

การศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของอัญมณีชนิดอุลทกมณีจากประเทศไทย

ปริญญานิพนธ์
ของ
ไพรัตน์ เนียมประเสริฐ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
พฤษภาคม 2547
ลิขสิทธิ์เป็นของ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของอัญมณีชนิดอุลกมณีจากประเทศไทย

บทคัดย่อ
ของ
ไพรัตน์ เนียมประเสริฐ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
พฤษภาคม ๒๕๔๗

ไพรัตน์ เนียมประเสริฐ. (2547). การศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของ อัญมณีชนิด

อูลกมณีจากประเทศไทย. ปริญญาานิพนธ์ กศ.ม. (ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ดร. เฟื่องลดา วีระสัย, รองศาสตราจารย์ ดร. เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา.

ได้ทำการศึกษาอัญมณีชนิดอูลกมณี (Tektites) จำนวน 30 ตัวอย่าง โดยหาความเร็วคลื่นเสียงตามยาว (V_L), ความเร็วคลื่นเสียงตามขวาง (V_T) ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก โดยอาศัยวิธีการสะท้อนกลับ (Echo Method) ซึ่งได้ค่า (V_L) เฉลี่ยเท่ากับ $6,074 \pm 78$ เมตร/วินาที ค่า V_T เฉลี่ยเท่ากับ $3,695 \pm 52$ เมตร/วินาที และหาค่าความหนาแน่น (ρ) ของตัวอย่างอูลกมณี ด้วยเครื่องชั่งหาค่าความถ่วงจำเพาะ ของอูลกมณีตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.42 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร จากค่าเหล่านี้ได้นำมาคำนวณหาค่ายังมอดุลัส (E) และมอดุลัสเฉือน (μ) ของอูลกมณีตัวอย่าง ได้เท่ากับ 80 ± 2 GPa และ 33 ± 1 GPa ตามลำดับ ซึ่งได้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Soga และ Anderson (1967) นอกจากนี้ยังหาค่าดัชนีหักเห (R.I.) ของอูลกมณีตัวอย่าง จากเครื่องหาค่าดัชนีหักเห ได้ค่าอยู่ระหว่าง 1.50-1.51 พบว่าได้ค่าใกล้เคียงกับ ค่าที่ได้จากการนำค่าความหนาแน่นของอูลกมณีตัวอย่างของการศึกษาครั้งนี้ มาคำนวณหาค่าดัชนีหักเหตามสมการของ Durrani (1971) (ได้ค่าเท่ากับ 1.49-1.50) และงานวิจัยนี้ยังศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในอูลกมณีตัวอย่าง ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์แบบกระจายพลังงาน (EDXRF) และเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีในอูลกมณีในแหล่งต่างๆ จากผู้ที่เคยศึกษาไว้แล้วพบว่า อูลกมณีตัวอย่างมีองค์ประกอบทางเคมีสอดคล้องกับอูลกมณีชนิด Muong Nong ซึ่งเป็นอูลกมณีที่เชื่อว่ามีวัตถุต้นกำเนิดเป็น ดิน ดินลมหอบ และตะกอนท้องน้ำ Chassidon and Koeberl (1995)

A STUDY OF SOME PHYSICAL PROPERTIES OF GEM TEKTITES FROM THAILAND

AN ABSTRACT

BY

PAIRAT NIUMPRASERT

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree in Physical

May 2004

at Srinakharinwirot University

Pairat Niumprasert. (2004). *A Study of some Physical properties of Gem Tektites from Thailand*. Master thesis, M.Ed. (Physics). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Asst. Prof. Dr. Fuanglada Veerasai, Assoc. Prof. Dr. Seriwat Saminpanya.

Thirty samples of tektites from Thailand were investigated for the longitudinal sound velocity (V_l) and transverse sound velocity (V_t) with a technique of echo method. The average results are $6,074 \pm 78$ m/s for V_l and $3,695 \pm 52$ m/s for V_t . The specific gravity for each sample was obtained by hydrostatic method with the use of an electronic balance. The average specific gravity or density (ρ) result is 2.42 g/cm^3 . The V_l , V_t , and ρ values from this study were used to calculate the Young's modulus (E) and shear modulus (μ) which are 80 ± 2 GPa and 33 ± 1 GPa, respectively. The E and μ values of this study are very close to those of Soga and Anderson (1967). The refractive index (R.I.) for each sample was measured by a refractometer obtaining in the range of 1.50-1.51. These values are similar to those of derived from the equation of Durrani (1971) (R.I. 1.49-1.50). The chemical composition (major elements) of samples was analyzed by an energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer (EDXRF). The samples have the composition corresponding to Muong Nong tektites which have the parent materials of soil, loess, and river sediments according to Chassignon and Koeberl (1995).

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของอัญมณีชนิดอูลกมณี จากประเทศไทย

ของ

นายไพรัตน์ เนียมประเสริฐ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. นภาพร หะวานนท์)

วันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2547

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญผกา วีระชัย)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นิรมล ปิตะนิละผลิน)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ ดร. ขจีพร วงศ์ปรีดี)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้ณา ความช่วยเหลือ และด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจากคณาจารย์หลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญลดา วีระสัย และรองศาสตราจารย์ ดร. เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์นิรมล ปีตะนิละผลิน และอาจารย์ ดร. ขจีพร วงศ์ปรีดี ในการเป็นกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำ และแก้ไขปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดระยะเวลาการศึกษา จนผู้วิจัยสามารถนำความรู้มาใช้ในการดำเนินการทำปริญญานิพนธ์จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณคุณอนันต์ ชาลวาลา ที่ได้บริจาคอุปกรณ์ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คุณพนม ยิ่งไพบูลย์สุข และคุณสุวิทย์ อาชนาชัย จากบริษัท ศิวะ เทส汀 อินสเพ็คชั่น แอนด์ คอนซัล汀 จํากัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องวัดคลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดวัดคลื่นเสียงตามขวาง และคุณสมฤดี สักกะระเวท จากสถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งชาติ GIT (The Gem & Jewelry Institute of Thailand: GIT) ให้ความอนุเคราะห์วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีในอูลกมณี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ นิสิตปริญญาโท วิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่านที่คอยช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในขณะที่กำลังศึกษา และทำงานวิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอโน้มรำลึกถึงพระคุณของมารดา คุณยาย และทุกๆ คนในครอบครัว ที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนในการศึกษาแก่ผู้วิจัย จนสามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วงได้ด้วยดี

ไพรัตน์ เนียมประเสริฐ

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	ผลการทดลองหาค่ายังมอดุลัสของความยืดหยุ่นของอุลกมณีตัวอย่าง.....	33
2	การเปรียบเทียบค่ายังมอดุลัสระหว่างผลการทดลองในอุลกมณีตัวอย่างครั้งนี้ กับของ Soga และAnderson.....	35
3	ผลการวัดค่าดัชนีหักเหของอุลกมณี 30 ตัวอย่าง โดยเครื่องหาค่าดัชนี หักเห รุ่น DUPLX ของ GIA และค่าความถ่วงจำเพาะของอุลกมณี โดยเครื่องชั่ง METTLER TOLEDO รุ่น CG1003.....	36
4	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอุลกมณีตัวอย่างโดยเครื่อง EDXRF.....	39
5	แสดงลักษณะทั่วไปของอุลกมณีตัวอย่างที่ศึกษาในครั้งนี้.....	53
6	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอุลกมณีตัวอย่าง จากแหล่ง Muong Nong, North American, Ivory Coast, Indochinites, Australites, Moldavites.....	57

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ภูมิหลัง.....	1
	ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
	ขอบเขตของการวิจัย.....	3
	ความสำคัญของงานวิจัย.....	3
2	ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
	ทฤษฎี.....	4
	เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
3	วัสดุอุปกรณ์ และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	30
	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	30
	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	31
4	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล	33
5	สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ	42
	สรุปและอภิปรายผล.....	42
	ข้อเสนอแนะ.....	43
	บรรณานุกรม.....	44
	ภาคผนวก.....	48
	ภาคผนวก ก.....	49
	ภาคผนวก ข.....	52
	ภาคผนวก ค.....	56
	ประวัติย่อผู้วิจัย.....	59

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ลักษณะการชนของอุกกาบาตหรือกลุ่มอุกกาบาต.....	5
2 แสดงการแผ่กระจายของ อุลกมณี ที่พบในบริเวณต่างๆ ทั่วโลก.....	6
3 รูปทรงต่างๆ ของ อุลกมณี ก. อุลกมณีแบบเลเยอร์ ข.- จ. อุลกมณีแบบ สแปลช.....	7
4 แผนที่แสดงการแผ่กระจายตัวของ Layered (Muong Nong) type Tektites และ Splash-form type Tektites.....	9
5 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคตัวกลาง และทิศทางการเคลื่อนที่ของ คลื่นตามยาว.....	11
6 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคตัวกลาง และทิศทางการเคลื่อนที่ของ คลื่นตามขวาง.....	11
7 ลักษณะการตัดผลึกมาใช้งาน.....	12
8 ลักษณะการตัดผลึก ก) ด้าน X – CUT และให้กระแสไฟฟ้าที่ขั้วทั้ง สองด้าน ข) ด้าน Y – CUT และให้กระแสไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองด้าน.....	13
9 โครงสร้างของหัวตรวจสอบแบบตั้งฉาก.....	14
10 การสะท้อนกลับของคลื่นจากผิวด้านหลังของชิ้นวัสดุ.....	15
11 การผ่านเข้า และสะท้อนกลับของคลื่นที่ตกกระทบผิวที่ต่อกัน.....	16
12 แสดงการวัดค่าความเร็วคลื่นตามยาวในอุลกมณี โดยเทคนิคอัลตราโซนิก.....	17
13 แสดงหลักการทำงานของเครื่องอัลตราโซนิก.....	18
14 หลอดรังสีแคโทด (CRT).....	19
15 แสดงแสงที่ตกกระทบผิวของรอยต่อระหว่างตัวกลางที่มีความหนาแน่น ต่างกัน.....	21
16 แสดงการทำงานของเครื่องหาค่าดัชนีหักเห.....	22
17 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องหาค่าดัชนีหักเห.....	23
18 แสดงการชั่งอุลกมณีในอากาศ (ก) และในน้ำ (ข) ด้วยเครื่องชั่งหา ค่าความถ่วงจำเพาะของอุลกมณี ของ METTLER TOLEDO รุ่น CG1003.....	24
19 แสดงเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงาน.....	26
20 หลักการทำงานของเครื่อง EDXRF.....	26
21 อุลกมณีตัวอย่าง ที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	30

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบ Al_2O_3 , FeO , Na_2O , K_2O , MgO , CaO เทียบกับ SiO_2	40
23 แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมี MgO , CaO และ $\text{SiO}_2/20$ ของอุลทกมณีตัวอย่างที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ กับแหล่งอื่นๆ.....	41
24 แสดงการเดินทางของคลื่น.....	50
25 แสดงฟีกที่ได้จากการเปรียบเทียบเครื่องอัลตราโซนิก.....	51
26 แสดงชิ้นงานมาตรฐาน (V-1).....	51

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ในวงการวิทยาศาสตร์ด้านอัญมณี มีการคิดค้น ประดิษฐ์อัญมณีสังเคราะห์ อัญมณีเทียม และอัญมณีเลียนแบบ ที่มีคุณภาพสูงขึ้นมากมาย สร้างความยุ่งยากสับสนแก่ ผู้ซื้อ ผู้ขาย ผู้สนใจ ตลอดจนห้องทดลองตรวจวิเคราะห์อัญมณี โดยทั่วไปการตรวจวิเคราะห์จำแนกชนิดอัญมณี ใช้วิธีการตรวจด้วยเครื่องมือพื้นฐาน ได้แก่ เครื่องวัดค่าดัชนีหักเห (Refractometer) โพลาริสโคป (Polariscope) ไดโครสโคป (Dichroscope) วิชาสเปกโทรสโคป (Visual Spectroscope) เครื่องชั่งหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity Determination Balance) และกล้องจุลทรรศน์วิเคราะห์อัญมณี เครื่องมือเหล่านี้มีขีดความสามารถที่จะใช้ตรวจวิเคราะห์อัญมณีได้ระดับหนึ่ง คือ สามารถใช้ตรวจวิเคราะห์ชนิด และประเภทของอัญมณีธรรมชาติ อัญมณีเทียม และอัญมณีเลียนแบบ อัญมณีสังเคราะห์ และอัญมณีที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพบางชนิด สำหรับอัญมณีสังเคราะห์ชนิดที่มีส่วนประกอบ และลักษณะรายละเอียดภายในเนื้ออัญมณี เหมือนหรือเทียบเท่าอัญมณีธรรมชาติ หรืออัญมณีที่ผ่านการเพิ่มคุณภาพบางอย่างจะไม่สามารถใช้เครื่องมือพื้นฐาน ดังกล่าวตรวจวิเคราะห์ได้ (บุญทวี ศรีประเสริฐ และวิลาวัลย์ อติชาติ. 2544 : 18)

ดังนั้นในการตรวจวิเคราะห์เพื่อจะให้ได้ผลถูกต้องรวดเร็ว มั่นใจเชื่อถือได้ ไม่ทำลายตัวอย่าง และอยู่เหนือกว่าการประดิษฐ์ การทำเทียม และการเพิ่มคุณภาพต่างๆ ในวงการอัญมณี จึงจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ที่มีเทคนิควิทยาการใหม่ๆ และมีประสิทธิภาพ เข้ามาช่วย

อัญมณี (Gem) ได้แก่วัตถุที่นำมาตัด และเจียรไน เพื่อใช้เป็นเครื่องประดับ ซึ่งมีความงาม (Beauty) ความคงทน (Durability) และหาได้ยาก (Rarity) อัญมณีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ อุลกมณี (Tektites)

อุลกมณี เป็นอัญมณีที่เกิดตามธรรมชาติ ลักษณะของเนื้อเป็นแก้วสีดำคล้ายหินอบซิเดียน (Obsidian) ผิวมีหลุมเล็กๆ หรือเป็นร่องยาว มีขนาดต่างๆ กัน รูปร่างมีหลายแบบ เช่น ทรงกลมคล้ายผลส้ม กลมและแบนแบบจาน หรือลูกสะบ้า รูปหยดน้ำ รูปดัมเบล และรูปกระสวย ในประเทศไทยพบมากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. 2544 : 288) อุลกมณีที่พบส่วนใหญ่นำมาใช้ประโยชน์ในด้านการทำเครื่อง

ประดับ เช่น ทำห้วแหวน และสร้อยคอ ในสมัยก่อนเชื่อว่าสามารถคุ้มครองชีวิต นำโชค
 ลามาให้

ค่ายังมอดุลัส (Young's Modulus) เป็นค่าคงที่ที่บอถึงคุณสมบัติเฉพาะเชิงกลของวัสดุ
 (Characteristics of Material) ที่หาได้จากวิธีทดสอบด้วยแรงดึง (Tensile Test) วิธีนี้เป็นวิธีการ
 ทดสอบแบบทำลายตัวอย่าง (Destructive Testing : DT) ที่ต้องเตรียมตัวอย่างให้ได้ขนาดตาม
 มาตรฐาน ASTM และรูปร่างที่สามารถใช้กับเครื่องทดสอบแรงดึงได้ ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่เหมาะกับ
 วัสดุที่มีความแข็งสูงๆ และไม่สามารถเตรียมวัสดุได้ตามขนาดที่ใช้กับเครื่องทดสอบแรง
 ดึงได้

สำหรับอุลคมณีได้มีผู้ศึกษาค่ายังมอดุลัสมาบ้างแล้ว คือ โซการ์ และแอนเดอร์สัน
 (Soga and Anderson. 1967) แต่ใช้เทคนิคเรโซแนนซ์ สเฟียร์ (Resonant sphere technique)
 ซึ่งมีความยุ่งยากกับการเตรียมตัวอย่าง กล่าวคือ ต้องทำให้ตัวอย่างเป็นทรงกลมขนาดเล็ก เส้น
 ผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ซึ่งถือว่าไม่เหมาะกับอุลคมณีทั่วไป ผู้วิจัยจึงได้
 ประยุกต์ใช้เครื่องมือทางฟิสิกส์เพื่อศึกษาค่ายังมอดุลัสของอุลคมณี โดยใช้เทคนิคอัลตราโซนิก
 ซึ่งเป็นเทคนิคที่น่าสนใจ เพราะคลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้น อีกทั้งเป็นคลื่น
 ระนาบ ที่มีแอมพลิจูดคงที่จึงทำให้การรวมคลื่นในแบบหักล้างทำได้ง่าย คลื่นอัลตราโซนิกยังไม่
 เป็นอันตรายแก่ผู้ทำการทดลอง และยังเป็นวิธีหนึ่งของการทดสอบแบบไม่ทำลายตัวอย่าง (Non
 Destructive Testing) นับเป็นสมบัติเด่นของการทดสอบด้วยวิธีนี้

เทคนิคอัลตราโซนิกยังเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การล้างทำความสะอาด
 ด้วยคลื่นอัลตราโซนิก การเชื่อมพลาสติกด้วยคลื่นอัลตราโซนิก การใช้คลื่นอัลตราโซนิกช่วยใน
 การสันสะเทือน เพื่อไล่ฟองอากาศ ซึ่งเป็นการอาศัยพลังงานที่เกิดจากคลื่นมาใช้ประโยชน์โดย
 ตรง นอกจากนี้ยังอีกมีวิธีการหนึ่งที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิกผ่านตัวกลางที่เป็นเนื้อวัสดุ เพื่อหา
 ความบกพร่อง หรือรอยร้าวที่มีอยู่ในชิ้นงาน โดยอาศัยวิธีการสะท้อนกลับ (Echo Method) ซึ่ง
 วิธีนี้สามารถนำมาใช้หาค่ายังมอดุลัสของอุลคมณีได้ และคาดว่าจะใช้ค่ามอดุลัสของอุลคมณี
 จำแนกอุลคมณีชนิดต่างๆ ออกจากกันได้ได้ในอนาคต

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้นำผลจากการศึกษาค่ายังมอดุลัส ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าดัชนี
 หักเหของแสง และองค์ประกอบทางเคมี มาเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของผู้ที่เคยศึกษามา
 แล้ว ผลการศึกษารังนี้จะเป็นข้อมูลที่จะนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษา และพัฒนาเทคนิค
 อัลตราโซนิกในการทดสอบอุลคมณีชนิดอื่นๆ ต่อไป

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เปรียบเทียบค่ายังมอดุลัส โดยเทคนิคอัลตราโซนิกที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ กับ ค่ายังมอดุลัสของ Soga and Anderson. (1967) ที่ใช้เทคนิคเรโซแนนซ์ สเฟียร์
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของอุลกมณี ได้แก่ ค่ายังมอดุลัส ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าดัชนีหักเห
3. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในอุลกมณี

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของอุลกมณี ที่พบในประเทศไทย คุณสมบัติที่จะศึกษาได้แก่ ค่ายังมอดุลัสศึกษาโดยใช้เทคนิคอัลตราโซนิก ค่าดัชนีหักเหของแสงศึกษาโดยใช้หลักการหักเหของแสง ค่าความถ่วงจำเพาะ และการหาองค์ประกอบทางเคมี ศึกษาโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer: EDXRF) นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบค่ายังมอดุลัส โดยเทคนิคอัลตราโซนิกที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ กับ ค่ายังมอดุลัสของ Soga and Anderson. (1967) ที่ใช้เทคนิคที่ทำให้ทรงกลมสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติ ผลการศึกษาจะเป็นข้อมูลพื้นฐานคุณลักษณะเฉพาะของอุลกมณีจากแหล่งที่พบในประเทศไทย

ความสำคัญของงานวิจัย

ผลของการศึกษาจะได้ข้อมูลพื้นฐานของสมบัติทางกายภาพบางประการของอุลกมณีจากแหล่งที่พบในประเทศไทย เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำคัญในการศึกษา และวิเคราะห์อัญมณีชนิดอื่นๆ ต่อไป ตลอดจนเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์อัญมณีโดยวิธีอัลตราโซนิกขึ้นอีกวิธีหนึ่ง

บทที่ 2

ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎี

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ แบ่งเป็นหัวข้อที่สำคัญดังนี้

- 1) อุลกมณี
- 2) การหาค่ายังมอดูลัสโดยใช้เทคนิคอัลตราโซนิก
- 3) การหาค่าดัชนีหักเหของอัญมณี
- 4) การหาค่าความถ่วงจำเพาะของอัญมณี
- 5) การหาค่าองค์ประกอบทางเคมีของอัญมณี

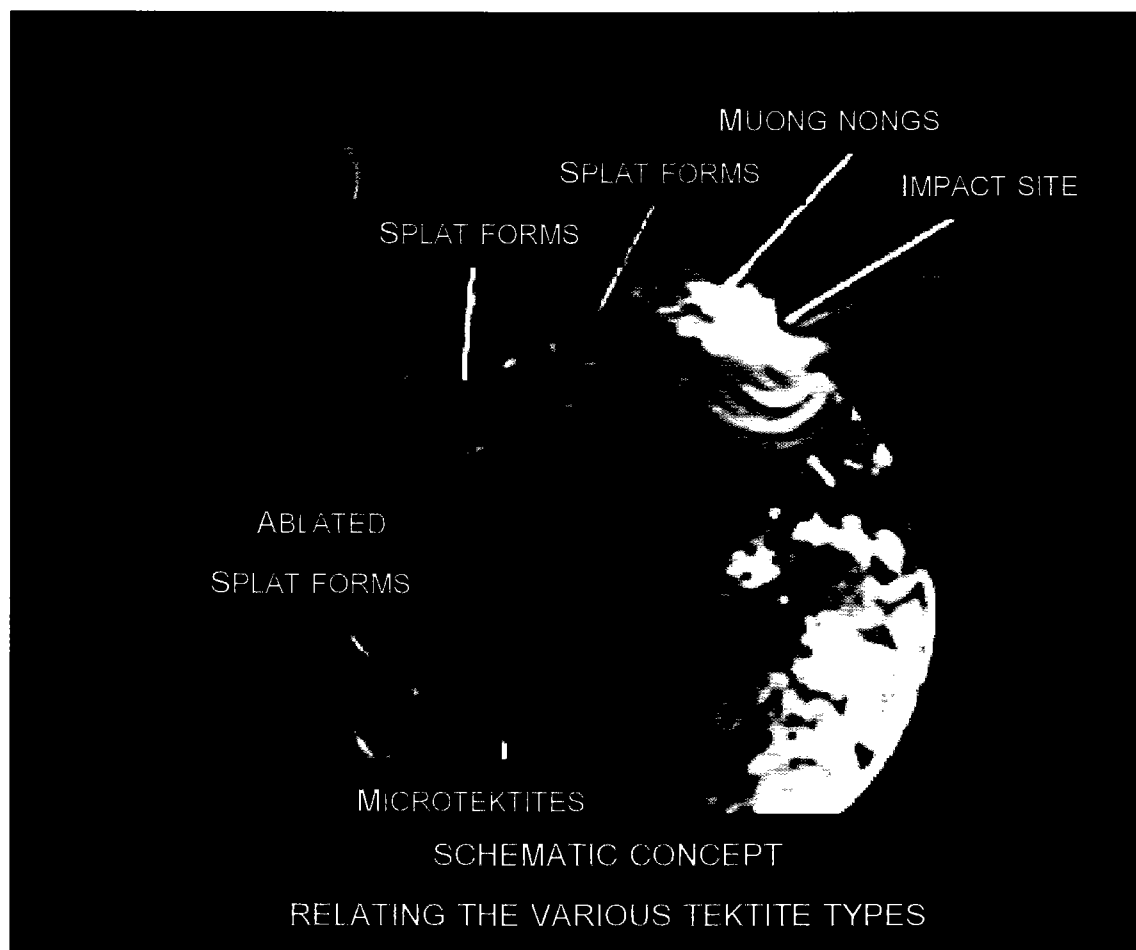
1.1 อุลกมณี

อุลกมณี เป็นหินหรือแก้ว สีเข้ม ผิวขรุขระ มีขนาดและรูปร่างต่างๆ กัน เกิดจากการเผาไหม้หลอมละลายของชั้นดิน - หิน - หินทรายบนเปลือกโลก ขณะถูกลูกอุกกาบาตหรือกลุ่มของลูกอุกกาบาต พุ่งเข้าชนในสมัยก่อนประวัติศาสตร์ (ภาพประกอบ 1) แร่ระเบิดที่ตามมาส่งผลให้วัตถุหลอมละลาย กระจายกระจายขึ้นสู่ท้องฟ้าแล้วแข็งตัวก่อนตกลงมาสู่ผิวโลกอีกครั้ง บริเวณที่พบ อุลกมณี ในโลกนี้มีเพียงไม่กี่แห่ง (ภาพประกอบ 2) และมีอายุต่างๆ กัน อุลกมณีที่พบในทวีปอเมริกามีอายุเก่าแก่ที่สุดประมาณ 29 ล้านปี และ 32 ล้านปี ที่ทวีปยุโรปสาธารณรัฐเชด ซึ่งเรียกอุลกมณีนี้ว่า "Moldavite" มีอายุ 13.5 ล้านปี และ อุลกมณี กลุ่มเอเชีย - ออสเตรเลีย มีอายุน้อยกว่า 1 ล้านปี อุลกมณีมีชื่อตามท้องถิ่นต่างๆ ที่เรียกกัน เช่น สะเก็ดดาว มหานิล คำติบ คตปลวก พลอยจันทร์คราส ขวานฟ้า มณีหยาดฟ้า และก้อนข้าวจีพระฤาษี (ปริญา พุทธาภิบาล และสิโรดม ศัลยพงษ์. 2538 : 87)

อุลกมณี ที่พบในประเทศไทยจำแนกได้สองประเภท คือ อุลกมณีแบบเลเยอร์ (Layered Tektites) และอุลกมณีแบบสแปลช (Splash Tektites) (ภาพประกอบ 3) มีลักษณะที่สำคัญกล่าวโดยสรุปดังนี้ (ปริญา พุทธาภิบาล และสิโรดม ศัลยพงษ์. 2538 : 87)

1) อุลกมณีแบบเลเยอร์ หรือ เมืองทอง เทกไทต์ (Muong Nong - type Tektites) เป็นอุลกมณี ที่มีลักษณะเป็นชั้นบางๆ วางตัวขนานกัน แนวชั้นอาจแสดงลักษณะคดโค้งที่เกิดจากการไหล ความหนาของชั้นพบตั้งแต่ 3 - 20 มิลลิเมตร. อุลกมณีประเภทนี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ มีรูปร่างเป็นก้อนเหลี่ยมและกลมมน แต่ไม่พบว่ามีลักษณะซึ่งแสดงถึงการเย็นตัวขณะเคลื่อนที่

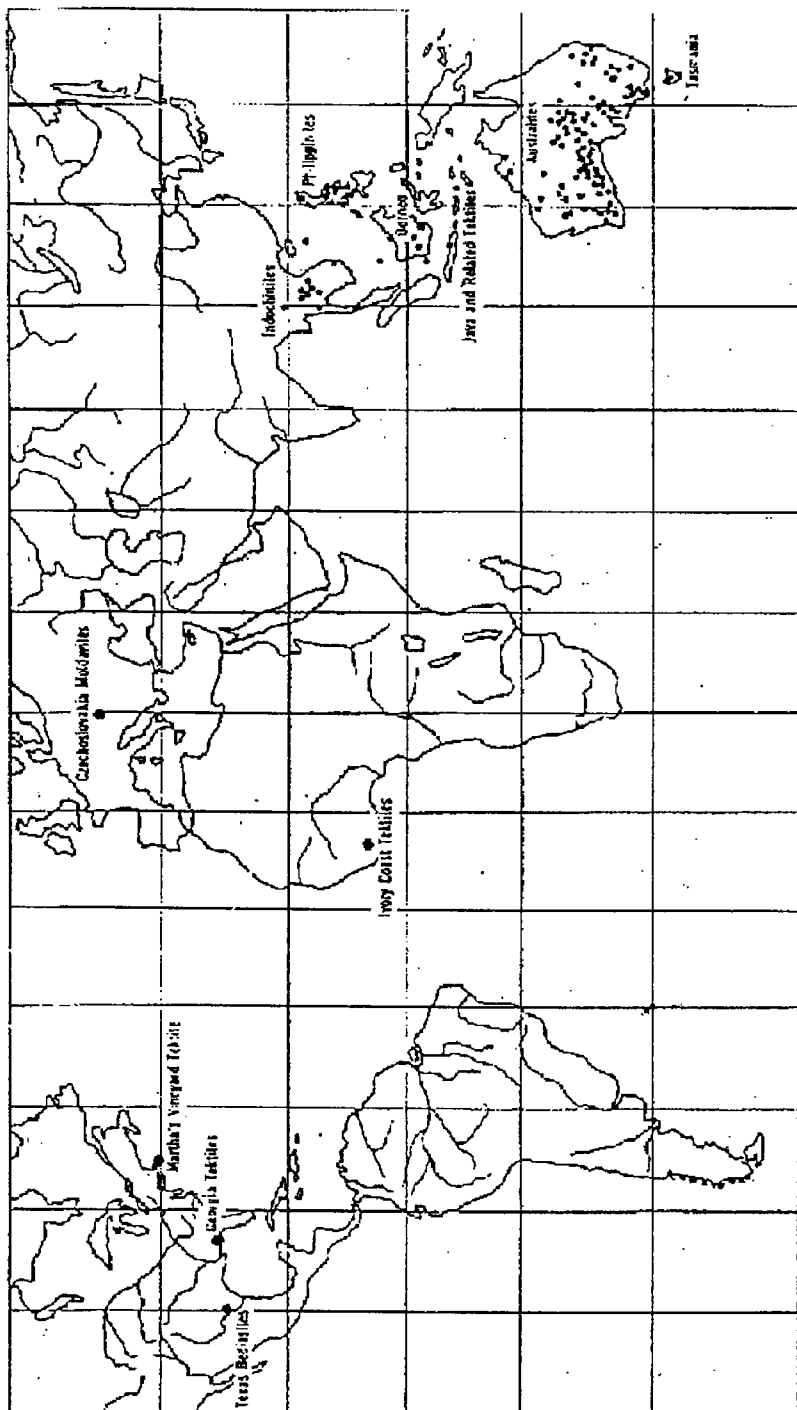
ไปในอากาศ มีฟองอากาศมากปริมาณฟองอากาศในแต่ละชั้นมักไม่เท่ากัน ทำให้แต่ละชั้นมีสีอ่อนเข้มต่างกัน



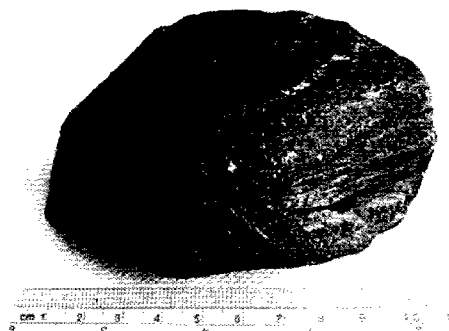
ภาพประกอบ 1 ลักษณะการชนของอุกกาบาตหรือกลุ่มอุกกาบาต

ที่มา : The Tektite Source (Online).

Available : http://tektitesource.com/special_feature_info_catalog.html



ภาพประกอบ 2 แสดงการแพร่กระจายของ อุลกมณี ที่พบในบริเวณต่างๆ ทั่วโลก (Mason. 1962. : 274)



ก. อุลกมณีแบบเลเยอร์



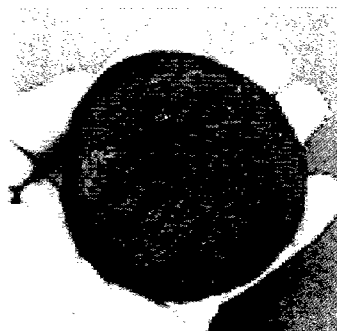
ข. แบบหยดน้ำ



ง. แบบทรงกลม



ค. แบบตั้มเบล



จ. แบบแบนจาน

ภาพประกอบ 3 รูปทรงต่างๆ ของ อุลกมณี ก. อุลกมณีแบบเลเยอร์ ข.- จ. อุลกมณีแบบ
สแปลช

ที่มา : The Tektite Source (Online). Available:

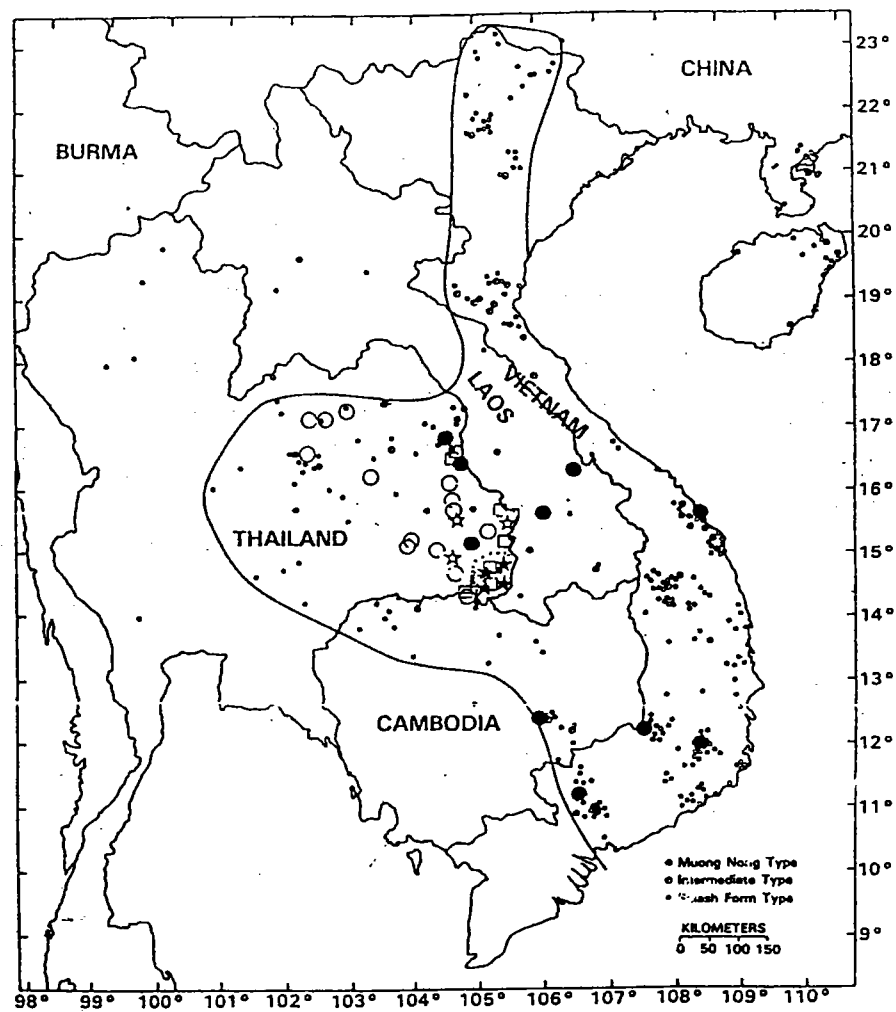
http://tektitesource.com/tektite_information.html

2) สเปลชฟอร์มเทกไทต์ (Splash Form Tektites) หรือ อุลกมณีแบบสเปลช มีรูปร่างต่าง ๆ เช่น หยดน้ำ ต้มเบล กลม จาน ฯลฯ (ภาพประกอบ 3 ข.-จ.) มักมีน้ำหนักตั้งแต่ 5-100 กรัม รูปร่างลักษณะที่ปรากฏ แสดง ถึงการเย็นตัวจากของเหลวในขณะที่เคลื่อนที่ไปในอากาศ มักพบฟองอากาศอยู่เล็กน้อย

อุลกมณี ทั้งสองชนิดพบแพร่กระจายตั้งแต่บริเวณตอนใต้ของประเทศจีน ประเทศไทย และ ประเทศกลุ่มอินโดจีน (เวียดนาม ลาว กัมพูชา) ผ่านไปทางประเทศฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย และไกลสุดถึงประเทศออสเตรเลีย อุลกมณี กลุ่มนี้มีอายุการเกิดประมาณ 0.75 ล้านปี และมักเรียกรวมๆ กันว่า Australasian Strewnfield หรือ Australasian Tektites เฉพาะส่วนที่พบในแถบอินโดจีนมีชื่อ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Indochinite (ภาพประกอบ 4) อุลกมณีแบบเลเยอร์ ในประเทศไทยพบเฉพาะบริเวณด้านตะวันออกและตะวันออกเฉียงใต้ของภาคอีสาน ได้แก่ บ้านพังแดง อำเภอนาแก จังหวัดนครพนม (Barns & Pitakpaivan. 1962) และบริเวณอำเภอบุณฑริก อำเภอดงรัก อำเภอน้ำยืน อำเภอสิรินธร และอำเภอนาหวาย จังหวัดอุบลราชธานี ส่วน อุลกมณีแบบสเปลช พบแพร่กระจายกว้างขวางกว่ากลุ่มแรก คือ พบเกือบทั่วประเทศแต่หนาแน่นมากบริเวณภาคอีสาน (ภาพประกอบ 4) เชื่อว่า อุลกมณีแบบเลเยอร์ ขนาดใหญ่กว่า 1 กิโลกรัมขึ้นไปจะอยู่ไม่ไกลจากหลุมอุกกาบาต (Impact Crater) คือ ระยะทางประมาณ 2-3 เท่าของรัศมีของหลุมอุกกาบาต

อุลกมณี เป็นสารอสัณฐาน (Amorphous) โดยทั่วไปมีสีดำ อุลกมณี จะแตกต่างจากแก้วชนิดอื่นตรงที่มีแนวไหล (Flow Structure) อยู่ในเนื้อ ลักษณะผิวจะเห็นเป็นหลุมเล็กๆ ความแข็งอยู่ระหว่าง 6-7 ความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.40-2.44 และค่าดัชนีหักเห 1.50-1.51 (Baker. 1959)

องค์ประกอบทางเคมี (Barnes. 1940) ได้รวบรวมจากรายงานการวิเคราะห์ของปริมาณธาตุหลัก และธาตุรอง ของ อุลกมณี จากแหล่งต่างๆ สรุปได้ว่า มีซิลิกา (SiO_2) ประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่เหลือเป็นออกไซด์ของ เหล็ก (Fe) แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) โพแทสเซียม (K) ไทเทเนียม (Ti) และแมงกานีส (Mn)



ภาพประกอบ 4 แผนที่แสดงการแผ่กระจายตัวของ Layered (Muong Nong) type Tektites

และ Splash-form type Tektites : Layered Tektites ขนาดใหญ่ ★

Layered Tektites ขนาดเล็ก ☆ Splash Tektites ○ Tektites ทั้ง 2 ประเภท □

Muong Nong Type ● และ Splash Tektites • (Schnetzler. 1992 : 154-165)

