

ลักษณะเฉพาะทางเรขาคณิตของแร่ดินและชุดแร่เปลี่ยนสภาพ โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี ASD  
และ XRD ของหินจากบ่อเอส เหมือนแร่ทองคำชาติรี ประเทศไทยตอนกลาง

นางสาวสุพิชญา ไปพะนา

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

CHARACTERISTICS OF CLAY MINERALOGY AND ALTERATION ASSEMBLAGES  
USING ASD & XRD ANALYSES ROCKS FROM S-PIT, CHATREE GOLD MINE,  
CENTRAL THAILAND

SUPITCHAYA PAIPANA

A REPORT IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS  
FOR THE DEGREE OF THE BACHERLOR OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF GEOLOGY, CHULALONGKORN UNIVERSITY 2011

วันที่ส่ง ...../...../.....

วันที่อนุมัติ ...../...../.....

.....  
รองศาสตราจารย์ ดร. ปัญญา จารุศิริ

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

## บทคัดย่อ

เหมืองแร่ทองคำชาติตั้งอยู่ที่ตำบลเขาเจ็ดยอด อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร เป็นแหล่งแร่ที่มีลักษณะเด่นสำคัญคือการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินในพื้นที่โดยกระบวนการน้ำแร่ออนที่พุ่งดันตัวขึ้นมาจากชั้นใต้เปลือกโลกตามรอยแตกหรือรอยเลื่อนของหิน การพุ่งตัวของน้ำแร่ออนจะเคลื่อนตัวขึ้นมาตามรอยแตกในลักษณะของสายแร่และมีการตกผลึกของแร่มีค่าในรอยแตกนั้น การที่น้ำแร่ออนพุ่งตัวขึ้นมาได้นั้นเกิดจากอุณหภูมิและความดันใต้ผิวโลกที่มีการเพิ่มสูงขึ้น เมื่อน้ำแร่ออนเคลื่อนตัวขึ้นมาตามรอยแตกจะส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้นในหินท้องที่ แร่องค์ประกอบภายในหินเกิดการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นแร่ดิน แร่ดินที่เกิดขึ้นแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับปัจจัยและอิทธิพลที่ทำให้หินเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือองค์ประกอบเคมีของหิน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาลำดับโซนแร่ดินตั้งแต่โซนที่อยู่ติดกับสายแร่ทองคำไปจนถึงบริเวณที่ไกลจากโซนสายแร่ เพื่อเป็นประโยชน์ในด้านงานเจาะสำรวจ อย่างไรก็ตามวิธีการในการได้มาซึ่งข้อมูลวิเคราะห์ของแร่ดินจำเป็นต้องแปรผันตามปัจจัยและการลงทุนในการทำเหมืองแร่ เครื่องมือตรวจวัด Analytical Spectral Devices (ASD) เป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการตรวจวัดแร่ด้วยการดูดกลืนช่วงคลื่น สารองค์ประกอบภายในแร่แต่ละชนิด จะมีการดูดกลืนช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน จึงทำให้การใช้เครื่องมือตรวจวัดชนิดนี้เริ่มมีการใช้อย่างแพร่หลาย และเนื่องจากความสามารถในการการวัดตัวอย่างหินที่มีความสะดวก รวดเร็ว ประหยัด ค่าวิเคราะห์ตัวอย่างและยังไม่เป็นการทำลายตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ แต่เครื่องมือตรวจวัดมีขีดจำกัดและความสามารถจึงทำการศึกษาตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี ASD , XRD และทางซิลิการรณนา โดยตรวจวัด 16 ตัวอย่างจากตัวอย่างแท่งหินที่ได้จากการเจาะสำรวจหลุมเจาะ 07414RD มีความลึกหลุม 312 เมตร ภาพตัดขวางชุดที่ 1690 บ่อเอส ผลการศึกษาได้โซนของการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินอย่างมีนัยสำคัญ 4 โซน โดยลำดับจากโซนที่อยู่ด้านในสุดติดกับสายแร่ออกไปด้านนอก ได้แก่ โซนแร่ quartz-adularia-sericite เป็นกลุ่มแร่ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงสภาพหินแบบ silification ต่อมาเป็นโซนแร่ illite-smectite เป็นแร่บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงสภาพแบบ phyllic และโซนแร่ FeMgChlorite เป็นแร่บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงสภาพแบบ prophyritic และโซนด้านนอกสุดคือ โซนแร่ kaolinite ซึ่งมีการเกิด overprinted เข้ามาทีหลัง และมีการแทรกตัวอยู่ในโซน

แร่ซิงค์บ้างเล็กน้อย นอกจากนี้ผลที่ได้จากการศึกษายังพบว่าวิธีวิเคราะห์ด้วย ASD ไม่สามารถตรวจวัดแร่ประเภท non-hydrous หรือกลุ่มแร่ซิงค์ได้ และผลที่ได้จากการศึกษาทางซิลิการรอนบางซึ่งประเภทของแหล่งแร่อุณหภูมิต่ำแบบสภาพกรดต่ำ (epithermal low sulfidation) เนื่องจากพบแร่ adularia ซึ่งเป็นแร่บ่งชี้การเกิดแหล่งแร่ในอุณหภูมิต่ำ และยังเป็นแร่ที่วิธีวิเคราะห์ ASD ไม่สามารถตรวจวัดได้ อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ASD เทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี XRD ข้อมูลของชนิดแร่ที่ได้ส่วนใหญ่มีความสอดคล้องกัน ดังนั้นการวิเคราะห์ด้วยวิธี ASD จึงสามารถใช้ในงานเจาะสำรวจแหล่งแร่เพื่อบอกโซนของแร่ดินได้ในระดับที่น่าเชื่อถือ

**คำสำคัญ :** ASD (Analytical Spectral Device), แร่ซิลิไซด์-สเมกไทต์, แร่อะดูลาเรีย

## Abstract

The Chatree gold mine is located on Khao Jet Lok subdistrict, Tubkhao district, Pichit province which characterized by alteration zones dominated with argillic clays, formed from near-neutral hydrothermal fluids. The alteration study was determined by two main techniques; An Analytical Spectral Device (ASD) and X-Ray diffraction (XRD); including petrography. ASD has been widely used economically, in a real time and non-destructive method. However non-hydrous minerals can't be detected by this technique. In this investigation, we have studied to 07414RD drill hole, Section 1690, S-Pit and 16 core samples were analyzed. As a result, from proximal to distal can be described by 4 significant zonations; Quartz-Adularia-Sericite indicated silicified alteration; Illite-smectite indicated phyllic alteration, FeMgChlorite indicated prophyritic alteration and the last outer zone was indicated by Kaolinite which presents the overprinted event. The associated minerals of clay were described by petrography especially Adularia, which is the key of epithermal low sulfidation, can be identified by petrography as well. In contrast, ASD and XRD techniques are enable to do this. Clay-enrichment method in XRD technique was also applied to confirm all ASD data too. From overall present that clearly, ASD technique is almost accurate but not 100 percent reliable, for the mineral species detected has some limited. The machine not appropriate to analyses the sample which has mainly silicate minerals. But this technique can be applied to the routine work or regional scale for get close to mineralized vein by alteration pattern.

**Keywords:** ASD (Analytical Spectral Device), Illite-Smectite, Adularia

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบุคคลเหล่านี้ที่ช่วยทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากไม่มีบุคคลเหล่านี้งานวิจัยชิ้นนี้อาจจะเกิดขึ้นไม่ได้

รองศาสตราจารย์ ดร . ปัญญา จารุศิริ ที่ช่วยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ชี้แนะ สั่งสอน ตลอดจนช่วยเหลือข้าพเจ้าตลอดการทำงานวิจัยในครั้งนี้

คุณวีระศักดิ์ ล้นวงษา และคุณภูริวิทย์ สังข์ศิริ บริษัทอิสระไมนิ่ง จำกัด ที่ช่วยให้คำแนะนำ และวิธีการ หลักการของการใช้เครื่อง ASD ตลอดจนให้ความรู้ การดูแลระหว่างการออกภาคสนามและให้การต้อนรับในการไปทำงานวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดีเยี่ยม นอกจากนี้ยังมีพี่ๆ อีกร้อยกว่าท่านจากบริษัทอิสระไมนิ่งที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษา ยิ่งไปกว่านั้นคือขอขอบพระคุณบริษัทอิสระไมนิ่งจำกัด สำหรับการให้ความอนุเคราะห์ในการศึกษาทำงานวิจัยนี้

คุณจิระประภา เนียมปาน คุณบรรจง พวงทอง คุณประจัน ทองประชุม คุณสุริยะ โชคเหมาะ คุณสุรเชษฐ วชิรโมคเจริณ และพี่ทุกคนที่คอยให้คำปรึกษา กำลังใจ ซึ่งเป็นแรงผลักดันสำคัญที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงมาได้

นายตะวัน สัญญา นางสาววรมพร สิงห์พันธ์ และเพื่อนร่วมสายปัญญา ที่ทำให้ข้าพเจ้ามีแรงบันดาลใจ คอยร่วมทุกข์ร่วมสุข และก้าวผ่านวิกฤตต่างๆ จนทำให้งานวิจัยสำเร็จ

สุดท้ายขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยให้การสนับสนุนการทำวิจัยให้เกิดขึ้นมาได้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 An analytical Spectral Devices (ASD)	2
1.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
1.3 ธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	11
1.4 วัตถุประสงค์	15
1.5 ขอบเขตงานวิจัย	15
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	15
บทที่ 2 วิธีดำเนินงานวิจัย	
2.1 รวบรวมข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
2.2 ออกภาคสนามและเก็บข้อมูลจากพื้นที่ศึกษา	17
2.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง	21
2.4 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนามที่ได้จากหินบาง	25
2.5 อภิปรายและสรุปงานวิจัย	25
บทที่ 3 ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล	
3.1 ผลการศึกษาทางกายภาพ	29
3.2 ผลการวิเคราะห์ชนิดแร่ด้วยวิธี Analytical Spectral Device (ASD)	31
3.3 ผลการวิเคราะห์ชนิดแร่ด้วยวิธี X-Ray Diffractomer (XRD)	42



	หน้า
3.4 ผลการวิเคราะห์ทางศิลาวรรณนา (Petrography)	53
บทที่ 4 การอภิปรายผล	
4.1 เปรียบเทียบผลศึกษาที่ได้จากวิธี Analytical Spectral Device (ASD) และวิธี X-Ray Diffractometer (XRD)	63
4.2 ความสัมพันธ์ของผลวิเคราะห์ที่ได้จากการศึกษากับโซนแร่เปลี่ยนสภาพของหินและการเกิดแหล่งแร่	69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	74
เอกสารอ้างอิง	

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 Index absorption peak ของแร่ Kaolinite, Dickite, Pyrophyllite และ Alunite ที่ตรวจวัดด้วยเครื่อง ASD แสดงช่วงคลื่นที่ถูกดูดกลืนแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของแร่	3
รูปที่ 1.2 โครงสร้างผลึกของแร่ดิน Kaolinite	4
รูปที่ 1.3 Index absorption peak ของแร่ดิน Kaolinite	4
รูปที่ 1.4 โครงสร้างผลึกของแร่ดิน montmorillonite	5
รูปที่ 1.5 Index absorption peak ของแร่ดิน montmorillonite	6
รูปที่ 1.6 Index absorption peak ของแร่ดิน nontronite	6
รูปที่ 1.7 Index absorption peak ของแร่ดิน palygorskite	7
รูปที่ 1.8 โครงสร้างของแร่ดิน Illite	8
รูปที่ 1.9 Index absorption peak ของแร่ดิน illite	8
รูปที่ 1.10 เขตการเปลี่ยนแปลงสภาพของแร่ดินในบริเวณที่มีสภาพความเป็นกรดต่ำและสูง	9
รูปที่ 1.11 ที่ตั้งเหมืองแร่ทองคำชาติรี	12
รูปที่ 1.12 พื้นที่ศึกษาบ่อเอส ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของแหล่งแร่ทองคำชาติรี	13
รูปที่ 1.13 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงบ่อเหมืองต่างๆ ภายในแหล่งแร่ทองคำชาติรี	14
รูปที่ 2.1 การเก็บตัวอย่างจาก core samples และการเก็บตัวอย่างจาก rock chips	17
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของเครื่อง ASD	18
รูปที่ 2.3 peak ที่ถูกบันทึกได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง ASD	19
รูปที่ 2.4 ความยาวช่วงคลื่นที่ถูกดูดกลืนของหมู่สารประกอบต่างๆ ภายใน SWIR	19
รูปที่ 2.5 การแปล absorption peak ที่วัดได้จากตัวอย่าง เทียบกับ standard peak ของแร่ FeMgChlorite	20
รูปที่ 2.6 การแปล absorption peak ที่วัดได้จากตัวอย่าง เทียบกับ standard peak ของแร่ muscovite	20
รูปที่ 2.7 Bragg's law	21

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.8 วิธีวิเคราะห์แบบ oriented	22
รูปที่ 3.1 แผนที่ธรณีวิทยาภาพตัดขวางแสดงหลุมเจาะในพื้นที่ป่อเต็ก	28
รูปที่ 3.1.1 Rock chip จากหลุมเจาะ 07414RD ใช้ในการศึกษาลักษณะทางกายภาพ	29
รูปที่ 3.2.1 กราฟ absorption peak แสดงการเปลี่ยนแปลงแร่ด้วยผู้ศึกษาของตัวอย่างที่ 1	31
รูปที่ 3.2.2 กราฟ absorption peak แสดงการเปลี่ยนแปลงแร่ด้วยผู้ศึกษาของตัวอย่างที่ 2	32
รูปที่ 3.2.3 กราฟ absorption peak แสดงการเปลี่ยนแปลงแร่ด้วยผู้ศึกษาของตัวอย่างที่ 3	32
รูปที่ 3.2.4 กราฟ absorption peak แสดงการเปลี่ยนแปลงแร่ด้วยผู้ศึกษาของตัวอย่างที่ 4	33
รูปที่ 3.2.5 กราฟ absorption peak แสดงการเปลี่ยนแปลงแร่ด้วยผู้ศึกษาของตัวอย่างที่ 5	33
รูปที่ 3.2.6 กราฟ absorption peak แสดงการเปลี่ยนแปลงแร่ด้วยผู้ศึกษาของตัวอย่างที่ 6	34
รูปที่ 3.2.7 กราฟ absorption peak แสดงการเปลี่ยนแปลงแร่ด้วยผู้ศึกษาของตัวอย่างที่ 7	34
รูปที่ 3.2.8 กราฟ absorption peak แสดงการเปลี่ยนแปลงแร่ด้วยผู้ศึกษาของตัวอย่างที่ 8	35
รูปที่ 3.2.9 กราฟ absorption peak แสดงการเปลี่ยนแปลงแร่ด้วยผู้ศึกษาของตัวอย่างที่ 9	35
รูปที่ 3.2.10 กราฟ absorption peak แสดงการเปลี่ยนแปลงแร่ด้วยผู้ศึกษาของตัวอย่างที่ 10	36
รูปที่ 3.2.11 กราฟ absorption peak แสดงการเปลี่ยนแปลงแร่ด้วยผู้ศึกษาของตัวอย่างที่ 11	36
รูปที่ 3.2.12 กราฟ absorption peak แสดงการเปลี่ยนแปลงแร่ด้วยผู้ศึกษาของตัวอย่างที่ 12	37
รูปที่ 3.2.13 กราฟ absorption peak แสดงการเปลี่ยนแปลงแร่ด้วยผู้ศึกษาของตัวอย่างที่ 13	37
รูปที่ 3.2.14 กราฟ absorption peak แสดงการเปลี่ยนแปลงแร่ด้วยผู้ศึกษาของตัวอย่างที่ 14	38
รูปที่ 3.2.15 กราฟ absorption peak แสดงการเปลี่ยนแปลงแร่ด้วยผู้ศึกษาของตัวอย่างที่ 15	38
รูปที่ 3.2.16 กราฟ absorption peak แสดงการเปลี่ยนแปลงแร่ด้วยผู้ศึกษาของตัวอย่างที่ 16	39
รูปที่ 3.3.1 ผลการวิเคราะห์โดยวิธี XRD แบบผงของตัวอย่างที่ 1	42
รูปที่ 3.3.2 ผลการวิเคราะห์โดยวิธี XRD แบบ oriented ของตัวอย่างที่ 1	43
รูปที่ 3.3.3 ผลการวิเคราะห์โดยวิธี XRD แบบ glycolate ของตัวอย่างที่ 1	43
รูปที่ 3.3.4 ผลการวิเคราะห์โดยวิธี XRD แบบ heated ของตัวอย่างที่ 1	44
รูปที่ 3.3.5 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์แร่ดินของตัวอย่างที่ 1	44

รูปที่	หน้า
รูปที่3.3.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์แร่ดินของตัวอย่างที่ 2	45
รูปที่3.3.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์แร่ดินของตัวอย่างที่ 3	45
รูปที่3.3.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์แร่ดินของตัวอย่างที่ 4	46
รูปที่3.3.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์แร่ดินของตัวอย่างที่ 5	46
รูปที่3.3.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์แร่ดินของตัวอย่างที่ 6	47
รูปที่3.3.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์แร่ดินของตัวอย่างที่ 7	47
รูปที่3.3.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์แร่ดินของตัวอย่างที่ 8	48
รูปที่3.3.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์แร่ดินของตัวอย่างที่ 9	48
รูปที่3.3.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์แร่ดินของตัวอย่างที่ 10	49
รูปที่3.3.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์แร่ดินของตัวอย่างที่ 11	49
รูปที่3.3.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์แร่ดินของตัวอย่างที่ 12	50
รูปที่3.3.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์แร่ดินของตัวอย่างที่ 13	50
รูปที่3.3.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์แร่ดินของตัวอย่างที่ 14	51
รูปที่3.3.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์แร่ดินของตัวอย่างที่ 15	51
รูปที่3.3.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์แร่ดินของตัวอย่างที่ 16	52
รูปที่3.4.1 ภาพ PPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 1 พบแร่ plagioclase ที่ถูกเปลี่ยนสภาพ	53
รูปที่3.4.2 ภาพ XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 1 พบแร่ plagioclase ที่ถูกเปลี่ยนสภาพ	54
รูปที่3.4.3 ภาพ PPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 1 พบแร่ plagioclase ที่ถูกเปลี่ยนสภาพ	54
รูปที่3.4.4 ภาพ XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 1 พบแร่ plagioclase ที่ถูกเปลี่ยนสภาพ	55

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.4.5 ภาพ XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 15 พบแร่ plagioclase ที่ถูกเปลี่ยนสภาพ	55
รูปที่ 3.4.6 ภาพ XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 3 พบแร่ plagioclase ที่ถูกเปลี่ยนสภาพ	56
รูปที่ 3.4.7 ภาพ XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 6 พบแร่ plagioclase ที่ถูกเปลี่ยนสภาพ	56
รูปที่ 3.4.8 ภาพ PPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 1 พบแร่ chlorite ที่ถูกเปลี่ยนสภาพ	57
รูปที่ 3.4.9 ภาพ XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 1 พบแร่ chlorite ที่ถูกเปลี่ยนสภาพ	57
รูปที่ 3.4.10 ภาพ XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 1 พบแร่ chlorite ที่ถูกเปลี่ยนสภาพ	58
รูปที่ 3.4.11 ภาพ XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 14 พบแร่ chlorite ที่ถูกเปลี่ยนสภาพ	58
รูปที่ 3.4.12 ภาพ XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 12 พบแร่ chlorite ที่ถูกเปลี่ยนสภาพ	59
รูปที่ 3.4.13 ภาพ XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 14 พบแร่ chlorite ที่ถูกเปลี่ยนสภาพ	59
รูปที่ 3.4.14 ภาพ XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 3 พบแร่ adularia	60
รูปที่ 3.4.15 ภาพ XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 14 พบแร่ adularia	60
รูปที่ 3.4.16 ภาพ PPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 14 พบแร่ adularia	61
รูปที่ 3.4.17 ภาพ XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 14 พบแร่ adularia	61
รูปที่ 4.1.1 กราฟ absorption peak แสดงการนับ peak ไปทางซ้ายของแร่ kaolinite	65
รูปที่ 4.1.2 ชนิดแร่ดินที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี XRD จากตัวอย่างที่ 1	65

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.1.3 กราฟ absorption peak แสดงการเบี่ยง peak ไปทางขวา ของแร่ MgChlorite	66
รูปที่ 4.1.4 ชนิดแร่ดินที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี XRD จากตัวอย่างที่ 7	67
รูปที่ 4.1.5 กราฟ absorption peak แสดงการดูดกลืนช่วงคลื่นที่ 2198 nm ของแร่ illite	68
รูปที่ 4.1.6 characteristic peak ของการวิเคราะห์ด้วยวิธี XRD เปรียบเทียบ index peak ของแร่ paragonite และแร่ illite	68
รูปที่ 4.2.1 ตำแหน่งตัวอย่าง 16 ตัวอย่างที่ระดับความลึกต่างๆ ในหลุมเจาะ 07414 RD ภาพตัดขวางชุดที่ 1690 บ่อเอส	70
รูปที่ 4.2.2 โซนการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินแสดงตำแหน่งตัวอย่างที่ทำการศึกษา 16 ตัวอย่าง	70

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1 ชนิดและปริมาณ (เปอร์เซ็นต์) ของแร่ที่ได้จากการแปดผลด้วยโปรแกรม TSG 7	39
ตารางที่ 3.2 ผลการแปดชนิดแร่ด้วยโปรแกรม TSG 7 เปรียบเทียบกับการแปดแบบไม่ใช้โปรแกรม	40
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบชนิดของแร่ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี ASD และ XRD	63
ตารางที่ 4.2.1 วิทยาแร่ของแร่ค่าน้อยที่เกิดร่วมในแหล่งแร่ทองคำน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำ	72

# บทที่ 1

## บทนำ

- 1.1 Analytical Spectral Devices (ASD)
- 1.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.3 ธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ศึกษา
- 1.4 วัตถุประสงค์
- 1.5 ขอบเขตงานวิจัย
- 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ



## บทที่ 1

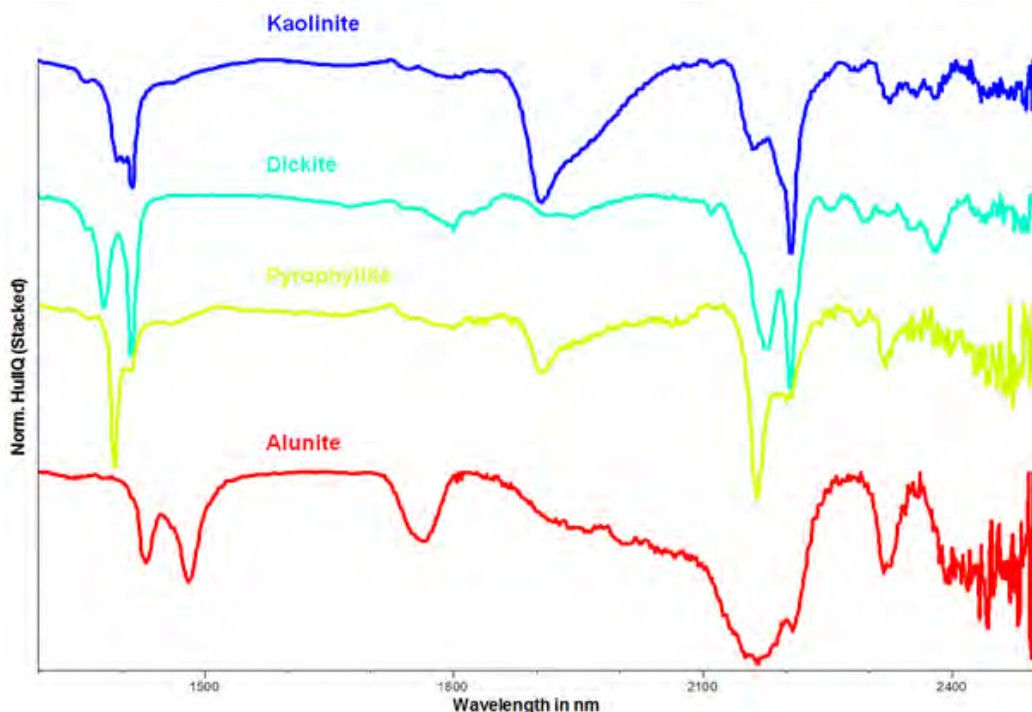
### บทนำ

ทองคำเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่รู้จักกันมาตั้งแต่ 3,000 ปีก่อนและกลายมาเป็นแร่โลหะเศรษฐกิจที่เป็นที่ต้องการ อีกทั้งยังได้รั บความนิยมอย่างมาก เนื่องจากมี สมบัติพิเศษคือ เป็นโลหะที่มีความมันวาว (Luster), มีความอ่อนและเหนียว (Ductility), สามารถนำไปตีแผ่ยืดได้ (Malleability), ทนทานต่อการกัดกร่อน (Resistance to corrosion), นำความร้อนและไฟฟ้า (Thermal and electrical conductivity), ทนต่อการขึ้นสนิมได้ดีเลิศ และที่สำคัญคือเป็นแร่โลหะที่หายาก ด้วยคุณสมบัติที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ทำให้มนุษย์สามารถนำแร่โลหะชนิดนี้ไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง จึงไม่น่าแปลกใจที่ปัจจุบันได้มีการสำรวจและค้นหาแหล่งแร่ทองคำกันอย่างมากมาย เนื่องด้วยมูลค่าในตัวทองคำนั่นเอง ในการสำรวจหาแหล่งแร่ ทองคำต้องอาศัยเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการสำรวจ ซึ่งจะเป็นการทุ่นเวลาและงบประมาณการสำรวจ แต่ปัจจุบันมีวิธีการที่สามารถนำมาใช้พัฒนา ในการสำรวจหาแหล่งแร่ทองคำได้หลายวิธี เช่น วิธีวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD) วิธีวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรสโกปีอินฟราเรด วิธีวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือของหิน / ธรณีเคมีของแร่บางตัว และวิธีวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Analytical Spectral Devices (ASD) ซึ่งแต่ละวิธีวิเคราะห์ต่างมีความสามารถและขีดจำกัดที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ด้วยวิธี สเปกโตรสโกปีอินฟราเรด สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ละเอียดแต่ใช้ เวลานาน และต้องอาศัยความ ชำนาญในการตรวจดูว่าแร่ตัวใดถูกเปลี่ยนแปลงสภาพหรือไม่ อีกทั้งยังมีความคลุมเครือในด้านการวิเคราะห์แร่ในกลุ่มแร่ดินอีกด้วย การวิเคราะห์ด้วยวิธีธรณีเคมีของหิน / แร่ วิธีนี้ยุ่งยากในการเตรียมตัวอย่าง จึงทำให้ใช้เวลานาน และ ค่าใช้จ่ายสูง วิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ASD ใช้เวลาน้อย รวดเร็วและไม่สิ้นเปลืองในการเตรียมตัวอย่าง นิยมนำมาใช้กับแหล่งแร่ที่เป็น porphyry และ epithermal

#### 1.7 Analytical Spectral Devices (ASD)

เครื่อง ASD (Analytical Spectral Device) อาศัยหลักการของ Spectrum ที่อยู่ในช่วงคลื่น Visible-Near Infrared-Short Wavelength Infrared (VIS-NIR-SWIR) ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสง คลื่นเหล่านี้จะเข้าไปตกกระทบกับโมเลกุลโครงสร้างของผลึกทำให้เกิดการสั่น และเกิดการดูดกลืน ช่วงคลื่นในช่วง Short Wavelength Infrared (SWIR) การดูดกลืนช่วงคลื่นของแร่แต่ละชนิดมีความจำเพาะเนื่องจากโมเลกุลและโครงสร้างที่แตกต่างกัน ช่วงคลื่นที่ถูกดูดกลืนจะแสดงออกมาในลักษณะของ peak กลับหัว โดยมีช่วงคลื่นในการดูดกลืนจำแนกตามกลุ่มของสารประกอบ ดังรูปที่ 1.1

ช่วงคลื่น	1400 nm	OH และน้ำ	ช่วงคลื่น	2250nm	FeOH
ช่วงคลื่น	1900 nm	น้ำ	ช่วงคลื่น	2330 nm	MgOH
ช่วงคลื่น	2200 nm	AlOH			

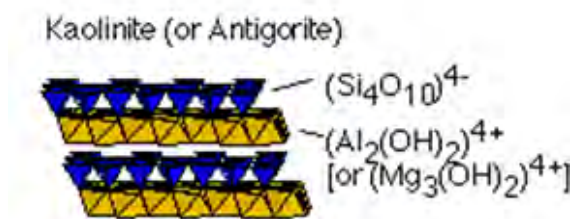


รูปที่ 1.1 Index absorption peak ของแร่ Kaolinite, Dickite, Pyrophyllite และ Alunite ที่ตรวจวัดด้วยเครื่อง ASD แสดงช่วงคลื่นที่ถูกดูดกลืนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ (GMEX Edition3, 2008)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างที่ทำให้เกิดการดูดกลืนช่วงคลื่นที่ต่างกัน ในการเจาะสำรวจแหล่งแร่หากเราสามารถทราบถึงขอบเขตของแร่ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพได้ ก็จะสามารถประเมินได้ในขั้นต้นว่า บริเวณที่เราเจาะสำรวจจะพบแหล่งแร่ได้หรือไม่ โดยอาศัยกลุ่มแร่ดินเป็นตัวชี้วัด กลุ่มแร่ดินที่สำคัญแต่ละกลุ่มจะตรวจวัดค่าจากเครื่อง ASD ได้ต่างกันอย่างนี้

#### Kaolinite Group Clay Minerals

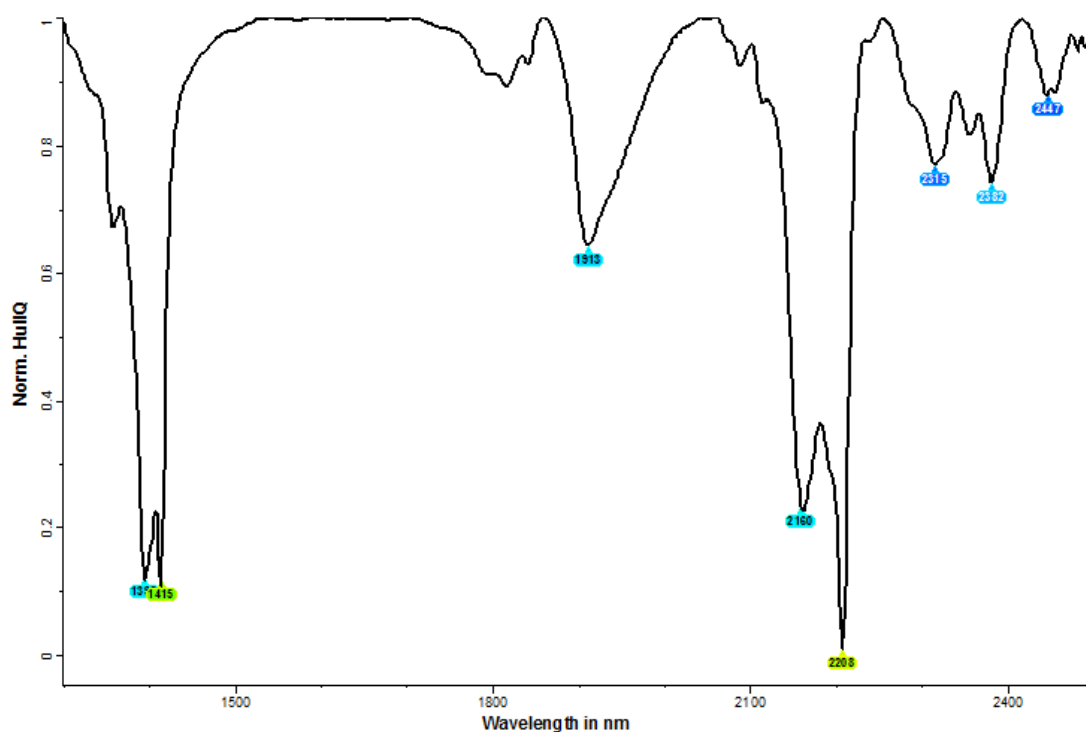
แร่ดิน Kaolinite มีสูตรเคมี  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  โครงสร้างประกอบไปด้วยแผ่น silica sheet 1 แผ่นประกบกับแผ่น alumina sheet 1 แผ่น เรียกว่า 1:1 clay โดย Si และ Al จะร่วมเกาะออกซิเจนตัวเดียวกันในด้านที่ประกบเข้าหากัน ดังรูปที่ 1.2 ผลึกของ Kaolinite จะเรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ มีระยะกว้าง 7 angstrom คงที่ เนื่องจากถูกยึดไว้ด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างออกซิเจนของ silica sheet และไฮโดรเจนอะตอมของ alumina sheet



รูปที่ 1.2 โครงสร้างผลึกของแร่ดิน Kaolinite

(Poppe, 2001)

การตรวจวัดด้วยเครื่อง ASD จะสามารถได้ผลของชนิดแร่จากการดูดกลืนช่วงคลื่นที่ต่างกันเนื่องจากหมู่สารประกอบที่แตกต่างกันของแร่ จะดูดกลืนช่วงคลื่นที่ไม่เท่ากัน การดูดกลืนช่วงคลื่นของแร่ดิน kaolinite ที่ถูกตรวจวัดด้วยเครื่อง ASD จะแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 Index absorption peak ของแร่ดิน Kaolinite ที่มีลักษณะเฉพาะของ peak คู่อยู่ที่ประมาณช่วงคลื่นประมาณ 1400 nm และ 2200 nm ช่วงคลื่นคู่แรกที่สำคัญจะถูกดูดกลืนที่ช่วงคลื่นประมาณ 1415 และ 1395 nm ซึ่งโดยปกติช่วงคลื่นที่ถูกดูดกลืนใกล้ 1415 nm จะถูกดึงลงมาต่ำกว่า คู่ที่สองจะถูกดูดกลืนที่ช่วงคลื่นประมาณ 2163 และ 2207 nm โดยช่วงคลื่น 2207 จะถูกดึงลงมาต่ำกว่า (GMEX Edition3, 2008)

### Montmorillonite Group (Smectite) Clay minerals

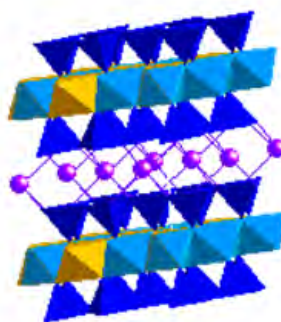
กลุ่มแร่ดิน montmorillonite มีหลายชนิด ได้แก่

แร่ดิน montmorillonite มีสูตรเคมี  $(\text{Ca}, \text{Na})_{0.7}(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_4[(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{20}](\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

แร่ดิน nontronite มีสูตรเคมี  $(\text{Ca}, \text{Na})_{0.66}\text{Fe}^{3+}_4(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

แร่ดิน polygorskite มีสูตรเคมี  $(\text{OH}_2)_4(\text{OH})_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{20} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

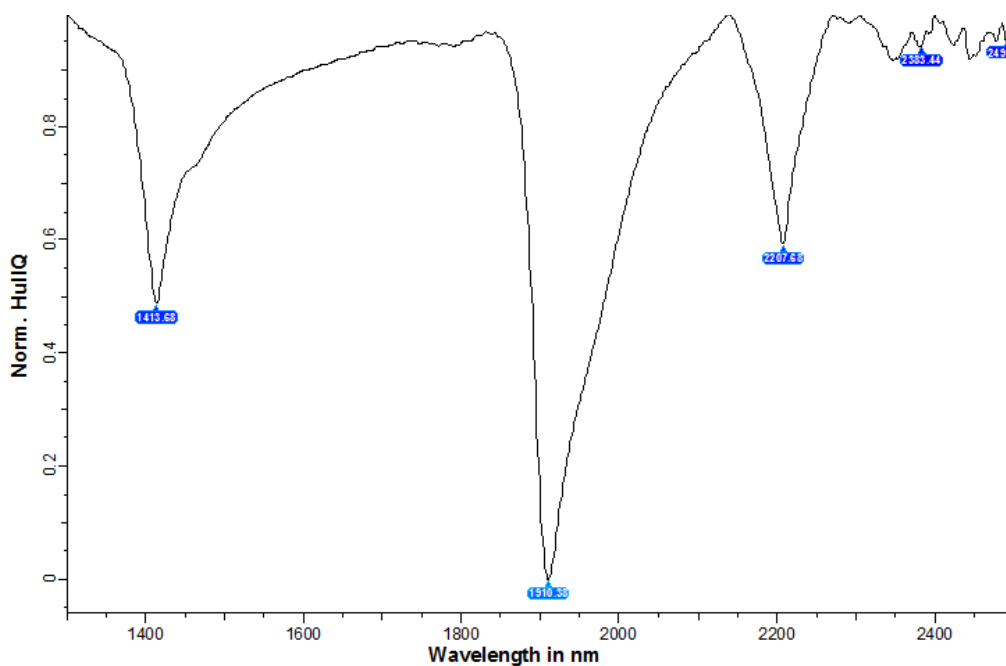
โครงสร้างประกอบด้วย silica sheet 2 แผ่นและ alumina sheet 1 แผ่น สอดอยู่ตรงกลางระหว่างแผ่น silica sheet จัดเป็นพวก 2:1 clay ผลึกจะเรียงต่อกันเป็นชั้นๆ และมีระยะห่างระหว่างชั้น 9-21 angstrom ระยะนี้อาจจะแคบหรือกว้างขึ้นได้ เนื่องจากไม่มีพันธะไฮโดรเจนยึดระหว่างผลึก โมเลกุลของน้ำและ cation ต่างๆ สามารถแทรกซึมเข้าไปดูดซึมอยู่ภายใน internal surface ได้มาก



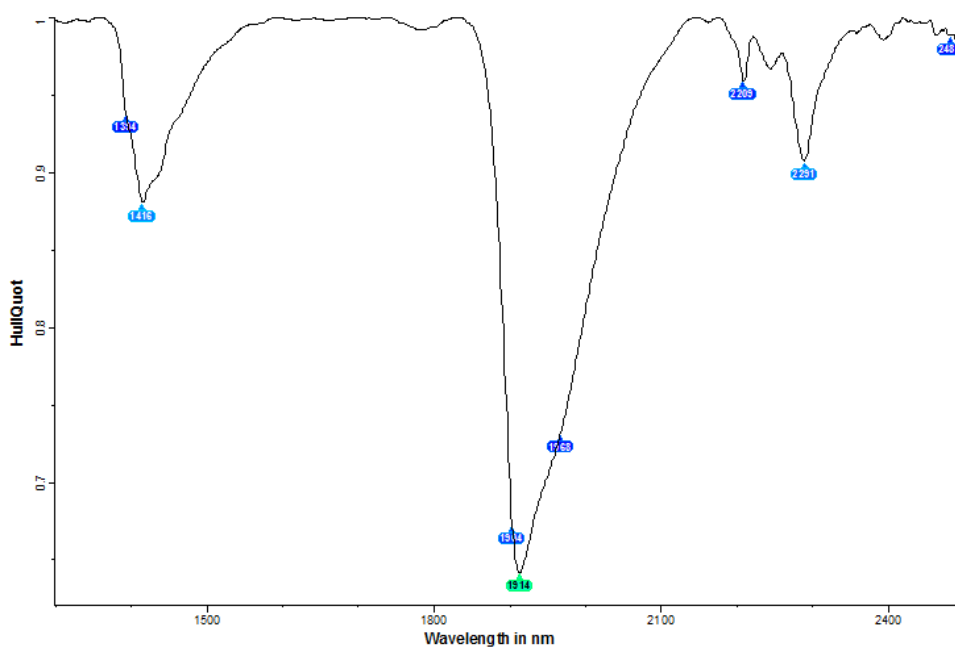
รูปที่ 1.4 โครงสร้างผลึกของแร่ดิน montmorillonite

(Poppe, 2001)

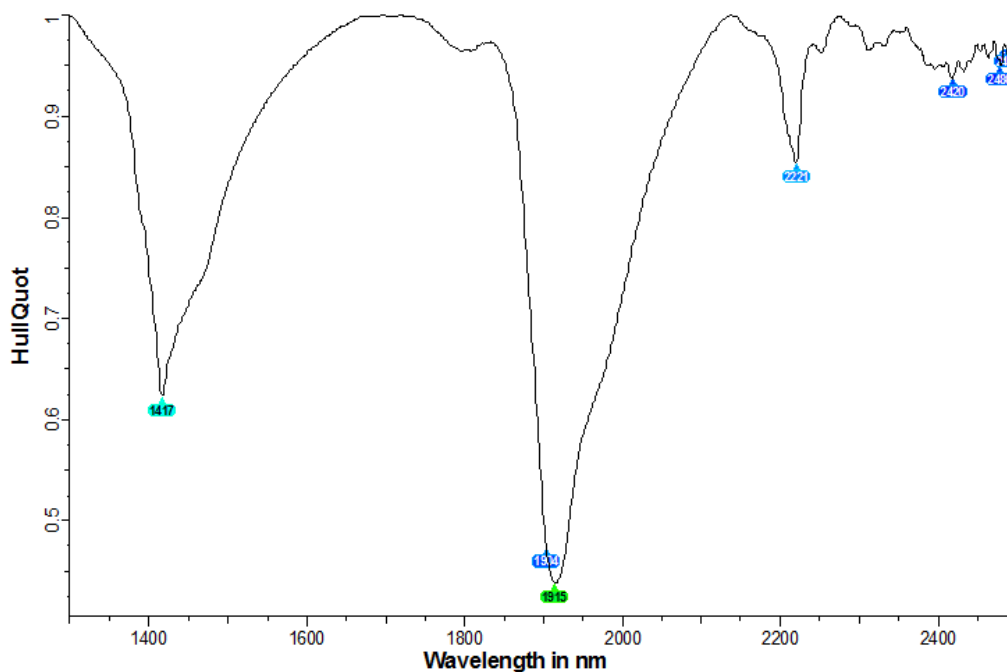
การตรวจวัดด้วยเครื่อง ASD ของแร่ในกลุ่มนี้ จะคล้ายคลึงกันในส่วนของการประกอบ OH และ  $\text{H}_2\text{O}$  ซึ่งเป็น peak เด่นที่ถูกดูดกลืนในความยาวช่วงคลื่นประมาณ 1410 nm และ 1910 nm แต่ก็มีความแตกต่างกันไปในส่วนของช่วงความยาวคลื่นรอง ซึ่งจะแสดงในรูปที่ 1.5, 1.6 และ 1.7



รูปที่ 1.5 Index absorption peak ของแร่ดิน montmorillonite จะมี peak เด่นชัดที่เกิดจากการดูดกลืนในช่วงคลื่นประมาณ 2208 nm และ peak รองจะดูดกลืนอยู่ที่ช่วงคลื่นประมาณ 1410 และ 1910 nm มีลักษณะไม่สมมาตร (GMEX Edition3, 2008)



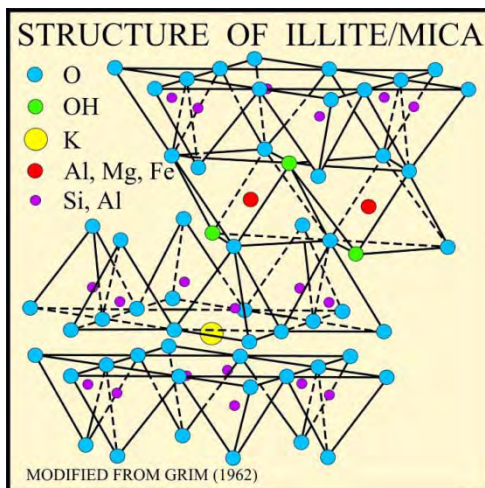
รูปที่ 1.6 Index absorption peak ของแร่ดิน nontronite จะดูดกลืนในช่วงคลื่นประมาณ 2290 nm และจะมีไหล่ของ peak ยื่นออกมาที่ประมาณช่วงคลื่น 1430 และ 1940 nm (GMEX Edition3, 2008)



รูปที่ 1.7 Index absorption peak ของแร่ดิน palygorskite จะมีรูปร่างลักษณะ peak จะคล้ายคลึงกันกับ Index absorption peak ของแร่ดิน montmorillonite แต่จะถูกดูดกลืนอยู่ที่ช่วงคลื่น 2220 nm มากกว่าที่จะเป็นช่วงคลื่น 2208 nm ที่เป็น peak เด่นของแร่ดิน montmorillonite (GMEX Edition3, 2008)

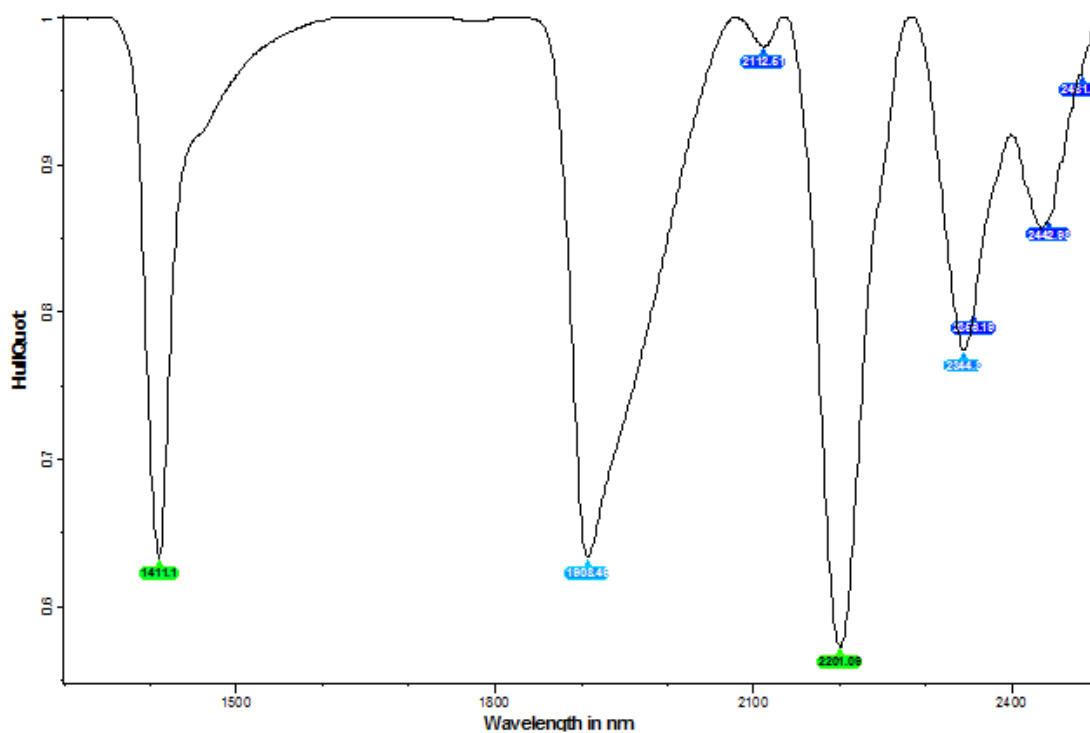
#### White mica (Illite- Sericite- Muscovite) Group Clay Minerals

แร่ดิน Illite มีสูตรเคมี  $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$  โครงสร้างคล้ายกับพวกแร่ดิน montmorillonite คือเป็นพวก 2:1 ระยะห่างระหว่างผลึกของแร่ดิน ที่ซ้อนทับกัน มีระยะเท่ากับ 10 angstrom พื้นที่ผิวภายในแคบเหมือนแร่ดิน kaolinite โมเลกุลของน้ำและประจุลบ สามารถแทรกซึมเข้าไปดูดซับอยู่ภายใน internal surface ได้บ้าง แต่ไม่มากเท่ากับแร่ดิน montmorillonite จึงไม่สามารถคงตัวและหดตัวได้



รูปที่ 1.8 โครงสร้างของแร่ดิน Illite

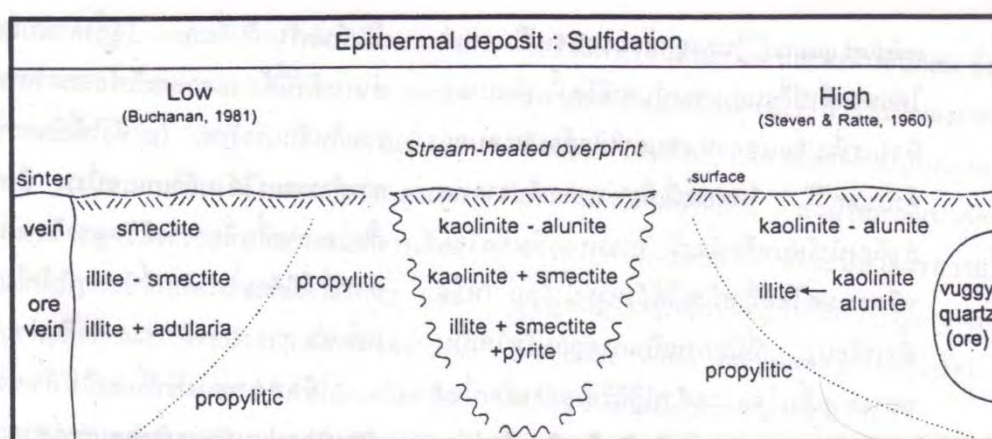
(Poppe, 2001)



รูปที่ 1.9 Index absorption peak ของแร่ดิน illite จะมี peak เด่นชัดที่เกิดจากการถูกดูดกลืนในช่วงคลื่นประมาณ 2200 nm และ peak รองลงมาจะถูกดูดกลืนอยู่ที่ช่วงคลื่นประมาณ 2345 และ 2440 nm absorption peak ของน้ำในช่วงคลื่น 1910 nm จะมีลักษณะไม่สมมาตร (GMEX Edition3, 2008)

## 1.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Charusiri (2011) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพและการเกิดวงแร่ในแหล่งแร่ทองคำ น้ำร้อนอุณหภูมิต่ำ โดยลักษณะเฉพาะที่สำคัญประการหนึ่งก็คือ การเกิดวงแร่และวิทยาแร่อันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพ เพราะกลุ่มแร่หลายกลุ่มมีความเสถียรมากในช่วงอุณหภูมิและ pH หนึ่งๆ ดังนั้นจากกลุ่มแร่ที่ปรากฏทำให้เราสามารถจัดทำ โครงสร้างเชิงธรณีเคมีและเชิงความร้อน (thermal & geochemical structure) รวมทั้งรูปแบบของระบบน้ำร้อนที่หมดพลังไปแล้ว (extinct hydrothermal system) ได้



รูปที่ 1.10 เขตการเปลี่ยนแปลงสภาพของแร่ดินในบริเวณที่มีสภาพความเป็นกรดต่ำและสูง (Charusiri et al., 2003)

การเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับสินแร่ในแหล่งแร่ทองคำแบบสภาพกรดต่ำ มักเกิดจากน้ำร้อนที่มีค่าความเป็นกรดที่เกือบเป็นกลางและเกิดการเย็นตัวลงเมื่ออยู่ใกล้ผิวโลกหรือเมื่ออยู่ห่างจากท่อขนาน้ำร้อน (hydrothermal conduits) ออกไป ด้วยเหตุนี้กลุ่มแร่ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพที่สังเกตเห็นจึงแสดงถึงภาวะการสมดุลเชิงอุณหภูมิต่ำ (thermal stability) ของแร่เหล่านั้นได้ ดังนั้นในระหว่างการสำรวจแร่ ข้อมูลเหล่านี้จึงเป็นตัวช่วยเรากำหนดระดับการกักตุนจากผิวโลกเดิมในอดีตได้ และยังบ่งบอกถึงตำแหน่งของท่อลำเลียงน้ำร้อนในอดีตได้อีกด้วย ในแหล่งแร่ทองคำแบบสภาพกรดต่ำ อุณหภูมิมิมีผลต่อการเกิดแร่ดิน (clay mineral) ที่แตกต่างกัน เช่น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แร่ดิน smectite ซึ่งเสถียร ณ อุณหภูมิต่ำกว่า 160 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนไปเป็นแร่ดินชั้นผลระหว่างแร่ดิน smectite กับแร่ดิน illite ในขณะที่แร่ illite จะพบว่าเสถียร ณ อุณหภูมิมากกว่า 220 องศาเซลเซียส ดังนั้นชั้นความเสถียรเชิงอุณหภูมิจึงก่อให้เกิดวงแร่ (mineral zonation) ในบริเวณที่ไกลออกไปจากตัวแหล่งแร่ (ore body) ที่เกิดแบบสภาพกรดต่ำค่อนข้าง



ชัดเจน ส่วนในกรณีของแหล่งแร่ทองคำสภาพกรดสูง มักพบแหล่ง แร่ที่ประกอบด้วยแร่ดิน kaolinite แร่ดิน dickite แร่ pyrophyllite และแร่ alunite แร่เหล่านี้มีความเสถียรภายใต้สภาวะที่เป็นกรด และแร่ดังกล่าวนี้มักมีผลสืบเนื่องจากอุณหภูมิ หินรอบข้างที่เกิดก่อนโดยมากจะเป็นหินที่ถูกเปลี่ยนแปลงสภาพแบบซิลิกาชะละลายที่เรียกว่าควอตซ์ตกค้างประจุช่อง (vuggy หรือ residual quartz) และถูกล้อมรอบจนเป็นวงแร่ โดย พวกที่เปลี่ยนแปลงสภาพแบบ argillic ชั้นพัฒนาจะมีวงแร่ที่เปลี่ยนแปลงสภาพแบบ argillic ล้อมกรอบอยู่ด้านบนนอก ในขณะที่เมื่อห่างออกไปจากท่อลำเลียงน้ำร้อนหรือน้ำแร่ อาจพบแร่ดิน illite หรือแร่ smectite ที่เสถียรได้ถ้าหากน้ำร้อนที่มีสภาพเป็นกรดถูกปรับให้เป็นกลางมากขึ้นโดยการทำปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง (progressive reaction) กับหินข้างเคียงที่อยู่ห่างจากท่อลำเลียงออกไป

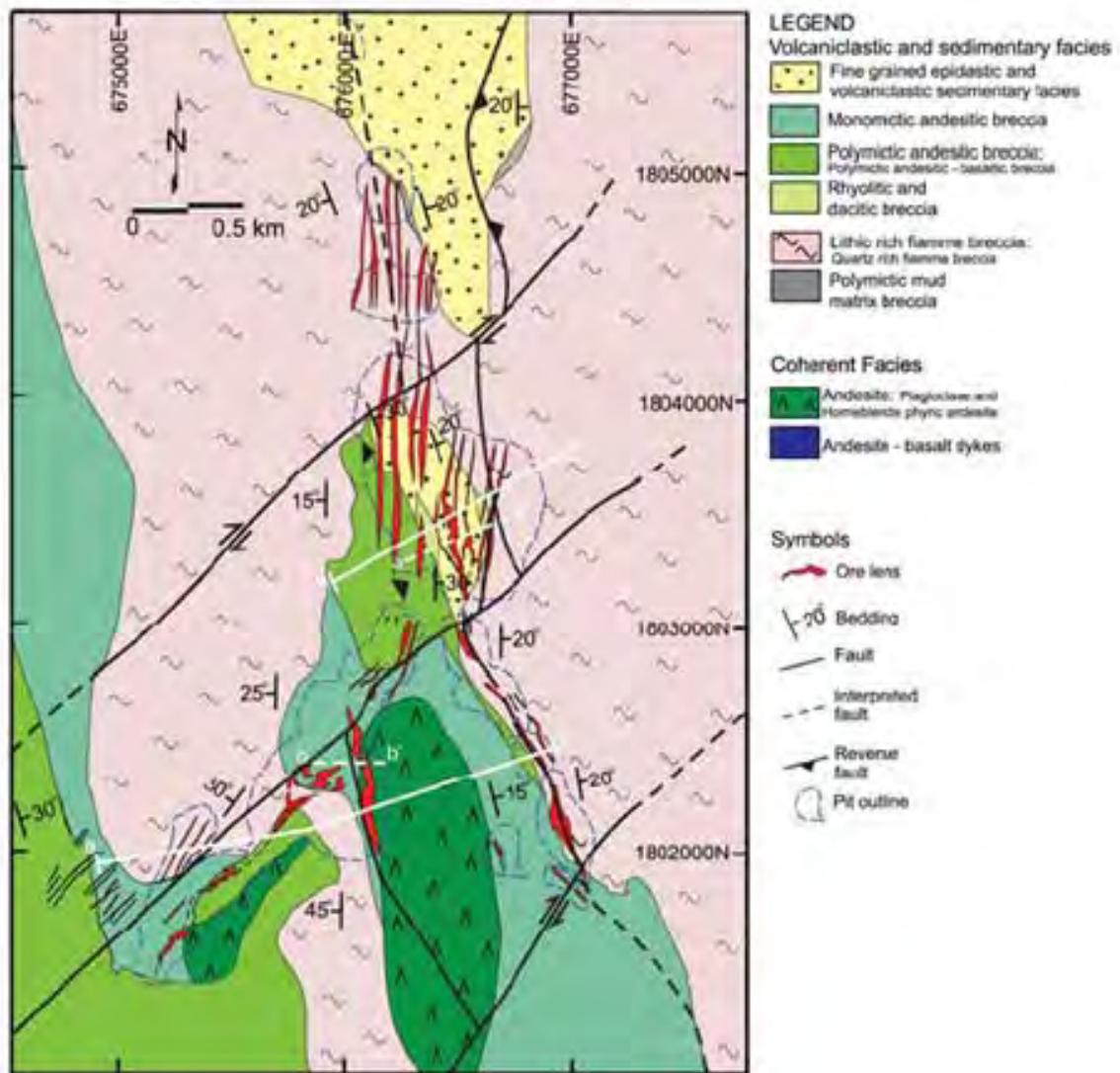
Corbett (2005) ได้ทำการสำรวจแหล่งแร่ทองคำอัคราและ สรุปว่า ในช่วงยุคเพอร์เมียน เกิดการมุดตัวไปทางตะวันออกของแผ่นสมุทรระหว่างแผ่นอินโดจีนและแผ่นฉานไทย ทำให้เกิดแนวภูเขาไฟเลย-เพชรบูรณ์ และเป็นที่ที่เกิดแหล่งแร่ทองคำ-เงิน จากกระบวนการน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำ ดังเช่นในรัฐเนวาด้า ด้านตะวันตกของสหรัฐอเมริกา โดยแบบจำลองการเกิดนั้นอธิบายโดยการมุดตัวของแผ่นพื้น มหาสมุทรด้วยมุมเอียงเทที่สูง ทำให้เกิดการพัฒนา เป็นร่องกลางแผ่นพื้นทวีป (Rift development) ทำให้เกิดการสะสมของหินจากภูเขาไฟชนิดแอนดิไซต์และทำให้เกิดรอยเลื่อนแนวระดับ ผลจากแรงดึงออก (Extensional setting) เป็นผลทำให้เกิดการพัฒนา รอยเลื่อนแนวตั้งแบบแบบธรรมดาผสมแนวระดับ (Oblique normal fault) ที่มีการเลื่อนในแนวตั้งมากและเกิดรอยแตกระดับลึกพร้อมกันทำให้เป็นช่องให้น้ำแร้อุณหภูมิต่ำเข้ามาเติมในช่องว่างเกิดเป็นแหล่งแร่ในที่สุด

White and Hedenquist (1994) ได้ทำการศึกษาแหล่งแร่ที่เกิดจากกระบวนการน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำชนิดปริมาณซัลเฟอร์ต่ำ (Epithermal low sulfidation mineral deposit) แหล่งแร่ที่เกิดจากกระบวนการน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำช่วงระหว่าง 50-200 C° ที่มีปริมาณซัลเฟอร์ต่ำ เกิดจากน้ำร้อนที่มีต้นกำเนิดจากตัวหินหนืดและน้ำบาดาลที่ระดับความลึกใต้ผิวดิน 5-10 กิโลเมตรภายใต้ความดันสูง และขึ้นมาบนพื้นผิวโลกโดยขึ้นมาตามรอยเลื่อน เมื่อน้ำร้อนอยู่ในสภาวะความดันต่ำขึ้นจึงเริ่มเดือด ผลหลังจากการเดือดทำให้น้ำร้อนเย็นตัวอย่างรวดเร็ว และแร่ที่ถูกน้ำร้อนพามาจึงตกผลึกโดยแร่ที่พบส่วนใหญ่เป็นแร่ควอตซ์ แร่แคลไซต์ และแอนดูลาเรีย นอกจากนี้ ยังมีปริมาณ สัดส่วนของแร่จำพวกซัลไฟด์ (Sulfide minerals) ต่อแร่ธาตุโลหะในปริมาณต่ำหรือมีความเป็น

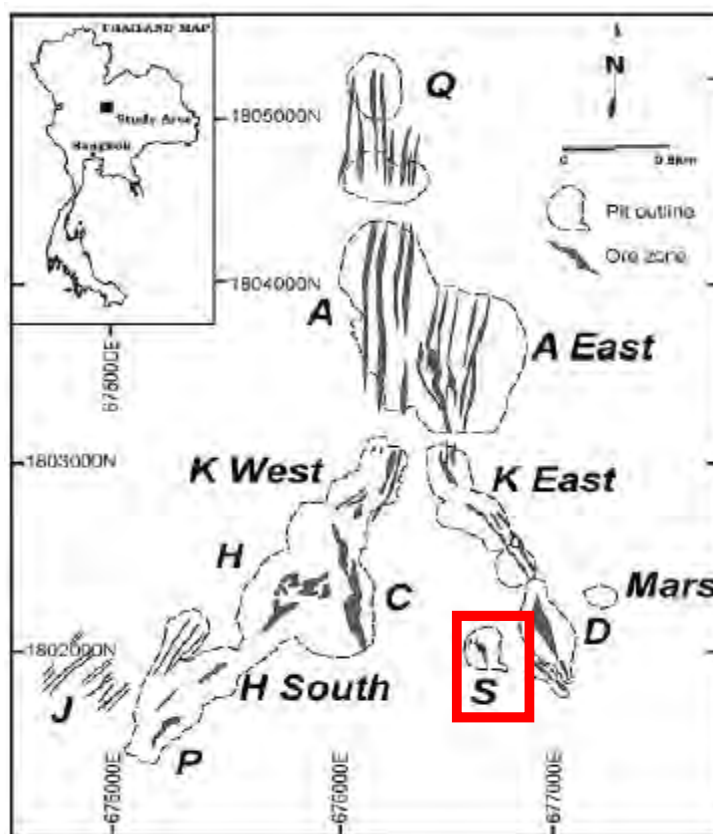
กรดต่ำ สาเหตุเกิดจากน้ำร้อนมีช่วงเวลาในการทำปฏิกิริยากับหินข้างเคียงนานและทำปฏิกิริยากับ น้ำบาดาลเป็นจำนวนมาก เป็นผลทำให้น้ำร้อนมีความเจือจางและมีความเป็นกลางมากขึ้น

### 1.3 ธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

เหมืองทองคำชาติวีเป็นแหล่งแร่ที่ผลิตทองคำอีกแห่งหนึ่งในประเทศไทย ที่ ตั้งอยู่บนบริเวณแนวภูเขาไฟเลย - เพชรบูรณ์ อายุช่วงเพอร์เมียน - ไทรแอสซิก ที่วางตัวเกือบในทิศเหนือ-ใต้ ตั้งแต่ จังหวัดเลยบริเวณรอยต่อชายแดนไทย - ลาว ไปถึงตอนจังหวัดจันทบุรี แนวภูเขาไฟเลย - เพชรบูรณ์ (Jungyusuk and Kosikanon, 1997) ซึ่งแนวรอยต่อบริเวณนี้เป็นแหล่งแร่ที่สำคัญมาก ได้แก่ แหล่งแร่โพรไฟรี แหล่งแร่สการ์น และแหล่งแร่น้ำร้อนอุณหภูมิต่ำ โดยแหล่งแร่ทองคำอัครา เป็นหนึ่งในพื้นที่ที่เกิดจากจากกระบวนการการนี้ Crossing (2006) ศึกษาและแบ่งหน่วยหินในพื้นที่แหล่งทองคำอัคราจัดเป็นแอ่งตะกอนภูเขาไฟชนิดแอนดีไซต์ (andesitic volcanic basin) โดยมีหินแอนดีไซต์โดม (andesite dome) วางตัวอยู่ทางด้านใต้ของแอ่ง ซึ่งลักษณะของหินที่ปกคลุมพื้นที่เป็นพวกหินภูเขาไฟและหินตะกอนภูเขาไฟ (pyroclastic rock) แทรกสลับกัน พบหินปูน แทรกวางตัวอยู่บนของชั้นหิน และพบการสะสมตัวของหินแก้วภูเขาไฟสีอ่อน (felsic fiamme breccias) นอกจากนี้ยังพบสายแร่ชนิดควอตซ์-คาร์บอนเนต-แอนดูลาเรีย (andularia) ที่มีแร่จำพวกซัลไฟด์เกิดรวมอยู่ด้วย และได้มีการผลิตทองคำอยู่เรื่อยมาจากพื้นที่ดังกล่าว แต่ความต้องการทองคำที่เพิ่มขึ้นกับปริมาณทองคำที่ผลิตออกมาได้เกิดความไม่สอดคล้องกัน เพราะในการสำรวจแหล่งแร่ทองคำนั้นต้องอาศัยเทคโนโลยีและการลงทุนที่มีมูลค่ามาก การทำเหมืองจึงมีความเสี่ยงต่อการลงทุน จึงต้องมีการใช้ความรู้ ทักษะทางด้านธรณีวิ ทายามาเป็นองค์ประกอบในการช่วยการสำรวจแหล่งแร่ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสภาพ (alteration zone) ของหินในพื้นที่ (country rock) ซึ่งอาจสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ (alteration vector) ถึงบริเวณที่เป็นแหล่งแร่ได้

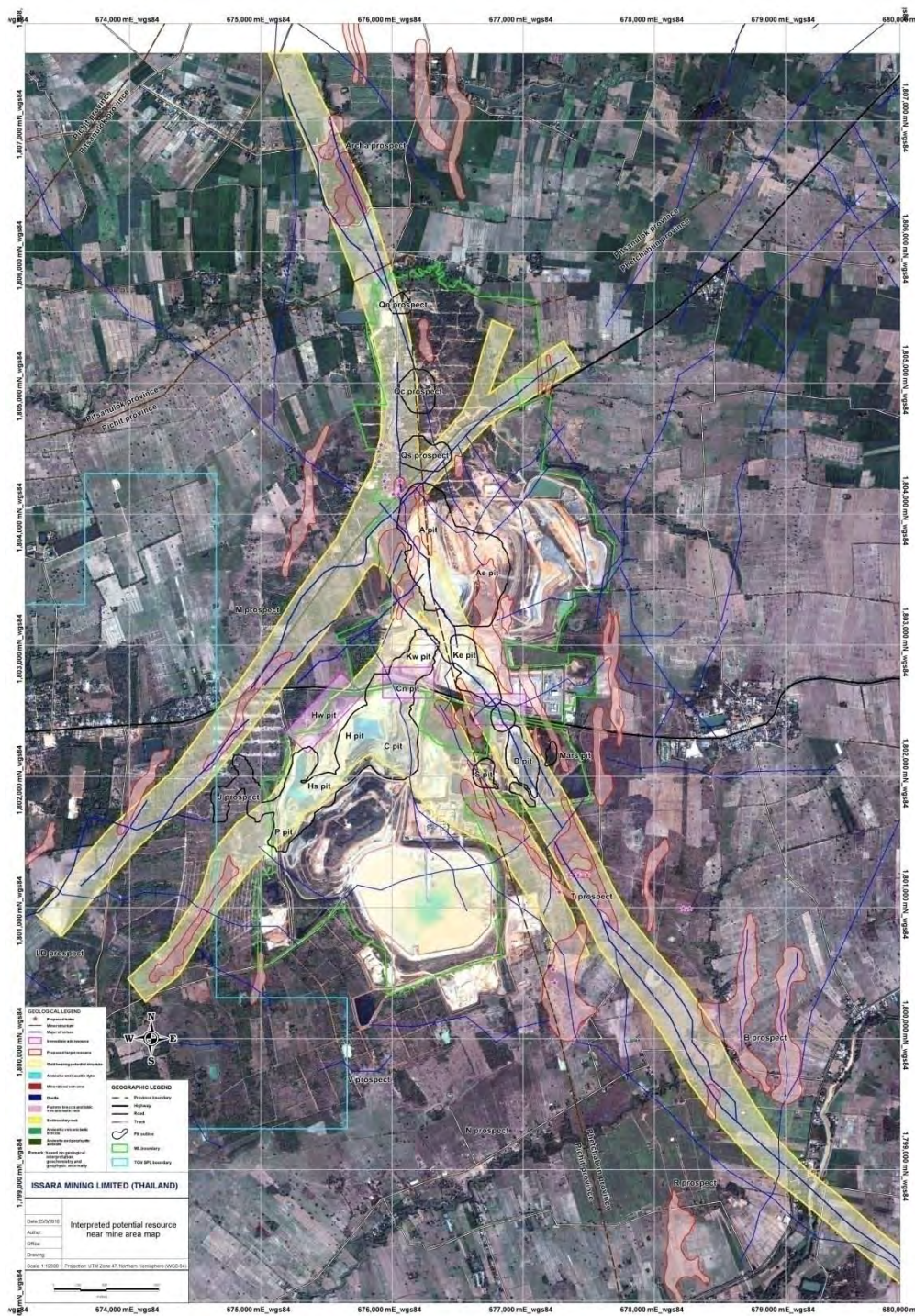


รูปที่ 1.11 เหมืองแร่ทองคำส่วนขยาย ตั้งอยู่ในท้องที่ตำบลเขาเจ็ดลูก อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร ต่อเนื่องกับตำบลท้ายดง อำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์ หรือปรากฏอยู่ในแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1 : 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ระหว่างพิกัดแนวตั้งที่ 676 E - 678 E และระหว่างพิกัดแนวนอนที่ 1802 N - 1806 N ระวัง 5141 IV ( อำเภอวังทรายพูน) ลำดับชุด L7017 (Charusiri, 2000)



รูปที่ 1.12 พื้นที่ศึกษาบ่อเอส ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของแหล่งแร่ทองคำชาติรี  
(Geology of Thailand, 2007)

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ S-pit ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออกของเหมืองทองคำชาติรี โดยปัจจุบันยังเป็นพื้นที่ศักยภาพแหล่งหนึ่งในการผลิตทองคำของเหมือง และได้มีการขยายพื้นที่ออกไปทางด้านทิศเหนือ แต่เนื่องจากปัจจัยทางด้านต้นทุนการผลิต และข้อมูลในการประเมินให้เป็นแหล่งพื้นที่ศักยภาพในการผลิตทองคำยังไม่ชัดเจน หากสามารถใช้ความสัมพันธ์ในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงสภาพ (alteration zone) ของหินในพื้นที่ (country rock) ซึ่งอาจสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ (alteration vector) ถึงบริเวณที่เป็นแหล่งแร่และสามารถประเมินให้เป็นแหล่งพื้นที่ศักยภาพได้ นับว่าเป็นประโยชน์ในการศึกษาครั้งนี้อย่างมาก



รูปที่ 1.13 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงบ่อเหมืองต่างๆ ภายในแหล่งแร่ทองคำชาติรี (Issara Mining Limited, 2010)

#### 1.4 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพหินในพื้นที่ โดยใช้วิธี ASD และ XRD
2. เพื่อเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ที่ได้จากวิธี ASD และ XRD

#### 1.5 ขอบเขตงานวิจัย

เน้นการศึกษา Alteration zone เฉพาะในพื้นที่ S-pit ของแหล่งแร่ชาติรีเท่านั้นและเน้นผลการวิเคราะห์โดยวิธี ASD และ XRD โดยไม่ใช้วิธีการศึกษาอื่น เช่น ธรณีเคมีของหินและแร่ อายุ และ Isotope ของหิน/แร่

#### 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. บอกประเภท ชนิด และลักษณะของเขตแร่ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพในแหล่งแร่
2. ประสิทธิภาพและขีดจำกัดของเครื่องมือตรวจวัด ASD เพื่อใช้ประยุกต์ในงานเจาะสำรวจ โดยเชื่อมโยงกับประเภท ชนิด และลักษณะของเขตแร่ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ

## บทที่ 2

# วิธีดำเนินงานวิจัย

- 2.1 รวบรวมข้อมูลและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2.2 ออกภาคสนามและเก็บข้อมูลจากพื้นที่ศึกษา
- 2.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง
- 2.4 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาคสนาม  
และจากแผ่นหินบาง
- 2.5 อภิปรายและสรุปงานวิจัย

## บทที่ 2

### วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 2.1 รวบรวมข้อมูลและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 รวบรวมและประมวลผลงานที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแหล่งแร่ของเหมืองทองคำตรีจังหวัดพิจิตร และงานธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้องในพื้นที่และระดับมหภาค

2.1.2 ศึกษาข้อมูลของเครื่อง ASD

2.1.3 เลือกพื้นที่ศึกษา หลุมเจาะ 07414RD Section 1690 บ่อเอส ระดับความลึกของหลุมเจาะ 312 เมตร

#### 2.2 ภาคสนามและเก็บข้อมูลจากพื้นที่ศึกษา

ศึกษาและจำแนกโซนแร่ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ จาก core samples จากนั้นเก็บข้อมูลตัวอย่างโดยจะเลือกเก็บตัวอย่าง 2 ประเภท ได้แก่ การเลือกเก็บแบบสุ่ม กับการเลือกเก็บแบบเฉพาะจุด โดยเลือกเก็บตัวอย่างจำนวน 50 และ 16 จุดตามลำดับ ในการเลือกเก็บตัวอย่างนี้จะเก็บจาก core samples และ rock chips



รูปที่ 2.1 การเก็บตัวอย่างจาก core samples (ภาพถ่าย) และการเก็บตัวอย่างจาก rock chips (ภาพขาว)

2.2.1 ศึกษาลักษณะโครงสร้างและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของหินจาก core samples โดยบันทึกลักษณะของหิน แร่องค์ประกอบ dyke สายแร่ควอตซ์ สายแร่แคลไซต์ ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 190-312 เมตร บันทึกทุกๆ ระดับความลึกต่างกัน 5 เมตร

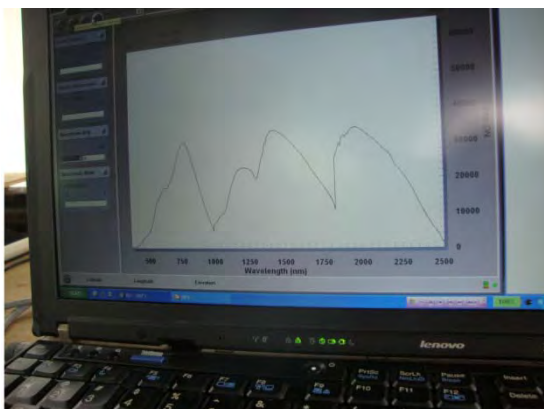


2.2.2 การตรวจวัดตัวอย่างด้วยเครื่อง ASD จำเป็นจะต้องให้หัวตรวจวัดสัมผัสกับผิวของตัวอย่างแน่นสนิทที่สุด เพราะเครื่อง ASD ใช้หลักการดูดกลืนช่วงความยาวคลื่นของสารประกอบภายในแร่ที่ไม่เท่ากัน การใช้เครื่อง ASD ในการตรวจวัดมีความสะดวก รวดเร็ว และประหยัดเวลาอย่างมาก แสดงรูปเครื่องมือดังรูปที่ 2.2 และมีขั้นตอนดังนี้



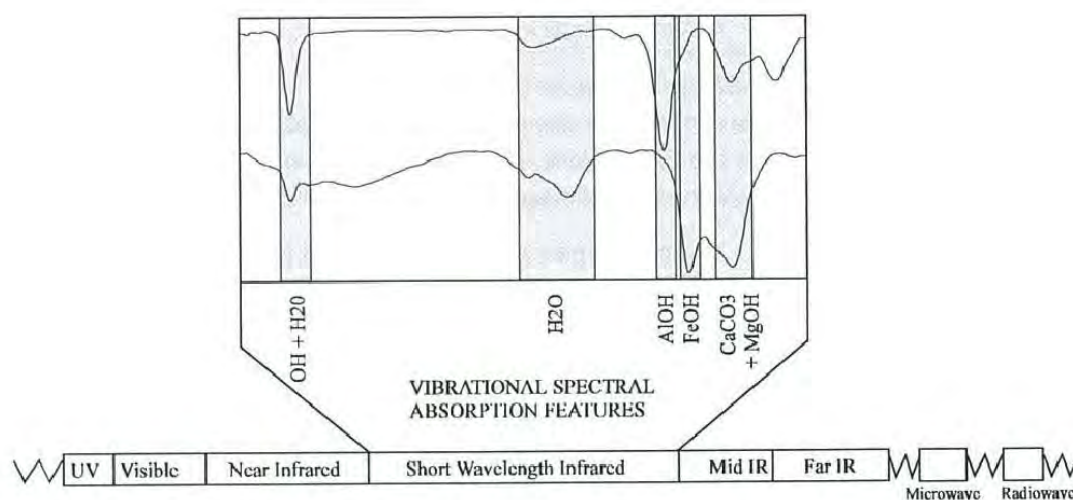
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของเครื่อง ASD

ขั้นตอนการตรวจวัดด้วยเครื่อง ASD เมื่อทำการติดตั้งเครื่องเรียบร้อยแล้ว ต้องรอเวลาให้เครื่องทำงานครึ่งชั่วโมงจึงจะเริ่มใช้ตรวจวัดได้ จากนั้นทำการ calibrate เครื่องก่อนที่จะใช้วัดตัวอย่าง โดยใช้แผ่น calibrate สีขาวของเครื่อง จะใช้เวลาประมาณ 2-4 นาที หลังจากนั้นจึงนำหัวตรวจวัดไปแนบกับตัวอย่าง การตรวจวัดแต่ละตัวอย่างจะใช้เวลาไม่เกิน 3-4 นาที ค่าที่ได้จากการตรวจวัดจะออกมาในรูปของ peak ที่ถูกดูดกลืนช่วงคลื่นที่แตกต่างกันไป และจะปรากฏอยู่บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 2.3 ค่าช่วงคลื่นที่ถูกดูดกลืนนี้จะไม่สามารบอกได้ว่าแร่ที่ตรวจวัดเป็นแร่ชนิดใด จะต้องนำไปแปลค่าอีกครั้ง



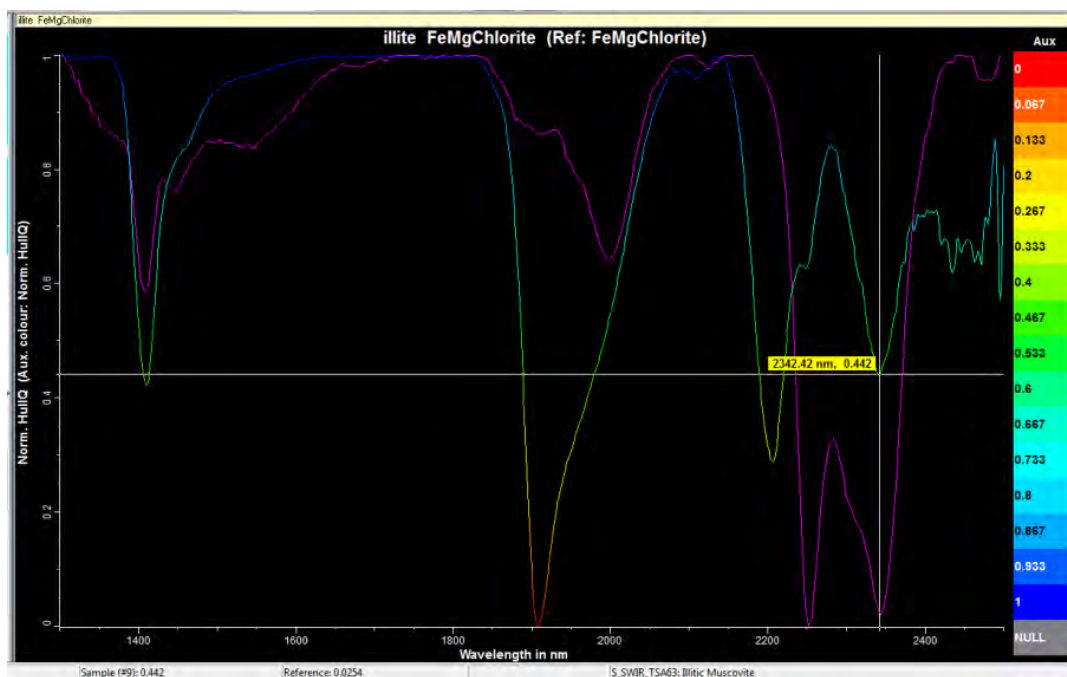
รูปที่ 2.3 peak ที่ถูกบันทึกได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง ASD และจะถูกส่งมาเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์

2.2.3 การแปลผลจาก absorption peak ที่วัดได้ด้วยเครื่อง ASD จะใช้หลักการของการดูดกลืนช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งแร่ดินแต่ละชนิดจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมีที่ต่างกัน จึงเกิดการดูดกลืนจากพันธะภายในที่ต่างกัน เป็นผลทำให้สามารถจำแนกชนิดแร่ดินได้ ดังรูปที่ 2.4

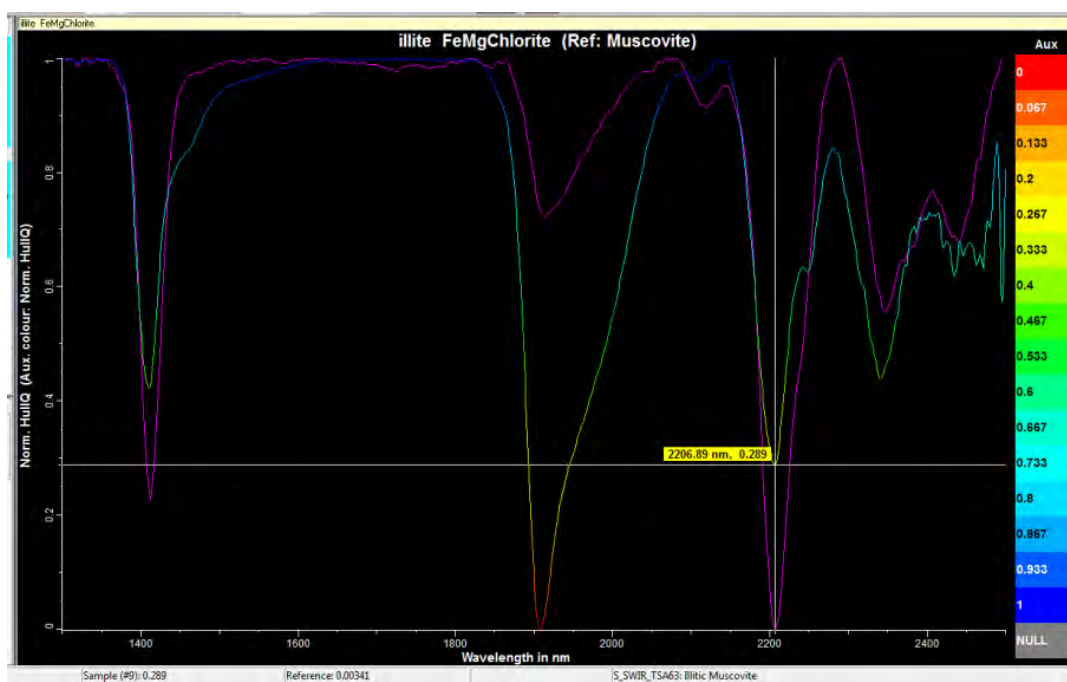


รูปที่ 2.4 เป็นความยาวช่วงคลื่นที่ถูกดูดกลืนของหมู่สารประกอบต่างๆ ภายใน SWIR (GMEX Edition3, 2008)

การแปลค่าที่ได้จาก absorption peak จะมี standard peak ของแร่ดินแต่ละชนิดเพื่อเทียบเคียง ทำให้เพิ่มความแม่นยำในการแปลชนิดแร่ได้มากขึ้น แสดงในรูปที่ 2.4 และ 2.5



รูปที่ 2.5 การแปล absorption peak ที่วัดได้จากตัวอย่าง เทียบกับ standard peak ของแร่ FeMgChlorite ผลคือมีความสอดคล้องกันที่ความยาวช่วงคลื่นที่ 2250 และ 2242 nm

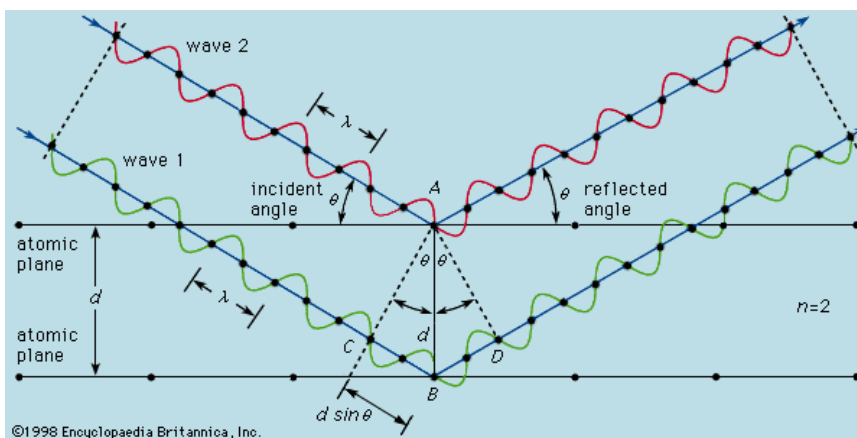


รูปที่ 2.6 การแปล absorption peak ที่วัดได้จากตัวอย่าง เทียบกับ standard peak ของแร่ muscovite ผลคือมีความสอดคล้องกันที่ความยาวช่วงคลื่นที่ 2206 nm

### 2.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

เลือกเก็บตัวอย่างจาก core samples แบบจำเพาะจุด 16 ตัวอย่าง จะนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีทางธรณีเคมีด้วยวิธี X-ray diffractometer และวิธีทางซิลิการรณนา

2.3.1 การวิเคราะห์แร่ดิน ด้วยวิธี X-ray diffractometer อาศัยหลักการของ Bragg's law ด้วยแนวคิดที่ว่า ผลึกประกอบด้วย "ชั้น (layer)" หรือ "ระนาบ (plane)" ของอะตอมซึ่งสามารถสะท้อนคลื่นที่ตกกระทบ โดยที่มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน โดยลำคลื่นที่สะท้อนออกไปจากระนาบต่างๆ นั้นจะมีความเข้มสูง ถ้าความแตกต่างระหว่างระยะเดินทาง (path difference) ของคลื่นที่สะท้อนจากระนาบที่อยู่ข้างเคียงกันมีค่าเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นที่ตกกระทบ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.7 Bragg's law

สมการของ Bragg's law จะได้ว่า  $2d_{hkl}\sin\theta_{hkl} = n\lambda$

โดยที่  $\lambda$  เป็นความยาวคลื่นในหน่วยอังสตรอม (Å)

$n$  เป็นลำดับของการสะท้อน

$d_{hkl}$  เป็นระยะห่างระหว่างระนาบ (hkl)

$\theta_{hkl}$  เป็นมุมตกกระทบและมุมสะท้อนเมื่อวัดจากแนวระนาบ hkl

#### 2.3.1.1 เงื่อนไขการวิเคราะห์

นำตัวอย่างหินที่ได้จากการเลือกเก็บแบบเฉพาะจุด 16 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer โดยมีเงื่อนไขการวิเคราะห์ดังนี้

หลอดรังสีเอกซ์	CuK $\alpha$
ความยาวคลื่น	1.5405
ความต่างศักย์ไฟฟ้า	40 kV
กระแสไฟฟ้า	30 mA
ความเร็วของแกนรองรับตัวอย่าง	1 องศา/นาที
มุมเริ่มต้น	5 องศา
มุมสิ้นสุด	30 องศา

### 2.3.1.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ตัวอย่างแร่ดินด้วยวิธี X-ray diffractometer มี 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

- การวิเคราะห์แบบผง (powder) เป็นการนำตัวอย่างไปบดเป็นผงด้วยเครื่องบด
- การวิเคราะห์แบบ oriented เป็นการนำตัวอย่างเติม Sodium hexametaphosphate เพื่อให้ดินเกิดการกระจายตัว ผสมกับน้ำกลั่น จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนไม่ต่ำกว่า 5 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปกรองแยกส่วนของแร่ดิน (clay minerals) และส่วนที่ไม่ใช่แร่ดิน (non-clay minerals) ออกจากกัน ส่วนที่เป็นแร่ดินจะนำไปวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 2.8 วิธีวิเคราะห์แบบ oriented จะได้ส่วนที่เป็นแร่ดินและส่วนที่ไม่ใช่แร่ดินแยกชั้นกัน (ภาพซ้าย) ส่วนที่เป็นแร่ดินจะแยกใส่ plate นำไปวิเคราะห์ต่อ (ภาพขวา)

- การวิเคราะห์แบบ glycolated คือการนำตัวอย่างที่ผ่านชั้นตอน oriented มาใส่ใน desecrater ซึ่งภายในมีสารเคมี ethylene glycol ที่ไว้ไม่ต่ำกว่า 12 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์ต่อ
- การวิเคราะห์ด้วยการ heat (550 °C 1 hr) เป็นชั้นตอนสุดท้าย นำตัวอย่างอบที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงปล่อยให้ตัวอย่างเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงไปวิเคราะห์ ข้อควรระวังคือตัวอย่างจะแตกและหลุดเป็นแผ่น อาจทำให้ไม่สามารถนำไปทำการวิเคราะห์ได้

### 2.3.1.3 การแปลผลจาก Diffraction Pattern

Diffraction Pattern ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี X-ray diffractometer จะแสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างมุม  $2\theta$  ในแกน x กับค่าความเข้ม หรือ ความสูงของ peak ในแกน Y และ diffraction pattern มักนิยมแสดงในรูปของค่า d-spacing ( Å ) โดยแทนค่าตามสมการ ของ Bragg'a law คือ  $n\lambda = 2d\sin\theta$

#### 2.3.1.3.1 กลุ่มแร่ดิน ( Clay minerals )

แร่ดิน kaolinite

ค่า d-spacing ที่ 7 Å หรือ  $2\theta$  มีค่า 12.6 องศา ผ่านชั้นตอน oriented และ glycolate หรือการนำไปอบด้วย ethylene glycol ค่า d-spacing ก็ยังคงมีค่า 7 Å หรือ  $2\theta$  มีค่า 12.6 องศา จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่หลังจากนำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 550 °C ค่า d-spacing ที่ 7 Å หรือ  $2\theta$  มีค่า 12.6 องศา จะหายไป เนื่องจากโครงสร้างของแร่ดิน kaolinite ถูกทำลาย

แร่ดิน illite

ค่า d-spacing ที่ประมาณ 10 Å หรือ  $2\theta$  มีค่า 8.8 องศา ผ่านชั้นตอน oriented และ glycolate หรือการนำไปอบด้วย ethylene glycol ค่า d-spacing ก็ยังคงมีค่า 10 Å หรือ  $2\theta$  มีค่า 8.8 องศา จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง และหลังจากนำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 550 °C ค่า d-spacing ที่ 10 Å หรือ  $2\theta$  มีค่า 8.8 องศา จะเท่าเดิม เนื่องจากอุณหภูมิ 550 °C ไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างของแร่ดิน illite

แร่ดิน montmorillonite

ค่า d-spacing ที่ประมาณ 14 Å หรือ  $2\theta$  มีค่า 6.3 องศา เมื่อผ่านชั้นตอน oriented ค่า d-spacing ที่ประมาณ 14 Å หรือ  $2\theta$  มีค่า 6.3 องศา จะยังคงอยู่ แต่เมื่อผ่านชั้นตอน glycolate

หรือการนำไปอบด้วย ethylene glycol ค่า d-spacing จะเปลี่ยนไปเป็น 18 Å หรือ  $2\theta$  มีค่า 4.9 องศา และหลังจากนำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 550 °C ค่า d-spacing ก็เปลี่ยนไปเป็น 10 Å หรือ  $2\theta$  มีค่า 8.8 องศา เนื่องจากแร่ดิน montmorillonite มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้ง่ายต่อปัจจัยภายนอก

แร่ chlorite

ค่า d-spacing ที่ประมาณ 14-15 Å หรือ  $2\theta$  มีค่า 6.3 องศา ผ่านขั้นตอน oriented และ glycolate หรือการนำไปอบด้วย ethylene glycol ค่า d-spacing ก็ยังคงมีค่า 14-15 Å หรือ  $2\theta$  มีค่า 6.3 องศา จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง และหลังจากนำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 550 °C ค่า d-spacing ที่ 14-15 Å หรือ  $2\theta$  มีค่า 6.3 องศา จะยังคงอยู่และเด่นชัดขึ้น

#### 2.3.1.3.2 กลุ่มไม่ใช่แร่ดิน ( Non-clay minerals )

แร่ควอตซ์ ค่า d-spacing ที่ 4.26 Å และ 3.35 Å หรือ  $2\theta$  มีค่า 26.2 องศาและ 20.8 องศา ผ่านขั้นตอน oriented และ glycolate หรือการนำไปอบด้วย ethylene glycol ค่า d-spacing ก็ยังคงมีค่า 4.26 Å และ 3.35 Å หรือ  $2\theta$  มีค่า 26.2 องศาและ 20.8 องศา จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง และหลังจากนำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 550 °C ค่า d-spacing ก็ยังคงมีค่า 4.26 Å และ 3.35 Å หรือ  $2\theta$  มีค่า 26.2 องศาและ 20.8 องศา

### 2.3.2 การวิเคราะห์แร่ดินทางซิลาวรรณนา

2.3.2.1 ตัดตัวอย่างหินต้องการจะศึกษาให้มีความหนาน้อยกว่า 3 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำหินที่ได้ติดบนกระจก

2.3.2.2 นำหินที่ติดลงบนกระจกแล้วมาขัดด้วยเครื่องขัดหยาบและเครื่องขัดละเอียดให้มีและระวังไม่ให้หินที่ขัดหลุดออกจากกระจก

2.3.2.3 นำหินที่ผ่านเครื่องขัดจนมีความบางพอสมควร ไปขัดต่อด้วยผงขัดเบอร์ 1000 และเบอร์ 600 จนมีความหนาประมาณ 0.03 มิลลิเมตร โดยการขัดต้องระวังตัวอย่างหินที่ติดอยู่บนกระจกหลุดออกไป

2.3.2.5 นำแผ่นหินบางที่ขัดไปไปตรวจดูด้วยกล้องโพลาไรซ์เพื่อตรวจสอบว่าหินที่ขัดมีความหนาเหมาะสมในการศึกษาทางซิลาวรรณนา หากตัวอย่างหินที่ขัดยังมีความหนามากจะทำให้ไม่เห็นองค์ประกอบของแร่ชัดเจน ต้องนำไปขัดใหม่ และนำกลับมาตรวจดูภายใต้กล้องอีกครั้ง

2.3.2.5 เมื่อได้ความหนาของตัวอย่างหินที่เหมาะสมจึงปิดกระจกด้วยแผ่นกระจกกันใส และทำความสะอาดแผ่นหินบาง เพื่อนำไปศึกษาทางซิลิคาวิทยา

2.4 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาคสนามและจากแผ่นหินบาง

2.4.1 รวบรวมและวิเคราะห์ ผลข้อมูลที่ได้จากลักษณะทางธรณีวิทยา การศึกษาซิลิคาวิทยา การศึกษาทางธรณีเคมีด้วย XRD และการแปลผลชนิดแร่จากวิธี ASD เปรียบเทียบกัน

2.4.2 ตีความและประมวลผล เพื่อ ชี้ออกถึงชนิด ประเภท และ zone แร่ดินที่เกิดการ alteration ในพื้นที่ศึกษา

2.5 อภิปรายและสรุปงานวิจัย

2.5.1 อภิปรายผลเชิงเปรียบเทียบระหว่าง ชนิดแร่ที่ได้จากการศึกษาด้วย วิธี ASD และ XRD

2.5.2 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างชนิดแร่ที่ได้จากวิธี ASD และ XRD นำผลที่ได้ไป เทียบเคียงกับแหล่งแร่บริเวณอื่น รวมถึงบอกความสัมพันธ์กับแหล่งแร่บริเวณที่ศึกษา

2.5.3 สรุปผลการศึกษาวิจัย และจัดทำรูปเล่มรายงาน



## บทที่ 3

# ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล

- 3.1 ผลการศึกษาทางกายภาพ
- 3.2 ผลการวิเคราะห์ชนิดแร่ด้วยวิธี Analytical Spectral Devices (ASD)
- 3.3 ผลการวิเคราะห์ชนิดแร่ด้วยวิธี X-Ray Diffractometer (XRD)
- 3.4 ผลวิเคราะห์ทางศิลาวรรณนา (Petrography)

### บทที่ 3

#### ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล

ศึกษาตัวอย่างหินจากบ่อเอส หลุมเจาะ 07414RD จาก Core sample จำนวน 16 ตัวอย่าง ระดับความลึก 312 เมตร ตัวอย่างหลุมเจาะจากแท่ง core ที่ระดับความลึก (เมตร) ต่างๆ ดังนี้ (16 ตัวอย่าง)

195.80	251.35
206.00	278.10
223.05	285.55
224.50	290.00
224.70	294.41
246.70	294.58
249..60	302.37
249.80	309.60

จำนวนตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

- ผลการศึกษาทางกายภาพ
- ผลการวิเคราะห์ชนิดแร่ด้วยวิธี Analytical Spectral Devices (ASD)
- ผลการวิเคราะห์ชนิดแร่ด้วยวิธี X-Ray Diffractometer (XRD)
- ผลวิเคราะห์ทางศิลาวรรณนา (Petrography)



รูปที่ 3.1 แผนที่ธรณีวิทยาภาพตัดขวางแสดงหลุมเจาะในพื้นที่บ่อเอส Scale 1:500  
(Issara Mining Limited, 2010)

### 3.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ

จากข้อมูลหลุมเจาะ 07414RD section 1690 ความลึกหลุม 312 เมตร โดยเริ่มศึกษาที่ระดับความลึก 195 เมตร ถึง 312 เมตร ได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของ core samples และ rock chips แล้วพบว่าสามารถแบ่งหินออกเป็นช่วงย่อยๆ ได้ 4 ช่วง ได้แก่

- monomictic andesitic breccias
- hydrothermal breccias ที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพแบบ phyllic ปานกลาง
- Au deposit flow
- hydrothermal breccias ที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพแบบ phyllic สูง



รูปที่ 3.1.1 Rock chip จากหลุมเจาะ 07414RD ใช้ในการศึกษาลักษณะทางกายภาพ

1. monomictic andesitic breccias อยู่ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 195-240 เมตร เป็นช่วงของหินกรวดเหลี่ยมที่มีเศษหินส่วนใหญ่เป็นหินแอนดีไซต์ มีขนาดตั้งแต่ 0.5-2 เซนติเมตร มีการคัดขนาดไม่ดี ลักษณะของหินกรวดเหลี่ยมมีสีเขียวอ่อนถึงเขียวเข้ม พบสายแร่คาร์บอนเนตสีชมพูแทรกตัดเข้ามาจำนวนมาก และมีสายแร่ควอตซ์แทรกตัดเข้ามาเล็กน้อย
2. hydrothermal breccias อยู่ที่ระดับความลึกตั้งแต่ ที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพแบบ phyllic ปานกลาง โดยพบสายแร่ซิลิกาสีเทาตัดเข้ามาที่มีความหนาประมาณ 4 เซนติเมตร หินกรวดเหลี่ยมจะมีสีออกเทาขาวถึงเทาเข้ม และพบเศษหินของแร่หลายชนิด ได้แก่ แร่เฟลสปาร์ แร่คลอไรด์ และแร่ควอตซ์ มีขนาดตั้งแต่ 0.5-1 เซนติเมตร
3. Au deposit flow เป็นช่วงที่มีพบสายแร่ตัดเข้ามา และพบแร่ทองคำที่บริเวณนี้ หินจะมีลักษณะค่อนข้างนุ่มมากกว่าบริเวณอื่น และมีแร่ซัลไฟด์สีเหลือง สายแร่ควอตซ์ที่พบจะเป็น

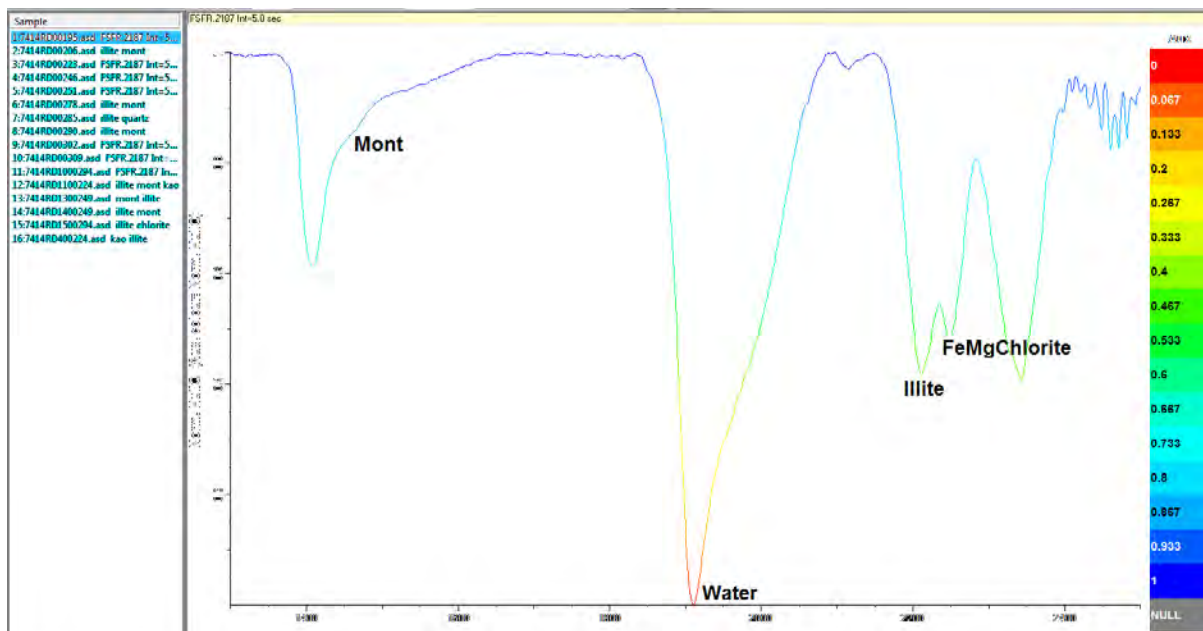
สีเทาปานกลางถึงเทาเข้ม พบสายแร่คาร์บอเนตสีขาวหนาประมาณ 1-2 เซนติเมตรตัดเข้ามา

4. hydrothermal breccias ที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพแบบ phyllic สูง มีลักษณะการผุของหินค่อนข้างมาก แต่น้อยกว่าในช่วงของ Au deposit flow หินในช่วงนี้จะมีสีเทาปานกลาง และมีสีเหลืองของแร่ซัลไฟด์เกิดขึ้น หินกรวดเหลี่ยมที่พบจะมีเศษหินของแร่หลายชนิด การคัดขนาดไม่ดี พบสายแร่ควอตซ์สี ขาวและสายแร่คาร์บอเนตสีขาวตัดเข้ามา มีความหนาประมาณ 1-2 เซนติเมตร

### 3.2 ผลการวิเคราะห์ชนิดแร่ด้วยวิธี Analytical Spectral Devices (ASD)

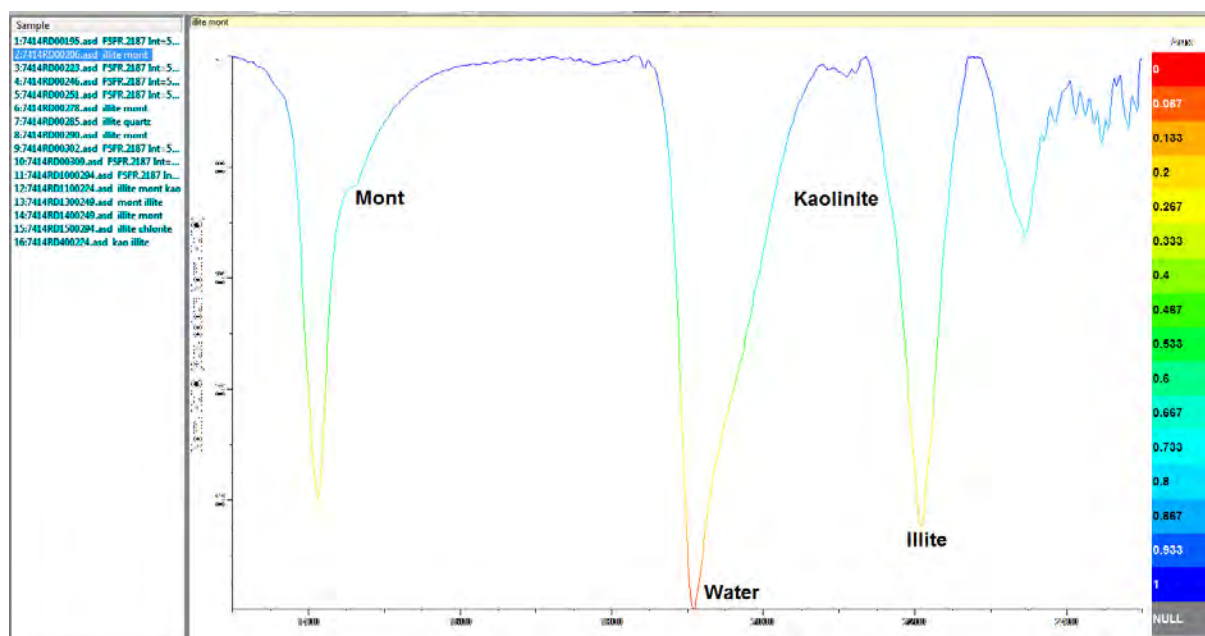
จากการนำตัวอย่างหินจากหลุมเจาะ 07414 RD จำนวน 16 ตัวอย่าง มาตรวจวัดค่า absorption ที่วัดได้จากเครื่อง ASD และทำการแปลผลชนิดแร่ จะสามารถวิเคราะห์ผลได้ตามรูปดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 หลุมเจาะ 07414 RD ที่ระดับความลึก 195.80 m



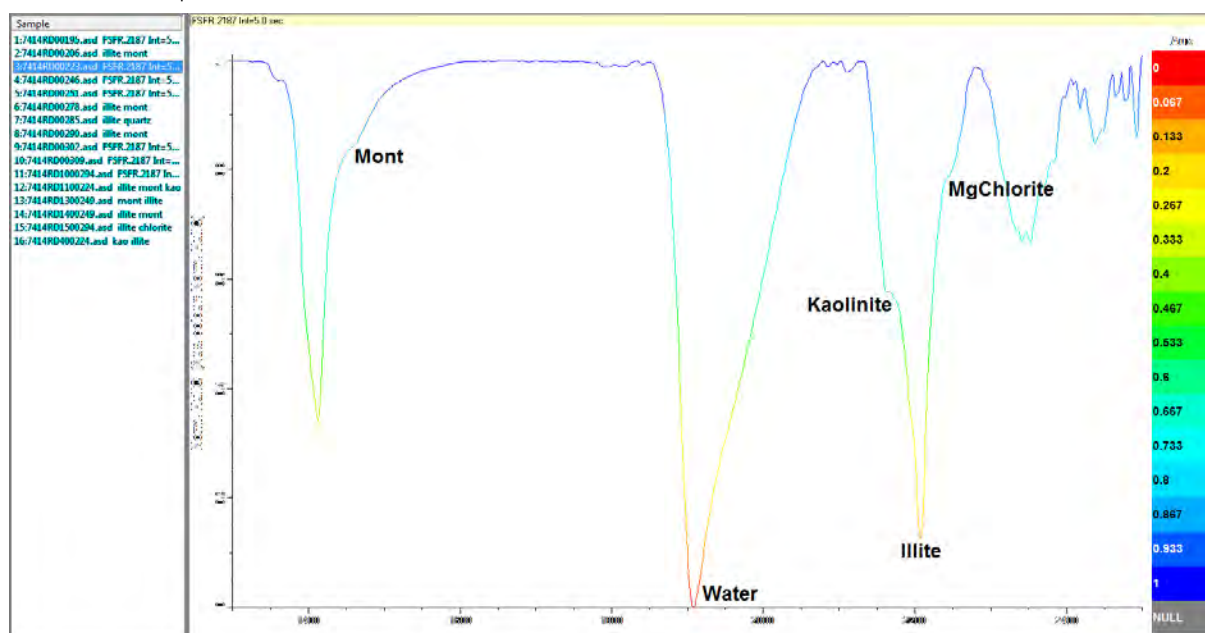
รูปที่ 3.2.1 กราฟแสดงการแปลชนิดแร่ด้วยผู้ศึกษา ซึ่งได้แร่ดิน montmorillonite, illite และ FeMgChlorite

ตัวอย่างที่ 2 หลุมเจาะ 07414 RD ที่ระดับความลึก 206.00 m



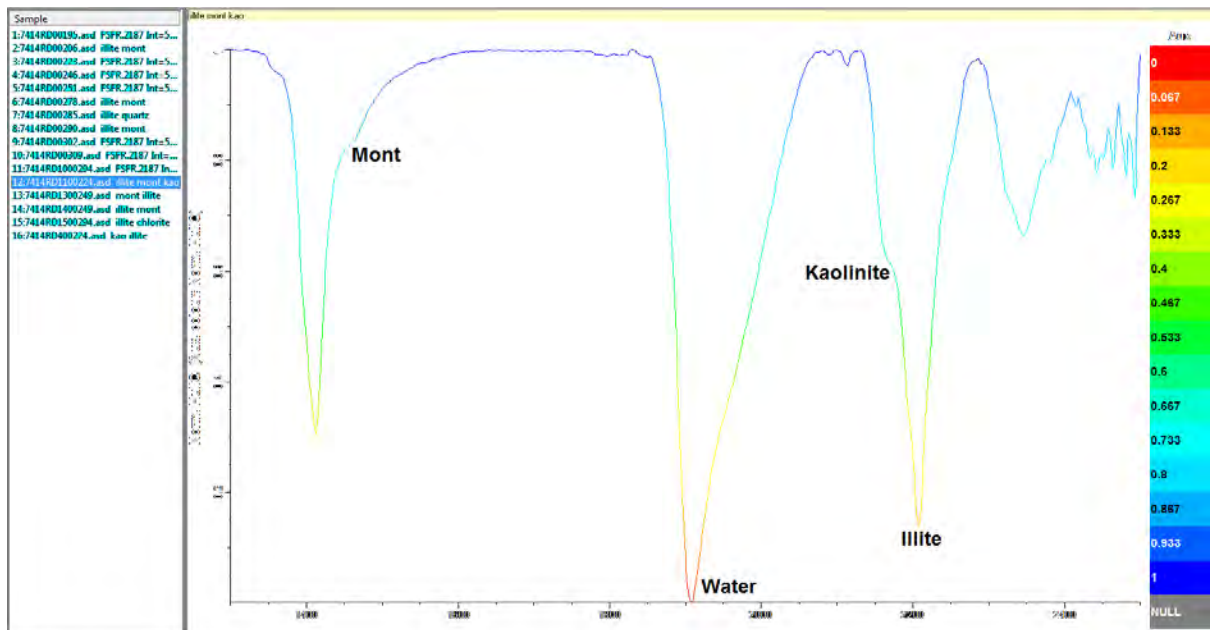
รูปที่ 3.2.2 กราฟแสดงการแปลชนิดแร่ด้วยผู้ศึกษา ซึ่งได้แร่ดิน montmorillonite, kaolinite และ illite

ตัวอย่างที่ 3 หลุมเจาะ 07414 RD ที่ระดับความลึก 223.05 m



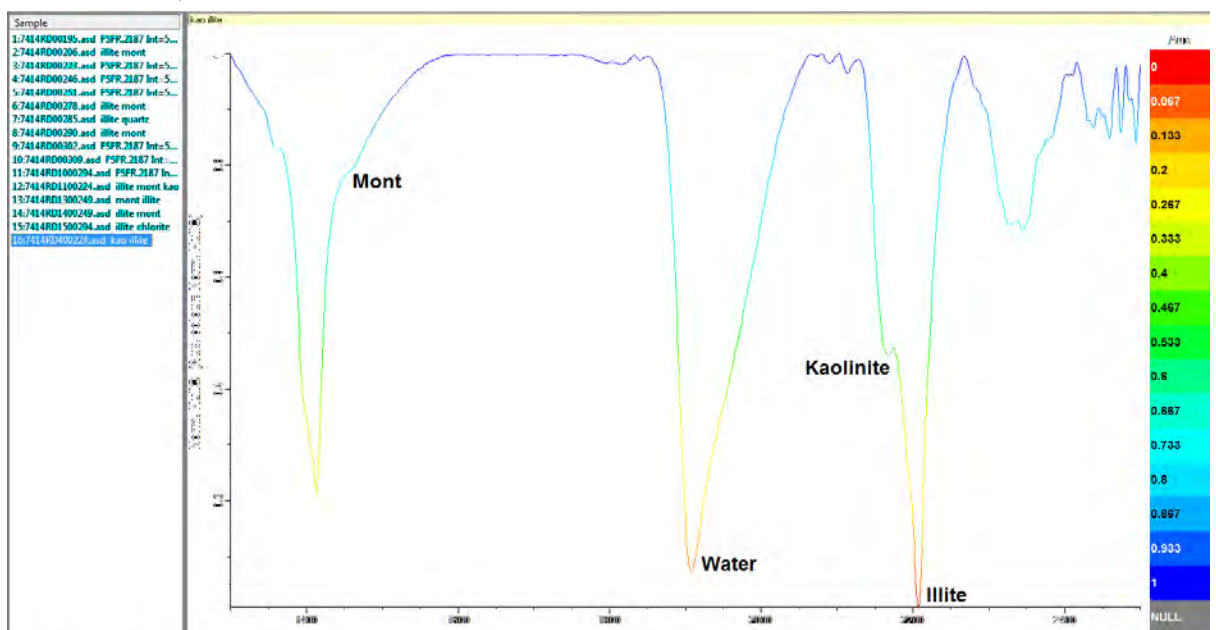
รูปที่ 3.2.3 กราฟแสดงการแปลชนิดแร่ด้วยผู้ศึกษา ซึ่งได้แร่ดิน montmorillonite, kaolinite, illite และ MgChlorite

ตัวอย่างที่ 4 หลุมเจาะ 07414 RD ที่ระดับความลึก 224.50 m



รูปที่ 3.2.4 กราฟแสดงการแปลงชนิดแร่ด้วยผู้ศึกษา ซึ่งได้แร่ดิน montmorillonite, kaolinite และ illite

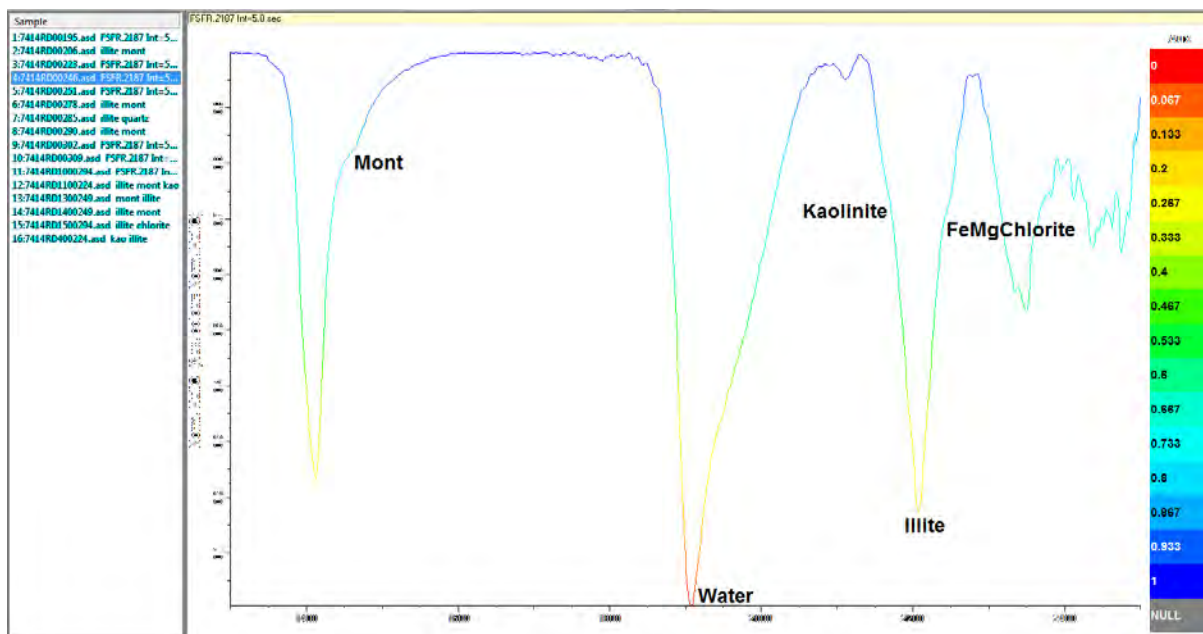
ตัวอย่างที่ 5 หลุมเจาะ 07414 RD ที่ระดับความลึก 224.70 m



รูปที่ 3.2.5 กราฟแสดงการแปลงชนิดแร่ด้วยผู้ศึกษา ซึ่งได้แร่ดิน montmorillonite, kaolinite และ illite

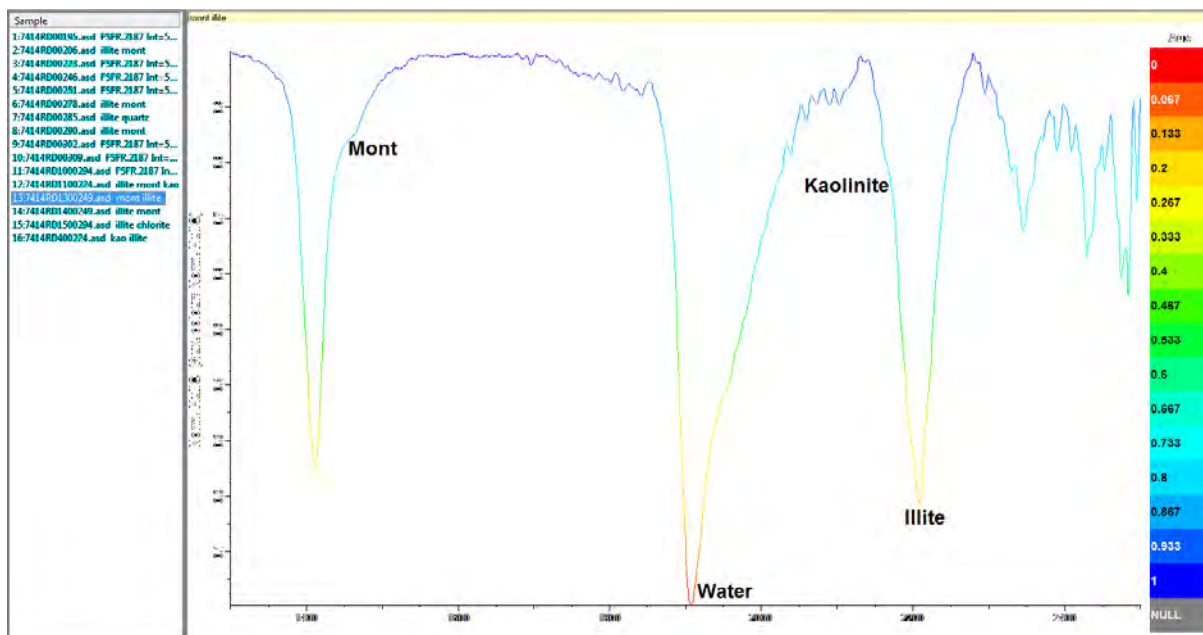


ตัวอย่างที่ 6 หลุมเจาะ 07414 RD ที่ระดับความลึก 246.70 m



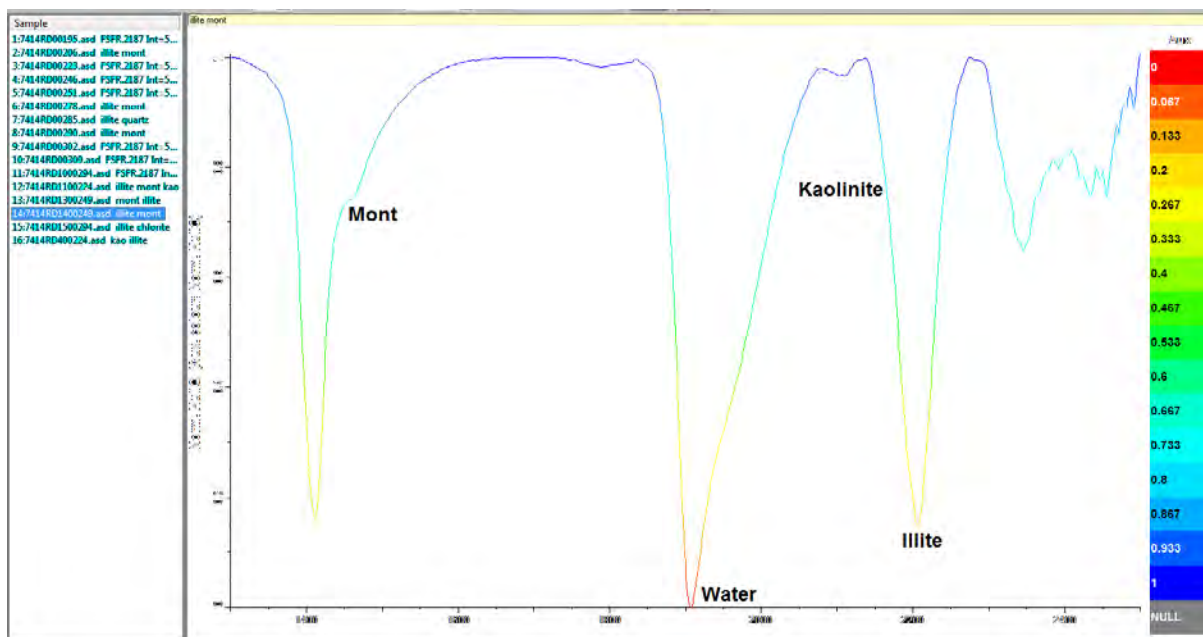
รูปที่ 3.2.6 กราฟแสดงการแปลชนิดแร่ด้วยผู้ศึกษา ซึ่งได้แร่ดิน montmorillonite, kaolinite, illite และ FeMgChlorite

ตัวอย่างที่ 7 หลุมเจาะ 07414 RD ที่ระดับความลึก 249.60 m



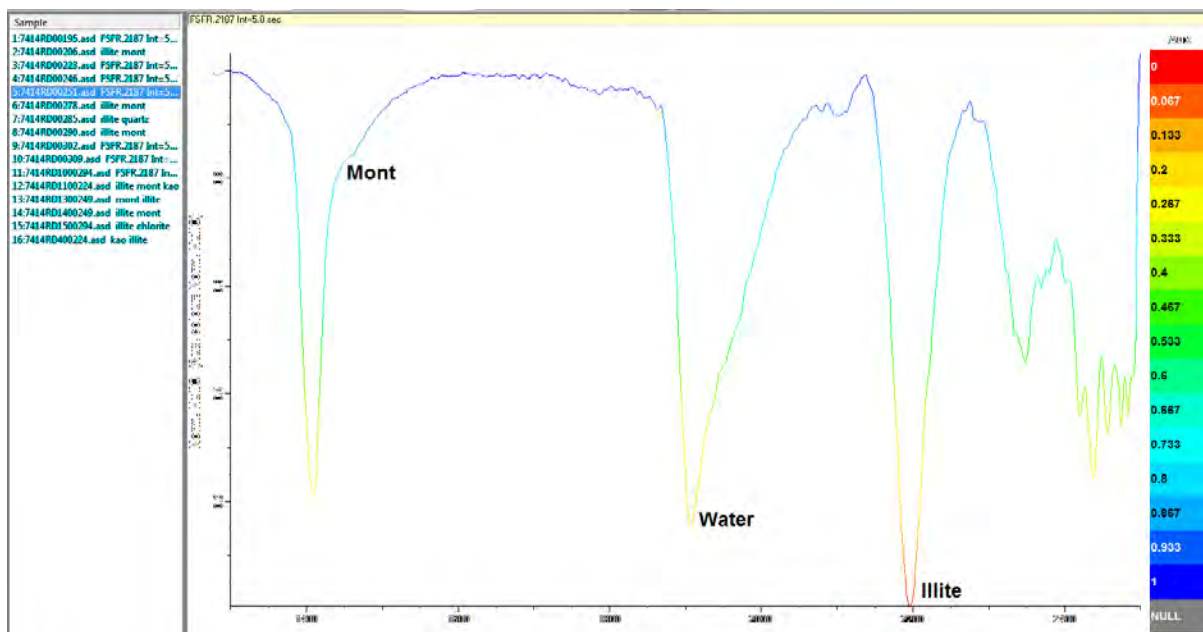
รูปที่ 3.2.7 กราฟแสดงการแปลชนิดแร่ด้วยผู้ศึกษา ซึ่งได้แร่ดิน montmorillonite, kaolinite และ illite

ตัวอย่างที่ 8 หลุมเจาะ 07414 RD ที่ระดับความลึก 249.80 m



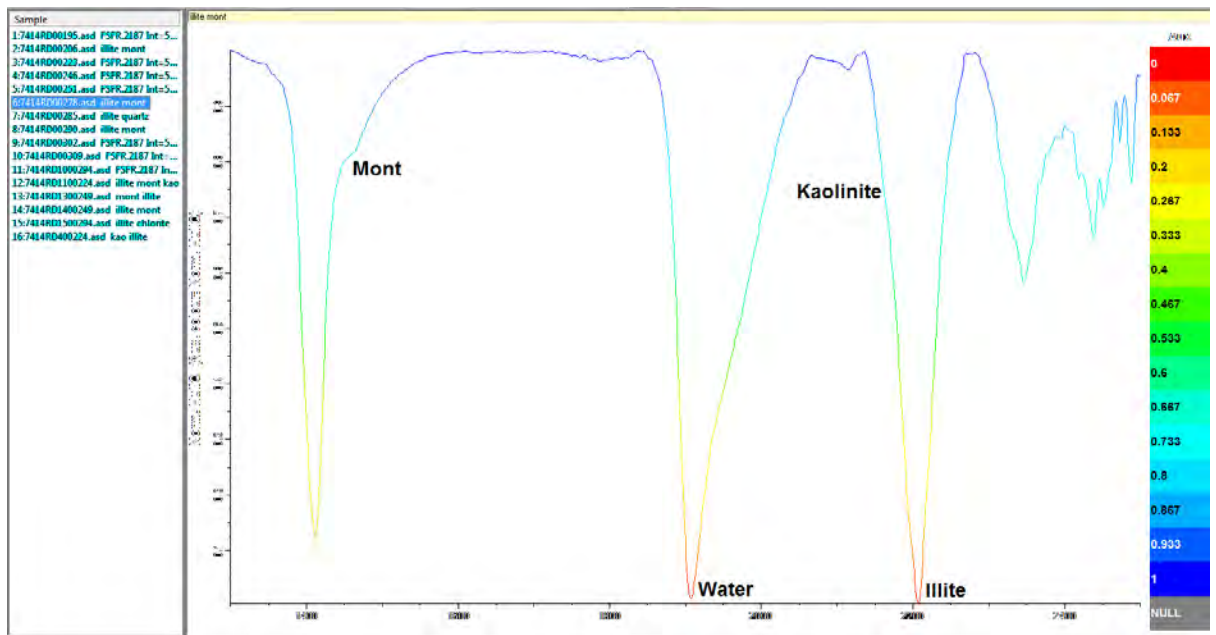
รูปที่ 3.2.8 กราฟแสดงการแปลชนิดแร่ด้วยผู้ศึกษา ซึ่งได้แร่ดิน montmorillonite, kaolinite และ illite

ตัวอย่างที่ 9 หลุมเจาะ 07414 RD ที่ระดับความลึก 251.35 m



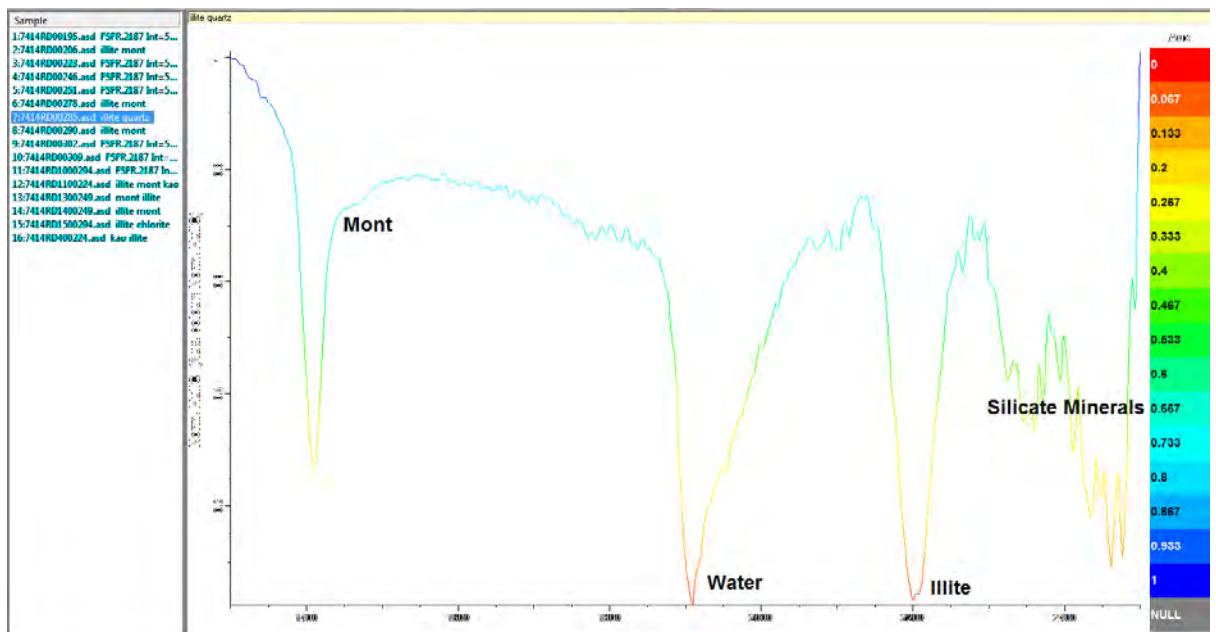
รูปที่ 3.2.9 กราฟแสดงการแปลชนิดแร่ด้วยผู้ศึกษา ซึ่งได้แร่ดิน montmorillonite และ illite

ตัวอย่างที่ 10 หลุมเจาะ 07414 RD ที่ระดับความลึก 278.10 m



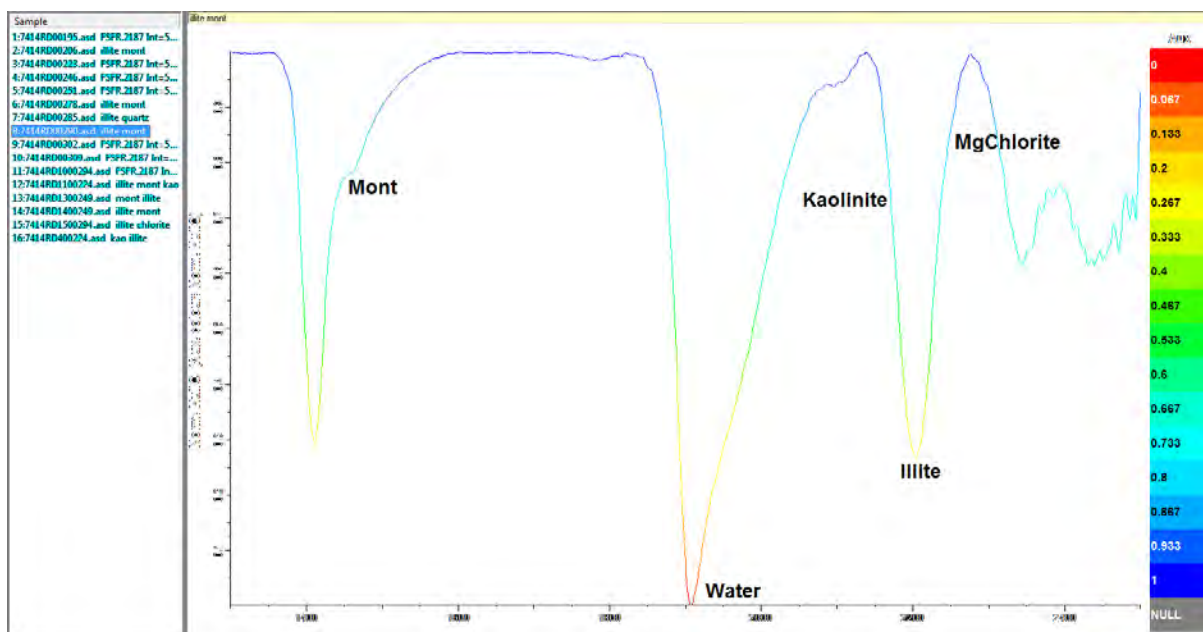
รูปที่ 3.2.10 กราฟแสดงการแปลชนิดแร่ด้วยผู้ศึกษา ซึ่งได้แร่ดิน montmorillonite, kaolinite และ illite

ตัวอย่างที่ 11 หลุมเจาะ 07414 RD ที่ระดับความลึก 285.55 m



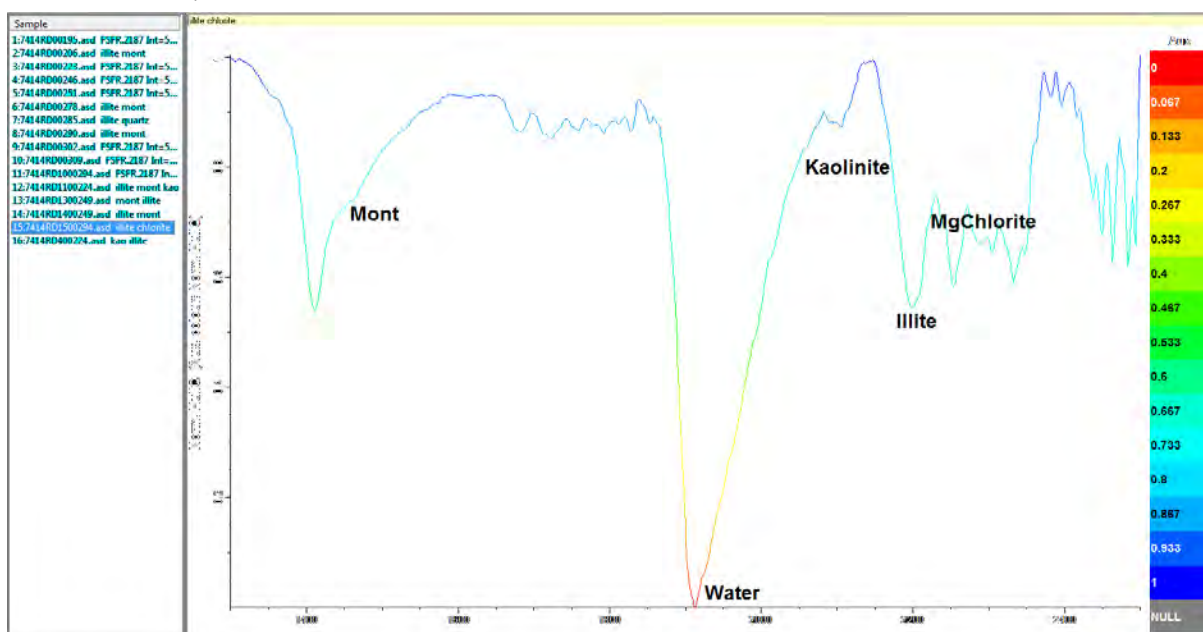
รูปที่ 3.2.11 กราฟแสดงการแปลชนิดแร่ด้วยผู้ศึกษา ซึ่งได้แร่ดิน montmorillonite และ illite (ลักษณะ peak เช่นนี้แสดงว่าตรวจวัดแร่ที่เป็น silicate minerals)

ตัวอย่างที่ 12 หลุมเจาะ 07414 RD ที่ระดับความลึก 290.00 m



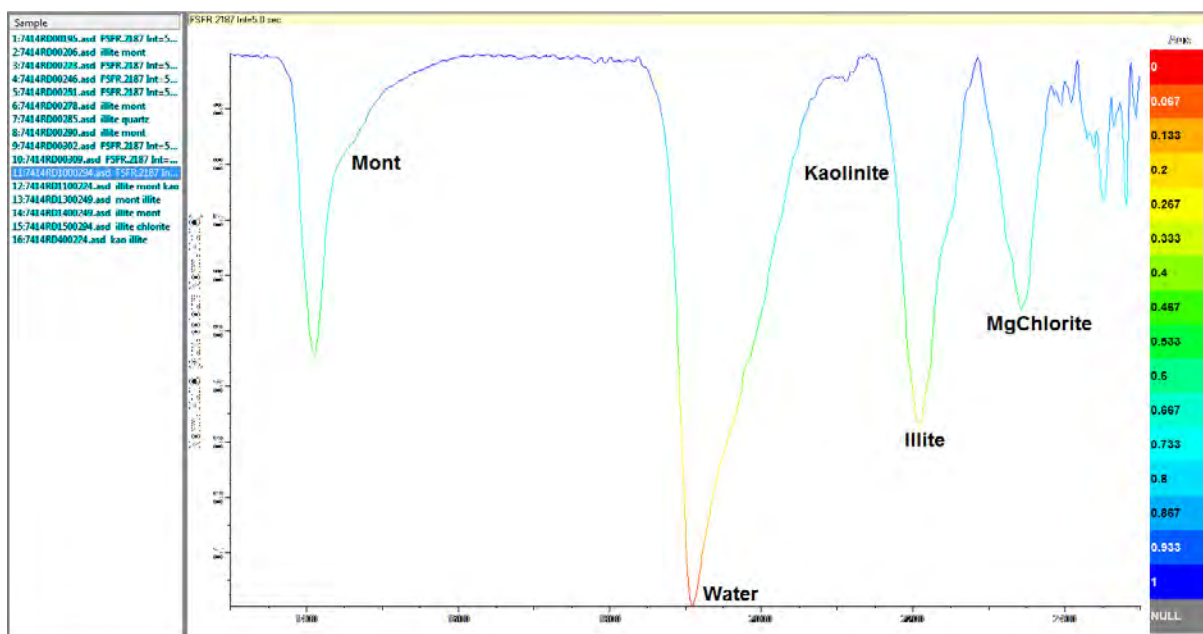
รูปที่ 3.2.12 กราฟแสดงการแปลชนิดแร่ด้วยผู้ศึกษา ซึ่งได้แร่ดิน montmorillonite, kaolinite, illite และ MgChlorite

ตัวอย่างที่ 13 หลุมเจาะ 07414 RD ที่ระดับความลึก 294.41 m



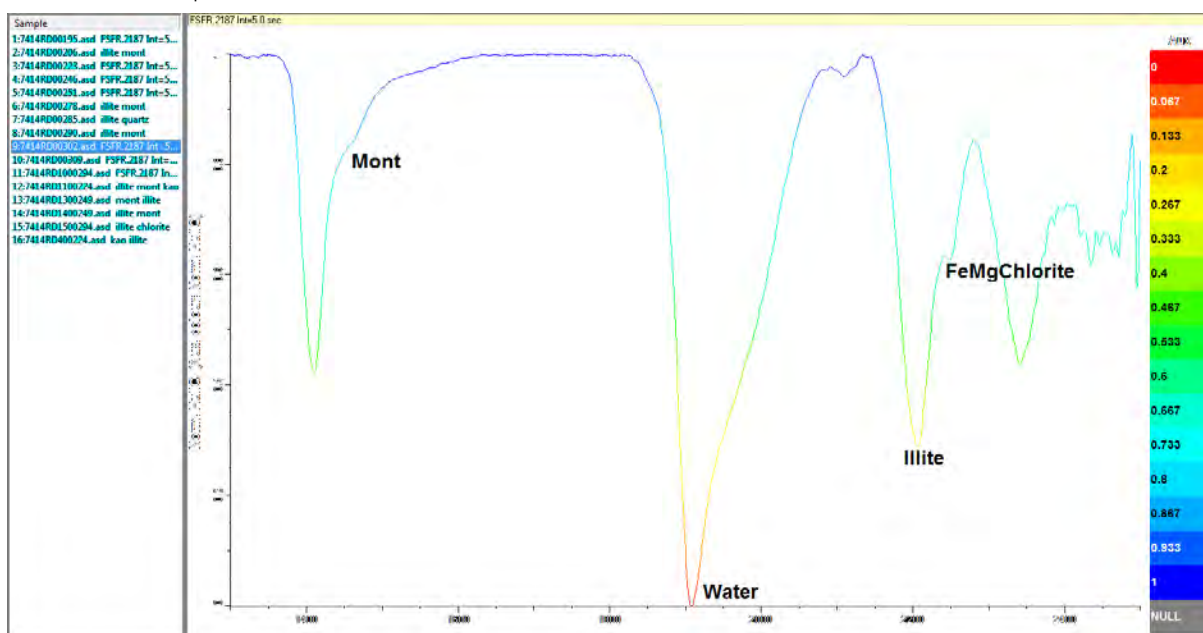
รูปที่ 3.2.13 กราฟแสดงการแปลชนิดแร่ด้วยผู้ศึกษา ซึ่งได้แร่ดิน montmorillonite, kaolinite, illite และ MgChlorite

ตัวอย่างที่ 14 หลุมเจาะ 07414 RD ที่ระดับความลึก 294.58 m



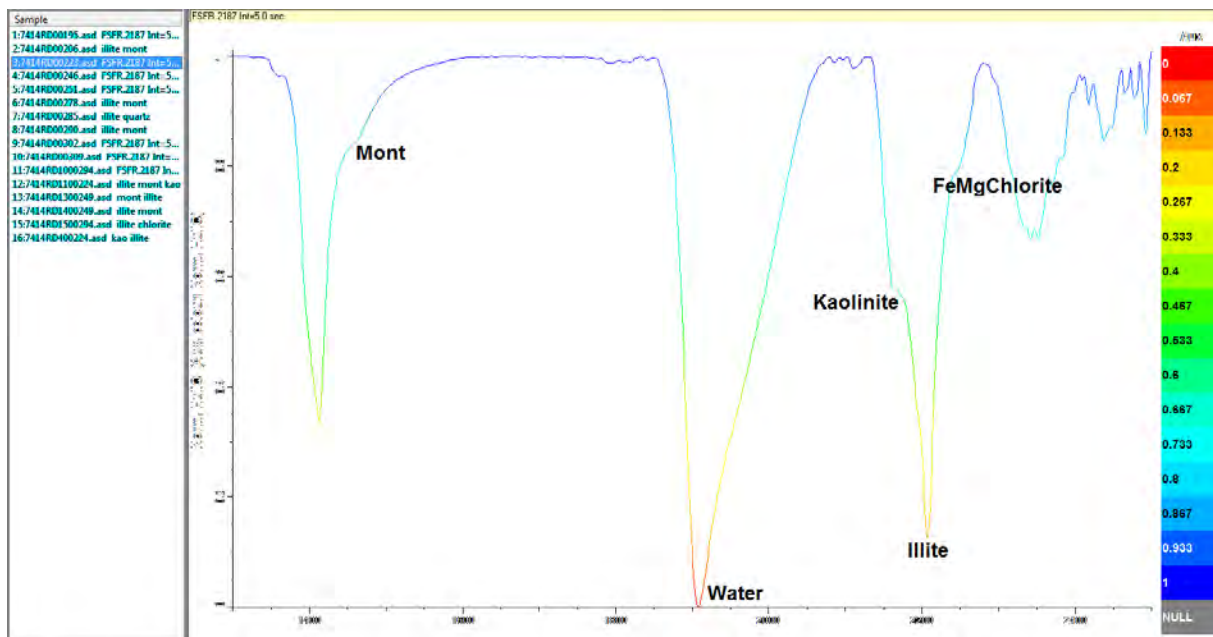
รูปที่ 3.2.14 กราฟแสดงการแปลชนิดแร่ด้วยผู้ศึกษา ซึ่งได้แร่ดิน montmorillonite, kaolinite, illite และ MgChlorite

ตัวอย่างที่ 15 หลุมเจาะ 07414 RD ที่ระดับความลึก 302.37 m



รูปที่ 3.2.15 กราฟแสดงการแปลชนิดแร่ด้วยผู้ศึกษา ซึ่งได้แร่ดิน montmorillonite, illite และ FeMgChlorite

ตัวอย่างที่ 16 หลุมเจาะ 07414 RD ที่ระดับความลึก 309.60 m



รูปที่ 3.2.16 กราฟแสดงการแปลชนิดแร่ด้วยผู้ศึกษา ซึ่งได้แร่ดิน montmorillonite, kaolinite, illite และ FeMgChlorite

จากผลการแปลชนิดแร่ด้วยผู้ศึกษาพบว่าสามารถแปลชนิดแร่ได้มากกว่าการแปลชนิดแร่ด้วยโปรแกรม TSG 7 เนื่องจากการแปลชนิดแร่ด้วยโปรแกรมมีความจำกัดสามารถแปลได้แค่เพียง 2 ชนิดในหนึ่งตัวอย่าง ซึ่งการแปลชนิดแร่ของโปรแกรม TSG 7 จะบอกแร่หลักและแร่รองเป็นปริมาณโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแร่ที่ตรวจวัดได้ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ชนิดและปริมาณ (เปอร์เซ็นต์) ของแร่ที่ได้จากการแปลผลด้วยโปรแกรม TSG 7

หลุมเจาะ	ความลึก	แร่หลัก	สัดส่วน	แร่รอง	สัดส่วน
07414RD	195.80	FeMgChlorite	0.52	Illitic Muscovite	0.477
	206.00	Montmorillonite	0.53	Illitic Muscovite	0.475
	223.05	Kaolinite PX	0.63	Montmorillonite	0.373
	224.50	Montmorillonite	0.53	Kaolinite PX	0.470
	224.70	Kaolinite PX	1.00	NULL	NULL
	246.70	Montmorillonite	0.57	Illitic Muscovite	0.431

ตารางที่ 3.1 ชนิดและปริมาณ (เปอร์เซ็นต์) ของแร่ที่ได้จากการแปลผลด้วยโปรแกรม TSG 7 (ต่อ)

หลุมเจาะ	ความลึก	แร่หลัก	สัดส่วน	แร่รอง	สัดส่วน
07414RD	249.60	Montmorillonite	1.00	NULL	NULL
	249.80	Illitic Muscovite	0.52	Montmorillonite	0.480
	251.35	Illitic Paragonite	0.57	Montmorillonite	0.434
	278.10	Illitic Muscovite	0.52	Montmorillonite	0.480
	285.55	Illitic Muscovite	1.00	NULL	NULL
	290.00	Illitic Muscovite	0.58	Montmorillonite	0.417
	294.41	Muscovite	0.59	Dolomite	0.410
	294.58	Illitic Muscovite	1.00	NULL	NULL
	302.37	Illitic Muscovite	0.65	FeMgChlorite	0.352
	309.60	Illitic Muscovite	0.63	Montmorillonite	0.372

NULL หมายถึง ไม่มี

Kaolinite PX หมายถึง Kaolinite Poor Crystallinity

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าการแปลชนิดแร่ที่ได้จากโปรแกรมจะมีขีดจำกัด ดังนั้นผู้ศึกษาจึงทำการแปลชนิดแร่อีกครั้ง โดยใช้หลักการของการดูคลื่นของความยาวช่วงคลื่นที่ต่างกันของสารประกอบ และทำการเปรียบเทียบชนิดแร่ที่ได้ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ผลการแปรชนิดแร่โดยใช้เครื่อง ASD ของตัวอย่างหินจากบ่อเอส หลุมเจาะ

07414RD จำนวน 16 ตัวอย่าง เป็นผลการแปลชนิดแร่ด้วยโปรแกรม TSG 7

เปรียบเทียบกับผลการแปลแบบไม่ใช้โปรแกรม

ตัวอย่าง	ความลึก	โปรแกรม TSG 7		ผลการแปลจากผู้ศึกษา
		แร่หลัก	แร่รอง	
1	195.80	FeMgChlorite	Illitic Muscovite	FeMgChlorite, Illite, Montmorillonite
2	206.00	Montmorillonite	Illitic Muscovite	Montmorillonite, Illite, Kaolinite
3	223.05	Kaolinite PX	Montmorillonite	Kaolinite, Illite, Montmorillonite, MgChlorite

ตัวอย่าง	ความลึก	โปรแกรม TSG 7		ผลการแปลจากผู้ศึกษา
		แร่หลัก	แร่รอง	
4	224.50	Montmorillonite	Kaolinite PX	Kaolinite, Montmorillonite, Illite
5	224.70	Kaolinite PX	NULL	Kaolinite, Illite, Montmorillonite
6	246.70	Montmorillonite	Illitic Muscovite	Illite, Montmorillonite, Kaolinite, FeMgChlorite
7	249.60	Montmorillonite	NULL	Montmorillonite, Illite, Kaolinite
8	249.80	Illitic Muscovite	Montmorillonite	Montmorillonite, Illite, Kaolinite
9	251.35	Illitic Paragonite	Montmorillonite	Paragonite, Montmorillonite
10	278.10	Illitic Muscovite	Montmorillonite	Illite, Montmorillonite, Kaolinite
11	285.55	Illitic Muscovite	NULL	Illite, Montmorillonite, Silicate minerals
12	290.00	Illitic Muscovite	Montmorillonite	Illite, Montmorillonite, Kaolinite, MgChlorite
13	294.41	Muscovite	Dolomite	Illite, Montmorillonite , Kaolinite, MgChlorite
14	294.58	Illitic Muscovite	NULL	Illite, Montmorillonite , Kaolinite, MgChlorite
15	302.37	Illitic Muscovite	FeMgChlorite	FeMgChlorite, Illite, Montmorillonite, Kaolinite
16	309.60	Illitic Muscovite	Montmorillonite	Illite, Montmorillonite, FeMgChlorite Kaolinite

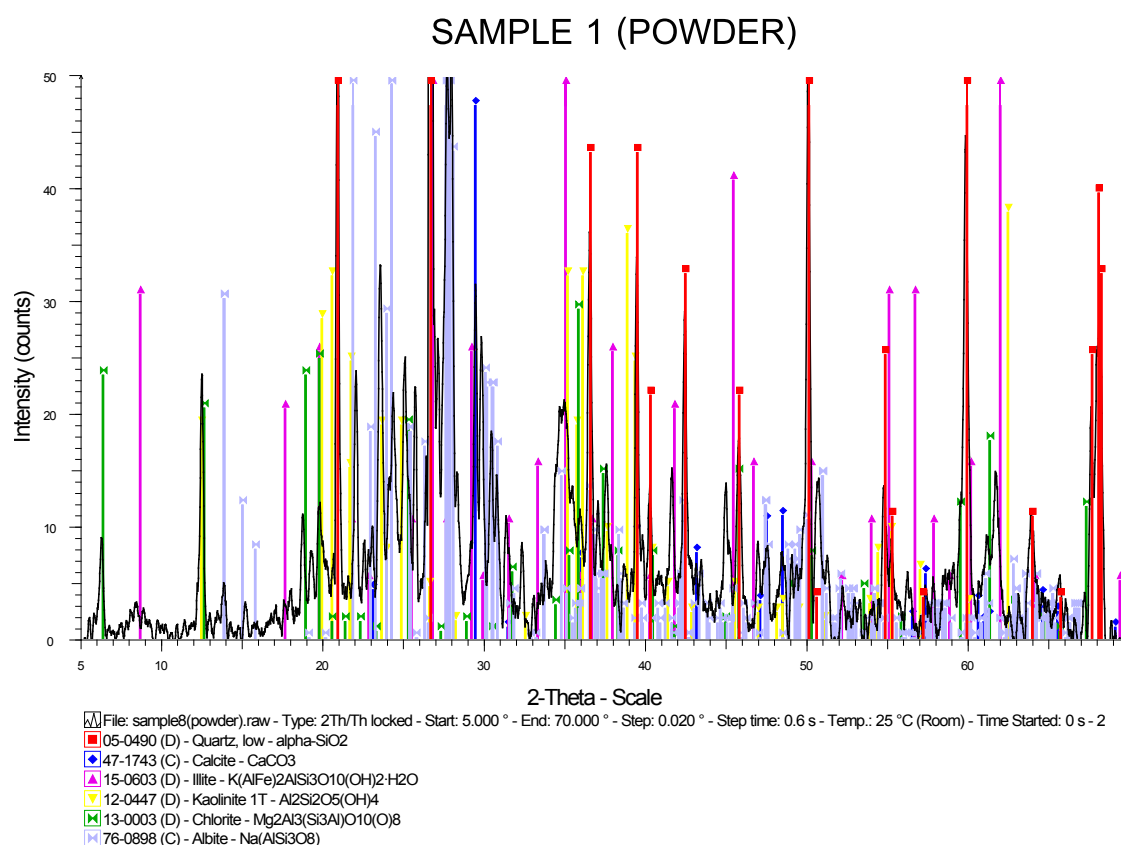
Null	หมายถึง	ไม่มี
Kaolinite PX	หมายถึง	Kaolinite Poor Crystallinity



### 3.3 ผลการวิเคราะห์ชนิดแร่ด้วยวิธี X-Ray Diffractometer (XRD)

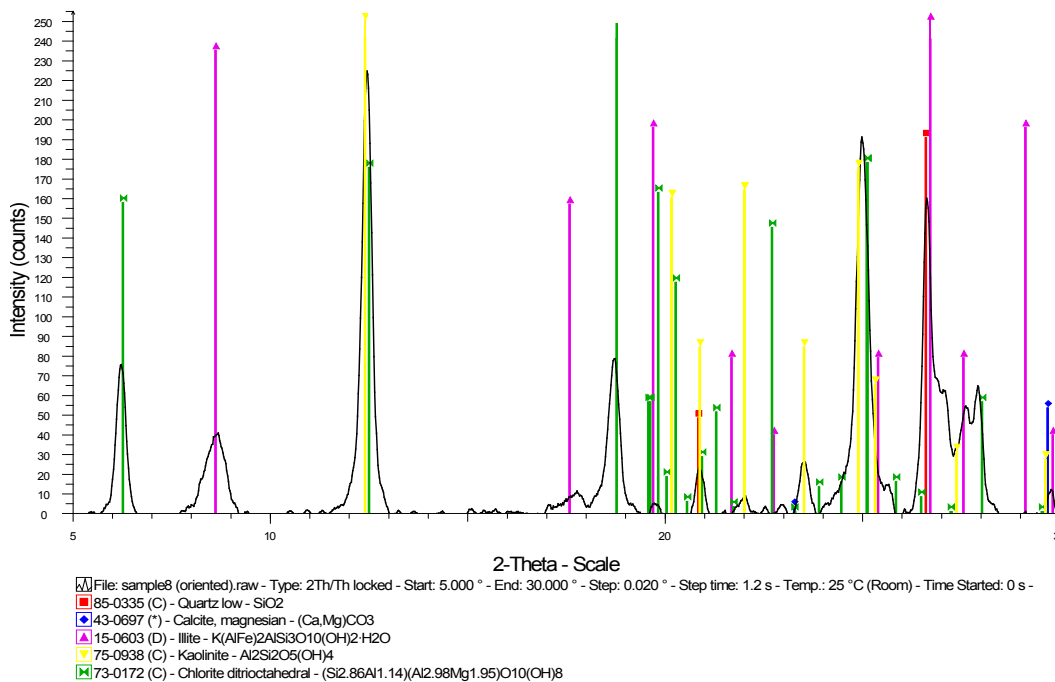
จากการนำตัวอย่างหินมาวิเคราะห์โดยวิธี X-Ray Diffractometer หรือ XRD ตัวอย่างที่บดเป็นผงแล้ว ค่า peak ของแร่ quartz จะมีค่า  $2\theta$  สูง อยู่ที่ 26.6 และ 20.8 ทำให้ peak ของแร่ดินเห็นไม่ชัดเจน ดังนั้นในการศึกษาแร่ดินโดยวิธี XRD จึงต้องทำทั้งหมด 4 ขั้นตอนได้แก่ (Poppe et al., 2001)

1. การวิเคราะห์แบบผง (powder)
2. การวิเคราะห์แบบ oriented
3. การวิเคราะห์แบบ glycolate
4. การวิเคราะห์ด้วยการ heat (550 °C 1 hr)



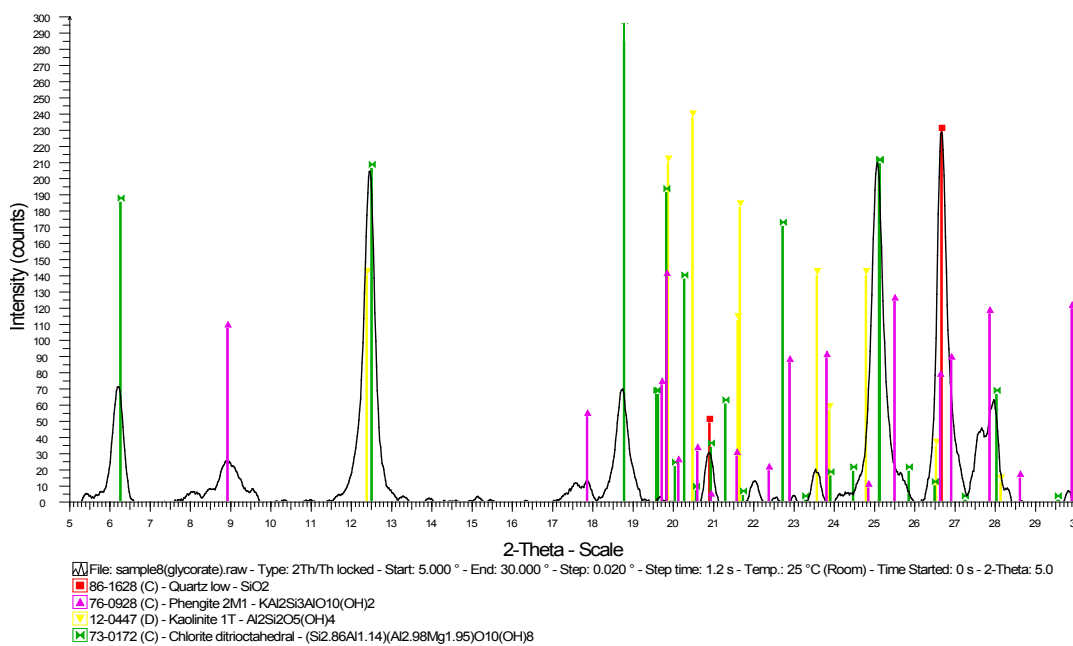
รูปที่ 3.3.1 ผลการวิเคราะห์โดยวิธี XRD แบบผง จะเห็น Characteristic peak ของแร่ต่างๆ จำนวนหลาย peak เป็นขั้นตอนที่สามารถบอกถึงแร่ประกอบที่อยู่ในตัวอย่างหินได้อย่างกว้างๆ แต่จะไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจนในด้านของการวิเคราะห์หาแร่ดิน จึงต้องทำขั้นตอนของ Clay analysis

### SAMPLE 1 (ORINTED)

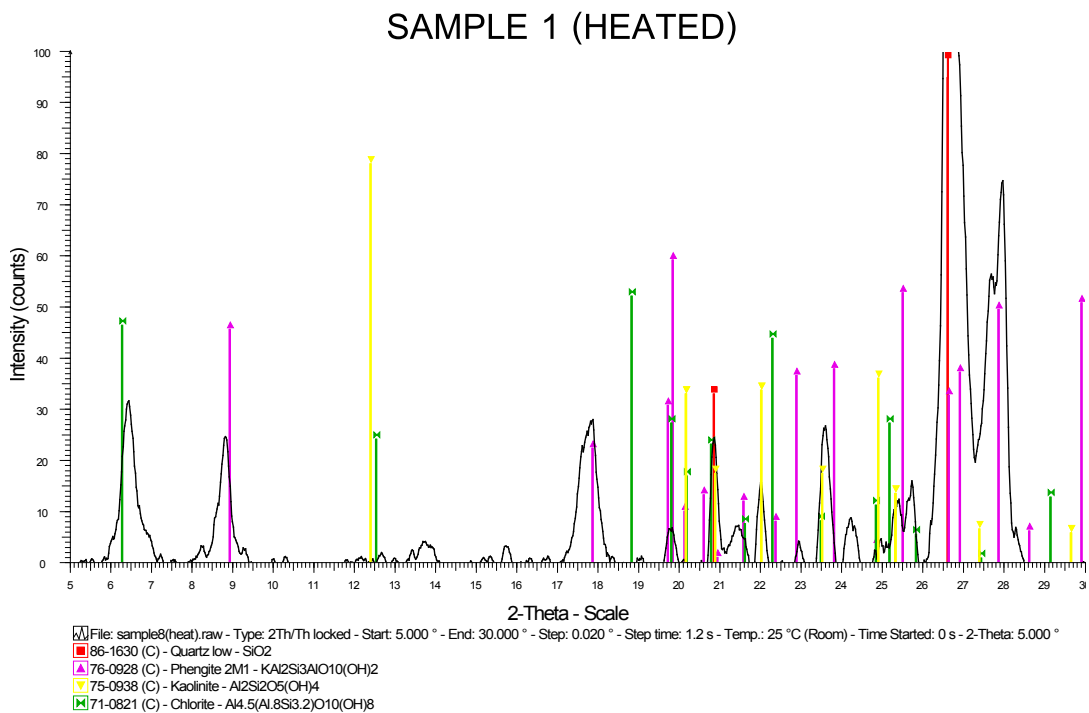


รูปที่ 3.3.2 ผลการวิเคราะห์โดยวิธี XRD แบบ oriented จะเห็น Characteristic peak ของแร่ต่างๆ ชัดเจนขึ้น โดยเฉพาะแร่ดิน

### SAMPLE 1 (GLYCOLATE)



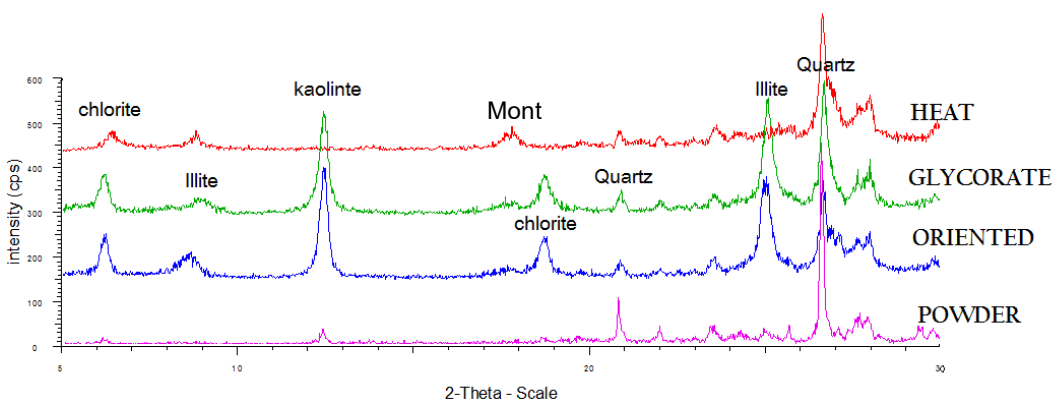
รูปที่ 3.3.3 ผลการวิเคราะห์โดยวิธี XRD แบบ glycolate จะเห็น Characteristic peak ของแร่ต่างๆ ชัดเจนขึ้น โดยเฉพาะแร่ดิน แร่ดินบางชนิดอาจมี peak ที่หายไปเนื่องจากถูกทำลายโครงสร้าง



รูปที่ 3.3.4 ผลการวิเคราะห์โดยวิธี XRD แบบ heated จะเห็น Characteristic peak ของแร่ต่างๆ ชัดเจนขึ้น โดยเฉพาะแร่ดิน แร่ดินบางชนิดอาจมี peak ที่หายไปเนื่องจากถูกทำลายโครงสร้าง ใน ตัวอย่างนี้ แร่ดิน kaolinite ได้หายไป

เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี XRD มีหลายขั้นตอน จึงทำกราฟเปรียบเทียบกราฟทั้ง 4 ขั้นตอน เพื่อหา characteristic peaks ที่อาจหายไปในส่วนบางตัว และสามารถบ่งบอกได้ว่าแร่ นั้น เป็นแร่ชนิดใด

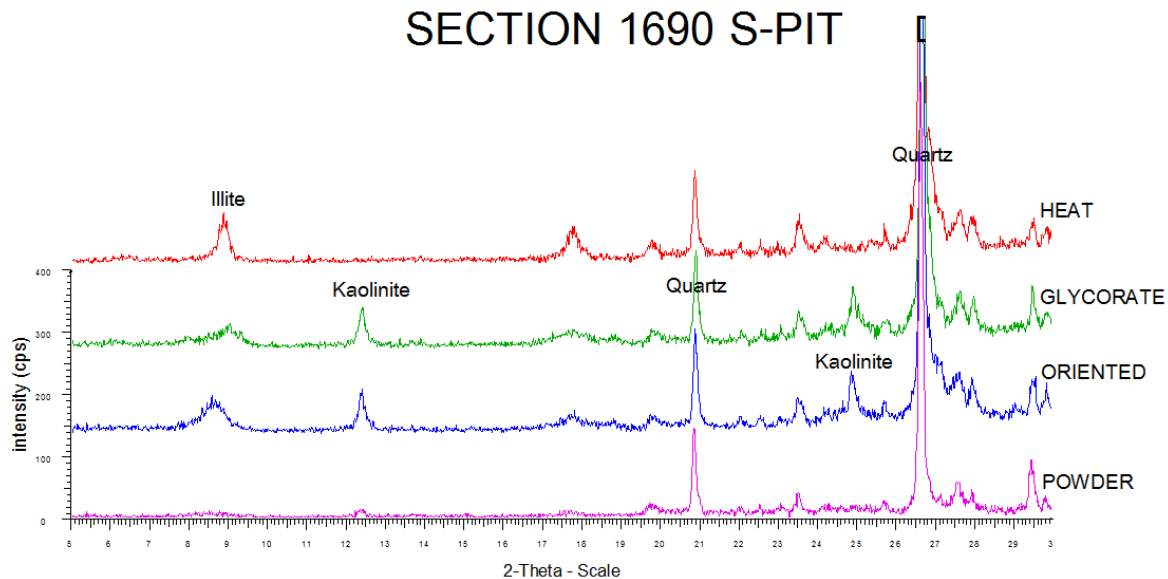
### SAMPLE 1 DEPTH 195.80 m 07414 RD SECTION 1690 S-PIT



รูปที่ 3.3.5 ผลวิเคราะห์ห้มีแร่ดิน chlorite, illite และ kaolinite

### SAMPLE 2 DEPTH 206.00 m 07414 RD

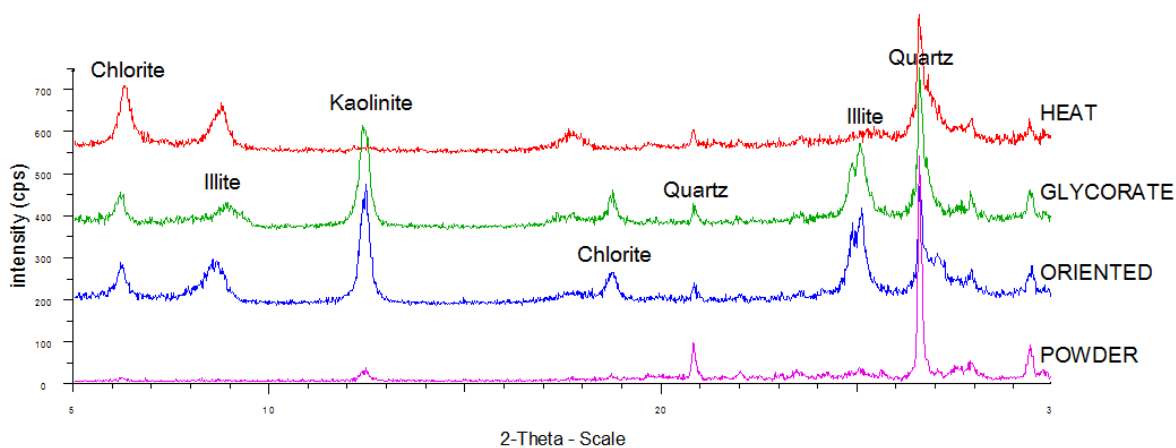
#### SECTION 1690 S-PIT



รูปที่ 3.3.6 ผลวิเคราะห์หิมิแร่ดิน illite และ kaolinite

### SAMPLE 3 DEPTH 223.05 m 07414 RD

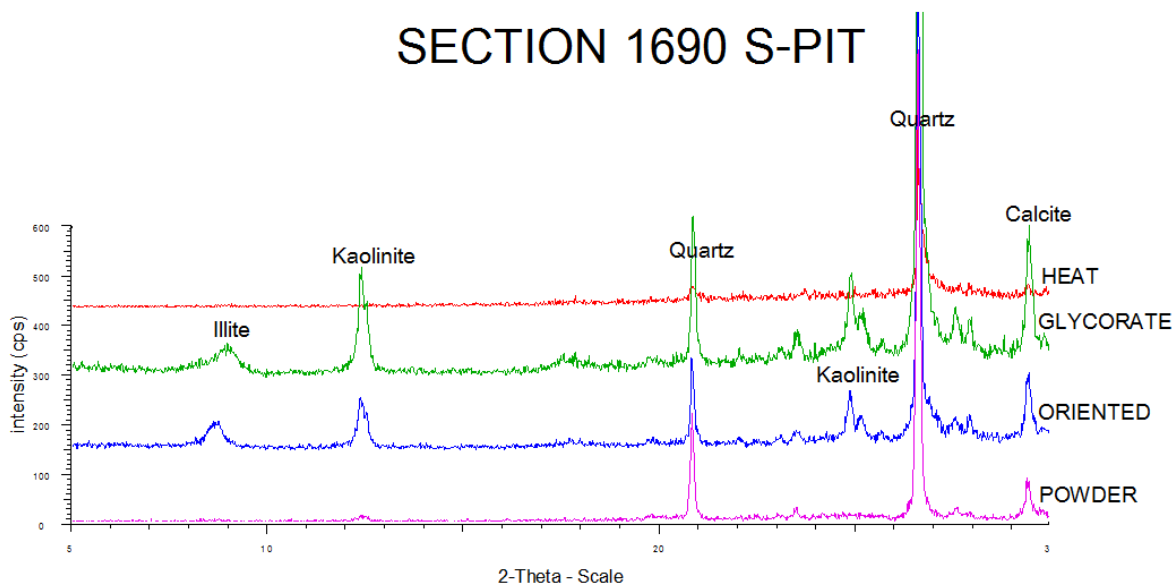
#### SECTION 1690 S-PIT



รูปที่ 3.3.7 ผลวิเคราะห์หิมิแร่ดิน chlorite, illite และ kaolinite

SAMPLE 4 DEPTH 224.50 m 07414 RD

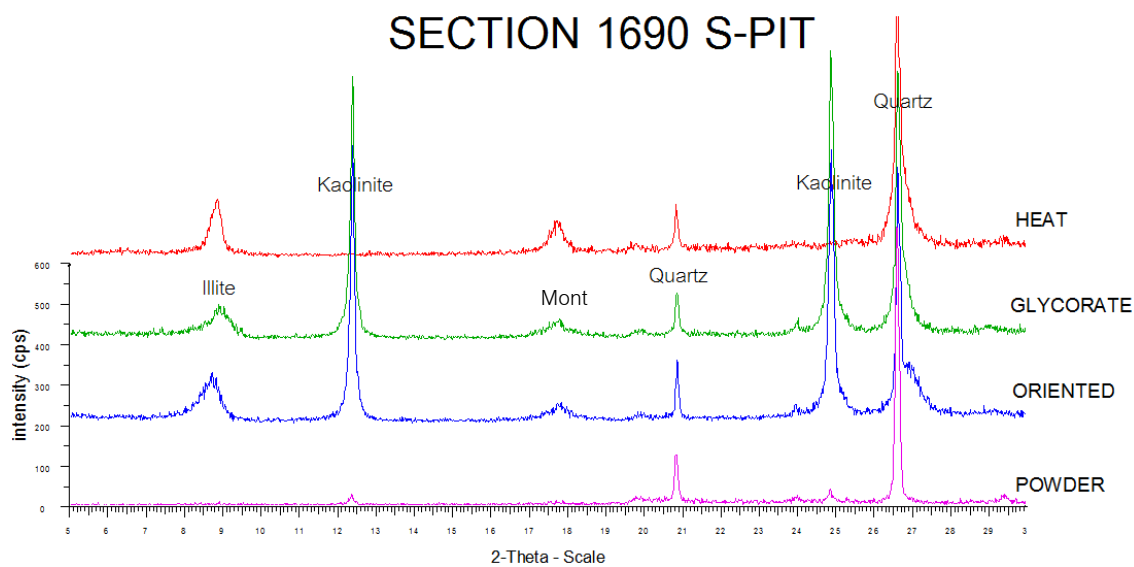
SECTION 1690 S-PIT



รูปที่ 3.3.8 ผลวิเคราะห์หิมิแร่ดิน illite และ kaolinite

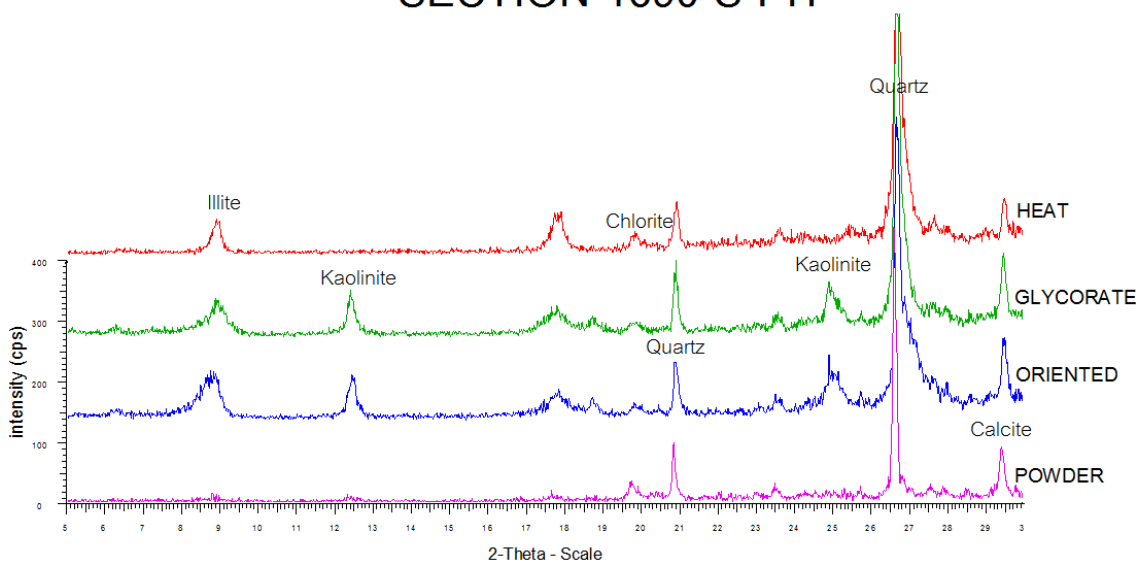
SAMPLE 5 DEPTH 224.70 m 07414 RD

SECTION 1690 S-PIT



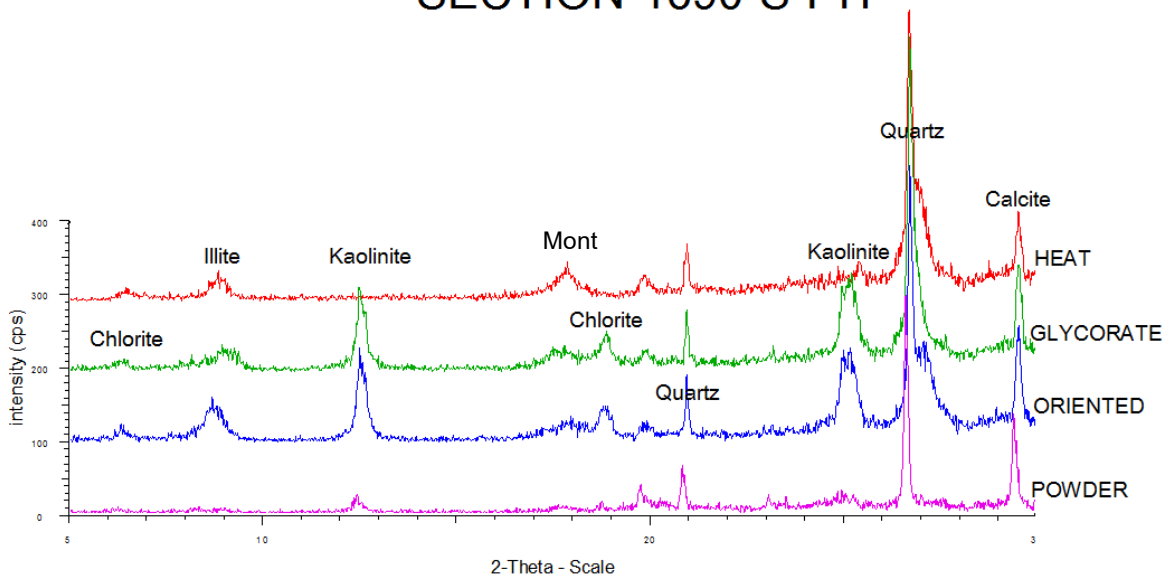
รูปที่ 3.3.9 ผลวิเคราะห์หิมิแร่ดิน illite และ kaolinite

SAMPLE 6 DEPTH 246.70 m 07414 RD  
SECTION 1690 S-PIT



รูปที่ 3.3.10 ผลวิเคราะห์หิม้แร่ดิน illite และ kaolinite

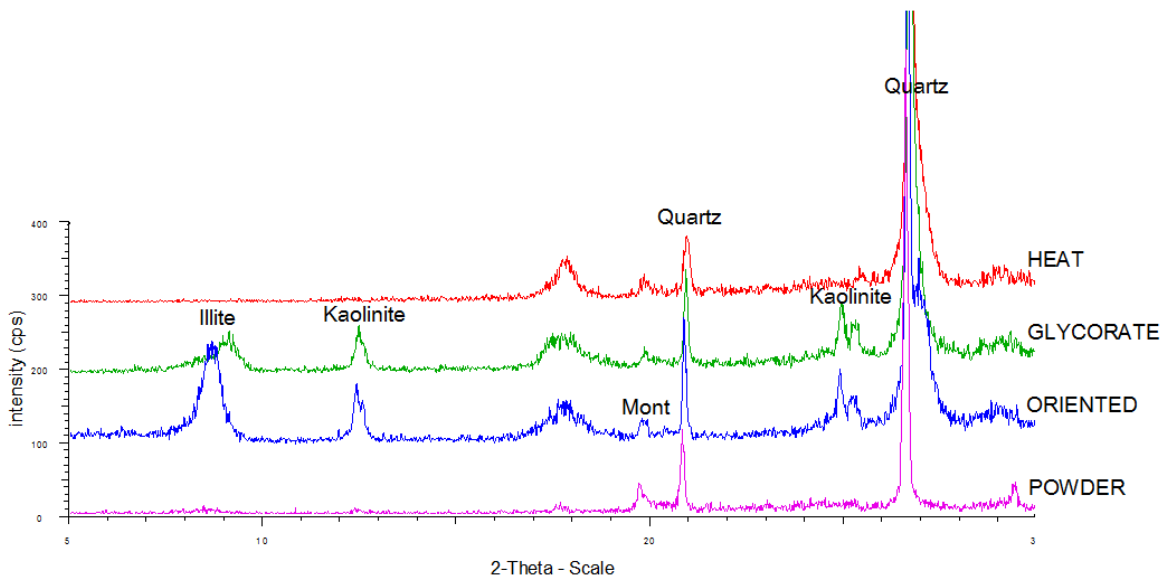
SAMPLE 7 DEPTH 249.60 m 07414 RD  
SECTION 1690 S-PIT



รูปที่ 3.3.11 ผลวิเคราะห์หิม้แร่ดิน chlorite, illite และ kaolinite

SAMPLE 8 DEPTH 249.80 m 07414 RD

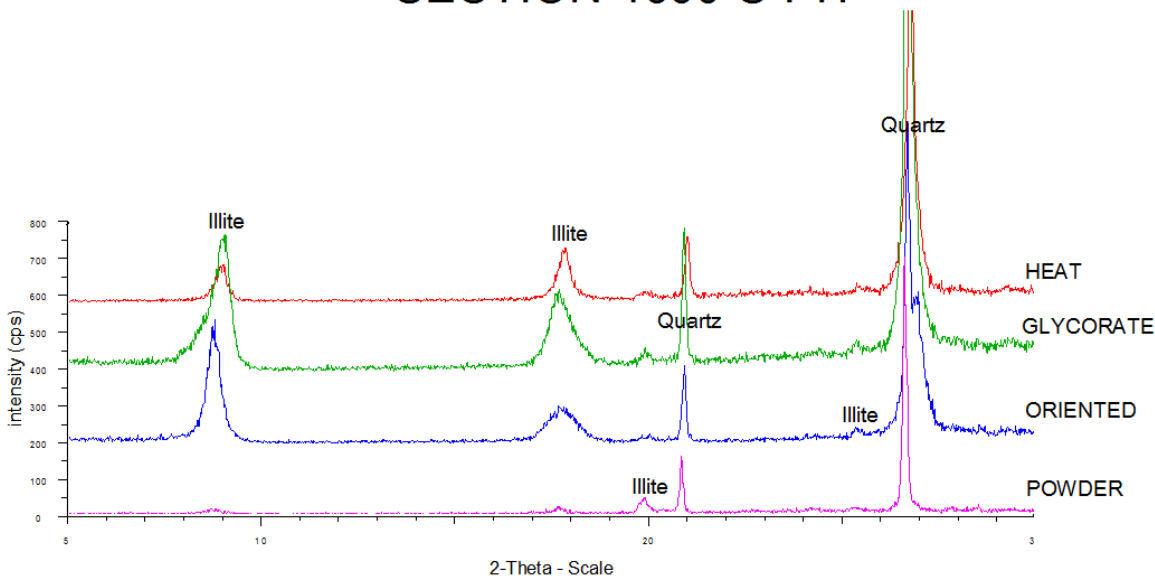
SECTION 1690 S-PIT



รูปที่ 3.3.12 ผลวิเคราะห์หิมิแร่ดิน illite และ kaolinite

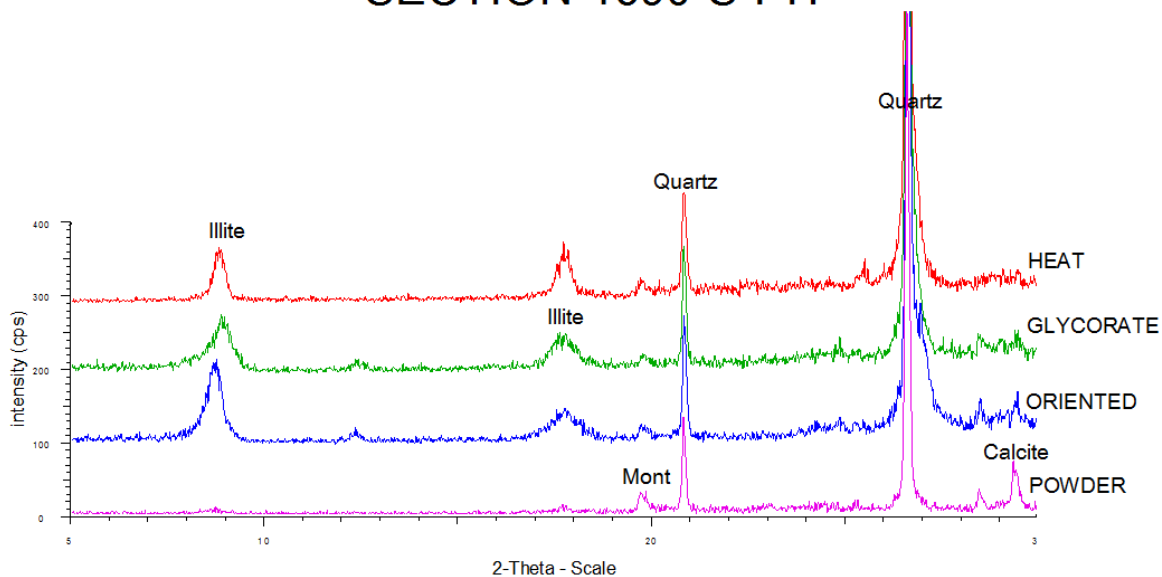
SAMPLE 9 DEPTH 251.35 m 07414 RD

SECTION 1690 S-PIT



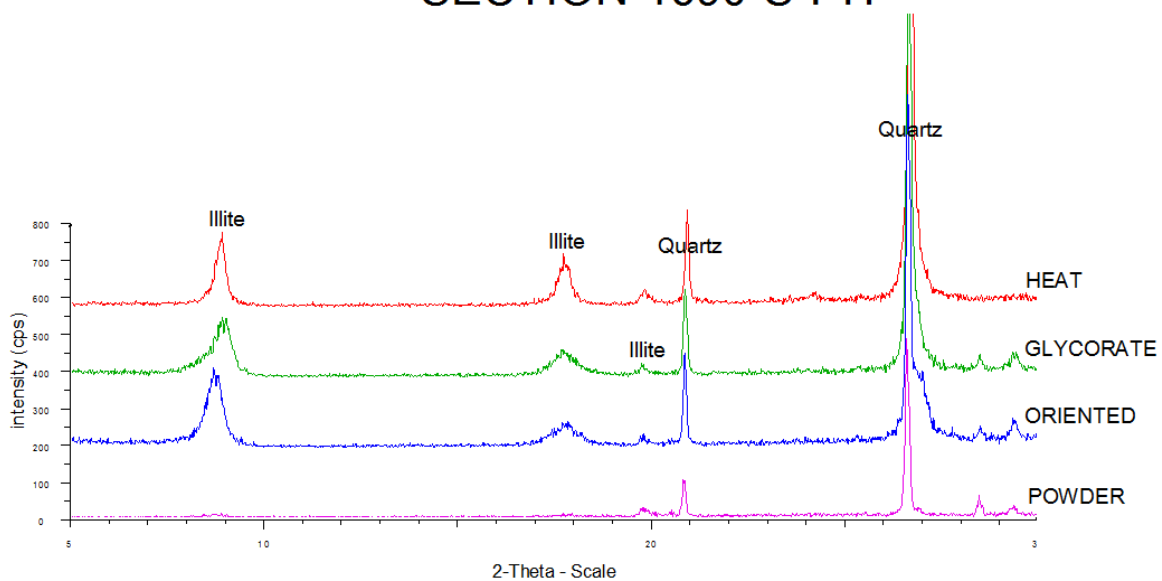
รูปที่ 3.3.13 ผลวิเคราะห์หิมิแร่ดิน illite

SAMPLE 10 DEPTH 278.10 m 07414 RD  
SECTION 1690 S-PIT



รูปที่ 3.3.14 ผลวิเคราะห์หิมิแร่ดิน illite

SAMPLE 11 DEPTH 285.55 m 07414 RD  
SECTION 1690 S-PIT

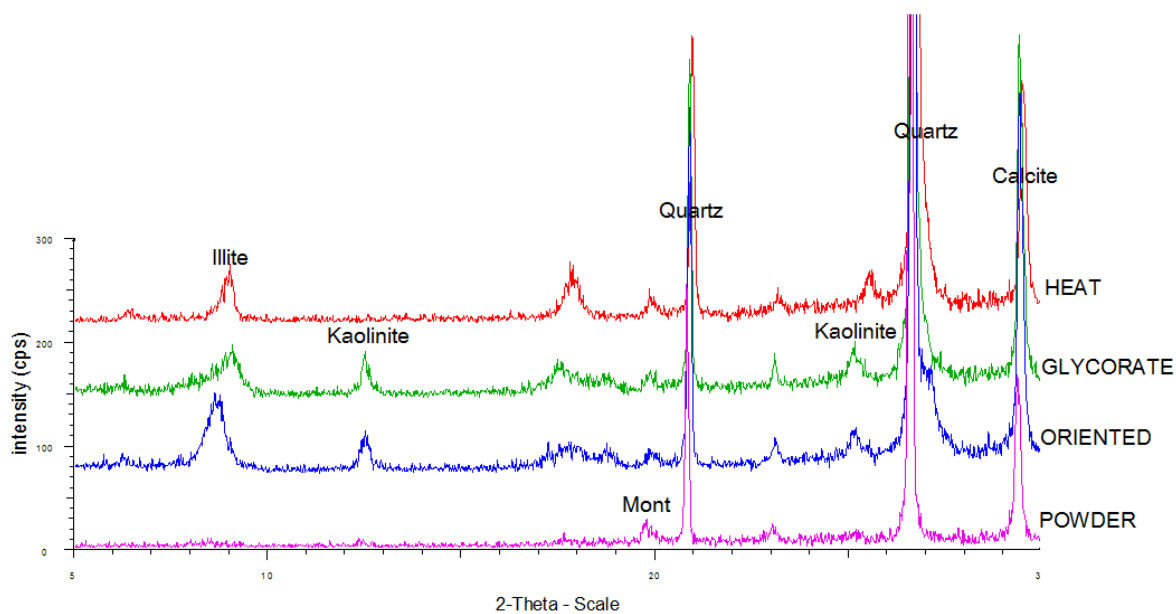


รูปที่ 3.3.15 ผลวิเคราะห์หิมิแร่ดิน Illite



SAMPLE 12 DEPTH 290.00 m 07414 RD

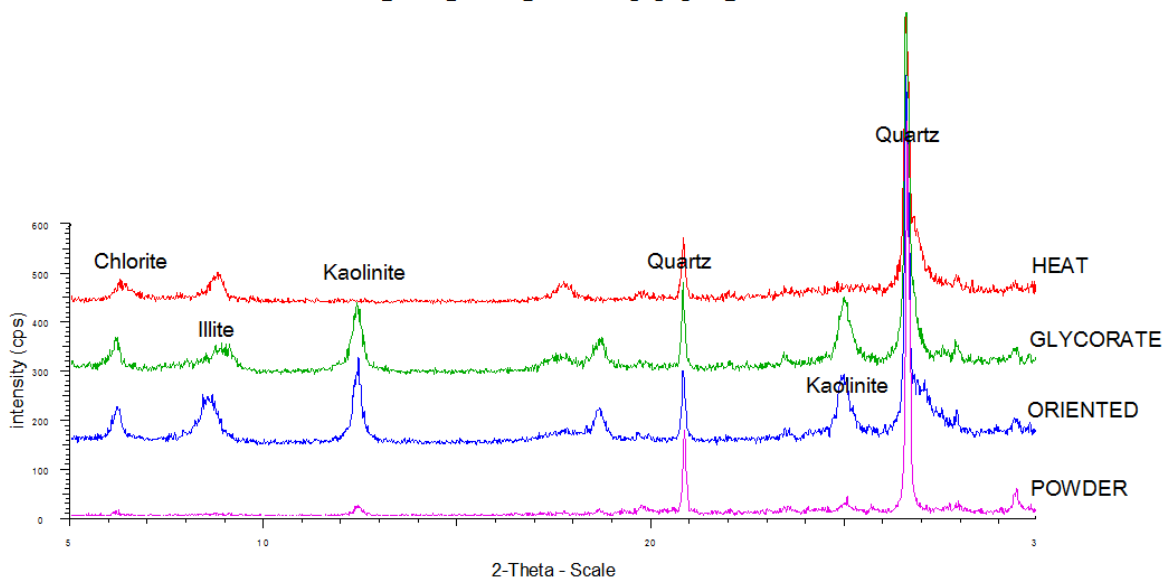
SECTION 1690 S-PIT



รูปที่ 3.3.16 ผลวิเคราะห์หิมแร่ดิน illite และ kaolinite

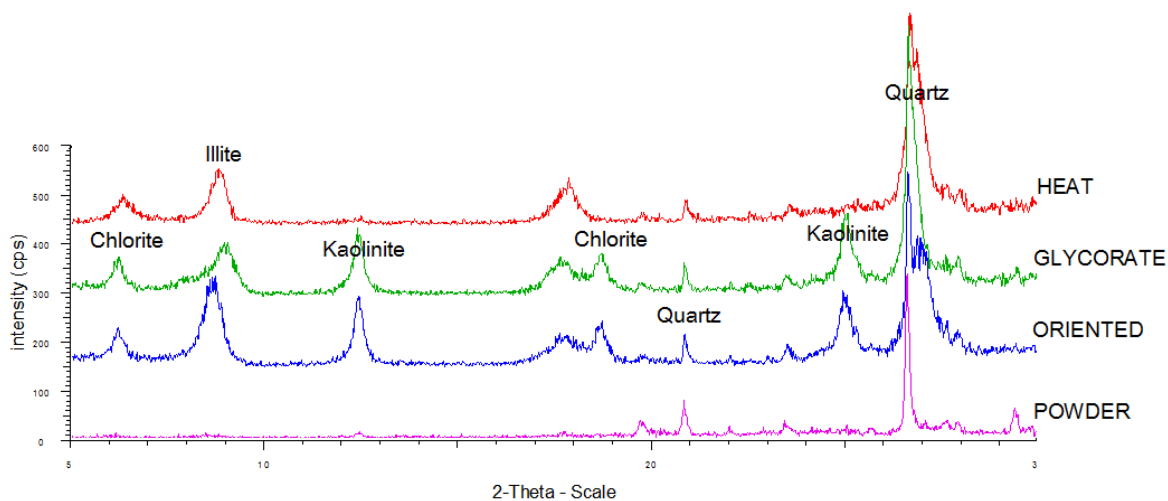
SAMPLE 13 DEPTH 294.41 m 07414 RD

SECTION 1690 S-PIT



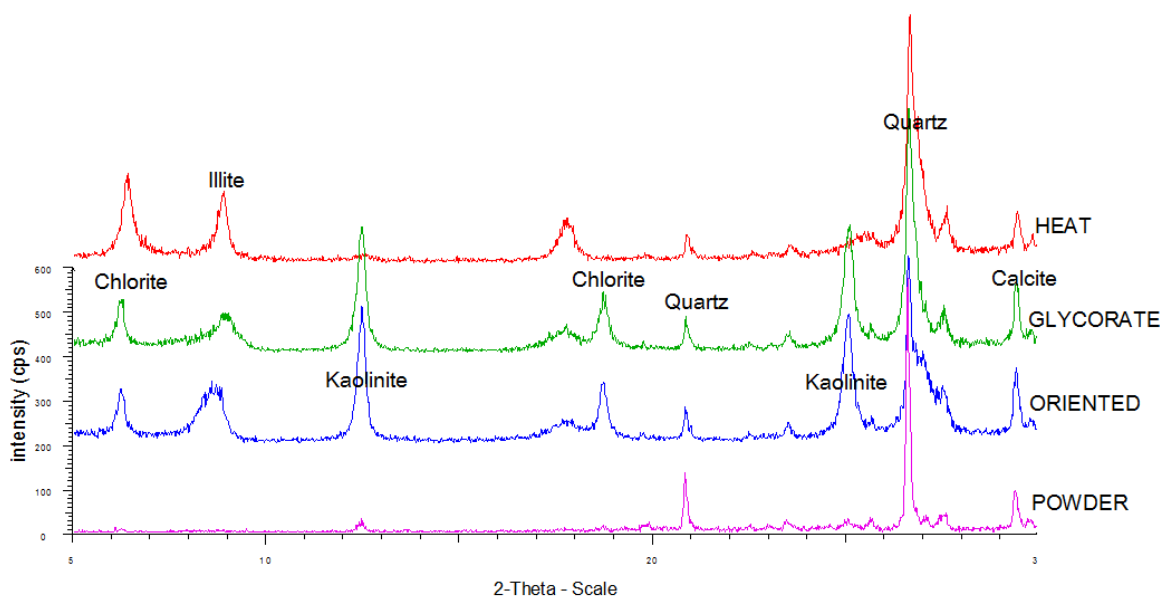
รูปที่ 3.3.17 ผลวิเคราะห์หิมแร่ดิน chlorite, illite และ kaolinite

SAMPLE 14 DEPTH 294.58 m 07414 RD  
SECTION 1690 S-PIT



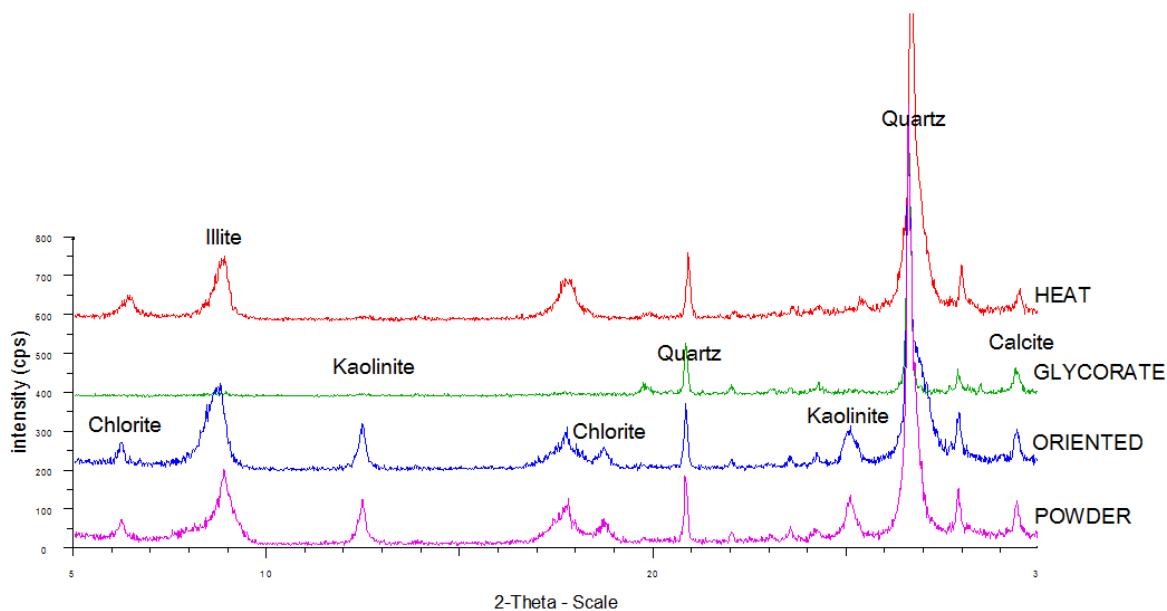
รูปที่ 3.3.18 ผลวิเคราะห์หิมิแร่ดิน chlorite, illite และ kaolinite

SAMPLE 15 DEPTH 302.37 m 07414 RD  
SECTION 1690 S-PIT



รูปที่ 3.3.19 ผลวิเคราะห์หิมิแร่ดิน chlorite, illite และ kaolinite

## SAMPLE 16 DEPTH 309.60m 07414 RD SECTION 1690 S-PIT



รูปที่ 3.3.20 ผลวิเคราะห์หิมีแร่ดิน chlorite, illite และ kaolinite

จากการวิเคราะห์ผลชนิดแร่เมื่อเทียบกับระดับความลึกและระยะห่างจากบริเวณที่เกิดแร่แล้วพบว่า ชนิดของแร่สามารถแบ่งตามนัยสำคัญ โดยเรียงลำดับจากส่วนที่อยู่ติดกับแหล่งแร่ออกไป ได้เป็น 4 ช่วง ได้แก่

1. Illite-Muscovite-Sericite ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 250-260 เมตรและ 275-295 เมตร เป็นช่วงที่เกิดสายแร่ทองคำ ผลวิเคราะห์ได้แร่ illite อย่างชัดเจน และมีความสูงของ peak มาก ตัวอย่างที่ 9 และ 11 ผลวิเคราะห์จากตัวอย่างที่ 10 มีแร่ illite เด่นชัด แต่ยังคงพบ peak เล็กๆ ของแร่ kaolinite บนบ้างเล็กน้อย
2. Illite-Montmorillonite-MgChlorite พบว่าถัดออกมาจะพบแร่ illite เกิดร่วมกับแร่ montmorillonite และมีแร่ kaolinite เกิดร่วมด้วย แต่จะพบแร่ MgChlorite เกิดใกล้กับช่วงที่เป็นสายแร่ทองคำทั้งสองช่วง ได้แก่ตัวอย่างที่ 7,13 และ 14
3. Montmorillonite-FeMgChlorite แร่ montmorillonite พบกระจายอยู่เป็นช่วงๆ ในทุกความลึกที่ศึกษา ส่วนใหญ่จะเกิดผสมร่วมกับแร่อื่น จึงไม่อาจใช้บ่งบอกว่าเป็นแร่ที่อยู่ใกล้บริเวณสายแร่ทองคำได้ ในส่วนที่ถัดออกมาอีก ระยะห่างจากสายแร่เพิ่มขึ้น แร่ที่พบคือแร่ FeMgChlorite ได้แก่ตัวอย่างที่ 1,3,15 และ 16

4. Kaolinite-FeMgChlorite แร่ดิน kaolinite เป็นแร่ที่ขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญของช่วงความลึก แต่จะพบว่า ความสูงของ peak จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างจากแหล่งแร่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่า ปริมาณของแร่ kaolinite มีมากขึ้นเมื่อไกลจากสายแร่ทองคำ และเกิดเป็นชั้นผสมระหว่างแร่ FeMgChlorite และ montmorillonite

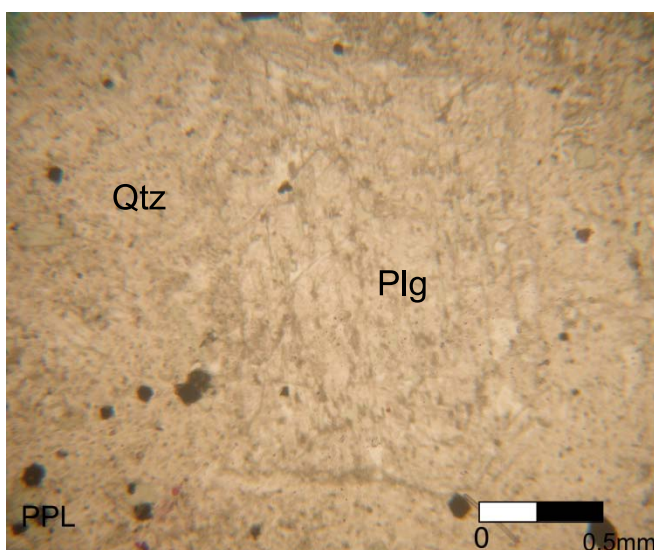
### 3.4 ผลการวิเคราะห์ทางศิลาวรรณนา ( Petrography )

ผลการวิเคราะห์แผ่นหินบางที่มีความสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ทางธรณีเคมี (XRD) และผลวิเคราะห์ทาง ASD ในการศึกษาด้าน Clay minerals alteration ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ การระบุชนิดของแร่ดินนั้น สามารถทำได้ยาก ดังนั้นในการวิเคราะห์แผ่นหินบางจึงเน้นที่การศึกษาทางด้าน mineral assemblage ที่มักจะเกิดร่วมกับ Clay minerals alteration หรือแร่ที่ถูกเปลี่ยนแปลงสภาพไป เพื่อหาความสัมพันธ์ การเกิด และลักษณะที่ถูกเปลี่ยนแปลงสภาพของแหล่งแร่

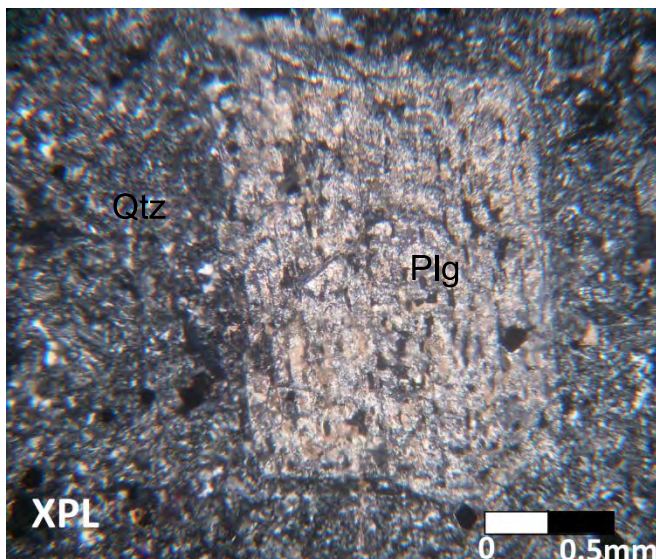
ในการศึกษาจะแบ่งกลุ่มแร่ที่ถูกเปลี่ยนแปลงสภาพใน 3 ลักษณะ คือ

- 3.4.1 กลุ่มแร่ plagioclase ที่ถูกเปลี่ยนแปลงสภาพ
- 3.4.2 กลุ่มแร่ chlorite ที่ถูกเปลี่ยนแปลงสภาพ
- 3.4.3 กลุ่มแร่ K-feldspar ที่บ่งชี้สภาพการเกิดแหล่งแร่

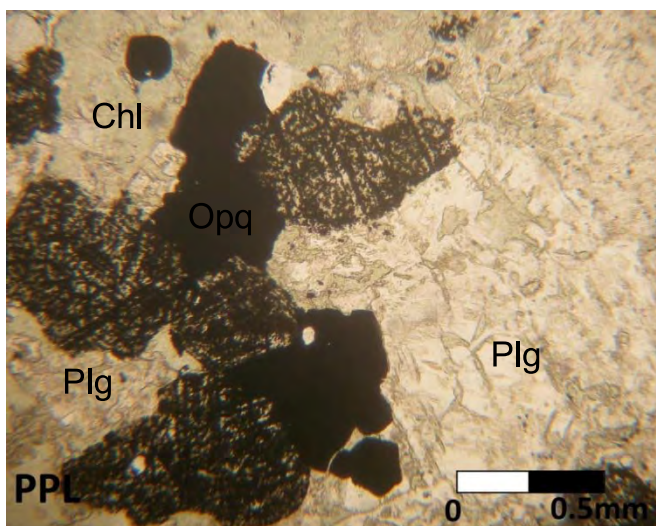
#### 3.4.1 กลุ่มแร่ plagioclase ที่ถูกเปลี่ยนแปลงสภาพ



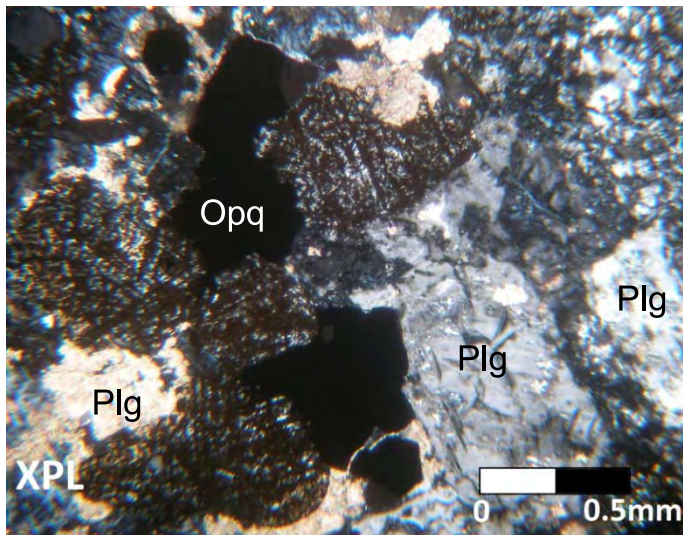
รูปที่ 3.4.1 เป็น PPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 1 พบแร่ plagioclase (Plg;10x) ที่ยังคงรูปผลึกให้เห็นอย่างสมบูรณ์



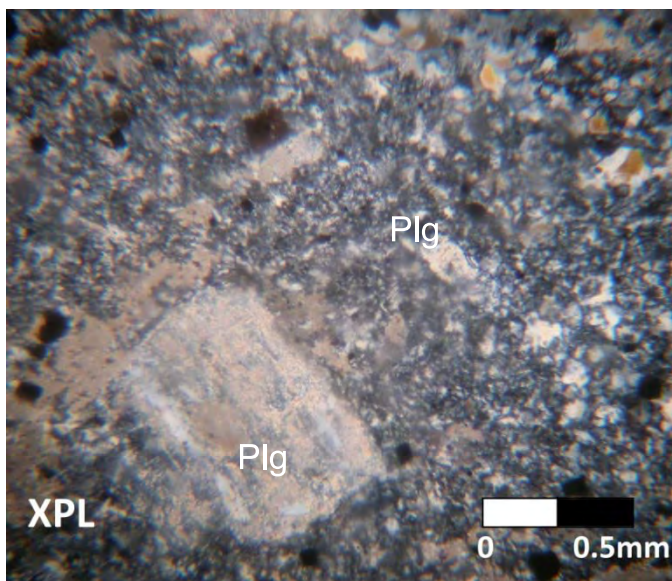
รูปที่ 3.4.2 เป็น XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ ของตัวอย่างที่ 1 พบแร่ plagioclase(Plg;10x) ที่ยังคงรูปผลึกให้เห็นอย่างสมบูรณ์



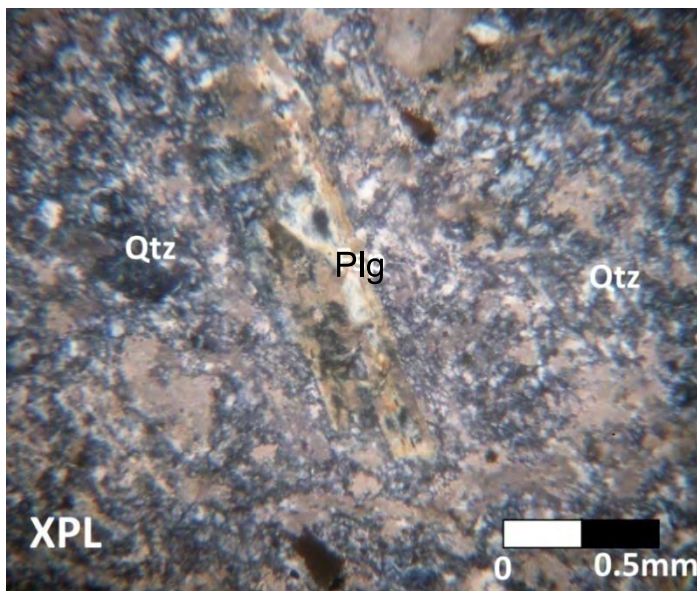
รูปที่ 3.4.3 เป็น PPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ ของตัวอย่างที่ 1 พบแร่ plagioclase (Plg;10x) ที่มีแร่ Sulfide minerals และแร่ chlorite ที่ถูกเปลี่ยนแปลงสภาพเกิดร่วมด้วย



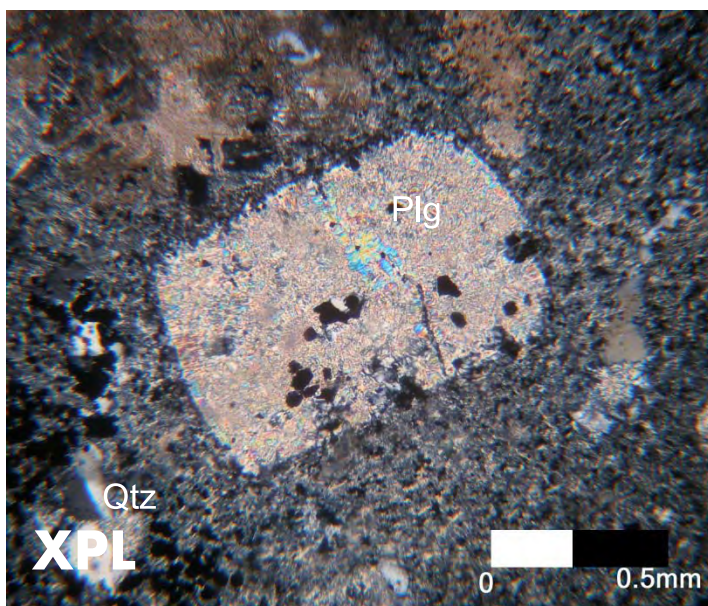
รูปที่ 3.4.4 เป็น XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ ของตัวอย่างที่ 1 พบแร่ plagioclase (Plg;10x) ที่ถูกเปลี่ยนแปลงสภาพเนื่องจากการ alteration แต่ไม่มากนัก เนื่องจากยังคงรูปร่างของผลึกเดิมไว้



รูปที่ 3.4.5 เป็น XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ ของตัวอย่างที่ 15 พบแร่ plagioclase (Plg;10x) ที่คงรูปผลึกเป็น plagioclase ชัดเจน มีแร่ sericiteแทรกเข้ามาภายใน ซึ่งเป็นผลมาจากการ alteration ที่ทำให้ plagioclase เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไป

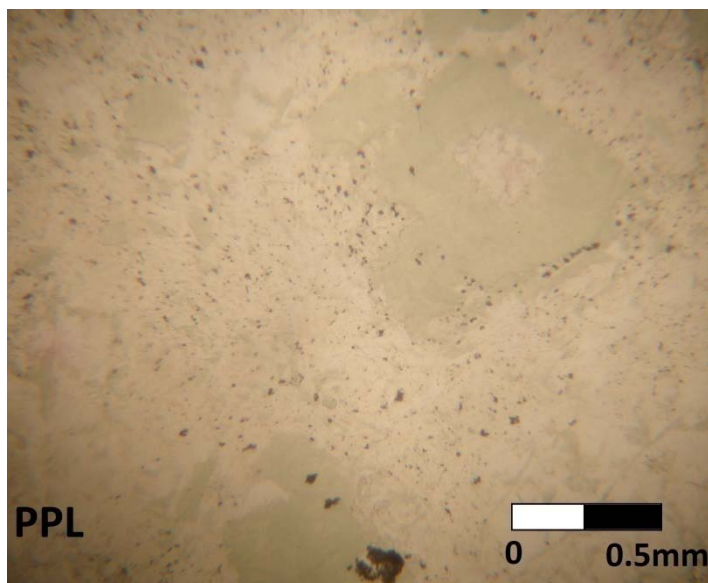


รูปที่ 3.4.6 เป็น XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ ของตัวอย่างที่ 3 พบแร่ plagioclase (Plg;10x) ที่คงรูปผลึก แต่ถูกเปลี่ยนแปลงไปค่อนข้างมาก

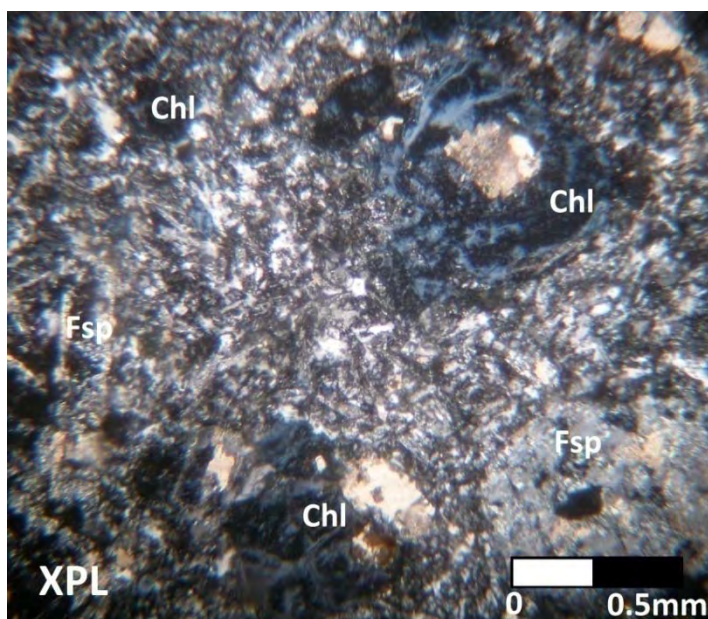


รูปที่ 3.4.7 เป็น XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ ของตัวอย่างที่ 6 พบแร่ plagioclase (Plg;10x) ที่คงรูปผลึกชัดเจน และถูกแร่ sericite เข้ามาแทนที่ในผลึก

### 3.4.2 กลุ่มแร่ Chlorite ที่ถูกเปลี่ยนสภาพ

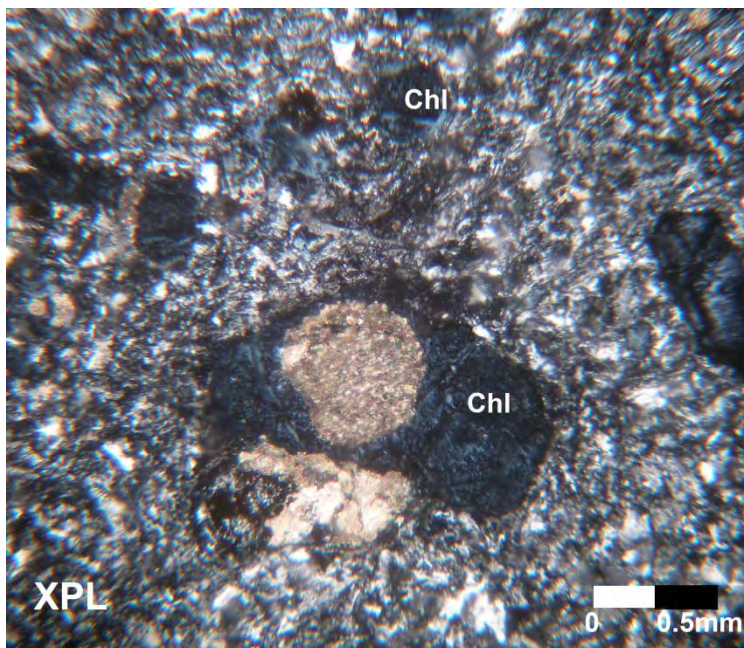


รูปที่ 3.4.8 เป็น PPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 1 พบแร่ chlorite (Chl;10x) ที่มีลักษณะของ สีเขียวอ่อนชัดเจน ซึ่งเป็นลักษณะทางศีลาบรรณนาของแร่ chlorite

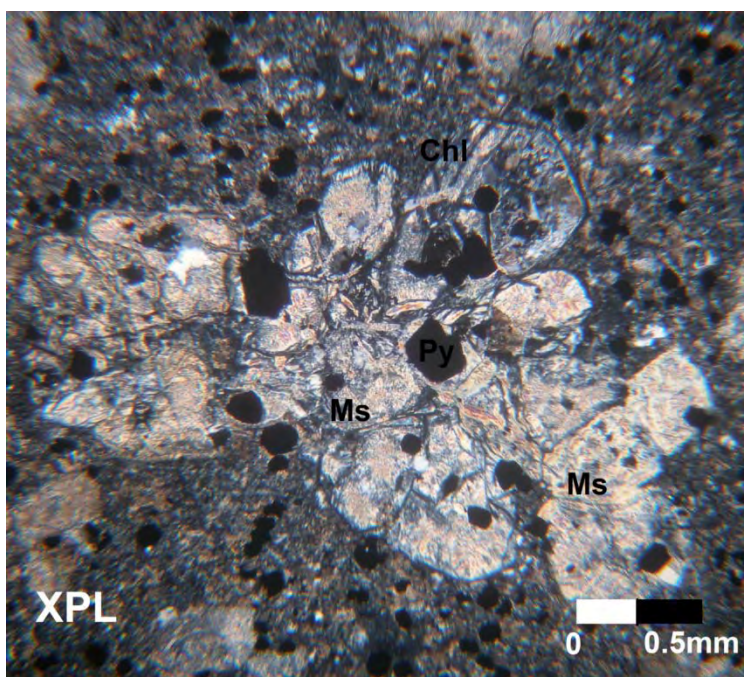


รูปที่ 3.4.9 เป็น XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 1 พบแร่ chlorite (Chl;10x) ที่ถูก alteration อย่างชัดเจน ร่องรอยที่ถูกความร้อนจนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจน

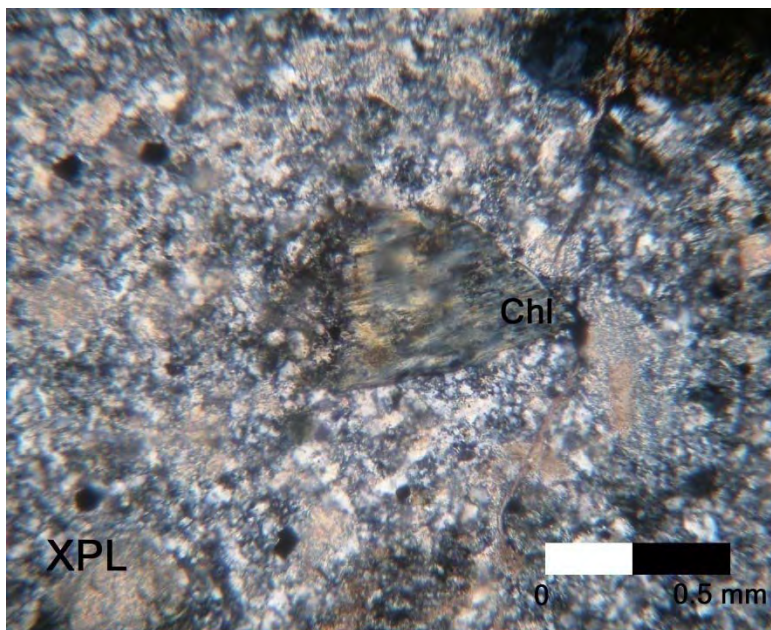




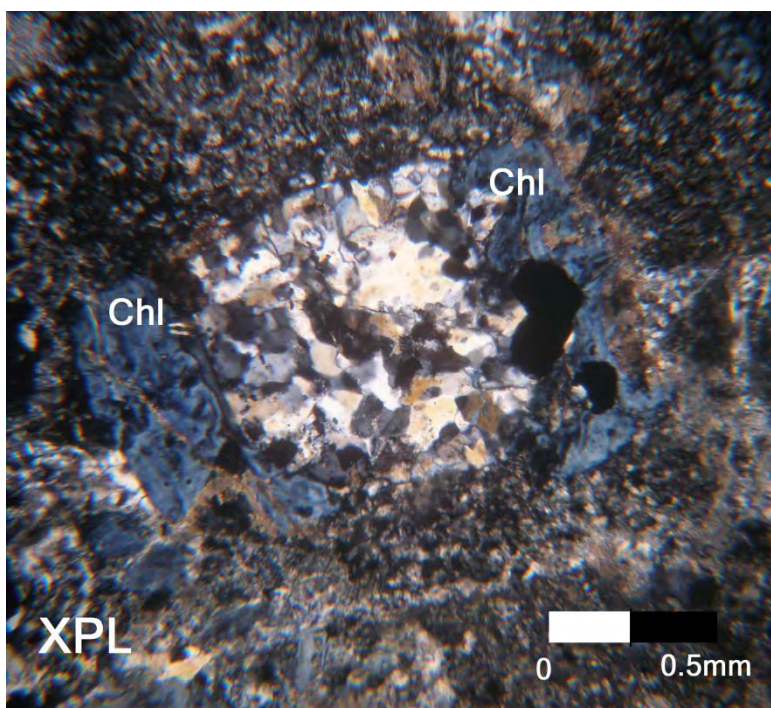
รูปที่ 3.4.10 เป็น XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ ของตัวอย่างที่ 1 พบแร่ chlorite (Chl;10x) ที่ถูก alteration อย่างชัดเจน และภายในเป็นแร่แคลไซต์เข้ามาแทนที่



รูปที่ 3.4.11 เป็น XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ ของตัวอย่างที่ 14 พบแร่ chlorite (Chl;10x) ที่ถูก alteration โดยมีแร่ sericite เข้ามาแทนที่ แร่ chlorite ยังคงลักษณะผลึกไว้

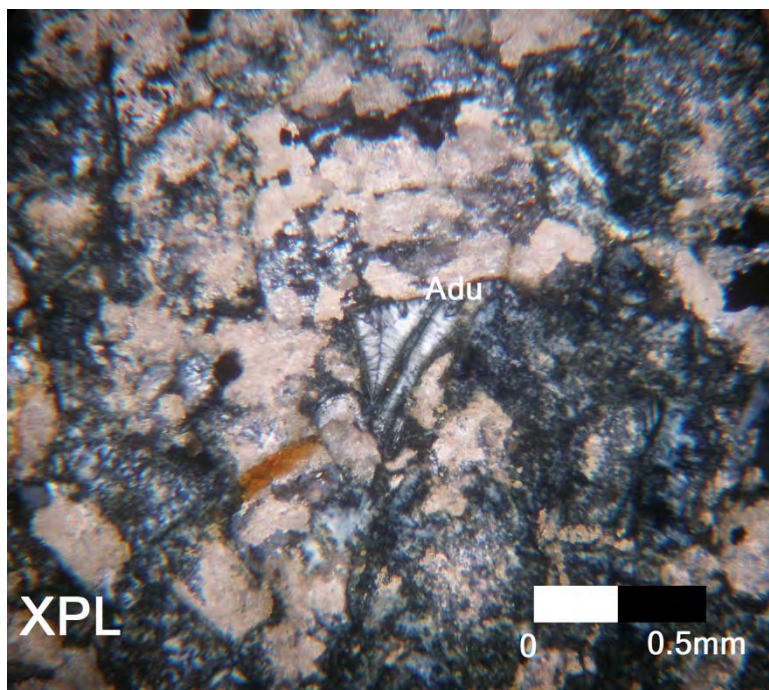


รูปที่ 3.4.12 เป็น XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ ของตัวอย่างที่ 12 พบแร่ chlorite (Chl;10x) ที่ถูก alteration โดยมีแร่ sericite เข้ามาแทนที่

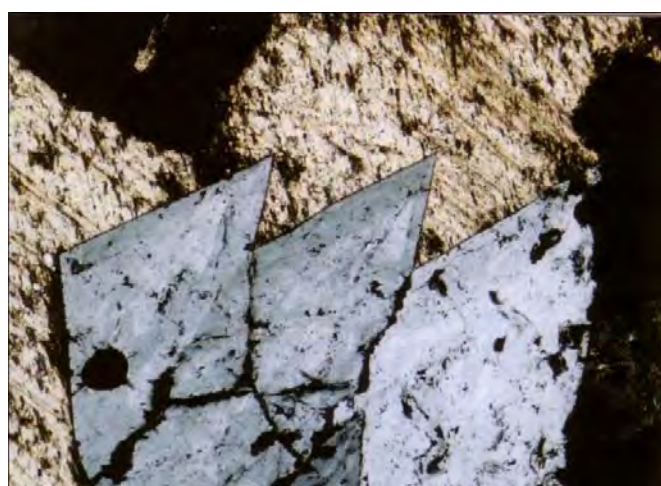


รูปที่ 3.4.13 เป็น XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ ของตัวอย่างที่ 14 พบแร่ chlorite (Chl;10x) ที่ถูก alteration โดยมีแร่ quartz เข้ามาแทนที่

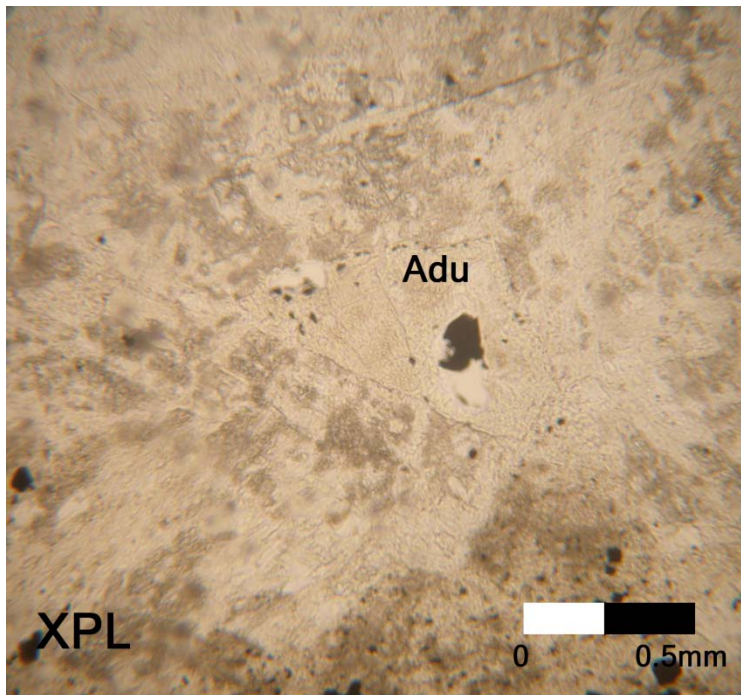
### 3.4.3 กลุ่มแร่ K-feldspar บ่งชี้สภาพการเกิดแหล่งแร่



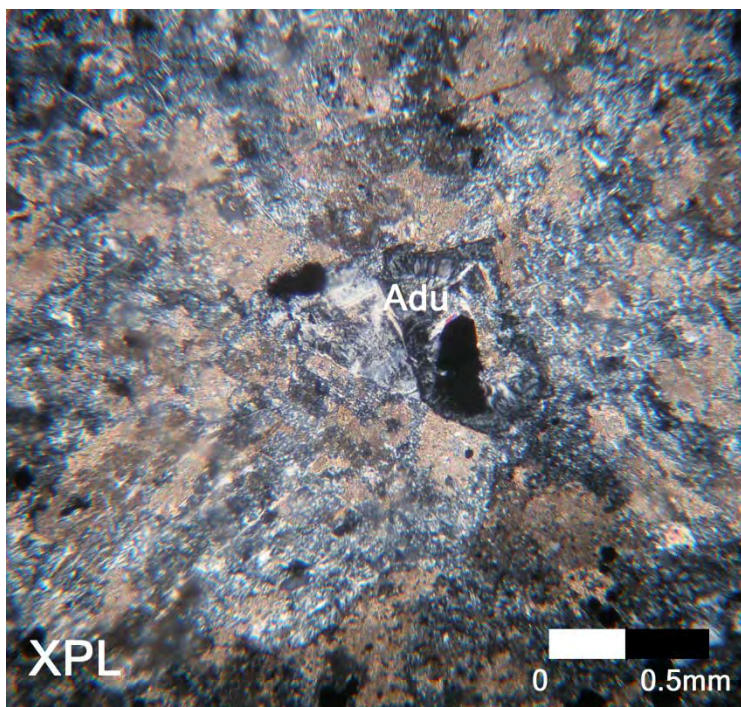
รูปที่ 3.4.14 เป็น XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของตัวอย่างที่ 3 พบแร่ที่มีรูปร่างผลึกหลังอานคล้ายกับแร่ adularia (Adu;10x) ซึ่งเป็นแร่บ่งชี้ที่สามารถบอกถึงสภาพการเกิดแหล่งแร่ได้ว่า เป็นการเกิดแหล่งแร่แบบอุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 3.4.15 เป็น XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ของแร่ adularia (Adu;50x)(ภาพซ้าย) จาก Hedenquist et al., 1996 ได้ทำการศึกษาเรื่องแหล่งแร่ทองคำที่เกิดในอุณหภูมิต่ำ พบแร่ adularia ที่มีรูปร่างผลึกหลังอานชัดเจน (ภาพขวา) จากตัวอย่างที่ 3 เมื่อศึกษาแร่วิทยาภายใต้กล้องโพลาไรซ์ กำลังขยาย 50x พบลักษณะของแร่ที่มีรูปร่างผลึกหลังอานเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.4.16 เป็น PPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ ของตัวอย่างที่ 3 พบแร่ที่มีรูปร่างผลึกหลังอานคล้ายกับแร่ adularia (Adu;10x) ซึ่งเป็นแร่บ่งชี้ที่สามารถบอกถึงสภาพการเกิดแหล่งแร่ได้ว่า เป็นการเกิดแหล่งแร่แบบ อุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 3.4.17 เป็น XPL ภายใต้กล้องโพลาไรซ์ ของตัวอย่างที่ 3 พบแร่ที่มีรูปร่างผลึกหลังอานคล้ายกับแร่ adularia (Adu;10x) ซึ่งเป็นแร่บ่งชี้ที่สามารถบอกถึงสภาพการเกิดแหล่งแร่ได้ว่า เป็นการเกิดแหล่งแร่แบบ อุณหภูมิต่ำ

# บทที่ 4

## การอภิปรายผล

- 4.1 เปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้จากวิธี Analytical Spectral Devices ( ASD ) และวิธีX-Ray Diffractometer (XRD)
- 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลวิเคราะห์ที่ได้จากการศึกษากับโซนแร่ เปลี่ยนสภาพของหินและการเกิดแหล่งแร่

## บทที่ 4

### การอภิปรายผล

#### 4.1 เปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้จากวิธี Analytical Spectral Devices ( ASD ) และวิธี X-Ray Diffractometer ( XRD )

จากการศึกษาตัวอย่างหินจากหลุมเจาะ 07414RD ความลึกหลุม 312 เมตร จากบ่อเอส จำนวน 16 ตัวอย่างด้วยวิธี ASD ซึ่งใช้หลักการของการดูดกลืนช่วงความยาวคลื่นที่ต่างกันของสารประกอบภายในแร่ โดยให้ผลข้อมูลออกมาใน รูปของ absorption peak ซึ่งต้องนำมาแปลผลเพื่อหาชนิดแร่ พบว่าการแปลชนิดแร่ด้วยโปรแกรม TSG 7 มีขีดจำกัดและให้ผลชนิดของแร่ที่น้อยกว่าการแปลด้วยผู้ศึกษา โดยการแปลผลจากผู้ศึกษานั้นจะแปลชนิดของแร่เทียบกับ absorption peak มาตรฐานของแร่แต่ละชนิด อีกทั้งในการเก็บข้อมูลจากการตรวจวัดด้วยเครื่อง ASD อาจจะทำให้ได้ absorption peak ที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากหัวตรวจวัดของเครื่อง ASD มีความไวต่อการตรวจวัด ข้อมูลที่ได้อาจเป็น peak ที่ไม่สมบูรณ์ โปรแกรม TSG 7 จะไม่สามารถแปลผลได้ แต่หากผู้ศึกษาเป็นผู้แปลข้อมูลก็จะสามารถอ่านผลชนิดแร่ได้ อีกทั้งตัวอย่างบางตัวอย่างที่เป็น silicification จะมีผลต่อการเก็บข้อมูลด้วยเครื่อง ASD เมื่อใช้หัวตรวจวัดจากเครื่อง ตรวจวัดค่า absorption peak จะได้ peak ที่ไม่สมบูรณ์ ลักษณะของ peak จะไม่สามารถแปลค่าได้เลย

เมื่อทำการเทียบเคียงข้อมูลที่ได้จากวิธี ASD และ XRD พบว่า มีความสอดคล้องกัน แต่มีบางส่วนของข้อมูลที่ข้อมูลจากวิธี ASD ให้ผลชนิดแร่ที่ไม่ตรงกับข้อมูลจากวิธี XRD ทั้งหมด ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบชนิดของแร่ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี ASD และ XRD

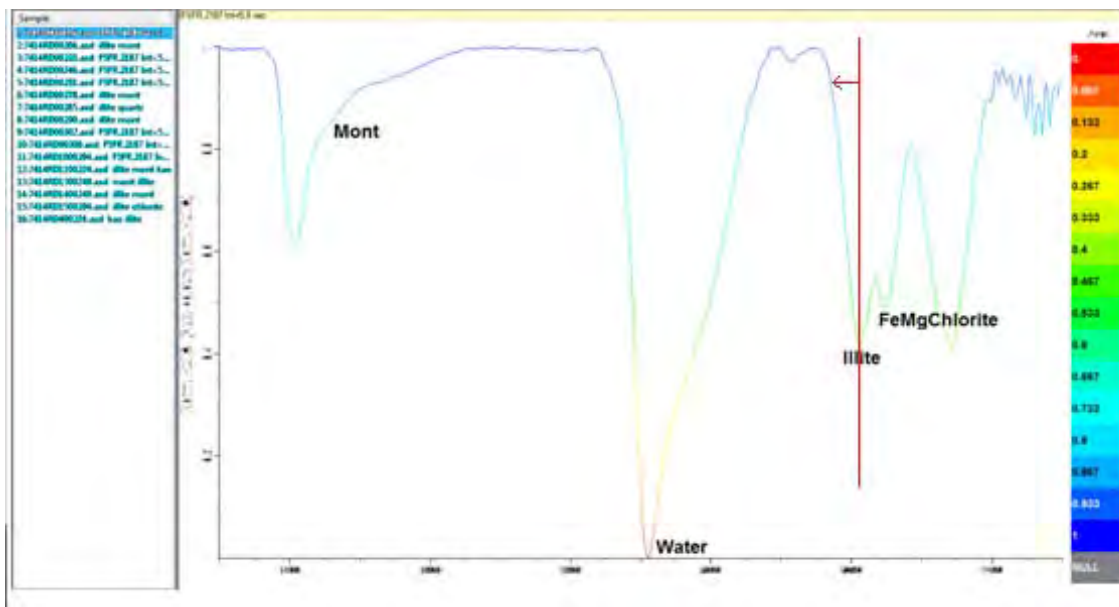
Sample	Depth	ASD	XRD
1	195.80	FeMgChlorite, Illite, Montmorillonite	<i>Kaolinite</i> , FeMgChlorite, Illite, Montmorillonite
2	206.00	Montmorillonite, Illite, Kaolinite	Montmorillonite, Illite, Kaolinite
3	223.05	Kaolinite, Illite, Montmorillonite, MgChlorite	Kaolinite, MgChlorite, Illite, Montmorillonite,
4	224.50	Kaolinite, Montmorillonite, Illite	Kaolinite, Illite, Montmorillonite
5	224.70	Kaolinite, Illite, Montmorillonite	Kaolinite, Illite, Montmorillonite

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบชนิดของแร่ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี ASD และ XRD (ต่อ)

Sample	Depth	ASD	XRD
6	246.70	Illite, Montmorillonite, Kaolinite, FeMgChlorite	Illite, Montmorillonite, Kaolinite, FeMgChlorite
7	249.60	Montmorillonite, Illite, Kaolinite	Kaolinite, Illite, Montmorillonite, <i>MgChlorite</i>
8	249.80	Montmorillonite, Illite, Kaolinite	Illite, Montmorillonite, Kaolinite
9	251.35	<i>Paragonite</i> , Montmorillonite	<i>Illite</i> , Montmorillonite
10	278.10	Illite, Montmorillonite, Kaolinite	Illite, Montmorillonite, Kaolinite
11	285.55	Illite, Montmorillonite, Silicate minerals	Illite, Montmorillonite
12	290.00	Illite, Montmorillonite, Kaolinite, MgChlorite	Illite, Montmorillonite, Kaolinite, MgChlorite
13	294.41	Illite, Montmorillonite, Kaolinite, MgChlorite	Kaolinite, Illite, Montmorillonite, MgChlorite
14	294.58	Illite, Montmorillonite, Kaolinite, MgChlorite	Illite, Montmorillonite, Kaolinite, MgChlorite
15	302.37	FeMgChlorite, Illite, Montmorillonite, Kaolinite	Kaolinite, FeMgChlorite, Illite, Montmorillonite
16	309.60	Illite, Montmorillonite, FeMgChlorite, Kaolinite	Illite, Montmorillonite, Kaolinite, FeMgChlorite

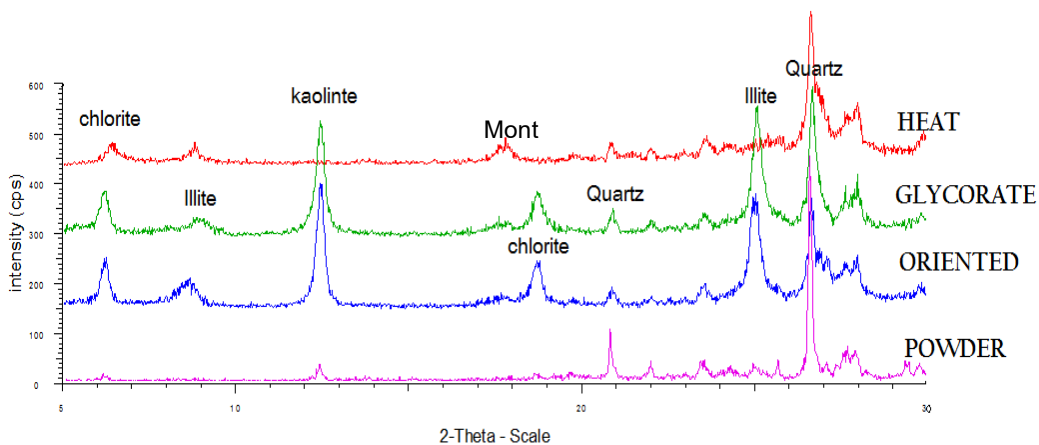
จากตารางที่ 4.1 พบว่าผลข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี ASD และ XRD ทั้งหมด มีความสอดคล้องกันยกเว้นตัวอย่างที่ 1, 7, 9 และ 13 โดยตัวอย่างที่ 1 ผลวิเคราะห์จากวิธี XRD ให้ชนิดแร่ 4 ชนิด ได้แก่ kaolinite, FeMgChlorite, illite และ montmorillonite แต่ผลวิเคราะห์จากวิธี ASD ให้ชนิดแร่เพียง 3 ชนิด ได้แก่ FeMgChlorite, illite และ montmorillonite

เมื่อวิเคราะห์จาก absorption peak ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง ASD จะพบว่า characteristic peak ของแร่ kaolinite ปรากฏไม่ชัดเจน ผู้ศึกษาจึงแปลผลชนิดแร่ที่ชัดเจนเพียง 3 ชนิด แต่หากแปลให้มีแร่ kaolinite ตามผลวิเคราะห์จากวิธี XRD แร่ kaolinite จะมีน้อยมากในตัวอย่างนี้ อาจสังเกตการเบี่ยง peak ไปทางซ้ายของ absorption peak ที่ความยาวช่วงคลื่น 2200



รูปที่ 4.1.1 กราฟ absorption peak แสดงการเบี่ยง peak ไปทางซ้ายเพียงเล็กน้อย ที่ความยาวช่วงคลื่น 2200 ของแร่ kaolinite

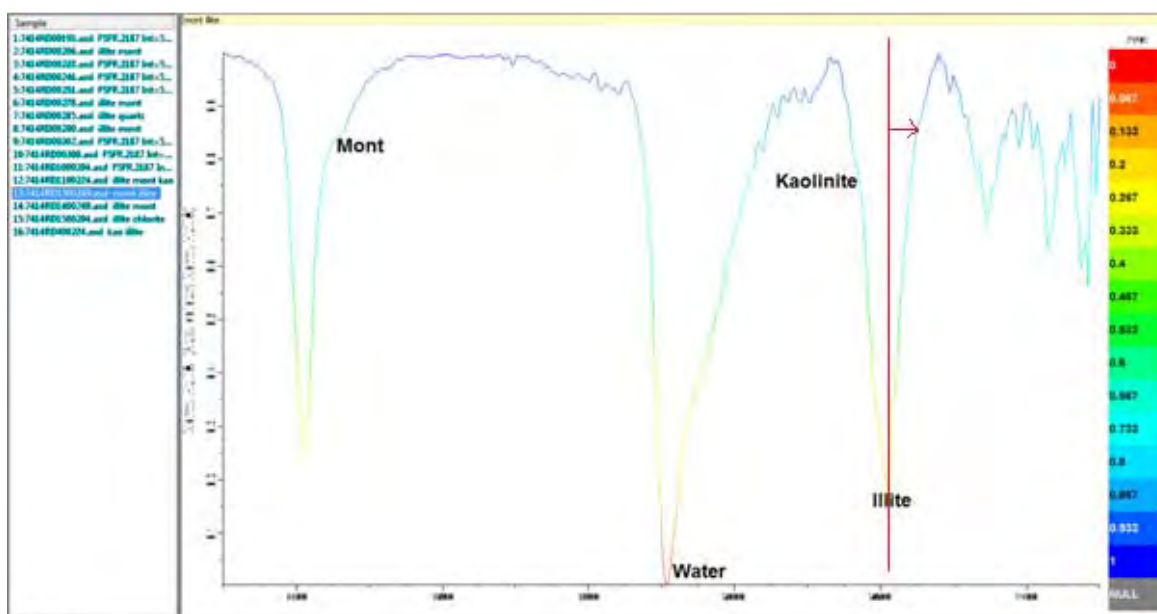
แต่อย่างไรก็ตามผลความไม่สอดคล้องของข้อมูลจากตัวอย่างนี้ก็ยังคงปรากฏชัดเจน เนื่องจากข้อมูลทีวิเคราะห์ได้จากวิธี XRD พบว่าปริมาณของแร่ kaolinite มีมากที่สุด ในแร่ทั้ง 4 ชนิด เนื่องจากความสูงของ peak ที่วิเคราะห์ได้



รูปที่ 4.1.2 ชนิดแร่ดินที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี XRD จากตัวอย่างที่ 1

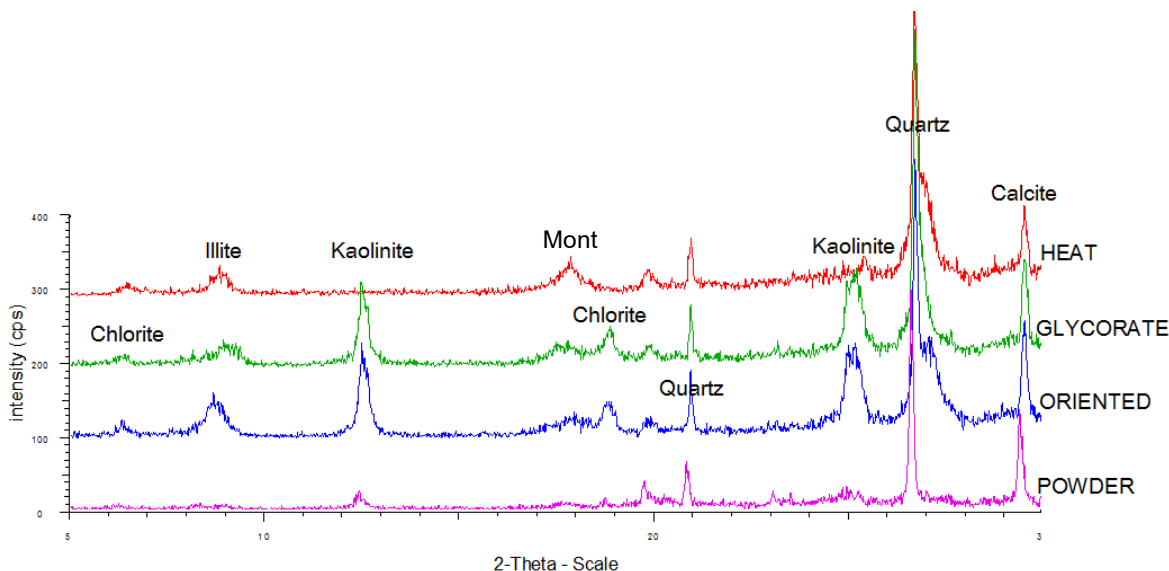


ตัวอย่างที่ 7 ผลวิเคราะห์จากวิธี XRD ให้ชนิดแร่ 4 ชนิด ได้แก่แร่ kaolinite, illite, montmorillonite และ MgChlorite แต่ผลวิเคราะห์จากวิธี ASD ให้ชนิดแร่เพียง 3 ชนิด ได้แก่แร่ montmorillonite, illite และ kaolinite เมื่อวิเคราะห์จาก absorption peak ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง ASD จะพบว่า characteristic peak ของแร่ MgChlorite รากฏไม่ชัดเจน ผู้ศึกษาจึงแปลผลชนิดแร่ที่ชัดเจนเพียง 3 ชนิด แต่หากแปลให้มีแร่ MgChlorite ตามผลวิเคราะห์จากวิธี XRD แร่ MgChlorite จะมีน้อยมากในตัวอย่างนี้ อาจสังเกตการเบี่ยง peak ไปทางขวาของ absorption peak ที่ความยาวช่วงคลื่น 2200



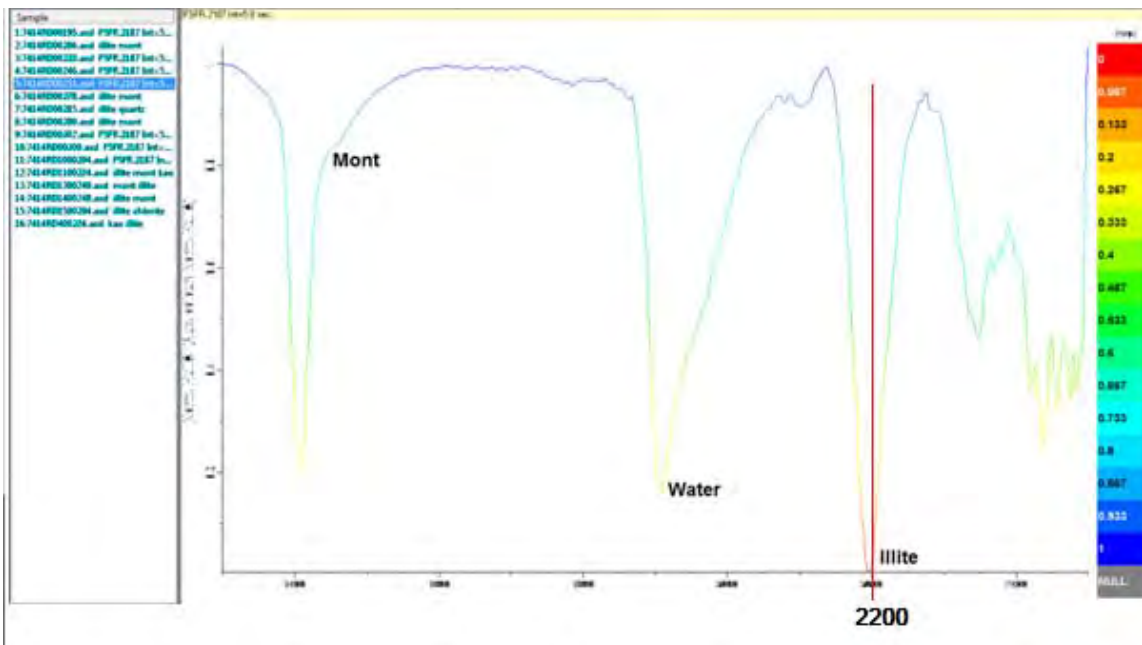
รูปที่ 4.1.3 กราฟ absorption peak แสดงการเบี่ยง peak ไปทางขวาเพียงเล็กน้อย ที่ความยาวช่วงคลื่น 2200 ของแร่ MgChlorite

ผลความไม่สอดคล้องของข้อมูลจากตัวอย่างอาจจะเทียบเคียงให้มีความใกล้เคียงกันได้ เนื่องจากข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากวิธี XRD พบว่าปริมาณของแร่ MgChlorite มีปริมาณน้อย และน้อยที่สุดในแร่ทั้ง 4 ชนิดที่วิเคราะห์ได้ ความสูงของ peak ต่ำ

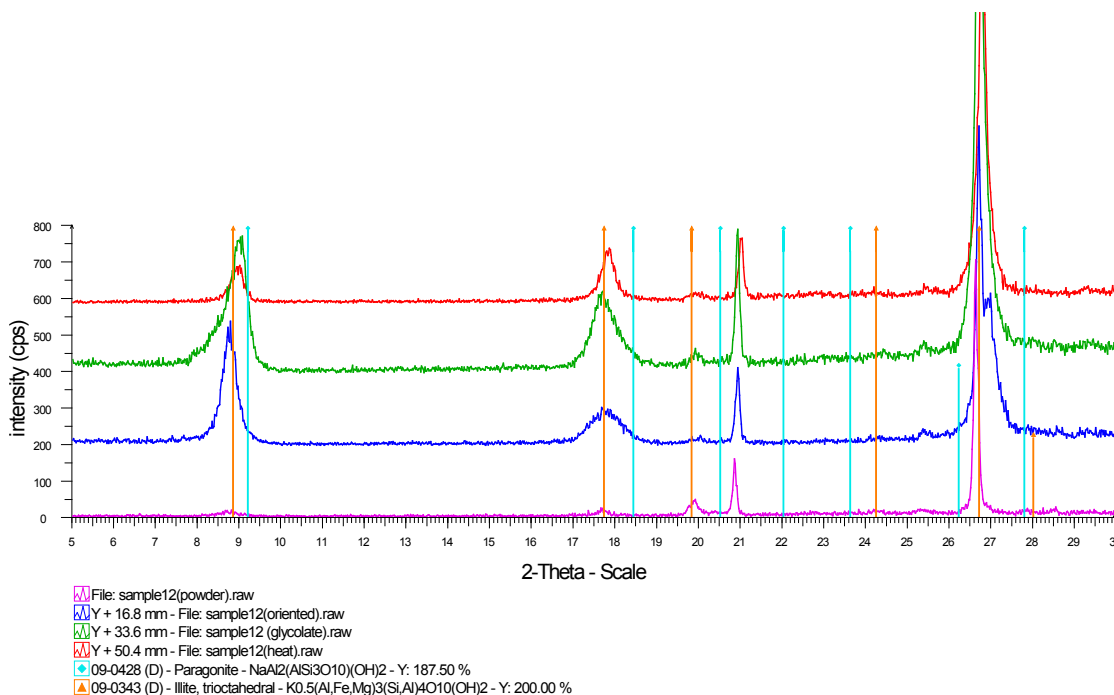


รูปที่ 4.1.4 ชนิดแร่ดินที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี XRD จากตัวอย่างที่ 7

ตัวอย่างที่ 9 ผลวิเคราะห์จากวิธี ASD และ XRD ให้ชนิดแร่จำนวนเท่ากัน แต่ต่างชนิดกัน ผลวิเคราะห์จากวิธี ASD ให้ผลชนิดแร่ได้แก่แร่ paragonite และ montmorillonite ส่วนผลวิเคราะห์จากวิธี XRD ให้ผลชนิดแร่ได้แก่แร่ illite และ montmorillonite แร่ paragonite เป็นแร่ในกลุ่มไมก้า ( Mica Group ) ที่มีสูตรเคมีคือ  $\text{NaAl}_2[(\text{OH})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$  แร่ illite เป็นแร่ดินที่เปลี่ยนแปลงสภาพมาจากกลุ่มแร่ไมก้าเช่นกัน มีสูตรเคมีคือ  $(\text{K},\text{H}_3\text{O})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})]$  เนื่องจากแร่ทั้งสองชนิดมีสารประกอบที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นการดูคลื่นความยาวช่วงคลื่นจึงใกล้เคียงกัน โดยที่ผลวิเคราะห์ด้วยวิธี ASD ความยาวช่วงคลื่นที่แปลผลให้เป็นแร่ paragonite คือ ความยาวช่วงคลื่นที่ 2198 nm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นสั้นของแร่ illite แต่ผลไม่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี XRD เนื่องจาก characteristic peak ของแร่ paragonite ไม่ตรงกับ peak ของตัวอย่างที่วิเคราะห์ ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบระหว่าง characteristic peak ของแร่ illite กับแร่ paragonite พบว่า characteristic peak ของแร่ illite มีความสอดคล้องมากกว่า โดยเฉพาะ characteristic peak ที่  $2\theta$  มีค่า 8.8 องศา แสดงในรูปที่ 4.1.6



รูปที่ 4.1.5 กราฟ absorption peak แสดงการดูดกลืนช่วงคลื่นที่ 2198 nm เทียบกับเส้นสีแดงคือตำแหน่งที่มีการดูดกลืนช่วงคลื่นที่ 2200 nm ของแร่ illite

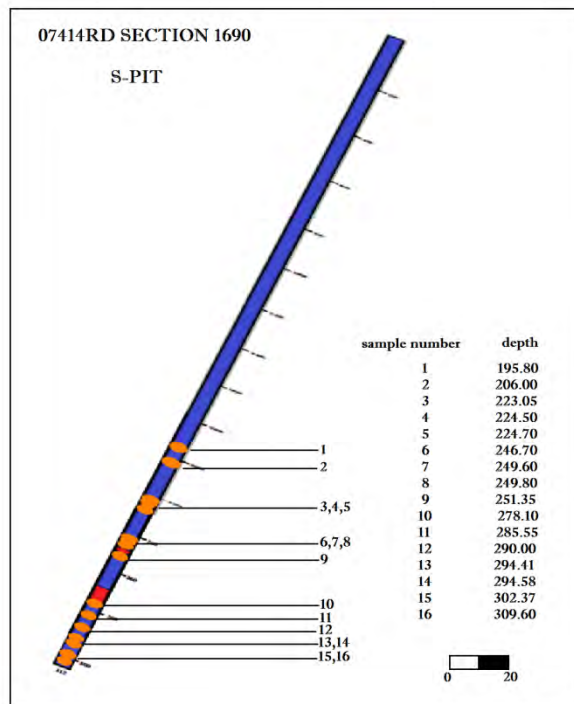


รูปที่ 4.1.6 characteristic peak ของการวิเคราะห์ด้วยวิธี XRD เปรียบเทียบ index peak ของแร่ paragonite (สีฟ้า) และแร่ illite (สีแดง) พบว่า peak ของตัวอย่างที่วิเคราะห์มีความสอดคล้องกับ index peak ของแร่ illite มากกว่าแร่ paragonite ที่มีการเลื่อนไปทางด้านขวามากกว่า

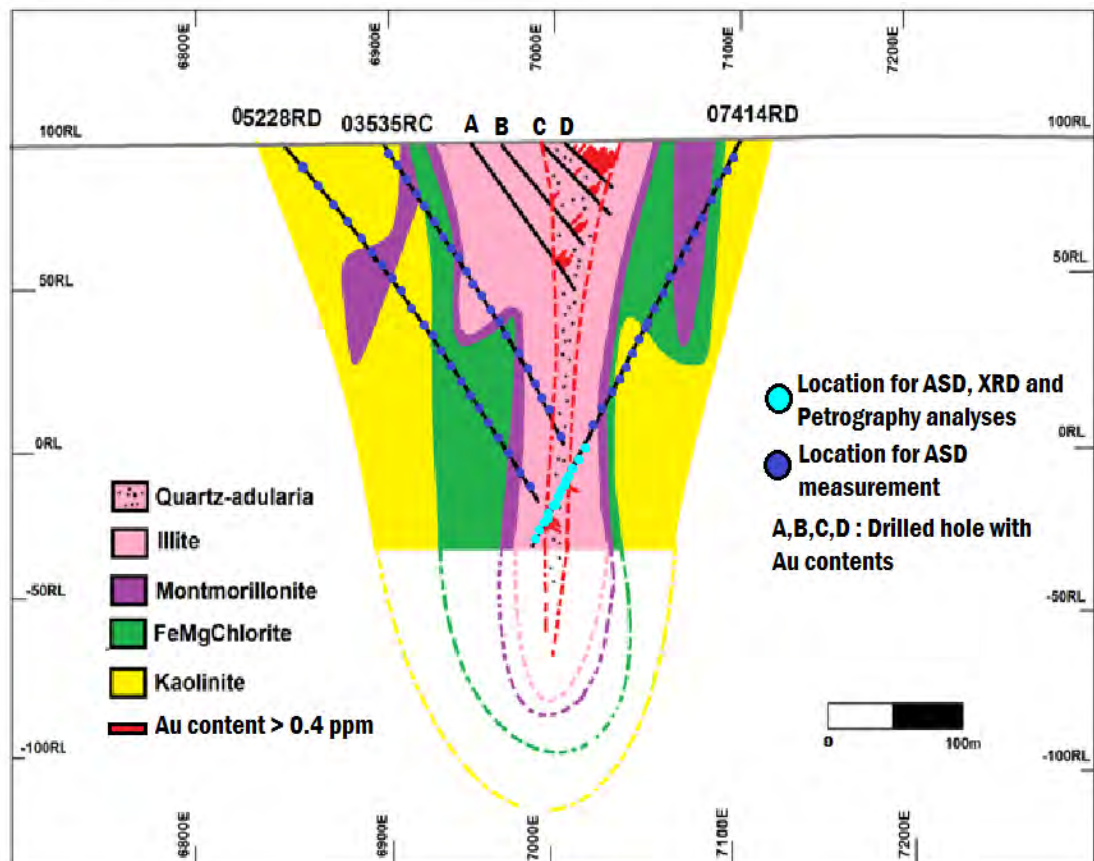
ดังนั้นในการแยกชนิดแร่ระหว่างแร่ illite ที่มีความยาวช่วงคลื่นสั้นกว่า 2200 nm (paragonite) กับแร่ที่มีความยาวช่วงคลื่นยาวกว่า 2200 nm (phengite) หรือแม้แต่แร่ illite ที่มีความยาวช่วงคลื่นเท่ากับ 2200 nm (illite) ยังไม่มีนัยสำคัญในด้านกา วิเคราะห์ด้วยเครื่อง ASD เนื่องจากเมื่อเทียบกับผลวิเคราะห์ด้วยวิธี XRD กับผลชนิดแร่ที่ได้จาก การวิเคราะห์ด้วยวิธี ASD ไม่มีความสอดคล้องกัน อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี ASD มีความสอดคล้องกับผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี XRD เป็นส่วนใหญ่ แสดงถึงขีดจำกัดของการวิเคราะห์ ตัวอย่างด้วยวิธีนี้ อีกทั้งการแปลผลที่ชัดเจนจะต้องขึ้นอยู่กับปริมาณของแร่ดินที่มากพอสำหรับการตรวจวัด ดังเช่นตัวอย่างที่ 1 ในความเป็นจริงอาจจะมีแร่ดิน kaolinite เกิดขึ้น แต่เนื่องจากในตัวอย่างที่ 1 นั้นมีปริมาณของแร่ดิน kaolinite น้อย ความสามารถในการวัดช่วงคลื่นที่สะท้อนออกมาจากการดูดกลืนของความยาวคลื่นที่ 2160 nm ของแร่ kaolinite จากเครื่อง ASD นั้นจึงทำได้ยาก เครื่องจึงไม่สามารถให้ค่า absorption peak ที่บ่งบอกชนิดของแร่ได้

#### 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลวิเคราะห์ที่ได้จากการศึกษากับโซนแร่เปลี่ยนแปลงสภาพของหิน และการเกิดแหล่งแร่

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จาก วิธี ASD, XRD และทางศิลาวรรณนาของตัวอย่างหิน 16 ตัวอย่าง สามารถสร้างความสัมพันธ์ของโซนการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินได้ การพุ่งตัวของน้ำแร้ออนขึ้นมาตามรอยแตกหรือรอยเลื่อนของหินทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ เคมี และ ฟิสิกส์ของหินท้องที่ ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคืออุณหภูมิและความดันที่เพิ่มสูงขึ้น หากปริมาณความร้อนหรืออุณหภูมิและความดันสูงมากเท่าไรจะยิ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหินรุนแรงขึ้นเท่านั้น หินที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพจากสลายแร่ร้อนจะกลายเป็นแร่ดิน ซึ่งแร่ดินแต่ละชนิดจะสามารถบ่งชี้ระยะห่างจากสลายแร่ร้อน ที่อาจมีการตกผลึกให้แร่มีค่าได้ ดังนั้น การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโซนการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินกับ บริเวณแหล่งแร่ทองคำจึงมีความสำคัญ จากที่ได้กล่าวมา ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างหิน 16 ตัวอย่างที่ได้จากแท่งหิน (รูปที่ 4.2.1) สามารถบอกถึงโซนการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินได้ในระดับ แคบ (local scale) เพราะเนื่องจากการวิเคราะห์ผลมีความจำเป็นต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ย่างค่อนข้างมาก เช่น ในขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธี XRD และทางศิลาวรรณนา ยกเว้นการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี ASD ที่ใช้ระยะเวลาสั้น และจากผลวิเคราะห์ทั้งหมดนำมาเชื่อมโยงกับผลวิเคราะห์ด้วยวิธี ASD กับ หลุมเจาะข้างเคียงในระดับกว้าง ( regional scale ) อีก 2 หลุมเจาะพบว่าสามารถสร้างความสัมพันธ์ของโซนการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินได้ดังรูปที่ 4.2.2



รูปที่ 4.2.1 ตำแหน่งตัวอย่าง 16 ตัวอย่าง  
ที่ระดับความลึกต่างๆ ในหลุมเจาะ 07414  
RD ภาพตัดขวางชุดที่ 1690 บ่อเอส



รูปที่ 4.2.2 โซนการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินแสดงตำแหน่งตัวอย่างที่ทำการศึกษา 16 ตัวอย่าง,  
ตำแหน่งการตรวจวัดด้วยวิธี ASD บริเวณพื้นที่ศึกษาบ่อเอส

จากรูปที่ 4.2.2 บอกถึงโซนการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินโดยเริ่มการดันในสุดที่อยู่ติดกับแหล่งแร่ พบว่าเป็นโซนแร่ illite ซึ่งในส่วนของสายแร่จะมีแร่ quartz-adularia ซึ่งมีลักษณะของสภาพที่มีโพแทสเซียมมากในสายแร่ หลังจากนั้นเกิดเป็นโซนแร่ของแร่ illite ซึ่งบ่งชี้ว่ามีการ overprinted เข้ามาของแร่ illite เนื่องจากการดึงเอาโพแทสเซียมในแร่ adularia ออกมา แร่ในโซนนี้ จะมีการเกิดร่วมกับแร่ sericite ซึ่งมักมีลักษณะของการเข้าไปแทนที่ในผลึกแร่ feldspar ซึ่งพบลักษณะนี้ได้ชัดเจนในการวิเคราะห์ทางด้านศิลาวรรณนา มักบ่งบอกถึงการถูกเปลี่ยนแปลงสภาพอย่างรุนแรง หรือเรียกว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพแบบ silicification จากนั้นโซนแร่ถัดมาคือโซนแร่ montmorillonite ( smectite ) ถึงแม้จะเป็นโซนแร่ montmorillonite แต่จะมีการผสมของแร่ illite อยู่ด้วย ลักษณะนี้เรียกว่า inter-layer clay เนื่องจากโซนแร่ถัดมาเป็นบริเวณที่มีระยะห่างจากสายแร่มากกว่า การได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิและความดันลดลง การเปลี่ยนแปลงสภาพของหินจึงไม่มีความรุนแรง เท่ากับโซนแรก การเปลี่ยนแปลงสภาพในลักษณะนี้เมื่อศึกษาทางศิลาวรรณนาก็ยังพบลักษณะการแทนที่ของแร่ sericite ในผลึกแร่ feldspar อยู่ เรียกการเปลี่ยนแปลงสภาพหินเช่นนี้ว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพแบบ phyllic เมื่อระยะห่างจากสายแร่เพิ่มมากขึ้น การได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิและความดันจะลดลงตามลำดับ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพหินที่ต่างกันไป การเปลี่ยนแปลงสภาพของหินแบบ prophyritic จะเกิดถัดออกมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพหินแบบ phyllic แร่ที่เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงสภาพของหินแบบ prophyritic คือแร่ chlorite ซึ่งพบเป็นโซนแร่ที่ต่อจากโซนแร่ montmorillonite ในการศึกษาทางศิลาวรรณนาพบลักษณะของแร่ chlorite ที่ถูกกัดด้วยความร้อนของผลึกมีลักษณะยุ่ย และบางผลึกมีแร่ calcite เข้ามาแทนที่ จากนั้นโซนแร่สุดท้ายได้เข้ามา overprinted คือโซนแร่ kaolinite การเข้ามาในช่วงสุดท้ายของแร่ชนิดนี้จะทำให้เกิดการแทรกกระจายตัวอย่างไม่มีนัยสำคัญภายในโซนแร่ต่างๆ

นอกจากนี้สิ่งสำคัญที่ได้จากการศึกษาทางด้านศิลาวรรณนาคือการบ่งบอกประเภทการเกิดของแหล่งแร่บริเวณที่ศึกษา แร่ adularia เป็นแร่สำคัญที่ใช้ในบ่งชี้การเกิดแหล่งแร่ประเภท epithermal low sulfidation เมื่อเทียบกับการศึกษาทางด้านการเกิด แหล่งแร่ทองคำของ Charusiri et al., 2003 แสดงในตารางที่ 4.2.1 พบว่าแร่ adularia เป็นแร่สำคัญที่บ่งชี้ลักษณะการเกิดแหล่งแร่ในอุณหภูมิต่ำแบบสภาพกรดต่ำ แต่หากเป็นการเกิดแหล่งแร่ในสภาพกรดสูงจะไม่พบแร่ชนิดนี้

ตารางที่ 4.2.1 วิทยาแร่ของแร่ค่าน้อยที่เกิดร่วมในแหล่งแร่ทองคำน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำ

ชนิดแร่	แบบสภาพกรดต่ำ (Low SULFIDATION)	แบบสภาพกรดสูง (HIGH SULFIDATION)
QUARTZ	Ubiquitous (abundant)	Ubiquitous (abundant)
CHALCEDONY	Common (variable)	Uncommon (minor)
CALCITE	Common (variable)	Absent (except as overprint)
ADULARIA	Common (variable)	Absent Uncommon(minor)
ILLITE	Common (variable)	Uncommon (minor)
KAOLINITE	Rare (except as overprint)	Common (minor)
PYROPHYLLITE-	Absent (except as overprint)	Common (variable)
DIASPORE		
ALUNITE	Absent (except as overprint)	Common (minor)
BARITE	Common (variable minor)	Common (minor)

# บทที่ 5

## สรุปผลงานวิจัย



## บทที่ 5

### สรุปผลงานวิจัย

การศึกษาลักษณะวิทยา แร่ของแร่ดินและชุดการเปลี่ยนแปลงสภาพจากตัวอย่างแท่งหิน 16 ตัวอย่าง หลุมเจาะ 07414RD ภาพตัดขวางชุดที่ 1690 บ่อเอส โดยการนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยวิธี ASD, XRD และทางศิลาวรรณนา สามารถสรุปผลการศึกษาได้ว่า การวิเคราะห์ด้วยวิธี ASD จะมีข้อจำกัดในการตรวจวัดแร่ที่ไม่ มีสูตรโครงสร้างน้ำ หรือ OH เป็นองค์ประกอบของแร่ หรือ non-hydrous mineral แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ตัวอย่างหินด้วยวิธี ASD ให้ประโยชน์ในด้านงานเจาะสำรวจระดับกว้าง เนื่องจากใช้เวลาในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้อย เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี ASD เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี XRD พบว่าชนิดแร่มีความสอดคล้องกัน แต่ควรระวัง ความผิดพลาด ของข้อมูลจากการแปลชนิดแร่ด้วยโปรแกรม TSG 7 เพราะโปรแกรมมีขีดจำกัด สามารถแปลผลชนิดแร่ ดินได้สูงสุดเพียง 2 ชนิด ถึงแม้ว่าในตัวอย่างที่วิเคราะห์อาจจะมีแร่ดิน มากกว่า 2 ชนิดก็ตาม การแปลข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากเครื่อง ASD ด้วยตัวผู้ตรวจวัดจะทำให้เกิดความแม่นยำของข้อมูลมากกว่า แต่ในด้านความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการแปลด้วยโปรแกรม TSG 7 อยู่ในระดับที่น่าเชื่อถือได้ นอกจากนี้ผลการเปรียบเทียบข้อมูลวิเคราะห์ ควร ระวัง ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี ASD การใช้ความยาวช่วงคลื่นสั้น และความยาวช่วงคลื่นที่ยาวกว่า 2200 nm ที่ใช้ในการระบุชนิดของแร่ illite ซึ่งได้แก่แร่ paragonite ที่มีความยาวช่วงคลื่นที่สั้นกว่า 2200 nm และแร่ phengite ที่มีความยาวช่วงคลื่นยาวกว่า 2200 nm ยังไม่มีนัยสำคัญของผลที่จะระบุได้ว่าเป็นตามนั้น เนื่องจากผลวิเคราะห์จากวิธี ASD ที่ได้ไม่สอดคล้องกับผลของวิธี XRD

แต่อย่างไรก็ตามการนำ ASD มาใช้ในการหาความสัมพันธ์กับโซนแร่ที่เปลี่ยนแปลงสภาพ จากหินทองที่ โดยมีสายแร่ร้อนเป็นตัวการสำคัญนั้น ทำให้เกิดลักษณะของชุดแร่ดินที่สามารถบ่งบอกถึงระยะห่างจากโซนแร่ดินนั้นไปยังแหล่งแร่ทองคำได้ จากผลงานวิจัยพบว่าโซนแร่ดินที่มีนัยสำคัญที่สามารถบ่งชี้ถึงแหล่งแร่สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 โซน ได้แก่ โซนแร่ quartz-adularia ซึ่งเป็นส่วนของสายแร่ร้อนที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินทองที่อย่างรุนแรง โซนแร่ illite-smectite โซนแร่ FeMgChlorite และโซนสุดท้ายคือโซนแร่ kaolinite นอกจากนี้จากการศึกษายังสามารถบ่งบอกถึงประเภทการเกิดแหล่งแร่ในบริเวณ ที่ศึกษา เนื่องจากพบแร่บ่งชี้ที่สำคัญ ได้แก่แร่ adularia ที่บ่งชี้สภาพการเกิดแหล่งแร่อุณหภูมิต่ำแบบสภาพกรดต่ำ (epithermal low sulfidation) อีกด้วย

## เอกสารอ้างอิง (References)

- Ausspec International Ltd., 2008. Epithermal Alteration Systems; GMEX Spectral Analysis Guides for Mineral Exploration, 495p.
- Charusiri, P., S. Nunsamai, W. Arunsrisangchai, W. Deesawad, 2003. Knowledge on Gold; Epithermal Au Deposits and Their Exploration; geology, GMT corporation company, Chulalongkorn Science. 2:179-205p.
- Corbett., G.J., 2005. Comments for continued mineral exploration in the Chatree gold mine environs from a visit in august 2005. Thailand: Report to Akara mining Limited unpubl.
- Kevin Faure and Robert L. Brathwaite, 2006. Economic Geology; The Waihi Epithermal Gold-Silver-Base metal sulfide- Quartz vein system, New Zealand: Temperature and salinity controls on electrum and sulfide deposition, March 2002 v.97 no. 2 p. 269-290.
- Hedenquist, J.W., Izawa, E., Arribas, A., and White, N.C., 1996, Epithermal Gold Deposits: Styles characteristics and exploration: Society of Resource Geology, Resource Geology Special Publication Number 1, Tokyo, Japan, 24p.
- Hutchison CS, 1974. Laboratory Handbook of Petrographic Techniques. Wiley-Interscience, 527 p.
- Poppe L.J., 2001. A Laboratory Manual for X-Ray Powder Diffraction; U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey Open-File Report 01-041.
- White, N. C. and Hedenquist, J. W., 1994. Epithermal environments and styles of mineralization; variations and their causes, and guidelines for exploration, In: Epithermal gold mineralization of the Circum-Pacific; geology, geochemistry, origin and exploration. Geochemical Exploration, 36: 1-3, 445-474 p.