

CHARACTERISTICS OF MYANMAR AND SRI LANKA MOONSTONES

MR.RAPHASSI BOONSIRAM

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF BACHELOR SCIENCE

DEPARTMENT OF GEOLOGY, FACULTY OF SCIENCE

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2009

ลักษณะเฉพาะของมุกดาหารจากแหล่งประเทศพม่าและประเทศศรีลังกา

นายรภัทสิทธิ บุญศรีรัมย์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาธรณีวิทยา ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

วันที่ส่ง .....

วันที่อนุมัติ.....

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ พิสุทธอนนท์)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

# CHARACTERISTICS OF MYANMAR AND SRI LANKA MOONSTONES

Raphassi Boonsriram

Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

e-mail:fels\_pa@hotmail.com

---

## **Abstract**

Moonstone is orthoclase feldspar which is in tectosilicate group. Moonstone has a special characteristic called adularescence which appears as white to bluish white reflection from interior of the stone. The cause of adularescence phenomenon is still unclear, so it needs further study. This study uses 17 specimens of moonstone which comprises 6 samples from Myanmar and 11 samples from Sri Lanka. From the FTIR absorption spectra, O-H stretching were observed at about 3450-3700  $\text{cm}^{-1}$ . The UV-VIS-NIR absorption spectra give no absorption in visible range due to its colorless nature. From petrographic study and chemical analysis by EPMA, the variation of mineral compositions in moonstone is probably related to adularescence phenomenon especially orthoclase (K – feldspar) and Albite (Na –feldspar) which was resulted from exsolution called perthite. Perthite is the crucial factor which causes adularescence

ลักษณะเฉพาะของมุกดาหารจากแหล่งประเทศพม่าและประเทศศรีลังกา

รภัษสิทธิ์ บุญศรีรัมย์

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

e-mail: [fels\\_pa@hotmail.com](mailto:fels_pa@hotmail.com)

---

### บทคัดย่อ

มูนสโตน หรือมุกดาหาร เป็นแร่ที่จัดอยู่ในประเภท ออร์โทเคลส (Orthoclase) เฟลด์สปาร์ เป็นแร่ที่อยู่ในกลุ่ม Tectosilicate มูนสโตนเป็นอัญมณีที่มีลักษณะพิเศษ ซึ่งโดยทั่วไปจะไม่มีสีไปจนถึงมีสีขาวสวยงาม ลักษณะพิเศษที่สำคัญของมูนสโตนที่กล่าวถึงนั้น คือ เมื่อใดก็ตามที่มีแสงมาตกกระทบที่มูนสโตน จะเกิดปรากฏการณ์ทางแสงที่เรียกว่า Adularescence ซึ่งปรากฏการณ์ทางแสงนี้จะทำให้เกิดเหลือบแสงนวลขาวบนตัวมูนสโตน

สาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์ทางแสงที่เรียกว่า Adularescence ยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ จึงเป็นมูลเหตุจูงใจให้ดำเนินการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้ จากการศึกษา มูนสโตนจำนวน 17 ตัวอย่าง จากแหล่งประเทศพม่าจำนวน 6 ตัวอย่างและจากแหล่งประเทศศรีลังกาจำนวน 11 ตัวอย่าง พบว่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่อง FTIR มีรูปแบบการดูดกลืนแสงของ O-H Stretching ในช่วง  $3450-3700\text{ cm}^{-1}$  จากการศึกษาโดยเครื่อง UV-VIS-NIR Spectrometer ไม่พบการดูดกลืนแสงเลยเนื่องจากตัวอย่างไม่มีสี แต่จากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพราไลต์ และการศึกษาเคมีแร่ด้วยเครื่อง EPMA พบว่าองค์ประกอบแร่ในมูนสโตนมีการตอบสนองของแสงต่อแร่ ดังนั้นแร่ที่อยู่ภายในมูนสโตนจึงความสัมพันธ์กับการเหลือบแสงโดยตรง โดยเฉพาะแร่ Orthoclase (K-feldspar) กับแร่ Albite (Na-feldspar) ที่เกิดจากระบวนการ exsolution จึงทำให้เกิดลักษณะที่เรียกว่า Perthite ซึ่งเมื่อแสงผ่านตัวมูนสโตนที่มีลักษณะ Perthite แล้วจึงเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการเหลือบแสงที่ผิวของมูนสโตนได้

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. วิสุทธิ์ พิสุทธอนนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
โครงการเป็นอย่างยิ่งที่ให้ ข้อเสนอแนะคำปรึกษา และชี้แนวทางในการทำงาน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำ  
โครงการชิ้นนี้เป็นอย่างมาก

ขอพระคุณคณาจารย์ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุก  
ท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางธรณีวิทยา รวมทั้งประสบการณ์ต่าง ๆ และพี่ ๆ บุคลากรทั้งที่  
ภาควิชาธรณีวิทยาและพี่ที่ตึกสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับ(องค์การมหาชน)ที่ได้ให้  
ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ รุ่น 50 ที่ให้กำลังใจในการทำงานโดยเฉพาะนายณัทที ชิตางกูล  
นางสาวอัจฉิโบล เหล่าคุณ นางสาววัชรภรณ์ ภูทอง และนางสาวเชลียาห์ วันเมษบาลสถิต ที่ได้  
ช่วยเหลืองานจนเสร็จลุล่วงไปด้วยดี

## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	I
บทคัดย่อภาษาไทย	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	
2.1 รวบรวมและศึกษารายงานเอกสารที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 คัดเลือกและจัดกลุ่มตัวอย่าง	5
2.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง	7
2.3.1 การศึกษาลักษณะเฉพาะทางอัญมณี	7
2.3.2 การศึกษาสีลารรณนาและเคมีแร่	11
บทที่ 3 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล	
3.1 ตัวอย่างมูนสโตน	13

## สารบัญ (ต่อ)

3.2	ลักษณะทางกายภาพ	15
3.3	การดูดกลืนแสง FTIR	15
3.4	การดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR	17
3.5	มลทินที่พบจาก Raman	18
3.6	มลทินเนื้อใน	19
3.7	สีลาวรรณ	20
3.8	เคมีแร่	21
<b>บทที่ 4 อภิปรายและสรุปผล</b>		
4.1	อภิปรายผลการวิจัย	24
4.2	สรุปผลการวิจัย	25
<b>เอกสารอ้างอิง</b>		26
<b>ภาคผนวก</b>		27
ภาคผนวก ก	รูปตัวอย่างมุนสโตน(ก่อนตัดและขัด)จากแหล่งประเทศพม่า	28
ภาคผนวก ข	แสดงข้อมูลลักษณะทางกายภาพและสมบัติอัญมณีของตัวอย่าง มุนสโตนจากแหล่งประเทศพม่าและประเทศศรีลังกา	29



## สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ค การดูดกลืนแสง FTIR ของมอนสโตนจากแหล่งประเทศพม่าและ ประเทศศรีลังกาโดยเครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectrometer	30
ภาคผนวก ง การดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของมอนสโตนจากแหล่ง ประเทศพม่าและ ประเทศศรีลังกาโดยเครื่อง Ultraviolet-Visible Light-Near Infrared (UV-VIS-NIR) Spectrometer	33
ภาคผนวก จ ภาพแสดงการตอบสนองของแสงต่อแร่และภาพรีเวิร์ Black scattering ด้วยเทคนิคของ EPMA	34

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1	สรุปลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางอัญมณีของตัวอย่าง มูนสโตน	15
ตารางที่ 3.2	แสดงการศึกษาเคมีแร่ที่เกิดจากกระบวนการ Exsolution ของก้อนมูนสโตนจากแหล่งประเทศศรีลังกาโดยเครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer รุ่น JEOL Model JXA 8100	22
ตารางที่ 3.3	แสดงการศึกษาเคมีแร่จากแร่ที่เกิดจากกระบวนการ Exsolution ของมูนสโตนจากแหล่งประเทศพม่า(MM001) และแหล่งจาก ประเทศศรีลังกา (MS002) โดยเครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA) รุ่น JEOL Model JXA 8100	23

## สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	6
รูปที่ 2.2 เครื่องมือขั้นพื้นฐานทางอัญมณีที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทั้งหมดได้รับ ความอนุเคราะห์จากสวอ.	8
รูปที่ 2.3 (UV-VIS-NIR) Spectrometer (Model U-4001) ของสวอ. ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้	9
รูปที่ 2.4 Fouruier Transform Infrared (FTIR) Spectrometer (Model NEXUS 670) ของสวอ. ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้	10
รูปที่ 2.5 Laser Raman Spectroscopy (Model Invia Raman microscope) ของสวอ. ใช้ในการศึกษาครั้งนี้	10
รูปที่ 2.6 กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรต์(Olympus model BH-2)	11
รูปที่ 2.7 เครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (JEOL model JXA-8100) ใช้สำหรับการวิเคราะห์เคมีแร่	12
รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะเหล็บบนวลขาววาวคล้ายมุกของมูนสโตนจากทั้ง 2 แหล่ง	13
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างมูนสโตนจากแหล่งประเทศพม่าและประเทศศรีลังกาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้	14
รูปที่ 3.3 FTIR spectrum ของตัวอย่างมูนสโตนจากแหล่งประเทศพม่า	16
รูปที่ 3.4 FTIR spectrum ของตัวอย่างมูนสโตนจากแหล่งประเทศศรีลังกา	16
รูปที่ 3.5 UV-VIS-NIR ของตัวอย่างมูนสโตนจากแหล่งประเทศพม่า	17

## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ 3.6 UV-VIS-NIR ของตัวอย่างมุนสไตน์จากแหล่งประเทศศรีลังกา	17
รูปที่ 3.7 Raman spectrum ของกลุ่มแร่ Calcite	18
รูปที่ 3.8 Raman spectrum ของลักษณะที่ผิวทั่วไปของมุนสไตน์	18
รูปที่ 3.9 ลักษณะลายนิ้วมือ (fingerprints)	19
รูปที่ 3.10 ลักษณะท่อ (Growth tube)	19
รูปที่ 3.11 ลักษณะผลึกต่างสถานะที่อยู่ภายใน	19
รูปที่ 3.12 ลักษณะคล้ายท่อกลวง (hollow tube)	19
รูปที่ 3.13 ลักษณะผลึกต่างสถานะที่อยู่ภายใน	19
รูปที่ 3.14 ลักษณะกระจายเป็นจุด ๆ เรียกว่า (pinpoint)	19
รูปที่ 3.15 รูปบนซ้ายแสดงก้อนมุนสไตน์, รูปขวาบนแสดงทิศทางการเรียงตัวของริ้วแร่ที่เกิดจากกระบวนการ Exsolution, ภาพล่างซ้ายแสดงลักษณะริ้วแร่ซ้อนกับแนวคลิเวจ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (XPL) และรูปล่างขวาแสดงแนวคลิเวจ 2 แนวที่ทำมุม 90 องศาซึ่งเป็นลักษณะเด่นของแร่ออริโทเคลส	20
รูป 3.16 X-ray mapping ด้วยเทคนิคของ EPMA ของแผ่นหินบางขัดมันตัวอย่างมุนสไตน์จาก แหล่งประเทศศรีลังกา พบว่าเป็น K-rich เป็นส่วนใหญ่	21

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่นำรายได้เข้าสู่ประเทศจำนวนมาก แม้ว่าระบบเศรษฐกิจทั่วโลกจะประสบปัญหา แต่อุตสาหกรรมการผลิตและการค้าอัญมณีและเครื่องประดับของไทยก็ยังคงดำเนินต่อไป เพราะเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยในระดับต้นๆ และช่วยสร้างงานสร้างรายได้ให้กับคนไทยจำนวนมาก ประกอบด้วยคนไทยมีชื่อเสียงในด้านการเจียระไนพลอย จึงทำให้ประเทศไทยยังเป็นศูนย์กลาง การนำเข้าและส่งออกอัญมณีที่สำคัญและมีชื่อเสียงแห่งหนึ่งของโลก

ประเทศไทยมีแนวโน้มการนำเข้าพลอยก้อนหรือพลอยที่ยังไม่ได้เจียระไนสูง โดยประเทศไทยนำเข้าพลอยก้อนจากประเทศต่างๆ โดยเฉพาะจากประเทศ พม่า เวียดนาม แอฟริกาใต้ มาดากาสกา โมซัมบิก เคนย่า และศรีลังกา ซึ่งประเทศเหล่านี้มีชื่อเสียงด้านอัญมณี เพราะเป็นแหล่งกำเนิดพลอยคุณภาพสูงและสวยงาม พลอยก้อนที่นิยมนำเข้าได้แก่ พลอยตระกูลคอรันดัม เช่น ทับทิม แซปไฟร์ชนิดต่างๆ รวมถึงมรกต หยก ทิวมาลีน ทาซาไนต์ ควอร์ตซ์ ฯลฯ เพราะอัญมณีเหล่านี้มีความงดงามเป็นที่ต้องตาต้องใจของกลุ่มผู้รักและสะสมอัญมณี นอกจากนี้ยังมีอัญมณีที่น่าสนใจอีกหนึ่งชนิดที่สวยงามและมีลักษณะเด่นเฉพาะตัว นั่นก็คือ มูนสโตน หรือที่คนไทยหลายคนรู้จักในนามของมุกดาหาร

ลักษณะและความเป็นมาของมูนสโตนนั้น มงคล ทรัพย์ไพศาล (2551) ได้กล่าวไว้ สรุปได้ว่ามูนสโตนมีลักษณะที่มีความวาวของแสงลอยที่เด่นเป็นเอกลักษณ์ มีความนุ่มนวลดุจผิวของพระจันทร์หรือหยดน้ำ ที่ลอยอยู่บนหน้าของผิวพลอย ในทางความเชื่อที่มีความเกี่ยวข้องกับดวงจันทร์และเป็นหินที่วางใจได้ ได้รับการยกย่องว่าเป็น “แผ่นดินแม่” มูนสโตนมีสีขาวนํ้านมดูนุ่มนวล เป็นแร่เฟลด์สปาร์ประเภทที่สูงค่าที่สุดและมีแววเป็นประกายรุ่ง ช่วงเวลาที่มูนสโตนจะให้พลังมากที่สุดคือวันเพ็ญ มูนสโตนเป็นอัญมณีที่ให้การปกป้องผู้หญิงและธรรมชาติ เป็นหินศักดิ์สิทธิ์ของจันทราเทวี

ในด้านความเชื่อเกี่ยวกับการบำบัดรักษามักเชื่อกันว่า มูนสโตนมีสรรพคุณพิเศษ ช่วยในการกล่อมและปรับสมดุลอารมณ์ ช่วยให้หัวใจและจิตใจมีความสมดุลกันโดยไม่สูญเสียความอ่อนโยนและความเอาใจใส่ที่จำเป็นไป ก่อให้เกิดความยืดหยุ่น การถนอมกล่อมเกลี้ยงและเชาวน์ปัญญา นิยมใช้มูนสโตนเพื่อ

รับมือกับอารมณ์ในทางลบและเยียวยารักษาจิตวิญญาณเป็นอัญมณีแห่งความสมดุลทางอารมณ์ มุนสโตนเป็นหินที่เหมาะกับการใช้ทำสมาธิเพื่อทำความเข้าใจกับตัวเองนำมาซึ่งความสำเร็จในเรื่องความรักและธุรกิจ นอกจากนี้มุนสโตนยังนำพรศนะ การรับรู้ และความสามารถในการตัดสินใจให้ผู้สวมใส่ ทั้งยังส่งผลให้ผู้สวมใส่เชื่อในสัญชาตญาณของตนในยามที่ต้องตัดสินใจ ดังนั้นมุนสโตนจึงเป็นของขวัญที่สูงค่าสำหรับความรักและนำโชคลาภดี ๆ มาให้และยัง ถือว่า มุนสโตนคือ พลอยประจำเดือนเกิดเดือน มิถุนายน และเป็นอัญมณีสำหรับการครบรอบต่างๆปีที่ 13 (มงคล ทรัพย์สินไพศาล 2551) มุนสโตนเป็นอัญมณีที่มีลักษณะพิเศษ ซึ่งโดยทั่วไปมีตั้งแต่ ไม่มีสีไปจนถึงมีสีชาวยงาม ลักษณะพิเศษที่สำคัญของมุนสโตนที่กล่าวถึงนั้นคือเมื่อใดก็ตามที่มีแสงมาตกกระทบที่มุนสโตน จะเกิดปรากฏการณ์ทางแสงที่เรียกว่า Adularescence ซึ่งปรากฏการณ์นี้ จะเกิดเหลือบแสงนวลขาวบนตัวพลอยและการเจียระไนแบบหลังเบี้ย จะทำให้เกิดการเหลือบแสงได้ชัดเจนและสวยงามยิ่งขึ้น ซึ่งลักษณะพิเศษในการเหลือบแสงนวลขาวนี้ ทำให้มุนสโตนมีความแปลกและเป็นที่ยิ่งยวดของกลุ่มคนรักอัญมณีและกลุ่มนักสะสมหินสีต่าง ๆ เป็นอย่างมาก

จากลักษณะพิเศษของมุนสโตนกับการเกิดปรากฏการณ์ทางแสงที่เรียกว่า Adularescence ที่ได้กล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจจะศึกษาถึงลักษณะเฉพาะที่สำคัญภายในของมุนสโตนที่ยังไม่ชัดเจนว่าองค์ประกอบแร่ภายในจะมีผลต่อการเหลือบแสงนวลขาวหรือไม่ ถ้าองค์ประกอบแร่ภายในมีผลต่อการเหลือบแสงนวลขาวจะเกิดได้อย่างไร และมีปัจจัยใดเป็นตัวควบคุมลักษณะที่ปรากฏออกมาเช่นนั้น นอกจากประโยชน์ของการศึกษาวิจัยแล้วยังทำให้เราสามารถทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะเด่นของแร่องค์ประกอบภายในของมุนสโตน กับการเหลือบแสงได้ชัดเจนและกระจ่างยิ่งขึ้นว่าปัจจัยเหล่านั้นมีอิทธิพลต่อกันอย่างไร

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะทางแร่ของมุนสโตนจากแหล่งประเทศพม่าและประเทศศรีลังกา

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาวิเคราะห์ลักษณะทางอัญมณีของตัวอย่างมุนสโตนจำนวน 17 ตัวอย่างจากแหล่งประเทศพม่า และประเทศศรีลังกา โดยใช้เครื่องมือทางอัญมณีขั้นพื้นฐานและเครื่องมือขั้นสูง

#### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะองค์ประกอบแร่ภายในที่สำคัญของมุนสโตนและทราบความสัมพันธ์ระหว่างแร่ซึ่งมีลักษณะเด่นบางประการที่มีผลต่อการเหล็อบแสงของมุนสโตน

#### 1.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มุนสโตน หรือมุกดาหาร จัดอยู่ในประเภท ออร์โทเคลส (Orthoclase) เฟลด์สปาร์ และ เป็นชื่อชนิด (variety) หนึ่งของ แร่โปแตสเซียม เฟลด์สปาร์ มีสูตรทางเคมีเป็น  $(K,Na)AlSi_3O_8$  เป็นแร่ที่อยู่ในกลุ่ม Tectosilicate ปกติจะไม่มีสีถึงสีขาว มีลักษณะพิเศษเรียกว่า อะดูลาเรสเซนส์ (Adularescence ) คือลักษณะเหล็อบเส้นแสงนวลขาวเกิดจากความแตกต่างของมลทินภายในของมุนสโตนที่เรียงตัวกันเป็นชั้นบาง ๆ สลับกันไปมา ดังนั้นเมื่อมีแสงมากระทบที่ผิวของมุนสโตน จึงทำให้เกิดลักษณะพิเศษดังกล่าว มีลักษณะกึ่งโปร่งใสถึงโปร่งแสง สังเกตได้โดยการมีแสงในตัว ของมุนสโตนเอง มุนสโตนคุณภาพที่ดีจะมีแผ่นเหล็อบฟ้าอ่อนบนตัวพลอย ลักษณะโดยทั่วไปของมุนสโตน มีระบบผลึกแบบโมโนคลินิก ( Monoclinic) มีค่าดัชนีหักเหตั้งแต่ 1.518 - 1.526 ไบรีฟริงเจนส์ 0.008- 0.010 ลักษณะแกนแสงแบบไบแอกเซียล ( ลบ ) ความถ่วงจำเพาะ 2.55 - 2.61 ปกติ 2.58 มีความวาวแบบแก้วมีความแข็ง 6 – 6.5 ความทนทานไม่ดี ต้องระวังในการฝังตัวเรือน ไม่มี เพียวโอโครอิซึม และการเรืองแสงของมุนสโตน ไม่มีถึงสีน้ำเงินอ่อน ๆ ในคลื่นยาว ต่ำหนีในพลอยมุนสโตน อาจมีลักษณะคล้าย ๆ ตัวตะขาบ หรือมีรอยแตกเล็ก ๆ (Rickwood, 1981 ; สุมาลี เทพโสพรรณ ,2546)

ถ้ากล่าวถึงการเกิดมุนสโตนโดยทั่วไป มักเกิดในขณะที่มีการตกผลึกของหินอัคนี และอาจเกิดจาก สารละลายน้ำแร้อ่อน (Hydrothermal solution) เกิดในหินเปกมาไทต์ เกิดในหินอัคนีชนิดต่าง ๆ เช่นหินแกรนิต ไฮอีไนต์ และ เนฟิลิน-ไฮอีไนต์ สำหรับแหล่งกำเนิดที่พบในประเทศไทย พบอยู่ในหินแกรนิต เปกมาไทต์และไนส์ แหล่งใหญ่พบในเปกมาไทต์ ที่ จังหวัดราชบุรี เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน กาญจนบุรี อุทัยธานี และตาก ส่วนในต่างประเทศแหล่งสำคัญที่พบมุนสโตน ได้แก่ประเทศ บราซิล พม่า ศรีลังกา อินเดีย มาดากาสกา มลรัฐแคลิฟอร์เนีย และ แทนซาเนีย จากที่กล่าวมาแล้วนั้นมุนสโตนพบได้จากหลายแหล่ง แต่ละแหล่งนั้นมีลักษณะทาง

ธรณีวิทยาที่สำคัญและมีความสัมพันธ์กับแหล่งเกิดที่คล้ายๆกัน (กองเศรษฐกิจและเผยแพร่, 2526)

การศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาที่สัมพันธ์กับแหล่งเกิดของมุนสโตนในบางแหล่งที่สามารถศึกษาได้ชัดเจน ตัวอย่าง เช่น จากแหล่งในประเทศศรีลังกา ซึ่งลักษณะเด่นทางธรณีวิทยาของประเทศศรีลังกาเกิดจากการแปรสภาพชั้นสูงในยุคพรีแคมเบรียน ซึ่งแบ่งตามลักษณะหินหลักได้สามบริเวณ ได้แก่ Highland Complex, Vijayan Complex และ Wannai Complex ซึ่งมุนสโตนเกิดจากสายแร่เปกมาไทต์ขนาดใหญ่ตัดหินแปรในบริเวณ Highland Complex และเกิดแร่อัญมณีที่สำคัญชนิดอื่น ๆ ร่วมด้วย โดยจะพบมุนสโตนและอัญมณีอื่น ๆ เช่น beryl, chrysoberyl , zircon และ corundum ที่ถูกพัดพาจากแหล่งกำเนิดในบริเวณ Highland Complex มาตกสะสมตัวอยู่ที่บริเวณ Meetiyagoda ซึ่งเป็นบริเวณที่มีชื่อเสียงที่สุดของมุนสโตนในปัจจุบัน (Dissanayake et al., 2000)



## บทที่ 2

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปได้ตามแผนภาพดังรูปที่ 2.1 และมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

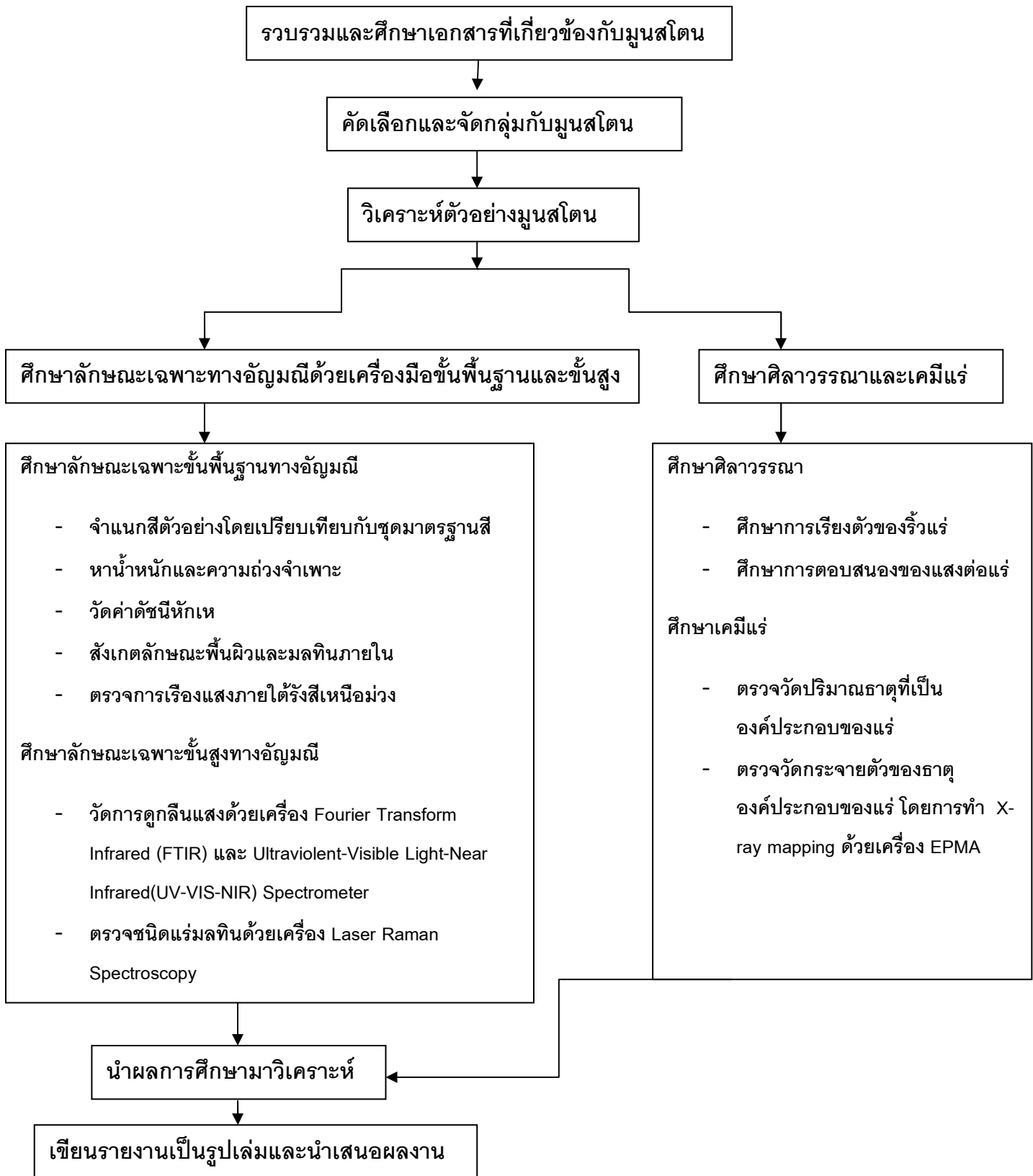
#### 2.1 รวบรวมและศึกษารายงานเอกสารที่เกี่ยวข้อง

การรวบรวมข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้องกับมุนสโตนถือว่าเป็นประโยชน์สำคัญต่อการวิเคราะห์และสรุปผลของงานวิจัย เนื่องจากสามารถนำมาเป็นข้อมูลเบื้องต้นและเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ผลสรุปที่น่าเชื่อถือที่สุด ตัวอย่างข้อมูลที่ได้ศึกษา เช่น ลักษณะทั่วไปของมุนสโตน ธรณีวิทยาของแหล่งมุนสโตนจากประเทศศรีลังกา และองค์ประกอบทางเคมีของมุนสโตนในประเทศศรีลังกา เป็นต้น

#### 2.2 คัดเลือกและจัดกลุ่มตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์เป็นตัวอย่างมุนสโตนจากแหล่งประเทศพม่าจำนวน 6 ตัวอย่างและประเทศศรีลังกาจำนวน 11 ที่ได้จากอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้นำมาวิเคราะห์ทั้งสิ้นจำนวน 17 ตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็นมุนสโตนที่ผ่านการเจียรไนแบบหลังเบี้ยจำนวน 16 ตัวอย่างและก้อนมุนสโตนจากแหล่งประเทศพม่าจำนวน 1 ตัวอย่าง

## ขั้นตอนการวิจัย



รูปที่ 2.1 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

## 2.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

แบ่งออกเป็น 2 วิธีดังนี้

### 2.3.1 ศึกษาวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางอัญมณี

เมื่อทำการรวบรวมตัวอย่างในขั้นตอนแรกเสร็จสิ้นก็นำตัวอย่างจากแหล่งประเทศพม่าและประเทศศรีลังกาบางส่วนไปตัดและขัดเพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวและลักษณะภายใน และง่ายต่อการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปโดยเฉพาะการดูคลื่นแสง เมื่อมูนสโตนผ่านการขัดแล้วจึงนำมาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือพื้นฐานทางอัญมณีและเครื่องมือขั้นสูงทางอัญมณีที่สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ(องค์การมหาชน)หรือสวอ. (GIT) ซึ่งในการวิเคราะห์ตัวอย่างมูนสโตนจะดำเนินการโดยอาศัยเครื่องมือพื้นฐาน (รูป 2.2) และเครื่องมือขั้นสูงควบคู่กันไป เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เพียงพอต่อการนำไปสรุปผล ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### เครื่องมือขั้นพื้นฐาน

##### ชุดมาตรฐานสีของ Gemological Institute of America (GIA)

นำตัวอย่างมูนสโตนทั้งหมด 17 ตัวอย่างมาทำการเปรียบเทียบสีโดยใช้ชุดมาตรฐานสีของ Gemological Institute of America (GIA)

##### เครื่อง Specific Gravity Balance

ชั่งน้ำหนัก ( Weight) ในหน่วยกะรัต (ct.) และ วัดค่าความถ่วงจำเพาะ (SG) ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะเป็นค่าเฉพาะของอัญมณีแต่ละชนิด ดังนั้นการวัดค่าความถ่วงจำเพาะสามารถจำแนกชนิดของมูนสโตนในเบื้องต้นได้

##### เครื่องวัดค่าดัชนีหักเห (Refractometer)

ค่าดัชนีหักเหเป็นคุณสมบัติทางแสงอย่างหนึ่งของอัญมณี จึงมีประโยชน์ต่อการจำแนกชนิดอัญมณี เนื่องจากอัญมณีแต่ละชนิดจะมีค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วงที่แตกต่างกัน ถือเป็นเครื่องมือแรกๆในการใช้จำแนกชนิดของอัญมณีต่างๆออกจากกัน โดยค่าที่ได้จากการวัดค่าดัชนีหักเหของมูนสโตนจากแหล่งประเทศพม่าและประเทศศรีลังกา

##### หลอดรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet Lamps)

ตรวจสอบการเรืองแสงของอัญมณีภายใต้แสง short wave และ long wave UV (Ultraviolet) light

## กล้องจุลทรรศน์อัญมณี (Gemological Microscope)

ใช้ศึกษาพื้นผิวและลักษณะภายในหรือลักษณะมลทินเนื้อในของอัญมณี การศึกษาลักษณะมลทินภายในพลอยถือเป็นลักษณะเฉพาะของอัญมณีแต่ละแหล่ง แต่ละชนิด ซึ่งจะมีความแตกต่างกันไป ถือเป็นลักษณะเฉพาะในการจำแนกแหล่งที่มาของพลอยได้



ชุดเทียบสีของ Gemological Institute of America (GIA)



(ซ้าย) เครื่องชั่งน้ำหนัก (Electronic Balance)  
(ขวา) เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity Balance)



กล้องจุลทรรศน์อัญมณี (Gemological Microscope)



เครื่องวัดค่าดัชนีหักเห (Refractometer)



เครื่องฉายรังสีเหนือม่วง

(Ultraviolet Lamps)

รูปที่ 2.2 เครื่องมือพื้นฐานทางอัญมณีที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทั้งหมดได้รับความอนุเคราะห์จากสวอ.

## เครื่องมือขั้นสูง

เครื่องมือขั้นสูงทางอัญมณีที่ใช้ในการวิเคราะห์ในการวิจัยนี้ประกอบไปด้วย

### Ultraviolet-Visible Light-Near Infrared (UV-VIS-NIR) Spectrometer

ศึกษารูปแบบการดูดกลืนแสงของตัวอย่างใน 3 ช่วงคลื่น ได้แก่ Ultraviolet, Visible Light และ Near Infrared เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คือรุ่น U-4001 (รูปที่ 2.3) ผลที่ได้อาจเกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน (electron transition) ของธาตุร่องรอย หรือ จากการถ่ายประจุ (charge transfer) ระหว่างธาตุร่องรอย หรือ จากศูนย์กลางสี (color centers) หรือ ความบกพร่องในโครงสร้าง (defect centers) ที่สามารถทำให้เกิดการเลือกดูดกลืน (selective absorption) คลื่นแสงบางช่วง ที่อาจมีผลต่อการเกิดสีของอัญมณีเม็ดนั้นๆ



รูปที่ 2.3 (UV-VIS-NIR) Spectrometer (Model U-4001) ของ สวอ. ที่ใช้สำหรับการศึกษาในครั้งนี้

### Fourier Transform Infrared (FTIR)

ศึกษารูปแบบการดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรดของอัญมณี ค่าที่ได้เป็นค่าพลังงานของการยืดหรือการหดแขนภายในโมเลกุลอะตอมภายในผลอย ที่ตอบสนองต่อคลื่นในช่วงอินฟราเรด ดังนั้นค่าที่วัดสามารถบอกโครงสร้างและพันธะของโมเลกุลที่อยู่ในตัวอย่างมุนสโตนได้ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คือรุ่น NEXUS 670 (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectrometer (Model NEXUS 670) ของ สวอ.ที่ใช้สำหรับการศึกษา

#### Laser Raman Spectroscopy

ศึกษาโดยใช้แสงเลเซอร์สีเขียวยิงผ่านเข้าไปในตัวอย่างไม่ให้โมเลกุลเกิดการขยับ และส่งผ่านพลังงานในรูปของ Raman Shift ที่เป็นค่าเฉพาะของแต่ละชนิด ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Raman Spectroscopy (Model Invia Raman microscope) (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 Laser Raman Spectroscopy (Model Invia Raman microscope) ของ สวอ. ใช้สำหรับการศึกษาคั้งนี้

### 2.3.2 ศึกษาสัณฐานวิทยาและศึกษาเคมีแร่

จัดเตรียมตัวอย่างโดยตัดแผ่นหินบางไม่ขัดมันจำนวน 4 ตัวอย่าง และแผ่นหินบางขัดมันจำนวน 2 ตัวอย่างจากก้อนมุนสไตน์จากแหล่งประเทศศรีลังกา ที่ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขั้นตอนแรก คือ นำตัวอย่างมาตัด โดยใช้เครื่อง Buehler Slab Saw โยตัดหลายด้านเพื่อเลือกหน้าที่เห็นลักษณะการเรียงตัวของแร่ที่ชัดที่สุด จากนั้น ทำการตัดหน้าที่เลือกแล้วติดกระจกด้วยกาว Epoxy ใช้ผงขัดที่มีขนาดหยาบ 600 และ 1000 เมช ขัดผิวหน้าของแผ่นหินบางเรียบเสมอกัน ทำความสะอาดด้วยเครื่อง Ultra Sonic Cleaner ต่อมานำแผ่นหินบางมาขัดมันโดยใช้เครื่อง Struers Rotopol-35 (6 $\mu$ ) และเครื่อง Struers DP-U4 (3 $\mu$ ) ตามลำดับ โดยทำความสะอาดแผ่นหินบางขัดมันในทุก ๆ ขั้นตอน ด้วย Ultra Sonic cleaner

#### การศึกษาสัณฐานวิทยา

ทำการศึกษาสัณฐานวิทยาของแผ่นหินบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรต์ (Olympus model BH-2) (รูปที่ 2.6) ศึกษาการเรียงตัวของริ้วแร่และองค์ประกอบของแร่ของมุนสไตน์



รูปที่ 2.6 กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรต์ (Olympus model BH-2) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ในการศึกษาสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรต์ ได้ศึกษาการเรียงตัวของริ้วแร่ ซึ่งสามารถที่จะเห็นลักษณะที่กล่าวไปแล้วนั้นได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้การศึกษารี้วแร่และการตอบสนองของแสงต่อแร่สามารถศึกษาควบคู่ไปกับ รอยแตก และ Birefringence ที่สามารถบ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะของแร่ได้ชัดเจนขึ้นอีกด้วย

## การศึกษาเคมีแร่

คัดเลือกแผ่นหินบางขัดมันของกลุ่มตัวอย่างมุนสโตนจากแหล่งละ 2 ตัวอย่าง ทำ X-ray Mapping การกระจายตัวของธาตุหลัก เช่น Na, K, Ca, Si, Al และทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแร่แต่ละรื้อวแร่ประมาณ 20 จุดต่อตัวอย่าง ด้วยเครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA) (JEOL model JXA-8100) (รูปที่ 2.3-6) ที่ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับค่ามาตรฐานที่ใช้วิเคราะห์ ใช้ Pure oxide standards สำหรับวิเคราะห์ P, Mg, Mn, Fe และ Ti และ Mineral standards สำหรับวิเคราะห์ Si, Al, Na, K และ Ca ได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างที่สภาวะเครื่องดังต่อไปนี้ 15.0 kV acceleration voltage,  $2.18 \times 10^{-8}$  A probe current.



รูปที่ 2.7 เครื่อง Electron Probe Micro-Analyzer (JEOL model JXA-8100) ที่ใช้สำหรับการศึกษาในครั้งนี้



## บทที่ 3

### ผลวิเคราะห์

#### 3.1 ตัวอย่างมูนสโตน

จากตัวอย่างมูนสโตน ที่ได้นำมาทำการศึกษารวมทั้งสิ้น 17 ตัวอย่าง จากแหล่งประเทศพม่า จำนวน 11 ตัวอย่าง และประเทศศรีลังกา จำนวน 6 ตัวอย่าง พบว่าทั้งสองแหล่งมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือลักษณะโดยทั่วไปจะไม่มีสี โปร่งแสง มีความวาวคล้ายมุก โดยที่ขนาดของมูนสโตนจากแหล่งประเทศพม่ามีขนาด 2-3 เซนติเมตร และมูนสโตนจากแหล่งประเทศศรีลังกา มีขนาด 3-4 มิลลิเมตรซึ่งมีลักษณะเหลือแสงนวลขาวและมีความวาวคล้ายมุกดังรูป 3.1

MM-002



2 cm

MS0010

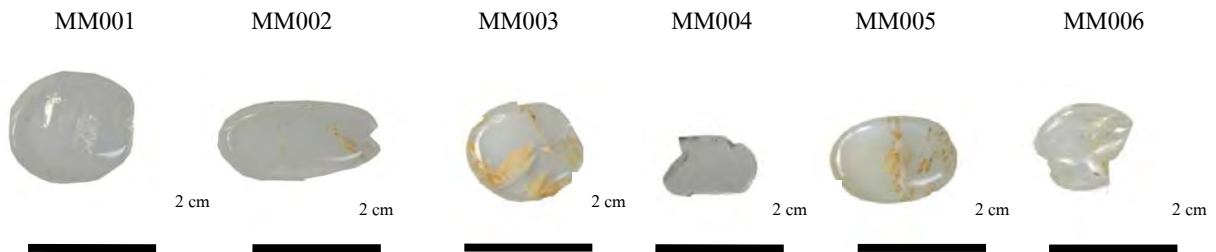


4 mm

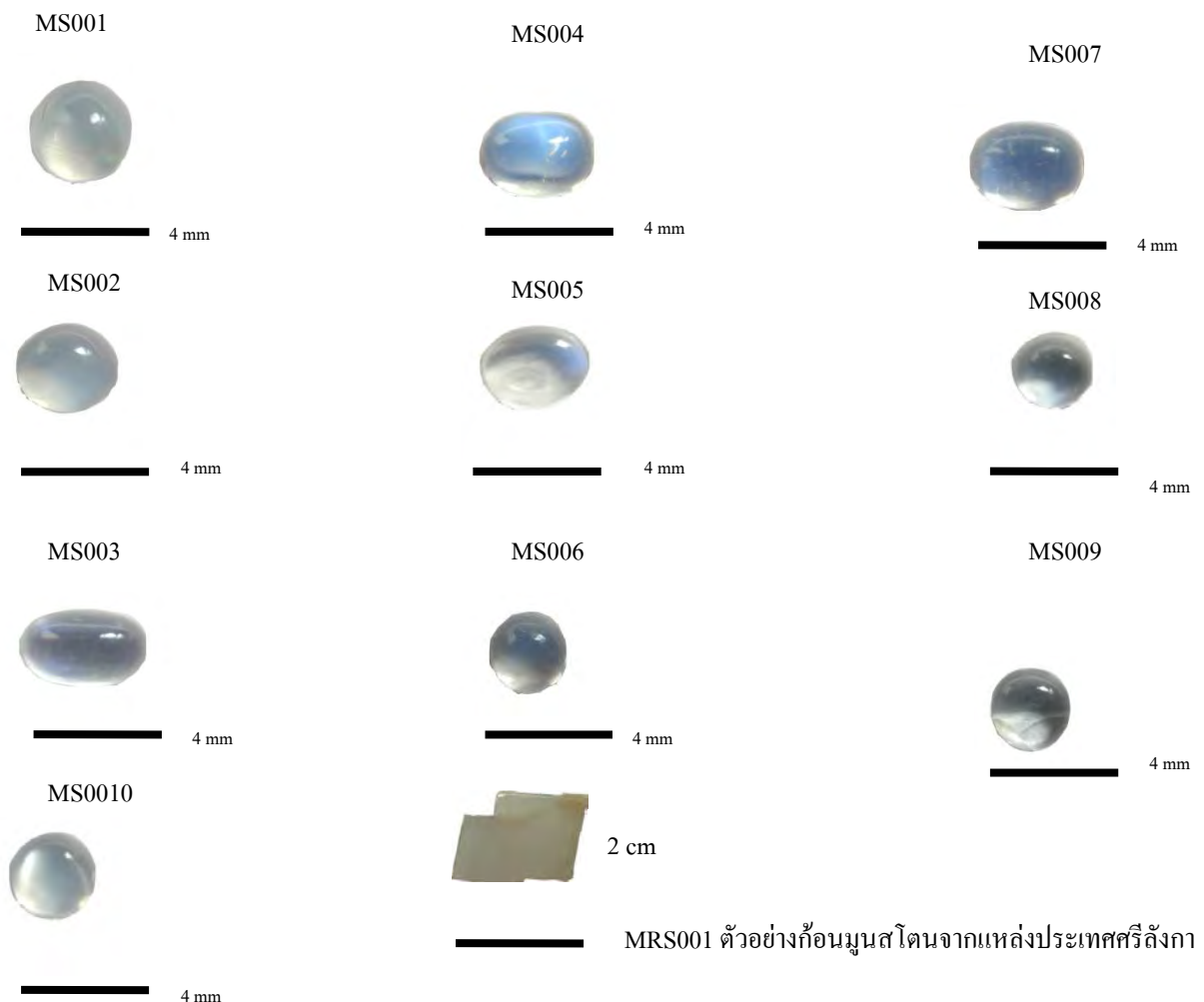
รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะการเหลือแสงนวลขาวซึ่งมีลักษณะความวาวคล้ายมุก

ตัวอย่างมูนสโตนจากแหล่งประเทศพม่าทั้ง 6 ได้นำมาตัดและขัดหน้าเรียบเพื่อสะดวกต่อการตรวจวัดสมบัติต่างๆ ส่วนมูนสโตนจากแหล่งประเทศศรีลังกาไม่ได้นำมาตัดเนื่องจากมีขนาดเล็กดังแสดงในรูป 3.2 สำหรับรูปตัวอย่างมูนสโตนจากแหล่งประเทศพม่าก่อนตัดและขัดรวบรวมไว้ในภาคผนวก ก

มูนสโตนจากแหล่งประเทศพม่า



มูนสโตนจากแหล่งประเทศศรีลังกา



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างมูนสโตนจากแหล่งประเทศพม่าและประเทศศรีลังกาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

### 3.2 ลักษณะทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพตัวอย่างมุนสโตนทั้งหมดแสดงสรุปไว้ในตารางที่ 3.1 และรายละเอียดของตัวอย่างทั้งหมดรวบรวมไว้ในภาคผนวก ข

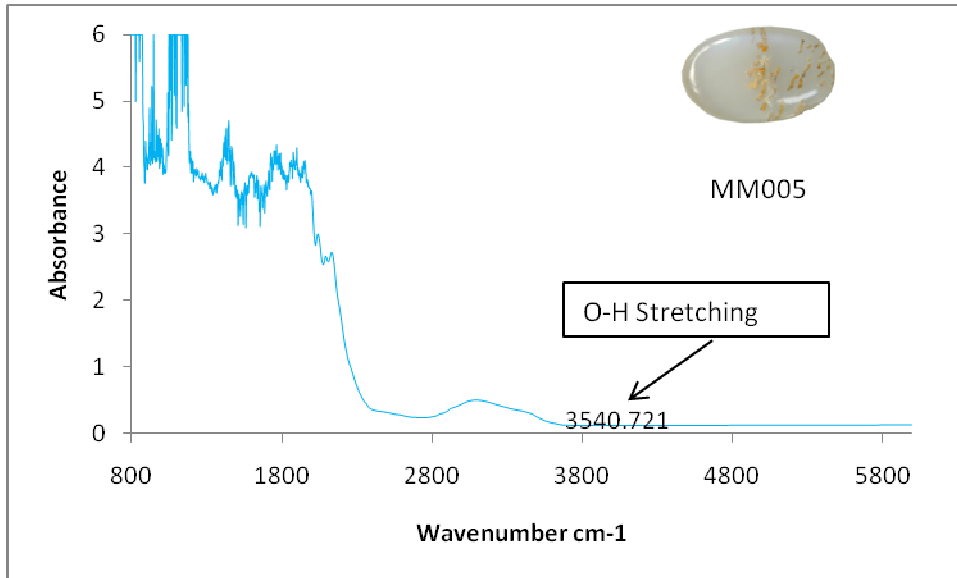
ตาราง 3.1 สรุปลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางอัญมณี

Size (ct.)	RI	SG	Fluorescence	
			SW	LW
0.17 – 7.30	1.515 - 1.530	2.548 – 2.621	Orangey Red	Inert (Blue)

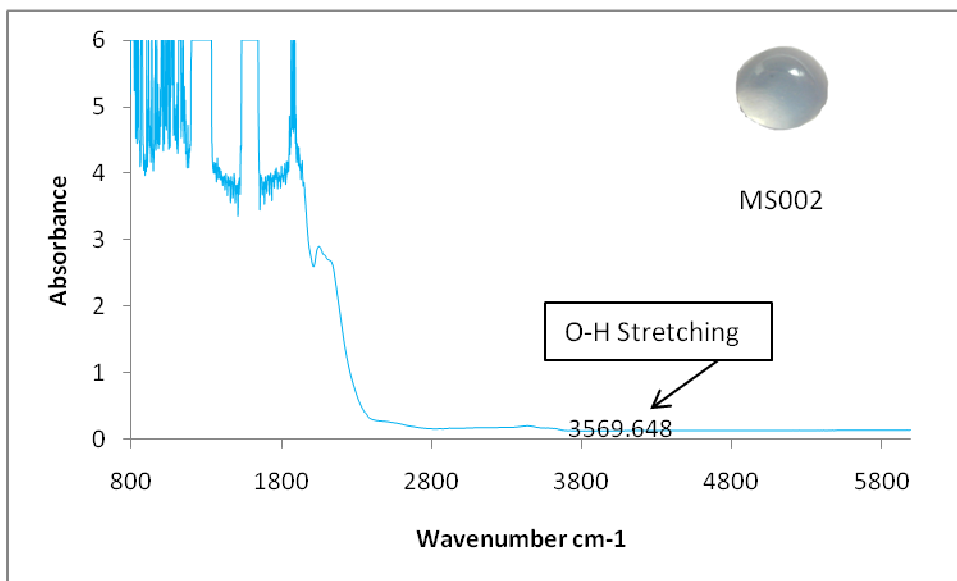
ตัวอย่างมุนสโตนจากแหล่งประเทศพม่าและประเทศศรีลังกา โดยทั่วไปพบว่าไม่มีสี และเหลือบแสงนวลขาวมีความวาวคล้ายมุก มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 0.17 -7.30 กะรัต ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 2.548 – 2.621 ค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.515 – 1.530 ตัวอย่างทั้งหมดแสดงการเรืองแสงสีแดงอมส้มภายใต้แสงเหนือม่วงช่วงคลื่นสั้น (shortwave ultraviolet) ในขณะที่ภายใต้แสงเหนือม่วงช่วงคลื่นยาว (long wave ultraviolet) ตัวอย่างทั้งหมดไม่แสดงการเรืองแสงเห็นเพียงสีน้ำเงินปานกลาง

### 3.3 การดูดกลืนแสง FTIR

ตัวอย่างของสเปกตรัมการดูดกลืนแสง FTIR ของมุนสโตนจากแหล่งประเทศพม่าและประเทศศรีลังกาจัดแสดงในรูป 3.3 และ 3.4 โดยตัวอย่างบางส่วนได้รวบรวมไว้ในภาคผนวก ค ตัวอย่างทั่วไปที่ทำการวิเคราะห์จะพบการดูดกลืนของ O – H stretching ที่ตำแหน่ง  $3450 - 3700 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งบ่งชี้ถึงความชื้นของมุนสโตน ซึ่งผลจากการวิเคราะห์นั้น พบว่าได้ค่าในช่วงการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มไปในช่วงเดียวกันทั้ง 2 แหล่ง ถึงแม้ผลการวิเคราะห์ในครั้งนี้จะพบเพียง O – H stretching ไม่พบพันธะอื่นๆแต่การดูดกลืนแสงในช่วงที่พบนี้ก็สามารถเป็นตัวแบ่งกลุ่มแร่ซิลิเกตออกจากกันโดยในช่วง O – H stretching สามารถแยกกลุ่ม Tectosilicate ออกจาก Phyllosilicate ซึ่งมุนสโตนจัดอยู่ในกลุ่มย่อยของ Tectosilicate



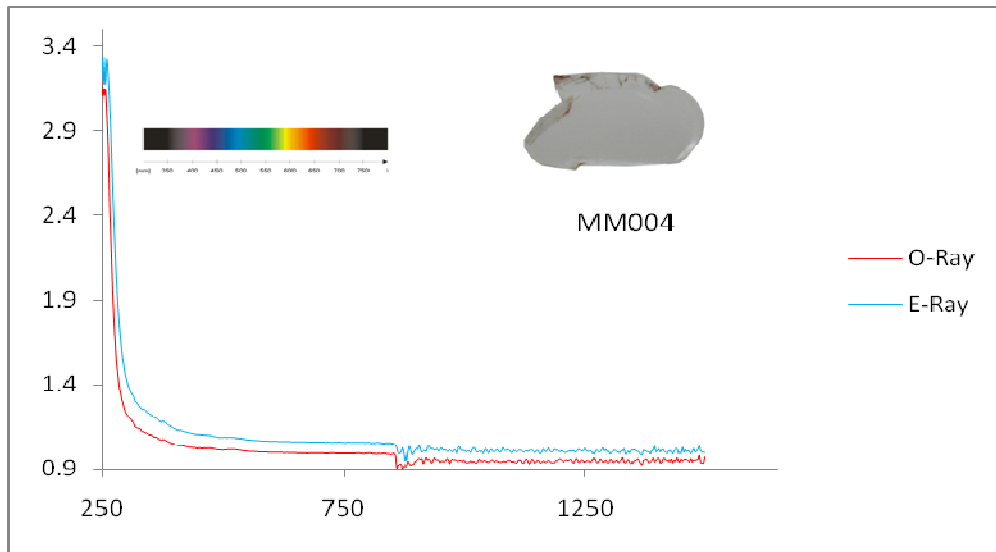
รูปที่ 3.3 FTIR spectrum ของตัวอย่างมุนสโตนจากแหล่งประเทศพม่า (MM005)



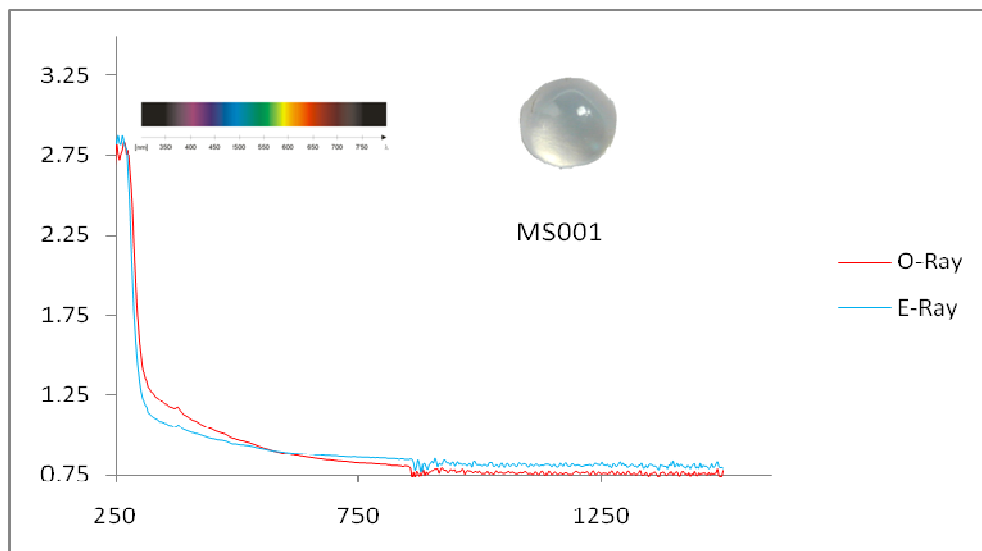
รูปที่ 3.4 FTIR spectrum ของตัวอย่างมุนสโตนจากแหล่งประเทศศรีลังกา (MS002)

### 3.4 การดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR

ตัวอย่างของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงช่วง UV-VIS-NIR ของมูนสโตนจากแหล่งประเทศพม่าและประเทศศรีลังกาจัดแสดงไว้ในรูปที่ 3.5 และ 3.6 โดยตัวอย่างที่วิเคราะห์บางส่วนรวบรวมไว้ใน ภาคผนวก ง แนวโน้มที่ได้พบว่ามีลักษณะคล้ายกันคือไม่พบการดูดกลืนแสงของมูนสโตนในทุกช่วงคลื่นเนื่องจากมูนสโตนที่นำมาวิเคราะห์นั้นไม่มีสีดังนั้นการวิเคราะห์จึงไม่พบร่องรอยของธาตุที่ให้สีของมูนสโตน



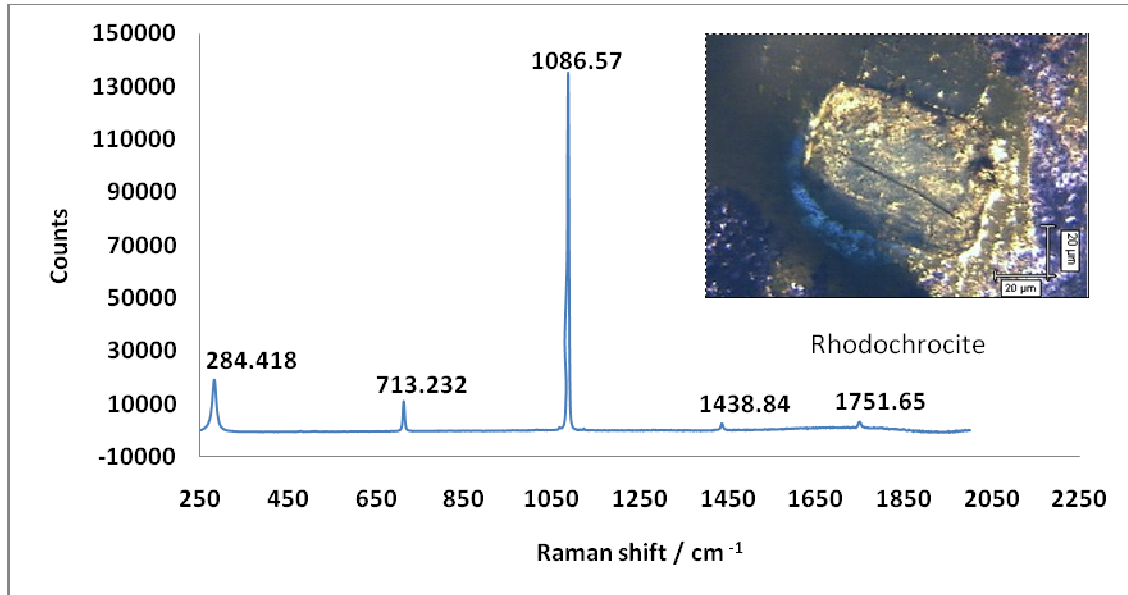
รูปที่ 3.5 การดูดกลืนช่วง UV-VIS-NIR ของมูนสโตนจากแหล่งประเทศพม่า (MM004)



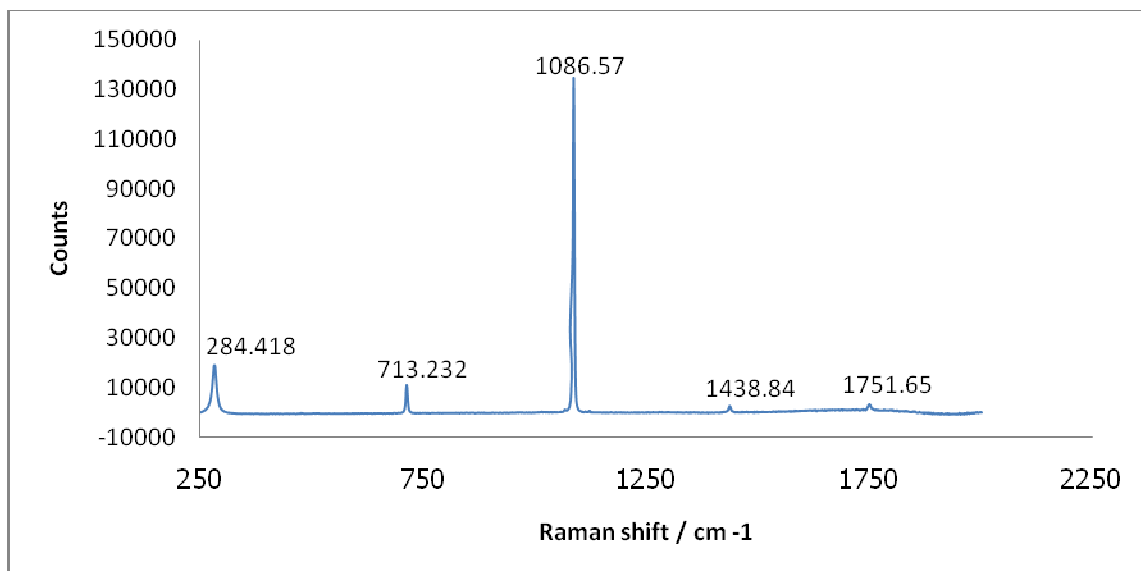
รูปที่ 3.6 การดูดกลืนช่วง UV-VIS-NIR ของมูนสโตนจากแหล่งประเทศศรีลังกา (MS001)

### 3.5 มลทินที่พบจากการวิเคราะห์เครื่อง Laser Raman Spectroscopy

ตัวอย่างมลทินที่พบเป็นลักษณะแผ่นติดอยู่ในมูนสโตน พบในแหล่งประเทศพม่าซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าอยู่ในกลุ่มแร่ Calcite และลักษณะพื้นผิวทั่วไปของมูนสโตน ดังรูปที่ 3.7 และ 3.8



รูปที่ 3.7 Raman spectrum ของแร่ Rhodochrosite ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Calcite



รูปที่ 3.8 Raman spectrum บนพื้นผิวทั่วไปของมูนสโตน

### 3.6 มลทินเนื้อใน

มลทินเนื้อในที่พบในตัวอย่างมูสโตนที่พบมากและชัดเจนโดยเฉพาะจากแหล่งประเทศพม่า ประกอบด้วยลักษณะ fingerprints (รูปที่ 3.9) ลักษณะท่อ Growth tubes (รูปที่ 3.10) ผลึกต่างสถานะ (รูปที่ 3.11) ท่อกลวง (hollow tube) (รูปที่ 3.12) ผลึกต่างสถานะ(รูปที่ 3.13) และการกระจายเป็นจุด ๆ เรียกว่า pinpoint รูปที่ (3.14)



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะคล้ายลายนิ้วมือ (fingerprints)



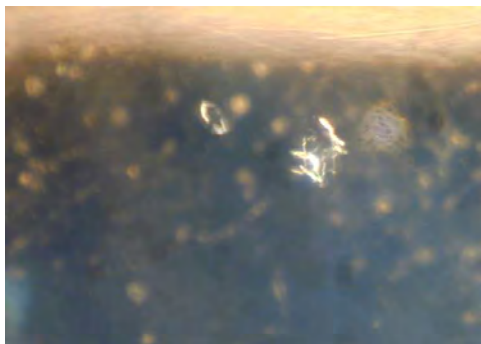
รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะท่อ (Growth tube)



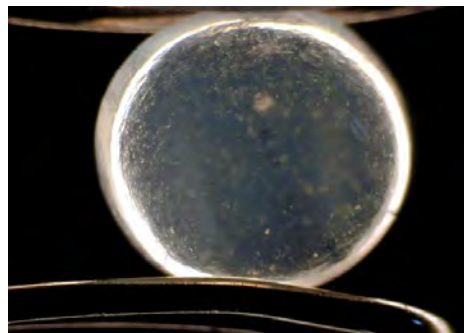
รูปที่ 3.11 เป็นภาพแสดงผลึกต่างสถานะ



รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะคล้ายท่อกลวง (hollow tube)

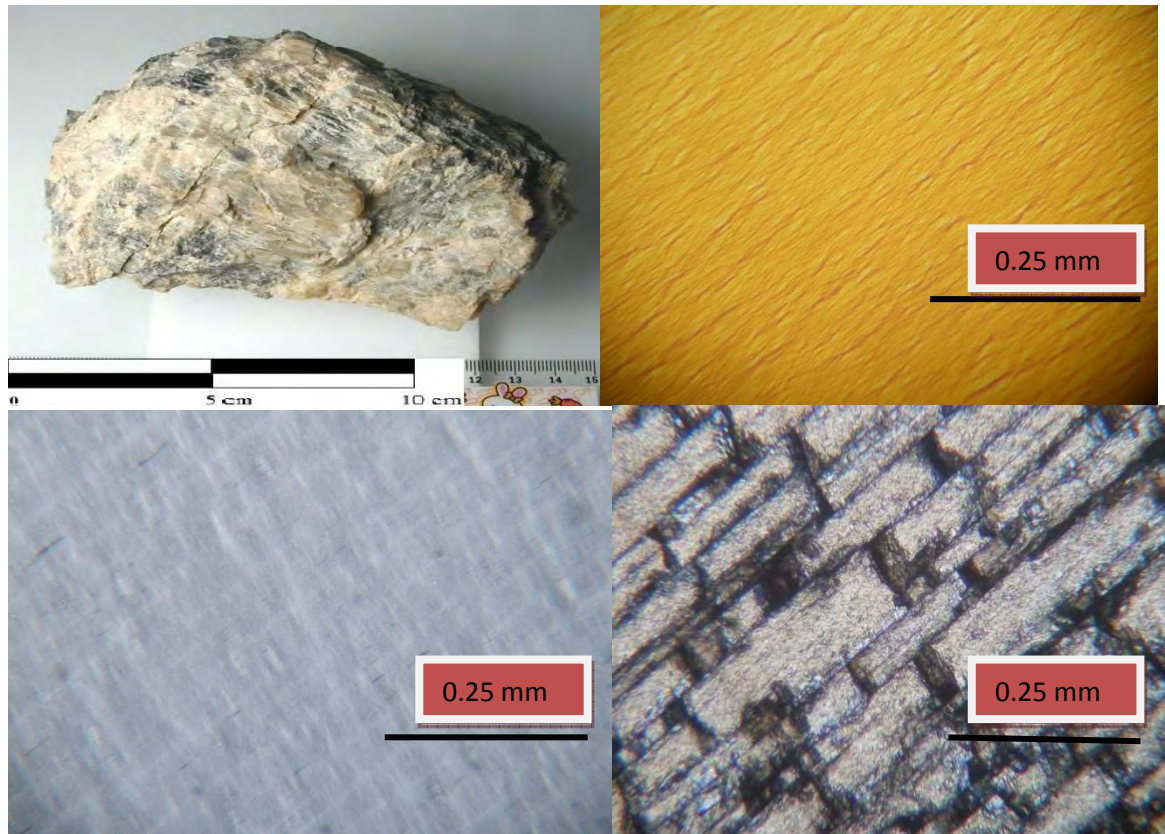


รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะผลึกต่างสถานะ



รูปที่ 3.14 แสดงการกระจายเป็นจุด ๆ เรียกว่า pinpoints

### 3.7 ศิลาวรรณาของก้อนมูนสไตน์จากแหล่งประเทศศรีลังกา



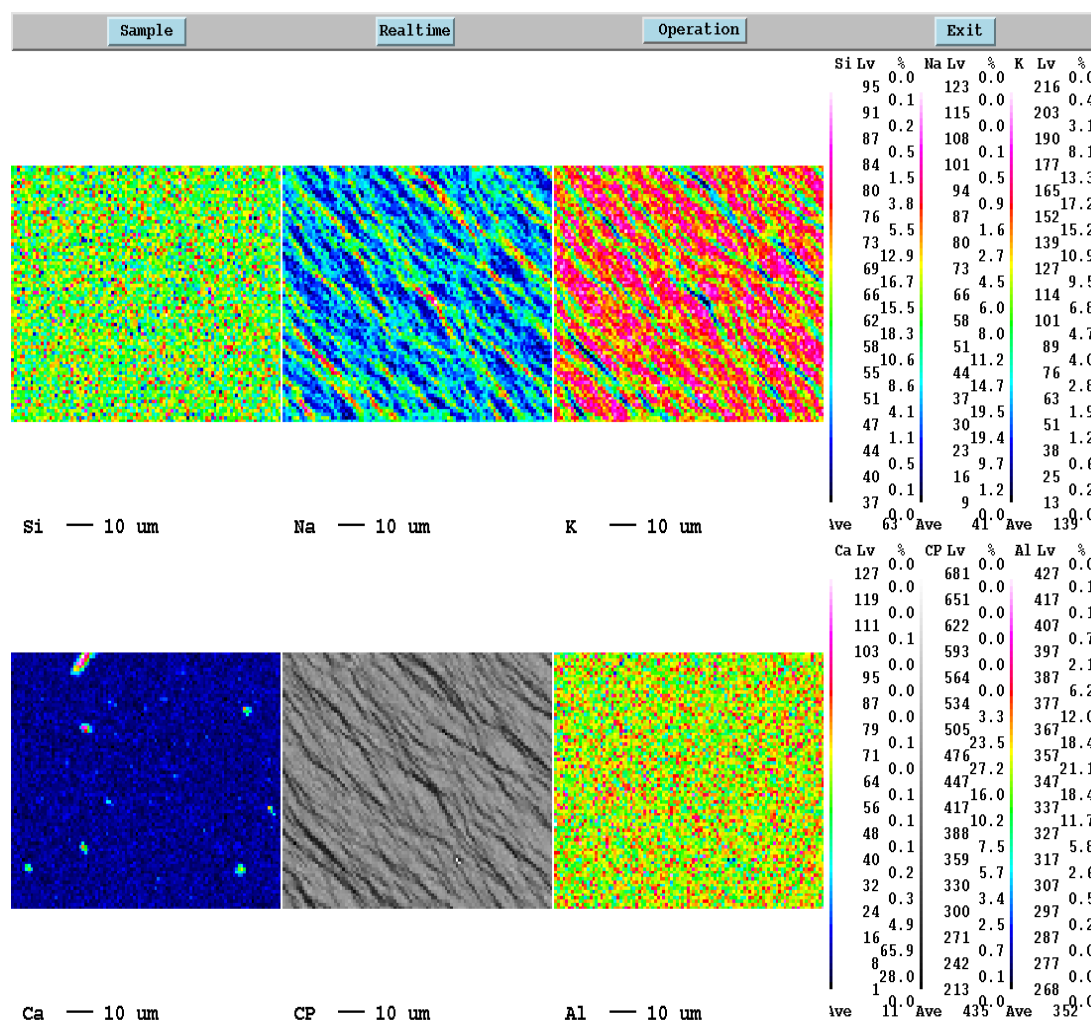
รูปที่ 3.15 รูปบนซ้ายแสดงก้อนมูนสไตน์, รูปขวาบนแสดงทิศทางการเรียงตัวของริ้วแร่ที่เกิดจากกระบวนการ Exsolution, ภาพล่างซ้ายแสดงลักษณะริ้วแร่ซ้อนกับแนวคลิเวจภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรต์ (XPL) และรูปล่างขวาแสดงแนวคลิเวจ 2 แนวที่ทำมุม 90 องศาซึ่งเป็นลักษณะเด่นของแร่ออร์โทเคลสเฟลด์สปาร์

ปกติ ณ ที่อุณหภูมิสูงแร่ Alkali feldspar เกิดจากหินหนืดเย็นตัวอย่างรวดเร็วจะเกิดเป็นแร่รวมชนิดเดียวแบบไม่แยกตัว (solid solution) แต่ถ้าหินหนืดมีการเย็นตัวอย่างช้า ๆ แร่ Alkali feldspar จะเกิดแยกแร่เป็นสองแร่คือ แร่ K-feldspar (มี K สูง) และแร่ Albite (มี Na สูง) เราจะเรียกผลของการเกิดเนื้อผลึกแยกตัว (Exsolution) ที่มีสาเหตุมาจากการเย็นตัวของหินหนืดอย่างช้า ๆ ว่า เนื้อรอยแล้ หรือ Perthitic texture ซึ่งหมายถึงเนื้อหินที่แร่ K-feldspar (host) มีแร่ Albite เป็นแนว ๆ (lamellae) คาดอยู่เหมือนรอยแล้ และสามารถเห็นทิศทางของแนวการเรียงตัวของแร่



### 3.8 การศึกษาเคมีแร่

จากการวิเคราะห์และศึกษาสีลาอรรณาแผ่นหินบางขัดมันด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ที่เห็นเป็นการคาดคะเนในเบื้องต้น ดังนั้นการที่จะสรุปผลอาจจะคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากแผ่นหินบางที่นำมาศึกษาค่อนข้างหนา ดังนั้นจึงต้องอาศัยผลจากเทคนิควิเคราะห์ X-ray mapping ด้วย EPMA มาเป็นข้อมูลประกอบในการศึกษาสีลาอรรณา ซึ่งทำให้เห็นการกระจายตัวของธาตุ Na และ K ได้ค่อนข้างชัดเจน ดังรูปที่ 3.16



รูป 3.16 X-ray mapping ด้วยเทคนิคของ EPMA ของแผ่นหินบางขัดมันตัวอย่างมนุสโตน จากแหล่งประเทศศรีลังกา พบว่าเป็น K-rich เป็นส่วนใหญ่และมีริ้วของ Na-rich แทรกสลับ

ตารางที่ 3.2 การศึกษาเคมีแร่จากวิธีแร่ที่เกิดจากกระบวนการ Exsolution ของก้อนมูนสไตน์จากแหล่งประเทศศรีลังกาโดย EPMA พบว่าเป็น K-feldspar เป็นส่วนใหญ่และมีรีวของ Na-feldspar แทรก

MRS001	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	64.02	66.64	64.29	64.04	64.77	64.89	64.22	66.72	64.19	64.86
Na <sub>2</sub> O	2.16	8.35	2.55	2.33	3.65	4.30	2.04	7.27	2.53	3.99
FeO	0.10	0.06	0.07	0.03	0.03	0.05	0.00	0.08	0.07	0.05
CaO	0.10	0.15	0.12	0.14	0.28	0.13	0.13	0.16	0.10	0.18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.01	0.04	0.03	0.12	0.04	0.03	0.02	0.02	0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.71	19.48	18.63	18.62	18.81	18.98	18.65	19.79	18.82	18.89
MgO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.06	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.00	0.04	0.01	0.02	0.00	0.05	0.02	0.00
K <sub>2</sub> O	13.10	4.60	12.75	13.09	10.47	9.45	13.07	4.46	12.37	10.39
Total	98.25	99.39	98.45	98.31	98.14	97.87	98.15	98.55	98.11	98.42
Formula 8(O)										
Si	2.99	2.98	2.99	2.98	3.00	3.01	3.00	3.03	2.97	2.99
Na	0.19	<b>0.72</b>	0.23	0.21	0.33	0.39	0.18	<b>0.64</b>	0.23	0.36
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.03	1.03	1.02	1.02	1.03	1.04	1.03	1.06	1.03	1.03
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	<b>0.78</b>	0.26	<b>0.76</b>	<b>0.78</b>	<b>0.62</b>	<b>0.56</b>	<b>0.78</b>	0.26	<b>0.74</b>	<b>0.61</b>
Total	4.99	5.00	5.01	5.00	4.99	5.01	5.00	5.00	4.97	5.00

ตารางที่ 3.3 การศึกษาเคมีแร่ที่เกิดจากกระบวนการ Exsolution ของมนสโตนจากแหล่งประเทศพม่า (MM001) และแหล่งจากประเทศศรีลังกา (MS002) โดย EPMA

MM001	1	2	3	4	5	6	MS0002	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	65.87	65.62	65.70	65.12	66.23	65.01	SiO <sub>2</sub>	65.27	65.93	65.48	65.55	65.81	65.90
Na <sub>2</sub> O	3.82	3.50	3.70	3.72	3.45	3.75	Na <sub>2</sub> O	3.82	3.84	3.80	3.72	3.75	3.82
FeO	0.07	0.04	0.07	0.06	0.07	0.08	FeO	0.02	0.05	0.00	0.03	0.02	0.00
CaO	0.21	0.20	0.20	0.24	0.26	0.26	CaO	0.31	0.29	0.28	0.28	0.28	0.30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.02	0.00	0.01	0.06	0.02	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.51	18.89	18.60	18.74	18.73	18.63	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.68	18.82	18.66	18.67	18.84	18.68
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	MgO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	MnO	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.06
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	TiO <sub>2</sub>	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00
K <sub>2</sub> O	9.76	9.01	9.83	9.40	9.13	9.38	K <sub>2</sub> O	10.06	9.93	9.88	9.95	9.90	10.03
Total	98.25	97.28	98.12	97.29	97.92	97.13	Total	98.18	98.88	98.14	98.23	98.61	98.79
Formula 8(O)							Formula 8(O)						
Si	3.05	3.08	3.05	3.05	3.10	3.05	Si	3.03	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04
Na	0.34	0.32	0.33	0.34	0.31	0.34	Na	0.34	0.34	0.34	0.33	0.34	0.34
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	Ca	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.01	1.05	1.02	1.03	1.03	1.03	Al	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.01
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.58	0.54	0.58	0.56	0.55	0.56	K	0.60	0.58	0.58	0.57	0.58	0.59
Total	4.99	5.00	4.99	4.99	5.00	4.99	Total	5.01	4.99	4.99	4.97	5.00	4.99

## บทที่ 4

### อภิป്രายและสรุปลการวิจัย

#### 4.1 อภิป്രายผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์มุนสโตนทั้ง 17 ตัวอย่างจากแหล่งประเทศพม่าและประเทศศรีลังกา พบว่าโดยทั่วไป สมบัติทางกายภาพและทางแสงทุกตัวอย่างมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันในช่วงปกติของมุนสโตน มีลักษณะการเลี้ยวเบนแสงนวลขาว มีลักษณะค่อนข้างใสและไม่มีสี มีขนาดตั้งแต่ 4 มม. - 3 ซม. น้ำหนัก 0.17 - 7.30 กรัม ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 2.548 - 2.621 ค่าดัชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.515 - 1.530 ลักษณะการเรืองแสงภายใต้แสงเหนือม่วงให้แสงสีแดงอมส้มในช่วงคลื่นสั้น การศึกษาโดยเครื่อง FTIR พบว่ามีรูปแบบการดูดกลืนแสงของ O-H Stretching ในช่วง 3450-3700  $\text{cm}^{-1}$  จากการศึกษาโดยเครื่อง UV-VIS-NIR Spectrometer พบการดูดกลืนแสงเฉยเนื่องจากตัวอย่างไม่มีสี การวิเคราะห์โดยเครื่อง Laser Raman ตัวอย่างมลทินที่พบเป็นลักษณะแผ่นติดอยู่ในมุนสโตนแหล่งประเทศพม่า พบว่าอยู่ในกลุ่มแร่ Calcite

จากที่กล่าวไปแล้วในเบื้องต้นถึงลักษณะเฉพาะทางอัญมณีของมุนสโตน แต่จุดประสงค์หลักของการศึกษาในครั้งนี้ต้องการศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของมุนสโตนซึ่งก็คือลักษณะของการเลี้ยวเบนของมุนสโตนว่าปัจจัยใดที่เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ทางแสงที่เรียกว่า Adularescence จึงต้องทำการศึกษาด้านสิลาวิทยาเกี่ยวกับตัวแร่ของมุนสโตนรวมถึงการศึกษาคemieแร่ ผลจากการศึกษาสิลาวิทยาและเคมีแร่ คาดว่าแร่ที่เกิดเป็นมุนสโตนนั้นเกิด ณ ที่อุณหภูมิสูง คือแร่ Alkali feldspar เกิดจากหินหนืดเย็นตัวอย่างรวดเร็วจะเป็นแร่รวมชนิดเดียวแบบไม่แยกตัว (solid solution) คาดว่าหินหนืดมีการเย็นตัวอย่างช้า ๆ แร่ Alkali feldspar จึงเกิดแยกแร่เป็นสองแร่คือ แร่ K-feldspar (มี K สูง) และแร่ Albite (มี Na สูง) เราเรียกผลของการเกิดเนื้อผลึกแยกตัว (Exsolution) ที่มีสาเหตุมาจากการเย็นตัวของหินหนืดอย่างช้า ๆ ว่า เนื้อรอยแร่ หรือ Perthitic texture ซึ่งหมายถึงเนื้อหินที่แร่ K-feldspar (host) มีแร่ Albite เป็นแนว ๆ (lamellae) คาดอยู่เหมือนรอยแร่ และสามารถเห็นทิศทางของแนวการเรียงตัวของแร่ดังกล่าว เมื่อศึกษาการตอบสนองของแสงต่อแร่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรด์ที่เป็นแสงแกนเดียว พบว่าเมื่อแสงหักเหผ่านเข้าสู่ตัวมุนสโตนที่มีลักษณะ Perthite ณ บริเวณนี้จะทำให้เกิดการ

ตอบสนองของแสงต่อแร่โดยเกิดแทรกสอดของแสงในแต่ละริ้วแร่ซึ่งประกอบไปด้วยแร่ K-feldspar (มี K สูง) และแร่ Albite (มี Na สูง) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของแสงของมุนสไตน์

## 4.2 สรุปผล

- 1 ลักษณะเฉพาะทางอัญมณีของมุนสไตน์ของตัวอย่างจากแหล่งประเทศพม่าและประเทศศรีลังกามีลักษณะเฉพาะและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน
- 2 จากการศึกษาสีลาอรรณาและเคมีแร่พบว่ากรณีที่มุนสไตน์เกิดการเลี้ยวเบนของแสงขาวได้จากการตอบสนองของแสงต่อแร่ที่เกิดจากกระบวนการ Exsolution ดังภาพในภาคผนวก จ

## เอกสารอ้างอิง

- Benhrens, H., Romano, C., Nowak, M., Holtz, F. and Dingwell, D. B., 1996. Near-infrared spectroscopy determination of water species in glasses of the system  $\text{MAiSi}_3\text{O}_8$  (M= Li, Na, K): an interlaboratory study. Chemical Geology Including Isotope Geoscience, V. 128:41-63
- Matteson, A. and Herron, M.M.1993.Quantitative mineral analysis by Fourier Transform Infrared spectroscopy. SCA Conference, V. 9308
- Christos Evangelakakis., Herbert Kroll., Gerhard Voll., Hans-Rudolf Wenk., Hu Meisheng. and Jurgen Kopcke.,1993. Low-temperature coherent exsolution in alkali feldspar from high-grade metamorphic rocks of Sri Lanka.Contrib Mineral Petrol, V.114:519-532
- Dissanayake, C. B., Chandrajith, R. and Tobschall H. .J., 2000. The geology, mineralogy and rare element geochemistry of the gem deposits of Sri Lanka. Bulletin of the Geological Society of Finland, V. 72, Parts 1-2: 5-20.
- Rickwood., P. C., 1981 .The largest crystals. American Geologist. V. 66: 885-907.
- กองเศรษฐกิจและเผยแพร่. 2526. แร่กรมทรัพยากรธรณี. พิมพ์ครั้งที่ 3. ศรีเมืองการพิมพ์, มงคล ทรัพย์ไพศาล. 2551 .สรรพคุณวิเศษ 100 อัญมณีและหินสี เสริมส่งดวงชะตา-เยียวยารักษาโรค ร้าย.บริษัท แอล ที เพรส จำกัด: สำนักพิมพ์เพชรสีน้ำเงิน,
- สุมาลี เทพโสพรรณ. 2546. วิเคราะห์อัญมณี. 1,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 4 .บริษัทด้านสุทธาการพิมพ์จำกัด: สถาบันอัญมณีวิทยา (ประเทศไทย),

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

MM-001



2 cm.

MM-002



2 cm.

MM-003



2 cm.

MM-004



2 cm.

MM-005



2 cm.

MM-006



2 cm.

รูปตัวอย่างมูนสโตน(ก่อนตัดและขัด)จากแหล่งประเทศพม่า

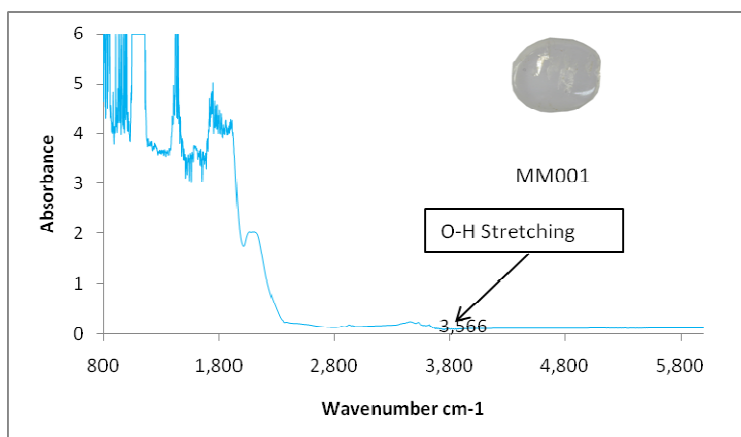


ภาคผนวก ข แสดงข้อมูลลักษณะทางกายภาพและสมบัติอัญมณีของตัวอย่างมูนสโตน จากแหล่งประเทศพม่าและประเทศศรีลังกา

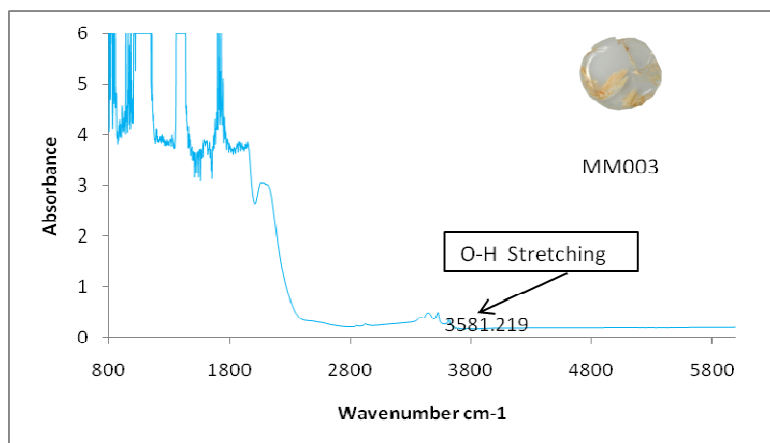
No	Sample ID.	Size(ct.)	Color	RI	SG	Fluorescence	
						SW	LW
1	MM001	2.098	Colorless	1.518-1.530	2.568	Orangey Red	Blue
2	MM002	1.360	Colorless	1.518-1.522	2.563	Orangey Red	Blue
3	MM003	5.018	Colorless	1.518-1.525	2.557	Orangey Red	Blue
4	MM004	0.764	Colorless	1.518-1.530	2.564	Orangey Red	Blue
5	MM005	7.307	Colorless	1.515-1.531	2.552	Orangey Red	Blue
6	MM006	2.640	Colorless	1.518-1.525	2.562	Orangey Red	Blue
7	MS001	0.254	Colorless	1.518-1.527	2.585	Orangey Red	Blue
8	MS002	0.508	Colorless	-	2.586	Orangey Red	Blue
9	MS003	0.215	Colorless	1.520-1.525	2.568	Orangey Red	Blue
10	MS004	0.448	Colorless	-	2.598	Orangey Red	Blue
11	MS005	0.195	Colorless	-	2.583	Orangey Red	Blue
12	MS006	0.245	Colorless	-	2.567	Orangey Red	Blue
13	MS007	0.496	Colorless	-	2.548	Orangey Red	Blue
14	MS008	0.252	Colorless	-	2.594	Orangey Red	Blue
15	MS009	0.414	Colorless	-	2.621	Orangey Red	Blue
16	MS0010	0.270	Colorless	-	2.607	Orangey Red	Blue
17	MRS001	2.156	Colorless	-	2.581	Orangey Red	Blue

หมายเหตุ ในการหาค่าดัชนีหักเห (RI) ของมูนสโตนจากแหล่งประเทศศรีลังกานั้น เนื่องด้วยลักษณะของการเจียรไนเป็นแบบหลังเบี้ย จึงทำให้ผลต่อการหาค่าดัชนีหักเหและอาจสามารถวัดค่าดัชนีหักเห ได้บ้างในบางตัวอย่าง ซึ่งการหาค่าดัชนีหักเหของในลักษณะวิธีนี้ จำเป็นต้องหาค่าดัชนีหักเหต้องหาแบบ spot ซึ่งแตกต่างจากวิธีธรรมดา รวมทั้งตัวอย่างมูนสโตนจากแหล่งประเทศศรีลังกามีขนาดค่อนข้างเล็กโดยเฉลี่ยประมาณ 3 – 5 มิลลิเมตร ในขณะที่มูนสโตนจากแหล่งประเทศพม่ากลุ่มที่ 1 มีขนาดที่ใหญ่กว่าโดยเฉลี่ยประมาณ 1.5 – 2 เซนติเมตร ซึ่งถ้าจะแก้ปัญหาโดยการทำแผ่นบางแบบตัวอย่างกลุ่มที่ 1 จากแหล่งประเทศพม่า นั้นค่อนข้างยาก

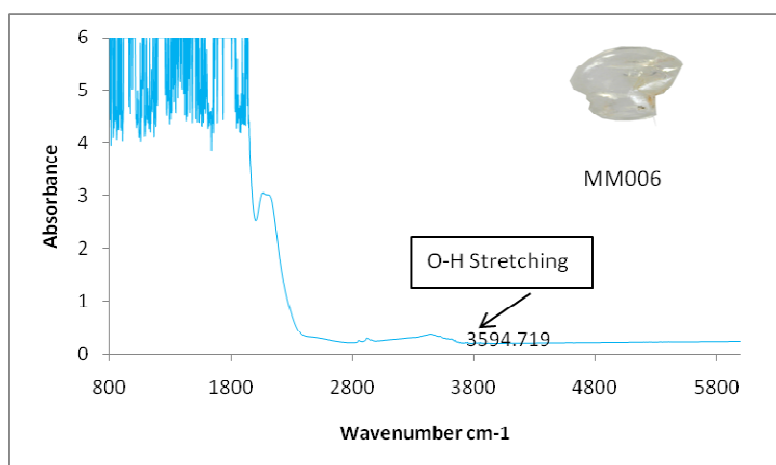
### ภาคผนวก ค



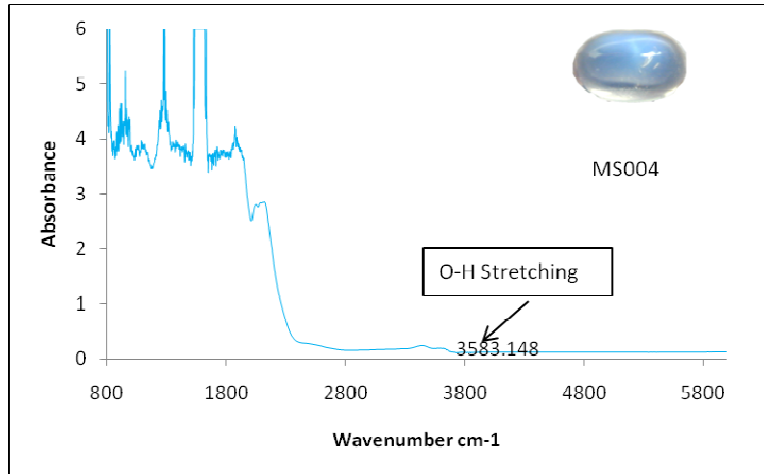
FTIR spectrum ของมูนสไตน์จากแหล่งประเทศพม่า MM001



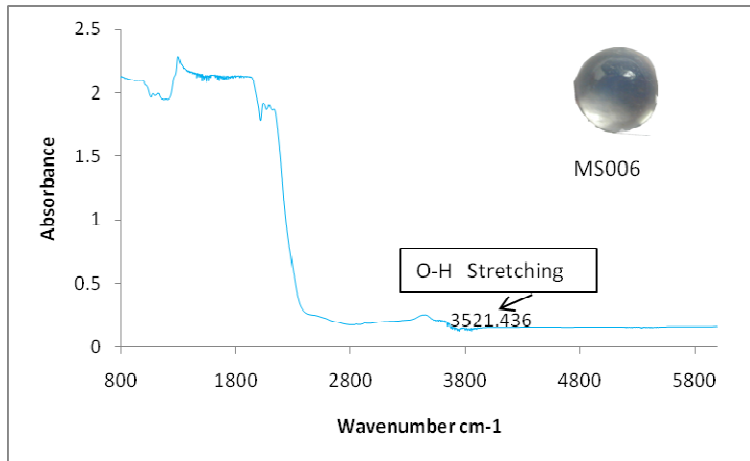
FTIR spectrum ของมูนสไตน์จากแหล่งประเทศพม่า MM003



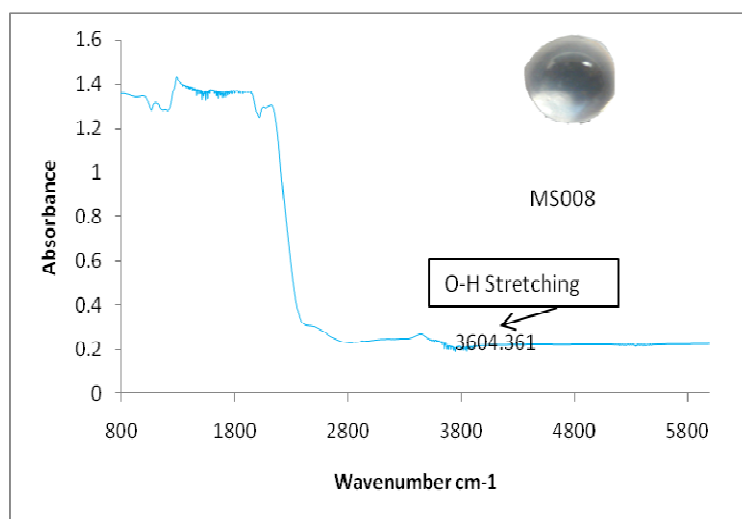
FTIR spectrum ของมูนสไตน์จากแหล่งประเทศพม่า MM006



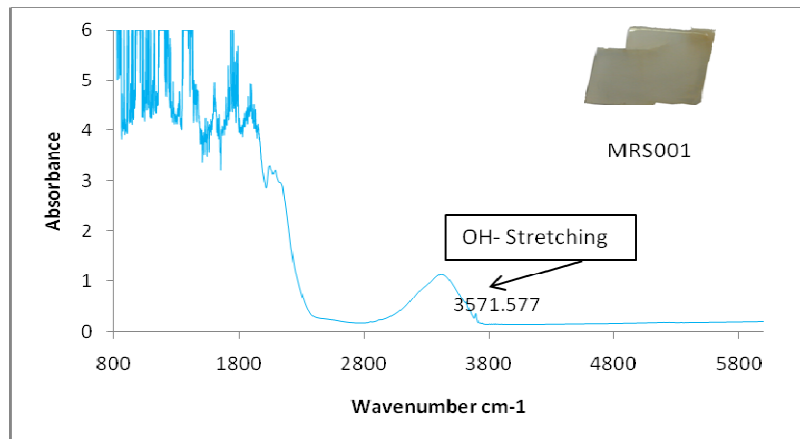
FTIR spectrum ของมูนสโตนจากแหล่งประเทศศรีลังกา MS004



FTIR spectrum ของมูนสโตนจากแหล่งประเทศศรีลังกา MS006

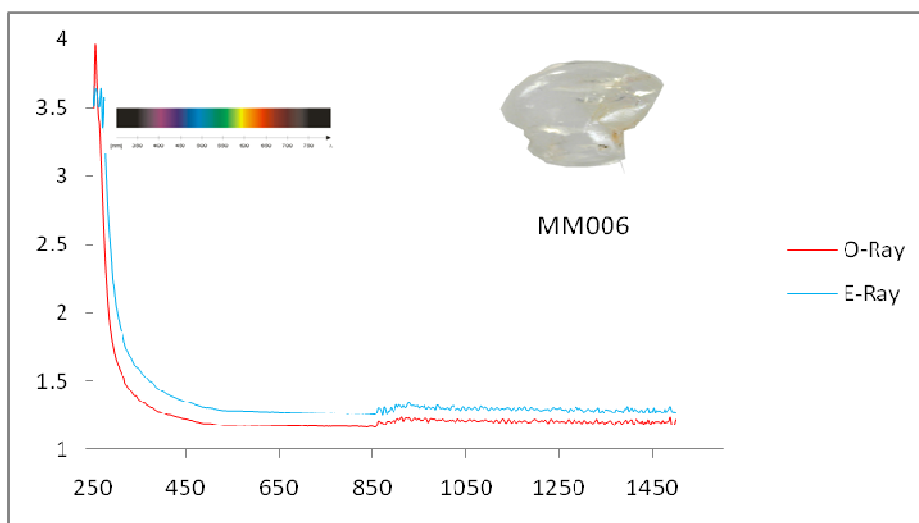


FTIR spectrum ของมูนสโตนจากแหล่งประเทศศรีลังกา MS008

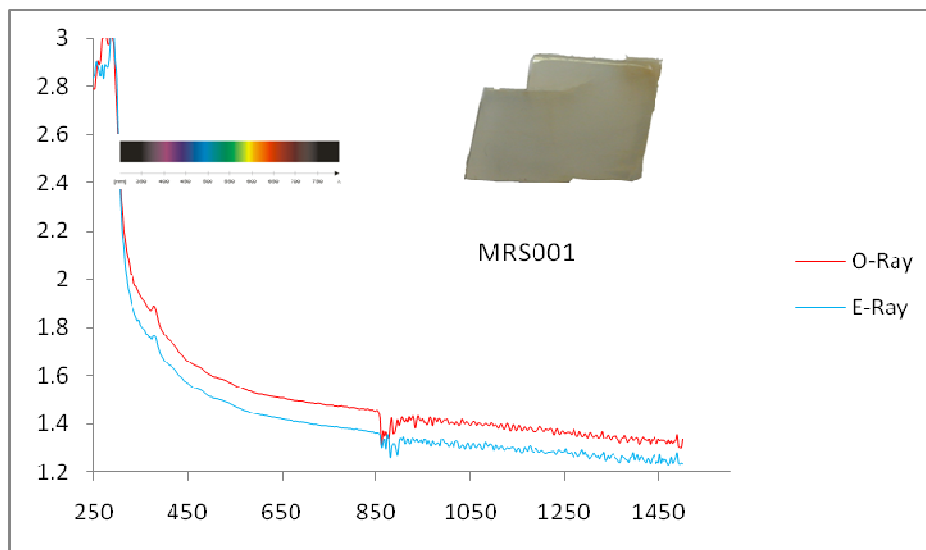


FTIR spectrum ของก้อนปูนหินจากแหล่งประเทศไทยจังหวัดตาก MRS001

## ภาคผนวก ง



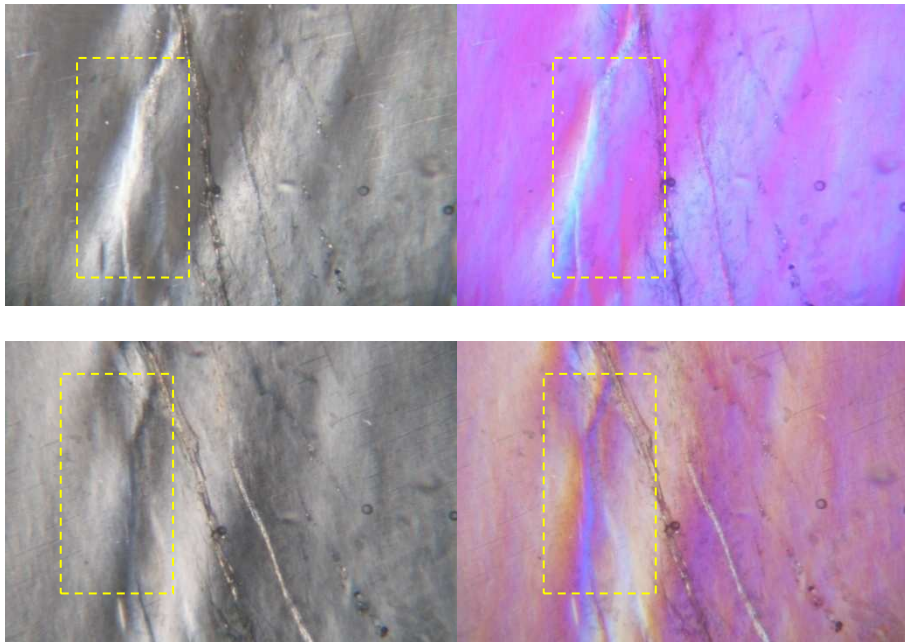
การดูดกลืนช่วง UV-VIS-NIR ของมุนสไตน์จากแหล่งประเทศพม่า (MM006)



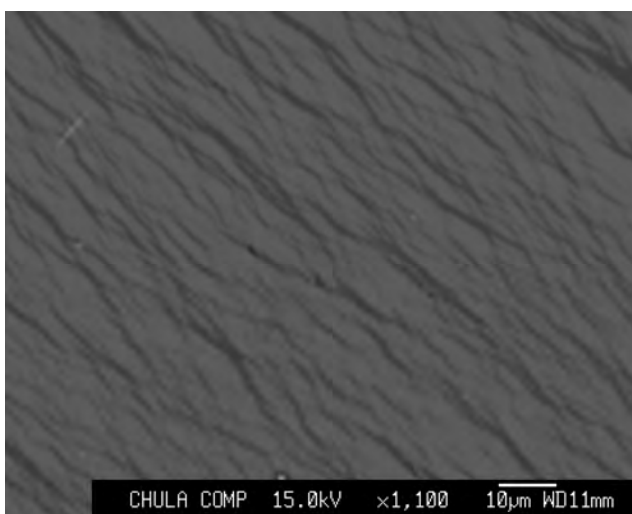
การดูดกลืนช่วง UV-VIS-NIR ของก้อนมุนสไตน์จากแหล่งประเทศศรีลังกา (MRS001)

## ภาคผนวก จ

ภาคผนวก จ ภาพแสดงการตอบสนองของแสงต่อแร่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรต์และภาพริ้วแร่ที่เกิดจากกระบวนการ Exsolution โดย Black scattering ด้วยเทคนิคของ EPMA



ภาพในกรอบแสดงการตอบสนองของแสงต่อแร่โดยการแทรกสอดของแสงในของริ้วแร่ที่เกิดจากกระบวนการ Exsolution



ภาพริ้วแร่ที่เกิดจากกระบวนการ Exsolution โดย Black scattering ด้วยเทคนิคของ EPMA