1.2 การหาค่ายังมอดูลัสโดยใช้เทคนิคอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิก หมายถึง คลื่นเสียงความถี่สูงกว่า 20,000 Hz ซึ่งมนุษย์ไม่สามารถได้ยิน สำหรับคลื่นเสียงซึ่งมนุษย์สามารถได้ยินจะมีความถี่อยู่ระหว่าง 20 - 20,000 Hz เรียกว่า Audible Sound โดยธรรมชาติของคลื่นเสียงสามารถเคลื่อนที่ไปได้ในตัวกลาง อากาศ ของแข็ง และของเหลว แต่ในอากาศคลื่นอัลตราโซนิกจะไม่สามารถผ่านไปได้ เพราะมีความถี่สูงมาก หรือมีความยาวคลื่นสั้นกว่าระยะห่างระหว่างอะตอมของอากาศ อย่างไรก็ตามคลื่นอัลตราโซนิกยังมีสมบัติการสะท้อน และการหักเหตามกฎของสเนลล์ ดังสมการ (เรวีฌน์ เหล่าไพบูลย์ จินตนา เหล่าไพบูลย์ และจิตกร ผลโยธู. 2543 : 3)

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (1)$$

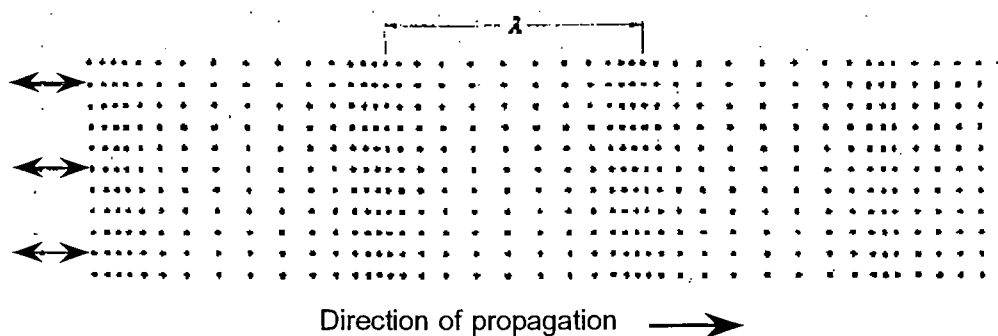
เมื่อ θ_1 = มุมตกกระทบ
 θ_2 = มุมหักเห
 V_1 = ความเร็วคลื่นในตัวกลางที่ 1
 V_2 = ความเร็วคลื่นในตัวกลางที่ 2

การที่คลื่นอัลตราโซนิกผ่านเข้าไปในของแข็งได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในงานด้านการตรวจสอบวัสดุ โดยไม่ทำลายชิ้นงาน ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ อากาศยาน การขนส่ง เป็นต้น เนื่องจากคลื่นอัลตราโซนิกมีความยาวคลื่นสั้น และความถี่สูง ความถี่ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 0.5-15 MHz และในการตรวจสอบวัสดุตั้งกล่าวนิยมใช้วิธี การสะท้อนกลับ (Echo Method) ซึ่งเป็นการวัดเวลาของการเคลื่อนที่ของคลื่นอัลตราโซนิกไปและกลับจากการสะท้อนที่ผิวด้านหลังของชิ้นงาน (สมนึก วัฒนศรียุกุล. ม.ป.ป. : 4)

ชนิดของคลื่นกล (Types of Mechanical Waves)

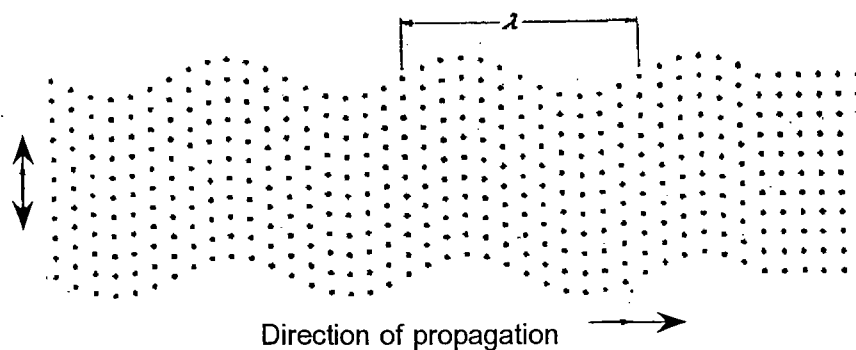
ชนิดของคลื่นกลสามารถแบ่งออกได้โดยอาศัยลักษณะการสั่นสะเทือนของอนุภาคของตัวกลางได้ 2 ชนิด คือ (Krautkrämer and Krautkrämer. 1990 : 5).

1) คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) เป็นคลื่นที่มีทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคของตัวกลางในแนวเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น ความเร็วคลื่นตามยาว (Longitudinal Wave Velocity) มีค่าคงที่ในวัสดุแต่ละประเภท เมื่อพิจารณาคลื่นที่เคลื่อนที่จะพบว่าการกระจายตัว และการอัดตัวของอนุภาคจะมีระยะห่างคงที่ตลอดขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ในตัวกลางคลื่นตามยาวสามารถเคลื่อนที่ไปในตัวกลางที่เป็นก๊าซ ของเหลว หรือของแข็งได้



ภาพประกอบ 5 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคตัวกลาง และทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นตามยาว (Krautkrämer and Krautkrämer. 1990 : 5)

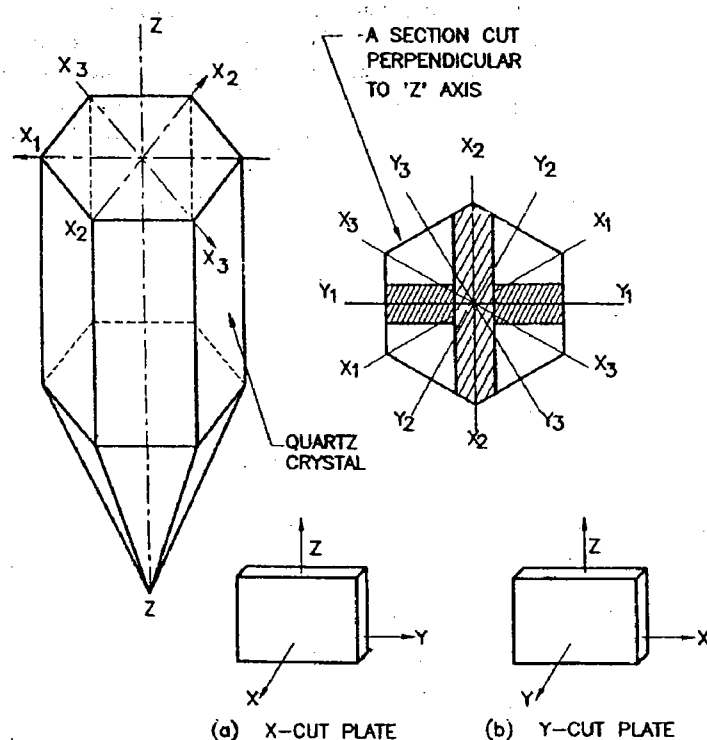
2) คลื่นตามขวาง (Transverse Wave) เป็นคลื่นที่มีทิศทางการสั่นสะเทือนของอนุภาคตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นตามขวางนี้จะผ่านไปได้เฉพาะในตัวกลางที่เป็นของแข็ง และไม่สามารถผ่านไปในตัวกลางซึ่งเป็นของเหลว หรือก๊าซได้ เพราะในตัวกลางที่เป็นของแข็งมีความหนาแน่นสูงกว่าของเหลว และก๊าซ กล่าวคืออะตอมหรือโมเลกุลของของแข็งมีระยะห่างกันไม่มากนัก และมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมแบบยึดหยุ่น จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้คลื่นตามขวางมีความเร็วต่ำกว่าคลื่นตามยาวอยู่ประมาณสองเท่า และคงที่สำหรับวัสดุแต่ละชนิด (ภาพประกอบ 6)



ภาพประกอบ 6 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคตัวกลาง และทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นตามขวาง (Krautkrämer and Krautkrämer. 1990 : 6)

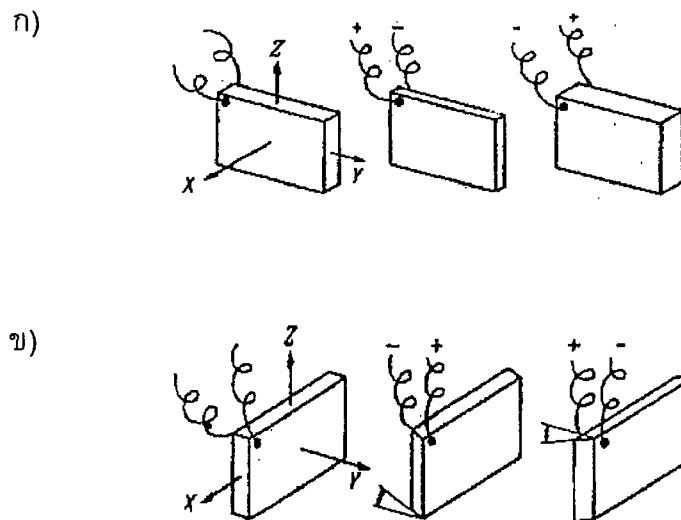
การกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิก

การทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิกนั้น จะใช้สารประเภท พิโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Material) เนื่องจากเป็นสารที่มีความยืดหยุ่น เช่น ผลึก Quartz, Barium Titanate และ Lead Zirconate Titanate Ceramic (ซาโตะ ฟุจิอิ. 2530 : 95) เป็นตัวทรานสดิวเซอร์ (ตัวให้กำเนิดคลื่น) โดยตัดชิ้นสารเหล่านี้ให้ได้ขนาดเหมาะสมที่จะก่อให้เกิดเรโซแนนซ์ของคลื่นในความถี่ตามต้องการ ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าต้องการสร้างคลื่นเสียงแบบคลื่นตามยาว หรือคลื่นตามขวาง โดยตัดแผ่นผลึก Quartz ตามแนวมุมผลึก หรือตั้งฉากกับแกนผลึก ซึ่งจะทำให้ตั้งฉากกับแกน Y (X-CUT) ซึ่งนำไปใช้หาคลื่นตามยาว หรือถ้าตัดขนานกับหน้าผลึกก็จะทำให้ตั้งฉากกับแกน X (Y-CUT) ซึ่งนำไปใช้หาคลื่นตามขวาง (Bindal. 1999) (ภาพประกอบ 7)



ภาพประกอบ 7 ลักษณะการตัดผลึกมาใช้งาน (Bindal. 1999 : 10)

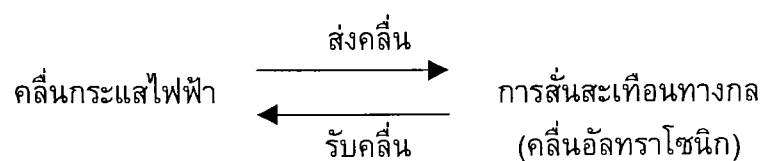
การทำให้เกิดคลื่นจะทำได้โดยการเคลือบผิวสองด้านของแผ่นทรานสดิวเซอร์ด้วยเงิน ทำให้เกิดเป็นขั้วไฟฟ้า (ภาพประกอบ 8) เมื่อส่งพัลส์ (Pulse) ของไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่แผ่นทรานสดิวเซอร์นี้จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนในแนวขวางของแผ่น อันเนื่องมาจากการยืด และหดตัวของทรานสดิวเซอร์เอง การสั่นสะเทือนนี้จะถูกส่งต่อไปยังชิ้นวัสดุที่จะตรวจสอบในรูปของคลื่นอัลตราโซนิก (ซาโตะ. ฟุจิอิ 2530. : 95)



ภาพประกอบ 8 ลักษณะการตัดผลึก ก) ด้าน X-CUT และให้กระแสไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองด้าน
 ข) ด้าน Y-CUT และให้กระแสไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองด้าน (Krautkrämer and Krautkrämer.
 1990 : 102 - 104)

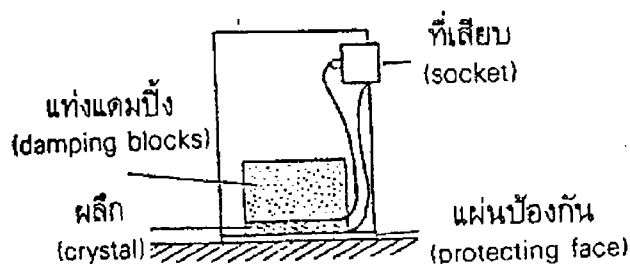
ในทางกลับกัน ถ้าหากมีการสั่นสะเทือนทางกลที่มีความถี่สูง ส่งมายังแผ่นทรานสดิวเซอร์ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วทั้งสองของทรานสดิวเซอร์ โดยมีความถี่พัลส์ของไฟฟ้ากระแสตรงเท่ากับความถี่ของคลื่นที่เข้ามา และเกิดความต่างศักย์แปรผันตามความเข้มของคลื่นนั้น คือ คลื่นความสั่นสะเทือนทางกลจะถูกแปลงเป็นคลื่นกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นวิธีการตรวจวัดคลื่นอัลตราโซนิก (ซาโตะ. พูจิอิ. 2530 : 95)

กล่าวโดยสรุป วิธีการทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิก และวิธีการตรวจวัดคลื่นเป็นปรากฏการณ์เดียวกัน แต่ใช้ขั้นตอนตรงข้ามกัน



โครงสร้างของหัวตรวจสอบ (Probe Structure)

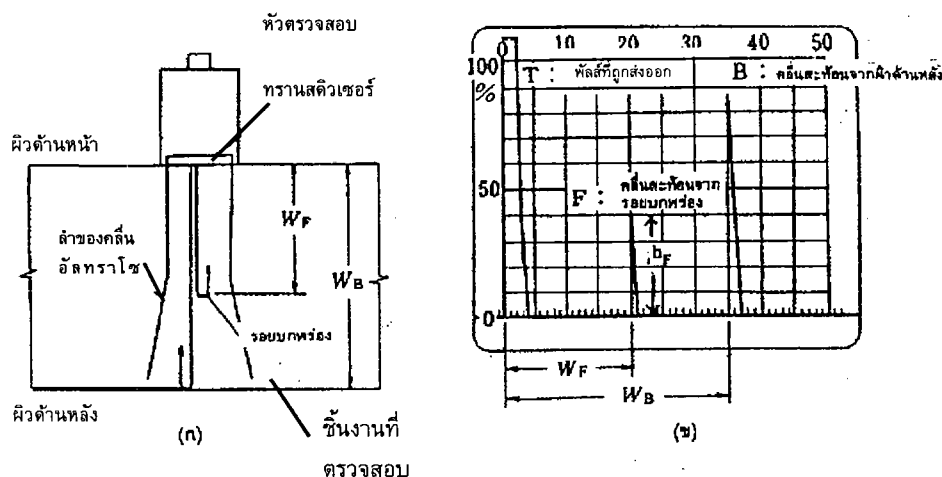
หัวตรวจสอบในที่นี้ใช้แบบตั้งฉาก หรือแบบหัวตรง (Normal Beam Probe) (ภาพประกอบ 9) ภายในหัวตรวจสอบบรรจุแผ่นผลึก (Crystal) โดยปะแผ่นผลึกไว้บนแผ่นป้องกัน (Protecting face) ซึ่งเป็นแผ่นพลาสติก ที่จะช่วยป้องกันไม่ให้ผลึกเกิดความเสียหายจากการสัมผัสกับชิ้นงานขณะทำการวัด ส่วนด้านหลังของแผ่นผลึกจะติดกับแท่งแดมปีง (Damping blocks) ซึ่งมีหน้าที่ทำให้ผลึกหยุดสั่นเร็วที่สุด เพราะมีความจำเป็นอย่างยิ่งกับการวัดโดยวิธีการสะท้อนกลับ เนื่องจากต้องส่งสัญญาณพัลส์สั้นๆ ให้กับหัวตรวจสอบ ส่วนประกอบทั้งหมดนี้จะถูกบรรจุอยู่ในภาชนะที่แข็งแรงทำจากพลาสติก หรือโลหะ และที่ขั้วทั้งสองด้านของแผ่นผลึกถูกต่อเข้ากับตัวเสียบ (Socket) เพื่อเชื่อมต่อไปยังเครื่องวัดคลื่นอัลตราโซนิก (สมนึก วัฒนศรีกุล. ม.ป.ป : 21)



ภาพประกอบ 9 โครงสร้างของหัวตรวจสอบแบบตั้งฉาก (Normal Beam Probe)

(สมนึก วัฒนศรีกุล. ม.ป.ป : 21)

เมื่อคลื่นการสั่นสะท้อนทางกลเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในเนื้อชิ้นงานทางด้านหน้า ในแนวตั้งฉากของผิวชิ้นงาน และสะท้อนกลับจากผิวด้านหลังของชิ้นงาน (ภาพประกอบ 10 ก.) เมื่อชิ้นงานมีผิวสองข้างขนานกัน คลื่นที่สะท้อนกลับมายังหัวตรวจสอบนี้ จะถูกแปลงจากคลื่นการสั่นสะท้อนทางกลเป็นคลื่นกระแสไฟฟ้าส่งออกไปที่หน้าจอ (ภาพประกอบ 10 ข.) คลื่นการสั่นสะท้อนทางกลที่สะท้อนมาที่หัวตรวจสอบเป็นส่วนน้อยเท่านั้นที่ผ่านเข้าไปในหัวตรวจสอบ ส่วนใหญ่จะสะท้อนที่ผิวด้านหน้าของชิ้นงาน และวิ่งกลับเข้าไปในชิ้นงานอีกครั้งหนึ่ง และเกิดการสะท้อนที่ผิวด้านหลังชิ้นงานอีกครั้งหนึ่ง (ชาโตะ ฟุจิอิ. 2530 : 91)



ภาพประกอบ 10 การสะท้อนกลับของคลื่นจากผิวด้านหลังของชีนิสต์
(ซาโตะ ฟุจิอิ. 2530 : 91)

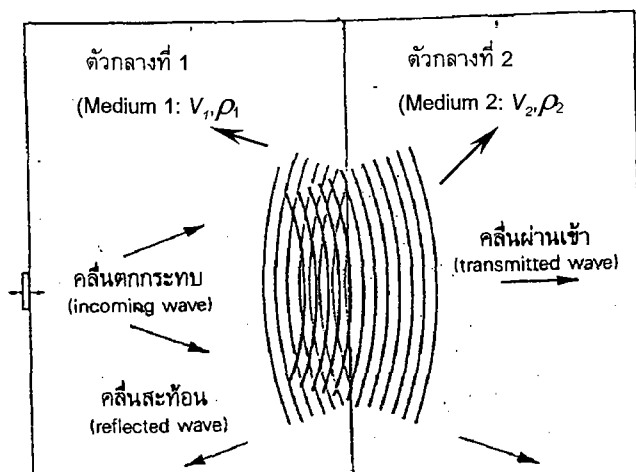
การสะท้อนของคลื่นเมื่อตกกระทบตั้งฉากกับพื้นผิวเรียบของวัสดุของแข็ง

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปยังผิวด้านหลังของชิ้นงาน หรือพบรอยต่อระหว่างตัวกลางสองชนิดคลื่นจะสะท้อนกลับ (ภาพประกอบ 11) ลักษณะนี้คลื่นส่วนหนึ่งจะเคลื่อนที่ผ่านต่อไป และส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับเข้ามาไปในตัวกลางเดิมอีก อัตราส่วนของคลื่นที่สะท้อนกลับและที่เคลื่อนที่ผ่านต่อไปจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่ เรียกว่า อิมพีแดนซ์เสียง (Acoustic Impedance: Z) ของตัวกลางทั้งสองนั้น อิมพีแดนซ์เสียงเป็นผลคูณระหว่างความเร็วของเสียง (V) ในตัวกลางนั้นกับค่าความหนาแน่นของตัวกลาง (ρ) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (ซาโตะ, ฟุจิอิ, 2530 : 101)

$$Z=V.\rho \tag{2}$$

ที่รอยต่อของตัวกลางสองชนิด ถ้าให้ Z_1 และ Z_2 เป็นอิมพีแดนซ์เสียงของตัวกลางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของความดันเสียง (Reflection Coefficient of Sound Pressure: R) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของความดันเสียงที่สะท้อนกลับ (P_r) ต่อความดันเสียงทั้งหมดที่ตกกระทบ (P_o) สามารถได้จากสมการต่อไปนี้ (ซาโตะ. ฟุจิอิ. 2530 : 101)

$$R = \frac{P_r}{P_0} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (3)$$



ภาพประกอบ 11 การผ่านเข้า และสะท้อนกลับของคลื่นที่ตกกระทบผิวที่ต่อกัน
(สมนึก วัฒนศรีกุล. ม.ป.ป. : 8)

สมการเกี่ยวกับคลื่นอัลตราโซนิกที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองใช้คลื่นอัลตราโซนิกหาค่ายังมอดุลัส มีสมการที่เกี่ยวข้อง (Krautkrämer and Krautkrämer, 1990) ดังนี้คือ

1) สมการการหาค่ายังมอดุลัส

$$E = 2\mu(1 + \sigma) \quad (4)$$

2) สมการการหาค่ามอดุลัสเฉือน (Shear Modulus)

$$\mu = \rho \cdot V_t^2 \quad (5)$$

3) สมการหาค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio)

$$\sigma = \frac{\frac{1}{2} - \left(\frac{V_t^2}{V_l^2} \right)}{1 - \left(\frac{V_t^2}{V_l^2} \right)} \quad (6)$$

4) สมการการหาค่าความเร็วคลื่นตามยาว

$$V_l = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\sigma}{(1+\sigma)(1-2\sigma)}} \quad (7)$$

5) สมการการหาค่าความเร็วคลื่นตามขวาง

$$V_t = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{2(1+\sigma)}} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (9)$$

เมื่อ V_l = ความเร็วของคลื่นตามยาว หาได้จากการวัดด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก

V_t = ความเร็วของคลื่นตามขวาง หาได้จากการวัดด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก

E = ยั่งมอดูลัส

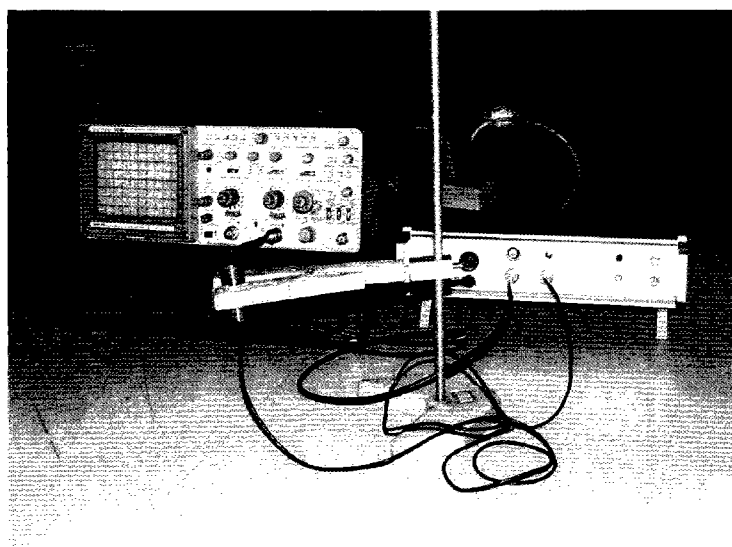
σ = ค่าคงที่ ปัวซอง

μ = มอดูลัสเฉือน

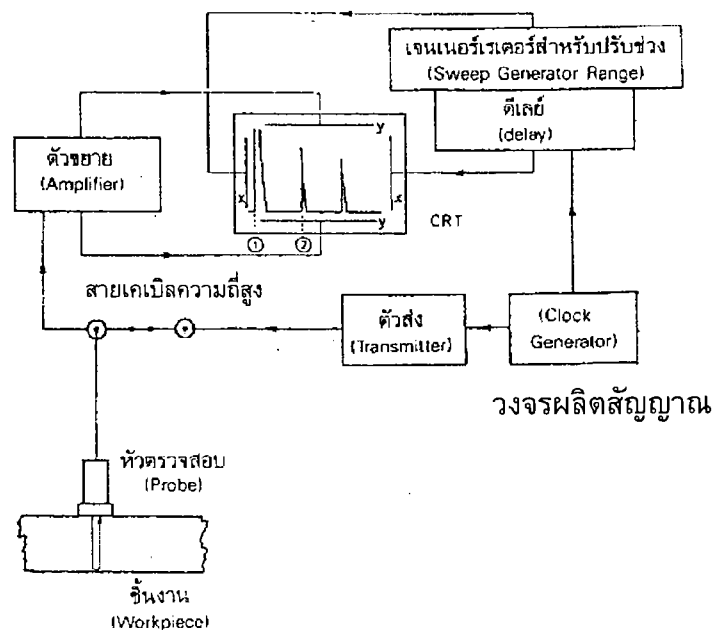
ρ = ความหนาแน่นของอัญมณี หาได้จากการวัดด้วยเครื่องชั่งอัญมณี

หลักการของเทคนิคอัลตราโซนิก

สิ่งที่วัดได้จากชุดเครื่องมือหาค่าความเร็วคลื่นเสียง โดยเทคนิคอัลตราโซนิก คือ ค่า V_l และ V_t ดังแสดงภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 แสดงการวัดค่าความเร็วคลื่นตามยาวในออลกมณี โดยเทคนิคอัลตราโซนิก



ภาพประกอบ 13 แสดงหลักการทำงานของเครื่องอัลตราโซนิก (สมนึก วัฒนศรีกุล.
ม.ป.ป. : 27)

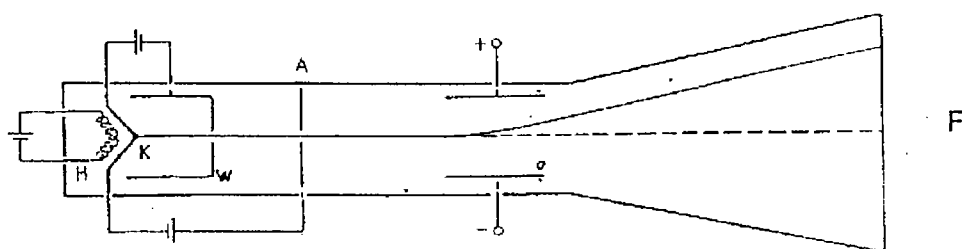
ภาพประกอบ 13 แสดงหลักการทำงานของเครื่องอัลตราโซนิก เมื่อวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา (Clock Generator) ส่งสัญญาณนาฬิกาผ่านตัวส่ง (Transmitter) ไปยังหัวตรวจสอบ (Probe) ขณะเดียวกันก็ส่งสัญญาณนาฬิกาผ่านเจนเนอเรเตอร์สำหรับปรับช่วงเวลา (Sweep Generator Range) ไปยังแผ่นโลหะคู่ตั้งในหลอดรังสีแคโทด (CRT) (ภาพประกอบ 14) ซึ่งควบคุมการเคลื่อนที่ตามแนวนอนของลำอิเล็กตรอนในจอภาพทำให้ได้ภาพที่ปรากฏบนจอเกิดการเคลื่อนที่ในแนวแกน y (หลักการทำงานของ CRT จะกล่าวภายหลัง)

เมื่อหัวตรวจสอบได้รับแรงดันไฟฟ้าจากวงจรควบคุมเวลา ก็จะเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้เป็นคลื่นอัลตราโซนิก แล้วปล่อยคลื่นนี้เข้าสู่เนื้อของชิ้นงานที่จะตรวจสอบ คลื่นอัลตราโซนิกที่ถูกส่งออกไปจะสะท้อนที่ผิวด้านหลังของชิ้นงานกลับมายังหัวตรวจสอบ เมื่อหัวตรวจสอบได้รับคลื่นอัลตราโซนิกที่สะท้อนกลับมาจากผิวด้านหลังของชิ้นงานก็จะเปลี่ยนคลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นทางไฟฟ้า ส่งไปยังตัวขยายสัญญาณ (Amplifier) หลังจากนั้นสัญญาณไฟฟ้าที่อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าจึงถูกส่งต่อไปยังแผ่นคู่แนวนอนใน CRT ซึ่งควบคุมการเคลื่อนที่ตามแนวตั้งของลำอิเล็กตรอนในจอภาพทำให้ได้ภาพที่ปรากฏบนจอ CRT ในแกน x สัญญาณเวลาของคลื่นอัลตราโซนิกที่เดินทางไป-กลับนี้เรียกว่าการสะท้อนกลับ (Back Echo) ตำแหน่ง (1 และ 2 ในภาพ CRT ของภาพประกอบ 13) ที่เกิดสัญญาณการสะท้อนกลับที่จอภาพจะบอกช่วงเวลาใน

การเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกได้จากสมการ

$$V = \frac{2S}{t} \quad (10)$$

เมื่อ V = ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก
 S = ความหนาของชิ้นงาน
 t = เวลาที่คลื่นอัลตราโซนิกเดินทางไป-กลับ



ภาพประกอบ 14 หลอดรังสีแคโทด (CRT) (สมนึก วัฒนศรีกุล. ม.ป.ป : 27)

ภาพประกอบ 14 แสดงหลักการทำงานของ CRT ซึ่งประกอบด้วยขดลวดให้ความร้อน H เป็นตัวให้ความร้อนที่แคโทด K ทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้น อิเล็กตรอนถูกทำให้เคลื่อนที่เนื่องจากมีความต่างศักย์ ระหว่างแคโทด K กับ แอโนด A ทำให้เกิดเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งจะถูกโฟกัสด้วยกระบอก W โดยใช้ความต่างศักย์ทำให้เกิดเป็นจุดสว่างที่จอเรืองแสง F ระหว่างทาง ลำอิเล็กตรอนเคลื่อนผ่านแผ่นโลหะสองคู่ แผ่นโลหะคู่ทั้งสองคู่นี้ทำมุมตั้งฉากซึ่งกันและกันคล้ายกลองสี่เหลี่ยมปลายเปิดสองด้านถ้าแผ่นโลหะคู่แนวนอนได้รับความต่างศักย์ จะทำให้ลำอิเล็กตรอนเบี่ยงเบนในแนวตั้ง ในทำนองเดียวกันแผ่นโลหะคู่แนวตั้งได้รับความต่างศักย์ จะทำให้ลำอิเล็กตรอนเบี่ยงเบนในแนวนอน (สมนึก วัฒนศรีกุล. ม.ป.ป. : 27)

1.3 การหาค่าดัชนีหักเหของอัญมณี (Read. 1990 : 87)

เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางชนิดที่หนึ่งไปยังตัวกลางชนิดที่สอง ที่บริเวณผิวรอยต่อระหว่างตัวกลางทั้งสอง จะเกิดการสะท้อนและหักเหของแสงขึ้น การสะท้อนของแสงจะเป็นไปตามกฎการสะท้อน คือ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ส่วนการหักเหของแสง จะเกิดจากอัตราเร็วและทิศทางของแสงที่เปลี่ยนไปในตัวกลางที่สอง ซึ่งการหักเหของแสงจะเป็นไปตามกฎการหักเหของสเนลล์ (Snell's Law) คือ อัตราส่วนระหว่างไซน์ของมุมตกกระทบ ($\sin \theta_1$) ต่อไซน์ของมุมหักเห ($\sin \theta_2$) เท่ากับ ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 2 เทียบกับ ตัวกลางที่ 1 ดังสมการ

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (11)$$

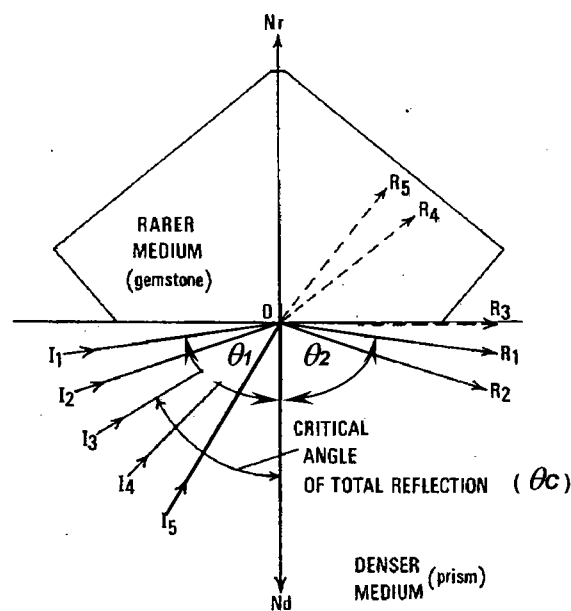
เมื่อ θ_1 = มุมตกกระทบของแสง
 θ_2 = มุมหักเหของแสง
 n_1 = ค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางที่ 1
 n_2 = ค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางที่ 2

ถ้าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 1 มีค่ามากกว่า ดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 2 ($n_1 > n_2$) หรือแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย รังสีหักเหจะเบนออกจากเส้นปกติ และทำให้มุมหักเหมีค่ามากกว่ามุมตกกระทบ ($\theta_2 > \theta_1$) ในกรณีที่รังสีตกกระทบทำมุมเท่ากับมุมวิกฤต (Critical Angle: θ_c) รังสีหักเหในตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย จะหักเหเป็นมุม 90 องศา กับเส้นปกติ สามารถหาค่ามุม θ_c ได้จากสมการ

$$\theta_c = \sin^{-1} \cdot \frac{n_2}{n_1} \quad (12)$$

และถ้ารังสีตกกระทบทำมุมมากกว่ามุมวิกฤต จะเกิดการสะท้อนกลับเข้าสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก เรียกว่าการสะท้อนกลับหมด (Total Internal Reflection)

จากหลักการหักเหและการสะท้อนกลับหมดของแสง สามารถหาค่าดัชนีหักเห (Index of Refraction) ในอัญมณีได้ ดังภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 แสดงแสงที่ตกกระทบบนผิวของรอยต่อระหว่างตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน (แสงผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก คือแก้วปริซึม (Prism glass) ไปยังตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย คืออัญมณี) (Read. 1990 : 88)

เมื่อแสง I_1 เดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย โดยทำมุม θ กับเส้นปกติ (Normal) จะเกิดการสะท้อนกลับหมดที่ผิวรอยต่อระหว่างตัวกลางทั้งสอง (R_1) เป็นไปตามกฎของการสะท้อนกลับหมด และถ้าแสง I_2 ทำมุมตกกระทบน้อยกว่า θ แต่มากกว่า θ_c แสงก็ยังคงสะท้อนกลับหมดไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก (R_2) แต่ถ้าแสง I_3 ตกกระทบบนผิวทำมุมเท่ากับมุมวิกฤต (θ_c) แสงหักเหจะอยู่ในแนวระหว่างผิวรอยต่อของตัวกลางทั้งสอง (R_3) ส่วนแสง I_4 , I_5 ที่ตกกระทบบนผิวทำมุมขนาดเล็กกว่ามุมวิกฤต แสงจะผ่านเข้าไปในตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าเกิดการหักเห เป็นไปตามกฎของการหักเหของแสง (R_4 , R_5) (Read. 1990 : 88)

สำหรับการหาค่ามุมวิกฤตและค่าดัชนีหักเหของตัวกลาง 2 ชนิด สามารถหาได้จากค่าดัชนีหักเหของแก้วปริซึมและอัญมณี ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (Read. 1990 : 87)

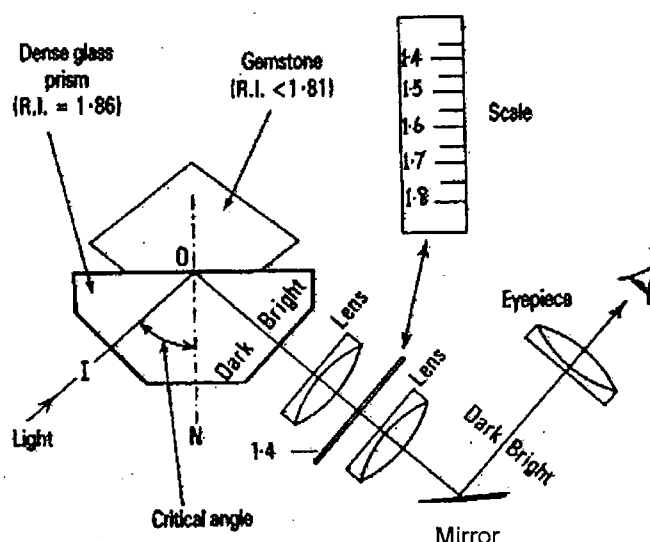
$$\sin \theta_c = \frac{\text{ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่หนาแน่นน้อยกว่า(อัญมณี)}}{\text{ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่หนาแน่นมากกว่า(แก้วปริซึม)}} \quad (13)$$

หรือ ค่าดัชนีหักเห ของอัญมณี = $\sin \theta_c \times$ ค่าดัชนีหักเหของแก้วปริซึม

การหาค่าดัชนีหักเหของอัญมณีทำได้ เมื่ออัญมณีมีค่าดัชนีหักเหน้อยกว่าแก้วปริซึม เพราะถ้าอัญมณีมีค่าดัชนีหักเหเท่ากับหรือมากกว่าแก้วปริซึม แสงจะหักเหเข้าสู่ตัวอัญมณี นอกจากนี้ยังต้องใช้น้ำยาที่ช่วยทำให้อัญมณีสัมผัสกับแท่งแก้วปริซึม (Contact liquid) เพื่อไม่ให้มีอากาศอยู่ระหว่างผิวรอยต่อแก้วปริซึม และ ผิวอัญมณี

แก้วปริซึมที่ใช้ เป็นแก้วผสมตะกั่ว (High Leadoxide Content Glass) ที่มีค่าดัชนีหักเหประมาณ 1.86

การทำงานของเครื่องมือหาค่าดัชนีหักเห เป็นดังภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 แสดงการทำงานของเครื่องมือหาค่าดัชนีหักเห (Read. 1990 : 90)

เมื่อแสงเดินทางผ่านเข้าไปในแก้วปริซึม ที่ผิวรอยต่อของแก้วปริซึมและอัญมณี รังสีตกกระทบที่ทำมุมมากกว่ามุมวิกฤต เกิดการสะท้อนกลับหมดของแสงไปยังเลนส์ และมองเห็นสเกลที่มีค่าดัชนีหักเหต่างๆ ส่วนกระจกและเลนส์ตา (Eyepiece) ช่วยปรับให้เห็นสเกลของค่า

ดัชนีหักเหได้ชัดเจนขึ้น โดยจะเห็นเป็นเงาสีดำในส่วนบนของสเกล ซึ่งเกิดจากแสงหักเหเข้าไปในอัญมณี และส่วนสว่างตอนล่างเกิดจากการสะท้อนกลับหมดของแสงจากผิวหน้าอัญมณี ขอบเงากลางๆบริเวณระหว่างทั้งสองส่วนจะเป็นค่าของดัชนีหักเหของอัญมณี ที่ส่องลงมายังผู้สังเกต (Read. 1990 : 90)

การหาค่าดัชนีหักเหของอัญมณีสามารถหาได้โดยใช้เครื่องหาค่าดัชนีหักเห (Refractometer) ดังภาพประกอบ 17



น้ำมันช่วยให้อัญมณีสัมผัสกับแท่งแก้ว

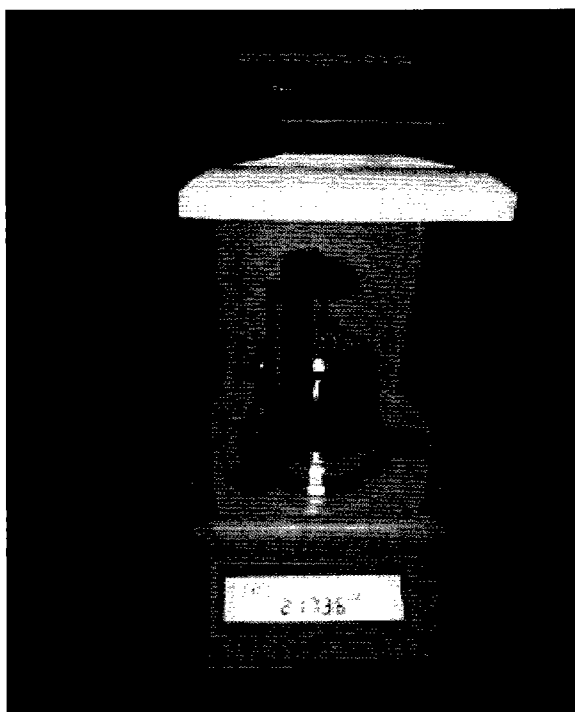
- 1) แก้ว Hemicylinder ซึ่งทำด้วยแก้วที่มีค่าดัชนีหักเหสูง
- 2) สเกล เป็นแก้วโค้งหรือพลาสติกที่มีตัวเลขดัชนีหักเหต่าง ๆ
- 3) กระบอกเงาที่สะท้อนสเกล
- 4) เลนส์ที่ใช้มองสเกล (Viewing lens)
- 5) เลนส์ขยาย (Magnifier) เพื่อช่วยขยายสเกล
- 6) Polarizing filter ที่จะช่วยจำแนกค่าดัชนีหักเหของแสงในวัตถุที่มีค่าดัชนีหักเหคู่
- 7) ช่องที่เปิดให้แสงส่องผ่าน (Light portal) ที่บริเวณด้านหลังของเครื่องมือ
- 8) ฝาปิดกันแสงจากด้านนอก

ภาพประกอบ 17 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องค่าดัชนีหักเห (Richard. 1981 : 90)

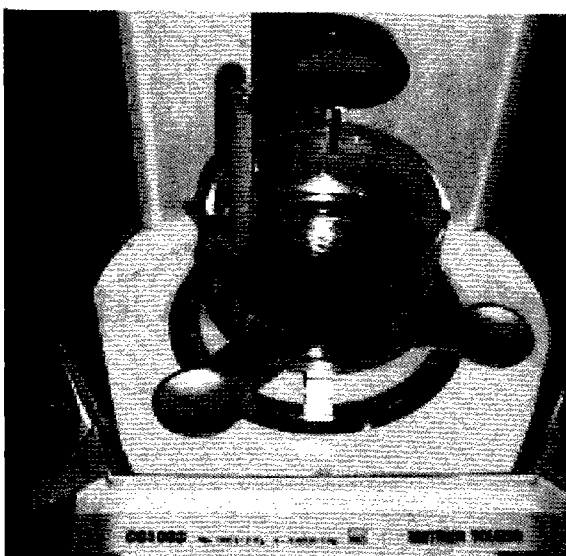
1.4 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของอัญมณี

การหาค่าความถ่วงจำเพาะของอัญมณีสามารถหาได้โดยใช้เครื่องชั่งไฟฟ้า ดังภาพประกอบ 18

(ก)



(ข)



ภาพประกอบ 18 แสดงการชั่งอัญมณีในอากาศ (ก) และ ในน้ำ (ข) ด้วยเครื่องชั่งหาค่าความถ่วงจำเพาะของอัญมณี ของ METTLER TOLEDO รุ่น CG1003

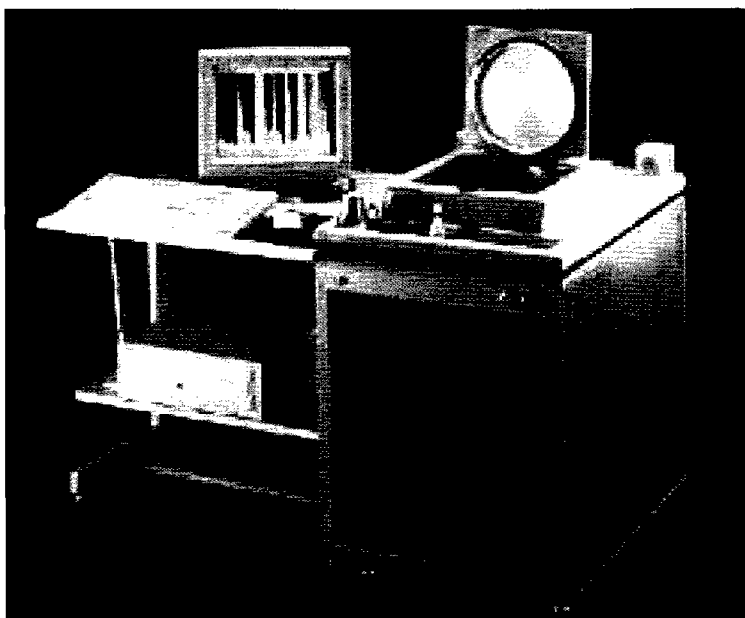
ค่าความถ่วงจำเพาะของอัญมณี คือ น้ำหนักของอัญมณี เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน ซึ่งถ้าใช้หลักการแทนที่น้ำ จะได้ว่า น้ำหนักของอัญมณีที่ชั่งในอากาศ ลบออกจากน้ำหนักของอัญมณีที่ชั่งในน้ำ เท่ากับน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับอัญมณีนั่น ซึ่งมีสมการในการคำนวณความถ่วงจำเพาะ ดังนี้ (Read 1999 : 57)

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักของอัญมณีที่ชั่งในอากาศ}}{\text{น้ำหนักของอัญมณีที่ชั่งในอากาศ} - \text{น้ำหนักของอัญมณีที่ชั่งในน้ำ}} \quad (14)$$

การหาค่าความถ่วงจำเพาะของอัญมณี ต้องชั่งน้ำหนักอัญมณีนั้นในอากาศก่อนแล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนักในน้ำ วิธีการหาความถ่วงจำเพาะนี้ เรียกว่า Hydrostatic Weighing ซึ่งอัญมณีจะต้องเป็นอัญมณีที่ไม่ได้อยู่ในตัวเรือนใดๆ น้ำที่ใช้ในการหาความถ่วงจำเพาะควรเป็นน้ำกลั่น ถ้าใช้น้ำประปาอาจทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะคลาดเคลื่อนได้

1.5 การหาองค์ประกอบทางเคมี ของอัญมณี

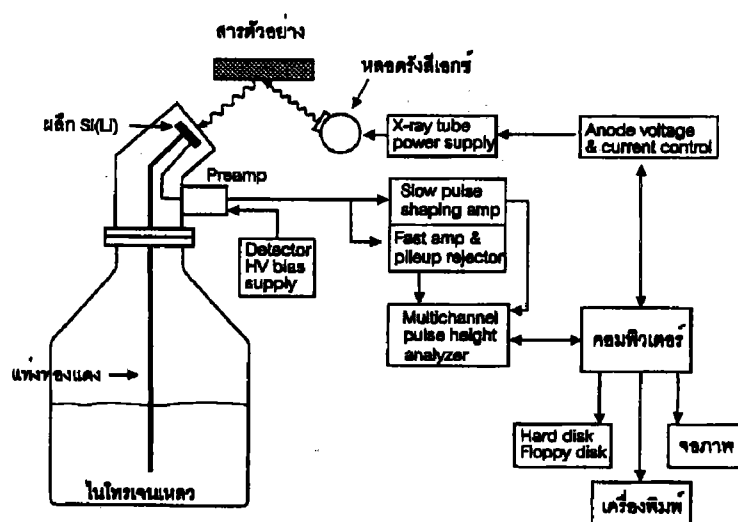
สำหรับการตรวจวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีของอัญมณีนั้น ทำได้โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer: EDXRF) ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ธาตุทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยเฉพาะการวิเคราะห์เชิงปริมาณ สามารถอาศัยหลักการวาวรังสีเอกซ์จากอะตอมของธาตุแต่ละชนิดในอัญมณีที่ได้รับการกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์จากแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ ทำให้เกิดรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะตัว (Characteristic x-ray) ของธาตุต่างๆ ในอัญมณี และพลังงานของรังสีเอกซ์ของธาตุแต่ละชนิดที่วัดได้จะแสดงออกมาในรูปของสเปกตรัม ทำให้ทราบถึงชนิดและปริมาณของธาตุในอัญมณี ซึ่งเครื่องมือชนิดนี้สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ตั้งแต่โซเดียม (Na) ถึงยูเรเนียม (U) โดยปริมาณธาตุที่จะสามารถวัดได้ต้องมีอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 1,000 ส่วนใน 1,000,000 ส่วนในตัวอย่าง (1000 ppm) (บุญทวี ศรีประเสริฐ และวิลาวัลย์ อติชาติ. 2544 : 20) สำหรับเครื่อง EDXRF ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นของบริษัท OXFORD รุ่น ED2000 แสดงดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 แสดงเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงาน

(Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer: EDXRF)

ที่มา : OXFORD (Online). Available: <http://www.astcorp.com.tw/oxford>.



ภาพประกอบ 20 หลักการทำงานของเครื่อง EDXRF(สัมพันธ์ วงศ์นาวา. 2541 : 111)

หลักการทำงานของเครื่อง EDXRF (ภาพประกอบ 20) เมื่อธาตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในสารตัวอย่างถูกกระตุ้นโดยรังสีเอกซ์ที่เกิดจากหลอดรังสีเอกซ์ (X-ray tube) แล้วปล่อยรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะของแต่ละธาตุออกมา รังสีเอกซ์เหล่านี้จะผ่านเข้าสู่หัววัด (Detector) หัววัดจะเปลี่ยนรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบให้เป็นสัญญาณพัลส์ที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะของแต่ละธาตุ ซึ่งหัววัดชนิดนี้ทำด้วยผลึกซิลิคอน (Si) ที่มีลิเทียม (Li) แพร่เข้าไปเรียกว่า Lithium drifted silicon detector เรียกสั้นๆ ว่า Si(Li) ลิเทียมที่อยู่ในผลึกซิลิคอนนี้จะแพร่อยู่ตลอดเวลา ถ้าไม่ชะลอการแพร่จะทำให้หัววัดเสื่อมประสิทธิภาพได้ การชะลอการแพร่ทำได้โดยใช้ความเย็นยวดยิ่ง ซึ่งมักใช้ในโตรเจนเหลว โดยมีแท่งทองแดงเชื่อมต่อระหว่างหัววัดกับถังไนโตรเจนเหลวตลอดเวลา และภายในหัววัดต้องมีลักษณะเป็นสุญญากาศเพื่อลดการสูญเสียความเย็นแก่บรรยากาศ สัญญาณพัลส์ที่ออกมาจะถูกป้อนเข้าสู่พรีแอมพลิฟายเออร์ (Preamplifier) เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากหัววัดให้เป็นสัดส่วนกับพลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะของแต่ละธาตุ หลังจากนั้นสัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังส่วนที่เรียกว่าหน่วยประมวลผลพัลส์ (Pulse processor) โดยปกติในส่วนภายในหน่วยประมวลผล สัญญาณพัลส์มีการเทียบมาตรฐาน (Calibration) เพื่อตรวจความถูกต้องโดยใช้สารมาตรฐาน ส่วนเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (Multichannel Analyzer) มีหน้าที่แยกขนาดพลังงานในแต่ละช่วงส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผล และควบคุมระบบการทำงานของเครื่อง (สัมพันธ์ วงศ์นาวา. 2541 : 65-116)

2. เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โซการ์ และแอนเดอร์สัน (Soga & Anderson. 1967) ใช้เทคนิค Resonant Sphere หาค่าความยืดหยุ่น ของอุลทกมณี (Tektites) โดยวัดค่าความเร็วคลื่นเสียงตามขวางได้เท่ากับ 3.638 กิโลเมตรต่อวินาที และความเร็วเสียงคลื่นตามยาวเท่ากับ 5.999 กิโลเมตรต่อวินาที ค่าความยืดหยุ่นเท่ากับ 77.59 GPa และค่ามอดุลัสเฉือนเท่ากับ 32.09 GPa

เรวิคณ์ เหล่าไพบูลย์ และคณะ. (2543) ได้ศึกษาหาค่ามอดุลัสของวัสดุ โดยใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิก ด้วยหัวตรวจสอดตรง และหัวตรวจสอดมุม ความถี่ 4 MHz สำหรับวัสดุ ทองแดง ทองเหลือง อลูมิเนียม เหล็กเพลาดำ เหล็กเพลาชว เหล็กกล้าไร้สนิม และ เซรามิกส์ขาว โดยเปรียบเทียบกับค่าทดสอบแรงดึงกับวัสดุโลหะตามมาตรฐาน มอก. 244 ปรากฏว่าได้ค่ามอดุลัสใกล้เคียงกัน แต่ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบแรงดึงมีค่ามากกว่า การทดสอบโดยใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิก

สปินเนอร์ (Spinner. 1956) ได้ศึกษาค่าคงที่ของความยืดหยุ่นของแก้ว 13 ชิ้น จากแก้วที่ทำการหลอม Vycor-brand glass และ Pyrex-brand glass โดยวิธีการเพิ่มอุณหภูมิ กับค่ามอดุลัส และ ค่าเชียร์มอดุลัส ซึ่งได้มาจากการคำนวณค่า Poisson's ratio ในเทอมของอุณหภูมิ พบว่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิ และจะตรงข้ามกับแก้วชนิดอื่นๆ

รูพรานโน และคณะ (Luprano et. al. 2000) ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของเสาราชวังในอิตาลี โดยเปรียบเทียบวิธีการทดสอบด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก กับ วิธีทดสอบด้วยแรงดึง ของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเสาราชวัง ซึ่งสามารถการบอกถึงลักษณะทางกายภาพของเสาราชวังได้ โดยไม่ทำลายตัวอย่าง นอกจากนี้ยังวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของเสาราชวังด้วยเทคนิค X-ray Diffraction และกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

ปริญญา พุทธาภิบาล และสิโรธม คัลยพงษ์. (2527) ศึกษา อุลทกมณี (Tektites) ที่พบในประเทศไทย จำแนกได้สองกลุ่ม คือ Layered tektites พบเฉพาะบริเวณด้าน ตะวันออกและ ตะวันออกเฉียงใต้ของภาคอีสาน ส่วน Splash tektites พบแผ่กระจายกว้างขวางกว่ากลุ่มแรก และมีองค์ประกอบทางเคมีในกลุ่มของ Layered tektites (19 ตัวอย่าง) คือ SiO_2 78.93 wt% TiO_2 0.63 wt% Al_2O_3 10.19 wt% FeO 3.75 wt% MgO 1.45 wt% CO 1.21 wt% Na_2O 0.92 wt% K_2O 2.42 wt% และในกลุ่มของ Splash tektites (112 ตัวอย่าง) คือ SiO_2 73.20 wt% TiO_2 0.75 wt% Al_2O_3 12.84 wt% FeO 4.73 wt% MgO 2.23 wt% CO 2.15 wt% Na_2O 1.32 wt% K_2O 2.39 wt%

โฮ และ เซน (Ho & Chen. 1996) ศึกษา อุลทกมณี (Tektites) 10 ชิ้น จากพื้นที่ Penglei ในมณฑล Hainan จากการวิเคราะห์ ธาตุหลัก ธาตุรอง และไอโซโทปของธาตุ Rb- Sr สามารถแบ่งอุลทกมณีออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่งกลุ่มที่มี $\text{SiO}_2 > 80$ wt% และกลุ่มที่มี $\text{SiO}_2 < 76$ wt% นอกจากนี้ยังหาค่าดัชนีหักเห ความหนาแน่น และองค์ประกอบทางเคมี จากการศึกษาพบว่า

Tektites ตัวอย่าง Tk-1 (กลุ่มที่มี $\text{SiO}_2 > 80\%$ wt%) เกิดจากหินต่างๆ ได้แก่ หินดินดาน 2% หินทราย 38% หินทรายชนิด Greywacke 50% และหิน Quartzite 10% สำหรับอุลทกมณีแบบสแฟลช ฟอม ($\text{SiO}_2 < 76\%$ wt%) มีส่วนผสมของหินดินดาน 41% หินทราย 2% หินทรายชนิด Greywacke 50% และหิน Quartzite 30%

กลาส และคณะ (Glass *et. al.* 1995) ศึกษาคุณสมบัติต่างๆ เช่น คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของอุลทกมณีแบบเลเยอร์ ที่เกิดขึ้นทางตอนใต้ของ Riddleville, Georgia, USA พบว่าตัวอย่างมีลักษณะทึบแสง และส่วนใหญ่มีซิลิกาอยู่ระหว่าง 69-99 wt%

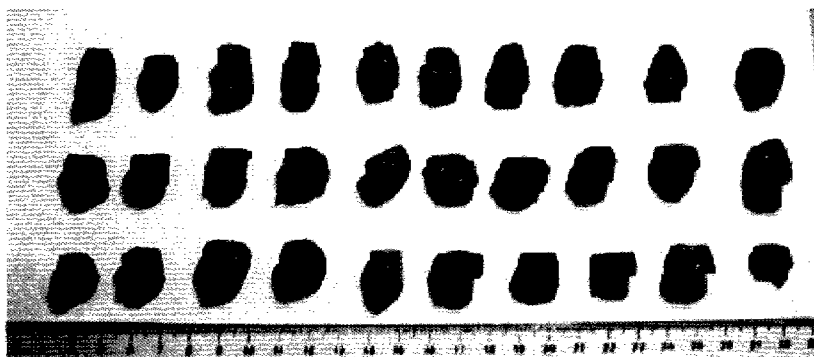
บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการหาค่ายังมอดุลัสของอุลคมณี ด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิก

1) วัสดุที่ใช้ในการศึกษา คือ อุลคมณี ขนาดโดยเฉลี่ย 1.6 cm x 2.4 cm x 1.3 cm. จำนวน 30 ตัวอย่าง จากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยซึ่งได้มาจากการบริจาค โดย คุณอนันต์ ซาลวาลา (ภาพประกอบ 21)



ภาพประกอบ 21 อุลคมณีตัวอย่าง ที่นำมาใช้ในการทดลอง

2) เครื่องมือที่ใช้สำหรับหาค่ายังมอดุลัส

- Oscilloscope ของ Tektronix 2232, 100 MHz และเครื่อง Pulse Generator หัวตรวจสอบแบบตั้งฉาก (Normal Beam Probe) ชนิดวัดคลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) ขนาด 4 MHz ที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

- เครื่องวัดคลื่นอัลตราโซนิก ของ Kraukrämer Branson รุ่น Usk 7D หัวตรวจสอบแบบตั้งฉาก ชนิดวัดคลื่นตามขวาง (Shear Wave) ขนาด 5 MHz รุ่น V156-RM 211056 ที่บริษัท ศิวะ เทสตั้ง อินสเพ็คชั่น แอนด์ คอนซัลตัง

1.3 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการหาค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าความหนาแน่นของอัญมณี

- 1) วัสดุที่ใช้เป็นอัญมณี ตามข้อ 1.2 ข้อ 1)
- 2) เครื่องหาค่าความถ่วงจำเพาะของอัญมณี ของ METTLER TOLEDO รุ่น CG1003 (ภาพประกอบ 18) ที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

1.4 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการหาค่าดัชนีหักเหของอัญมณี

- 1) วัสดุที่ใช้เป็นอัญมณี ตามข้อ 1.2 ข้อ 1)
- 2) เครื่องหาค่าดัชนีหักเห รุ่น DUPLEX ของ GIA (Gemological Institute of America) (ภาพประกอบ 17) ที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

1.5 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการหาล่องประกอบทางเคมีของอัญมณี

- 1) วัสดุที่ใช้เป็นอัญมณี ตามข้อ 1.2 ข้อ 1)
- 2) เครื่อง EDXRF ของ OXFORD รุ่น ED2000 ที่สถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งชาติ GIT (The Gem & Jewelry Institute of Thailand: GIT)

2. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2.1 ขั้นตอนเตรียมวัสดุทดสอบสำหรับหาค่ายังมอดุลัส และเครื่องหาค่าดัชนีหักเห

- 1) นำอัญมณีจากข้อ 1.2 ข้อ 1) ที่จัดเตรียมไว้จำนวน 30 ตัวอย่าง มาตัดให้มีด้านขนาน 2 ด้าน ให้เหลือความยาวระหว่าง 0.5 - 1.9 เซนติเมตร ด้วยโต๊ะตัดโกนพลอย (Grinding and Sawing Bench) ที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อนำไปทดสอบหาค่ายังมอดุลัส โดยเทคนิคอัลตราโซนิก
- 2) นำอัญมณีจากข้อ 2.1 ข้อ 1) ที่จัดเตรียมไว้ มาขัดผิวด้านใดด้านหนึ่งให้เป็นเงาวาว โดยเริ่มจากการขัดด้วยกระดาษทรายเรียงจากหยาบไปละเอียด เบอร์ 80 100 320 400 600 800 1,000 1,200 และผงขัดเพชร (Diamond Powder) เบอร์ 0.1 ด้วยเครื่องขัดเงา เพื่อนำไปทดสอบหาค่าดัชนีหักเหของแสง โดยเครื่องหาค่าดัชนีหักเห

2.2 การหาค่าความหนาแน่นหรือค่าความถ่วงจำเพาะของอัญมณี

- 1) นำอัญมณีจากข้อ 1.2 ข้อ 1) ชั่งน้ำหนักในอากาศ และในน้ำ ด้วยเครื่องหาค่าความถ่วงจำเพาะของอัญมณี

2) คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะ โดยใช้สมการ (14)

2.3 การทดสอบหาค่ายังมอดุลัส ของอุลคมณี ด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิก

- 1) นำอัญมณีจากข้อ 2.1 ข้อ 1) วัดขนาดความหนาของอัญมณีด้วยเวอร์เนียร์ คาลิเปอร์
- 2) ทำการทดสอบปรับเทียบ (Calibration) เครื่องอัลตราโซนิก (รายละเอียด ภาคผนวก ก.)
- 3) ทำการวัดหาเวลาที่คลื่นตามยาวเดินทางไปและกลับในอุลคมณี โดยใช้ Oscilloscope ของ Tektronix 2232, 100 MHz และเครื่อง Pulse Generator หัวตรวจสอบแบบ ตั้งฉาก ชนิดวัดคลื่นตามยาว ขนาด 4 MHz (ภาพประกอบ 12)
- 4) ทำการวัดหาเวลาที่คลื่นตามขวางเดินทางไปและกลับในอุลคมณี โดยใช้ เครื่องวัดคลื่นอัลตราโซนิก ของ Kraukrämer Branson รุ่น Usk 7D หัวตรวจสอบแบบตั้งฉาก ชนิดวัดคลื่นตามขวาง ขนาด 5 MHz รุ่น V156-RM 211056
- 5) คำนวณหาค่ายังมอดุลัส จากสมการ (4), (5), (6), (10)

2.4 การหาค่าดัชนีหักเหของอุลคมณี

นำอัญมณีชนิดอุลคมณีที่เตรียมจากข้อ 2.1 ข้อ 2) มาทดสอบหาค่าดัชนีหักเห ด้วยเครื่องหาค่าดัชนีหักเห (ภาพประกอบ 17)

2.5 การหาองค์ประกอบทางเคมีในอุลคมณี

นำอัญมณีที่เตรียมจากข้อ 2.1 ข้อ 1) มาทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมี ด้วยใช้ เครื่อง EDXRF (ภาพประกอบ 19)

2.6 เปรียบเทียบผลการทดลองหาค่าสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี

- 1) นำผลการทดลองจากการหาค่ายังมอดุลัสของอุลคมณี โดยเทคนิคอัลตราโซนิกมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการวิจัยของ Soga and Anderson ซึ่งใช้เทคนิคเรโซแนนซ์ สเปียร์ ที่ทำไว้ในปี 1967
- 2) นำผลการทดลองจากการหาค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าดัชนีหักเหของอุลคมณี ที่ได้จากการทดลอง ในข้อที่ 2.2 กับ 2.4 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับ ข้อมูลการวิจัยของ Baker ที่ทำไว้ในปี 1959
- 3) นำผลจากการหาองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากการทดลอง ในข้อที่ 2.5 เปรียบเทียบกับ ข้อมูลการวิจัยของ Schnetzler. (1992), Christian. et. al. (1997) และ Chaussidon and Koeberl. (1995)

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ผลการทดลองหาค่ายังมอดุลัสโดยใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิก

จากผลการวัดเวลาที่คลื่นเสียงเดินทางไป-กลับ ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก ในอัญมณีตัวอย่างทั้งหมด 30 ตัวอย่าง โดยอาศัยวิธีการสะท้อนกลับ (Echo Method) และค่าความหนาแน่นของอัญมณีชนิดอูลกมณี จากค่าเหล่านี้ได้นำมา คำนวณหาค่ายังมอดุลัสจากสมการ (4) ค่ามอดุลัสเฉือนสมการ (5) และค่าอัตราส่วนบัพของจากสมการ (6) ดังแสดงในตาราง 1 และจากการนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Soga และAnderson (1967) ซึ่งใช้เทคนิควิเคราะห์ สเปียร์ หาค่ายังมอดุลัสจากอูลกมณีสองแหล่ง คือ แหล่ง Moldavite และ Indochinite ปรากฏว่าได้ค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 1 ผลการทดลองหาค่ายังมอดุลัสของความยืดหยุ่นของอูลกมณีตัวอย่าง

Sample	V_l (m/s)	V_t (m/s)	(σ)	ρ ($\times 10^3$)kg/m ³	μ (GPa)	E (GPa)
Tk-1	6,081	3,661	0.22	2.42	32	79
Tk-2	5,855	3,686	0.17	2.42	33	77
Tk-3	5,875	3,673	0.18	2.43	33	77
Tk-4	6,030	3,639	0.21	2.42	32	78
Tk-5	5,908	3,662	0.19	2.41	32	77
Tk-6	6,116	3,726	0.21	2.42	34	81
Tk-7	6,067	3,647	0.22	2.43	32	79
Tk-8	6,080	3,714	0.20	2.42	33	80
Tk-9	6,040	3,666	0.21	2.42	32	79
Tk-10	6,035	3,650	0.21	2.41	32	78
Tk-11	6,115	3,776	0.19	2.41	34	82
Tk-12	6,127	3,704	0.21	2.40	33	80

ตาราง 1 (ต่อ)

Sample	V_l (m/s)	V_t (m/s)	(σ)	ρ ($\times 10^3$)kg/m ³	μ (GPa)	E (GPa)
Tk-13	6,062	3,653	0.22	2.40	32	78
Tk-14	6,059	3,736	0.19	2.42	34	81
Tk-15	6,178	3,772	0.20	2.43	35	83
Tk-16	6,069	3,724	0.20	2.41	33	80
Tk-17	6,132	3,709	0.21	2.43	33	81
Tk-18	6,222	3,731	0.22	2.43	34	82
Tk-19	6,043	3,696	0.20	2.42	33	79
Tk-20	6,092	3,650	0.22	2.42	32	79
Tk-21	6,089	3,696	0.21	2.42	33	80
Tk-22	6,104	3,686	0.21	2.41	33	79
Tk-23	6,087	3,649	0.22	2.43	32	79
Tk-24	6,114	3,634	0.23	2.41	32	78
Tk-25	6,051	3,645	0.22	2.42	32	78
Tk-26	6,055	3,651	0.21	2.42	32	78
Tk-27	6,114	3,724	0.21	2.41	33	80
Tk-28	6,153	3,683	0.22	2.40	33	79
Tk-29	6,142	3,725	0.21	2.41	33	81
Tk-30	6,114	3,886	0.16	2.41	36	84
Average	6,074	3,695	0.21	2.42	33	80
Standard- Deviation	78	52	0.02	0.01	1	2
Range	5,855-6,222	3,634-3,886	0.16-0.23	2.40-2.43	32-36	77-84

V_l = ความเร็วคลื่นเสียงตามยาว V_t = ความเร็วคลื่นเสียงตามขวาง σ = อัตราส่วนปัวซอง

ρ = ความหนาแน่น μ = มอดูลัสเฉือน E = ค่ายังมอดูลัส

ตาราง 2 การเปรียบเทียบค่ายังมอดูลัสระหว่างผลการทดลองในอุลคมณีตัวอย่างครั้งนี้ กับของ Soga และAnderson

ปริมาณทางกายภาพ ของอุลคมณี	หน่วย	การทดลอง ในครั้งนี้	Soga และAnderson (1967)	
			Moldavite	Indochinite
Longitudinal velocity (V_l)	(m/sec)	6,074±78	5,918	5.999
Shear velocity (V_s)	(m/sec)	3,695±52	3,627	3.638
Density (ρ)	(g/cm ³)	2.42	2.37	2.42
Poisson's ratio (σ)		0.21±0.02	0.20	0.21
Shear modulus (μ)	(Gbar)	33±1	31.22	32.09
Young's modulus (E)	(Gbar)	80±2	74.88	77.59

ที่มา: O'Keefe, 1976.

2. ผลการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าดัชนีหักเหของอุลคมณี

ลักษณะทั่วไปของตัวอย่างอุลคมณีที่ศึกษาในครั้งนี้จากการสังเกต ดังแสดงในตาราง 5 ภาคผนวก ข สรุปได้ว่า ผิวของอุลคมณี มีลักษณะเป็นหลุมมีความลึกโดยประมาณ 1-2 มม. รูปแบบพื้นฐาน เป็นแบบทรงกระบอก แบบรูปเรือ แบบหยดน้ำตา แบบลูกแพร์ แบบเลนส์ และบางตัวอย่างมีการแตกหักจนไม่สามารถคาดเดาพื้นฐานได้ และนอกจากนั้นแสงยังสามารถผ่านเข้าไปในอุลคมณีตัวอย่างได้ โดยสังเกตที่บริเวณริมขอบของอุลคมณีตัวอย่าง ส่วนลักษณะความวาว (Luster) เป็นแบบแก้ว (Vitreous) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนัในอากาศเทียบกับน้ำหนักในน้ำมีความแปรผันตามกัน

ค่าความถ่วงจำเพาะ

จากผลการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะ ของอุลคมณี จำนวน 30 ตัวอย่าง ด้วยเครื่องชั่งหาค่าความถ่วงจำเพาะของอัญมณี ของ METTLER TOLEDO รุ่น CG1003 พบว่าได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.42 ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ Baker. (1959) ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.43 โดยมีความแตกต่างกันโดยประมาณ 0.41 % ดังแสดงในตาราง 3

ค่าดัชนีหักเหของอูลกมณี

จากผลการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของอูลกมณี จำนวน 30 ตัวอย่าง ด้วยเครื่องหาค่าดัชนีหักเห รุ่น DUPLX ของ GIA นำมาเปรียบเทียบกับค่าดัชนีหักเหของอูลกมณี ของ Barnes. (1940) ซึ่งหาได้จากการคำนวณจากค่าความหนาแน่นจากสมการ

$$n_D = 1.480 + 0.237 (\rho - 2.346)$$

ρ = ค่าความหนาแน่น หรือค่าความถ่วงจำเพาะ

ได้ค่าดัชนีหักเหเท่ากับ 1.48-1.51 (O'Keefe, 1976) และจากการนำค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มาใช้ในสมการดังกล่าว ปรากฏว่าได้ค่าใกล้เคียงกัน (1.49-1.50) ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 3

ตาราง 3 ผลการวัดค่าดัชนีหักเหของอูลกมณี 30 ตัวอย่าง โดยเครื่องหาค่าดัชนีหักเห รุ่น DUPLX ของ GIA และค่าความถ่วงจำเพาะของอูลกมณี โดยเครื่องชั่ง METTLER TOLEDO รุ่น CG1003

ตัวอย่าง	ค่าความถ่วงจำเพาะ	ค่าดัชนีหักเห	n_D^*
Tk-1	2.42	1.50	1.50
Tk-2	2.42	1.50	1.50
Tk-3	2.43	1.51	1.50
Tk-4	2.42	1.50	1.50
Tk-5	2.41	1.50	1.50
Tk-6	2.42	1.50	1.50
Tk-7	2.43	1.50	1.50
Tk-8	2.42	1.50	1.50
Tk-9	2.42	1.50	1.50
Tk-10	2.41	1.50	1.50
Tk-11	2.41	1.50	1.50
Tk-12	2.40	1.50	1.49
Tk-13	2.40	1.50	1.49
Tk-14	2.42	1.50	1.50
Tk-15	2.43	1.50	1.50
Tk-16	2.41	1.50	1.50

ตาราง 3 ต่อ

ตัวอย่าง	ค่าความถ่วงจำเพาะ	ค่าดัชนีหักเห	n_D^*
Tk-17	2.43	1.50	1.50
Tk-18	2.43	1.50	1.50
Tk-19	2.42	1.50	1.50
Tk-20	2.42	1.50	1.50
Tk-21	2.42	1.50	1.50
Tk-22	2.41	1.50	1.50
Tk-23	2.43	1.50	1.50
Tk-24	2.41	1.50	1.50
Tk-25	2.42	1.50	1.50
Tk-26	2.42	1.50	1.50
Tk-27	2.41	1.50	1.49
Tk-28	2.40	1.50	1.49
Tk-29	2.41	1.50	1.50
Tk-30	2.41	1.50	1.50
ค่าเฉลี่ย	2.42	1.50	1.50
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.01	0.00	0.00
พิสัย	2.40-2.43	1.50-1.51	1.49-1.50

สมการที่ใช้คำนวณค่าดัชนีหักเห

$$n_D^* = 1.480 + 0.237(\rho - 2.346)$$

 ρ = ค่าความหนาแน่น

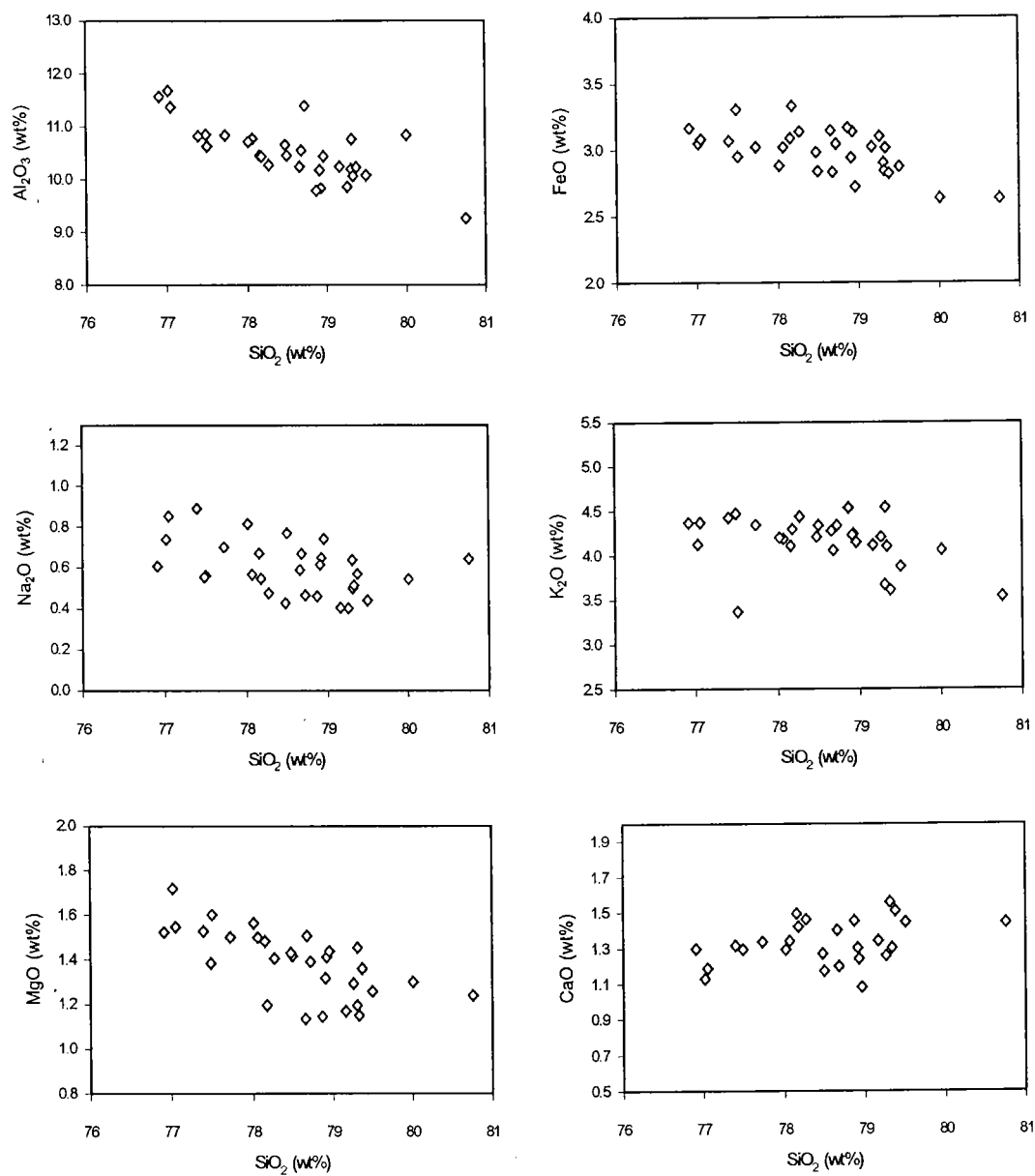
3. ผลการทดลองหาค่าองค์ประกอบทางเคมีของอุลกมณี

สำหรับภาพประกอบ 22 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบ Al_2O_3 , MgO , FeO , CaO , Na_2O , K_2O เทียบกับ SiO_2 ในอุลกมณีที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ธาตุที่มีความสัมพันธ์ในแบบเชิงลบ ได้แก่ Al_2O_3 , MgO , FeO , Na_2O , ส่วน CaO มีความสัมพันธ์แบบเชิงบวก และ K_2O ไม่สามารถบอกความสัมพันธ์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Koeberl *et. al.* (1997) ที่ทำการศึกษาจากแหล่ง Ivory Coast เฉพาะ Al_2O_3 , MgO , FeO , และ Na_2O

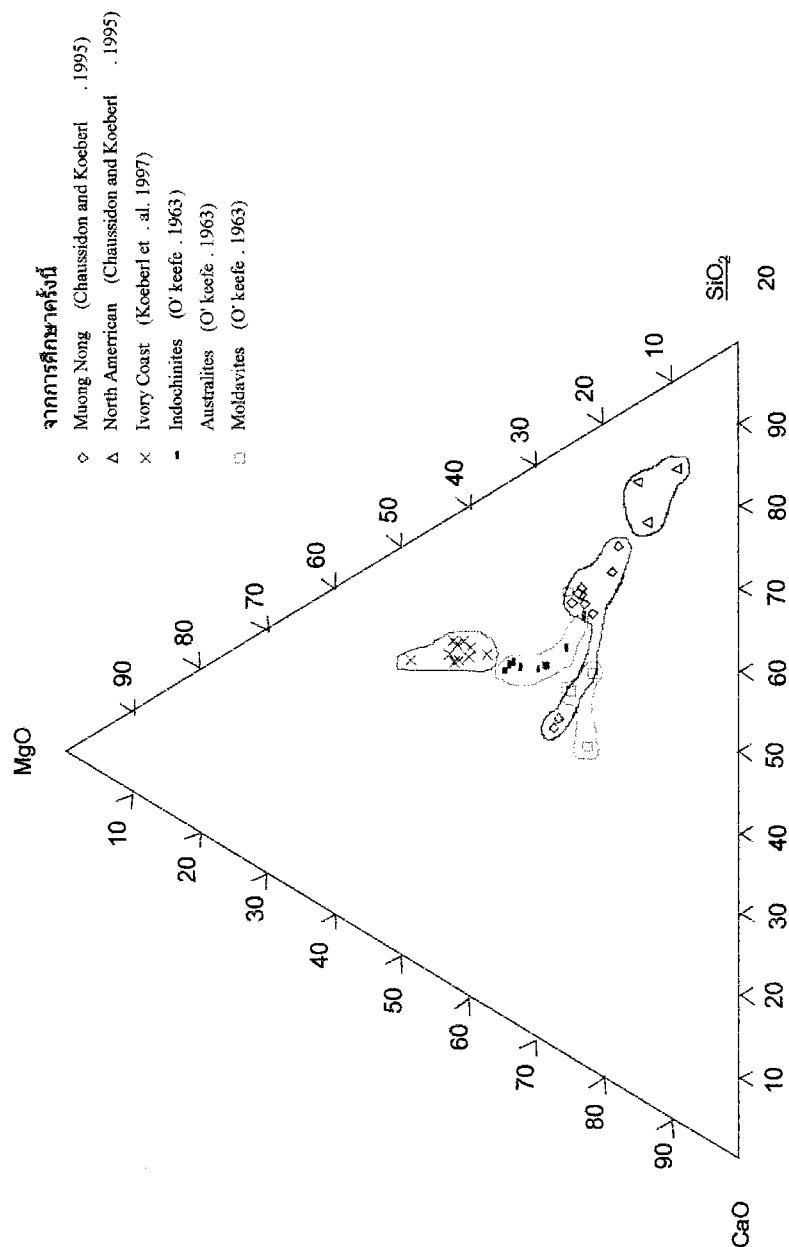
จากผลการทดลองหาค่าองค์ประกอบทางเคมีของอุลกมณี ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงาน ทำให้ทราบถึงชนิดและปริมาณของธาตุต่างๆ ในอุลกมณี ดังแสดงในตาราง 4 เมื่อนำองค์ประกอบทางเคมี มาเปรียบเทียบกับของกลุ่ม อุลกมณีที่กระจายในบริเวณแหล่งอื่นๆ ได้แก่ North American, Muong Nong (Chaussidon and Koeberl. 1995), Indochinites (O'Keefe. 1963), Ivory Coast (Koeberl. 1997), Australites (O'Keefe. 1963) และ Moldavites (O'Keefe. 1963) จะได้ดังในภาพประกอบ 23 (องค์ประกอบทางเคมีของอุลกมณีจากแหล่งอื่นๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ค) จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบทางเคมีของกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับของ Muong Nong มากที่สุด ซึ่งจากการศึกษาของ Chaussidon and Koeberl. 1995 พบว่า Muong Nong Tektites เป็นอุลกมณีที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่สอดคล้อง หรือน่าจะมีวัตถุต้นกำเนิดเป็น ดิน (Soils) ดินลมหอบ (loess) และตะกอนท้องน้ำ (River sediments)

ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอุลทกมณีตัวอย่างโดยเครื่อง EDXRF (wt%)

Sample	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MnO	NiO	TiO ₂	FeO	Total
Tk-1	0.563	1.602	10.626	77.504	0.360	3.371	2.825	0.000	0.079	0.513	2.952	100.395
Tk-2	0.672	1.482	10.451	78.152	0.000	4.106	1.494	0.000	0.079	0.545	3.090	100.071
Tk-3	0.556	1.385	10.848	77.489	0.779	4.472	1.294	0.000	0.700	0.566	3.306	101.394
Tk-4	0.403	1.293	9.860	79.258	0.582	4.206	1.258	0.000	0.079	0.554	3.102	100.595
Tk-5	0.648	1.411	9.831	78.924	0.004	4.241	1.241	0.000	0.091	0.555	3.140	100.085
Tk-6	0.703	1.501	10.836	77.728	0.000	4.344	1.336	0.000	0.061	0.522	3.024	100.055
Tk-7	0.467	1.391	11.389	78.722	0.000	4.335	0.000	0.789	0.018	0.569	3.046	100.726
Tk-8	0.891	1.528	10.819	77.397	0.000	4.427	1.315	0.000	0.071	0.547	3.069	100.064
Tk-9	0.567	1.500	10.769	78.065	0.000	4.185	1.341	0.000	0.068	0.546	3.020	100.061
Tk-10	0.545	1.301	10.841	80.005	0.000	4.060	0.000	0.708	0.019	0.540	2.636	100.654
Tk-11	0.639	1.195	10.193	79.304	0.000	3.668	1.558	0.000	0.069	0.533	2.904	100.062
Tk-12	0.772	1.416	10.452	78.495	0.000	4.336	1.171	0.000	0.069	0.512	2.839	100.062
Tk-13	0.442	1.258	10.081	79.497	0.000	3.875	1.446	0.000	0.066	0.520	2.875	100.059
Tk-14	0.498	1.453	10.761	79.313	0.000	4.542	0.000	0.652	0.032	0.521	2.844	100.616
Tk-15	0.740	1.719	11.677	77.024	0.000	4.124	1.130	0.000	0.057	0.530	3.051	100.051
Tk-16	0.570	1.360	10.230	79.371	0.000	3.611	1.509	0.000	0.042	0.521	2.824	100.038
Tk-17	0.478	1.405	10.274	78.267	0.000	4.437	1.463	0.000	0.074	0.529	3.140	100.067
Tk-18	0.854	1.548	11.365	77.055	0.000	4.370	1.187	0.000	0.058	0.532	3.083	100.052
Tk-19	0.817	1.564	10.715	78.015	0.000	4.200	1.292	0.000	0.067	0.508	2.882	100.060
Tk-20	0.406	1.169	10.243	79.161	0.000	4.117	1.342	0.000	0.054	0.534	3.023	100.049
Tk-21	0.461	1.144	9.790	78.867	0.000	4.538	1.453	0.000	0.085	0.571	3.168	100.077
Tk-22	0.547	1.196	10.434	78.176	0.000	4.295	1.421	0.000	0.101	0.591	3.331	100.091
Tk-23	0.607	1.523	11.566	76.912	0.000	4.367	1.297	0.000	0.052	0.558	3.166	100.047
Tk-24	0.514	1.149	10.063	79.329	0.000	4.100	1.301	0.000	0.064	0.521	3.016	100.058
Tk-25	0.429	1.430	10.654	78.475	0.000	4.210	1.269	0.000	0.059	0.545	2.982	100.053
Tk-26	0.615	1.318	10.177	78.908	0.000	4.229	1.300	0.000	0.063	0.505	2.942	100.057
Tk-27	0.669	1.506	10.546	78.676	0.000	4.058	1.198	0.000	0.049	0.508	2.834	100.044
Tk-28	0.643	1.238	9.260	80.754	0.006	3.538	1.443	0.000	0.055	0.485	2.633	100.055
Tk-29	0.742	1.437	10.439	78.957	0.000	4.148	1.082	0.000	0.052	0.469	2.723	100.047
Tk-30	0.592	1.134	10.244	78.654	0.000	4.276	1.401	0.000	0.075	0.544	3.146	100.068
Average	0.602	1.385	10.514	78.548	0.058	4.160	1.246	0.072	0.084	0.533	2.993	100.194
Standard-Deviation	0.132	0.152	0.540	0.913	0.183	0.290	0.515	0.219	0.118	0.026	0.171	0.308
Range	0.403-0.891	1.134-1.719	9.260-11.677	76.912-80.754	0.000-0.006	4.367-3.538	1.297-1.443	0.000-0.000	0.052-0.055	0.558-0.485	3.166-2.633	100.047-100.055



ภาพประกอบ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบ Al_2O_3 , FeO , Na_2O , K_2O , MgO , CaO เทียบกับ SiO_2



ภาพประกอบ 23 แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมี MgO, CaO และ SiO₂ ของอุกกมณีตัวอย่างที่ได้จากการศึกษาค้นคว้านี้ กับ แหล่งอื่นๆ

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุป และอภิปราย

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของอัญมณีชนิดอูลกมณี ที่พบในประเทศไทย ได้แก่ ค่ายังมอดุลัส ค่าดัชนีหักเห และค่าความถ่วงจำเพาะ โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

1. การหาค่ายังมอดุลัส ของอัญมณีชนิดอูลกมณี จำนวน 30 ตัวอย่าง โดยการนำอัญมณีชนิดอูลกมณีมาตัดให้มีด้านขนาน 2 ด้าน เพื่อนำไปทดสอบหาค่าความเร็วคลื่นเสียงตามยาวความเร็วคลื่นเสียงขวาง โดยเทคนิคอัลตราโซนิก ซึ่งได้ค่าความเร็วคลื่นเสียงตามยาวเท่ากับ 6.1×10^3 เมตร/วินาที ค่าความเร็วคลื่นเสียงตามขวางเท่ากับ 3.7×10^3 เมตร/วินาที โดยเฉลี่ย (ตาราง 1) และหาค่าความถ่วงจำเพาะ หรือค่าความหนาแน่น ด้วยเครื่องหาค่าความถ่วงจำเพาะ ได้ค่าเท่ากับ 2.42 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยเฉลี่ย (ตาราง 1) นำค่าเหล่านี้มาคำนวณหาค่ายังมอดุลัส และค่ามอดุลัสเฉือนของอูลกมณี ได้ค่าเท่ากับ 80 GPa และ 33 GPa ตามลำดับ (ตาราง 1) จากนั้นนำผลการทดลองครั้งนี้ เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Soga และ Anderson. (1967) ซึ่งศึกษาโดยเทคนิค เรโซแนนซ์ สเปียร์ ได้ค่าเท่ากับ 77. 59 GPa และ 32.09 GPa ตามลำดับ ปรากฏว่าได้ค่าใกล้เคียงกัน

สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนของ ความเร็วคลื่นเสียงตามยาวเท่ากับ ± 78 ความเร็วคลื่นเสียงตามขวางเท่ากับ ± 52 อัตราส่วนบัวของเท่ากับ ± 0.02 ความหนาแน่น ± 0.01 มอดุลัสเฉือนเท่ากับ ± 1 และค่ายังมอดุลัสเท่ากับ ± 2 (ตาราง1) น่าจะเกิดจากความแตกต่างของ เทคนิคที่ใช้ เครื่องมือ และตัวอย่าง

2. การหาค่าความถ่วงจำเพาะของอูลกมณี ด้วยเครื่องชั่งหาค่าความถ่วงจำเพาะของอัญมณี จากการชั่งน้ำหนักในอากาศ และในน้ำ ปรากฏว่าได้ค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.96 และ2.91 กรัม ต่อมลัดบ จากค่าเหล่านี้ นำไปคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะ ได้ค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.42 ซึ่งได้ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Baker. (1959)

3. การหาค่าดัชนีหักเห ได้ค่าอยู่ระหว่าง 1.50-1.51 ซึ่งเป็นค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการนำค่าความหนาแน่นจากอูลกมณีตัวอย่างที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มาคำนวณในสมการของ Durrani. (1971) และได้ค่าเท่ากับ 1.49-1.50

4. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในอุลทกมณี ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงาน เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของอุลทกมณีจากแหล่งต่างๆ ของผู้ที่เคยศึกษาไว้แล้ว พบว่า อุลทกมณีที่พบในประเทศไทย มีองค์ประกอบทางเคมีของธาตุหลักสอดคล้องกับอุลทกมณีชนิด Muong Nong (ภาพประกอบ 2) ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีสอดคล้อง หรือน่าจะมีวัตถุดิบกำเนิดเป็น ดิน ดินลมหอบ และตะกอนท้องน้ำ (Chaussidon and Koeberl. 1959)

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการศึกษาหาความพรุนของอุลทกมณีตัวอย่าง ด้วยเครื่อง Pore Sizer 9320 พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.42% ของปริมาตรทั้งหมด ซึ่งถือว่าน้อยมาก และไม่มีผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะ และการเคลื่อนที่ของคลื่นอัลตราโซนิกในอุลทกมณีตัวอย่าง

ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของอุลทกมณีชนิด Muong Nong ที่พบในประเทศไทย จะเป็นข้อมูลสำคัญ ในการวิเคราะห์อุลทกมณีชนิดอื่นๆ ได้ต่อไป โดยเฉพาะเทคนิคอัลตราโซนิก น่าจะเป็นการศึกษาที่เหมาะสม เนื่องจากการทดสอบแบบไม่ทำลายตัวอย่าง

2. ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพ จากการหาค่ายังมอดุลัส โดยเทคนิคอัลตราโซนิก ถ้านำไปใช้กับอุลทกมณีชนิดอื่นที่มีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกัน เช่น Pyroxene และ Spinel ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบผลึก นำมาเปรียบเทียบกับอุลทกมณี ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน จะเป็นข้อมูลที่ทำให้บอกถึงลักษณะที่แตกต่างกันได้ ซึ่งเป็นการแบ่งแยกชนิดของอุลทกมณีได้อย่างชัดเจน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- ชาโตะ ฟุจิอิ. (2530). การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non destructive testing). แปลและเรียบเรียงโดย ปริทรรศน์ พันธุบรรยงก์ และคณะ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ: โครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2530. หน้า 318.
- บุญทวี ศรีประเสริฐ และวิลาลย์ อติชาติ. (2544). "บันทึกท้ายแล็บ : เทคโนโลยีอัญมณีวิเคราะห์," วารสารข่าวสารการธรณ. 44(2) : หน้า 18-41.
- ปริญญา พุทธาภิบาล และสิโรดม ศัลยพงษ์. (2538). "เทคไทต์ (Tekites) ในประเทศไทย," เอกสารการประชุมวิชาการ กทช. เรื่อง ความก้าวหน้าและวิสัยทัศน์ของการพัฒนา. ราชบัณฑิตยสถาน. (2544). พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยาฉบับราชบัณฑิตยสถาน. กรุงเทพฯ : ราชบัณฑิตยสถาน.
- เรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์ และคณะ. (2543). การหาค่ายังโมดูลัสของวัสดุโดยใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิก. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. หน้า 36.
- วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา และคณะ. (2543). เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์: ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น (Materials science research instruments: theories and basic principles). กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมนึก วัฒนศรียกุล, (ม.ป.ป.). การตรวจวัดวัสดุโดยไม่ทำลาย โดยวิธีการใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิก. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (ถ่ายเอกสารเย็บเล่ม).
- สมนึก วัฒนศรียกุล. (2540). "การตรวจสอบโดยไม่ทำลายกับการประกันคุณภาพ," วารสารส่งเสริมเทคโนโลยี. 27(134): 167-172.
- สมชาติ หลายพัฒน์ และคณะ. (2542). การตรวจสอบวัสดุโดยไม่ทำลาย โดยใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิก. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สัมพันธ์ วงศ์นาวา. (2541). เอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรเมตรีแบบกระจายพลังงาน. สงขลา : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ทรัพยากรธรณี. (2538, 11-13 มกราคม). หน้า 87-92.
- Bindal, V.N. (1999). *Transducers for ultrasonic flaw detection*. New Delhi: Narosa Publishing House. p. 232.
- Baker, G., (1959). Tekites. *Mem. Natl. Mus.* Victoria, Melbourne, No. 23: 1-313.
- Barnes, V.E., (1940). *U. Texas Publ.* No. 3945: p. 477-582.

- Barns, V.E., & Pitakpaivan. K., 1962 Origin of Indochintse tektite. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.*, 48. p. 947-955.
- Durrani, S.A. (1971). Thermoluminescence in meteorites and tektites, *Mod.Geol.*, 2: p. 247-262.
- Chaussidon and Koeberl. (1995). Boron content and isotopic composition of tektites and impact glasses: Constraints on source regions. *J. Geochemica et Cosmochimica Acta*, 59: p. 613-624.
- Glass, B.P., Koeberl, C., Blum, J.D, Senftle, F., Izett, G.A., and Evans, B.J., 1995. A Muong Nong-type Georgia tektite. *J. Geochemica et Cosmochimica Acta*, 59: p. 4071-4082.
- Ho, K.S. and Chen, J.C., (1996). Geochemistry and origin of tektites from the Penglei area, Hainan province, southern China. *J. Southeast Asian Earth Sciences*, 13: 61-72.
- Krautkrämer, J. and Krautkrämer, H., (1990). *Ultrasonic testing of materials*. 4th fully rev. ed. Berlin: Springer-Verlag. p. 677.
- Koeberl, Chaussidon and Christian. (1997). Geochemistry and age of Ivory Coast tektites and microtektites. *J. Geochemica et Cosmochimica Acta*, 61: 1745-1772.
- Liddicoat, R.T., Jr., (1990). *Handbook of Gem Identification*. 12th ed. Santa Monica: Gemological Institute of America. p. 364.
- Luprano. V. A. M, Montagna. G, Giardina. A, and Rpteella. A. (2000). *Correlation between ultrasonic measurements and mechanical testing: a methodology applied to D'Amico Palace of Milazzo*. (Online). Available : <http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn624/idn624.htm>
- Mason, B., (1962). *Meteorites*. John Wiley and Sons Inc., New York and London. p. 274.
- O'Keefe, J. A., (1963). *Tektites*. Chicago. The University of Chicago Press, Chicago. p. 228.
- O'Keefe, J. A., (1976). *Tektites and Their Origin*. New York. Elsevier Scientific Publishing Company. P. 253.
- OXFORD (Online). Available: <http://www.astcorp.com.tw/oxford>.
- Read, P.G., (1990). *Gemmology*. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd. p. 358.
- Richard T. Liddicoat, Jr. (1981). *Handbook of Gem Identification* GIA. p. 86.
- Soga, N. and Anderson, O. L., (1967). Elastic Properties of Tektites Measured by the Resonant Sphere Technique. *J. Geophys. Res.*, 72: p. 1733-1739.

Spinner, S., (1956). Elastic Moduli of glasses at elevated temperatures by a dynamic method. *J. Am. Ceram. Soc.*, 39(3): p.113-118.

Schnetzler. C.C., (1992). Mechanism of Muong Nong-type tektites formation and Speculation on the source of Australasian tektite. *Meteoritics*. 27: p. 154-165.

The Tektite Source (Online). Available:

[http://tektitesource.com/special feature info catalog.html](http://tektitesource.com/special_feature_info_catalog.html)

The Tektite Source (Online). Available: [http://tektitesource.com/tektite information.html](http://tektitesource.com/tektite_information.html)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การเปรียบเทียบเครื่องอัลตราโซนิก สำหรับหัวตรวจสอบชนิดตรง

ในการใช้เครื่องอัลตราโซนิกเพื่อตรวจสอบหาค่าความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกในอุลุมณี จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการปรับเทียบมาตรฐานเครื่อง (Calibration) เพื่อให้การหาค่าความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกเป็นไปได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะมีการปรับเทียบสำหรับหัวตรวจสอบชนิดตรง และใช้ชิ้นงานมาตรฐาน (V-1) ซึ่งทำจากเหล็กมาตรฐาน เป็นตัวเปรียบเทียบค่าความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกมาตรฐาน ซึ่งทั้งหมดจะมีขั้นตอนและการคำนวณ ดังนี้

ขั้นตอนการปรับเทียบเครื่องสำหรับหัวตรง

1. กำหนดช่วงตรวจสอบ (Testrange: TR) ให้เหมาะสมกับชิ้นงานมาตรฐาน (V-1) ซึ่งชิ้นงานมาตรฐานนี้มีความหนา 25 มิลลิเมตร ดังนั้นในการกำหนดช่วงตรวจสอบจะแบ่งออกเป็น 4 ช่วง เพื่อให้เกิดฟีกที่หน้าจอ 4 ฟีก ซึ่งจะใช้ ค่า $TR = 100$ สำหรับความหนาของชิ้นงาน 25 มิลลิเมตร

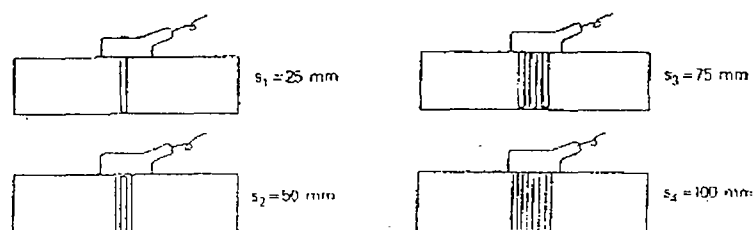
2. หาค่าสเกลแฟกเตอร์ (k) นำค่า TR ที่ได้จากข้อ 1 คำนวณจากสมการ $k = TR/10$ ซึ่งในที่นี้ค่า k คือ $100/10 = 10$ มิลลิเมตร./สเกล

3. คำนวณค่า Sound Path (S) หมายถึง การหาค่าระยะทางที่คลื่นอัลตราโซนิกเดินทางผ่านเข้าไปในชิ้นงานมาตรฐานซึ่ง ค่า S จะขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานมาตรฐาน (V-1) กล่าวคือ ชิ้นงานมาตรฐานมีความหนา 25 มิลลิเมตร. ก็จะได้ระยะทางที่คลื่นอัลตราโซนิกเดินทางไป-กลับรวมเป็นหนึ่งครั้ง (S_1) ซึ่งจะได้ค่า S ดังนี้

$$S_1 = 25 \text{ mm.} \quad S_3 = 75 \text{ mm.}$$

$$S_2 = 50 \text{ mm.} \quad S_4 = 100 \text{ mm.}$$

และการเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิก จะเป็นดังภาพประกอบ 24



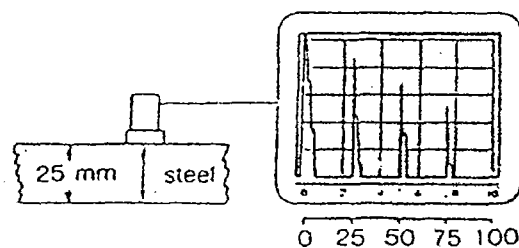
ภาพประกอบ 24 แสดงการเดินทางของคลื่น (สมชาติ หลายพัฒน์ และคณะ. 2542 : 31)

4. คำนวณค่า Scale Reading คือ ตำแหน่งของพีกแต่ละพีกที่ปรากฏที่หน้าจอ CRT ซึ่งคำนวณจากสมการ $SR_n = S_n / k$; $n = 1, 2, 3, 4$

โดยที่ SR_n = ตำแหน่งสเกล
 S_n = ระยะทางที่เสียงเดินทาง
 k = สเกลแฟกเตอร์

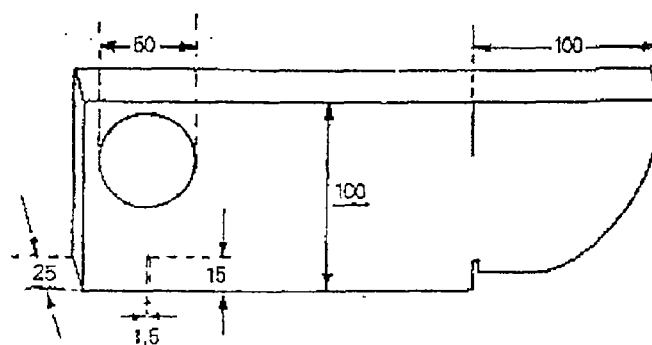
ดังนั้น คือ $SR_1 = 25/10 = 2.5$ สเกล
 $SR_2 = 50/10 = 5.0$ สเกล
 $SR_3 = 75/10 = 7.5$ สเกล
 $SR_4 = 100/10 = 10.0$ สเกล

5. ปรับเครื่องให้พีกอยู่บนตำแหน่งของสเกล SR ที่คำนวณได้ในข้อ 4 โดยทำการปรับเครื่องให้พีก 1, 2, 3, 4 อยู่ที่ตำแหน่ง S_1, S_2, S_3 และ S_4 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 แสดงพีกที่ได้จากการปรับเทียบเครื่องอัลตราโซนิก (สมชาติ หลายพัฒน์ และคณะ. 2542 : 32)

6. เมื่อทำการปรับเทียบเครื่องตามขั้นตอน 1 - 5 จะได้ค่าความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกที่เดินทางในชิ้นงานมาตรฐาน (V-1) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 5,920 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นค่าความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกตามยาวมาตรฐานในเหล็ก



ภาพประกอบ 26 แสดงชิ้นงานมาตรฐาน (V-1) (สมชาติ หลายพัฒน์ และคณะ. 2542 : 38)

ภาคผนวก ข

ตาราง 5 แสดงลักษณะทั่วไปของอุลุมกมณิตัวอย่างที่ศึกษาในครั้งนี้

ตัวอย่าง	ลักษณะ	ความกว้าง, ความยาว, น้ำหนักในอากาศ	น้ำหนักในน้ำ
		ความหนา (ซ.ม.) (กรัม)	
Tk-1	แบบรูปเรือ หรือทรงกระบอก, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.34x3.02x1.18	5.70 3.34
Tk-2	แบบรูปเรือ หรือทรงกระบอก, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว, โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.27x2.50x1.12	3.80 2.23
Tk-3	แบบลูกแพร์, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.54x2.97x1.02	5.12 3.02
Tk-4	แบบหยดน้ำตา, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.51x2.84x1.22	5.12 3.00
Tk-5	แบบหยดน้ำตา, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.48x3.30x1.22	5.31 3.11
Tk-6	แบบหยดน้ำตา, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.59x2.87x1.20	5.54 3.25
Tk-7	แบบหยดน้ำตา, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.47x2.59x1.18	4.98 2.93
Tk-8	แบบเลนส์, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.80x2.61x1.00	5.13 3.00
Tk-9	แบบรูปเรือ หรือทรงกระบอก, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว, โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.41x2.46x1.26	5.13 3.01
Tk-10	แบบเลนส์, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.83x2.31x1.20	5.61 3.28
Tk-11	แบบรูปเรือ หรือทรงกระบอก, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว, โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.72x2.77x1.17	4.87 2.85
Tk-12	แบบรูปเรือ หรือทรงกระบอก, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว, โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.53x2.40x1.35	4.80 2.80

ตาราง 5 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ลักษณะ	ความกว้าง, ความยาว,	น้ำหนักในอากาศ	น้ำหนักในน้ำ
		ความหนา (ซ.ม.)	(กรัม)	(กรัม)
Tk-13	แบบแตกหักไม่มีรูปร่าง, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว, โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.23x2.08x1.08	4.30	2.51
Tk-14	แบบหยดน้ำตาล, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.80x2.43x1.00	4.14	2.43
Tk-15	แบบลูกแพร์, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.74x2.07x1.31	4.57	2.69
Tk-16	แบบเลนส์, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.96x2.40x1.31	5.56	3.26
Tk-17	แบบรูปไข่, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.88x2.00x1.25	4.61	2.71
Tk-18	แบบรูปเรือ หรือทรงกระบอก, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว, โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.60x2.25x1.48	5.18	3.05
Tk-19	แบบรูปไข่ สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.75x2.00x1.50	5.26	3.08
Tk-20	แบบหยดน้ำตาล, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	2.03x2.36x1.46	7.35	4.32
Tk-21	แบบหยดน้ำตาล, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.53x2.07x1.46	4.05	2.37
Tk-22	แบบรูปไข่, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.62x1.94x1.21	3.99	2.34
Tk-23	แบบรูปไข่, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.78x2.23x1.60	6.55	3.85
Tk-24	แบบรูปไข่, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมลึก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.62x1.93x1.45	5.06	2.96

ตาราง 5 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ลักษณะ	ความกว้าง, ความยาว, น้ำหนักในอากาศ น้ำหนักในน้ำ		
		ความหนา (ซ.ม.)	(กรัม)	(กรัม)
Tk-25	แบบรูปไข่, สีดำ-น้ำตาล ออกไปทางสีเขียว โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมเล็ก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.58x2.24x1.40	5.82	3.41
Tk-26	แบบแตกหักไม่มีรูปร่าง, สีดำ-น้ำตาล ออกไป ทางสีเขียว, โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมเล็ก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.59x2.24x1.25	4.03	2.37
Tk-27	แบบแตกหักไม่มีรูปร่าง, สีดำ-น้ำตาล ออกไป ทางสีเขียว, โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมเล็ก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.59x2.17x1.20	3.24	1.89
Tk-28	แบบแตกหักไม่มีรูปร่าง, สีดำ-น้ำตาล ออกไป ทางสีเขียว, โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมเล็ก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	2.12x2.38x1.13	4.46	2.60
Tk-29	แบบแตกหักไม่มีรูปร่าง, สีดำ-น้ำตาล ออกไป ทางสีเขียว, โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมเล็ก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.56x1.72x1.35	4.75	2.78
Tk-30	แบบแตกหักไม่มีรูปร่าง, สีดำ-น้ำตาล ออกไป ทางสีเขียว, โปร่งแสง, พื้นผิวเป็นหลุมกลมเล็ก (ประมาณ 1-2 ม.ม.)	1.71x2.04x1.25	4.80	2.81
ค่าเฉลี่ย		1.64x2.37x1.26	4.96	2.91
พิสัย			3.24-7.35	1.89-4.32

ภาคผนวก ค

ตาราง 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอุกมณีตัวอย่าง จากแหล่ง Muong Nong, North American, Ivory Coast, Indochinites, Australites, Moldavites

ตัวอย่าง	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	รวม
Muong Nong ¹									
8301	75.43	11.42	4.50	1.52	1.18	1.33	2.62	0.71	98.71
8306	77.01	11.13	3.87	1.56	1.27	1.27	2.37	0.70	99.18
8309	82.57	8.50	3.11	1.13	0.99	1.19	2.32	0.41	100.22
8310	82.26	8.78	3.13	1.25	1.22	1.27	2.26	0.47	100.64
8311	76.66	10.97	3.87	1.50	1.52	1.29	2.51	0.66	98.98
8317	75.78	10.88	4.59	1.54	1.36	1.21	2.58	0.72	98.66
5424	71.62	13.70	4.64	2.37	2.86	1.80	2.58	0.98	100.55
X102	73.97	12.49	4.25	1.65	1.28	1.35	2.56	0.65	98.20
X103	69.53	14.82	5.13	2.43	2.95	1.74	2.79	0.89	100.28
F-16	76.44	11.14	4.60	1.60	1.24	1.14	2.54	0.22	98.92
Minimum	69.53	8.50	3.11	1.13	0.99	1.14	2.27	0.20	98.20
Maximum	82.57	14.82	5.13	2.43	2.95	1.20	2.79	0.98	100.64
North American ¹									
8401	79.39	12.22	2.62	0.47	0.53	1.47	2.27	0.61	99.58
8402	76.07	13.21	3.58	0.73	0.81	1.80	2.30	0.80	99.30
8501	77.26	13.48	3.48	0.77	0.49	1.73	2.42	0.64	98.88
Minimum	76.07	12.22	2.62	0.47	0.49	1.47	2.27	0.61	98.88
Maximum	79.39	13.48	3.58	0.77	0.81	1.80	2.40	0.80	99.58
Ivory Coast ²									
2069	67.84	16.74	6.24	3.40	1.21	1.81	1.96	0.55	99.75
2113	67.30	16.60	6.18	3.58	1.38	2.03	1.97	0.55	99.59
2114	67.67	16.38	6.19	3.61	1.37	1.92	1.96	0.54	99.64
3395	67.29	16.63	6.20	3.58	1.49	1.88	1.83	0.55	99.45
3396	68.11	16.71	5.98	3.30	1.51	1.87	1.92	0.56	99.96
3397	67.76	16.44	6.13	3.51	1.52	1.87	1.89	0.55	99.67
3398	68.48	16.28	5.84	2.98	1.52	2.08	2.04	0.54	99.76
16-3	67.66	16.91	6.16	3.21	1.26	2.08	2.13	0.59	100.00
22-5	68.06	16.75	6.21	3.38	1.27	1.77	2.05	0.57	100.00
8901	66.17	17.72	6.45	4.39	1.29	1.53	1.73	0.61	99.89
8902	67.07	17.03	6.13	3.13	1.34	2.05	2.02	0.59	99.36
Minimum	66.17	16.28	5.84	2.98	1.21	1.53	1.73	0.54	99.36
Maximum	68.48	17.72	6.45	4.39	1.52	2.08	2.13	0.61	100.00
Indochinites ³									
33	72.98	12.65	4.22	2.45	2.06	1.58	2.49	0.72	99.15
34	73.30	12.39	4.16	2.34	2.04	1.53	2.46	0.77	98.99
35	71.33	13.68	4.86	2.93	1.94	1.37	2.34	0.74	99.19
36	71.80	13.56	4.82	2.85	1.86	1.43	2.49	0.81	99.62
37	73.70	13.32	3.77	1.90	1.86	1.45	2.62	0.75	99.37
38	77.50	11.59	3.25	1.62	1.57	1.06	2.10	0.66	99.35
39	72.90	12.96	4.88	2.74	1.83	1.33	2.27	0.74	99.65
40	72.00	13.02	4.65	2.67	1.94	1.45	2.32	0.73	98.78
41	71.20	12.28	4.70	2.96	1.93	1.54	2.38	0.74	97.73
42	72.64	13.40	4.21	2.25	2.03	1.54	2.50	0.76	99.33
43	73.08	12.38	4.50	2.80	1.88	1.55	2.32	0.63	99.14
44	73.30	12.76	4.41	2.28	2.04	1.56	2.50	0.70	99.55
Minimum	71.20	11.59	3.25	1.62	1.57	1.06	2.10	0.63	97.73
Maximum	77.50	13.68	4.88	2.96	2.06	1.58	2.62	0.81	99.65

ตาราง 6 (ต่อ)

ตัวอย่าง	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	รวม
Australites ³									
45	70.59	13.21	3.89	2.04	5.10	1.28	2.39	0.73	99.23
46	71.41	13.82	3.80	2.43	3.59	1.12	2.07	0.79	99.03
47	69.00	15.32	4.49	2.28	3.17	1.56	2.50	0.81	99.13
48	70.96	13.48	4.13	2.13	3.47	1.84	2.61	0.59	99.21
49	75.90	10.83	4.07	1.42	2.94	1.92	1.69	0.60	99.37
50	71.62	13.68	4.90	2.15	3.24	0.98	1.90	0.53	99.00
51	70.42	13.01	4.46	2.38	3.69	1.27	2.22	0.80	98.25
52	70.61	13.50	4.39	2.31	3.41	1.52	2.46	0.75	98.95
53	70.63	13.07	4.53	2.48	3.53	1.51	2.55	0.78	99.08
54	70.86	13.70	5.13	2.34	2.90	1.41	2.40	0.81	99.55
55	70.89	13.59	4.55	2.38	3.32	1.46	2.45	0.80	99.44
56	71.19	13.28	4.60	2.40	2.95	1.51	2.54	0.76	99.23
57	72.13	12.27	4.39	2.09	2.87	1.39	2.45	0.74	98.33
58	72.18	10.65	3.88	2.25	5.09	1.20	2.18	0.65	98.08
59	72.88	12.05	4.23	2.19	3.28	1.16	2.27	0.79	98.85
Minimum	69.00	10.65	3.80	1.42	2.87	0.98	1.69	0.53	98.08
Maximum	75.90	15.32	5.13	2.48	5.10	1.92	2.61	0.81	99.55
Moldavites ³									
6	74.91	13.80	3.10	1.66	1.16	0.72	3.76	0.55	99.66
7	77.08	10.66	1.78	2.20	3.74	0.54	3.33	0.36	99.69
8	78.75	10.99	1.43	1.75	2.38	0.51	3.01	0.41	99.23
9	79.47	9.59	1.34	2.19	2.67	0.40	3.47	0.31	99.44
Minimum	74.91	9.59	1.34	1.66	1.16	0.40	3.01	0.55	99.23
Maximum	79.47	13.80	3.10	2.22	3.74	0.72	3.76	0.31	99.69

ที่มา : ¹CHAUSSIDON & Koeberl. (1995), ²KOEBERL. *et. al.* (1997), ³O'Keefe. (1963)

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายไพรัตน์ เนียมประเสริฐ	
วันเดือนปีเกิด	9 กุมภาพันธ์ 2507	
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร	
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	11/10 หมู่ 11 แขวงสีกัน เขตดอนเมือง กรุงเทพมหานคร 10210	
ตำแหน่งหน้าที่การงานในปัจจุบัน	อาจารย์ 1 ระดับ 4	
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนกฤษฎาวิทยาลัย สำนักเขตพื้นที่การศึกษา นครราชสีมาเขต 4	
ประวัติการศึกษา		
พ.ศ. 2527	มัธยมศึกษา	จากโรงเรียนดอนเมือง (ทหารอากาศบำรุง)
พ.ศ. 2531	กศ.บ. (วิชาเอกฟิสิกส์)	จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน
พ.ศ. 2547	กศ.ม. (วิชาเอกฟิสิกส์)	จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร