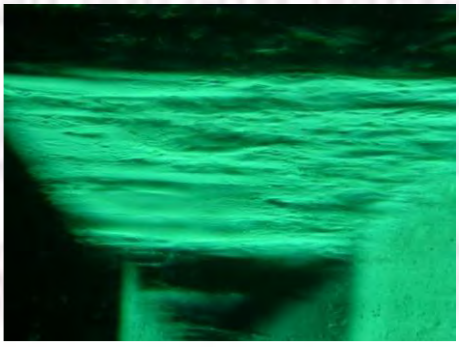
ตารางที่ 2.28 มลทิน Platelets ในมรกต

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Platelets (Synthetic emerald) มลทิน platelets ลักษณะเป็นเกล็ด ซึ่งอาจเป็นแพลทินัม (platinum) พบในมรกตสังเคราะห์แบบ Flux		กำลังขยาย 50 เท่า ที่มา: Koivula, J.I.; Keller, P.C. Russian Flux-Grown Synthetic Emeralds. Gems and Gemology. 1985, 79-85
Platelets (Synthetic emerald)		ที่มา: http://www.ngi.com.sg/gallery.html
Platelets (Synthetic emerald) มลทิน Platelets ซึ่งเป็นแพลทินัม (Platinum)		ที่มา: http://www.bloggang.com/mainblog.php?id=prakaikaew&month=23-04-2011&group=8&gblog=9

คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

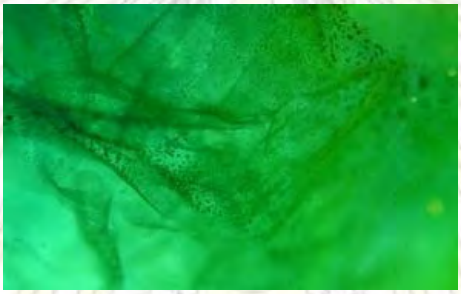
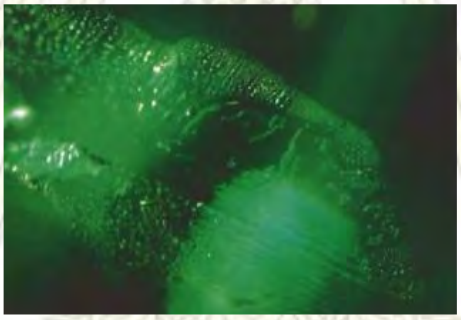
7. **Chevron growth** – มลทินที่เป็นริ้วรอยการเติบโตของผลึกมรกตสังเคราะห์แบบ Hydrothermal มีลักษณะเฉพาะคือเป็นริ้วคล้ายคลื่นหรือตัดกันคล้ายตัว V (chevron growth features) ซึ่งไพบในมรกตธรรมชาติ มลทินนี้สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนผ่านกล้องจุลทรรศน์[35]

ตารางที่ 2.29 มลทิน Chevron growth ในมรกต

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Chevron growth (Synthetic emerald) ริ้วการเจริญเติบโตของผลึกมรกตสังเคราะห์โดยวิธี Hydrothermal		กำลังขยาย 30 เท่า ที่มา: http://www.internationalschoolofgemology.com/Archives/2012/ISG_FOB_Afghanistan.html
Chevron growth (Synthetic emerald) ริ้วการเจริญเติบโตโดยทั่วไปของผลึกมรกตสังเคราะห์โดยวิธี Hydrothermal		กำลังขยาย 60 เท่า ที่มา: http://www.schoolofgemology.com
Chevron growth (Synthetic emerald) มลทินลักษณะเส้นซิกแซกตัว V (chevron growth) เป็นลักษณะที่ไม่พบในมรกตธรรมชาติ		กำลังขยาย 45 เท่า ที่มา: http://www.geminterest.com/inclist.en.php?gem=Emeraude%20synth%E9tique
Chevron growth (Synthetic emerald) ริ้วการเจริญเติบโตโดยทั่วไปของผลึกมรกตสังเคราะห์โดยวิธี Hydrothermal		ที่มา: Choudhary, J. Beryl. Tairus Created Gems. 2008, 51, 1-8.

8. **Fingerprint (Synthetic emerald)** – มลทินที่มีลักษณะคล้ายรอยนิ้วมือหรือผืนตาข่าย (whispy veils) ซึ่งเป็นมลทิน 2 สถานะ (2-phase inclusion) ได้แก่ของแหลวและก๊าซ หรืออาจเป็นตาข่ายขาวทึบ พบในมรกตสังเคราะห์แบบ Flux และ hydrothermal[20,36]

ตารางที่ 2.30 มลทิน Fingerprint ในมรกต

มลทิน (Inclusions)	ภาพถ่ายของมลทิน	หมายเหตุ
Fingerprint (Synthetic emerald) มลทินลักษณะคล้ายตาข่ายในมรกตสังเคราะห์โดยวิธี Flux		ที่มา: http://www.gem-passion.com/synthetic-emerald-necklace
Fingerprint (Synthetic emerald) มลทิน 2 สถานะ (2-phase) ในลักษณะคล้ายตาข่ายของมรกตสังเคราะห์โดยวิธี Hydrothermal		ที่มา: Kane, R.E.; Liddicoat, R.T. The Biron Hydrothermal Synthetic Emerald. Gems and Gemology. 1985, 52, 156-170.
Fingerprint (Synthetic emerald) มลทินขาวขุ่นและลักษณะคล้ายลายนิ้วมือในมรกตสังเคราะห์โดยวิธี Flux		กำลังขยาย 20 เท่า ที่มา: Koivula, J.I.; Keller, P.C. Russian Flux-Grown Synthetic Emeralds. Gems and Gemology. 1985, 79-85

จากตารางมลทินในอัญมณีข้างต้น จะเห็นได้ว่ามลทินในอัญมณีแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะเจาะจงกับแหล่งกำเนิดของอัญมณี และเนื่องจากอัญมณีสังเคราะห์และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีองค์ประกอบทางเคมี กายภาพ และแสง เหมือนอัญมณีธรรมชาติทุกประการ ดังนั้น มลทินภายในจึงมีความสำคัญอย่างมากในการใช้จำแนกอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์ และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านปรับปรุงคุณภาพออกจากกันอย่างถูกต้องและแม่นยำ

บทที่ 3
การทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. อัญมณี ได้แก่ ทับทิม (ruby), ไพลิน (blue sapphire), มรกต (emerald)
   1.1 ทับทิมธรรมชาติ ขนาด 0.24 กะรัต
   1.2 ทับทิมธรรมชาติปรับปรุงคุณภาพ ขนาด 7.53 กะรัต
   1.3 ทับทิมสังเคราะห์ ขนาด 8.43 กะรัต
   1.4 ไพลินธรรมชาติ ขนาด 0.24 กะรัต
   1.5 ไพลินธรรมชาติ ขนาด 9.59 กะรัต
   1.6 ไพลินธรรมชาติปรับปรุงคุณภาพ ขนาด 6.35 กะรัต
   1.7 มรกตสังเคราะห์ ขนาด 4.56 กะรัต
2. คีมหนีบอัญมณี (Stone Holder)
3. เลนส์ (lens) กำลังขยาย 20 เท่า, 40 เท่า และ 50 เท่า
4. สมาร์ทโฟน ยี่ห้อ Apple รุ่น Iphone 6
5. ฐานวางสมาร์ทโฟนแบบปรับความสูงได้
6. ไฟฉายขนาดเล็ก
7. ผ้าชามัวร์ (Chamois)
8. กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1

3.2 หลักการณ์สร้างกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนเพื่อการวิเคราะห์อัญมณี

ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. ค้นคว้า สืบค้นข้อมูลสารสนเทศงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอัญมณี กล้องจุลทรรศน์และสมาร์ทโฟน
2. การออกแบบและสร้างอุปกรณ์
   2.1. คัดเลือกเลนส์ที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ ออกแบบและสร้าง Attachment ที่สามารถยึดติดเลนส์เข้ากับกล้องของสมาร์ทโฟนได้
   2.2. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตัวฐานวางสมาร์ทโฟนให้สามารถเลื่อนขึ้น-ลงได้ง่ายเสมือนปุ่มปรับภาพหยาบของกล้องจุลทรรศน์ห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้ปรับระยะโฟกัส

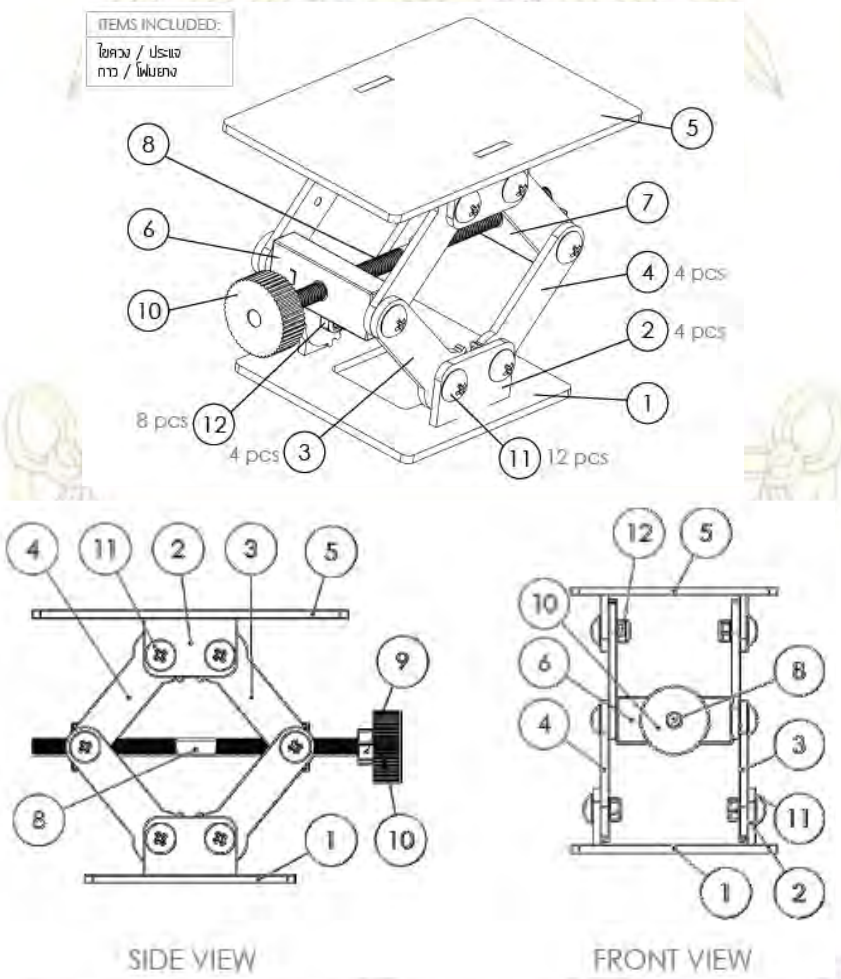
3. การออกแบบกรรมวิธีการถ่ายภาพ

หมุนองศาของอัญมณีและให้ทิศทางของแสง ให้สามารถสังเกตเห็นมลทินในอัญมณีได้ชัดเจนที่สุด และจากการทดลองถ่ายภาพอัญมณีซ้ำโดยให้แสงหลายทิศทาง พบว่าการให้แสงผ่านใต้อัญมณีจะทำให้สังเกตเห็นมลทินได้ชัดเจนที่สุด และการให้แสงแนวเฉียงด้านบนของอัญมณีจะทำให้มองเห็นลักษณะพื้นผิวของอัญมณีได้ชัดเจนที่สุด

4. การรวบรวมรูปและข้อมูลของมลทินในอัญมณีที่ศึกษาเพื่อสร้างเป็นฐานข้อมูล

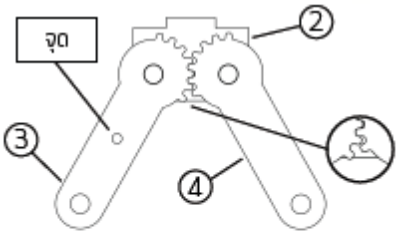
เพื่อเป็นแหล่งให้ความรู้และใช้อ้างอิงข้อมูลมลทินที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลสมาร์ทโฟน เพื่อสามารถระบุชนิดของมลทินในอัญมณีและจำแนกได้ว่าเป็นอัญมณีธรรมชาติ, อัญมณีสังเคราะห์ หรืออัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

3.3 การสร้างกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนเพื่อการวิเคราะห์อัญมณี



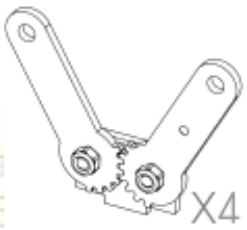
รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของฐานวางสมาร์ทโฟน

วิธีการประกอบฐาน

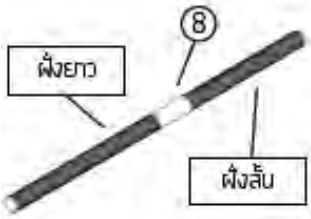


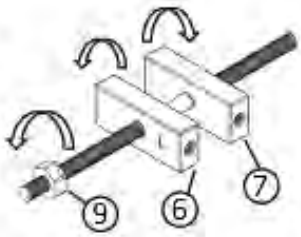
1. ประกอบขา ③④ เข้ากับตัวยึดขา ② โดยขาที่มีจุดตรงกลาง ③ จะคู่กับขาที่ไม่มีจุด ④ และฟันเฟืองของขาที่มีจุด ③ จะอยู่ด้านล่างของขาอีกอัน ④ เสมอ

2. ใส่น็อตตัวผู้ ⑪ ล็อกด้วยน็อตตัวเมีย ⑫ โดยให้ขาทั้งสองยังคงขยับได้ ไม่ฝืด



3. ประกอบขาให้ครบ 4 ชุด

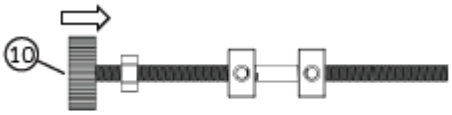




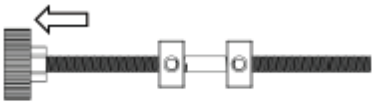
4. หมุนแท่งแบน R ⑦ ตามเข็มนาฬิกา เข้าไปในแกนกลางฝั่งสั้น ⑧ จนสุดเกลียว

5. หมุนแท่งแบน L ⑥ ทวนเข็มนาฬิกา เข้าไปในแกนกลางฝั่งยาว ⑧ จนสุดเกลียว

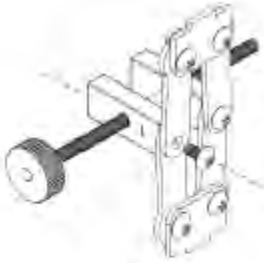
6. ใส่น็อตล็อกมือหมุน ⑨ เข้าในแกนฝั่งยาว ⑧ (หมุนทวนเข็ม)



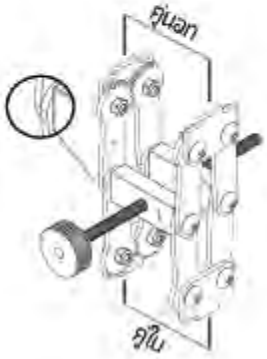
7. ใส่มือหมุน ⑩ เข้าในแกนฝั่งยาว ⑧ (หมุนทวนเข็ม) โดยให้ปลายแกนเสมอกับมือหมุน



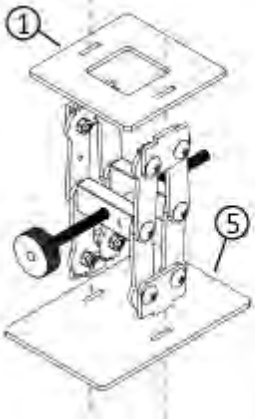
8. ล็อกมือหมุน โดยใช้ประแจจับกับน็อต (น็อตล็อกมือหมุนซึ่งอยู่ด้านหลัง) และบิดมือหมุนทวนเข็มนาฬิกาเข้าหามือหมุนจนตึงมือ (อย่าฝืนจนเกลียวหัก)



9. ประกอบขาเข้ากับตัวเลื่อนสเตจตามรูป (การล็อกน็อตแน่นเกินไปจะทำให้สเตจขยับไม่ได้)



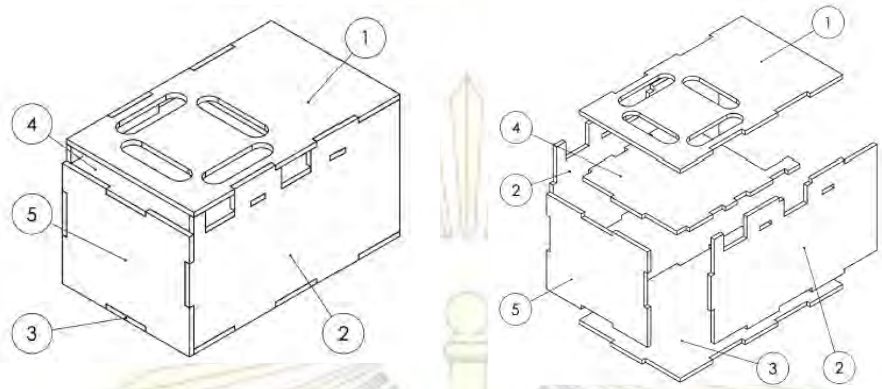
10. ประกอบขาเข้ากับตัวเลื่อนสเตจทั้งอีกฝั่ง โดยขาสองด้านจะต้องสมมาตรกัน (คู่ใน กับ คู่นอก)



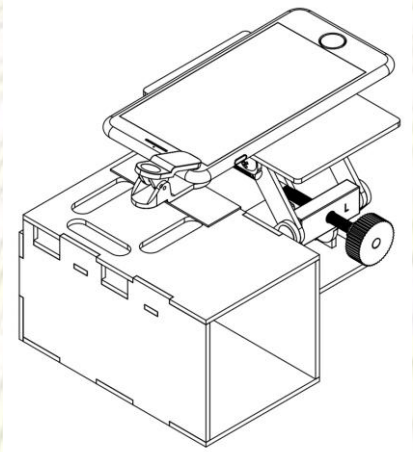
11. ใส่แผ่นด้านบน ① และด้านล่าง ⑤ หากใส่ไม่เข้าให้สลับระหว่างแผ่นบนกับแผ่นล่าง หยอดกาวให้เรียบร้อย

12. ตัดแผ่นโฟมสีดำให้มีขนาดที่ต้องการ แปะด้วยกาว/เทปกาวบนแผ่นบน ① และแผ่นล่าง ⑤ เพื่อป้องกันลื่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



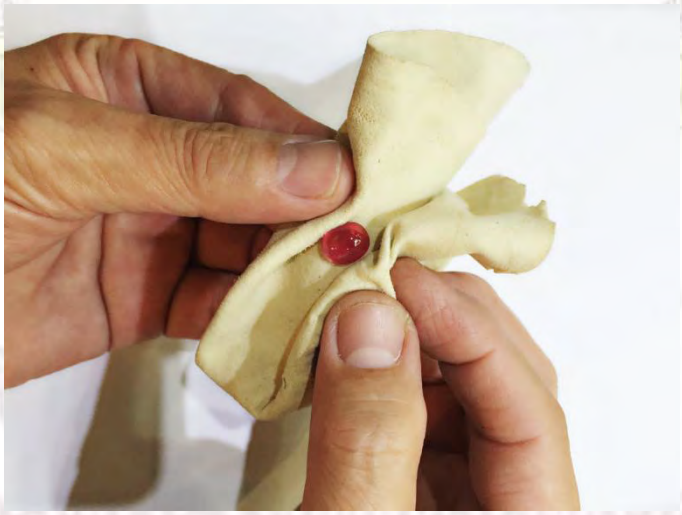
รูปที่ 3.2 องค์ประกอบของฐานวางตัวอย่าง



รูปที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนเพื่อการวิเคราะห์อัญมณี

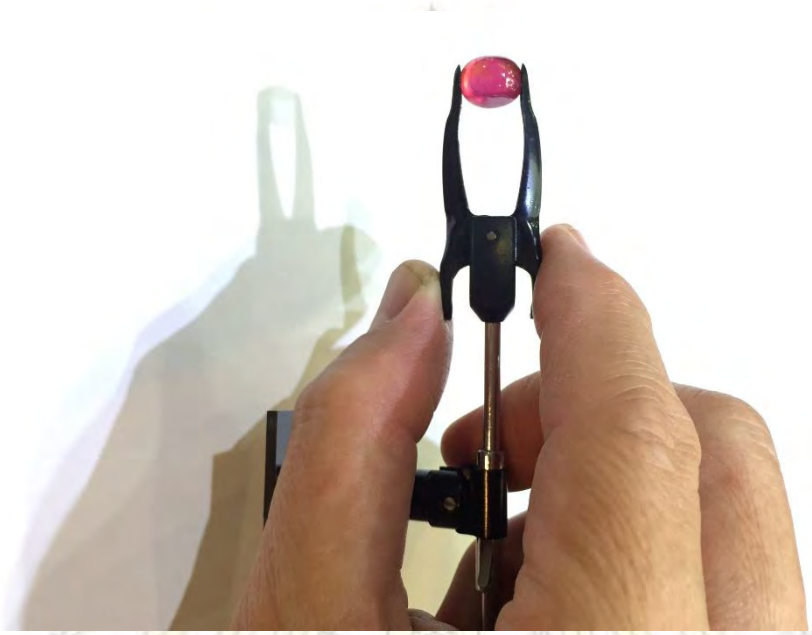
3.4 วิธีการทดลอง

1. เช็ดทำความสะอาดคราบสกปรกและรอยนิ้วมือในตัวอย่างอัญมณีด้วยผ้าชามัวร์ (Chamois)



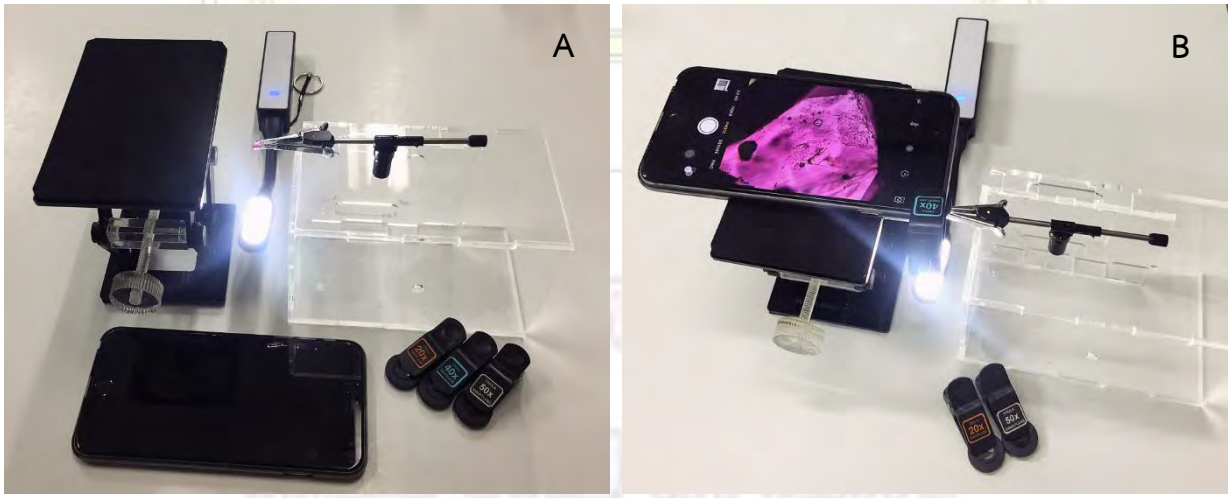
รูปที่ 3.4 การทำความสะอาดอัญมณีด้วยผ้าชามัวร์ (Chamois)

2. .ใช้ Stone holder คีบอัญมณีโดยให้บริเวณที่ต้องการสังเกตมลทินหันขึ้นด้านบน



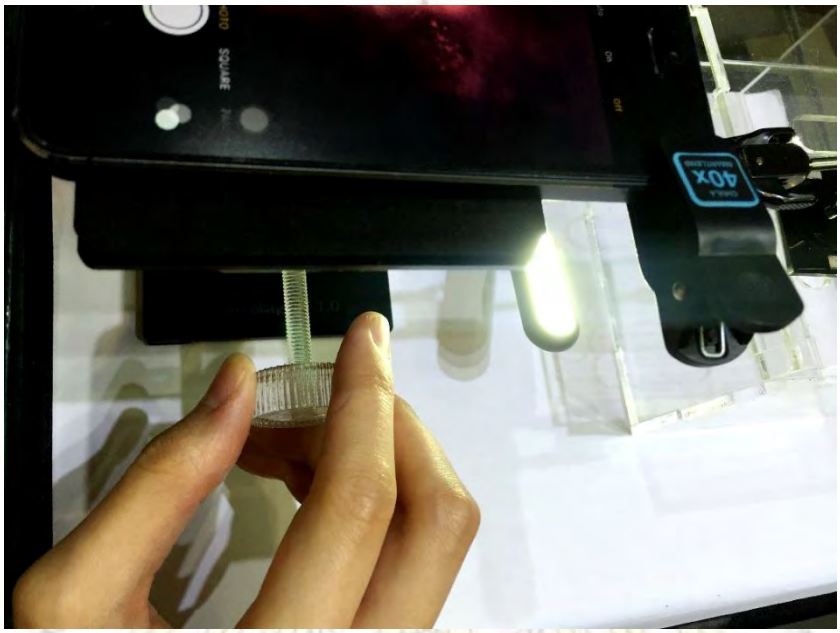
รูปที่ 3.5 การใช้ Stone holder คีบอัญมณี

3. จาก**รูปที่ 3.3** จัดฐานวางสมาร์ทโฟนกับ Stone holder ให้เหมาะสม ดังรูป **A** และให้แหล่งกำเนิดแสงอยู่ด้านล่างอัญมณีหากต้องการสังเกตมลทินของอัญมณี หรือด้านบนในแนวเฉียงหากต้องการสังเกตพื้นผิวอัญมณี จากนั้นหนีบเลนส์เข้ากับสมาร์ทโฟนโดยใช้กำลังขยายต่ำสุดก่อน และวางสมาร์ทโฟนลงบนฐาน ปรับตำแหน่งในแนวราบให้ตรงกับอัญมณี ดังรูป **B**



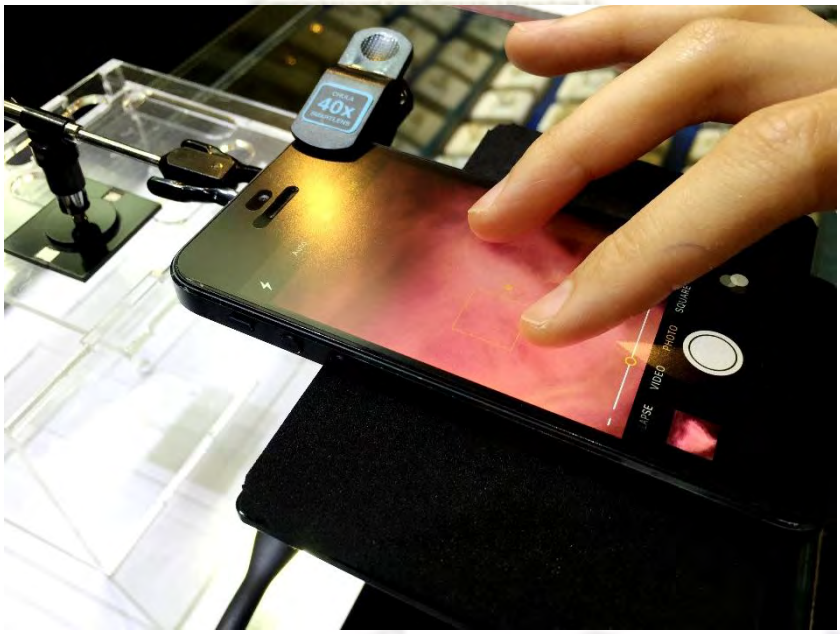
รูปที่ 3.6 A และ B การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ แหล่งกำเนิดแสง และอัญมณีแบบพร้อมใช้งาน

4. หาระยะโฟกัสภาพโดยใช้ปุ่มปรับระดับด้านข้างฐานวางสมาร์ทโฟน



รูปที่ 3.7 ปุ่มปรับระดับฐานเพื่อหาระยะโฟกัสภาพ

5. เพิ่มกำลังขยายโดยการใช้ Digital zoom เพื่อดูรายละเอียดมลทินที่ชัดเจนยิ่งขึ้น จากนั้นแตะหน้าจอบริเวณที่ต้องการโฟกัสหรือแตะค้างเพื่อใช้ AF/AE LOCK และกดบันทึกภาพ

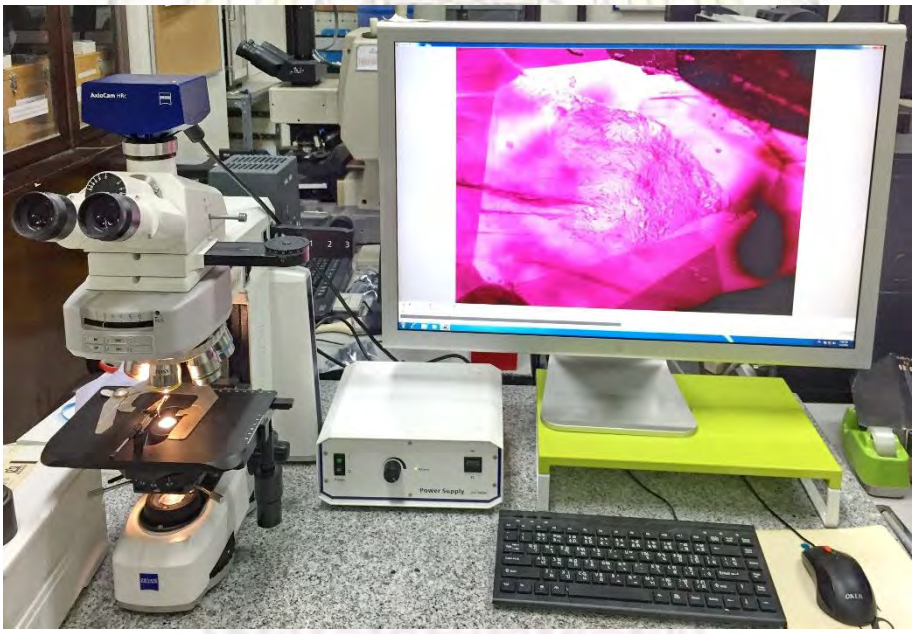


รูปที่ 3.8 การเพิ่มกำลังขยายโดยใช้ Digital zoom

6. เปลี่ยนใช้เลนส์ที่มีกำลังขยายสูงขึ้น หากต้องการสังเกตรายละเอียดมากขึ้น

รูปที่ 3.9 เลนส์ที่ใช้ติดตั้งบริเวณกล้องสมาร์ทโฟน กำลังขยาย 20x 40x และ 50x

7. นำภาพมลทินในอัญมณีที่บันทึกได้จากกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลสมาร์ทโฟน มาเปรียบเทียบกับภาพมลทินที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการและวิเคราะห์ผล



รูปที่ 3.10 บันทึกภาพมลทินด้วยกล้องจุลทรรศน์ห้องปฏิบัติการ ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A

8. วิเคราะห์ข้อมูลมลทินในอัญมณีที่ศึกษา ซึ่งบันทึกภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลสมาร์ทโฟน เพื่อจำแนกอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ
9. สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน

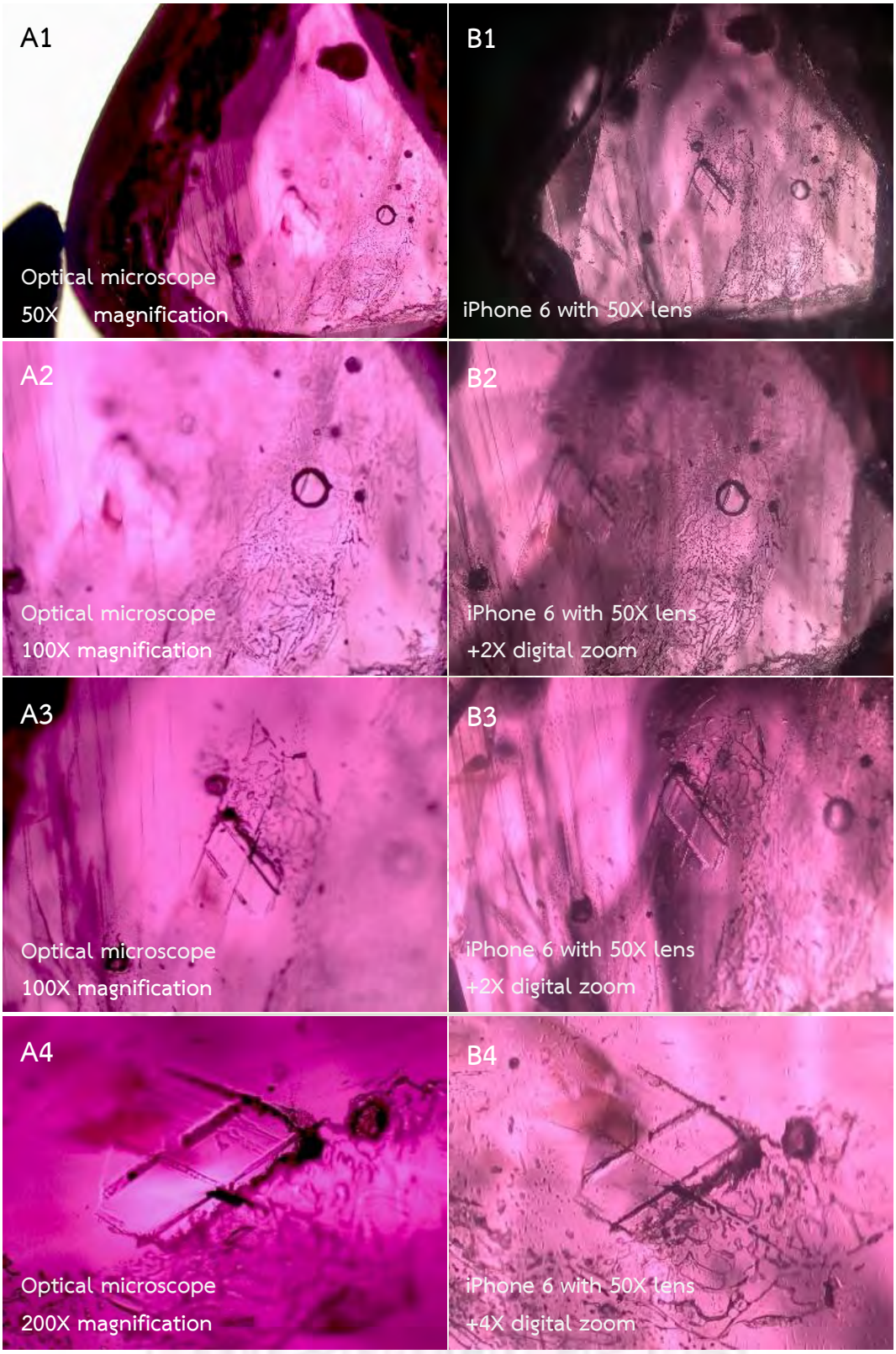
บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ภาพถ่ายเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนและกล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการ

จาก**รูปที่ 4.1** พบว่า ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนให้กำลังขยาย, สี, ความละเอียด และความคมชัด ของมลทินในทับทิมได้เทียบเท่ากับภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการ สามารถมองเห็นมลทินที่กำลังศึกษาได้เช่นเดียวกัน จากภาพ **B** จะสังเกตได้ว่าสามารถมองเห็นรายละเอียดต่างๆ ของมลทิน (inclusions) ได้มากกว่าภาพ **A** ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนมีระยะชัดจากจุดโฟกัส (Depth of field) มากกว่ากล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการ จึงสามารถเห็นมลทินที่อยู่ตื้นกว่าหรืออยู่ลึกกว่าได้ และจากทั้งรูป **A** และ **B** นี้ พบว่าทับทิมเม็ดนี้มีมลทิน Saturn-like กับ มลทิน Fingerprint ที่มีลักษณะบาง, ไม่ซับซ้อน และไม่ขาวขุ่น ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่พบในทับทิมธรรมชาติเท่านั้น และพบมลทิน Needles กับ มลทิน Crystal ที่ผลึกไม่ขยายตัวและแตกออกเนื่องจากความร้อน บ่งบอกว่าทับทิมนั้นไม่ผ่านการเผาเพื่อปรับปรุงคุณภาพ

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่ากล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนมีประสิทธิภาพในการใช้สังเกตมลทินต่างๆ ในอัญมณี สามารถถ่ายภาพมลทินซึ่งมีความลึกต่างกัน โดยใช้กำลังขยายต่างๆ และให้ภาพถ่ายที่มีคุณภาพดีเทียบเท่ากับภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการ และจากข้อมูลมลทินในทับทิมตัวอย่าง สรุปได้ว่าเป็นทับทิมจากธรรมชาติและไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

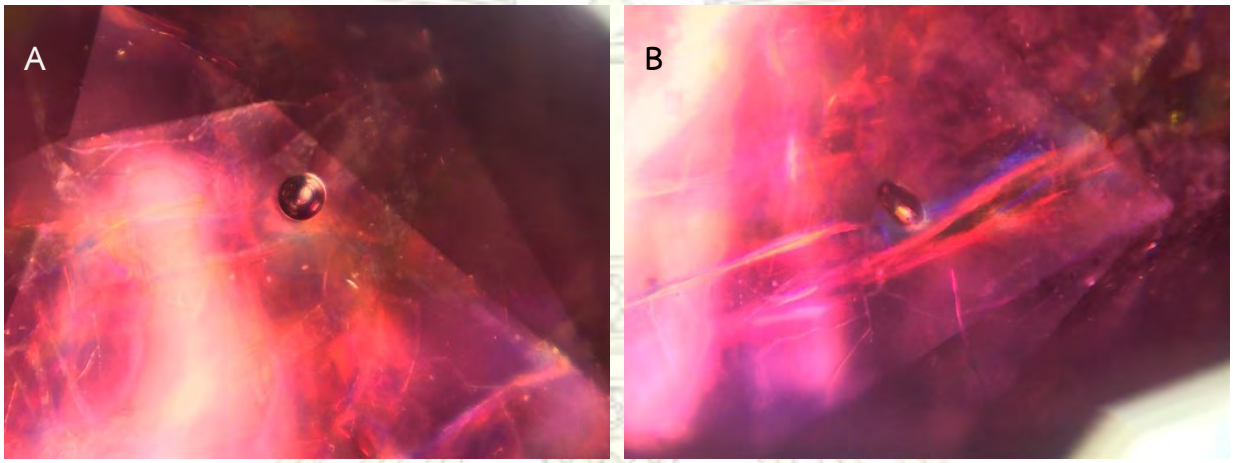


รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายมลทินในทับทิมขนาด 0.5 กะรัต ที่กำลังขยาย 50x, 100x และ 200x บันทึกภาพโดย **A** กล้องจุลทรรศน์ระดับห้องปฏิบัติการยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1 และ **B** กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟน ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ด้วย Plano convex lens และ Digital zoom

4.2 ภาพถ่ายมลทินในอัญมณีโดยกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนและการวิเคราะห์เพื่อจำแนกที่มาของอัญมณีที่ศึกษา

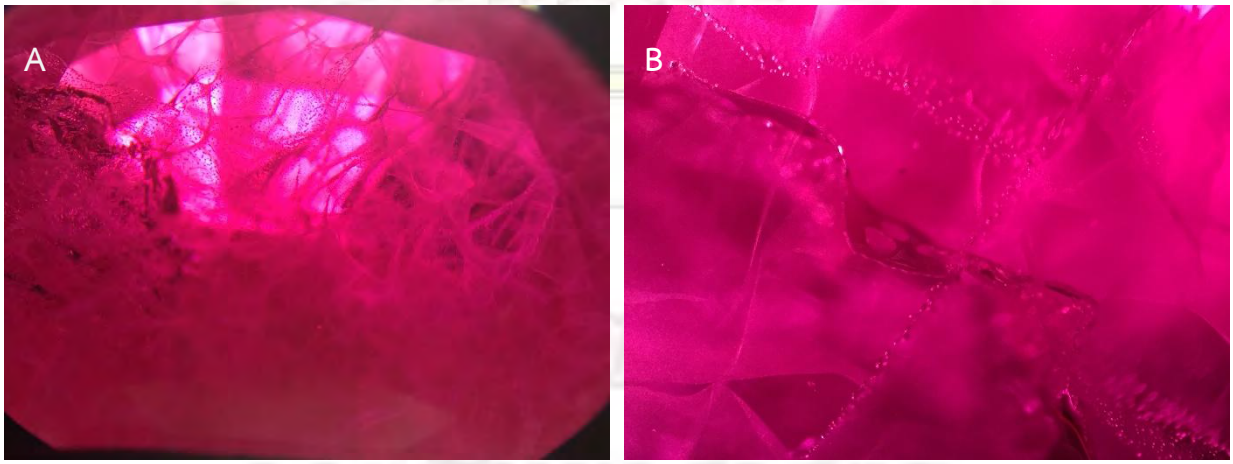
4.2.1 ภาพถ่ายมลทินในอัญมณี

ทับทิมธรรมชาติผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ขนาด 7.53 กะรัต



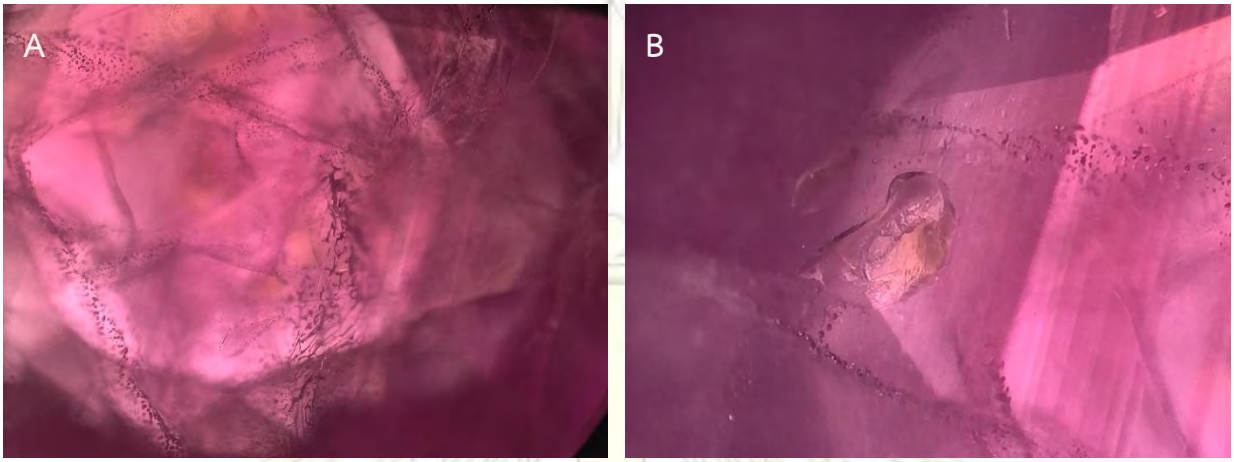
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายมลทิน **A** ฟองอากาศขนาดใหญ่ **B** แสงสะท้อนสีน้ำเงินและส้ม ในทับทิมธรรมชาติผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยการอุดแก้วตะกั่ว (lead glass filling treatment) บันทึกภาพโดยกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟน ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ภาพ **A** และ **B** มีกำลังขยาย 80x (เลนส์กำลังขยาย 40x + digital zoom 2x)

ทับทิมสังเคราะห์ ขนาด 8.43 กะรัต



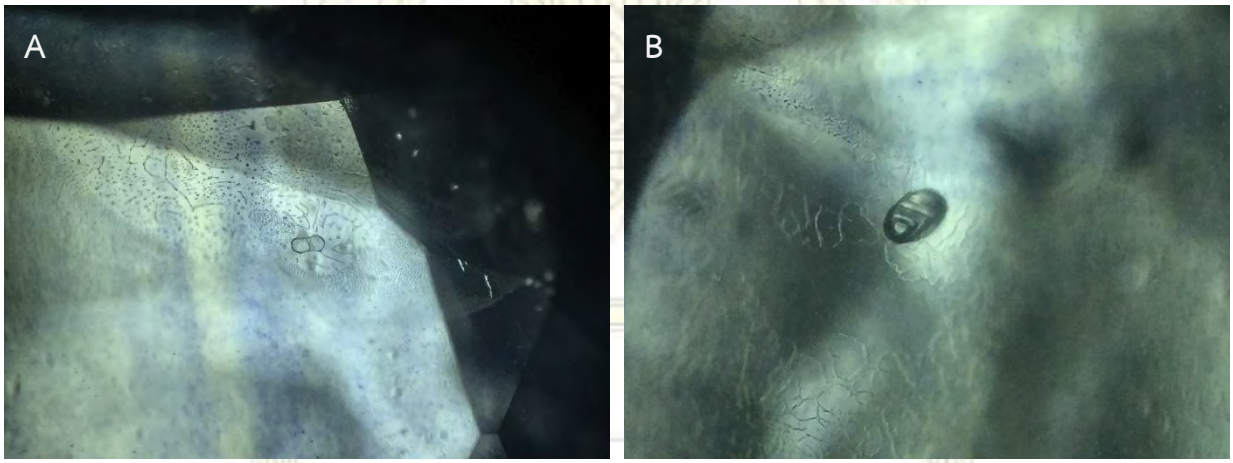
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายมลทิน **A** Fingerprint ในลักษณะคล้ายร่างแหทั่วทั้งเม็ด **B** กลุ่มฟองอากาศขนาดเล็ก ในทับทิมสังเคราะห์โดยวิธี Flame fusion บันทึกภาพโดยกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลสมาร์ทจากโฟน ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ภาพ **A** กำลังขยาย 40x ภาพ **B** กำลังขยาย 160x (เลนส์กำลังขยาย 40x + digital zoom 4x)

ทับทิมธรรมชาติ ขนาด 0.37 กะรัต



รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายมลทิน **A** Fingerprint **B** Twining และกลุ่มผลึกขนาดเล็กจำนวนมาก ในทับทิมธรรมชาติ บันทึกภาพโดยกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟน ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ภาพ **A** กำลังขยาย 100x (เลนส์กำลังขยาย 50x + digital zoom 2x) ภาพ **B** กำลังขยาย 200x (เลนส์กำลังขยาย 50x + digital zoom 4x)

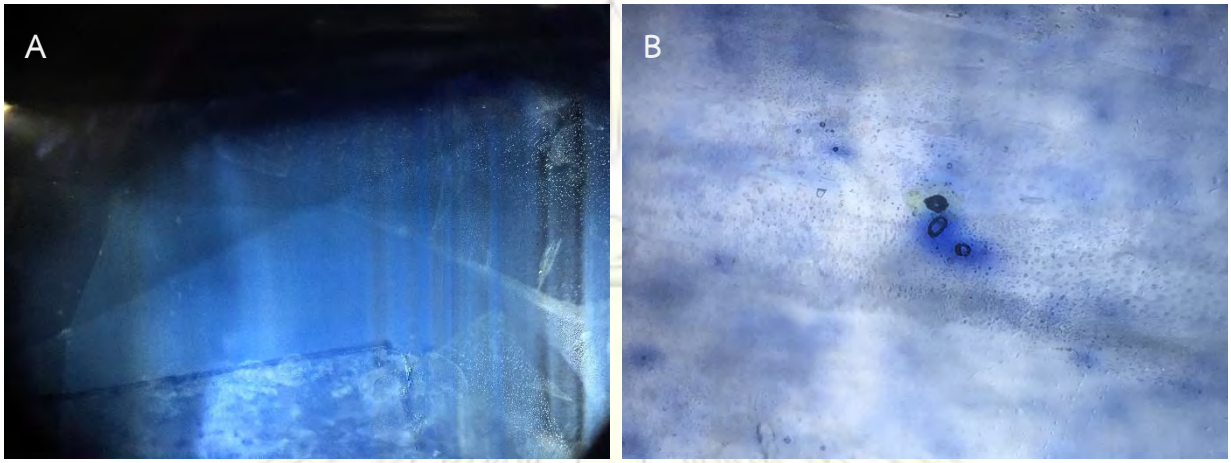
ไพลินธรรมชาติ ขนาด 0.24 กะรัต



รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายมลทิน **A** Growth zoning และ Fingerprin **B** Negative crystal ภายในบรรจุก๊าซ ในไพลินธรรมชาติไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ บันทึกภาพโดยกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟน ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ภาพ **A** กำลังขยาย 100x (เลนส์กำลังขยาย 50x + digital zoom 2x) ภาพ **B** กำลังขยาย 200x (เลนส์กำลังขยาย 50x + digital zoom 4x)

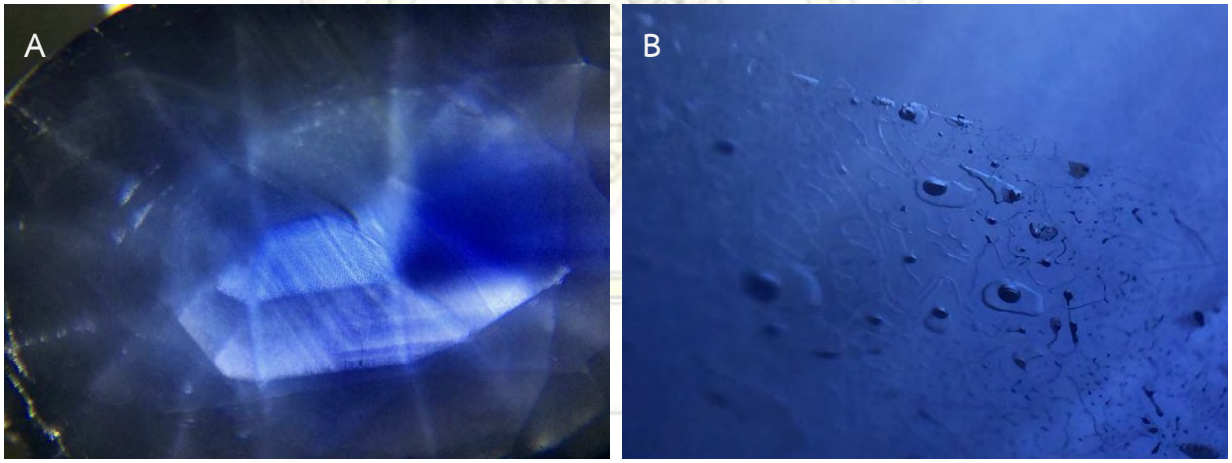
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไพลินธรรมชาติผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ขนาด 6.35 กะรัต



รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายมลทิน **A** Growth zoning และ **B** Internal diffusion ในไพลินธรรมชาติผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ บันทึกภาพโดยกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟน ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ภาพ **A** กำลังขยาย 50x ภาพ **B** กำลังขยาย 200x (เลนส์กำลังขยาย 50x + digital zoom 4x)

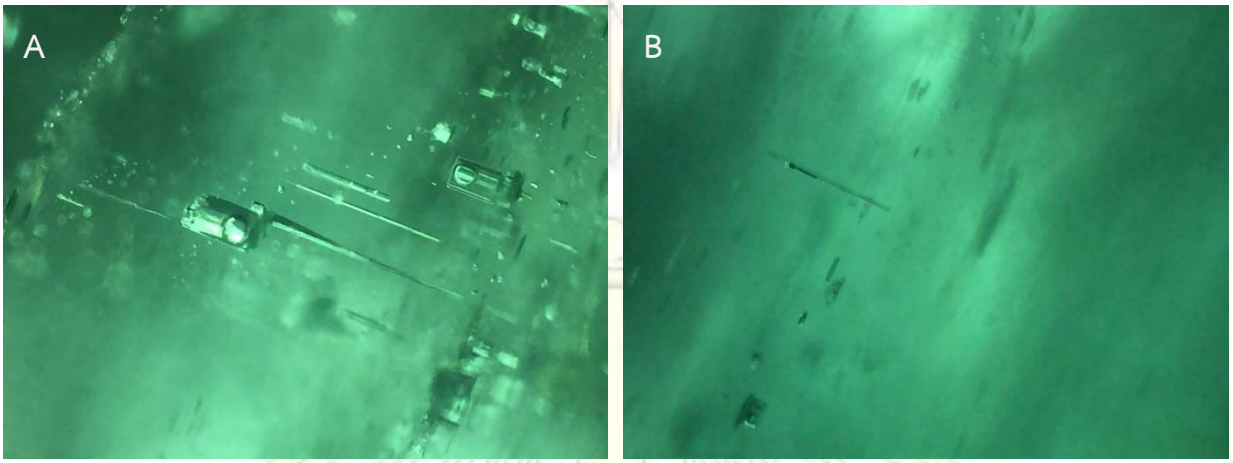
ไพลินธรรมชาติ ขนาด 9.59 กะรัต



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายมลทิน **A** Growth zoning และ **B** Negative crystal ภายในบรรุก๊าซ ในไพลินธรรมชาติไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ บันทึกภาพโดยกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ภาพ **A** กำลังขยาย 40x ภาพ **B** กำลังขยาย 200x (เลนส์กำลังขยาย 50x + digital zoom 4x)

คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มรกตสังเคราะห์ ขนาด 4.56 กะรัต



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายมลทิน A 2-phase inclusion และ Nail-head spicule B Nail-head spicule ในมรกตสังเคราะห์ บันทึกภาพโดยกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟน ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6 ภาพ A กำลังขยาย 200x (เลนส์กำลังขยาย 50x + digital zoom 4x) ภาพ B กำลังขยาย 100x (เลนส์กำลังขยาย 50x + digital zoom 2x)

4.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายมลทินเพื่อจำแนกที่มาของอัญมณี

จาก**รูปที่ 4.2** ภาพ **A** พบมลทินฟองอากาศขนาดใหญ่ภายในเนื้อทับทิม เกิดจากการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วของแก้วตะกั่วหลังการเผาและอุด ทำให้มีฟองอากาศหลงเหลืออยู่ภายใน ภาพ **B** พบว่ามีมลทินในลักษณะแสงสะท้อนสีส้มและสีน้ำเงินในบริเวณรอยแตกของทับทิม ซึ่งเกิดจากแก้วตะกั่วที่อุดมีดัชนีหักเหต่างกับเนื้อทับทิมจึงทำให้เกิดการกระจายแสงและสะท้อนเห็นเป็นสีต่าง ๆ จากข้อมูลข้างต้นจึงสรุปได้ว่าเป็นทับทิมธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยการเผาแล้วอุดแก้วตะกั่ว

จาก**รูปที่ 4.3** ภาพ **A** พบมลทิน Fingerprint ในลักษณะคล้ายรอยแตกหรือร่างแห (web-like inclusion) ทั่วทั้งเม็ดอัญมณีซึ่งโดยทั่วไปไม่พบในทับทิมธรรมชาติ เกิดจากการนำทับทิมที่สังเคราะห์โดยวิธี Flame fusion ไปเผาให้ความร้อนสูง (heating) จากนั้นทำให้เย็นลงทันที (quenching) เพื่อเลียนแบบมลทินในทับทิมธรรมชาติ หรือต้องการสร้างรอยแตกเพื่อทำให้สีย้อมเข้าไปในเนื้อทับทิมได้ทั่วถึง ภาพ **B** เมื่อเพิ่มกำลังขยายจะสังเกตเห็นมลทินฟองอากาศกลมเล็ก ๆ จำนวนมาก ซึ่งมักพบลักษณะนี้ในทับทิมสังเคราะห์

จาก**รูปที่ 4.4** ภาพ **A** พบมลทิน Fingerprint ลักษณะบาง ไม่ขาวทึบ ส่วนภาพ **B** พบมลทินผลึก (pinpoints หรือ grains) เล็กๆ จำนวนมากเรียงต่อกันเป็นสาย และพบมลทิน Twining เส้นตรงเรียงขนานกัน ซึ่งมลทินทั้งหมดที่กล่าวนี้จะพบในทับทิมธรรมชาติ อย่างไรก็ตามจากภาพ **B** จะเห็นได้ว่ามีมลทินที่ลักษณะคล้ายผลึกที่แตกออกเนื่องจากการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน อาจเป็นไปได้ว่าเป็นทับทิมธรรมชาติที่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ

จาก**รูปที่ 4.5** ภาพ A พบมลทิน Fingerprint และมลทิน Growth zoning ที่ขนานกันเป็นเส้นตรง ไม่โค้ง ซึ่งเป็นลักษณะการเติบโตของผลึกอัญมณีธรรมชาติ ภาพ **B** พบมลทินผลึกที่ภายในบรรจุด้วยก๊าซ (ฟองอากาศกลมภายในผลึก) บ่งบอกว่าไพลินนั้นไม่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพ ถ้าหากผลึกนั้นได้รับความร้อนสูงจากการเผา ผลึกจะถูกทำลายให้แตกออกและจะไม่พบฟองก๊าซ จากข้อมูลข้างต้นจึงสรุปได้ว่าเป็นไพลินจากธรรมชาติไม่ผ่านการเผาเพื่อปรับปรุงคุณภาพ

จาก**รูปที่ 4.6** ภาพ **A** พบมลทิน Growth zoning เป็นเส้นตรงขนานกัน เป็นลักษณะการเติบโตของผลึกที่บ่งบอกว่าเป็นไพลินจากธรรมชาติ แต่จากภาพ **B** พบมลทินผลึกรูไทล์ (rutile) ที่มีสีฟ้าเข้มล้อมรอบ ซึ่งเกิดจากไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ละลายออกจากผลึกรูไทล์เนื่องจากได้รับความร้อนสูง ไทเทเนียมไอออน (Ti^{4+}) จะทำปฏิกิริยากับเหล็กไอออน (Fe^{2+}) ที่อยู่ในผลึกไพลินเกิดเป็นคู่ Fe^{2+} - Ti^{4+} แลกเปลี่ยนประจุกัน (charge transfer) ดังสมการ $Fe^{2+} + Ti^{4+} \longrightarrow Fe^{3+} + Ti^{3+}$ จึงทำให้เกิดสีฟ้าเข้มรอบผลึกรูไทล์ จากข้อมูลข้างต้นจึงสรุปได้ว่าเป็นไพลินธรรมชาติผ่านการเผาเพื่อปรับปรุงคุณภาพ

จาก**รูปที่ 4.7** ภาพ **A** พบมลทิน Growth zoning ในลักษณะที่เป็นเส้นตรงขนานกันและหักมุมไปตามด้านที่ผลึกอัญมณีเติบโต (Angular growth zoning) ซึ่งมักเกิดขึ้นในอัญมณีตามธรรมชาติ ภาพ **B** พบมลทินผลึกกลวง (voids, negative crystals) ที่มีฟองก๊าซอยู่ภายใน (อาจเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) บ่งบอกว่าไพลินนั้นไม่ได้รับความร้อนจากการเผา ถ้าหากได้รับความร้อนสูง มลทินผลึกกลวงจะถูกทำลายให้แตกออกและจะไม่พบฟองก๊าซดังรูป จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่าเป็นไพลินจากธรรมชาติที่ไม่ผ่านการเผาเพื่อปรับปรุงคุณภาพ

จาก**รูปที่ 4.8** ภาพ **A** พบมลทินสองสถานะ (two-phase inclusion) ซึ่งมลทินนี้อาจพบได้ทั้งในมรกตธรรมชาติและมรกตสังเคราะห์ แต่เมื่อพิจรณามลทินอื่น ๆ จากทั้งภาพ **A** และ **B** พบมลทิน Nail-head spicule ซึ่งมีลักษณะคล้ายลิ่มหรือกรวยแหลมยาว ส่วนหัวที่ติดกับผลึกจะกว้างที่สุดและค่อย ๆ เรียวเล็กลง Nail-head spicule ภาพ **B** พบอยู่โดดเดี่ยว และภาพ **A** พบหลายจุดแต่ส่วนหัวเริ่มต้นไม่อยู่ในแนวเส้นเดียวกัน ซึ่งเป็นลักษณะที่พบในมรกตสังเคราะห์ทั้งแบบ Hydrothermal และ Flux จากข้อมูลข้างต้นจึงสรุปได้ว่าเป็นมรกตสังเคราะห์

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า อัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์ และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีชนิดและรูปแบบของมลทินภายในต่างกันเป็นเอกลักษณ์เฉพาะ จึงสามารถใช้มลทินในอัญมณีเพื่อการวิเคราะห์และจำแนกอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์ และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพออกจากกันได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่ง่ายและประหยัดเวลา

สามารถออกแบบและสร้างกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนเพื่อการสังเกตมลทินในอัญมณี ที่ให้กำลังขยายตั้งแต่ 20 เท่า สูงสุดถึง 200 เท่า ซึ่งมากเพียงพอต่อการใช้สังเกตมลทินอัญมณี ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลสมาร์ทโฟนมีคุณภาพสูง ความคมชัด สี และแสดงรายละเอียดของมลทินได้เทียบเท่ากับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการ จึงสามารถใช้แทนกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการเพื่อการวิเคราะห์และจำแนกอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์ และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพได้อย่างแม่นยำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. พัฒนาให้สามารถบันทึกภาพมลทินในอัญมณี โดยใช้ระบบแสงหลากหลายรูปแบบ เช่น Bright field illumination, Dark field illumination และ Polarization microscope ได้
2. ออกแบบการเคลื่อนที่ของเลนส์ในแนวราบให้อิสระมากยิ่งขึ้น และพัฒนาด้านรูปลักษณ์ให้ดูสวยงามเหมาะสมกับการใช้งานกับอัญมณี
3. พัฒนาฐานข้อมูลมลทินให้ครอบคลุมอัญมณีทุกชนิด

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้ต้นแบบกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลประสิทธิภาพสูงจากสมาร์ทโฟน ที่มีกำลังขยายสูงและให้ภาพที่มีความละเอียด คมชัด สีเหมือนจริง สามารถใช้แทนกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการเพื่อสังเกตมลทินและจำแนกอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพออกจากกันได้ ในราคาต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า สามารถนำไปใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา และไม่มีข้อจำกัดด้านพลังงาน

เอกสารอ้างอิง

1. Boehm, E. Photomicrography using a smartphone camera. *The Journal of Gemology*. **2014**, 34, 6-7
2. Renfro, N. Digital photomicrography for gemologists. *Gems & Gemology*. **2015**, 51, 144-159
3. Overton T.W. Gem news international: Smartphone photomicrography. *Gems & Gemology*. **2010**, 46, 325–326
4. Wagner, R.D.; Schoeckert, K.; Zhao, X.H.; Cassens, G. Gem identification method and apparatus using digital imaging viewer. U.S. 2014/0063292 A1, Mar 6, 2014.
5. Miller, D. Device for fastening imaging units on a microscope. U.S. 2013/0016963 A1, Jan 17, 2013.
6. http://www.gia.edu/gems-gemology (Accessed Mar 2, 2016)
7. Read, P.G. The hand lens, microscope and Chelsea filter. *Gemology*. **1991**, 161–178
8. Koivula, J.I. Photographing inclusions. *Gems & Gemology*. **1981**, 17, 132–142
9. http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2536_41_132_p6-9.pdf (Accessed Jan 13, 2016)
10. https://www.gemsociety.org/article/corundum-jewelry-gemstone-information/ (Accessed Jan 13, 2016)
11. Newman, R. Ruby, Sapphire & Emerald Buying Guide. 2th ed.; International Jewelry Publications: Singapore, 2002; pp 151-152.
12. http://www.gemdat.org/gem-3473.html (Accessed Jan 14, 2016)
13. Odiska, J. A Book of Precious Stones; The knickerbocker press: New York, 1909; pp 63-71.
14. http://www.dmr.go.th/main.php?filename=beryl (Accessed Feb 10, 2016)
15. Oishi, S. Crystal growth of gemstones. *Crystal Growth Technology*. **2003**, 561–580
16. Read, P.G. Synthetic Gemstones. *Beginner's Guide to Gemology*. **1988**, 169–193
17. www.ruby-sapphire.com (Accessed Feb 7, 2016)
18. http://www.bwsmigel.info/Lesson5/DE.Magnification.html (Accessed Feb 7, 2016)
19. Koivula, J.I. Notes and New Techniques. *Gems & Gemology*. **1983**, 19, 220-227
20. Newman, R. Ruby, Sapphire & Emerald Buying Guide. 2th ed.; International Jewelry Publications: Singapore, 2002; pp 93-133.

21. Matlins, A.L.; Bonanno, A.C.; Gem identification made easy: A hands-on Guide to more confident buying and selling ; Gemstone Press: Canada, 2008; pp 162-163.
22. Mcclure, F.S.; Smith, C.P.; Wang, w.; Hall, M. Identification and durability of lead glass-filled rubies. *Gems and Gemology*. **2006**, 42, 22-34
23. http://www.gemstones-guide.com/Testing-Synthetic-Gemstones.html (Accessed Feb 18, 2016)
24. O' Donoghue, M. Characterization of Crystals with gem application. *Crystal Growth Characterization*. **1981**, 3, 193-209
25. http://www.thenaturalsapphirecompany.com/education/judging-sapphire-quality/clarity/ (Accessed Mar 6, 2016)
26. http://buygemstone.info (Accessed 6/3/2016)
27. Smith, C.P.; Kammerling, R.C.; Keller, A.S.; Peretti, A.; Scarratt, K.V.; Khoa, N.D.; Repetto, S. Sapphires from southern Vietnam. *Gem and Gemology*. **1995**, 31, 168-186
28. http://www.science.gov/topicpages/c/crystal+growth+process.html (Accessed Mar 8, 2016)
29. Koivula, J.I. Internal diffusion. *Journal of Gemmology*. **1987**, 20, 474-477
30. Saeseaw, S.; Pardieu, V.; sangsawong, S. Three-Phase Inclusions in Emerald and Their Impact on Origin Determination. *Gems and Gemology*. **2014**, 50, 114-132
31. http://www.git.or.th/2014/emerald.html (Accessed Mar 10, 2016)
32. Johnson, M.L.; Elen, S.; Muhlmeister, S. On the identification of various emerald fillimg substances. *Gems and Gemology*. **1999**, 35, 82-107
33. Flanigen, E.M.; Breck, D.W.; Mumbach, N.R.; Taylor, A.M. Characteristics of Synthetic Emeralds. *The American Mineralogist*. **1967**, 52, 744-772
34. ที่มา: Koivula, J.I.; Keller, P.C. Russian Flux-Grown Synthetic Emeralds. *Gems and Gemology*. **1985**, 79-85
35. Kane, R.E.; Liddicoat, R.T. The Biron Hydrothermal Synthetic Emerald *Gems and Gemology*. **1985**, 52, 156-170
36. http://www.birdamlasu.com/gminclusions.htm (Accessed Mar 25, 2016)

ภาคผนวก ก

กิจกรรมบ่มเพาะนักประดิษฐ์สายอุดมศึกษา ประจำปี ๒๕๕๙

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบตอบรับ

กิจกรรมบ่มเพาะนักประดิษฐ์สายอุดมศึกษา ประจำปี ๒๕๕๙

วันศุกร์ที่ ๒๒ มกราคม ๒๕๕๙

ณ ห้องประชุมจอมพลสฤษดิ์ ธนะรัชต์ ชั้น ๒ อาคาร วช.๑ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

✍ โปรดกรอกข้อมูลด้านล่าง ส่งคืน ฝ่ายจัดการความรู้การวิจัย กองประเมินผลและจัดการความรู้การวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ทางโทรสาร ๐-๒๕๗๙-๐๔๕๕ หรือ ๐-๒๕๗๙-๐๑๐๙ **ภายในวันที่ ๘ มกราคม ๒๕๕๙** ด้วย จะขอบคุณยิ่ง

✍ สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ สิริวรรณ ฉัตรทองนพคุณ หรือ สุพิชชา ขุนทอง โทรศัพท์ ๐ – ๒๕๖๑ - ๒๔๔๕ ต่อ ๕๖๘, ๔๕๙

รายชื่อผู้เข้าร่วม (โปรดพิมพ์หรือเขียนตัวบรรจง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ชื่อ-นามสกุล ศ.ดร. สนอง เอกสิทธิ์

สาขาวิชา/ภาควิชา เคมี คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มือถือ 094-434-9900 e-mail address sanong.e@chula.ac.th

ชื่อทีมนักศึกษา Digital Gem Loupe

① ชื่อ-นามสกุล นางสาว กมลชนก จ.คุโนปกรณ์

☐ นักศึกษาระดับ ○ ปริญญาตรี ○ ปริญญาโท ○ ปริญญาเอก

สาขาวิชา/ภาควิชา เคมี คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มือถือ 085-503-6737 e-mail address kamonchanok.jor@gmail.com

<u>โปรดเลือกการแบ่งกลุ่มย่อยภาคบ่าย</u> (๑ ทีม ต่อ ๑ กลุ่มเท่านั้น)

○ **กลุ่มที่ ๑** กลุ่มนวัตกรรมด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

○ **กลุ่มที่ ๒** กลุ่มนวัตกรรมด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพและการแพทย์

○ **กลุ่มที่ ๓** กลุ่มนวัตกรรมด้านเกษตรศาสตร์และอาหาร

○ **กลุ่มที่ ๔** กลุ่มนวัตกรรมด้านศิลปะและการออกแบบ

☑ **กลุ่มที่ ๕** กลุ่มนวัตกรรมด้านวิทยาศาสตร์กายภาพและวัสดุศาสตร์

แบบฟอร์มการจัดทำเอกสารเชิงแนวคิด (Concept Paper)

ชื่อผลงาน (ภาษาไทย) แว่นขยายดิจิตอลสำหรับอัญมณี

ชื่อผลงาน (ภาษาอังกฤษ) Digital Gem Loupe

กลุ่มเรื่องสิ่งประดิษฐ์ (เลือกเพียง ๑ กลุ่มเรื่องเท่านั้น)

- ☐ กลุ่มนวัตกรรมด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
- ☐ กลุ่มนวัตกรรมด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพและการแพทย์
- ☐ กลุ่มนวัตกรรมด้านเกษตรและอาหาร
- ☐ กลุ่มนวัตกรรมด้านศิลปะและการออกแบบ
- ☑ กลุ่มนวัตกรรมด้านวิทยาศาสตร์กายภาพและวัสดุศาสตร์

ชื่อทีม Digital Gem Loupe

รายชื่อสมาชิกในทีม (สมาชิกในทีมไม่จำเป็นต้องอยู่ในระดับการศึกษาและมหาวิทยาลัยเดียวกัน)

① ชื่อ-นามสกุล นางสาว กมลชนก จ.คุโนปกรณ์

ระดับ ☑ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก

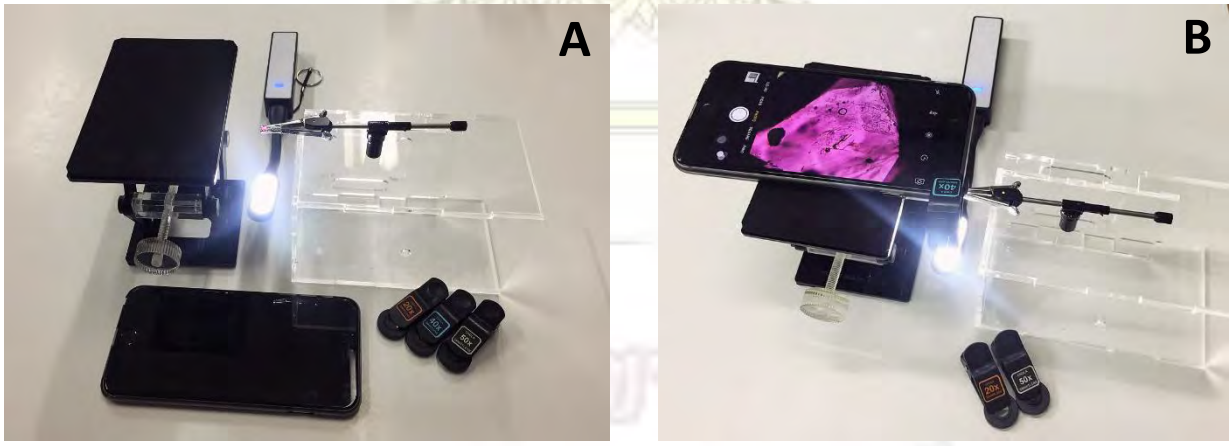
สาขาวิชา/ภาควิชา เคมี คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

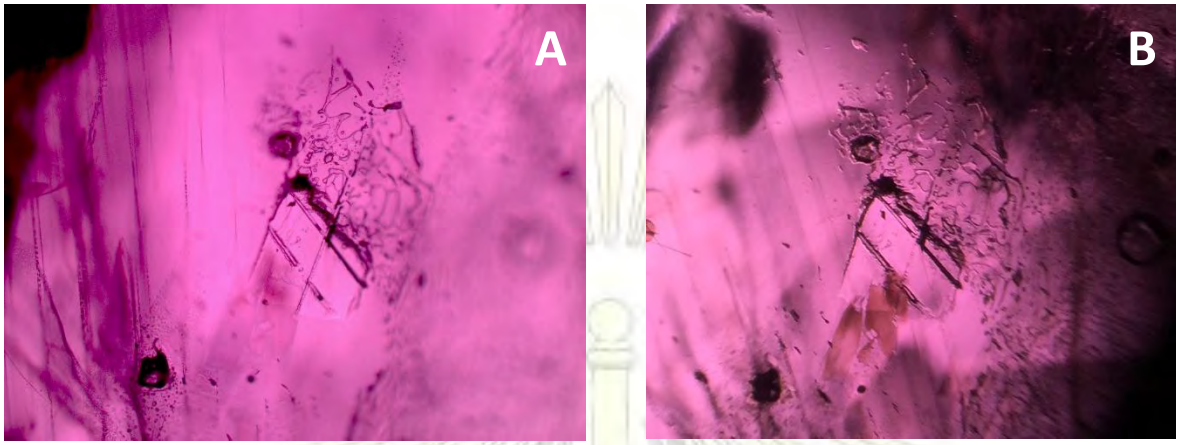
ที่อยู่ 13 ซอยรื่นรมย์ รามคำแหง 24 หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240

โทรศัพท์มือถือ 085-503-6737 e-mail address kamonchanok.jor@gmail.com

รูปภาพสิ่งประดิษฐ์พร้อมอธิบายตัวผลงาน



รูปที่ 1 (A) ชุดแว่นขยายดิจิตอลสำหรับอัญมณี และ (B) ภาพถ่ายมลทินในทับทิมบันทึกด้วยแว่นขยายดิจิตอลกำลังขยาย 40 เท่า



รูปที่ 2 ภาพถ่ายมลทินในทับทิมบันทึกด้วย (A) กล้องจุลทรรศน์เพื่อการวิจัย (Research Optical Microscope) และ (B) แว่นขยายดิจิตอลสำหรับอัญมณี บันทึกภาพด้วย iPhone 6

ที่มาและแนวคิดของการสร้างสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม

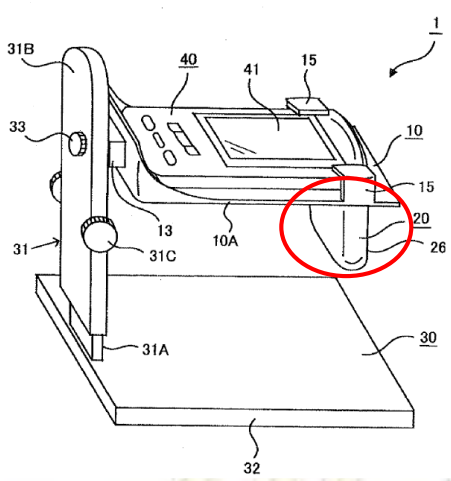
ประเทศไทยถือเป็นศูนย์กลางการค้าอัญมณีของโลก ส่งผลให้มีสินค้าอัญมณีจากที่ต่างๆ ทำการซื้อขายที่ประเทศไทย อัญมณีจึงมีมูลค่าทางเศรษฐกิจซึ่งสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยมาก อัญมณีมีความสวยงาม มีมูลค่าสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ทับทิม มรกต แซปไฟร์ เพชร โอปอลและไข่มุก จึงเป็นที่นิยมหาซื้อเป็นเครื่องประดับ หรือเก็บสะสมไว้เป็นทรัพย์สิน เมื่อความต้องการซื้ออัญมณีมีมากขึ้น ประกอบกับเป็นสินค้าที่มีมูลค่าสูง จึงมีการผลิตอัญมณีสังเคราะห์และอัญมณีปรับปรุงคุณภาพขึ้น ซึ่งมูลค่าของอัญมณีสังเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพนั้นต่ำกว่าอัญมณีธรรมชาติมาก และเนื่องจากประเทศไทยยังเป็นตลาดหลักในการซื้อขายอัญมณี ดังนั้นการจำแนกอัญมณีจากทั้ง 3 ชนิด คือ อัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์ และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพออกจากกันจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญเพื่อการค้าขายอัญมณีอย่างยุติธรรม หนึ่งในวิธีที่ใช้จำแนกคือ การวิเคราะห์มลทินในอัญมณี ซึ่งอัญมณีสังเคราะห์ อัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพและอัญมณีธรรมชาติจะมีมลทินที่เป็นเอกลักษณ์แตกต่างกัน เช่น มลทินเข็มรูไทล์จะมีลักษณะเป็นเส้นคมชัดในพลอยธรรมชาติ แต่ในพลอยที่ผ่านการเผาปรับปรุงคุณภาพเข็มจะมีขนาดเล็ก เรียงต่อกันเป็นแนว หรือมลทินจากการโตของผลึกในพลอยสังเคราะห์จะโค้งเป็นแนวอย่างมีระเบียบต่างจากพลอยธรรมชาติที่เส้นโค้งจะบิดเบี้ยวไม่เป็นระเบียบ เป็นต้น มลทินในอัญมณีนี้ไม่สามารถมองเห็นชัดเจนด้วยตาเปล่า ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ในการตรวจสอบ

โดยทั่วไปการวิเคราะห์มลทินในอัญมณีต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการจึงจะสามารถเห็นมลทินและแยกแยะได้ แต่ด้วยข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์ห้องปฏิบัติการ คือ ราคาแพง ไม่สามารถพกพาได้ ใช้งานยาก ทำให้ข้อมูลมลทินในอัญมณีไม่เป็นที่แพร่หลาย ต้องให้นักอัญมณีที่ชำนาญวิเคราะห์ การระบุมลทินและจำแนกอัญมณีจึงต้องส่งเข้าห้องปฏิบัติการเท่านั้น แต่ในปัจจุบันด้วยความสามารถของสมาร์ทโฟนที่กล้องมีความละเอียดสูง หน้าจอคมชัด สามารถบันทึกและเผยแพร่ข้อมูลได้ง่าย อีกทั้งคนโดยทั่วไปมักมีสมาร์ทโฟนเป็นของตัวเองอยู่แล้ว งานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนากล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลสมาร์ทโฟนที่มีความละเอียดภาพและกำลังขยายสูงเทียบเท่ากล้องจุลทรรศน์ห้องปฏิบัติการ แต่มีขนาดเล็กกว่ามาก น้ำหนักเบา พกพาได้ สามารถ

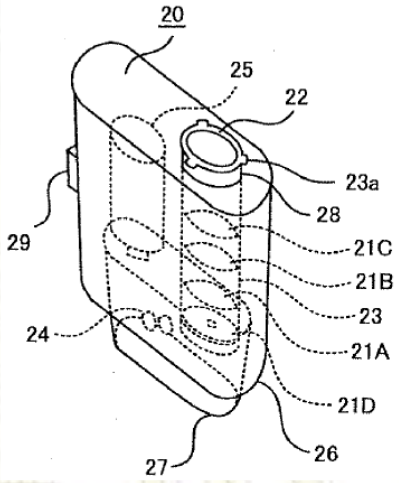
ถ่ายภาพมลทินในอัญมณีเพื่อวิเคราะห์และจำแนกอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์ และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพออกจากกันได้ โดยไม่มีข้อจำกัดด้านพลังงานและสถานที่ สามารถใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา

การทบทวนวรรณกรรมและสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง

MAGNIFYING ATTACHMENT US 2009/0093274 A1



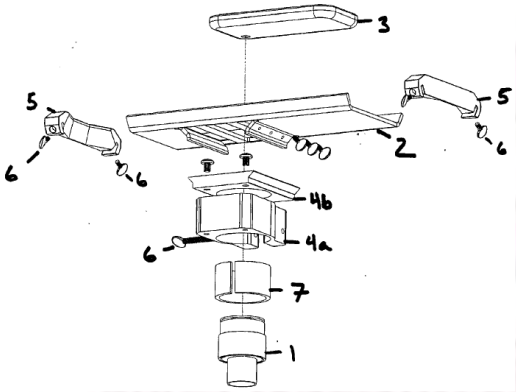
Stand



The Magnifying Section

Yamamoto (ค.ศ. 2009) US 2009/0093274 A1 MAGNIFYING ATTACHMENT พัฒนาอุปกรณ์ซึ่งเป็นแท่น (Stand) พร้อมชุดเลนส์ขยาย (The Magnifying Section) เพื่อยึดกล้องดิจิตอลหรือสมาร์ทโฟนเข้ากับแท่นและพอดีกับช่องเลนส์ ในส่วนของชุดเลนส์ขยายประกอบด้วย Objective lens มีกำลังขยาย100X (21A), Field lens (21B) และ Converging lens (21C) จะรวมกันอยู่ใน lens tube (22) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ The Magnifying Section ที่ยึดติดกับแท่น และแท่นนี้สามารถปรับเลื่อนขึ้น-ลงได้โดยการหมุน Screw (31C) อุปกรณ์มีแหล่งกำเนิดแสง The lighting unit (24) ใช้พลังงานจาก The illumination power supply (25)

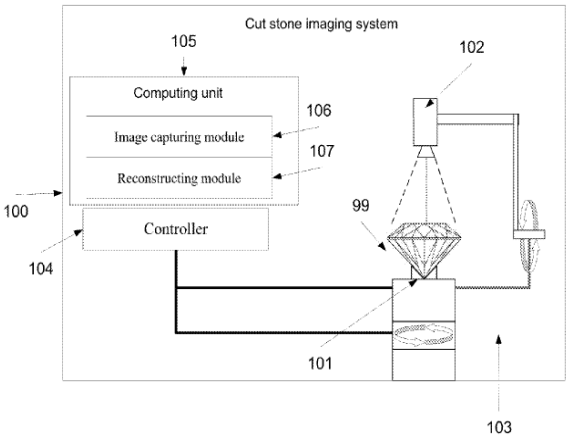
DEVICE FOR FASTENING IMAGING UNITS ON A MICROSCOPE US 2013/0016963 A1



Miller (ค.ศ. 2013) US 2013/0016963 A1 DEVICE FOR FASTENING IMAGING UNITS ON A MICROSCOPE พัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ยึดติดกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Imaging Unit) กับกล้องจุลทรรศน์เข้าด้วยกัน โดยไม่จำกัดรุ่นของโทรศัพท์และกล้องจุลทรรศน์ เมื่อวางโทรศัพท์ (Imaging Unit) (3) ลงบนแท่น ตัวยึดที่เลื่อนได้อย่างอิสระ (5) จะเลื่อนมายึดตรึงโทรศัพท์ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม และสามารถเลื่อนขึ้น-

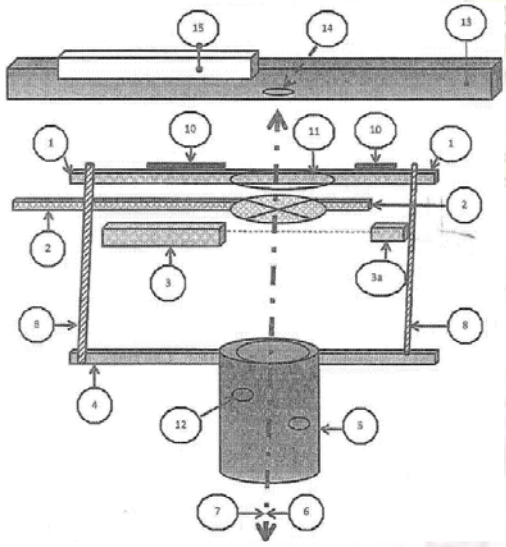
ลงได้โดยปรับ Adapter component (4a,4b) เพื่อหาระยะโฟกัสบน Eye piece (1) โดยมีกระบอกสวม (7) ยึดอุปกรณ์เข้ากับ Eyepiece

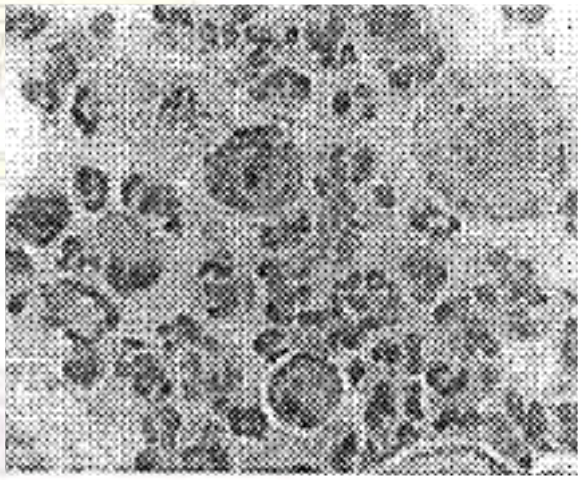
METHODS AND SYSTEMS OF IMAGING CUT STONES US 2012/0007971 A1



Schnitzer และคณะ (ค.ศ. 2012) US 2012/0007971 A1 METHODS AND SYSTEMS OF IMAGING CUT STONES ออกแบบระบบและอุปกรณ์ที่เก็บรวบรวมภาพเพื่อแล้วนำภาพดังกล่าวมาประกอบเป็นภาพของเพชรที่ผ่านการเจียระไนแล้ว โดยระบบนี้จะสามารถ 1. พิจารณาระบุทิศทางเพชรที่เจียระไนได้ 2. จำลองโมเดลที่เป็นรูปทรงปริมาตรได้โดยโมเดลจะตามทิศทางของเพชรที่เจียระไน 3. สามารถเก็บรูปภาพของเพชรได้จากหลายมุมหลายองศารอบๆเพชร 4. เราสามารถแยกชิ้นส่วนของภาพเพชรที่เจียระไนแล้ว ซึ่งได้จากรูปถ่ายที่ได้ถ่ายไว้หลายๆมุมเก็บไว้ก่อนหน้า เพื่อนำมาพิจารณา 5. สามารถนำภาพส่วนที่แยกออกมา นำมาทำเป็น Volumetric Image ได้

BIOSCICON'S CELLPHONE CAMERA - MICROSCOPE UNIVERSAL ADAPTER US 2015/0036043 A1





Markovic และคณะ (ค.ศ. 2015) US 2015/0036043 A1 BIOSCICON'S CELLPHONE CAMERA - MICROSCOPE UNIVERSAL ADAPTER ออกแบบเครื่องมือเชิงกลที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Optical system เช่น กล้องจุลทรรศน์ เพื่อบันทึกภาพและนำภาพที่ได้ ซึ่งเป็นภาพแบบ Analog เปลี่ยนเป็นภาพ Digital จากนั้นนำภาพดังกล่าวส่งต่อให้ผู้ใช้คนอื่นๆ ได้ โดยส่งไปยัง สมาร์ทโฟน, แท็บเลต, โทรทัศน์, คอมพิวเตอร์ และอื่นๆ

ประโยชน์หลักของเครื่องมือนี้ คือ เมื่อเราทำการตรวจเซลล์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีการติดเครื่องมือนี้จะสามารถส่งข้อมูลที่ได้ให้กับผู้อื่นเพื่อช่วยหรือร่วมวินิจฉัยได้ ซึ่งถือว่าเป็นการประหยัดระยะเวลาการส่งข้อมูลและวินิจฉัยโรคให้สั้นลง ภาพ Analog ที่ได้จะถูกฉายที่ตำแหน่ง 11 เลนส์รับภาพที่ตำแหน่ง 14 และภาพ Digital จะถูกฉายในตำแหน่ง 15

GEM IDENTIFICATION METHOD AND APPARATUS USING DIGITAL IMAGING VIEWER

US 2014/0063292 A1

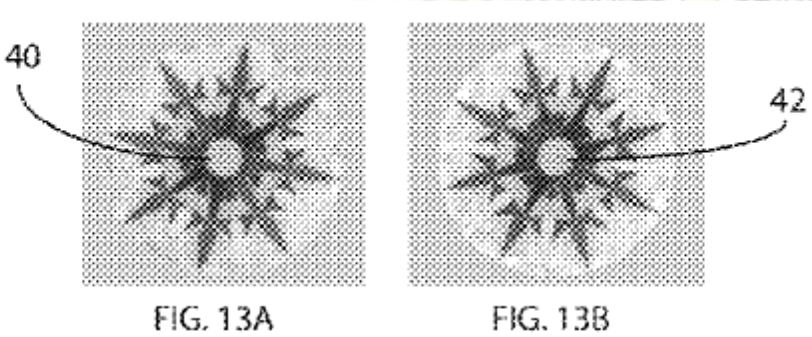
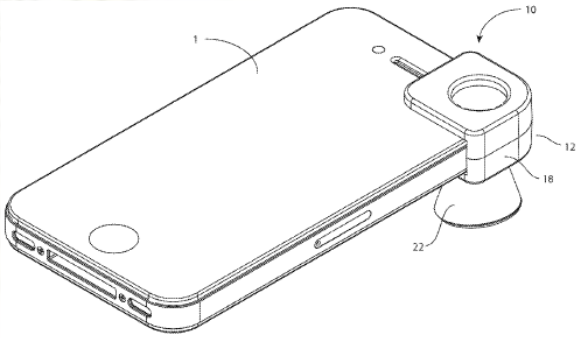


FIG. 13A FIG. 13B



Wagner และคณะ (ค.ศ. 2014) US 2014/0063292 A1 GEM IDENTIFICATION METHOD AND APPARATUS USING DIGITAL IMAGING VIEWER พัฒนาอุปกรณ์และระบบถ่ายภาพอัญมณีแบบดิจิตอล ซึ่งข้อมูลภาพถ่ายที่ได้ สามารถนำมาระบุคุณภาพการเจียระไนได้โดยวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลภาพถ่าย เลนส์ของอุปกรณ์มีกำลังขยายโดยประมาณ 10X อาจมีกำลังขยายมากกว่าหรือน้อยกว่านี้ได้ ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของกล้องดิจิตอล หากประสิทธิภาพของกล้องดิจิตอลสูงเพียงพอ เลนส์นี้ก็ไม่จำเป็นต้องมีกำลังขยายสูงถึง 10X เพียงแต่ช่วยให้เลนส์ของกล้องดิจิตอลสามารถโฟกัสอัญมณีในระยะใกล้ๆ ได้ จากภาพการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าอัญมณีภาพ13A ตรงกลาง (40) มีลักษณะแปดเหลี่ยมเท่ากัน ในขณะที่ภาพ 13B เป็นแปดเหลี่ยมที่ไม่เท่ากันนัก บ่งบอกคุณภาพการเจียระไน ซึ่งมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า

วัตถุประสงค์

1. พัฒนาต้นแบบกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลแบบพกพาจากสมาร์ทโฟนเพื่อบันทึกภาพมลทินในอัญมณี
2. พัฒนาวิธีการบันทึกภาพมลทินในอัญมณีดิบ อัญมณีที่เจียระไนแล้วและอัญมณีบนตัวเรือนเครื่องประดับ
3. สร้างฐานข้อมูลภาพถ่ายมลทินในอัญมณี เพื่อใช้ประกอบในการจำแนกอัญมณี
4. เผยแพร่ข้อมูลและเอกลักษณ์เฉพาะของมลทินในอัญมณีที่บันทึกภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลแบบพกพาบนอินเทอร์เน็ตเพื่อประชาสัมพันธ์ผลงาน (งานวิจัยต่อเนื่อง)
5. พัฒนาหลักสูตรอบรมสัมมนาการตรวจจำแนกอัญมณีด้วยมลทิน บันทึกภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลแบบพกพา (งานวิจัยต่อเนื่อง)

6. พัฒนาธุรกิจ Start up จำหน่ายกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลแบบพกพาและฐานข้อมูลการนำแนกอัญมณีด้วยมลทิน (งานวิจัยต่อเนื่อง)

หลักการ วิธีการ และขั้นตอนการสร้างสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม

ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. การออกแบบและสร้างอุปกรณ์
   - คัดเลือกเลนส์ที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ ออกแบบและสร้าง Attachment ที่สามารถยึดติดเลนส์ขยายเข้ากับกล้องสมาร์ทโฟนได้
   - ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตัวฐานวางสมาร์ทโฟนให้สามารถเลื่อนขึ้น-ลงได้ง่ายเสมือนปุ่มปรับภาพหยาบเพื่อปรับระยะโฟกัส
2. การออกแบบกรรมวิธีการถ่าย – หมุนองศาของอัญมณีและให้ทิศทางของแสงให้สามารถเห็นมลทินในอัญมณีได้ชัดเจนที่สุด
3. การรวบรวมข้อมูลและสร้างฐานข้อมูลของมลทินในอัญมณี – เพื่อเป็นแหล่งอ้างอิงข้อมูลมลทิน ที่ได้จากจากกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล เพื่อสามารถระบุชนิดมลทินและแยกแยะได้ว่าเป็นอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์หรืออัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

จุดเด่นของสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม

<u>ด้านอุปกรณ์</u>

- เมื่อประกอบอุปกรณ์เข้ากับกล้องสมาร์ทโฟนจะสามารถเปลี่ยนสมาร์ทโฟนให้เป็นกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล ซึ่ง สามารถใช้แทนกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการกำลังขยาย 20 - 400 เท่าได้ จึงสามารถใช้ในการบันทึกมลทินในอัญมณีได้อย่างชัดเจน
- อุปกรณ์สามารถใช้ร่วมได้กับสมาร์ทโฟนทุกชนิด ทุกยี่ห้อ ร่วมถึง iPod, iPad และ Tablet ต่างๆ ทำให้ผู้ใช้ไม่มีปัญหาเมื่อเปลี่ยนสมาร์ทโฟน
- มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา การดูแลเก็บรักษาทำได้ง่าย สะดวก สามารถพกพาไปใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลาโดยไม่ต้องใช้ไฟฟ้า
- สามารถใช้ได้กับตัวอย่างทุกชนิด ทั้งอัญมณีดิบ อัญมณีเจียระไนแล้ว และอัญมณีบนตัวเรือน หรือสามารถประยุกต์ใช้ได้กับตัวอย่างอื่นๆ เช่น ดูผิวทอง รายละเอียดการแกะสลักทอง เป็นต้น
- สามารถปรับทิศทางการให้แสงได้อย่างอิสระ

<u>ด้านการใช้งาน</u>

- ราคาไม่แพง แต่สามารถใช้งานแทนกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการได้โดยที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน เปิดโอกาสให้ทุกคนสามารถเข้าถึงข้อมูลมลทินในอัญมณี ซึ่งโดยปกติต้องส่งตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญในห้องปฏิบัติการ
- การใช้งานอุปกรณ์ไม่ซับซ้อนและไม่จำเป็นต้องฝึกสอนก่อนการใช้งาน

- ภาพถ่ายที่ได้มีความละเอียดสูง สีเหมือนจริง นำไปใช้เทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิงได้ทันที
- สามารถเลือก Format ของไฟล์ภาพได้ และผู้ใช้อาจเลือกบันทึกภาพเป็นวิดีโอได้
- สามารถเผยแพร่ผ่าน Social network ได้ทันทีเพื่อสอบถามหรือขอคำปรึกษา หรือยืนยันเอกลักษณ์ของอัญมณีเทียบกับข้อมูลอ้างอิง

ประโยชน์และคุณค่าของผลงานสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม

- สามารถดูมลทินในอัญมณีและแยกแยะอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์และอัญมณีธรรมชาติปรับปรุงคุณภาพออกจากกันได้ เนื่องจากอุปกรณ์นี้สามารถขยายและบันทึกภาพตำหนิ สิ่งแปลกปลอมและมลทินในอัญมณีได้ ซึ่งภาพที่ได้มีคุณภาพและความละเอียดสูง สามารถนำไปเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ผล โดยผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องแม่นยำเท่ากล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการ และสามารถนำไปใช้ได้ทุกที่ทุกเวลาโดยไม่ต้องใช้พลังงาน
- ผู้ซื้อและผู้ขายอัญมณีเข้าถึงข้อมูลมลทินในอัญมณีมากขึ้น เนื่องจากอุปกรณ์ราคาถูก มีประสิทธิภาพและพกพาได้ ทำให้สามารถได้รับข้อมูลได้ทุกที่ทุกเวลาที่ต้องการ ซึ่งโดยปกติการได้มาซึ่งข้อมูลมลทินในอัญมณีต้องส่งเข้าห้องปฏิบัติการเท่านั้น
- สร้างความเชื่อมั่นให้ทั้งผู้ซื้อและผู้ขายในการค้าขายอัญมณี สร้างการค้าขายที่เป็นธรรม ส่งเสริมภาพลักษณ์ประเทศไทยที่เป็นศูนย์กลางการค้าอัญมณีและเครื่องประดับที่มีกลไกสร้างความเชื่อมั่นและส่งเสริมธุรกิจที่มีจริยธรรม

ประมาณการงบประมาณในการสร้างสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม

เลนส์ (ขึ้นอยู่กับชนิดและกำลังขยาย)	1,500 – 5,000	บาท
อุปกรณ์พลาสติก, โลหะ และส่วนประกอบของอุปกรณ์	2,000	บาท
ค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูป		
(3D Printer, LASER Cutter, การกลึงและขึ้นรูปเชิงกล)	2,000	บาท (โดยประมาณ)

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

โครงการเจ้าฟ้าไอที รัตนราชสุดา สารสนเทศ

มูลนิธิวิจัยเทคโนโลยีสารสนเทศ

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการเจ้าฟ้าไอที รัตนราชสุดา สารสนเทศ

แบบฟอร์มสมัครเข้าร่วมการแข่งขัน

ประเภทนักเรียน นิสิต นักศึกษา

ชื่อผลงานที่ส่งเข้าร่วมแข่งขัน : Gem-o-scope

ระบุระดับผู้สมัคร

☐ นักเรียน

☑นิสิต นักศึกษา ชั้นปีที่ 4 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

☐ สถาบันการศึกษา

O รายละเอียดผู้สมัคร

ชื่อหัวหน้าโครงการ : นางสาวกมลชนก จ.คุโนปกรณ์

เชื้อชาติ ไทย สัญชาติ ไทย เลขที่ 13 ตรอก/ซอย รื่นรมย์ รามคำแหง 24 ถนน รามคำแหง

ตำบล/แขวง หัวหมาก อำเภอ/เขต บางกะปิ จังหวัด กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10240

โทรศัพท์ 02-310-1039 โทรศัพท์มือถือ 085-503-6737 E-mail kamonchanok.jor@gmail.com

อาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร. สนอง เอกสิทธ์ E-mail: sanong.e@chula.ac.th

ร.ศ. ชูชาติ ธรรมเจริญ E-mail: chuchaat.t@chula.ac.th

ผลงานที่ส่งเข้าประกวด

O ส่งประกวดที่ NSC O ส่งประกวดที่ TICTA

Ø ส่งประกวดที่อื่นๆ 1. กิจกรรมบ่มเพาะนักประดิษฐ์สายอุดมศึกษา ประจาปี ๒๕๕๙ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) (อยู่ระหว่างการพิจรณา)

รางวัลที่ผ่านมาของผลงาน

☑ไม่เคยได้รับรางวัล

O เคยได้รับรางวัล

รายละเอียดผลงาน : กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนเพื่อการจำแนกอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์ และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ โดยการวิเคราะห์มลทินภายในอัญมณี เนื่องจากอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์ และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ มีมลทินภายในที่เป็นเอกลักษณ์ มีลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกันโดยชัดเจนสามารถจำแนกได้ด้วยภาพถ่ายไมโครสโคป ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์

และต้องการผู้เชี่ยวชาญในการจำแนก แต่กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นสามารถบันทึกภาพมลทินภายในอัญมณีได้เหมือนกับกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการหรือกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้โดยนักอัญมณี จึงสามารถใช้กล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนนี้สังเกต วิเคราะห์และจำแนกมลทินในอัญมณีได้อย่างแม่นยำ และด้วยข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการที่มีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักมาก ต้องใช้ไฟฟ้าในการทำงาน ราคาสูง ใช้งานยาก จึงทำให้ข้อมูลมลทินในอัญมณีไม่เป็นที่แพร่หลาย ข้อมูลมลทินในอัญมณีจึงเป็นข้อมูลที่รู้กันในเฉพาะกลุ่มผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น ผลงาน Gem-o-scope จึงเป็นการพัฒนากล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟน สามารถบันทึกภาพที่มีความคมชัด ความละเอียดภาพสูง กำลังขยายสูงเทียบเท่ากล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการ แต่มีข้อดีกว่าคือราคาไม่สูง ใช้งานง่าย น้ำหนักเบา สามารถนำไปใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา สามารถนำไปใช้สนันสนุนการทำธุรกิจอัญมณี โดยผู้บริโภคสามารถตวจสอบอัญมณีได้ด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องพึ่งพาผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

ประโยชน์อันพึงจะได้รับหรือผลกระทบที่มีต่อสังคมไทย หรือ ประเทศชาติ : ประเทศไทยถือเป็นศูนย์กลางการค้าอัญมณีของโลก ส่งผลให้มีสินค้าอัญมณีจากที่ต่างๆ ทำการซื้อขายที่ประเทศไทย อัญมณีจึงมีมูลค่าทางเศรษฐกิจซึ่งสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยมาก อัญมณีมีความสวยงาม มีมูลค่าสูง เป็นที่นิยมหาซื้อเป็นเครื่องประดับ หรือเก็บสะสมไว้เป็นทรัพย์สิน เมื่อความต้องการซื้ออัญมณีมีมากขึ้น ประกอบกับเป็นสินค้าที่มีมูลค่าสูง จึงมีการผลิตอัญมณีสังเคราะห์และอัญมณีปรับปรุงคุณภาพขึ้น ซึ่งมูลค่าของอัญมณีสังเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพนั้นต่ำกว่าอัญมณีธรรมชาติมาก และเนื่องจากประเทศไทยยังเป็นตลาดหลักในการซื้อขายอัญมณี ดังนั้นการจำแนกอัญมณีจากทั้ง 3 ชนิด คือ อัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์ และอัญมณีธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพออกจากกันจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญเพื่อการค้าขายอัญมณีอย่างยุติธรรม สร้างความเชื่อมั่นให้ทั้งผู้ซื้อและผู้ขาย และส่งเสริมภาพลักษณ์ที่ดีให้กับประเทศไทยในฐานะศูนย์กลางการค้าขายอัญมณี

ลักษณะเด่นของผลงาน

O เป็นโครงการ-ความคิดสร้างสรรค์

O เป็นโครงการที่คิดขึ้นใหม่

Ó เป็นโครงการที่พัฒนาจากผลงานที่มีอยู่แล้วและทำให้ดีขึ้นในเชิงวิชาการหรือเชิงพาณิชย์

Gem-o-scope เป็นผลงานนวัตกรรมที่พัฒนาต่อยอดจากจุฬาฯสมาร์ทเลนส์ โดยการออกแบบวิธีการถ่ายภาพและทิศทางของแสงให้เหมาะสมกับการถ่ายอัญมณี ออกแบบและสร้างตัวฐานวางสมาร์ทโฟนให้ปรับขึ้นลงได้ทำให้ง่ายต่อการบันทึกภาพไมโครสโคปของมลทินในอัญมณี และสร้างฐานข้อมูลมลทินในอัญมณีเพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการวิเคราะห์และจำแนกอัญมณี สำหรับบุคคลทั่วไป เนื่องจากสมาร์ทโฟนเป็นอุปกรณ์สื่อสารที่ทุกคนมี การบันทึกภาพด้วยสมาร์ทโฟนสามารถทำได้

ง่าย รวดเร็ว มีแอพริเคชั่นเสริม สามารถเผยแพร่ผลงานภาพถ่ายผ่านระบบโซเชียลเน็ตเวิร์คได้ทันที การบันทึกภาพไมโครสโคปของมลทินในอัญมณีประกอบกับการใช้ Information technology มาสนับสนุนการทำธุรกิจอัญมณีที่มีคุณธรรม จะส่งผลให้ประเทศไทยซึ่งเป็นศูนย์กลางการค้าอัญมณี สามารถสร้างและรักษาภาพลักษณ์ที่ดีในการทำธุรกิจ

บุคคลทั่วไปสามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลมลทินในอัญมณีที่บันทึกด้วยกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนในการเผยแพร่ เปรียบเทียบ สร้างฐานข้อมูล ถ่ายทอดความรู้ และทำธุรกิจอัญมณีได้อย่างเต็มศักยภาพ เนื่องจาก Gem-o-scope ทำให้การบันทึกภาพมลทินในอัญมณีและการเปรียบเทียบภาพในฐานข้อมูลสามารถทำได้ทุกที่ ทุกเวลา ทุกโอกาส โดยไม่มีข้อจำกัดด้านพลังงาน สมาร์ทโฟนที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้งานง่าย และมีระบบ Networking ประสิทธิภาพสูง ทำให้บุคคลทั่วไปสามารถใช้ประโยชน์ของ Information technology ในการทำธุรกิจอัญมณีที่มีคุณธรรม

○ **อื่นๆ**

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ต้นทุนการผลิต 10,000 บาท
แหล่งเงินทุนสนับสนุน เงินทุนสนับสนุนโครงการ Senior project ภาควิชาเคม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระยะเวลาในการดำเนินงาน 300 วัน
วันที่เริ่มต้น มิถุนายน 2558 วันที่สิ้นสุด มีนาคม 2559

ความต้องการในการใช้งาน : ในการวิเคราะห์มลทินในอัญมณี กล้องจุลทรรศน์เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้สังเกตมลทินในอัญมณีได้อย่างชัดเจน ซึ่งนักอัญมณีต้องการใช้กล้องจุลทรรศน์เป็นประจำเพื่อการวิเคราะห์มลทินและแยกแยะอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์และอัญมณีปรับปรุงคุณภาพออกจากกัน ซึ่ง Gem-o-scope นี้จะเปิดโอกาสให้บุคคลทั่วไปสามารถเข้าถึงมลทินในอัญมณี ในแบบเดียวกันที่นักอัญมณีเห็นจากกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการได้ ทำให้ข้อมูลมลทินในอัญมณีเป็นที่แพร่หลายมากขึ้น เทคโนโลยีสารสนเทศจะเป็นตัวกลางที่สำคัญในการจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลและเผยแพร่ความรู้มลทินในอัญมณีนี้ไปสู่คนทั่วไป ซึ่งสมาร์ทโฟนสามารถทำได้ง่าย อีกทั้งฐานข้อมูลนี้จะถูกใช้เป็นแหล่งฝึกฝนคนรุ่นใหม่ให้ชำนาญในการสังเกตและวิเคราะห์มลทินในอัญมณี ดังนั้น Gem-o-scope เมื่อใช้ร่วมกับเทคโนโลยีสารสนเทศ จะช่วยส่งเสริมธุรกิจการค้าอัญมณีอย่างเป็นธรรม

ที่ผ่านมายังไม่มีการใช้กล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนในการวิเคราะห์อัญมณี เนื่องจากยังไม่มีกล้องจุลทรรศน์สมาร์ทโฟนจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ แต่การใช้กล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการเพื่อการวิเคราะห์อัญมณีเป็นที่ยอมรับและเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการซื้อขายอัญมณี ผู้วิจัยคาดว่าผู้

จำหน่ายอัญมณีทั้งราบใหญ่และรายย่อย รวมไปถึงผู้บริโภคที่มีความสนใจในการวิเคราะห์อัญมณี สินแร่และหินสี จะใช้ Gem-o-scope ในการตรวจสอบและเผยแพร่ข้อมูลผ่านระบบโซเชียลเน็ตเวิร์ค และใช้ Information technology ในการซื้อขายอัญมณีมากขึ้น

แนวโน้มในการพัฒนา : ขณะนี้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการสร้าง Gem-o-scope ต้นแบบของกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอลจากสมาร์ทโฟนในการบันทึกภาพมลทินในอัญมณี และมีความละเอียดภาพกำลังขยายเทียบเท่ากับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการ สามารถใช้วิเคราะห์มลทินในอัญมณีได้อย่างมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการ ในอนาคตผู้วิจัยจะพัฒนาอุปกรณ์ให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น สามารถบันทึกภาพมลทินในอัญมณี รูปแบบต่างๆ เช่น Bright field illumination, Dark field illumination และ Polarization microscope
แนวโน้มการพัฒนาในอนาคตมีดังนี้

1. ด้าน Hardware – พัฒนาการเคลื่อนที่ของเลนส์ในแนวราบให้อิสระมากยิ่งขึ้น ทำฐานวางสมาร์ทโฟนให้เล็กลง กระทัดรัดขึ้น และพัฒนาด้านรูปลักษณ์ให้ดูสวยงาม เหมาะสมกับการใช้งานกับอัญมณี
2. ด้าน Software – พัฒนา Software ในรูปของ Application ในสมาร์ทโฟนที่รวบรวมมลทินในอัญมณี เพื่อเปรียบเทียบภาพถ่ายที่ได้ พร้อมทั้งให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับมลทินแต่ละชนิด
3. ด้าน Database – ในขณะนี้มีฐานข้อมูลมลทินของทับทิม มรกตและแซฟไฟร์ ในอนาคตจะพัฒนาฐานข้อมูลมลทินให้ครอบคลุมอัญมณีทุกชนิดทั้งจากอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีสังเคราะห์และอัญมณีปรับปรุงคุณภาพ
4. ด้าน Training – เปิดสอนผู้ที่สนใจในอัญมณี ให้สามารถถ่ายภาพเป็นและวิเคราะห์ได้ หรืออาจเป็นที่ปรึกษาในการวิเคราะห์อัญมณี

ศักยภาพเชิงพาณิชย์

1. สมาร์ทโฟนมีคุณภาพสูง ราคาไม่แพง จากสถิติคาดว่าในปี 2016 จะมีผู้ใช้สมาร์ทโฟนกว่าเจ็ดพันล้านคน กล่าวได้ว่าคนเกือบทั้งหมดในโลกมีสมาร์ทโฟน เมื่อทุกคนมีสมาร์ทโฟนเป็นของตัวเองอยู่แล้ว ทำให้ลดต้นทุนในการซื้อ Hardware อีกทั้งสมาร์ทโฟนมีศักยภาพในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บข้อมูล การเผยแพร่ข้อมูล
2. Application ในสมาร์ทโฟนในปัจจุบันใช้ง่าย ไม่ต้องฝึกฝน สามารถติดตั้งอุปกรณ์ Gem-o-scope แล้วใช้งานได้เลย
3. Social network ทำให้การเผยแพร่และการสื่อสารรวดเร็ว ดังนั้นหากต้องการศึกษาหาข้อมูลหรือขอคำปรึกษาจากผู้เชี่ยวชาญ จะสามารถทำได้ทันที

4. Database มีความพร้อมซึ่งส่งผลให้คนที่ซื้ออุปกรณ์ไปใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลที่หลากหลาย ไม่ต้องเสียเวลาหาข้อมูลเอง
5. อัญมณีเป็นของมีค่าเพื่อการลงทุน นักลงทุนบางกลุ่มสะสมอัญมณีเนื่องจากอัญมณีที่มีความสวยงามจากธรรมชาติลดน้อยลงเรื่อยๆ และราคาอัญมณีมีแต่เพิ่ม ไม่มีตก ประเทศไทยในฐานะเป็นศูนย์กลางการค้าขายอัญมณีของโลก ดังนั้นการรักษาภาพลักษณ์ธุรกิจที่มีคุณธรรมจึงเป็นสิ่งที่สำคัญให้คนทั่วโลกเชื่อมั่นและทำให้ประเทศไทยดำรงความเป็นเจ้าตลาดต่อไป

เงื่อนไขและข้อจำกัดของผลงาน

1. คุณภาพสมาร์ทโฟนแต่ละรุ่นและยี่ห้อไม่เท่ากัน แต่โดยส่วนมากแล้วใช้การได้ดี
2. มีปัญหาในการสร้างฐานข้อมูล เนื่องจากอัญณีบางชนิดมีราคาแพงมากและหาได้ยาก ส่งผลให้การทำฐานข้อมูลอัญมณีทุกชนิด ทุกประเภททำได้ยาก จึงต้องใช้ความร่วมมือจากหน่วยงานอื่นๆ และระยะเวลานาน เพื่อให้ได้ข้อมูลอย่างครบถ้วน

ลงชื่อ กมลชนก จ. .....

(กมลชนก จ.คุโนปกรณ์)

วันที่ 31 มีนาคม 2559

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวกมลชนก จ.คุโนปกรณ์ เกิดเมื่อวันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2536 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สายสามัญ แผนก วิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนพระมารดานิจจานุเคราะห์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร เมื่อปีการศึกษา 2554 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2555 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้หลังจบการศึกษาปริญญาตรี 13 ซอนรื่นรมย์ รามคำแหง 24 หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย