การจำแนกองค์ประกอบของแร่ดินในสารตัวอย่างดินที่ใช้ในงานเซรามิกส์ดั้งเดิม โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

ปริญญานิพนธ์

ของ

ธันยากร ช่วยทุกข์เพื่อน

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
พฤษภาคม 2547

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การจำแนกองค์ประกอบของแร่ดินในสารตัวอย่างดินที่ใช้ในงานเซรามิกส์ดั้งเดิม โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

ของ
นางสาวธันยากร ช่วยทุกข์เพื่อน

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. นภาภรณ์ หะวานนท์)
วันที่ ..28.. เดือน ..สิงหาคม.. พ.ศ. ..2547..

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ อรุณีย์ อินทศร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชราภรณ์ เขื่อนแก้ว)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ ธีรยุทธ ลิ่วพรเจริญวงศ์)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณา ความช่วยเหลือและด้วยความอนุเคราะห์อย่างดีจากรองศาสตราจารย์ อรุณีย์ อินทศร ประธานควบคุมปริญญานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชราภรณ์ เขื่อนแก้ว กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไข ตลอดจนช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาทำการวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์ และอาจารย์ ธีรยุทธ ลิ่วพรเจริญวงศ์ ที่ได้ร่วมเป็นกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ และกรุณาให้คำแนะนำต่างๆ ที่ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์พนมศักดิ์ สุวิสุทธิ์ อาจารย์สาขาศิลปจินตรทัศน์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สารตัวอย่างดินตลอดจนให้ความรู้ คำแนะนำ ในด้านงานปั้นต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษา ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้ความเมตตาแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท วิชาเอกฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา และทุกๆคนในครอบครัว ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนในการศึกษาของข้าพเจ้า จนสามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ธันยากร ช่วยทุกข์เพื่อน

การจำแนกองค์ประกอบของแร่ดินในสารตัวอย่างดินที่ใช้ในงานเซรามิกส์ดั้งเดิม โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

บทคัดย่อ

ของ

ธันยากร ช่วยทุกข์เพื่อน

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
พฤษภาคม 2547

ธันยากร ช่วยทุกข์เพื่อน. (2547). *การจำแนกองค์ประกอบของแร่ดินในสารตัวอย่างดินที่ใช้ในงานเซรามิกส์ดั้งเดิม โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์.* ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ:บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: รองศาสตราจารย์ อรุณีย์ อินทศร ,ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชราภรณ์ เขื่อนแก้ว.

งานวิจัยนี้ได้เลือกดินขาวจากลำปาง ดินขาวจากระนอง และดินดำจากสุราษฎร์ธานีที่ใช้ผสมในงานปั้น เพื่อศึกษาการจำแนกองค์ประกอบของแร่ดินเหนียวโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ โดยพบว่าจำเป็นต้องมีการแยกแร่ดินเหนียวที่ต้องการออกจากแร่ควอทซ์ และแร่เหล็กออกไซด์ที่ไม่ใช่แร่ดินเหนียว ด้วยการละลายกับน้ำกลั่นและให้อนุภาคของดินที่ไม่ใช่แร่ดินเหนียวตกตะกอนที่เวลา 60 นาที ก่อนที่จะนำแร่ดินเหนียวมาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ มีการกระทำให้ชั้นในโครงสร้างขยายตัวเพื่อแยกแร่ดินเหนียวที่ขยายตัวได้ด้วยวิธีกลีคอลเลชัน และกระทำด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400 และ 550 องศาเซลเซียส ซึ่งโครงสร้างของแร่เคโอลิไนต์จะหายไป ผลการวิเคราะห์ที่ได้ในดินดำพบแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 คือแร่เคโอลิไนต์ และแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 คือแร่อิลไลต์ แร่มอนท์มอริลโลไนต์ แร่เวอร์มิคูไลต์ และแร่เซปพิโอไลต์ โดยที่แร่มอนท์มอริลโลไนต์เป็นแร่ที่มีการขยายตัว และหดตัวสูง ทำให้เกิดการแตกร้าวได้ง่ายเมื่อดินแห้ง โดยในดินขาวจากลำปางพบแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 คือแร่เคโอลิไนต์ และแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 คือแร่อิลไลต์ และแร่มอนท์มอริลโลไนต์ ในดินขาวจากระนองพบแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 อย่างเดียวคือ แร่เคโอลิไนต์ และแร่เมตาฮาลลอยไซต์ทำให้ดินขาวจากระนองมีความแข็งหรือมีการแตกร้าวยากที่สุด

THE IDENTIFICATION ON CLAY MINERALS IN CLAY MATERIALS OF CONVENTIONAL CERAMICS WORK USING X-RAY DIFFRACTION TECHNIQUE

AN ABSTRACT

BY

THUNYAKORN CHUAYTUKPUAN

Presented in partial fulfillment of the requirements

for the Master of Education degree in Physics

at Srinakharinwirot University

May 2004

Thunyakorn Chuaytukpuan. (2004). *The Identification on Clay Minerals in Clay materials of Conventional Ceramics Work Using X-Ray Diffraction Technique*. Master thesis, M.Ed. (Physics). Bangkok:Graduate school, Srinakharinwirot University. Advisor Committee:Assoc. Prof. Arunee Intasorn, Assist. Prof. Dr. Watcharaporn Keankeo

In order to identify clay-mineral components using an X–Ray Diffractometer (XRD),white clay from Ranong and ball clay from Surat-Thani, both commonly utilized as a clay mixture for fine art work, and white clay from Lampang were selected as well for this study. Clay separation was required to exclude clay particles from non-clay i.e., quartz and Fe-Oxide by leaving the clay slurry for 60 minutes to let the non-clay particles silty. Prior to XRD analysis, each sample was treated by glycolation for identification of swelling clay and by heating at 400 ^{0}C and 550 ^{0}C for the destruction of kaolinite. The result shows that the ball clay is considered as 1:1 type of clay mineral of kaolinite and 2:1 type of clay mineral of illite, montmorillonite, vermiculite and sepiolite. The montmorillonite, a highly swelling clay, is brutal to be clay responsible for causing shrinkage and cracking when the clay is dried. As for the case of white clay from Ranong, only the 1:1 type of clay mineral of kaolinite and metahalloysite are identified. This result reveals the reason to enhance the hardness of a clay mixture for fine art work with this white clay. White clay from Lampang is cousidered as 1:1 type of clay mineral of kaolinite and the 2:1 type of clay mineral of illite and montmorillonite as well.

สารบัญ

บทที่ หน้า

1 บทนำ..... 1
ภูมิหลัง..... 1
ความมุ่งหมายของงานวิจัย..... 3
ความสำคัญของงานวิจัย..... 3
ขอบเขตของงานวิจัย..... 3

2 ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5
ทฤษฎี..... 5
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 30

3 วัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 32
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย..... 32
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 34

4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล..... 37

5 สรุปอภิปรายและข้อเสนอแนะ..... 66
สรุปผลการทดลอง..... 66
อภิปรายผลการทดลอง..... 69
ข้อเสนอแนะ..... 71

บรรณานุกรม..... 72

ประวัติย่อผู้วิจัย..... 76

บัญชีตาราง

ตาราง หน้า

1 ระบบผลึกและค่าคงตัวแลตทิช..... 7

2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของแร่ดินเหนียวที่สำคัญ 3 ชนิด..... 20

3 แผ่นกรองแสงเส้นสเปกตรัม $K\beta$ ($K\beta$ Filter) ที่เหมาะสมสำหรับเป้าโลหะชนิดต่างๆ..... 28

4 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินขาวจังหวัดลำปาง ที่ผ่านการล้างแล้วของบริษัทสยาม เซรามิคซัพพลายจำกัด ต.สวนดอก อ.เมือง จ.ลำปาง..... 32

5 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำ สุราษฎร์ธานีโดยการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง โดยไม่แยกแร่ดินเหนียว..... 40

6 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางโดยการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่างโดยไม่แยกแร่ดินเหนียว..... 41

7 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองโดยการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่างโดยไม่แยกแร่ดินเหนียว..... 42

8 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที..... 43

9 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที..... 44

10 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที..... 45

11 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที โดยนำผงที่ได้มาเตรียมแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง..... 46

บัญชีตาราง(ต่อ)

ตาราง หน้า

12 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที..... 47

13 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที..... 48

14 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที..... 49

15 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที..... 50

16 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที..... 51

17 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที..... 52

18 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำ สุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มากระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล..... 53

19 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำ สุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส..... 54

20 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำ สุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส..... 55

บัญชีตาราง(ต่อ)

ตาราง หน้า

12 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที..... 47

13 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที..... 48

14 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที..... 49

15 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที..... 50

16 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที..... 51

17 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที..... 52

18 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำ สุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มากระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล..... 53

19 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำ สุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส..... 54

20 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำ สุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส..... 55

บัญชีตาราง(ต่อ)

ตาราง หน้า

21 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและ ให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มากระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล..... 57

22 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและ ให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส..... 58

23 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและ ให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส..... 59

24 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและ ให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มากระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล..... 61

25 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและ ให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส..... 62

26 การเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวจากดินตัวอย่าง ทั้ง 3 ชนิด..... 65

27 ผลการจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียวด้วยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของดินตัวอย่าง ทั้ง 3 ชนิด ภายหลังการกระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล กระทำด้วยความร้อน..... 65

บัญชีตาราง(ต่อ)

ตาราง หน้า

21 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและ ให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มากระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล..... 57

22 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและ ให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส..... 58

23 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและ ให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส..... 59

24 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและ ให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มากระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล..... 61

25 ข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาว ระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและ ให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส..... 62

26 การเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวจากดินตัวอย่าง ทั้ง 3 ชนิด..... 65

27 ผลการจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียวด้วยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของดินตัวอย่าง ทั้ง 3 ชนิด ภายหลังการกระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล กระทำด้วยความร้อน..... 65

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ หน้า

1 จุดโครงผลึก..... 5
2 เซลล์หน่วยหนึ่งหน่วย..... 6
3 เซลล์หน่วย 14 แบบในบราเวส์แลตทิช..... 8
4 ระนาบต่าง ๆของผลึก..... 9
5 เตตระฮีดรอลหนึ่งหน่วย..... 10
6 หน่วยซิลิกาเตตระฮีดรอลต่อกันหกอัน..... 10
7 ออกตะฮีดรอลหนึ่งหน่วย..... 11
8 หน่วยออกตะฮีดรอลที่เชื่อมต่อกัน..... 11
9 การเชื่อมกันของ 2 โครงสร้าง..... 12
10 โครงสร้างของแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 ของแร่เคโอลิไนต์..... 13
11 โครงสร้างของแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 ของแร่สเมกไทต์..... 15
12 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ตามกฎของแบรกก์..... 21
13 ความสัมพันธ์ระหว่างแฟคเตอร์โพลาไรเซชันที่มุมกระเจิงต่าง ๆ..... 24
14 หลอดรังสีเอกซ์ชนิดหน้าต่างด้านข้าง..... 27
15 ส่วนประกอบของโกนิโอมิเตอร์..... 27
16 ชุดอุปกรณ์ใส่สารตัวอย่าง..... 35
17 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีโดย
การเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง
โดยไม่แยกแร่ดินเหนียว..... 40
18 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางโดยการ
เตรียมชิ้นตัวอย่างแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง
โดยไม่แยกแร่ดินเหนียว..... 41
19 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองโดยการ
เตรียมชิ้นตัวอย่างแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง
โดยไม่แยกแร่ดินเหนียว..... 42
20 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี
สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการ
ตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที..... 43

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

21 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที..... 44

22 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที..... 45

23 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที โดยนำผงที่ได้มาเตรียมแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง..... 46

24 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที..... 47

25 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที..... 48

26 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที..... 49

27 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที..... 50

28 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที..... 51

29 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที..... 52

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

21 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที..... 44

22 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที..... 45

23 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที โดยนำผงที่ได้มาเตรียมแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง..... 46

24 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที..... 47

25 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที..... 48

26 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที..... 49

27 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที..... 50

28 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที..... 51

29 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที..... 52

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

21 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที..... 44

22 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที..... 45

23 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที โดยนำผงที่ได้มาเตรียมแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง..... 46

24 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที..... 47

25 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที..... 48

26 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที..... 49

27 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที..... 50

28 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที..... 51

29 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที..... 52

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

30 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มากระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล..... 53

31 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส..... 54

32 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส..... 55

33 ผลการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี จากชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง การกระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล และกระทำด้วยความร้อน..... 56

34 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มากระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล..... 57

35 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส..... 58

36 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส..... 59

37 ผลการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปาง จากชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง การกระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล และกระทำด้วยความร้อน..... 60

38 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มากระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล..... 61

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

30 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มากระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล..... 53

31 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส..... 54

32 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส..... 55

33 ผลการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี จากชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง การกระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล และกระทำด้วยความร้อน..... 56

34 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มากระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล..... 57

35 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส..... 58

36 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส..... 59

37 ผลการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปาง จากชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง การกระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล และกระทำด้วยความร้อน..... 60

38 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มากระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล..... 61

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

39 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส..... 62

40 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส..... 63

41 ผลการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนอง จากชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำและให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที แล้วทิ้งไว้ให้แห้งการกระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล และกระทำด้วยความร้อน..... 64

บทที่ 1
บทนำ

ภูมิหลัง

เครื่องปั้นดินเผา (Pottery) เป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกส์แบบดั้งเดิม(Conventional Ceramics) ประเภทหนึ่งซึ่งในปัจจุบันจัดเป็นอุตสาหกรรมที่มีการเจริญเติบโตค่อนข้างสูง และมีแนวโน้มขยายตัวได้ดี โดยเฉพาะเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ในประเทศไทยมีการผลิตเครื่องปั้นดินเผาเกือบทั่วประเทศเนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาใช้หาได้ง่ายและมีตามท้องถิ่นนั้นๆ แต่จะเห็นได้ว่าเครื่องปั้นดินเผาในแต่ละแห่งจะมีคุณภาพที่แตกต่างกัน บางแห่งอาจเกิดการแตกร้าวและหักพังได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับที่อื่นๆ ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิต สาเหตุหลักมักเกิดจากชนิด และคุณภาพของดินที่นำมาใช้ จากการสำรวจพบว่า ดินที่นำมาใช้ในงานปั้นต่างๆในประเทศไทยมีหลายแห่ง ได้แก่ ดินขาวลำปาง ดินขาวระนอง ดินขาวนราธิวาส ดินขาวชุมพร ดินขาวปราจีนบุรี ดินขาวอุตรดิตถ์ และดินขาวเชียงราย คุณสมบัติเฉพาะตัวของวัตถุดิบเหล่านี้ เช่น โครงสร้างผลึก ส่วนประกอบทางเคมี และคุณสมบัติต่างๆมีผลทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างคุณภาพของงานได้ ดินแต่ละแห่งจะมีส่วนประกอบของแร่ดินเหนียวที่ต่างกัน เป็นผลทำให้คุณภาพของงานแตกต่างกัน [1]ปัจจุบันดินขาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ได้แก่ ดินขาวระนอง ดินขาวชุมพร และดินขาวนราธิวาส ซึ่งเป็นดินขาวคุณภาพปานกลาง และดินขาวลำปางซึ่งเป็นดินขาวคุณภาพต่ำ ดังนั้นในการศึกษาส่วนประกอบของดินที่จะนำมาใช้ในงานปั้นเครื่องปั้นดินเผานั้น นับว่าเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่มีประโยชน์ต่อการนำดินไปใช้ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาต่อไป

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเซรามิกส์แบบดั้งเดิมของไทย มีการใช้แหล่งทรัพยากรดินเป็นอย่างมาก โดยนำดินที่มีคุณภาพไปผลิตผลงานกัน และทิ้งดินที่มีคุณภาพต่ำกว่าโดยไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ใดๆ ทั้งสิ้น ซึ่งนับว่าเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรธรรมชาติ ของประเทศเป็นอย่างยิ่ง นับว่าเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างไม่คุ้มค่า ขาดการวางแผนที่ดี เกิดการทิ้งขว้างสิ่งที่อาจนำไปใช้ประโยชน์ทางอื่นได้ ถ้ามีการตรวจสอบคุณภาพดินในแต่ละขั้นตอน ว่ามีองค์ประกอบของอะไรบ้างก็จะทำให้เกิดการนำดินแต่ละส่วนไปใช้ประโยชน์ได้เหมาะสม ตามคุณภาพของดินนั้นๆ สามารถลดปัญหาการทิ้งขยะดินคุณภาพต่ำ และลดปัญหาการใช้ทรัพยากรอย่างฟุ่มเฟือย เพราะการผลิตบางอย่างอาจไม่จำเป็นต้องใช้ดินที่มีคุณภาพสูงมากๆ เหมือนอย่างในปัจจุบันนี้ก็ได้ ดังนั้นถ้ามีการศึกษาองค์ประกอบแร่ดินในแต่ละแหล่ง ทั้งที่มีคุณภาพสูงและคุณภาพต่ำ ก็จะมีประโยชน์ต่อการตัดสินใจ นำดินไปใช้ในการผลิตชิ้นงานต่อไปได้ดีขึ้น

---

[1]สำนักนโยบายอุตสาหกรรมรายสาขา 2 สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. (2546). *โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาเซรามิกส์และแก้ว).* หน้า 204.

แร่ดินเหนียว (Clay Minerals) หมายถึงกลุ่มของอนุภาคดินที่มีขนาดละเอียด จัดเป็นพวกไฮดรัสอลูมินัสซิลิเกต (Hydrous Aluminous Silicate) แต่มักมีไอออนของ เหล็ก (Fe) แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) โพเทสเซียม (K) และโซเดียม (Na) ประกอบอยู่ด้วยเล็กน้อย แร่ดินเหนียวเป็นแร่ทุติยภูมิที่เกิดจากการสลายตัวทางเคมีของแร่ปฐมภูมิต่างๆ แบ่งออกได้ 7 กลุ่ม ดังนี้

1.แร่ดินเหนียว 1:1

2.สเมกไทต์ (Smectite) เป็นแร่ดินเหนียวประเภท 2:1

3.เวอร์มิคูไลต์ (Vermiculite) เป็นแร่ดินเหนียวประเภท 2:1

4.อิลไลต์ (Illite) เป็นแร่ดินเหนียวประเภท 2:1

5.คลอไรต์ (Chlorite) เป็นแร่ดินเหนียวประเภท 2:1:1

6.เซปพิโอไลต์ (Sepiolite) และพาลีโกสไคต์ (Palygorskite) เป็นแร่ดินเหนียวประเภท 2:1

7.แร่ชั้นผสม (Mixed–Layer) เกิดจากการผสมของแร่ในกลุ่มอิลไลต์-เวอร์มิคูไลต์, อิลไลต์-สเมกไทต์, คลอไรต์-เวอร์มิคูไลต์, คลอไรต์-สเมกไทต์ และ แร่ดินเหนียว 1:1-สเมกไทต์

[2,3]สำหรับเทคนิคการวิเคราะห์แร่ดินเหนียวนั้น สามารถศึกษาการวิเคราะห์ได้หลายวิธีด้วยกัน เช่นการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microscopic Analysis) การวิเคราะห์โดยน้ำหนักและอุณหภูมิเชิงอนุพันธ์ (Differential Thermogravimetric Analysis) การวิเคราะห์ความร้อนเชิงอนุพันธ์ (Differential Thermal Analysis) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) การวิเคราะห์ด้วยการศึกษาการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X–Ray Diffraction) การคำนวณเชิงปกติจากการวิเคราะห์ทางเคมี (Normalative Calculations from Chemical Analysis) การละลายทางเคมีเชิงคัดเลือก (Selective Chemical Dissolution) เครื่องอินฟาเรดสเปกโตรสโคป (Infrared Spectroscope) โดยแต่ละวิธีจะให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้วิจัยว่าต้องการวิเคราะห์สิ่งใด

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้การตรวจสอบแร่ดินเหนียวด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ เนื่องจากเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สามารถใช้ศึกษาโครงสร้างผลึกของแร่ได้ดี โดยแร่แต่ละชนิดจะมีลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน มีรูปผลึกที่แน่นอน การทราบชนิดของแร่ดิน และโครงสร้างผลึก ทำให้นำไปศึกษาผลที่มีต่องานปั้นต่างๆที่เกิดการแตกร้าวได้ง่าย

---

[2]D.Minichelli. (1982). "The Quantitative Phase Analysis of Clay Minerals by X–Ray Diffraction : Modern Aspects of Industrial Routine Control," *Clay Minerals.* (17): 401–408.

[3]A.K.M.E. Islam and E.G.Lotse. (1986). "Quantitaive Mineralogical Analysis of some Bangladesh Soils with X –Ray , Ion Exchange and Selctive Dissolution Techniques," in *Clay Minerals.* (21):31–42.

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

1.เพื่อศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของแร่ดินเหนียว ด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

2.เพื่อศึกษาการจำแนกองค์ประกอบของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดิน

ความสำคัญของงานวิจัย

ได้เทคนิคการวิเคราะห์และจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียวด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับการเตรียมสารตัวอย่างดินที่เหมาะสม ข้อมูลที่วิเคราะห์ได้สามารถนำไปศึกษาหาสาเหตุของการเกิดการแตกร้าวในงานปั้นต่างๆ โดยโครงสร้างของแร่ดินเหนียวแต่ละชนิดมีผลต่อการเกิดปัญหาในการผลิตชิ้นงานต่างกัน สามารถนำผลที่ได้ไปใช้ในการเลือกชนิดและแหล่งที่มาของดินที่จะนำไปใช้ในงานปั้นต่อไป

ขอบเขตของงานวิจัย

จำแนกชนิดของแร่ดินเหนียวที่มีอยู่ในดินตัวอย่างที่นำมาใช้ในงานปั้นได้แก่ ดินขาวลำปาง ดินขาวระนอง และดินดำสุราษฎร์ธานี ด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ โดยศึกษาเทคนิคการเตรียมสารตัวอย่างดินที่ให้ผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือ เปรียบเทียบชนิดของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิด ศึกษาสมบัติของส่วนประกอบของแร่ดินเหนียว แต่ละชนิดที่พบในดินตัวอย่าง และศึกษาคุณภาพของดินที่มีต่องานปั้นต่างๆ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยในครั้งนี้

ได้เทคนิคที่น่าเชื่อถือในการวิเคราะห์ชนิดของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ทำให้สามารถตรวจสอบและจำแนกองค์ประกอบของแร่ดินจากแหล่งต่างๆได้ เพื่อประโยชน์ต่อการศึกษาคุณสมบัติของแร่ดินเหนียวและคุณภาพของดิน ที่มีผลต่อการนำไปใช้ในงานปั้นเพื่อไม่ให้เกิดการแตกร้าว หรือเสียหายง่าย

นิยามศัพท์เฉพาะ

1.แร่ (Minerals) หมายถึงวัตถุดิบที่พบในธรรมชาติ มีโครงสร้างทางเคมีและรูปผลึกที่แน่นอน อาจเกิดจากธาตุเพียงชนิดเดียว หรือเกิดจากธาตุตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปรวมตัวกันเกิดพันธะทางเคมีเป็นรูปผลึกที่แน่นอน

2.แร่ในดิน (Soil Mineral) หมายถึงแร่ที่อยู่แพร่หลายทั่วไปบนผิวโลกประกอบไปด้วย แร่ประกอบหิน แร่ดินเหนียว และแร่อื่นๆ

3.แร่ดินเหนียว (Clay Mineral) หมายถึงกลุ่มของอนุภาคดินที่มีขนาดละเอียด เป็นแร่ทุติยภูมิที่เกิดจากการสลายตัวทางเคมีของแร่ปฐมภูมิ

4.ดิน (Clay) หมายถึงวัตถุธรรมชาติที่เกิดจากการสลายตัวของ แร่ หิน อินทรีย์วัตถุต่างๆ จากพืช และสัตว์ เป็นระยะเวลานับพันๆปี โดยอาศัยปัจจัยต่างๆ

5.ดินตัวอย่าง (Clay Sample) หมายถึงดินที่นำมาใช้ในการทดลอง

บทที่ 2
ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎี

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ แบ่งเป็นหัวข้อที่สำคัญดังนี้

1.ระบบผลึก

2.แร่ดินเหนียว

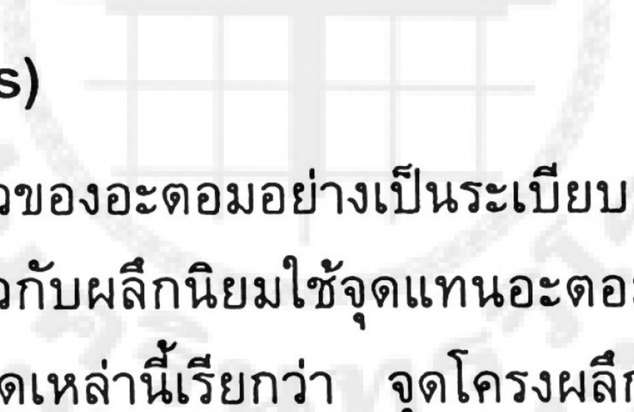
3.การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

4.ความเข้มของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

5.เครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

ระบบผลึก (Crystal Systems)

ผลึกเกิดจากการเรียงตัวของอะตอมอย่างเป็นระเบียบ ทำให้เกิดโครงสร้างทางเรขาคณิตที่แตกต่างกัน ในการศึกษาเกี่ยวกับผลึกนิยมใช้จุดแทนอะตอมหรือกลุ่มอะตอมที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบใน 3 มิติ โดยจุดเหล่านี้เรียกว่า จุดโครงผลึก หรือจุดแลตทิซ (Lattice Point) ดังภาพประกอบ 1

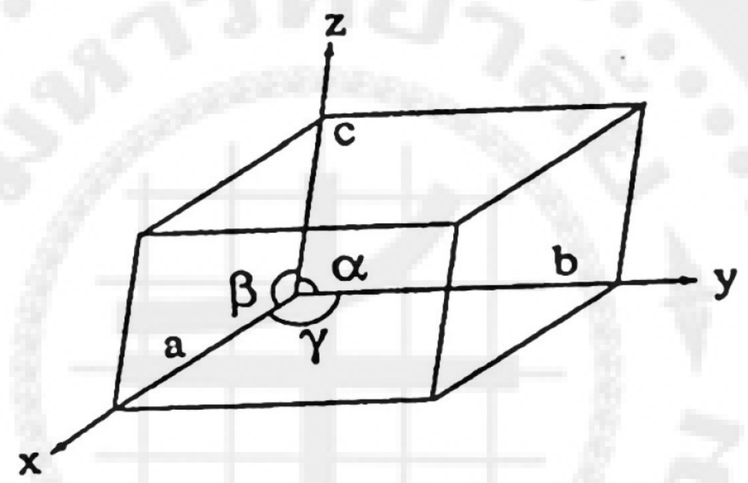


ภาพประกอบ 1 แสดงจุดโครงผลึก

ที่มา: แม้น อมรสิทธิ์ และ สมชัย อัครทิวา. (2544). *วัสดุวิศวกรรม*. หน้า 54.

ระบบผลึกหนึ่งๆ จะประกอบไปด้วยกลุ่มของแลตทิชที่มีอะตอมเข้าไปอยู่อย่างสม่ำเสมอ และมีการเรียงตัวซ้ำๆ อย่างต่อเนื่อง บางครั้งเรียกว่ากลุ่มของเซลล์ โดยแต่ละเซลล์จะมีลักษณะเหมือนกันทั้งรูปร่าง ขนาด และการจัดเรียงตัว โดยทั่วไปเรียกแต่ละเซลล์ว่า เซลล์หน่วย (Unit Cell)

การบอกขนาดและรูปร่างของเซลล์หน่วยจะเขียนแทนด้วยเวกเตอร์ $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ ที่เรียกว่าแกนผลึก โดยขนาดของเวกเตอร์ $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ คือ a, b, c แกนผลึกนี้จะอยู่ตามแนวแกน x, y, z ตามลำดับ ส่วนมุมระหว่างแกนผลึก คือ มุม α, β, γ ซึ่งเป็นมุมระหว่างแกนผลึก b กับ c a กับ c และ a กับ b ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แสดงเซลล์หน่วย 1 หน่วย

ที่มา: Glusker, J.P. (1994). *Crystal Structure Analysis for Chemists and Biologists*. p.38.

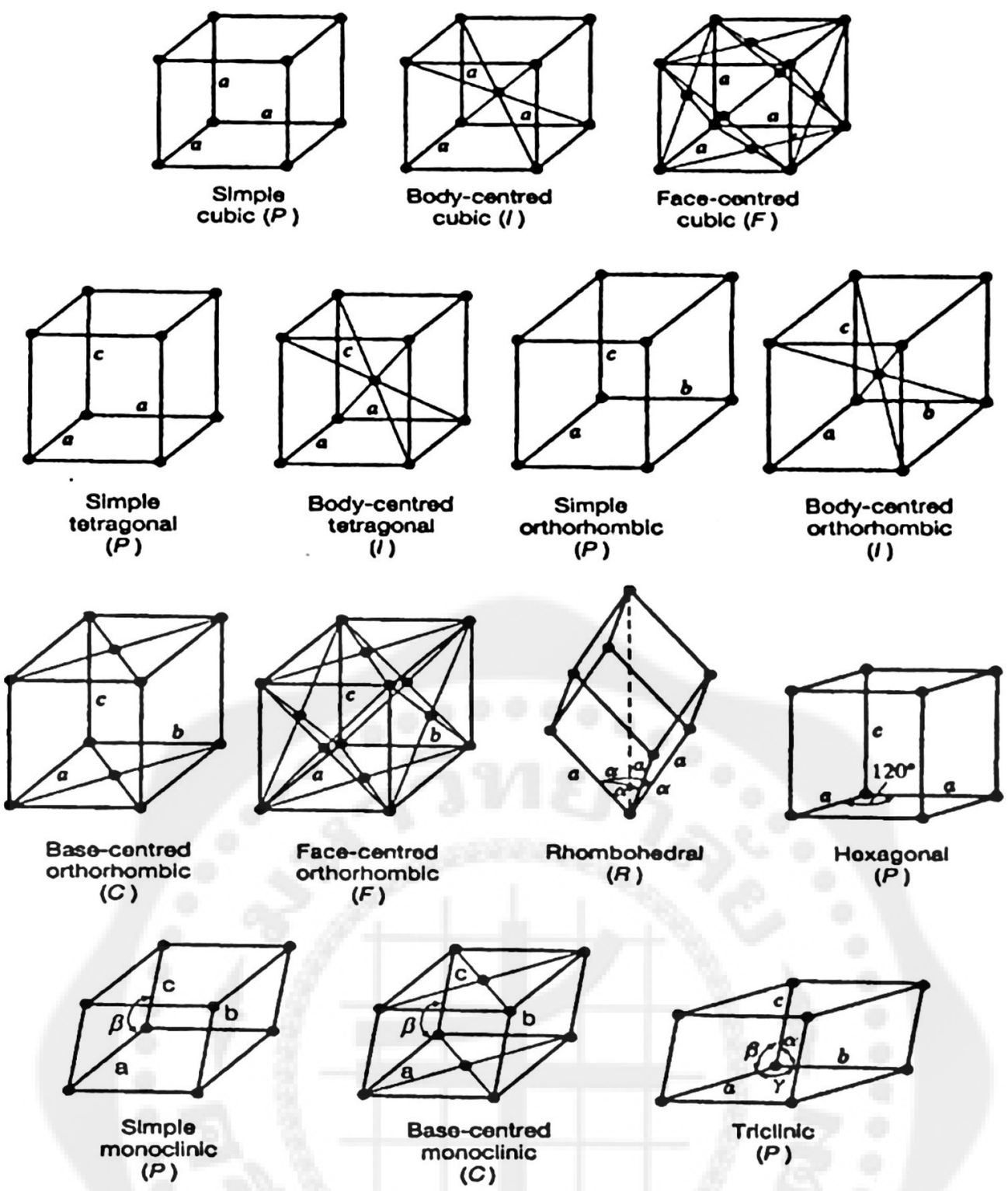
สำหรับค่าความยาวของแกนผลึกและมุมระหว่างแกนผลึก เรียกว่า ค่าคงตัวแลตทิช (Lattice Constant) ซึ่งในหนึ่งเซลล์ของผลึกประกอบด้วยพารามิเตอร์ 6 ค่า คือความยาวของแกนผลึก a, b, c และมุมระหว่างแกนผลึก α, β, γ จากพารามิเตอร์ทั้ง 6 ค่านี้สามารถแบ่งผลึกออกเป็น 7 ระบบดังตาราง 1

ตาราง 1 ระบบผลึกและค่าคงตัวแลตทิช

ระบบผลึก (Crystal Systems)	ค่าคงตัวแลตทิช (Lattice constant)	
ลูกบาศก์ (Cubic)	a=b=c	$\alpha=\beta=\gamma=90^0$
เตตระโกนอล (Tetragonal)	a=b≠c	$\alpha=\beta=\gamma=90^0$
ออร์โทรอมบิก (Orthorhombic)	a≠b≠c	$\alpha=\beta=\gamma=90^0$
ไทรโกนอล (Trigonal)	a=b=c	$\alpha=\beta=\gamma$
	หรือ a=b≠c	$\alpha=\beta=90^0$, $\gamma=120^0$
เฮกซะโกนอล (Hexagonal)	a=b≠c	$\alpha=\beta=90^0$, $\gamma=120^0$
โมโนคลีนิก (Monoclinic)	a≠b≠c	$\alpha=\gamma=90^0$, $\beta>90^0$
ไตรคลีนิก (Triclinic)	a≠b≠c	$\alpha\neq\beta\neq\gamma\neq90^0$

ที่มา: Sands, D.E. (1975). *Introduction to Crystallography.* p. 60.

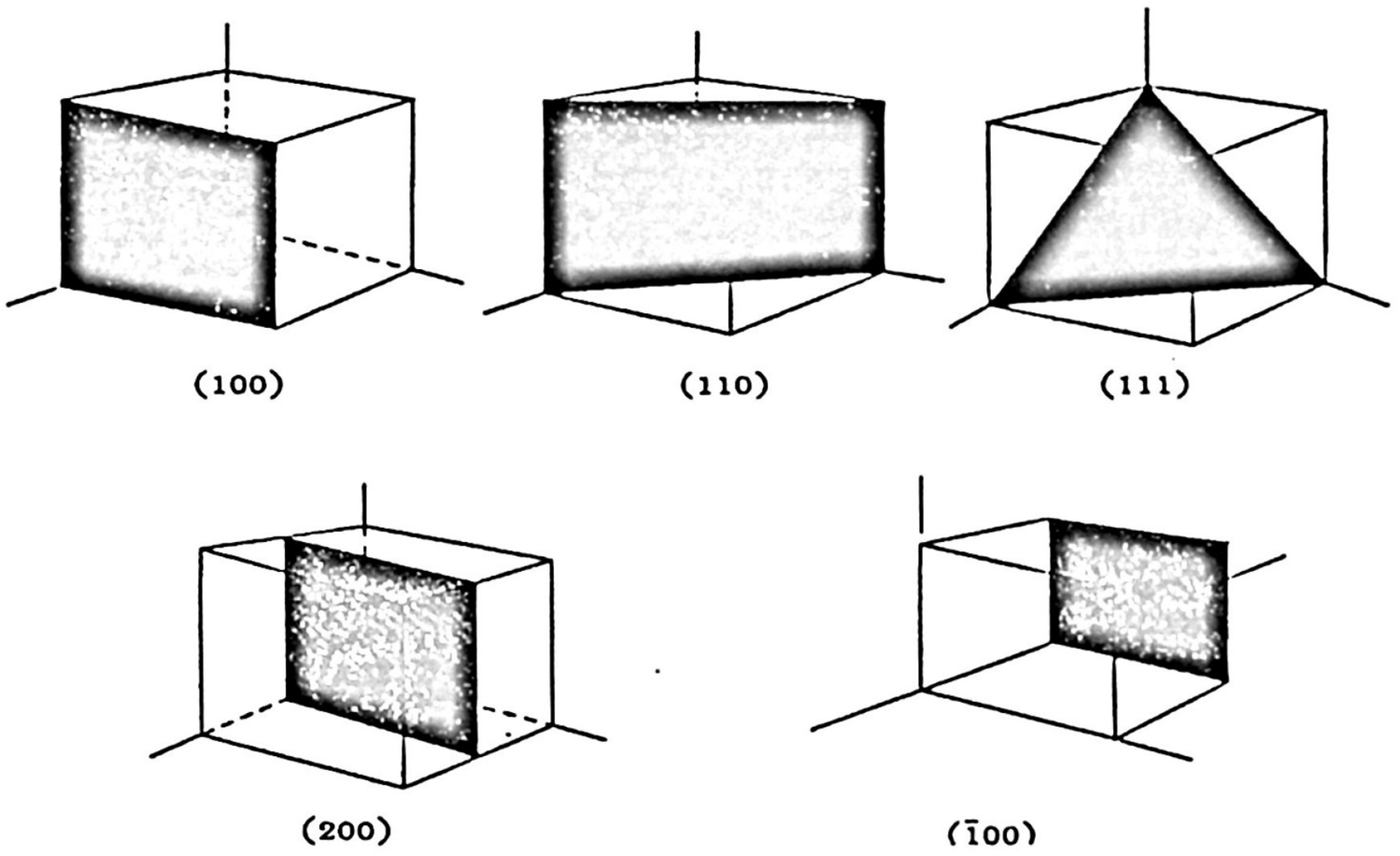
บราเวส์ (Bravais) ได้จำแนกลักษณะของช่องว่างแลตทิช (Space Lattice) ที่ได้จากการเลื่อนที่ของกลุ่มอะตอมใน 3 ทิศทาง แบ่งได้ทั้งหมด 14 แบบ และเรียกโครงผลึกย่อยเหล่านี้ว่า บราเวส์แลตทิช (Bravais Lattices) ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 แสดงเซลล์หน่วย 14 แบบในบราเวส์แลตทิช

ที่มา: Cullity, B.D. (1967). *Elements of X–Ray Diffraction*. p. 32.

ระนาบของผลึกในแต่ละเซลล์หน่วยจะประกอบด้วยหลายระนาบ ระนาบแต่ละระนาบจะมีความแตกต่างกัน โดยจุดที่ระนาบหนึ่งๆ ตัดแกนผลึกจะได้มาจากค่าส่วนกลับ (Reciprocal) ของความยาวแกนผลึกที่สอดคล้องกัน ค่าส่วนกลับที่ได้จะใช้แทนกลุ่มของระนาบผลึก เรียกว่า ดัชนีมิลเลอร์ (Miller Indices , hkl) เช่นระนาบตัดแกน $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ ที่จุด 1a 1b ∞c ปริมาณส่วนกลับเป็น $\frac{1}{1}\ \frac{1}{1}\ \frac{1}{\infty}$ เลขจำนวนเต็มที่น้อยที่สุดที่มีอัตราส่วนเดียวกันคือ 1 1 0 ดังนั้นเลขดัชนีมิลเลอร์ของระนาบจะเป็น (110) ถ้าเป็นทิศทางที่เป็นลบจะใส่เครื่องหมาย " – " หรือบาร์ (Bar) ไว้บนตัวเลขนั้นๆ ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แสดงระนาบต่างๆ ของผลึก

ที่มา: Kittel, C. (1991). *Introduction to Solid State Physics*. p. 15.

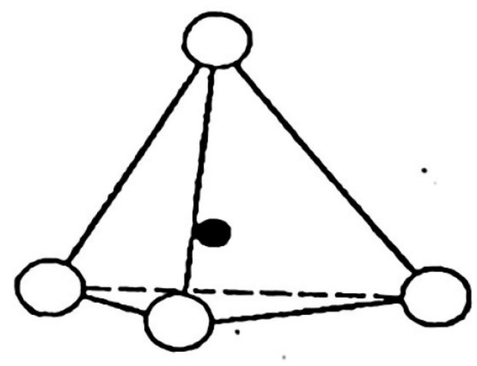
แร่ดินเหนียว (Clay Minerals)

แร่ดินเหนียว หมายถึง กลุ่มอนุภาคของดินที่มีขนาดละเอียด โดยทั่วไปเป็นพวกไฮดรัสอลูมินัสซิลิเกต (Hydrous Aluminous Silicate) แต่มักมีไอออนของ เหล็ก (Fe) แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) โพแทสเซียม (K) และโซเดียม (Na) ประกอบอยู่ด้วย แร่ดินเหนียวจัดเป็นแร่ซิลิเกตในกลุ่มฟิลโลซิลิเกต (Phyllosilicates) ซึ่งแร่ส่วนใหญ่ที่อยู่ในพวกนี้จะมีลักษณะเป็นแผ่น (Sheet) จะอ่อนตัวเมื่อเปียก แต่เมื่อเผาไฟจะแข็งตัวเป็นหิน นอกจากนี้ยังหดตัวได้ในขณะที่แห้ง และขณะที่เผา มีความถ่วงจำเพาะค่อนข้างต่ำ แร่ดินเหนียวจัดเป็นแร่ทุติยภูมิ เกิดจากการสลายตัวของแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar) และ ไมกา (Mica) แร่ดินเหนียวจะมีในอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร โดยใช้การตรวจสอบทางกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน หรือทางรังสีเอกซ์ และพวกที่ไม่ใช่แร่ดินเหนียวโดยปกติแล้วจะไม่ปรากฏอยู่ในอนุภาคขนาด 1–2 ไมโครเมตร

โครงสร้างของแร่ดินเหนียว (Clay Mineral Structure)

แร่ดินเหนียว จัดเป็นแร่ในกลุ่ม ฟิลโลซิลิเกต (Phyllosilicates) ที่มีโครงสร้างพื้นฐาน 2 ชนิดคือ

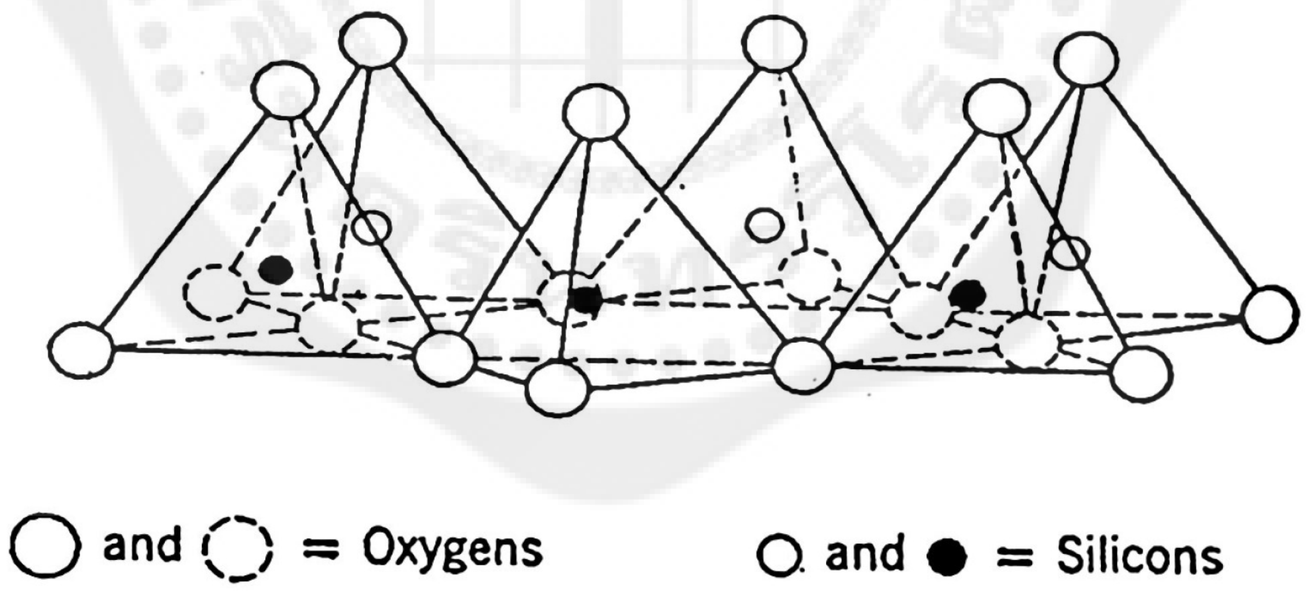
1.โครงสร้างแบบเตตระฮีดรอล หรือ ซิลิกาเตตระฮีดรอล (Tetrahedral or Silica Tetrahedral) ที่ประกอบด้วยอะตอมของซิลิคอน 1 ตัวและอะตอมของออกซิเจน 4 ตัวเชื่อมกัน เป็นรูปที่มี 4 ด้าน โดยอะตอมของซิลิคอนอยู่ตรงกลาง เรียกหน่วยที่ได้นี้ว่าหน่วยซิลิกาเตตระฮีดรอล (Silica Tetrahedral Unit) แต่ละหน่วยมีสูตรโครงสร้างเป็น SiO_4 ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 แสดงเตตระฮีดรอล 1 หน่วย

ที่มา: Hurlbut, C.S. (1959). *Manual of Mineralogy.* p.448.

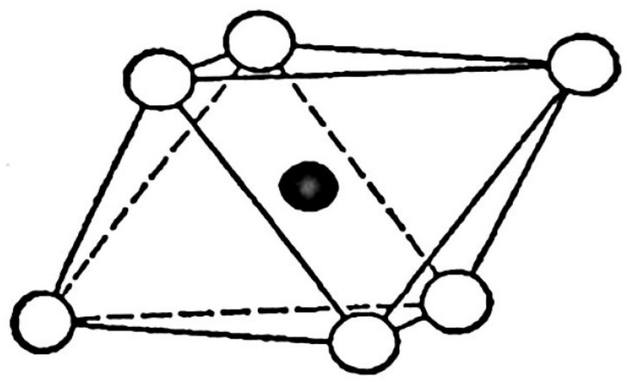
ถ้าแต่ละหน่วยมาต่อกันหกอันเป็นรูปหกเหลี่ยม โดยการจัดเรียงตัวของหน่วยเหล่านี้จะมียอดชี้ไปในทิศทางเดียวกัน และฐานก็อยู่ในระนาบเดียวกัน ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แสดงหน่วยซิลิกาเตตระฮีดรอลต่อกันหกอัน

ที่มา: Hurlbut, C.S. (1959). *Manual of Mineralogy.* p.448.

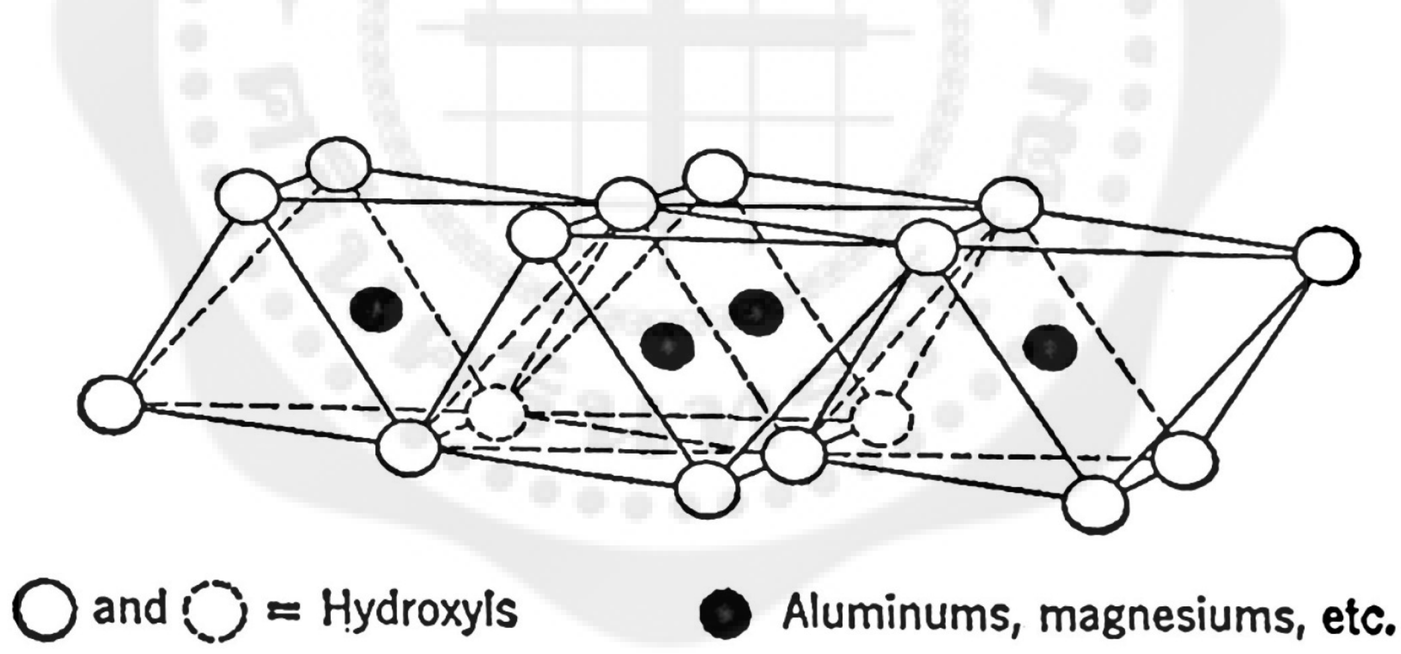
2.โครงสร้างแบบออกตะฮีดรอล (Octahedral) ประกอบด้วยอะตอมของออกซิเจน หรือกลุ่มของไฮดรอกซิล 2 ชั้น เชื่อมติดกันโดยมีอลูมิเนียม แมกนีเซียม หรือเหล็ก อยู่ตรงกลาง ไอออนบวกเหล่านี้จะอยู่ห่างจากอะตอมออกซิเจน หรือ ไฮดรอกซิลเป็นระยะทางที่เท่าๆ กัน เรียกหน่วยที่ได้นี้ว่า หน่วยออกตะฮีดรอล (Octahedral Unit) ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 แสดงออกตะฮีดรอล 1 หน่วย

ที่มา: Hurlbut, C.S. (1959). *Manual of Mineralogy*. p.449.

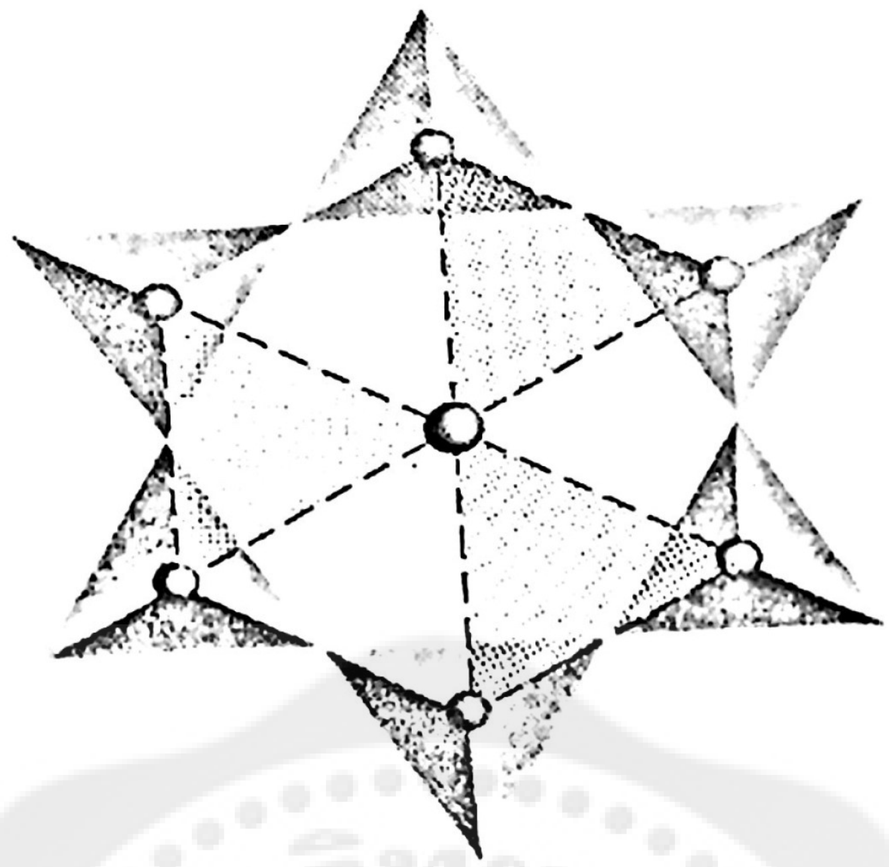
ถ้าหน่วยออกตะฮีดรอลหลายอันเชื่อมต่อกันในแนวนอน โดยเชื่อมตามบริเวณขอบของหน่วย จะเกิดได้ ดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 แสดงหน่วยออกตะฮีดรอลที่เชื่อมต่อกัน

ที่มา: Hurlbut, C.S. (1959). *Manual of Mineralogy.* p.449.

ถ้าให้หน่วยซิลิกาเตตระฮีดรอลต่อกันหกอัน เชื่อมต่อกับหน่วยออกตะฮีดรอลจะมีไฮดรอกซิล (OH) อยู่ตรงกลาง แสดงดังภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 แสดงการเชื่อมกันของ 2 โครงสร้าง

ที่มา: Klein, C. & Hurlbut, C.S. (1993). *Manual of Mineralogy*. p.498.

เมื่อพิจารณาโครงสร้างจะเห็นว่าแร่ในกลุ่มฟิลโลซิลิเกตจะมีไฮดรอกซิลอยู่ในช่องว่างระหว่างชั้นซิลิกาเตตระฮีดรอล โดยไอออนบวกในออกตะฮีดรอลอาจมีเวเลนซ์ (Valent) สองหรือสามก็ได้ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

1.ถ้ามีไอออนบวกที่มีเวเลนซ์ +3 คือ Al^{3+} อยู่ในช่องว่างของออกตะฮีดรอล เพื่อทำให้โครงสร้างสมดุล จะต้องใช้ Al^{3+} 2 ตัว เช่น โครงสร้างของกิบบ์ไซต์ (Gibbsite) มีสูตรโครงสร้างเป็น $Al_2(OH)_6$ จัดเป็นพวกไดออกตะฮีดรอล (Dioctahedral)

2.ถ้ามีไอออนบวกที่มีเวเลนซ์ +2 คือ Mg^{2+} หรือ Fe^{2+} อยู่ในช่องว่างของออกตะ ฮีดรอล เพื่อทำให้โครงสร้างสมดุล จะต้องใช้ Mg^{2+} หรือ Fe^{2+} 3 ตัว เช่น โครงสร้างของแร่บรูไซต์ (Brucite) มีสูตรโครงสร้างเป็น $Mg_3(OH)_6$ จัดเป็นพวกไตรออกตะฮีดรอล (Trioctahedral)

หน่วยเตตระฮีดรอล และ หน่วยออกตะฮีดรอล เป็นหน่วยโครงสร้างพื้นฐานของแร่ดินเหนียวซิลิเกต โดยการเชื่อมกันของโครงสร้างพื้นฐานนี้จะทำให้เกิดเป็นชั้น (Layer) ในผลึกของแร่ดินเหนียวแต่ละชนิด ชั้นเหล่านี้จะแยกจากกันโดยช่องว่างเล็กๆระหว่างชั้น (Inter Layer) ซึ่งน้ำหรือไอออนบวกอื่นๆ สามารถถูกดูดซับอยู่ในช่องว่างนี้ได้

ชนิดของแร่ดินเหนียว (Type of Clay Mineral)

แร่ดินเหนียวสามารถแบ่งตามโครงสร้างเป็นชั้นได้ทั้งหมด 7 กลุ่ม คือ

1.กลุ่มแร่ดินเหนียว 1:1

แร่ในกลุ่มนี้มีโครงสร้างของหน่วยเซลล์ที่ประกอบไปด้วย แผ่นเตตระฮีดรอล ยึดติดกับแผ่นออกตะฮีดรอลในอัตราส่วน 1:1 จัดเป็นแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 มีสูตรทั่วๆไป คือ $Al_2Si_2O_5(OH)_4.nH_2O$ แร่ในกลุ่มนี้ จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

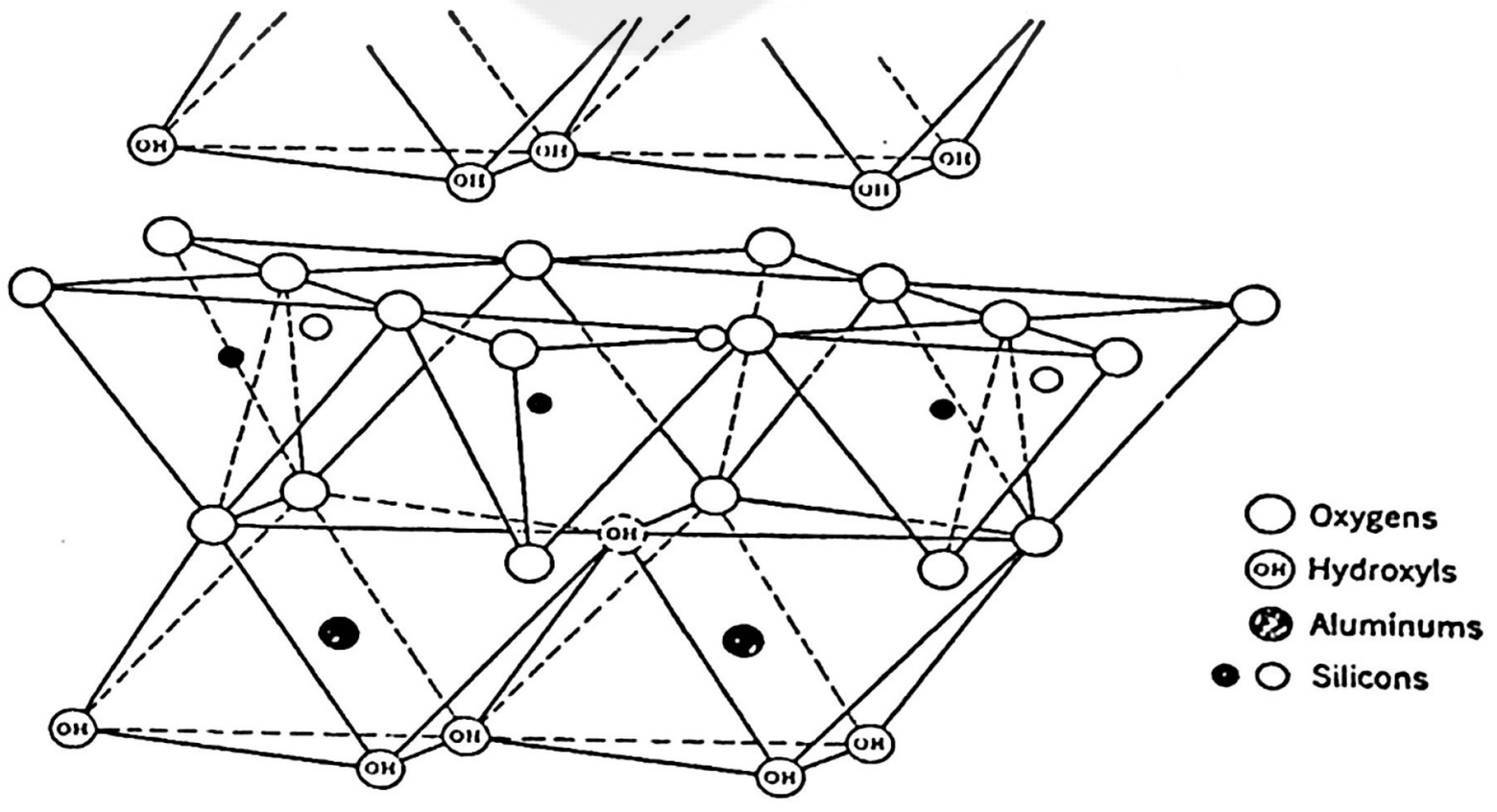
- ไดออกตะฮีดรอล (Dioctahedral) จะมีอลูมิเนียม 2 ตัวอยู่ในตำแหน่งของออกตะฮีดรอล โดยจะเหลือตำแหน่งว่างไว้ 1 ตำแหน่ง ซึ่งได้แก่ แร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) ดิกไคท์ (Dickite) เนไครต์ (Nacrite) และฮาลลอยไซต์ (Halloysite) แร่ทั้งสี่มีโครงสร้างหลักคล้ายกัน ยกเว้นแร่ฮาลลอยไซต์จะมีน้ำอยู่ระหว่างชั้นภายในโครงสร้าง

- ไตรออกตะฮีดรอล (Trioctahedral) จะมีแมกนีเซียม และเหล็ก อยู่ในตำแหน่งออกตะฮีดรอล โดยไม่เหลือตำแหน่งว่างเลย ได้แก่ แร่แอนทิโกไรต์ (Antigorite) ชาโมไซต์ (Chamosite) ชรีโซไทต์ (Chrysotile) และครอนสเตไดต์ (Cronstedite)

คุณสมบัติทั่วไป:แร่ในกลุ่มนี้จะมีคุณสมบัติเกี่ยวกับการขยายตัวและหดตัวเมื่อเปียกและแห้งน้อยมาก การดูดซับแคตไอออน (Cation)มีน้อย ผลึกของแร่มีลักษณะโครงสร้างที่แข็งแรง และมีการเรียงตัวกันแน่นจึงทำให้ อนุภาคของดินเหนียวแตกร้าวและหักพังยาก

แร่ดินเหนียว 1:1 ที่มีความสำคัญและพบในดินทั่วไปเช่น

1.1แร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) หรือแร่ดินขาว (Kaolin Mineral) มีสูตรโครงสร้างทั่วไปคือ $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ เป็นแร่ที่มีรูปผลึกแบบไตรคลีนิก (Triclinic) มีลักษณะเป็นแผ่นรูปหกเหลี่ยม มีสีขาว สีจะเปลี่ยนเมื่อมีสิ่งเจือปน ดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 แสดงโครงสร้างแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 ของแร่เคโอลิไนต์

ที่มา: Hurlbut, C.S. (1959). *Manual of Mineralogy.* p.451.

การเกิดและการแพร่กระจาย:แร่เคโอลิไนต์จัดเป็นแร่ที่พบมากที่สุด เกิดจากการเปลี่ยนสภาพ (Alteration) ของวัตถุต้นกำเนิดพวกอลูมินัมซิลิเกต (Aluminum Silicate) ภายใต้สภาพที่มีการชะล้าง และเกิดจากการสลายตัวของแร่เฟลด์สปาร์ แร่ไบโอไทต์ แร่เคโอลิไนต์พบในดินเกือบทุกชนิด ในดินที่มีการสลายตัวไม่รุนแรงมากนัก พบว่าแร่นี้เกิดในดินชั้นล่าง มากกว่าชั้นบน แต่ถ้าเป็นดินที่มีการสลายตัวอย่างรุนแรงจะพบแร่นี้ในปริมาณเท่าๆกัน แร่เคโอลิไนต์มักพบในดินเขตร้อน

การแจกแจงเอกลักษณ์:แร่เคโอลิไนต์เมื่อนำมาวัดค่าการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ จะให้ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (d–Spacing) ที่ 7.15–7.20 อังสตรอม รองลงมาพบที่ 3.57 อังสตรอม และเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 500–550 องศาเซลเซียส โครงสร้างของแร่เคโอลิไนต์จะถูกทำลายไป

ประโยชน์:ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ เช่น เครื่องปั้นดินเผา เครื่องสุขภัณฑ์ ภาชนะกระเบื้องเคลือบต่างๆ ใช้ในอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ ได้แก่อิฐทนไฟสำหรับเตาเผาถลุงโลหะ ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษเพื่อให้มีน้ำหนัก ความทึบและความเหนียวดีขึ้น

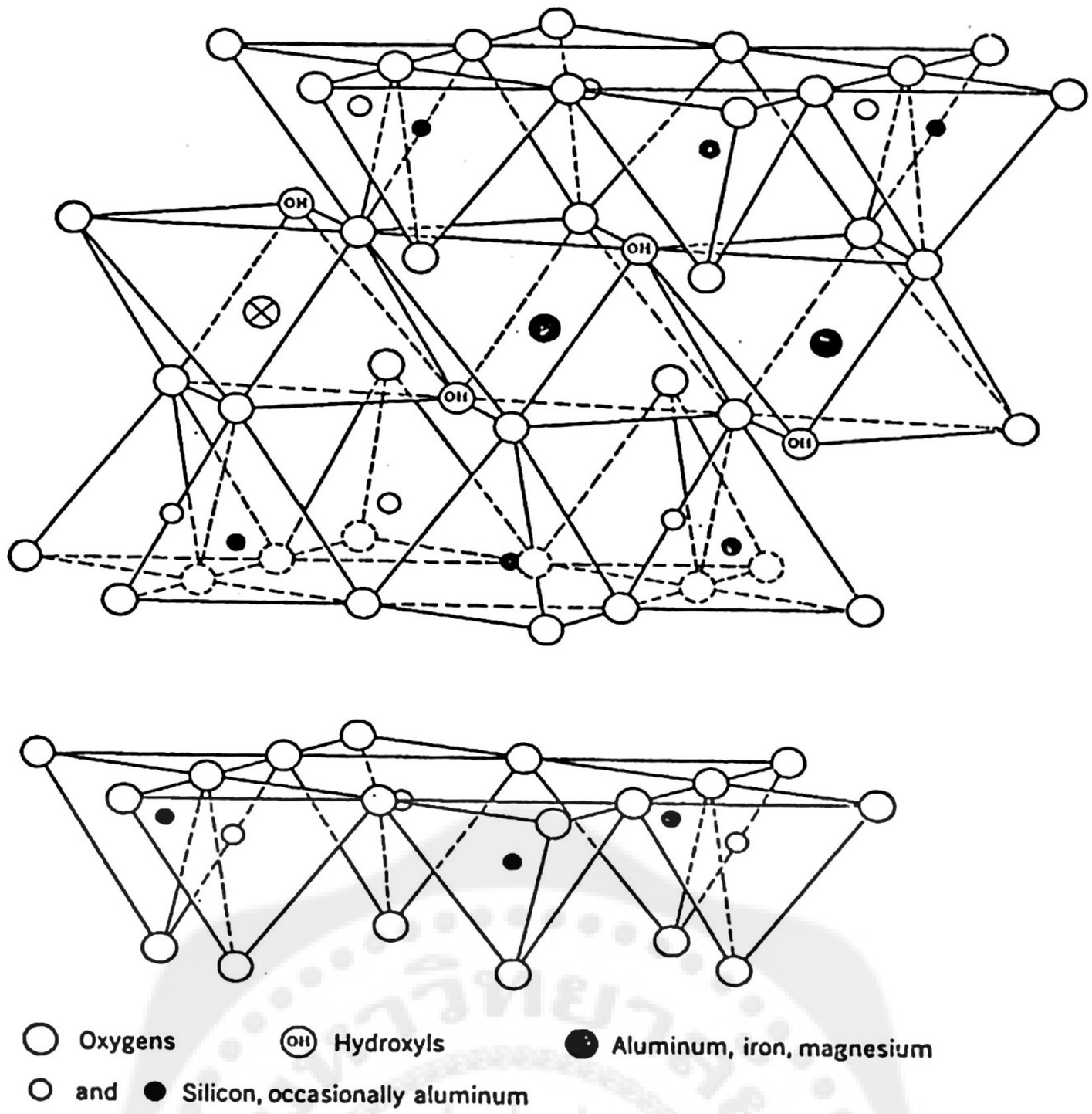
1.2แร่ฮาลลอยไซต์ และแร่เมตาฮาลอยไซต์ สูตรโครงสร้างทั่วไปคือ $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8.4H_2O$ แต่แร่เมตาฮาลอยไซต์จะไม่มี H_2O ในโครงสร้าง โครงสร้างของแร่ทั้งสองไม่เป็นระเบียบการเรียงตัวของชั้นไม่แน่นอน

การเกิดและการแพร่กระจาย:การเกิดของแร่ฮาลลอยไซต์ และแร่เมตาฮาลอยไซต์มีลักษณะเช่นเดียวกันกับการเกิดแร่เคโอลิไนต์ โดยเกิดจากการผุผังของแร่อลูมินัมซิลิเกต และการสลายตัวของแร่ประกอบหินจำพวกเฟลด์สปาร์ บริเวณที่พบแร่ฮาลลอยไซต์ มักจะเป็นบริเวณที่มีภูมิอากาศอบอุ่นหรือแห้งแล้ง หรือสภาพแวดล้อมที่ไม่เกิดการผุผังอย่างรุนแรง

การแจกแจงเอกลักษณ์:แร่ฮาลลอยไซต์เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ จะให้ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกที่สำคัญที่ 7.60 อังสตรอม และ10.10–10.70 อังสตรอม ตามลำดับ เมื่อนำมาเผาที่ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกจะลดลงมาที่ประมาณ 7.20 อังสตรอม แต่ถ้าเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส โครงสร้างจะถูกทำลาย ส่วนแร่เมตาฮาลอยไซต์จะให้ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกที่ 7.50 อังสตรอม แต่เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส โครงสร้างจะถูกทำลายไป

2.กลุ่มสเมกไทต์ (Smectite Group)

แร่ในกลุ่มนี้มีความสำคัญมากพบทั้งในดินและตะกอนต่างๆ โครงสร้างเป็นแบบ 2:1 โดยมีแผ่นเตตระฮีดรอล 2 แผ่น และแผ่นออกตะฮีดรอล 1 แผ่นแทรกอยู่ตรงกลาง จัดเป็นแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 มีสูตรโครงสร้างทั่วไปคือ $Si_8Al_4O_{20}(OH)_4$ โครงสร้างจะยึดติดกันอย่างหลวมๆ โดยมีโมเลกุลของน้ำเป็นตัวเชื่อมระหว่างหน่วยเซลล์ อาจมีไอออนของแมกนีเซียมเข้าไปแทนที่อลูมิเนียมดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 แสดงโครงสร้างแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 ของแร่สเมกไทต์

ที่มา: Hurlbut, C. S. (1959). *Manual of Mineralogy.* p.453.

แร่ในกลุ่มนี้มีอยู่หลายชนิด ได้แก่ แร่มอนท์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) ไบเดลไลต์ (Beidellite) นอนโทรไนต์ (Nontronite) ซึ่งจะพบมากในดิน ส่วนแร่ซาโพไนต์ (Saponite) เฮกโตไลต์ (Hectorite) และซอโคไนต์(Sauconite)ไม่ค่อยพบในดินแร่ในกลุ่มนี้จะมีรูปผลึกแบบโมโนคลีนิก

การเกิดและการแพร่กระจาย:แร่สเมกไทต์พบมากในพื้นที่ราบเรียบ หรือในที่ราบลุ่มดินตะกอนน้ำพา ในดินที่มีการระบายน้ำดีอาจจะพบแร่สเมกไทต์ได้ และเกิดจากการสลายตัวของแร่ไมกา (Mica Mineral) ในประเทศไทยพบแร่สเมกไทต์แพร่กระจายในบริเวณที่ราบภาคกลาง ที่ราบสูงตอนกลางของประเทศ ที่ราบสูงภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และพบเล็กน้อยในภาคตะวันตก

การแจกแจงเอกลักษณ์:แร่สเมกไทต์เมื่อวิเคราะห์ด้วยการวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์โดยทำให้ชั้นขยายด้วยเอททีลีนกลีคอล (Ethylene Glycol) จะให้ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกที่ 16.00–17.00 อังสตรอม และเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกจะลดลงมาที่ 10.00 อังสตรอม

ประโยชน์:ใช้ในอุตสาหกรรมหล่อเหล็ก เป็นสารหล่อลื่นเช่นหล่อลื่นหัวเจาะในการเจาะน้ำมัน ใช้ในอุตสาหกรรมทำน้ำหมึก ยาขัดเงา เครื่องสำอาง อิฐ กระเบื้อง และวัสดุก่อสร้าง

คุณสมบัติทั่วไป:แร่ในกลุ่มนี้จะขยายตัวได้ทั้งหมด เนื่องจากโครงสร้างยึดกันอย่างหลวมๆ แร่ดินเหนียวพวกนี้จะมีพื้นที่ผิวดูดซับโมเลกุลของน้ำ และแคตไอออนได้มาก การขยายตัวและหดตัวเกิดขึ้นได้มาก เมื่อดินเปียกหรือแห้ง อนุภาคของดินเหนียวจึงหักพังและแตกร้าวได้ง่าย

3.กลุ่มเวอร์มิคูไลต์ (Vermiculite Group)

จัดเป็นแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 ที่ประกอบไปด้วยโครงสร้างของแร่ไมกา ที่มีโมเลกุลของน้ำจัดเรียงตัวแทรกอยู่ มีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็น

$(OH)_4(Mg,Ca)_x(Si_{8-x}Al_x)(Mg,Fe)_6O_{20}.8H_2O$ เมื่อ x มีค่าเท่ากับ 1.00–1.40 มีระบบผลึกเป็นแบบโมโนคลีนิก แร่ที่สำคัญในโครงสร้างนี้ คือ แร่เวอร์มิคูไลต์

การเกิดและการแพร่กระจาย:แร่เวอร์มิคูไลต์ เกิดจากการเปลี่ยนสภาพมาจากแร่ไมกา ที่มีปัจจัยหลายๆ อย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง

การแจกแจงเอกลักษณ์:เมื่อวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ จะให้ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกที่ 14.00 อังสตรอม เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกจะลดลงมาที่ 10.00 อังสตรอม

คุณสมบัติทั่วไป:แร่เวอร์มิคูไลต์จะขยายตัวและหดตัวได้น้อยกว่าแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ มีพื้นที่ผิวดูดซับโมเลกุลของน้ำ และแคตไอออนไม่มาก

4.กลุ่มอิลไลต์ (Illite Group)

กลุ่มนี้เป็นแร่ไมกาที่มีขนาดของอนุภาคดินเหนียวโครงสร้างเป็นแบบ 2:1 มีสูตรเคมีเป็น $K_xAl_4(Si_{8-x}Al_x)O_{20}(OH)_4$ เมื่อ x มีค่าเท่ากับ 1.00–1.50 แร่ที่สำคัญในโครงสร้างอิลไลต์ คือ แร่อิลไลต์

การเกิดและการแพร่กระจาย:แร่อิลไลต์ในดินส่วนใหญ่ได้มาจากวัตถุต้นกำเนิด เช่นหินดินดานและหินชนวน ซึ่งหินเหล่านี้มีแร่อิลไลต์อยู่มาก นอกจากนี้แร่อิลไลต์ยังได้จากการสลายตัวผุพังของหินปูน

การแจกแจงเอกลักษณ์:แร่อิลไลต์เมื่อนำไปวัดด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จะให้ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกที่เด่นชัดที่ 10.00 อังสตรอม และ 3.30 อังสตรอม และจะไม่มีผลต่อการเผาที่อุณหภูมิใดๆ

คุณสมบัติทั่วไป:แร่อิลไลต์มีคุณสมบัติทั่วไปคล้ายกับแร่เวอร์มิคูไลต์ ซึ่งการขยายตัวและหดตัวจะน้อยกว่าแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ มีพื้นที่ผิวดูดซับโมเลกุลของน้ำ และแคตไอออนไม่มาก คุณสมบัติของแร่อิลไลต์จะอยู่ระหว่างคุณสมบัติของแร่สเมกไทต์ และแร่เคโอลิไนต์

5.กลุ่มแร่คลอไรต์ (Chlorite Group)

จัดเป็นแร่ดินเหนียวประเภท 2:1:1 ส่วนใหญ่มีระบบผลึกเป็นแบบโมโนคลีนิก หรือ ไตรคลีนิกมีสูตรโครงสร้างเป็น $(Mg,Fe,Al)_6(Al,Si)_4O_{10}(OH)_8$

การเกิดและการแพร่กระจาย:แร่คลอไรต์ได้มาจากแร่ปฐมภูมิที่พบในหินแปร หรือหินอัคนี หรือเกิดจากการแปรสภาพของแร่ปฐมภูมิที่มีสีเข้ม เช่น ไบโอไทต์ ฮอร์เบลนด์ และแร่เฟโรแมกนีเซียมอื่นๆ โอกาสที่จะพบแร่คลอไรต์ที่เกิดขึ้นในดินมีน้อย และถ้าพบมักจะมีปริมาณน้อย

การแจกแจงเอกลักษณ์:แร่คลอไรต์จะให้ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกที่ 14.00–14.40 อังสตรอม เมื่อวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อแทนที่ด้วยไอออนต่างๆ เมื่อนำแร่คลอไรต์ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ทำให้ความสูงของพีคที่ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก 14.00 อังสตรอม มีค่าเพิ่มขึ้น 2–5 เท่า

คุณสมบัติทั่วไป:การขยายตัว และหดตัวของแร่คลอไรต์นั้นกระทำได้ไม่ดี

6.เซปพิโอไลต์ (Sepiolite) และ พาลีโกสไคต์ (Palygorskite)

อาจจัดอยู่ในแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 แต่ต่างจากแร่ดินเหนียวอื่นๆ โดยกลุ่มของเตตระฮีดรอล ของแต่ละแผ่นไม่ได้ชี้ไปในทิศทางเดียวกัน คือมีทั้งชี้ขึ้นและชี้ลง สูตรโครงสร้างของแร่พาลีโกไคต์คือ $(OH_2)_4(OH)_2Mg_5Si_8O_{20}4H_2O$ ของเซปพิโอไลต์ คือ $(OH_2)_4(OH)_4MgSi_{12}O_{30}8H_2O$

การเกิดและการแพร่กระจาย:เกิดมาจากวัตถุต้นกำเนิด โดยแร่ทั้งสองนี้จะตกผลึกทางเคมีในตะกอนที่เป็นด่างและมีปริมาณซิลิกอนและแมกนีเซียมมากพอสมควร และจะง่ายต่อการสลายตัวในสภาพแวดล้อมที่มีการชะล้าง

การแจกแจงเอกลักษณ์:เมื่อวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แร่พาลีโกสไคต์ ให้ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกที่10.50 อังสตรอมที่เข้มมาก ถ้าเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความเข้มของระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกที่ 10.50 อังสตรอมจะลดลงอย่างมาก ในขณะที่ 9.20 และ 4.70 อังสตรอม ความเข้มเพิ่มขึ้น ถ้าเผาถึง 600 องศาเซลเซียส ทำให้ 10.50 อังสตรอม หายไป ส่วนที่ 9.20 อังสตรอม ความเข้มลดลง และความเข้มเพิ่มที่ 6.40, 5.40 และ 4.50 อังสตรอม ส่วนแร่เซปพิโอไลต์ให้ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกที่ 12.20 อังสตรอมที่เข้มมาก เมื่อวัดด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ และมีการกระจายที่ 7.60 และ 5.05 อังสตรอม เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความเข้มที่ 12.20 อังสตรอมลดลง ในขณะเดียวกันจะเกิดใหม่ที่ 10.40 และ 8.20 อังสตรอม เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส โครงสร้างจะถูกทำลาย

คุณสมบัติทั่วไป:ไม่เกิดการหดตัวและการขยายตัวในโครงสร้างของแร่กลุ่มนี้

7.แร่ชั้นผสม (Mixed–Layer)

เกิดจากโครงสร้างของแร่ในกลุ่ม อิลไลต์ คลอไรต์ สเมกไทต์ เวอร์มิคูไลต์ และ แร่ดินเหนียว 1:1 เกิดผสมกันโดยการเรียงซ้อนกันตามแนวแกน C ทำให้เกิดผลึก แต่ละผลึกประกอบด้วยแร่ดินเหนียวสองหรือมากกว่าสองชนิดขึ้นไป เช่น อิลไลต์–เวอร์มิคูไลต์, อิลไลต์-สเมกไทต์, คลอไรต์-เวอร์มิคูไลต์, คลอไรต์-สเมกไทต์ และแร่ดินเหนียว 1:1-สเมกไทต์ โดยโครงสร้างมี 3 แบบ คือ ชั้นซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบ ชั้นซ้อนกันแบบสุ่ม และชั้นแยกกันเป็นโซน

การเกิดและการแพร่กระจาย:แร่ชั้นผสมพบทั้งในดินและในหิน โดยเฉพาะพวกที่เป็นตะกอน พบในเขตอบอุ่นและเขตหนาวมากกว่าเขตร้อน และในดินมักจะเกิดขึ้นได้ไม่นาน โดยทั่วไปไม่ค่อยพบ

การแจกแจงเอกลักษณ์:ในการแจกแจงแร่ชั้นผสมออกจากแร่ดินเหนียวชนิดอื่นๆ นั้น จะต้องแยกให้ได้ว่าชั้นที่เป็นองค์ประกอบเป็นประเภทไหน พร้อมทั้งวิเคราะห์ว่ามีสัดส่วนขององค์ประกอบอย่างละเท่าไร และหาลักษณะการซ้อนกัน

คุณสมบัติทั่วไป:การหดตัว และการขยายตัวของโครงสร้าง ขึ้นอยู่กับแร่ดินเหนียวที่ผลึกเกิดการซ้อนทับกัน ว่าเป็นแบบใด

การรายงานผลการวิเคราะห์ของสารตัวอย่างดิน ด้วยหลักการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสถาบันสำรวจทางธรณีวิทยา โดยการศึกษาของพอพเพ (Poppe,L. J.) และคณะ

พอพเพ (Poppe, L.J.) และคณะ ได้ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบโครงสร้างและชนิดของแร่ดินเหนียวขั้นตอนด้วยกัน แต่ได้เลือกขั้นตอนที่สามารถวิเคราะห์ชนิดของแร่ดินเหนียวหลังจากการทำให้แห้ง (Air Dried) คือวิธีกลีคอลเลชัน (Glycolation) โดยใช้การกระทำด้วยเอททีลีนกลีคอล (Ethylene Glycol Treatment) และการกระทำด้วยความร้อน (Heat Treatments) โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1.การกระทำด้วยเอททีลีนกลีคอล (Ethylene Glycol Treatment)

ใช้เอททีลีนกลีคอล (Ethylene Glycol) หรือกลีเซอรอล (Glycerol) ในการทำให้ชั้นโครงสร้างของแร่ดินเหนียวขยายตัว ซึ่งวิธีนี้เป็นการทำให้โมเลกุลของเอททีลีนกลีคอล แทนที่น้ำในชั้นของโครงสร้างแร่ดินเหนียว โดยจะมีผลกับแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ ซึ่งโครงสร้างผลึกยึดกันอย่างหลวมๆ เมื่อกระทำด้วยเอททีลีนกลีคอล จะทำให้ช่องว่างในโครงสร้างถูกแทนที่ด้วยโมเลกุลของเอททีลีนกลีคอล ทำให้โครงสร้างเกิดการขยายตัว แต่ถ้าโครงสร้างผลึกจับกันอย่างแน่น จะไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

1.1นำสารตัวอย่างดินไปวางในโถทำแห้ง (Desiccator) ซึ่งภายในบรรจุด้วยเอททีลีนกลีคอล โดยใส่เอททีลีนกลีคอลให้มีความสูงประมาณ 1.00 เซนติเมตร

1.2นำทั้งชุดไปใส่ในตู้อบสาร อบที่อุณหภูมิประมาณ 60-70 องเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง หรือ ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง โดยการอบนานๆนี้ จะไม่ทำลายสารตัวอย่าง

2.การกระทำด้วยความร้อน (Heat Treatments)

คุณสมบัติเฉพาะตัวของแร่ดินเหนียวแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน การใช้ความร้อนอาจทำให้มีการเปลี่ยนช่องว่างของผลึก หรืออาจทำให้โครงสร้างหายไป มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

2.1นำสารตัวอย่างดิน ไปเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที นำไปวัดด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

2.2นำสารตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มาเผาต่อที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที

ในการทดลองได้ข้อมูลที่แสดงโครงสร้างของแร่ดินเหนียวครบทั้ง 7 กลุ่ม เพื่อเป็นข้อมูลมาตรฐาน ใช้ในการเปรียบเทียบ สำหรับการทดลองอื่นๆ ในลักษณะเดียวกัน

สมบัติของแร่ดินเหนียว

สมบัติที่สำคัญของแร่ดินเหนียวมีดังนี้

1.รูปร่างและขนาด รูปร่างอนุภาคของแร่ดินเหนียว มีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ ประกบซ้อนกันอยู่เป็นจำนวนมาก อนุภาคของแร่ดินเหนียวทุกชนิดส่วนใหญ่จะคงไว้ในลักษณะของผลึก ขนาดของอนุภาคของแร่ดินเหนียวนั้นก็แตกต่างกันออกไปแล้วแต่ชนิด ลักษณะองค์ประกอบของแร่ และสภาพที่เกิดขึ้น โดยปกติจะมีขนาดตั้งแต่ 0.01–5.00 ไมโครเมตร

2.พื้นที่ผิว (Surface Area) เนื่องจากอนุภาคของแร่ดินเหนียวมีขนาดเล็กมาก เป็นแผ่นแบน และบาง จึงทำให้พื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับรูปร่างอื่น ทำให้แร่ดินเหนียวมีพื้นที่ผิวภายนอกมาก แต่บางชนิดยังมีพื้นที่ผิวภายใน โดยเป็นพื้นที่ผิวที่อยู่ในช่องว่างเล็กๆ ระหว่างชั้น (Inter Layer) ระหว่างแผ่นผลึกของแร่ดินเหนียวที่ซ้อนทับกันอยู่เป็นอนุภาค

3. ความเชื่อมแน่น (Cohesion) และสภาพพลาสติก (Plasticity) แร่ดินเหนียวที่มีความเชื่อมแน่นสูงจะมีพื้นที่ผิวให้น้ำเกาะยึดอยู่ได้มาก ทำให้อนุภาคของดินเหนียวเกาะยึดกันได้ดี และถ้ามีความชื้นที่เหมาะสมจะปั้นเป็นรูปต่างๆได้ง่าย เรียกว่ามีสภาพพลาสติกดี ในทางตรงกันข้ามถ้าแร่ดินเหนียวมีพื้นที่ผิวน้อยจะมีความเชื่อมแน่น และสภาพพลาสติกไม่ดี

4. การขยายตัว (Swelling) และ การหดตัว (Shrinking) แร่ดินเหนียวที่มีสมบัติขยายตัวได้ดีจะมีโครงสร้างที่มีช่องว่างเล็กๆ ระหว่างแผ่นผลึกค่อนข้างกว้าง และไม่เกาะยึดกันเหนียวแน่นนัก โดยโมเลกุลของน้ำสามารถแทรกเข้าไปได้ง่าย ทำให้แร่ดินเหนียวพวกนี้เมื่อเปียกน้ำแล้วจะขยายตัวได้ง่าย แต่ถ้าทำให้แห้งจะหดตัวอย่างรวดเร็ว เช่น แร่สเมกไทต์จะขยายตัวได้มาก

เมื่อเปียก แต่แร่เคโอลิไนต์ แร่คลอไรต์ จะไม่ขยายตัวเมื่อเปียก ส่วนแร่เวอร์มิคูไลต์มีสมบัติอยู่ระหว่างกลาง

5.ประจุลบ (Electronegative Charge) และการดูดซับแคตไอออน (Adsorption of Cations) อนุภาคของแร่ดินเหนียวจะมีประจุลบอยู่เป็นจำนวนมากและเมื่ออยู่ในดินตามธรรมชาติก็จะมีการดูดซับแคตไอออนไว้เป็นจำนวนเท่ากับประจุลบที่มีอยู่ ทำให้เกิดสภาพที่มีประจุสองชั้น ชั้นในได้แก่ประจุลบที่ผิวของแร่ดินเหนียว ชั้นนอกได้แก่ประจุบวกของแคตไอออนที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของแร่ดินเหนียว แคตไอออนที่ดูดซับอยู่ที่ผิวของดินเหนียวเป็นการดูดซับแบบหลวมๆ สามารถถูกไล่ที่โดยแคตไอออนชนิดอื่นได้ ดินโดยทั่วไปจะมีแคตไอออนพวก H^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ และ Na^+ เกาะอยู่ที่ผิวของแร่ดินเหนียวเป็นส่วนใหญ่

คุณสมบัติต่างๆของแร่ดินเหนียวสามารถเปรียบเทียบได้ดังตาราง 2

ตาราง 2 แสดงการเปรียบคุณสมบัติต่างๆ ของแร่ดินเหนียวที่สำคัญ 3 ชนิด

สมบัติ	ชนิดของแร่ดินเหนียว		
	แร่สเมกไทต์	แร่อิลไลต์	แร่เคโอลิไนต์
ขนาดของผลึก (μm)	0.01-1.00	0.10-2.00	0.20-5.00
รูปร่าง	แผ่นบางมีขอบไม่สม่ำเสมอ	แผ่นบางมีขอบไม่สม่ำเสมอ	แผ่นบางรูปหกเหลี่ยม
พื้นที่ผิวภายนอก	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
พื้นที่ผิวภายใน	สูงมาก	ปานกลาง	ไม่มีเลย
ความเชื่อมแน่นและสภาพพลาสติก	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
การขยายตัว	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (me/100gm)	80-100	15-40	3-15

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2530). *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น*. หน้า 170.

การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction)

การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เกิดขึ้นเมื่อรังสีเอกซ์ที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบอะตอมของผลึกแล้วเกิดการกระเจิงโดยการชนกับอิเล็กตรอนในอะตอมของผลึก ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์นี้ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเดิม และหลังจากผ่านโครงสร้างผลึกออกมาจะเกิดการแทรกสอด (Interference) ทั้งแบบเสริมกันและแบบหักล้างกัน การกระเจิงนี้เกิดขึ้นได้ทุกทิศทาง เรียกการกระเจิงแบบอาพันธ์ (Coherent scattering) ซึ่งสอดคล้องกับกฎของแบรกก์ (Bragg's law)

กฎของแบรกก์ (Bragg's law) อธิบายเกี่ยวกับการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ เมื่อรังสีเอกซ์เคลื่อนที่ตกกระทบระนาบของอะตอมที่วางตัวขนานกันเป็นมุม θ กับระนาบของอะตอมโดยระยะห่างระหว่างชั้นอะตอมมีค่า d เท่ากันทั้งผลึก การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จะเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันมากที่สุดเมื่อผลต่างของทางเดินรังสีเอกซ์ที่สะท้อนออกจากระนาบต่าง ๆเป็นจำนวนเต็มเท่าของความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ ที่ตกกระทบดังสมการ

$$2d \sin\theta = n\lambda \qquad \text{..... (1)}$$

เมื่อ d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก

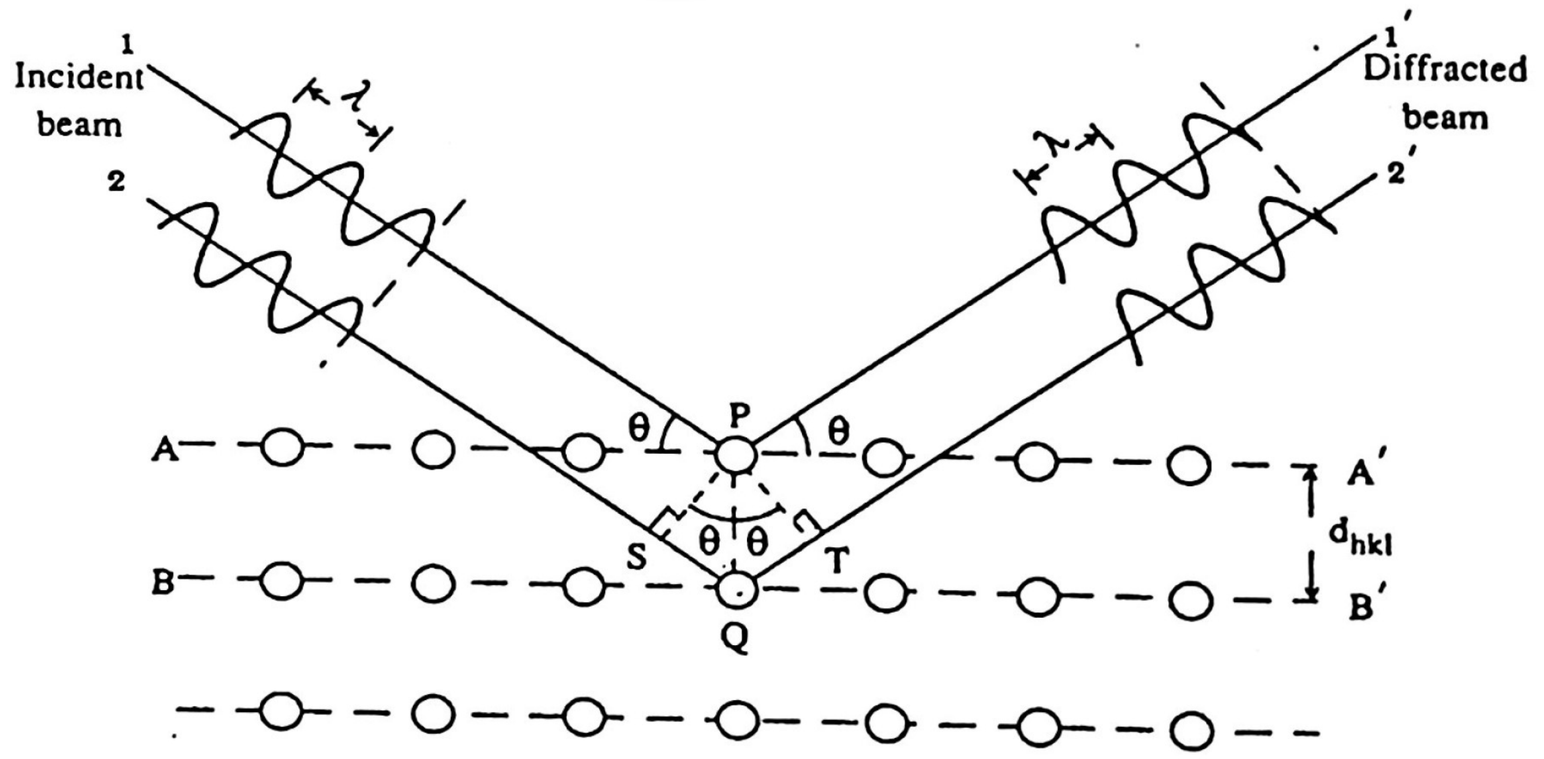
θ คือ มุมระหว่างรังสีตกกระทบกับระนาบของผลึก

n คือ เลขจำนวนเต็มมีค่าเท่ากับ 1, 2, 3, ...

λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

เรียกสมการที่ 1 ว่ากฎของแบรกก์ การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ตามกฎของแบรกก์

แสดงดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ตามกฎของแบรกก์

ที่มา: Callister, W. D. (1994). *Materials Science and Engineering An Introduction.* p.54.

ความเข้มของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

ความเข้มรวมสัมพัทธ์ (Relative Integrated Intensity) ของเส้นการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ที่มาจากระนาบ hkl ที่มีการวัดภายใต้เงื่อนไขของเครื่องมือชนิดเดียวกันสามารถประมาณได้จาก สมการ

$$I = |F_{hkl}|^2 \, p \left(\frac{1 + \cos^2 2\theta}{\sin^2 \theta \cos \theta} \right) \qquad \text{..... (2)}$$

เมื่อ I คือ ความเข้มรวมสัมพัทธ์

F_{hkl} คือ แฟคเตอร์โครงสร้าง

p คือ แฟคเตอร์ทวีคูณ

θ คือ มุมของแบรกก์

$\left(\frac{1+\cos^2 2\theta}{\sin^2 \theta \cos \theta} \right)$ คือ แฟคเตอร์ลอเรนซ์โพลาไรเซชัน

โดยรายละเอียดของแฟคเตอร์ต่างๆ มีดังต่อไปนี้

แฟคเตอร์โครงสร้าง (Structure Factor)

ในการศึกษาผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ แฟคเตอร์โครงสร้างมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากเป็นผลรวมของแฟคเตอร์การกระเจิงโดยอะตอมทั้งหมดในหนึ่งเซลล์หน่วยแสดงดังสมการ

$$F_{hkl} = \sum_{n=1}^{n} f_n e^{2\pi i (hx_n + ky_n + lz_n)} \qquad \text{..... (3)}$$

เมื่อ n คือ จำนวนอะตอมทั้งหมดในเซลล์หน่วย

f_n คือ แฟคเตอร์การกระเจิงโดยอะตอมจำนวน n อะตอม

h, k, l คือ ดัชนีมิลเลอร์ของระนาบ

x_n, y_n, z_n คือ พิกัดของอะตอมที่ n ในเซลล์หน่วย

แฟคเตอร์ทวีคูณ (Multiplicity Factor)

$$p = f_n(\text{Crystal System} , \{h , k , l \}) \qquad \ldots\ldots\ldots (4)$$

เป็นแฟคเตอร์ที่บอกจำนวนของระนาบที่มุมกระเจิงหนึ่งๆ สำหรับระบบลูกบาศก์ เมื่อพิจารณาระยะห่างระหว่างระนาบ (hkl) ดังสมการที่ 5

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \qquad \ldots\ldots\ldots (5)$$

เมื่อ d_{hkl} = ระยะห่างระหว่างระนาบ (hkl)

a = ระยะของหน่วยเซลล์

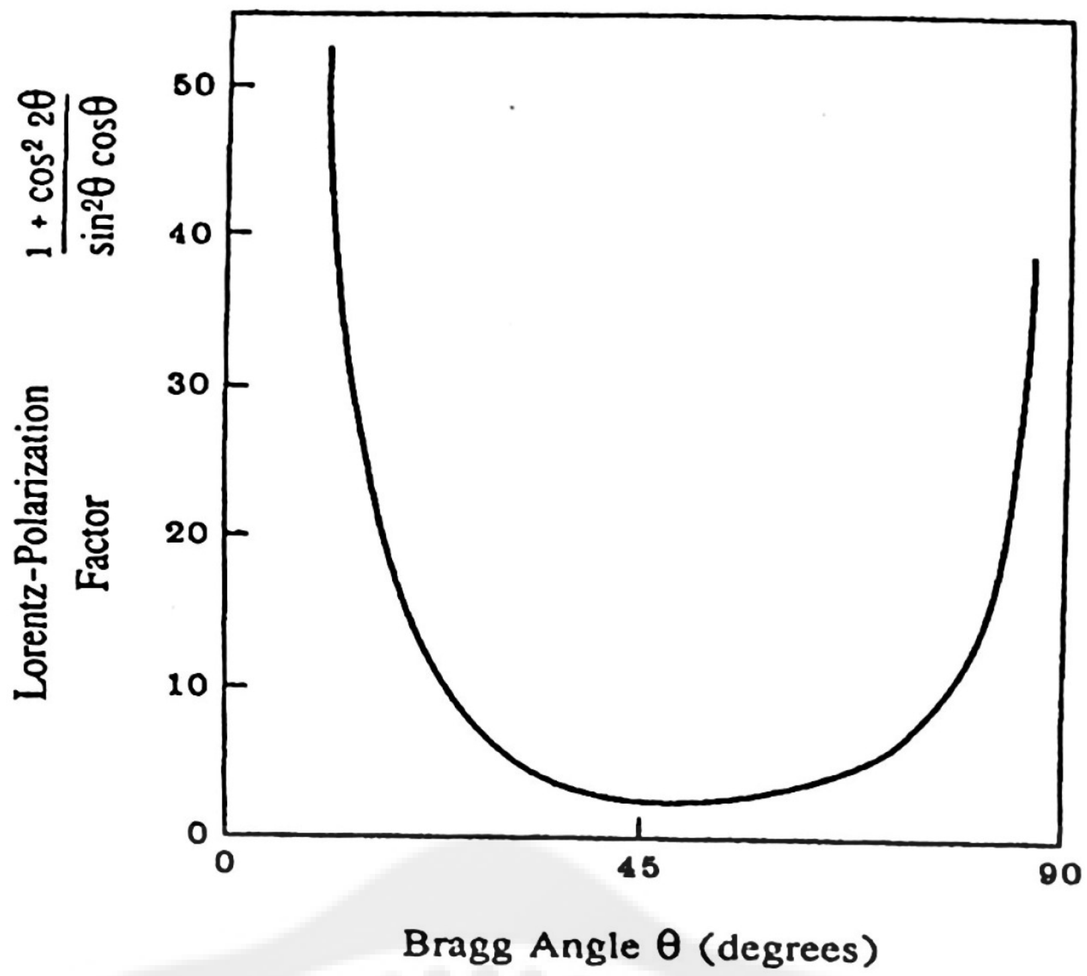
ค่า d_{hkl} ของระนาบ (100), (010), (001), $(\bar{1}00)$, $(0\bar{1}0)$ และ $(00\bar{1})$ จะมีค่าระยะห่างของเซลล์หน่วยเท่ากันคือ เท่ากับ a แสดงว่าทุกระนาบคลื่นจะเกิดการกระเจิงที่มุมเดียวกัน โดยจำนวนระนาบจะบอกด้วยค่าแฟคเตอร์ทวีคูณ

แฟคเตอร์ลอเรนซ์โพลาไรเซชัน (Lorentz – Polarization Factor)

เมื่อคำนึงถึงปัจจัยทางเรขาคณิต ค่าความเข้มของการกระเจิงของรังสีเอกซ์จะมีแฟคเตอร์ที่ขึ้นกับมุม θ แสดงดังสมการ

$$LP\ (\theta) = \frac{1 + \cos^2 2\theta}{\sin^2 \theta \cos \theta} \qquad \ldots\ldots\ldots (6)$$

หากนำความสัมพันธ์ระหว่างแฟคเตอร์โพลาไรเซชัน ที่มุมกระเจิงต่างๆมาสร้างกราฟ จะได้ดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแฟคเตอร์โพลาไรเซชันที่มุมกระเจิงต่างๆ

ที่มา: Cullity , B.D. (1967). *Elements of X – Ray Diffraction.* p.128.

การวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกจากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

ข้อมูลที่ได้มาจากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สามารถนำมาวิเคราะห์ได้โดยตรง ซึ่งหลักการวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกแต่ละระบบมีดังนี้

1.ระบบลูกบาศก์ (Cubic):a=b=c

$$\frac{1}{d^2}=\frac{h^2+k^2+l^2}{a^2} \qquad \text{..... (7)}$$

$$\sin^2\theta=\frac{n^2\lambda^2}{4}\left(\frac{h^2+k^2+l^2}{a^2}\right)$$

2.ระบบเตตระโกนอล (Tetragonal):a=b≠c

$$\frac{1}{d^2}=\frac{h^2+k^2}{a^2}+\frac{l^2}{c^2} \qquad \text{..... (8)}$$

$$\sin^2\theta=\frac{n^2\lambda^2}{4}\left(\frac{h^2+k^2}{a^2}+\frac{l^2}{c^2}\right)$$

3.ระบบออโธรอมบิก (Orthorhombic):a≠b≠c

$$\frac{1}{d^2}=\frac{h^2}{a^2}+\frac{k^2}{b^2}+\frac{l^2}{c^2} \qquad \text{..... (9)}$$

$$\sin^2\theta=\frac{n^2\lambda^2}{4}\left(\frac{h^2}{a^2}+\frac{k^2}{b^2}+\frac{l^2}{c^2}\right)$$

4.ระบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal):a=b≠c

$$\frac{1}{d^2}=\frac{4}{3}\left(\frac{h^2+hk+k^2}{a^2}\right)+\frac{l^2}{c^2} \qquad \text{..... (10)}$$

$$\sin^2\theta=\frac{n^2\lambda^2}{3}\left(\frac{h^2}{a^2}+\frac{k^2}{b^2}+\frac{l^2}{c^2}\right)$$

5.ระบบรอมโบฮีดรอล (Rhombohedral):a=b=c

$$\frac{1}{d^2}=\frac{(h^2+k^2+l^2)\sin^2\alpha+2(hk+kl+hl)(\cos^2\alpha-\cos\alpha)}{a^2(1-3\cos^2\alpha+2\cos^3\alpha)} \qquad \text{..... (11)}$$

$$\sin^2\theta=\frac{n^2\lambda^2}{4}\frac{(h^2+k^2+l^2)\sin^2\alpha+2(hk+kl+hl)(\cos^2\alpha-\cos\alpha)}{a^2(1-3\cos^2\alpha+2\cos^3\alpha)}$$

6.ระบบโมโนคลีนิก (Monoclinic):a≠b≠c

$$\frac{1}{d^2}=\frac{1}{\sin^2\beta}\left(\frac{h^2}{a^2}+\frac{k^2\sin^2\beta}{b^2}+\frac{l^2}{c^2}-\frac{2hl\cos\beta}{ac}\right) \qquad \text{..... (12)}$$

$$\sin^2\theta=\frac{n^2\lambda^2}{4}\left\{\frac{1}{\sin^2\beta}\left(\frac{h^2}{a^2}+\frac{k^2\sin^2\beta}{b^2}+\frac{l^2}{c^2}-\frac{2hl\cos\beta}{ac}\right)\right\}$$

7.ระบบไตรคลีนิก (Triclinic):a≠b≠c

$$\frac{1}{d^2}=\frac{1}{V^2}\left(S_{11}h^2+S_{22}k^2+S_{33}l^2+2S_{12}hk+2S_{23}kl+2S_{13}hl\right) \qquad \text{..... (13)}$$

$$\sin^2\theta=\frac{n^2\lambda^2}{4}\left\{\frac{1}{V^2}\left(S_{11}h^2+S_{22}k^2+S_{33}l^2+2S_{12}hk+2S_{23}kl+2S_{13}hl\right)\right\}$$

เมื่อ $V=abc\sqrt{1-\cos^2\alpha-\cos^2\beta-\cos^2\gamma+2\cos\alpha\cos\beta\cos\gamma}$

$S_{11}=b^2c^2\sin^2\alpha$

$S_{22}=a^2c^2\sin^2\beta$

$S_{33}=a^2b^2\sin^2\gamma$

$S_{12}=abc^2\left(\cos\alpha\cos\beta-\cos\gamma\right)$

$S_{23}=a^2bc\left(\cos\beta\cos\gamma-\cos\alpha\right)$

$S_{13}=ab^2c\left(\cos\gamma\cos\alpha-\cos\beta\right)$

เครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

เครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ของบริษัท BRUKER ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ที่สำคัญดังนี้

1.แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์

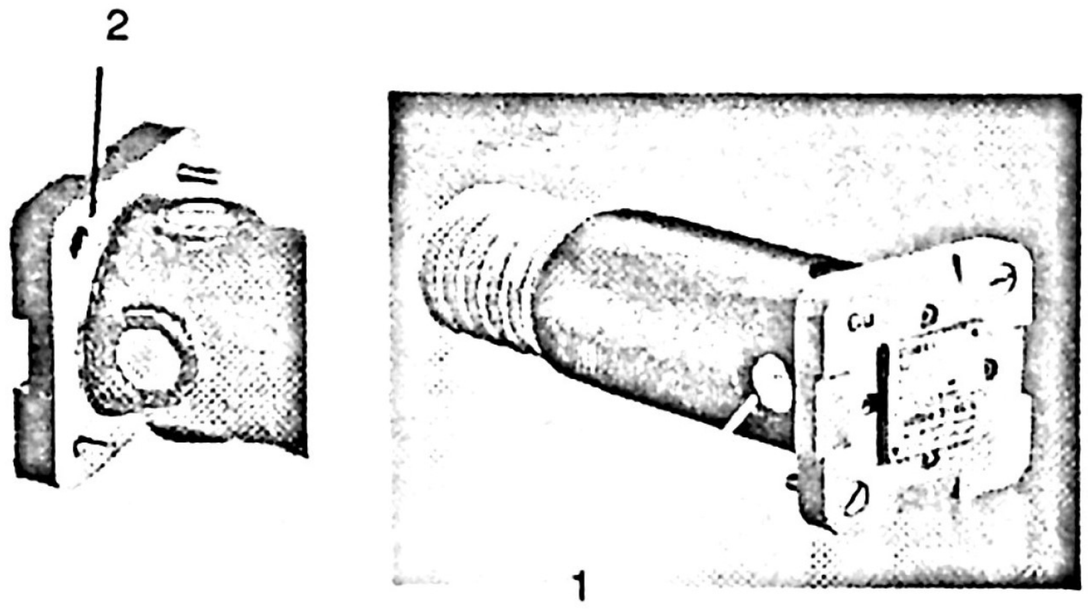
2.โกนิโอมิเตอร์

3.เครื่องนับรังสี

4.โปรแกรมการวิเคราะห์

1.แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-ray Generator)

ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์จะต้องมีเพียงพอและสม่ำเสมอเมื่อใช้เครื่องมือวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้เป็นหลอดรังสีเอกซ์ชนิดแบบหน้าต่างด้านข้าง (Side Window) มีลักษณะดังภาพประกอบ 14



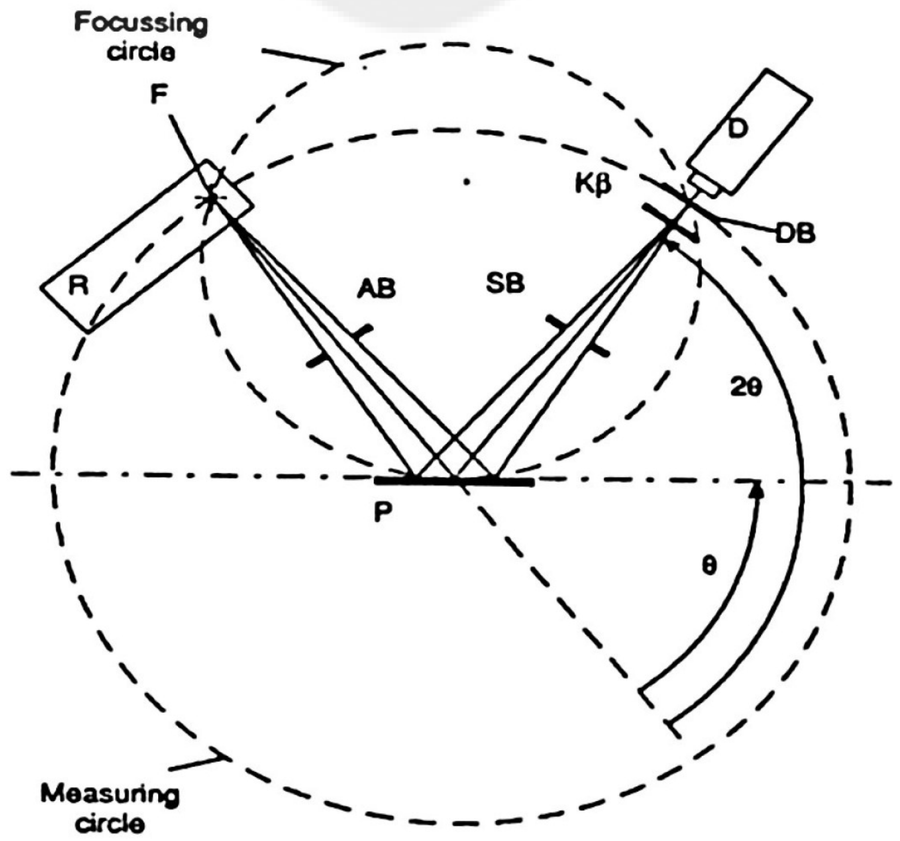
ภาพประกอบ 14 แสดงหลอดรังสีเอกซ์ชนิดหน้าต่างด้านข้าง

ที่มา: Bruker AXS.(1999). *D8 X-Ray Diffractometer* Vol 1. p. 3-6.

หลอดรังสีเอกซ์ทำหน้าที่ผลิตรังสีเอกซ์ซึ่งประกอบด้วยขั้วลบ (Cathode) ที่ให้อิเล็กตรอน ขั้วบวก (Anode) เป็นเป้าโลหะ ซึ่งใช้ทองแดง (Cu) และหน้าต่างทางออกรังสี (Radiation outlet window) (หมายเลข1) หลักการทำงานคือ เร่งอิเล็กตรอนด้วยความต่างศักย์สูงๆ ทำให้อิเล็กตรอนวิ่งชนเป้าโลหะ (Target) ทำให้เกิดรังสีเอกซ์ขึ้น ขณะที่อิเล็กตรอนชนกับเป้าโลหะพลังงานจลน์ส่วนใหญ่จะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ดังนั้นจึงต้องมีระบบหล่อเย็นช่วยระบายความร้อนให้กับหลอดรังสีเอกซ์ด้วย

2.โกนิโอมิเตอร์ (Goniometer)

เป็นชุดอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบด้วยวงแหวนภายในที่สามารถหมุนได้และวงแหวนภายนอกดังภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 แสดงส่วนประกอบของโกนิโอมิเตอร์

ที่มา: Bruker AXS.(1999). *D8 X-Ray Diffractometer* Vol 1. p. 3-2.

โกนิโอมิเตอร์ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

2.1ขาตั้งหลอดรังสี (Tube Stand) เป็นส่วนที่บรรจุหลอดรังสีเอกซ์ไว้ จะติดตั้งในตำแหน่งที่แน่นอน ไม่สามารถหมุนได้ (ตำแหน่ง R)

2.2ระบบสลิต (Slit System) มีส่วนประกอบดังนี้

- สลิตของรังสีลู่ออก (Divergence Slit) จะติดตั้งไว้ระหว่างหลอดรังสีเอกซ์ กับสารตัวอย่าง (ตำแหน่ง AB) โดยติดอยู่กับชิ้นส่วนที่หมุนไม่ได้ ใช้ในการควบคุมปริมาณของรังสีเอกซ์ที่จะตกลงบนสารตัวอย่าง

- สลิตของรังสีกระเจิง (Scattered-radiation Slit) จะติดตั้งไว้ระหว่างสารตัวอย่างกับแผ่นกรอง K_β (ตำแหน่ง SB) เพื่อให้เฉพาะรังสีเอกซ์ที่เลี้ยวเบนจากสารตัวอย่างเท่านั้นผ่านไปยังหัววัด

- สลิตของหัววัด (Detector Slit) จะติดตั้งไว้ระหว่างแผ่นกรอง K_β กับหัววัด (ตำแหน่ง DB) ใช้ในการกำหนดปริมาณรังสีสู่หัววัด

2.3แผ่นกรอง (Filter) หรือตัวดูดกลืนรังสีเอกซ์ (Absorber) แผ่นกรอง K_β (K_β Filter) ติดตั้งอยู่ระหว่างสลิตของรังสีกระเจิงกับสลิตของหัววัด (ตำแหน่ง K_β) ทำหน้าที่ในการดูดกลืนรังสีเอกซ์เฉพาะเส้น K_β เพื่อให้รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสมผ่านเข้าไปยังหัววัดส่วนใหญ่ใช้เส้น K_αที่มีความเข้มสูง สามารถเลือกแผ่นกรองให้เหมาะสมกับเป้าโลหะได้ดังตาราง 3

ตาราง 3 แสดงแผ่นกรองแสงเส้นสเปกตรัม K_β (K_β Filter) ที่เหมาะสมสำหรับเป้าโลหะชนิดต่างๆ

การแผ่รังสี (K_α, K_β)	วัสดุแผ่นกรอง	ความหนา (μm)
Cu	Ni	12
Cr	V	10
Fe	Mn	10
Co	Fe	10
Mo	Zr	10

ที่มา: Bruker AXS.(1999). *D8 X-Ray Diffractometer* Vol 1. p. 3-13.

3.เครื่องนับรังสี

เครื่องนับรังสีสำหรับเครื่องมือชุดนี้ใช้เครื่องนับแบบประกายแสง (Scintillation Counter) ที่ประกอบด้วยผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (Sodium Iodide) ซึ่งมีธาตุธาลเลียม (Thallium)อยู่เล็กน้อย (NaI(Tl)) ผลึกโซเดียมไอโอไดด์หุ้มด้วยอลูมิเนียม (Al) บางๆ ทุกด้านยกเว้นด้านที่ต่อกับหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier Tube) ด้านในแผ่นอลูมิเนียมบางๆ นี้จะเคลือบด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide) เพื่อให้เป็นตัวสะท้อนแสง เมื่อรังสีตกกระทบผลึก จะกระตุ้นอะตอมของผลึก ทำให้อะตอมที่ถูกกระตุ้นปล่อยแสงที่มองเห็นด้วยตาออกมา แสงที่คายออกมาก็จะตกบนโฟโตแคโทดของหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ จะได้โฟโตอิเล็กตรอนหลุดออกมาซึ่งจะถูกโฟกัสไปตกบนไดโนด (Dynode) อันแรก ได้อิเล็กตรอนทุติยภูมิหลุดออกมา 2 ถึง 5 ตัว ต่ออิเล็กตรอนปฐมภูมิ 1 ตัว อิเล็กตรอนเหล่านี้ถูกเร่งไปสู่ไดโนดตัวที่ 2 จะได้อิเล็กตรอนออกมาเป็นจำนวนทวีคูณ จนถึงไดโนดตัวสุดท้ายก็จะเข้าสู่ขั้วแอโนด (Anode) ซึ่งทำให้เกิดโวลเตจพัลส์ (Voltage Pulse)

4. โปรแกรมการวิเคราะห์

โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ใช้กับเครื่องมือนี้ ใช้โปรแกรม DIFFRAC^{Plus}EVA โดยเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ที่ได้กับฐานข้อมูล PDF\Jcp.2cat ซึ่งมีในเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.งานวิจัยที่ใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ วิเคราะห์หาชนิดของแร่ดินเหนียวได้มีการศึกษาหลายท่านด้วยกัน เช่น

ในปี 1986 อิสลาม (A. K. M. E. Islam) และลอตเซ (E. G. Lotse) ศึกษาสัดส่วนของดินละเอียด (Fine Clay) ดินหยาบ (Coarse Clay) ดินโคลน (Silt) ในประเทศบังกลาเทศ จากการทดสอบดินจาก Barter และ Ghior พบแร่สเมกไทต์ (Smectite) และไมกา (Mica) เด่นชัดสุด ในขณะที่ดินจาก Naraibag และ Ghatail มีแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) และไมกา (Mica) เด่นชัดสุดโดยมีแร่อื่นๆเจือปนได้แก่ แร่เวอร์มิคูไลต์ (Vermiculite) และในสัดส่วนของดินที่นำมาศึกษาไม่พบโครงสร้างผลึกของเหล็กออกไซด์ (Iron Oxide)

ในปี 1997 เคมลี (H. Chamley) และคณะ ได้ศึกษาแร่ดินเหนียวของสารตัวอย่างจากอเมซอน (Amazon) ที่ถูกพัดมาจากมหาสมุทร 16 แห่ง เพื่อจะศึกษาวิวัฒนาการของทวีป จากการทดสอบพบแร่อิลไลต์ (Illite) แร่คลอไรต์ (Chlorite) แร่สเมกไทต์ (Smectite) แร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite)

ในปี 2001 พรทิวา กัญยวงศ์หา ได้วิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ดินเหนียวในหน้าตัดดินปลูกข้าวบริเวณลุ่มน้ำชีตอนล่างในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากการทดสอบพบว่าหน้าตัดดินจากที่ราบน้ำท่วมถึงประกอบด้วยแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 เป็นส่วนใหญ่ ส่วนแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 พบเฉพาะตอนบนของหน้าตัดดินเท่านั้น

2.การเตรียมสารตัวอย่างโดยใช้วิธีกลีคอลเลชัน (Glycolation) เป็นวิธีที่ใช้แยกแร่ดินเหนียวที่มีการขยายตัวได้ งานวิจัยที่ใช้วิธีนี้ เช่น

ในปี 1996 ทาเคมัตสึ (N. Takematsu) ได้ศึกษาสถานะทางเคมีของเหล็ก โดยใช้เครื่อง Mössbauer Spectroscopy และตรวจสอบแร่ดินในสารตัวอย่างโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ โดยวิธีกลีคอลเลชันทำให้แยกแร่มอนท์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) ได้ เนื่องจากค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกเปลี่ยนไปจาก 15 อังสตรอม เป็น 17 อังสตรอม

ในปี 2003 ซาฟเฟอร์ (M. D. Saffer) และ มาโรน (C. Marone) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบแร่สเมกไทต์ (Smectite) และแร่อิลไลต์ ในรอยแยกของชั้นหิน โดยวิธีกลีคอลเลชันจะมีผลกับแร่สเมกไทต์ (Smectite) แต่ไม่มีผลกับแร่อิลไลต์ (Illite)

ในปี 2004 เทลลิโอ (C. Tellio) ได้ทำการศึกษาแร่ดินเหนียวสำหรับดิน 5 แหล่งที่มาจากยอดเขา Grand Mesa ที่ตั้งในทางทิศตะวันตกของ Colorado ดิน 5 แหล่งนี้ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วย 3 ขั้นตอน คือ การทำให้แห้ง การทำให้ชั้นขยายตัวด้วยเอททีลีนกลีคอล (Ethylene Glycol) และการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ จากการทดสอบดินพบแร่ควอทซ์ (Quartz) แร่อิลไลต์ (Illite) แร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) และแร่สเมกไทต์ (Smectite) โดยเปรียบเทียบดินที่มาจากเกาะฮาวาย (Hawaiian) ซึ่งพบแร่ควอทซ์ (Quartz) และแร่อิลไลต์ (Illite)

3.การศึกษาวิเคราะห์หาแร่ดินจากดินขาวระนอง มีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์มาแล้วคือ

ในปี 1993 วิสุทธิ์ พิสุทธอานนท์ และคณะ ได้ศึกษาดินขาวระนองที่ไม่ผ่านกระบวนการล้าง หลายขนาดด้วยกัน โดยใช้เครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบแร่ดินที่มีอยู่ในดินขาวระนองแต่ไม่เห็นโครงสร้าง ต้องนำไปทำการวิเคราะห์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ TEM (TEM) และการวิเคราะห์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ SEM (SEM) นอกจากนี้ยังใช้การวิเคราะห์ความร้อนเชิงอนุพันธ์ (DTA) และใช้เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (EDX) ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้พบแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) แร่ฮาลอยไซต์ (Hallysite) และ แร่ควอทซ์ (Quartz)เป็นองค์ประกอบหลัก แร่ไมกา (Mica) แร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar) แร่กิบไซต์ (Gibbsit) และแร่เซอร์คอน (Zircon) เป็นองค์ประกอบรอง

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ในการศึกษาโครงสร้างของแร่ดินเหนียว สารตัวอย่างดินที่นำมาศึกษามีดังนี้

1.ดินขาวลำปาง จากบ้านปางค่า อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง ได้มาจากบริษัทสยามเซรามิคซัพพลายจำกัด ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำและกรองผ่านตะแกรงละเอียด 325 เมช ใช้ทำผลิตภัณฑ์เนื้อดินขาวทุกประเภท ผ่านการทนไฟไม่เกิน 1250–1300 องศาเซลเซียส เป็นส่วนผสมหลักในเนื้อดิน เพื่อใช้ในการผลิตชิ้นเซรามิกส์ คุณสมบัติทางกายภาพของดินคือ ขนาดของเม็ดดินละเอียด เนื้อดินมีสีขาว และดินมีความเหนียวน้อยสัมผัสแล้วไม่ลื่นมือ ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีของดินขาวลำปางของบริษัทสยามเซรามิคซัพพลายจำกัดแสดงดังตาราง 4

ตาราง 4 แสดงผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินขาวจังหวัดลำปาง ที่ผ่านการล้างแล้วของบริษัทสยามเซรามิคซัพพลายจำกัด ต. สวนดอก อ. เมือง จ. ลำปาง

ผลการวิเคราะห์ทางเคมี	ส่วนประกอบของดินหลังล้าง (%)
ซิลิกา (SiO_2)	63.00
อลูมินา (Al_2O_3)	25.45
โพแทสเซียม (K_2O)	2.82
เหล็ก (Fe_2O_3)	0.48
แมกนีเซียม (MgO)	0.10
ไทเทเนียม (TiO_2)	0.06
แคลเซียม (CaO)	0.05
โซเดียม (Na_2O)	0.02
น้ำหนักที่สูญหายไปหลังการเผา (LOI)	3.54

2.ดินขาวระนอง จากอำเภอบางริ้น จังหวัดระนอง ได้มาจากคณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่นำมาใช้ในงานปั้นต่างๆ โดยดินที่นำมานี้ไม่ผ่านกระบวนการกรองใดๆ ดินขาวระนองนี้ ใช้เป็นส่วนผสมหลักในเนื้อดินที่ใช้ในงานปั้น คุณสมบัติทางกายภาพของดินคือ ขนาดของเม็ดดินละเอียดน้อยกว่าดินขาวลำปาง เนื้อดินมีสีขาวเหลือง และดินมีความเหนียวน้อยสัมผัสแล้วไม่ลื่นมือ

3.ดินดำสุราษฎร์ธานี จากอำเภอพลุพลี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ได้มาจากคณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นำมาผสมกับดินขาวระนองเพื่อทำให้ขึ้นรูปทรงได้ดี ดินดำนี้ไม่ผ่านกระบวนการใดๆ คุณสมบัติทางกายภาพของดินคือ ขนาดของเม็ดดินละเอียดมากกว่าดินขาวลำปางและดินขาวระนอง เนื้อดินมีสีดำ และดินมีความเหนียวมากสัมผัสแล้วลื่นมือ

อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารตัวอย่างมีดังนี้

1.สารเคมี

1.1 เอททีลีนกลีคอล (CH_2OHCH_2OH ,Ethylene Glycol)

1.2 น้ำกลั่น

2.อุปกรณ์เตรียมสารตัวอย่าง

2.1 โกร่งบดสาร (Mortar)

2.2 ตะแกรงร่อนสาร (Siever)

2.3 ที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample Holder)

2.4 แผ่นแก้ว

2.5 ท่อพลาสติกใส

2.6 บีกเกอร์

2.7 ที่ดูดสาร

2.8 เข็มฉีดยา

2.9 โถทำแห้ง (Desiccator)

2.10 เครื่องชั่งละเอียด ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น SNR 1116062377

2.11 ตู้อบสาร ยี่ห้อ Memmert รุ่น D 06060 Modell 400

2.12 เตาเผา ยี่ห้อ VECSTAR รุ่น XF1

3.เครื่องมือวิเคราะห์สารตัวอย่าง

เครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X–Ray Diffractometer, XRD) ที่ใช้เป็น ของบริษัท BRUKER รุ่น D8 ของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ซึ่งต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ใช้เป้าทองแดง โดยใช้ตัวกรอง (Filter) ทำด้วยนิเกิล เพื่อให้ได้รังสีเอกซ์เส้น K_α ที่มีความยาวคลื่นเฉลี่ย 1.547 อังสตรอม ในการทดลองนี้ใช้หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ที่มีกระแสขนาด 30 มิลลิแอมแปร์ และความต่างศักย์ขนาด 40 กิโลโวลต์ เครื่องมือนี้ต่อเข้ากับระบบคอมพิวเตอร์และโปรแกรม DIFFRAC^{PLUS}EVA เพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของผลึก โดยมีฐานข้อมูลในการวิเคราะห์ คือ PDF\Jcp.2cat

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เนื่องจากดินทั่วไปมักจะประกอบไปด้วยแร่ต่างๆเป็นส่วนมาก ดังนั้นในการตรวจสอบองค์ประกอบของแร่ดินเหนียวจะยากขึ้น เมื่อมีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากแร่อื่นเด่นมาก อาจทำให้ไม่เห็นหรือได้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างที่ไม่ชัดเจน ทำให้ไม่แน่ใจในผลการวิเคราะห์ ดังนั้นขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย แบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 นำดินตัวอย่าง มาตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD โดยการเตรียมสารตัวอย่างโดยไม่แยกแร่ดินเหนียว เตรียมแบบก้อนที่อัดลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง

ขั้นตอนนี้ทำเพื่อตรวจสอบว่ามีแร่ดินเหนียวชนิดใด ในสารตัวอย่างดิน โดยมีขั้นตอนในการเตรียมสารตัวอย่างดินดังนี้

1.1นำสารตัวอย่างดินมาบดให้ละเอียดด้วยโกร่งบดสาร จากนั้นนำมาผ่านตะแกรงร่อนสาร เพื่อให้ได้เม็ดสารขนาดเล็กกว่า 45 ไมโครเมตร

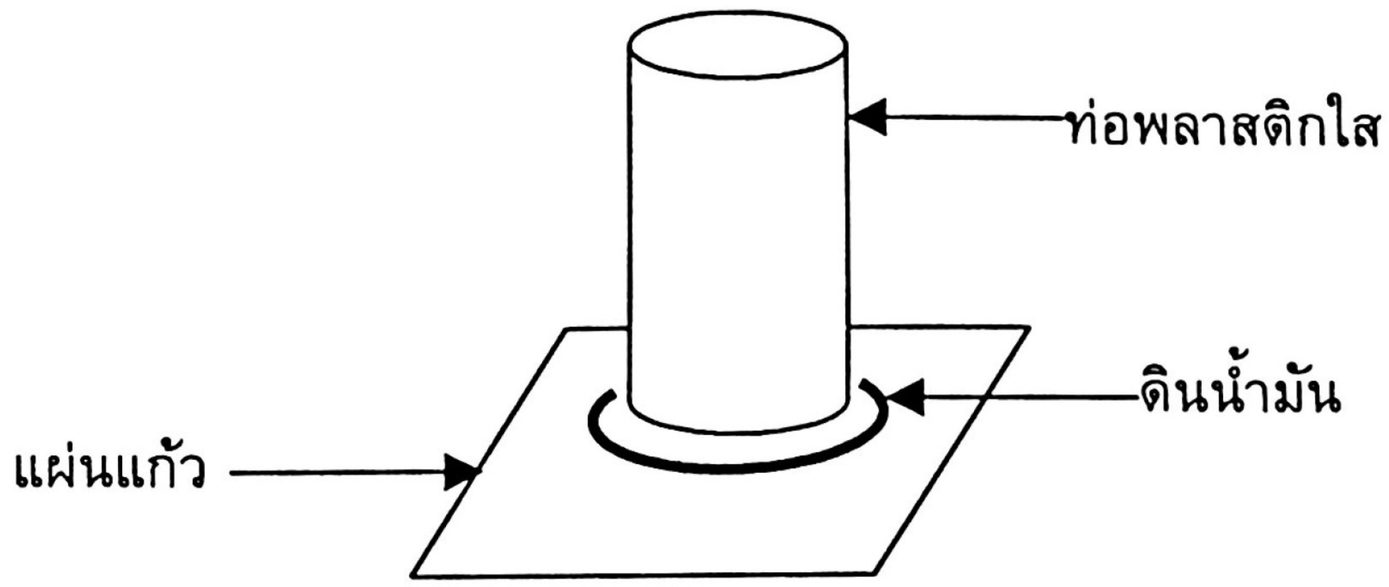
1.2นำสารตัวอย่างดินที่ได้จากการผ่านตะแกรงร่อนสารใส่ในที่ใส่สารตัวอย่างที่เป็นแผ่นพลาสติก กว้างและยาวด้านละ 5.00 เซนติเมตร มีช่องวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.50 เซนติเมตรอยู่กึ่งกลาง จากนั้นอัดสารตัวอย่างให้แน่น และทำผิวหน้าให้เรียบด้วยแผ่นแก้วใส จะได้ชิ้นตัวอย่างเป็นลักษณะคล้ายก้อนอัดเม็ดอยู่ในที่ใส่สารตัวอย่าง แล้วนำไปวัดด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม DIFFRAC^{PLUS}EVA จะทราบองค์ประกอบของแร่ดินเหนียวที่มีอยู่ในสารตัวอย่างดินพอสังเขป และเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์ จึงดำเนินการขั้นที่ 2

ขั้นที่ 2 นำดินตัวอย่าง มาเตรียมโดยแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำก่อนนำมาตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD

ขั้นตอนนี้ เป็นการวิเคราะห์แร่ดินเหนียวให้ชัดเจนยิ่งขึ้น เนื่องจากแร่ดินเหนียวมีสมบัติเป็นสารคอลลอยด์ อนุภาคของดินมีขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร จึงใช้วิธีแยกแร่อื่นๆ ที่หนักออกจากแร่ดินเหนียว โดยใช้น้ำเป็นตัวแยก ทำตามขั้นตอนดังนี้

2.1นำสารตัวอย่างดินที่ได้จากข้อ 1.1 มาชั่งด้วยเครื่องชั่ง ปริมาณ 1.50 กรัม แล้วใส่ในบีกเกอร์จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาณ 150.00 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันนาน 3 นาที

2.2ทิ้งให้ดินตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที แล้วดูดสารละลายที่ผิวบนด้วยที่ดูดสารหยดใส่ในท่อพลาสติกใสเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.20 เซนติเมตร สูง 5.00 เซนติเมตรที่วางไว้บนแผ่นแก้วกว้างและยาวด้านละ 5.00 เซนติเมตร ดังภาพประกอบ 16 ทิ้งไว้ให้แร่ดินเหนียวตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 16 แสดงชุดอุปกรณ์ใส่สารตัวอย่าง

2.3ใช้เข็มฉีดยาดูดน้ำออกจากสารตัวอย่างที่เตรียมไว้ในข้อ 2.2 โดยไม่ให้ผิวหน้าดินกระทบกระเทือน จากนั้นทิ้งสารตัวอย่างไว้ให้แห้ง จะได้สารตัวอย่างสำหรับนำไปวัดด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ทำเช่นเดียวกับข้อ 2.2 ถึง 2.3 โดยเพิ่มเวลาในการตกตะกอนของดิน เป็น 30 และ 60 นาที เพื่อศึกษาเวลาที่เหมาะสมที่สุด ในการได้สารตัวอย่างแร่ดินเหนียวที่มากเพียงพอต่อการวิเคราะห์ด้วยการวัดด้วยเครื่อง XRD เมื่อได้สารตัวอย่างแร่ดินเหนียวที่เหมาะสมแล้ว จึงดำเนินการขั้นที่ 3 ต่อไป

ขั้นที่ 3 การจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียว

นำสารตัวอย่างแร่ดินเหนียวที่เตรียมจากข้อ 2.3 มาทำตามขั้นตอนดังนี้

3.1นำมาสารตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ที่เวลา 5 นาที 30 นาที และ 60 นาที ที่แห้งมาวัดด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ และเลือกสารตัวอย่างที่เวลาเหมาะสมที่สุดไปทำตามขั้นตอนต่อไป

3.2นำสารตัวอย่างที่ได้จากข้อ 3.1 มาทำให้ชั้นของแร่ดินเหนียวขยายตัวด้วยเอททีลีนกลีคอล (Ethylene Glycol) โดยนำสารตัวอย่างไปวางในโถทำแห้ง(Desiccator) ซึ่งภายในบรรจุ เอททีลีนกลีคอล นำทั้งชุดไปใส่ในตู้อบสาร อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ขั้นตอนนี้จะมีผลกับแร่ดินเหนียวในกลุ่มสเมกไทต์ เช่นแร่มอนท์มอริลโลไนต์ จะให้ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกเพิ่มขึ้น

3.3นำสารตัวอย่างดินจากข้อ 3.2 ไปเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วนำไปวัดด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ขั้นตอนนี้สามารถแยกได้ว่าเป็นแร่เวอร์มิคูไลต์ หรือแร่คลอไรต์ โดยที่ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกของแร่เวอร์มิคูไลต์จะเปลี่ยนไป แต่แร่คลอไรต์ไม่เปลี่ยน

3.4นำสารตัวอย่างแร่ดินเหนียวจากข้อ 3.3 ไปเผาต่อที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นำไปวัดด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ขั้นตอนนี้สามารถแยกได้ว่าเป็นแร่เคโอลิไนต์ หรือแร่แอนทิโกไรต์ โดยโครงสร้างของแร่เคโอลิไนต์จะหายไป แต่แร่แอนทิโกไรต์ค่าระยะห่างระหว่าระนาบของผลึกไม่เปลี่ยนแปลง

สำหรับวิธีการวัดและวิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง XRD ทำตามขั้นตอนดังนี้

1.นำสารตัวอย่างดินที่เตรียมไว้จากขั้นที่ 1 ถึง ขั้นที่ 3 วางไว้ในตำแหน่งที่วางสารของเครื่อง XRD

2.หาค่าพารามิเตอร์ของระบบการวัดให้เหมาะสมกับสารตัวอย่าง โดยทำการศึกษาการตั้งค่าอัตราการหมุนของโกนิโอมิเตอร์ที่ 2θ และตั้งพิสัยค่ามุมของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่เหมาะสม แล้วทำการวัดสารตัวอย่างแต่ละตัวด้วยค่าพารามิเตอร์เดียวกันจนครบทุกสารตัวอย่าง เพื่อให้ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ดี ซึ่งข้อมูลที่ได้ถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์

3.ทำการวัดสารตัวอย่างดินที่เตรียมไว้จากขั้นที่ 1 ถึงขั้นที่ 3 จนครบทุกสารตัวอย่าง

4.นำข้อมูลที่บันทึกค่าความเข้มของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ที่มุมต่างๆของแร่ดินเหนียวจากสารตัวอย่าง มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม DIFFRAC^{PLUS}EVA ที่แสดงข้อมูลของมุม 2θ ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก ความเข้มสัมพัทธ์ และดัชนีมิลเลอร์ โดยทำการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ได้ด้วยฐานข้อมูล PDF\Jcp.2cat มีในเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบทางเคมี โครงสร้างของสารตัวอย่างเทียบกับโครงสร้างที่มีอยู่แล้ว ระนาบของการเลี้ยวเบนและระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกได้

ขั้นที่ 4 ขั้นตอนการศึกษาคุณภาพของดิน

นำผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่างดินในทุกขั้นตอนมาพิจารณาจำแนกองค์ประกอบตามแนวทางการศึกษาของพอพเพ และคณะในบทที่ 2 เกี่ยวกับการกระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล และ การกระทำด้วยความร้อน โดยใช้ข้อมูลของพอพเพเป็นข้อมูลมาตรฐานและเปรียบเทียบผลการจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียว ที่มีอยู่ในสารตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิด

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดลองและวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดิน

รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี ดินขาวระนอง และดินขาวลำปาง จากการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่างโดยไม่แยกแร่ดินเหนียว แสดงดังภาพประกอบ 17-19 ตามลำดับ และข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่างดังกล่าวแสดงตามตาราง 5-7 จะเห็นได้ว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่างดินมีค่าความเข้มการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากแร่ควอทซ์ และแร่อื่นๆที่เด่นมากเมื่อเทียบกับแร่ดินเหนียว ทำให้การวิเคราะห์แร่ดินเหนียวที่มีอยู่ในดินทำได้ยาก ดังนั้นจึงได้ทำการแก้ไขโดยเตรียมสารตัวอย่างด้วยวิธีการละลายน้ำ และนำชิ้นตัวอย่างที่ได้จากเตรียมให้มีการตกตะกอนโดยทิ้งไว้นาน 5 นาที 30 นาที และ 60 นาที ตามวิธีดำเนินการขั้นที่ 2 มาวัดด้วยเครื่อง XRD ทำให้เห็นรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีชัดเจนขึ้นดังแสดงในภาพประกอบ 20-22 พร้อมผลการวิเคราะห์แสดงตามตาราง 8-10 ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวดีขึ้นและที่เด่นชัดที่สุดคือ ชิ้นตัวอย่างที่ได้จากเตรียมให้มีการตกตะกอนโดยทิ้งไว้นาน 60 นาที ซึ่งพิจารณาจากค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกที่ 14.42 อังสตรอม ที่มีการจัดเรียงตัวของระนาบผลึกชัดเจนกว่าที่ให้ชิ้นตัวอย่างที่ได้จากเตรียมให้มีการตกตะกอนโดยทิ้งไว้นาน 5 นาที และ 30 นาที สำหรับภาพประกอบ 23 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีที่แยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้ชิ้นตัวอย่างที่ได้จากเตรียมให้มีการตกตะกอนโดยทิ้งไว้นาน 60 นาที แล้วนำผงที่ได้มาเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวที่ไม่ดีเลย ดังแสดงตามตาราง 11 ที่เป็นเช่นนี้น่าจะเกิดจากการที่ชิ้นตัวอย่างที่ไม่ได้เตรียมแบบผงที่อัดเป็นก้อนจะมีการเรียงตัวของดินที่ลอยบนผิวน้ำและตกตะกอนทับถมกันมีการจัดเรียงตัวของระนาบผลึกแร่ดินเหนียวได้ดีกว่าการนำผงดินไปเตรียมแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง

กรณีของดินขาวลำปางและดินขาวระนอง เมื่อนำชิ้นตัวอย่างมาเตรียมด้วยวิธีการละลายน้ำ ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปาง แสดงดังภาพประกอบ 24-26 และข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แสดงตามตาราง 12-14 ซึ่งจะเห็นได้ว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวจากชิ้นตัวอย่างที่ได้จากเตรียมให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที ให้ค่าความเข้มการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกที่ 9.99 อังสตรอม สูงที่สุด สำหรับดินขาวระนองรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ

แร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินแสดงดังภาพประกอบ 27-29 และข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แสดงตามตาราง 15-17 โดยจะเห็นว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวจากชิ้นตัวอย่างที่ได้จากเตรียมให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที ให้ค่าความเข้มการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกที่ 7.50 อังสตรอม เด่นที่สุด

ผลการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการวิเคราะห์ชนิดของแร่ดินเหนียว

ผลการทดลองตามที่กล่าวข้างต้นยังไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ได้ในสารตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิด เป็นแร่ดินเหนียวชนิดใด ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์หาชนิดของแร่ดินเหนียวที่มีในดินตัวอย่างโดยทำตามขั้นตอนคือ การทิ้งให้แห้ง (Air Dried) การกระทำด้วยเอททีลีนกลีคอล (Ethylene Glycol Treatment) กระทำด้วยความร้อน (Heat Treatment) ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และ 550 องศาเซลเซียส เมื่อทำครบทุกขั้นตอนจะสามารถระบุได้ว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ได้เป็นแร่ดินเหนียวชนิดใด

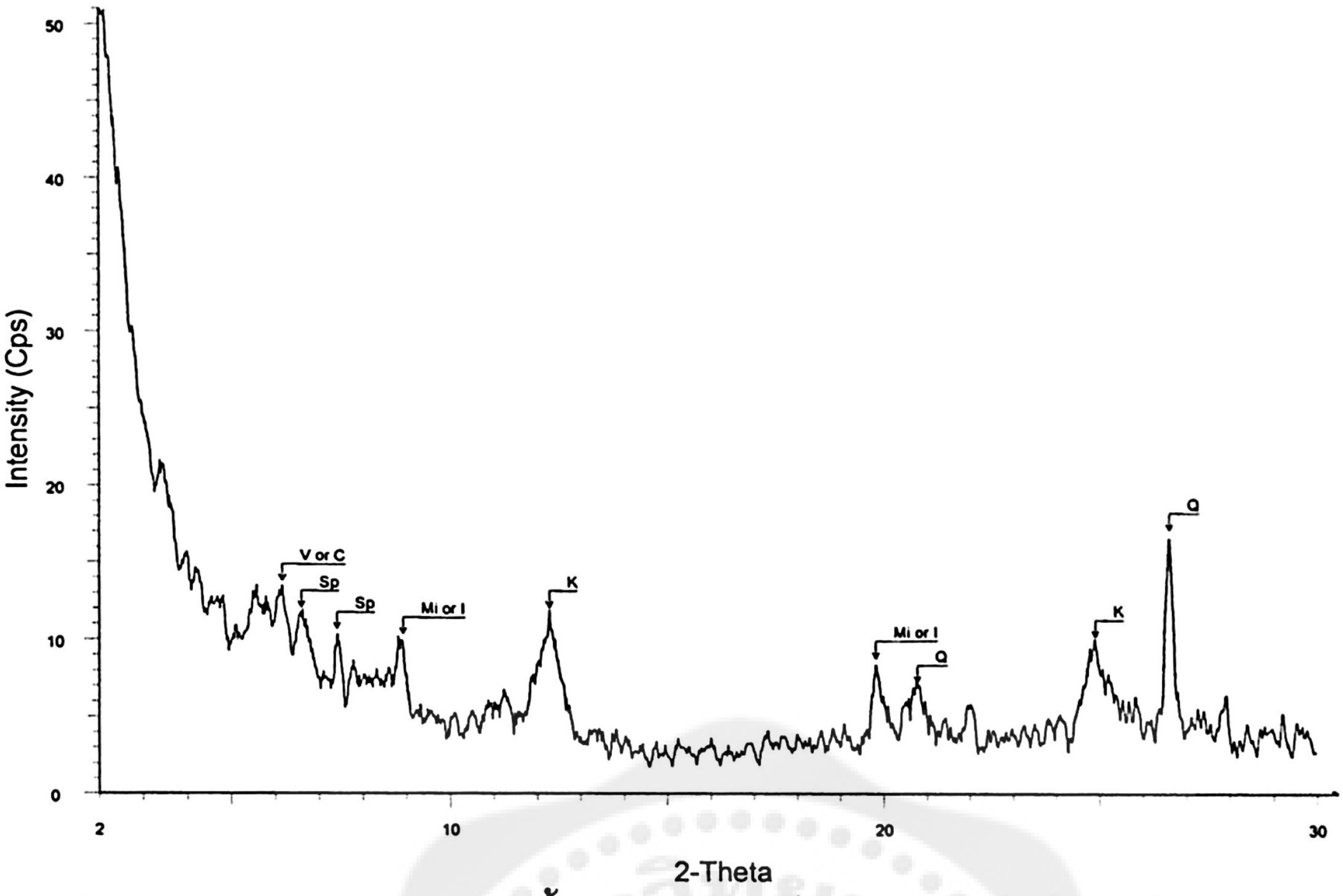
สำหรับชิ้นตัวอย่างจากดินทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำแล้วทิ้งให้แห้งก่อนนำมาตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD พบว่าชิ้นตัวอย่างที่ได้จากเตรียมให้มีการตกตะกอนที่นับว่าเหมาะสมที่สุดคือ 60 นาที เพื่อวิเคราะห์หาชนิดของแร่ดินเหนียวจึงได้นำชิ้นตัวอย่างไปกระทำต่อด้วยเอททีลีนกลีคอล และกระทำด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และ 550 องศาเซลเซียส ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี แสดงดังภาพประกอบ 30-32 และข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แสดงตามตาราง 18-20 ตามลำดับ และภาพประกอบ 33 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี จากชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ กระทำด้วยเอททีลีนกลีคอล และกระทำด้วยความร้อน แร่ดินเหนียวที่พบในดินดำสุราษฎร์ธานีคือ แร่เคโอลิไนต์ แร่อิลไลต์ แร่มอนท์มอริลโลไนต์ แร่เวอร์มิคไลต์ และแร่เซปพิโอไลต์

เมื่อนำดินขาวลำปางและดินขาวระนองมากระทำด้วยเอททีลีนกลีคอล และกระทำด้วยความร้อน จะได้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปาง แสดงดังภาพประกอบ 34-36 และข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แสดงตามตาราง 21-23 และภาพประกอบ 37 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปาง จากชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ กระทำด้วยเอททีลีนกลีคอล และกระทำด้วยความร้อน แร่ดินเหนียวที่พบในดินขาวลำปางคือ แร่เคโอลิไนต์ แร่อิลไลต์ และแร่มอนท์มอริลโลไนต์

สำหรับดินขาวระนองรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวแสดงดังภาพประกอบ 38-40 และข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แสดงตามตาราง 24-25 และภาพประกอบ 41 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนอง จากชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ กระทำด้วยเอททีลีนกลีคอล และกระทำด้วยความร้อน แร่ดินเหนียวที่พบคือ แร่เคโอลิไนต์ และแร่เมตาฮาลลอยไซต์

ผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นสามารถสรุปและจำแนกองค์ประกอบของแร่ดินเหนียวจากสารตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิด จากการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ทำตามขั้นตอนต่างๆ ตาราง 26 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวจากดินตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแร่มอนท์มอริลโลไนต์ แร่เวอร์มิคูไลต์ แร่อิลไลต์ และแร่เซปพิโอไลต์จัดเป็นแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 แต่โครงสร้างของแร่มอนท์มอริลโลไนต์ยึดกันอย่างหลวมๆมากที่สุด เมื่อกระทำด้วยเอททีลีนกลีคอลจะทำให้ช่องว่างระหว่างชั้นในโครงสร้างถูกแทนที่ด้วยโมเลกุลของเอททีลีนกลีคอล ดังนั้นระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกจึงมีค่าเพิ่มขึ้น แร่เวอร์มิคูไลต์และแร่อิลไลต์เกิดการเปลี่ยนแปลงไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับแร่มอนท์มอริลโลไนต์ซึ่งในการทดลองไม่ค่อยเห็นการเปลี่ยนแปลง ส่วนแร่เซปพิโอไลต์โครงสร้างจะแตกต่างจากแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 คือกลุ่มของเตตระฮีดรอลของแต่ละแผ่นไม่ได้ชี้ไปในทิศทางเดียวกันทำให้โมเลกุลของเอททีลีนกลีคอลแทนที่ในโครงสร้างได้ยาก แร่เคโอลิไนต์ และแร่เมตาฮาลลอยไซต์จัดเป็นแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 ช่องว่างระหว่างชั้นไม่ค่อยกว้างจึงไม่มีผลใดๆกับการกระทำด้วยเอททีลีนกลีคอล และเมื่อนำไปกระทำด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จะทำให้โมเลกุลของน้ำ และเอททีลีนกลีคอลที่อยู่ระหว่างชั้นของแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 ระเหยไป จึงทำให้ช่องว่างระหว่างชั้นลดลงส่งผลให้ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกลดลง และเมื่อนำไปกระทำด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จะทำลายโครงสร้างของแร่เคโอลิไนต์ แร่เมตาฮาลลอยไซต์ และแร่เซปพิโอไลต์ ส่วนแร่อิลไลต์ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และ 550 องศาเซลเซียส ไม่สามารถทำลายโครงสร้างของแร่นี้ได้ ดังนั้นจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง จะเห็นได้ว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องตามแนวทางการศึกษาของพอพเพ ทำให้การวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ตาราง 27 แสดงผลการจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียวด้วยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของดินตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ภายหลังการกระทำด้วยเอททีลีนกลีคอล กระทำด้วยความร้อน และวิเคราะห์ด้วยฐานข้อมูล PDF\Jcp.2cat

หมายเหตุ : จากผลการศึกษาโครงสร้างและชนิดของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิด เมื่อตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD โดยการเตรียมชิ้นตัวอย่างตามวิธีการที่กล่าวมาข้างต้น ผลที่ได้สามารถวิเคราะห์แร่ดินเหนียวที่มีอยู่ในดินตัวอย่างชัดเจนถูกต้อง จึงไม่ได้นำไปทำการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น (Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer, WDXRFS) ตามที่เคยเสนอเค้าโครงในเบื้องต้น

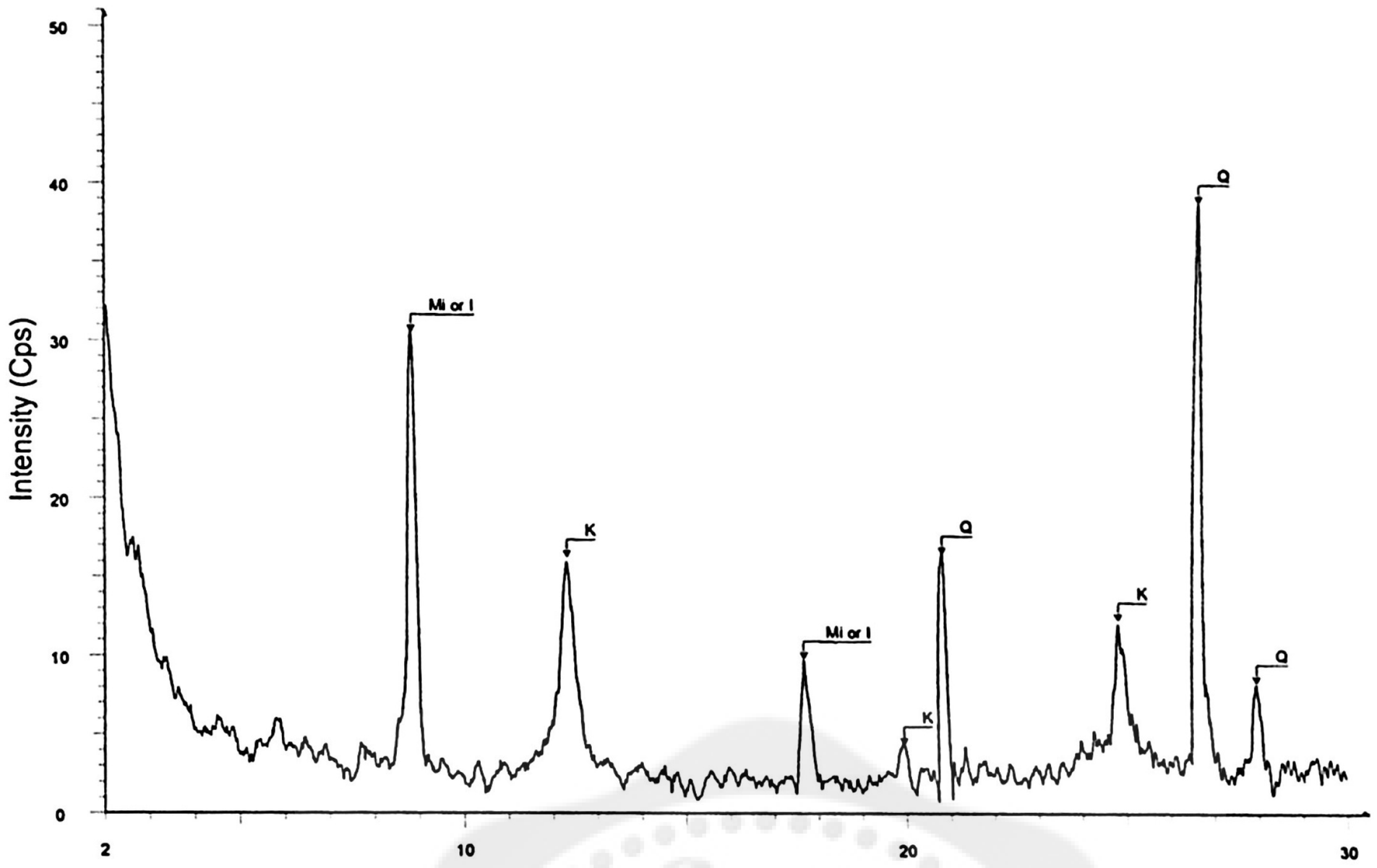


ภาพประกอบ 17 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีโดยการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่างโดยไม่แยกแร่ดินเหนียว (I=Illite, K=Kaolinite, Q=Quartz, Mi=Mica, Sp=Sepiolite, V=Vermiculite, C=Chlorite)

ตาราง 5 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีโดยการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่างโดยไม่แยกแร่ดินเหนียว ในภาพประกอบ 17 โดยใช้ฐานข้อมูล PDF\Jcp.2cat ในการวิเคราะห์

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
6.123	14.4225	77.1	-	-	-	V or C*
6.598	13.3856	68.4	0	2	0	Sp*
7.375	11.9766	56.6	1	1	0	Sp*
8.844	9.9902	56.1	-	-	-	Mi or I*
12.351	7.1608	64.0	0	0	1	K*
19.839	4.4716	45.8	-	-	-	Mi or I*
20.846	4.2578	41.5	1	0	0	Q
24.870	3.5772	51.7	0	0	2	K*
26.638	3.3436	100.0	1	0	1	Q

* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้

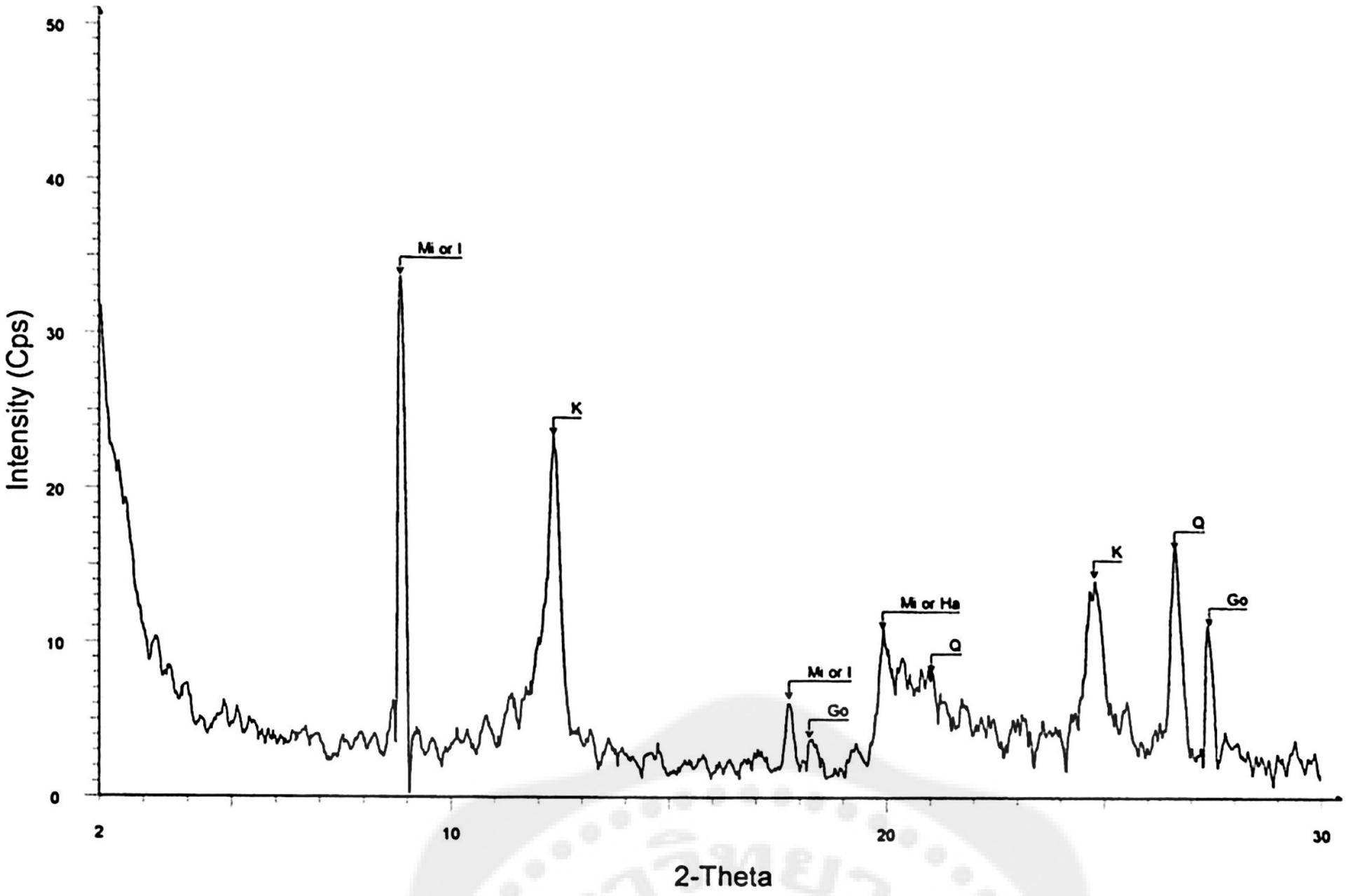


ภาพประกอบ 18 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปาง โดยการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง โดยไม่แยกแร่ดินเหนียว (I=Illite, K=Kaolinite, Q=Quartz, Mi=Mica)

ตาราง 6 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางโดยการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง โดยไม่แยกแร่ดินเหนียว ในภาพประกอบ 18 โดยใช้ฐานข้อมูล PDF\Jcp.2cat ในการวิเคราะห์

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
8.844	9.9902	85.9	-	-	-	Mi or I*
12.372	7.1483	46.7	0	0	1	K*
17.611	5.0319	14.9	-	-	-	Mi or I
19.861	4.4667	10.9	0	2	0	K*
20.868	4.2533	45.7	1	0	0	Q
24.892	3.5741	34.7	0	0	2	K*
26.638	3.3436	100.0	0	1	1	Q
28.058	3.1776	18.3	1	0	1	Q

* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้

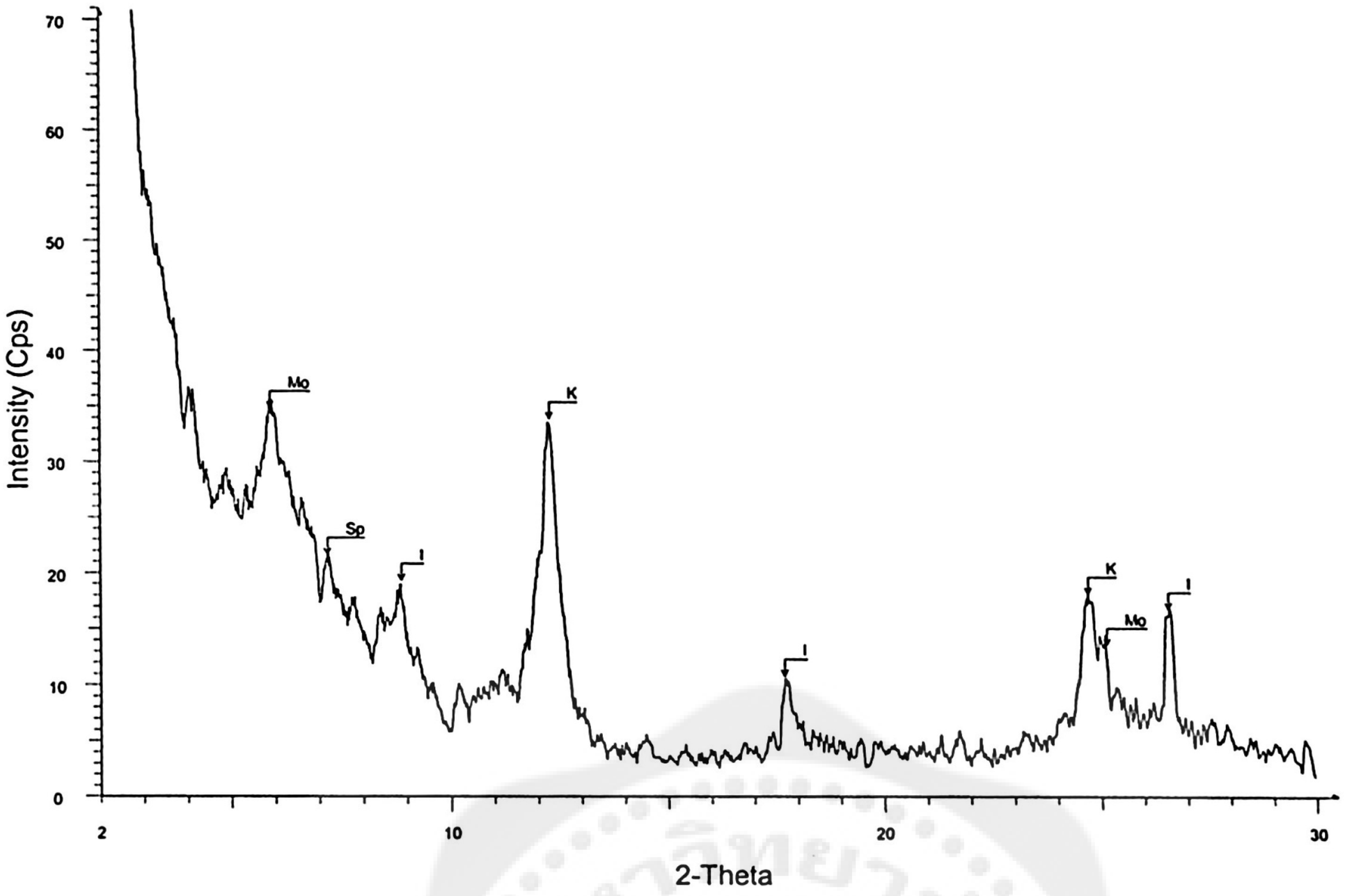


ภาพประกอบ 19 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนอง โดยการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง โดยไม่แยกแร่ดินเหนียว (I=Illite, K=Kaolinite, Q=Quartz, Mi=Mica, Go=Goethite, Ha=Metahalloysite)

ตาราง 7 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองโดยการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง โดยไม่แยกแร่ดินเหนียว ในภาพประกอบ 19 โดยใช้ฐานข้อมูล PDF\Jcp.2cat ในการวิเคราะห์

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
8.844	9.9902	100.0	-	-	-	Mi or I*
12.286	7.1985	56.9	0	0	1	K*
17.764	4.9890	18.4	-	-	-	Mi or I*
18.222	4.8646	11.2	0	2	0	Go
19.970	4.4425	31.2	-	-	-	Mi or Ha*
21.065	4.2139	24.3	1	0	0	Q
24.914	3.5741	41.9	0	0	2	K*
26.727	3.3327	49.2	1	0	1	Q
27.503	3.2405	31.9	0	3	0	Go

* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้



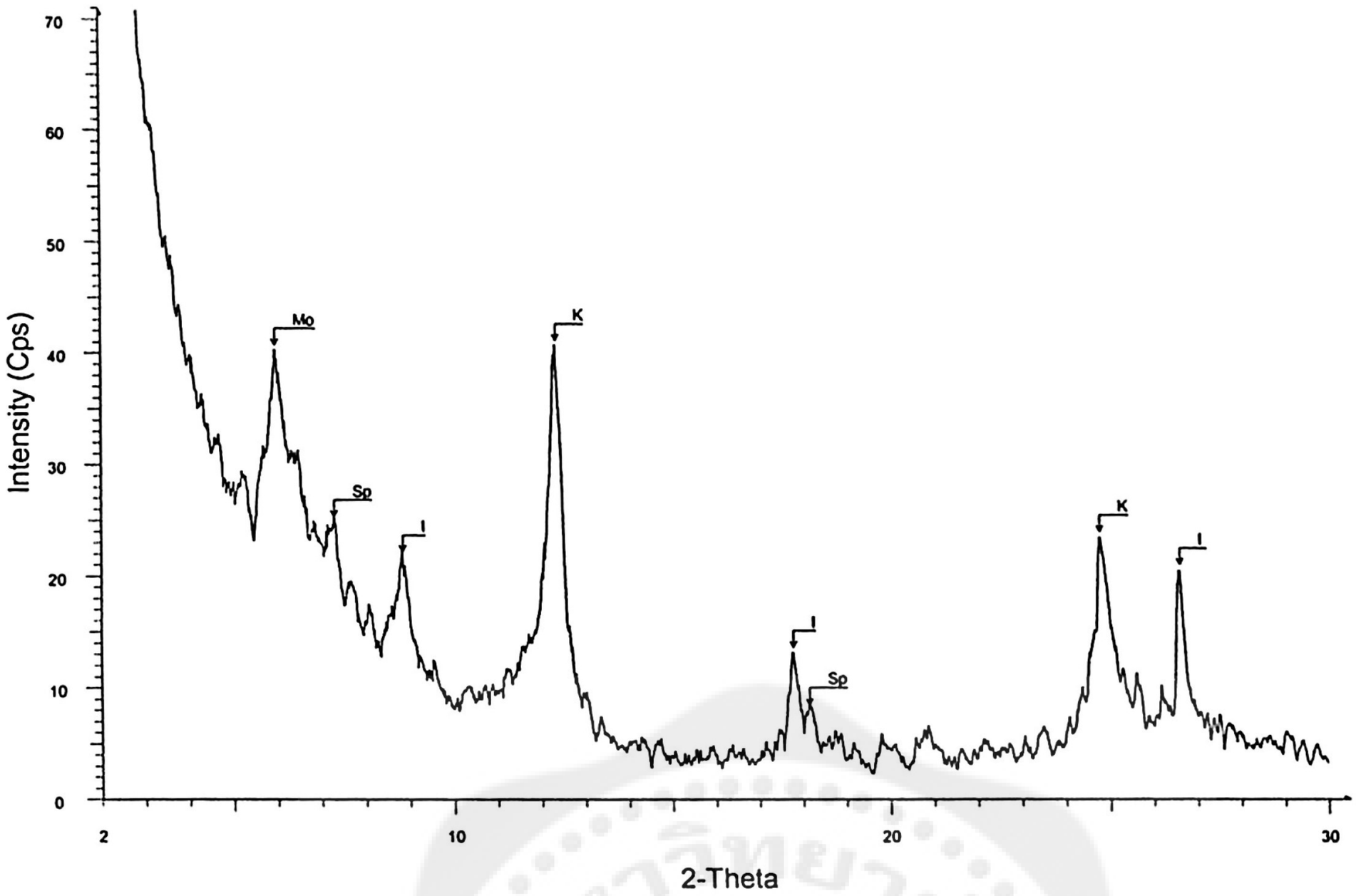
ภาพประกอบ 20 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที (I=Illite, K=Kaolinite, Mo=Montmorillonite, Sp=Sepiolite)

ตาราง 8 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที ในภาพประกอบ 20

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
5.886	15.0036	100.0	-**	-	-	Mo*
7.181	12.3003	59.6	1	1	0	Sp*
8.844	9.9902	52.5	0	0	1	I*
12.351	7.1608	91.6	0	0	1	K*
17.611	5.0319	17.0	0	0	2	I*
24.870	3.5772	49.5	0	0	2	K*
25.201	3.5310	36.0	-**	-	-	Mo*
26.594	3.3491	45.8	0	2	2	I*

* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้

** ไม่แสดงดัชนีมิลเลอร์เนื่องจากการจัดเรียงตัวของระนาบในผลึกไม่ชัดเจน



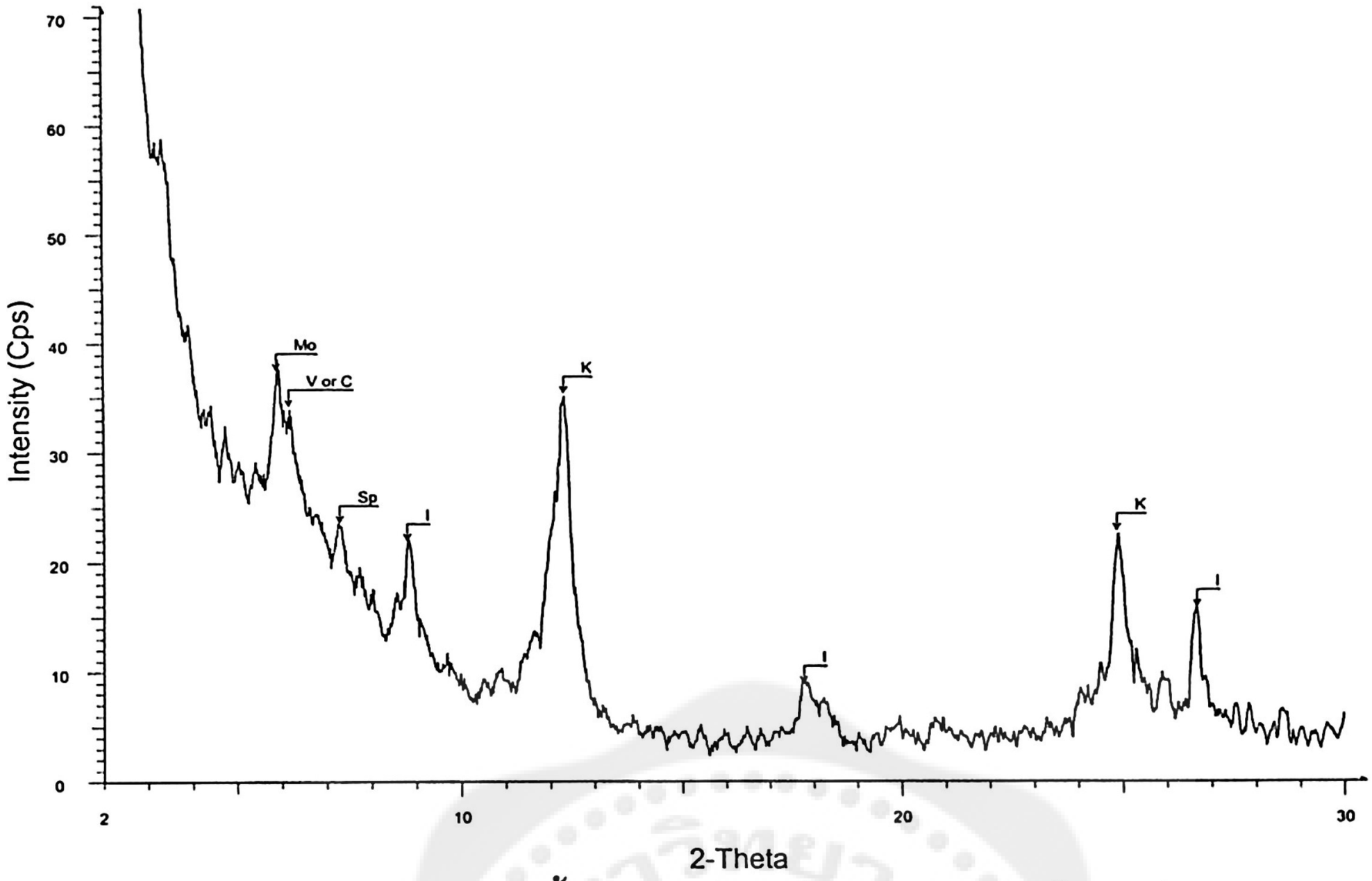
ภาพประกอบ 21 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที (I=Illite, K=Kaolinite, Mo=Montmorillonite, Sp=Sepiolite)

ตาราง 9 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที ในภาพประกอบ 21

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
5.886	15.0036	91.0	-**	-	-	Mo*
7.181	12.3003	59.3	1	1	0	Sp*
8.844	9.9902	48.7	0	0	1	I*
12.351	7.1608	100.0	0	0	1	K*
17.611	5.0319	19.0	0	0	2	I*
18.091	4.8995	18.4	1	0	1	Sp*
24.870	3.5772	53.9	0	0	2	K*
26.594	3.3491	40.8	0	2	2	I*

* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้

** ไม่แสดงดัชนีมิลเลอร์เนื่องจากการจัดเรียงตัวของระนาบในผลึกไม่ชัดเจน



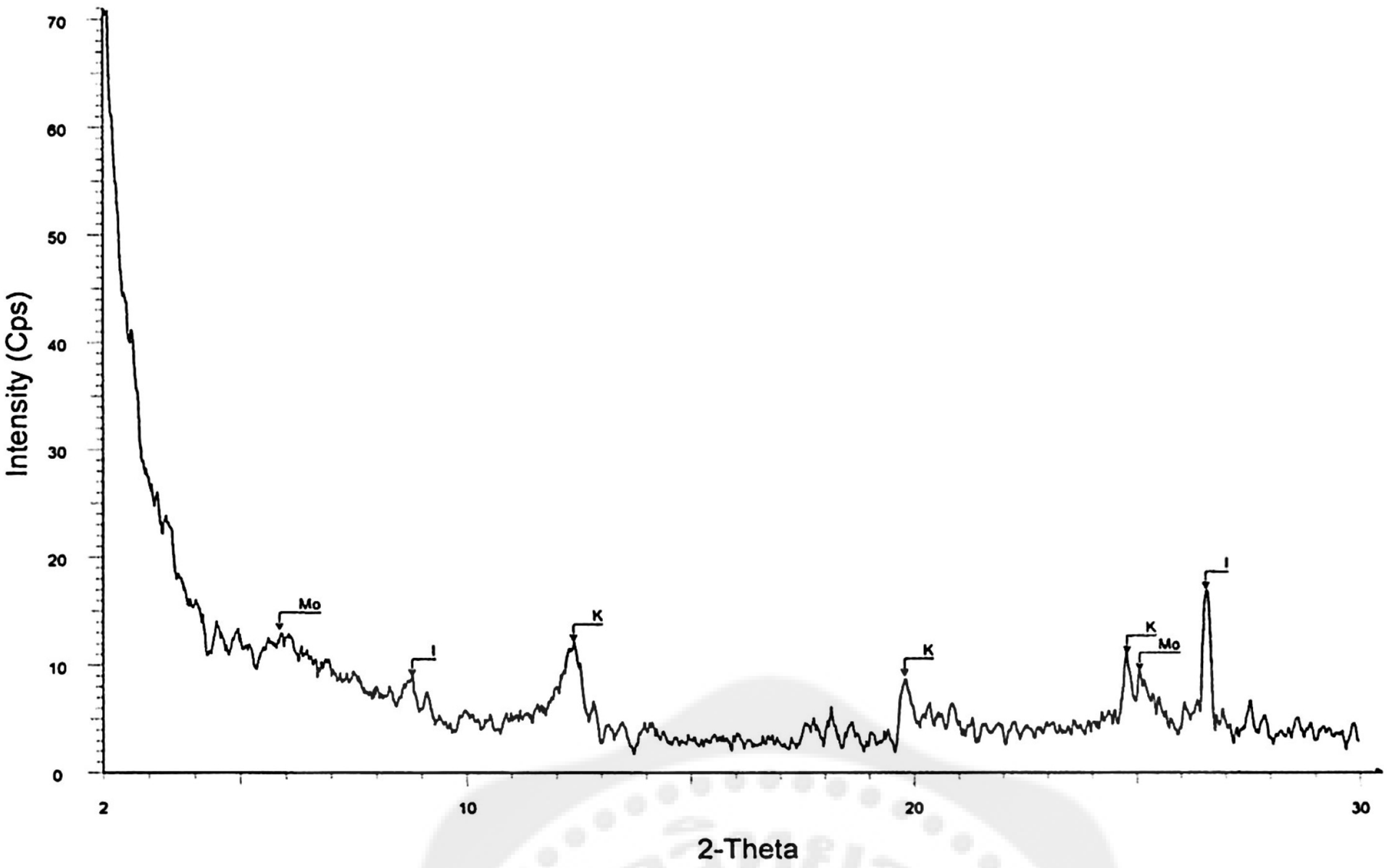
ภาพประกอบ 22 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที (I=Illite, K=Kaolinite, Mo=Montmorillonite, Sp=Sepiolite, V=Vermiculite, C=Chlorite)

ตาราง 10 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที ในภาพประกอบ 22

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
5.886	15.0036	100.0	-**	-	-	Mo*
6.123	14.4225	86.4	-	-	-	V or C*
7.181	12.3003	57.5	1	1	0	Sp*
8.844	9.9902	56.0	0	0	1	I*
12.351	7.1608	91.1	0	0	1	K*
17.611	5.0319	14.3	0	0	2	I*
24.870	3.5772	52.4	0	0	2	K*
26.594	3.3491	36.6	0	2	2	I*

* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้

** ไม่แสดงดัชนีมิลเลอร์เนื่องจากการจัดเรียงตัวของระนาบในผลึกไม่ชัดเจน



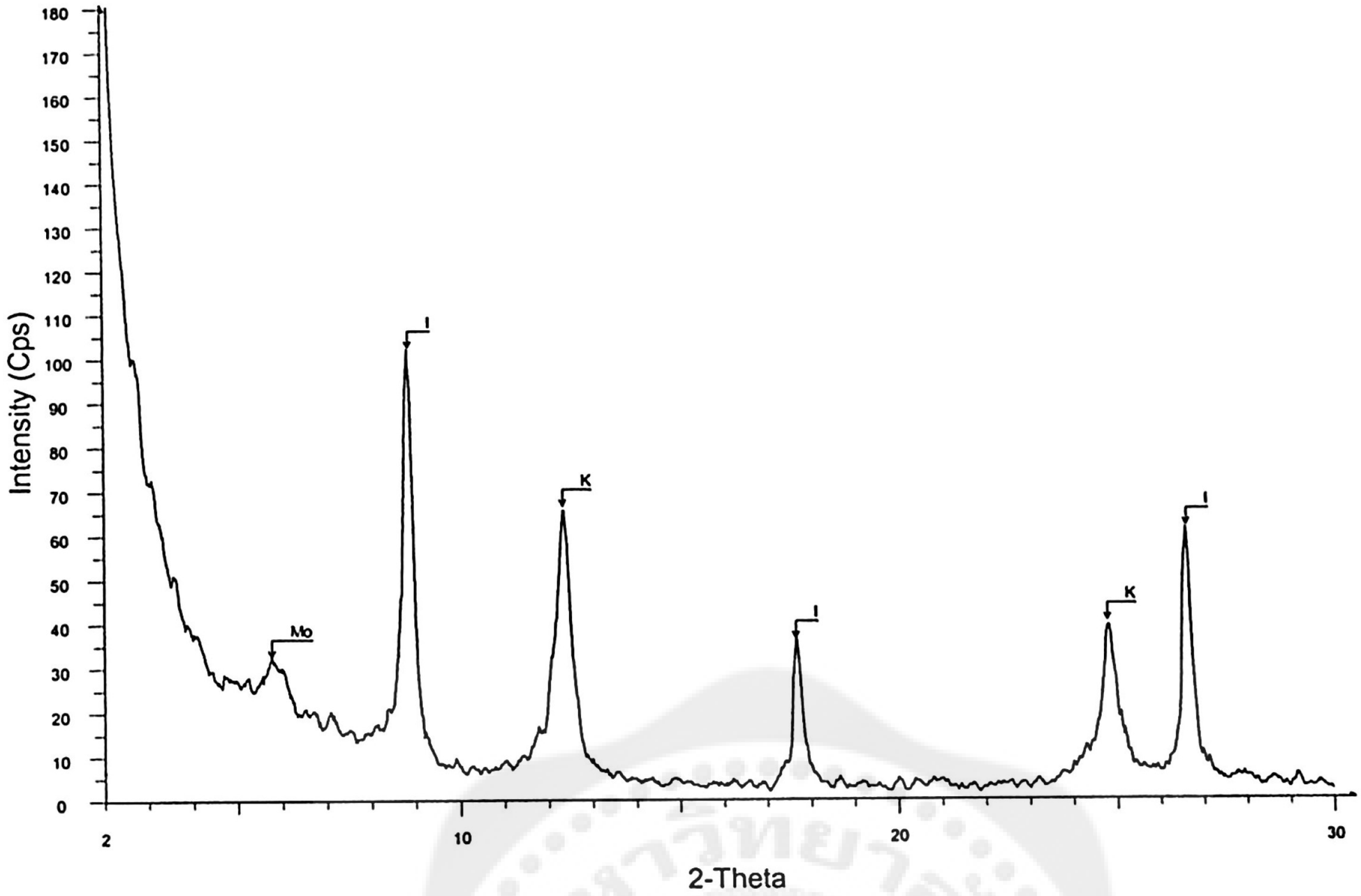
ภาพประกอบ 23 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที โดยนำผงที่ได้มาเตรียมแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง (I=Illite, K=Kaolinite, Mo=Montmorillonite)

ตาราง 11 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที โดยนำผงที่ได้มาเตรียมแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง ในภาพประกอบ 23

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
5.886	15.0036	79.9	-**	-	-	Mo*
8.844	9.9902	45.4	0	0	1	I*
12.351	7.1608	69.8	0	0	1	K*
19.839	4.4716	52.9	0	2	0	K*
24.870	3.5772	65.3	0	0	2	K*
25.201	3.5310	48.8	-**	-	-	Mo*
26.594	3.3491	100.0	0	2	2	I*

* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้

** ไม่แสดงดัชนีมิลเลอร์เนื่องจากการจัดเรียงตัวของระนาบในผลึกไม่ชัดเจน



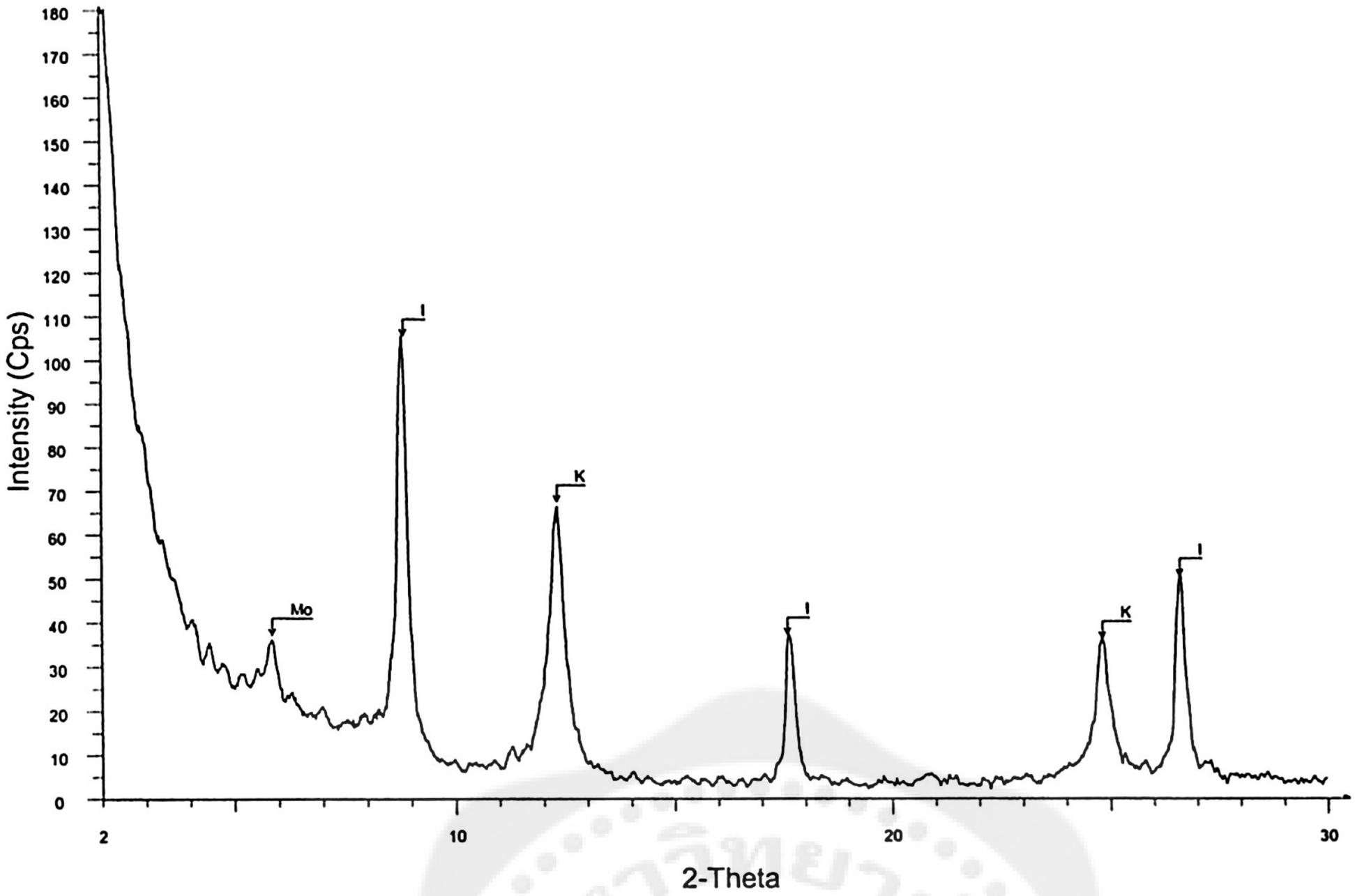
ภาพประกอบ 24 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปาง สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที (I=Illite, K=Kaolinite, Mo=Montmorillonite)

ตาราง 12 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที ในภาพประกอบ 24

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
5.778	15.2835	30.1	-**	-	-	Mo*
8.844	9.9902	100.0	0	0	1	I*
12.372	7.1483	63.6	0	0	1	K*
17.611	5.0319	26.6	0	0	2	I*
24.892	3.5741	38.2	0	0	2	K*
26.594	3.3491	44.9	0	2	2	I*

* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้

** ไม่แสดงดัชนีมิลเลอร์เนื่องจากการจัดเรียงตัวของระนาบในผลึกไม่ชัดเจน



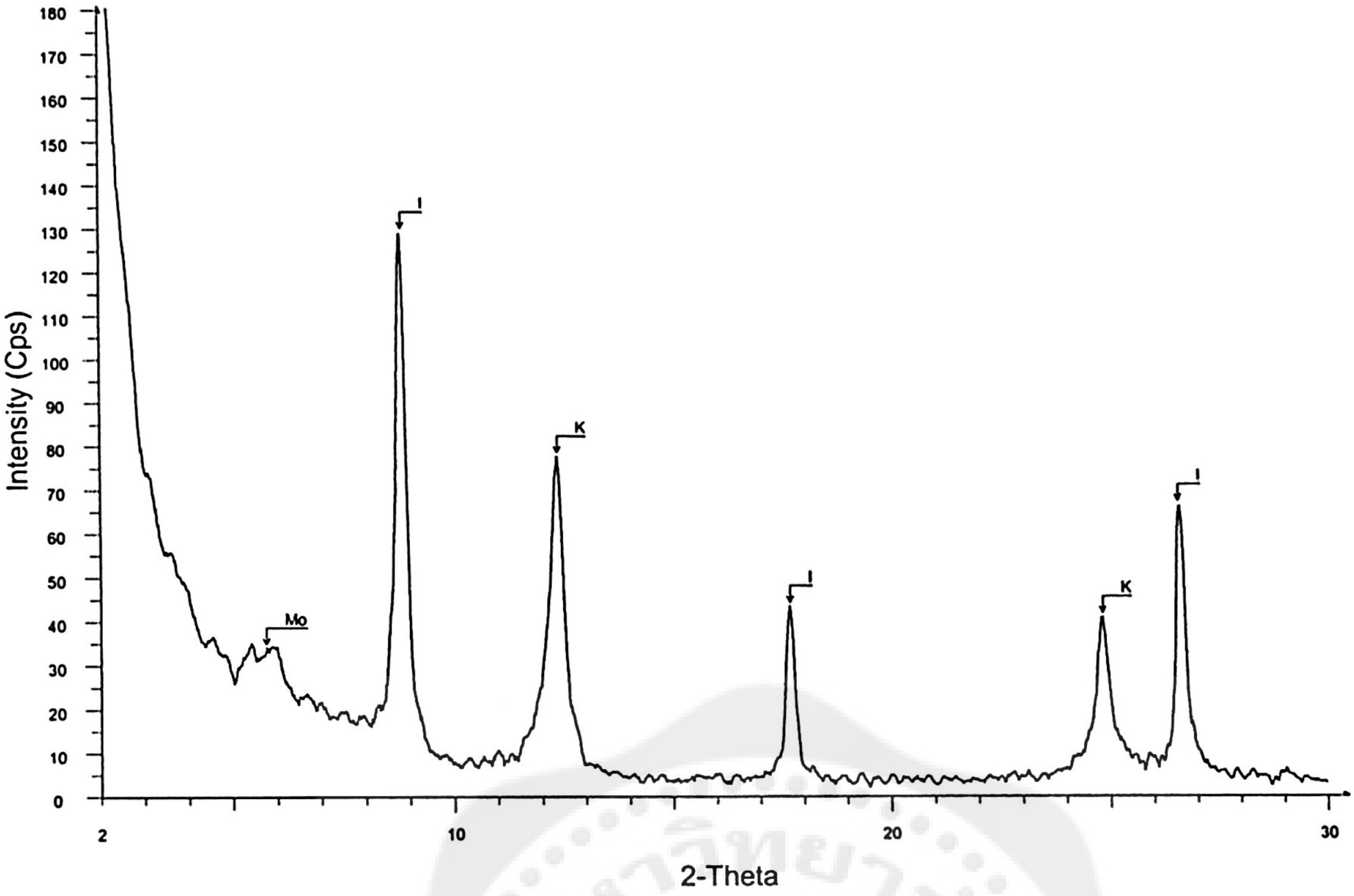
ภาพประกอบ 25 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปาง สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที (I=Illite, K=Kaolinite, Mo=Montmorillonite)

ตาราง 13 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที ในภาพประกอบ 25

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
5.778	15.2835	33.3	-**	-	-	Mo*
8.844	9.9902	100.0	0	0	1	I*
12.372	7.1483	60.9	0	0	1	K*
17.611	5.0319	27.6	0	0	2	I*
24.892	3.5741	34.6	0	0	2	K*
26.594	3.3491	40.9	0	2	2	I*

* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้

** ไม่แสดงดัชนีมิลเลอร์เนื่องจากการจัดเรียงตัวของระนาบในผลึกไม่ชัดเจน



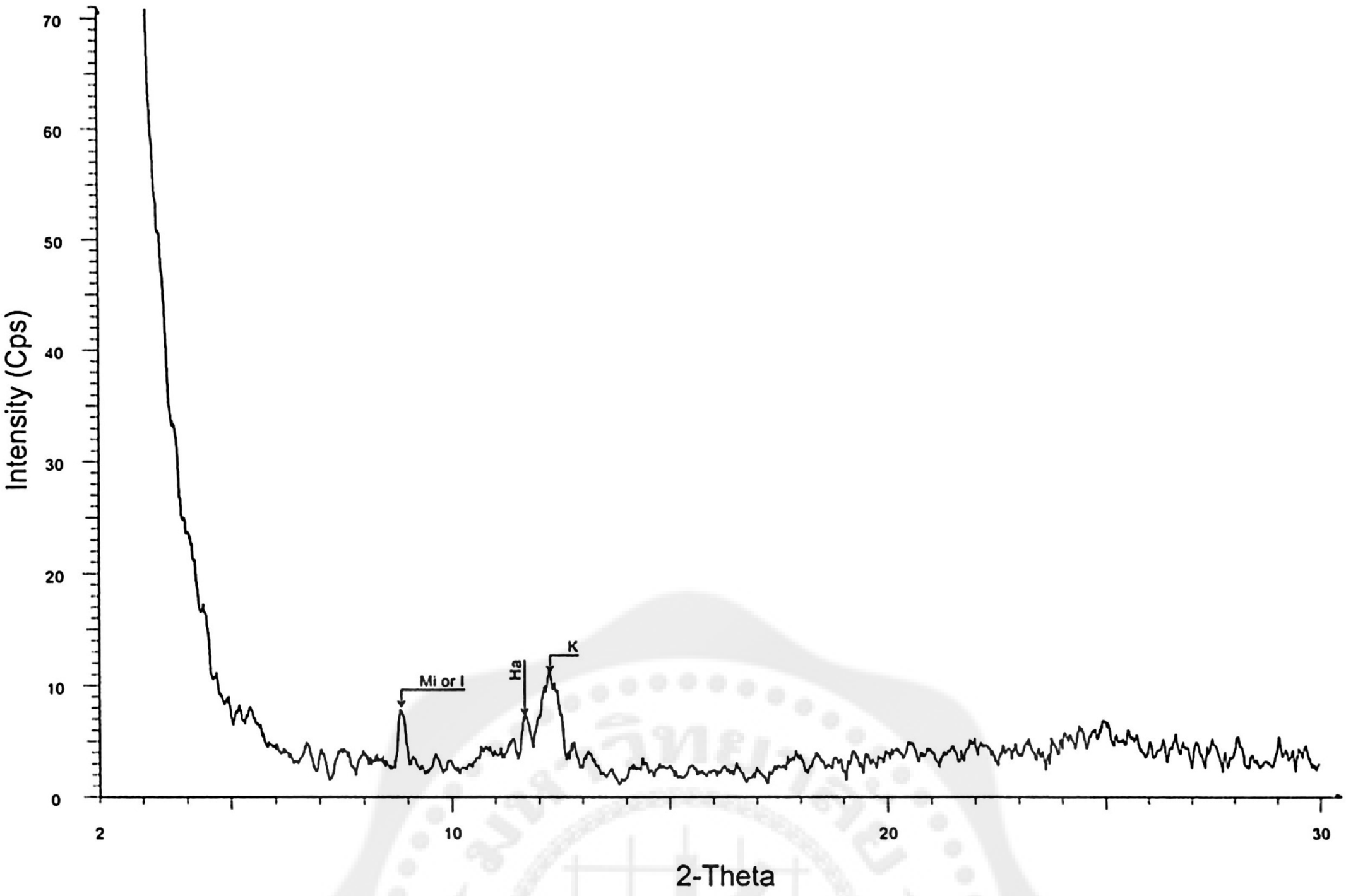
ภาพประกอบ 26 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปาง สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที (I=Illite, K=Kaolinite, Mo=Montmorillonite)

ตาราง 14 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที ในภาพประกอบ 26

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
5.778	15.2835	25.7	-**	-	-	Mo*
8.844	9.9902	100.0	0	0	1	I*
12.372	7.1483	60.5	0	0	1	K*
17.611	5.0319	25.3	0	0	2	I*
24.892	3.5741	31.7	0	0	2	K*
26.594	3.3491	41.1	0	2	2	I*

* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้

** ไม่แสดงดัชนีมิลเลอร์เนื่องจากการจัดเรียงตัวของระนาบในผลึกไม่ชัดเจน



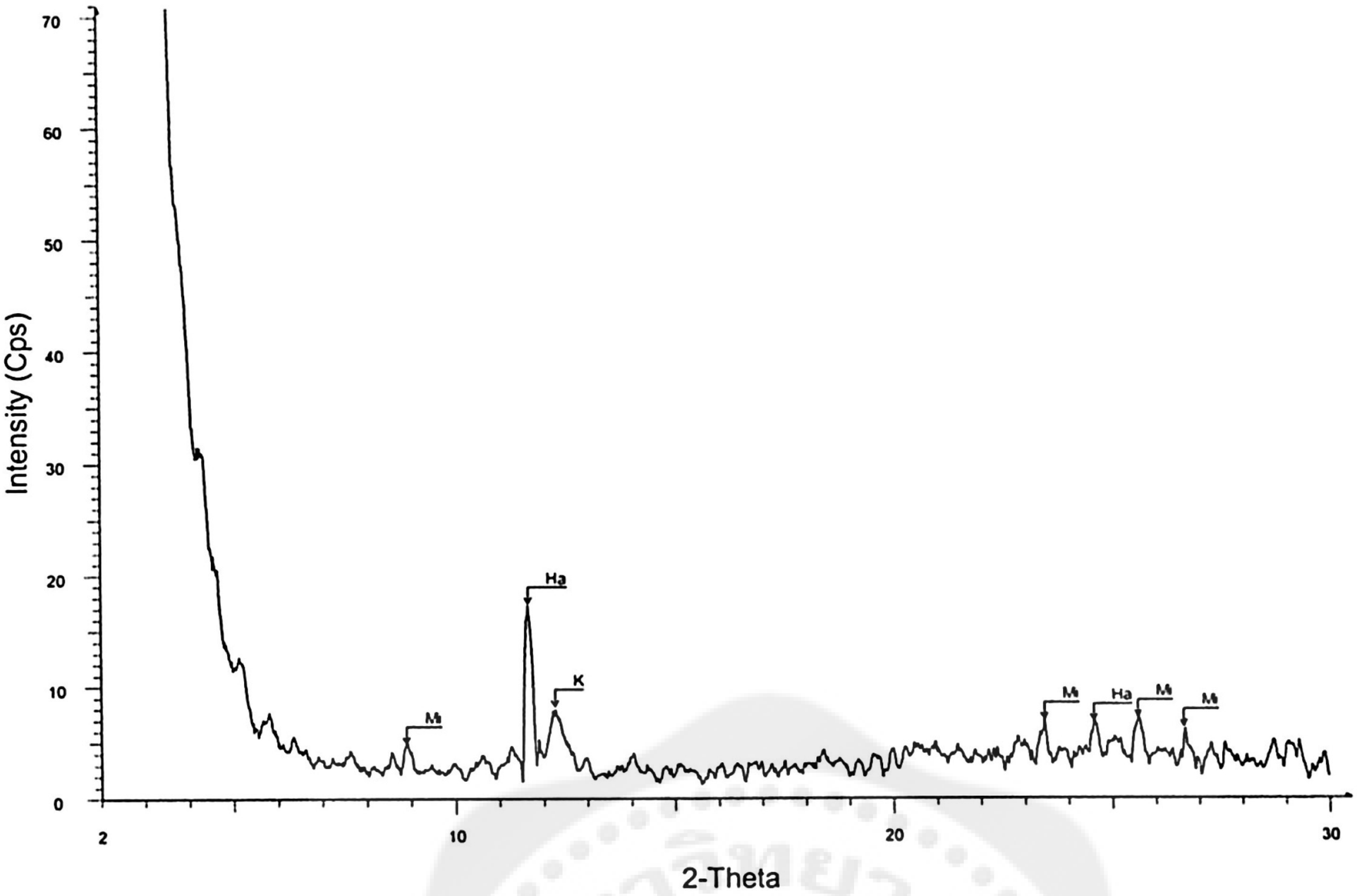
ภาพประกอบ 27 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนอง สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที (I=Illite, K=Kaolinite, Mi=Mica, Ha=Metahalloysite)

ตาราง 15 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที ในภาพประกอบ 27

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
8.844	9.9902	78.0	-	-	-	Mi or I*
11.787	7.5018	56.3	-**	-	-	Ha*
12.286	7.1985	100.0	0	0	1	K*

* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้

** ไม่แสดงดัชนีมิลเลอร์เนื่องจากการจัดเรียงตัวของระนาบในผลึกไม่ชัดเจน



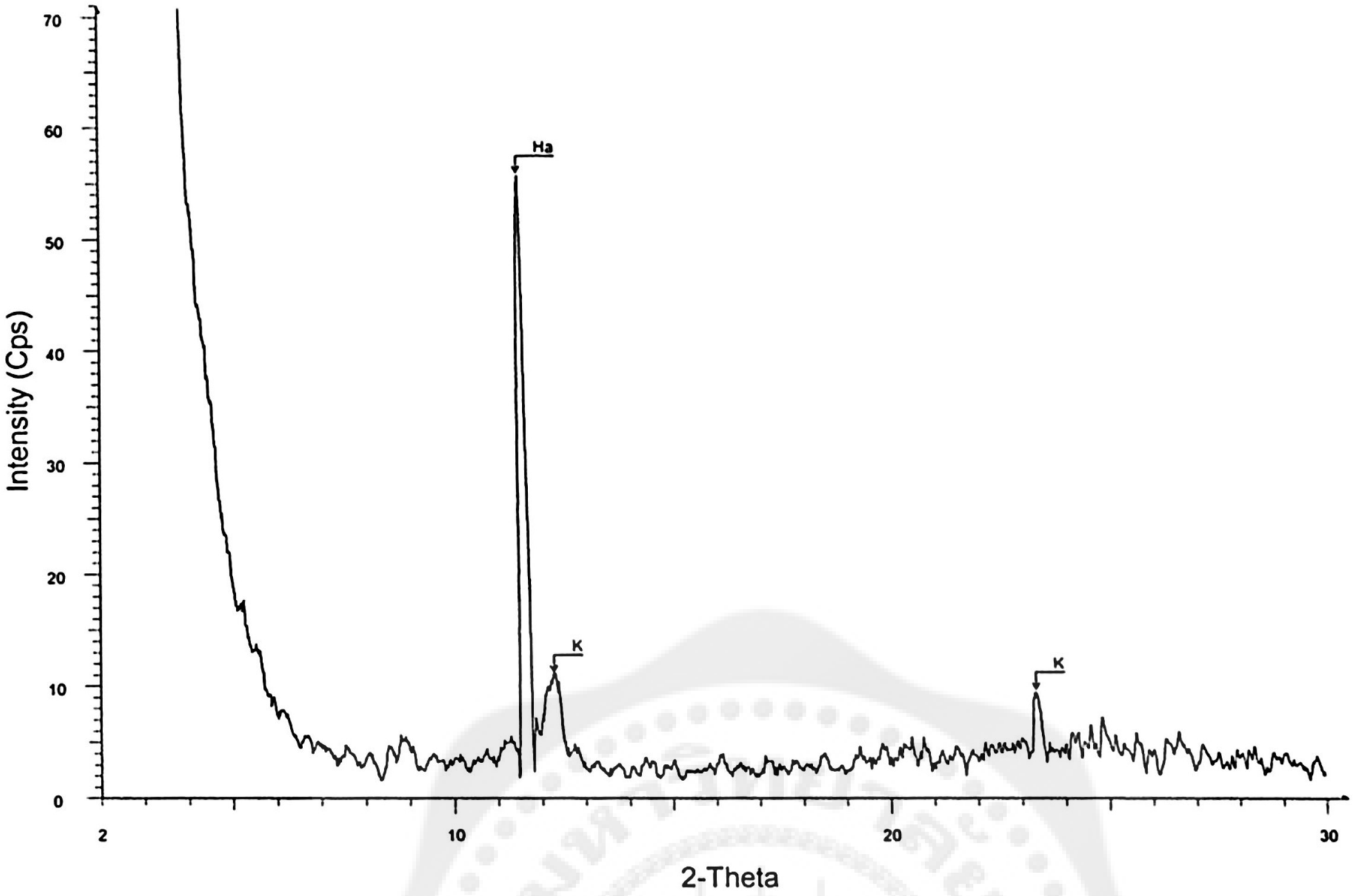
ภาพประกอบ 28 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนอง สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที (Mi=Mica, K=Kaolinite, Ha=Metahaollysite)

ตาราง 16 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที ในภาพประกอบ 28

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
8.844	9.9902	29.4	0	0	1	Mi*
11.787	7.5018	100.0	-**	-	-	Ha*
12.286	7.1985	47.1	0	0	1	K*
23.525	3.7786	46.5	2	0	2	Mi*
24.495	3.6312	41.2	0	0	2	Ha*
25.488	3.4919	37.1	$\bar{1}$	1	4	Mi*
26.771	3.3273	35.3	0	0	6	Mi*

* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้

** ไม่แสดงดัชนีมิลเลอร์เนื่องจากการจัดเรียงตัวของระนาบในผลึกไม่ชัดเจน



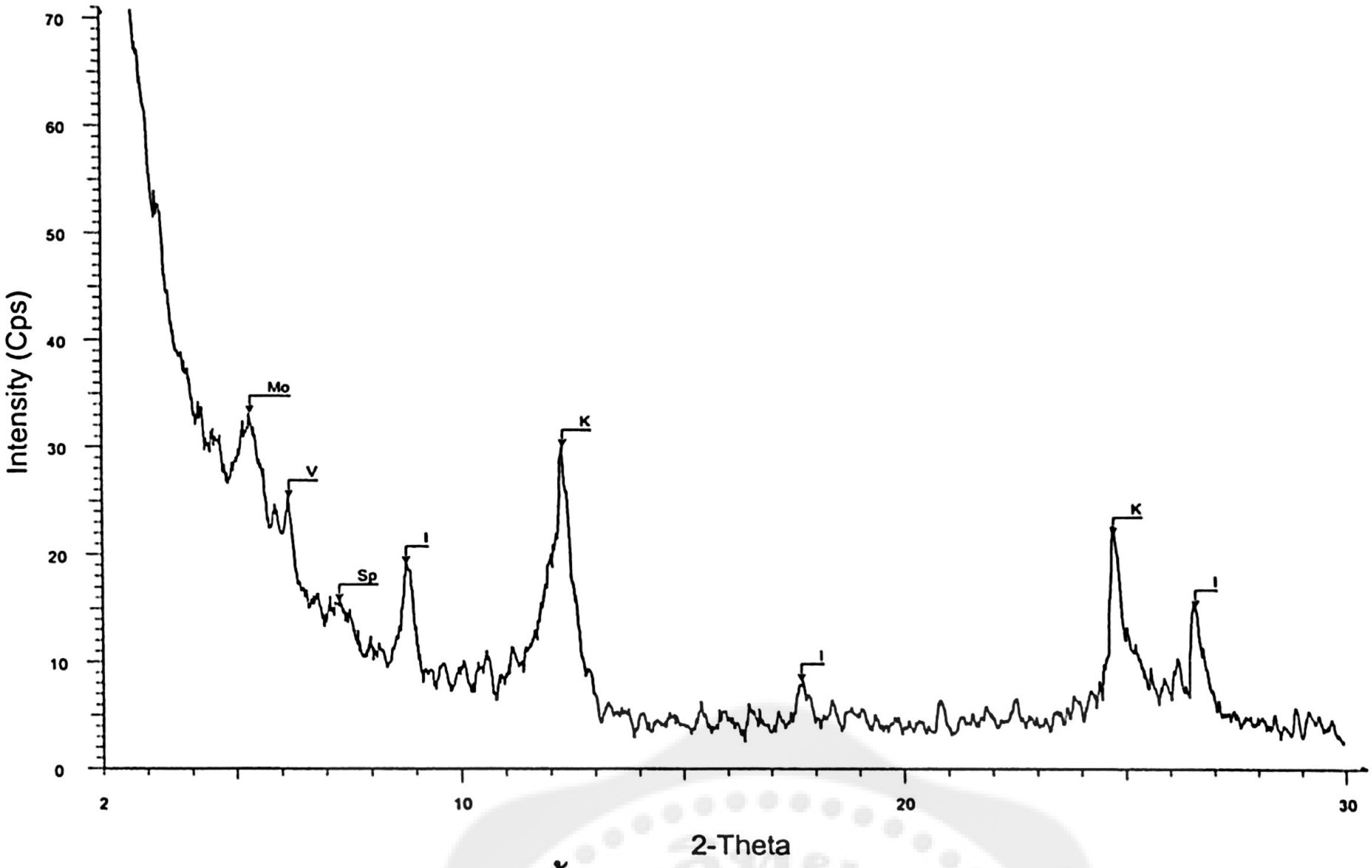
ภาพประกอบ 29 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนอง สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที (K=Kaolinite, Ha=Metahalloysite)

ตาราง 17 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที ในภาพประกอบ 29

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
11.787	7.5018	100.0	-**	-	-	Ha*
12.286	7.1985	20.0	0	0	1	K*
23.393	3.7996	17.9	0	$\bar{2}$	1	K*

* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้

** ไม่แสดงดัชนีมิลเลอร์เนื่องจากการจัดเรียงตัวของระนาบในผลึกไม่ชัดเจน



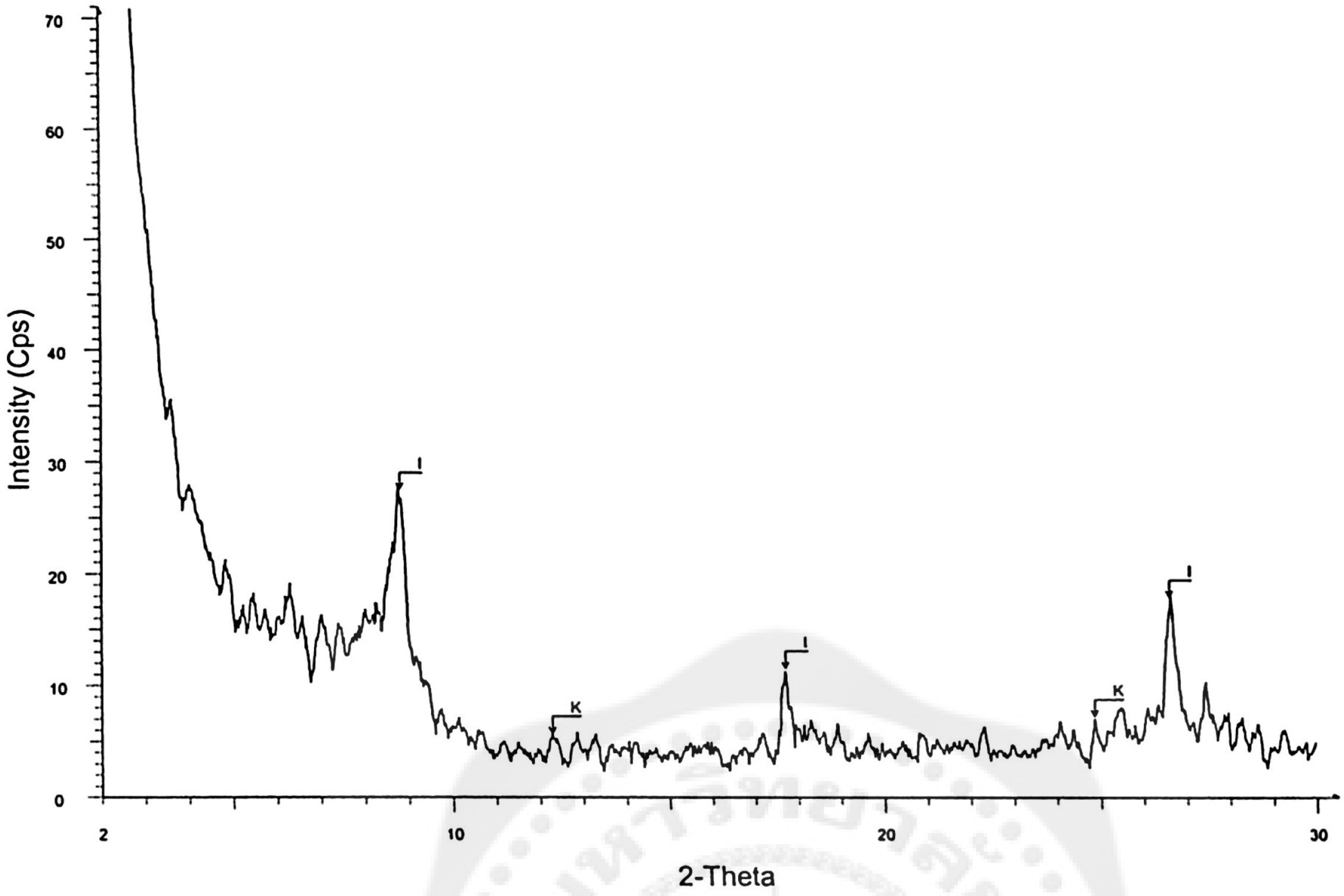
ภาพประกอบ 30 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มากระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล (I=Illite, K=Kaolinite, Mo=Montmorillonite, Sp=Sepiolite, V=Vermiculite)

ตาราง 18 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มากระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล ในภาพประกอบ 30

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
5.279	16.7282	100.0	-**	-	-	Mo*
6.123	14.4225	84.7	0	0	2	V*
7.181	12.3003	54.7	1	1	0	Sp*
8.844	9.9902	64.8	0	0	1	I*
12.351	7.1608	90.6	0	0	1	K*
17.611	5.0319	25.1	0	0	2	I*
24.870	3.5772	79.2	0	0	2	K*
26.594	3.3349	47.6	0	2	2	I*

* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้

** ไม่แสดงดัชนีมิลเลอร์เนื่องจากการจัดเรียงตัวของระนาบในผลึกไม่ชัดเจน

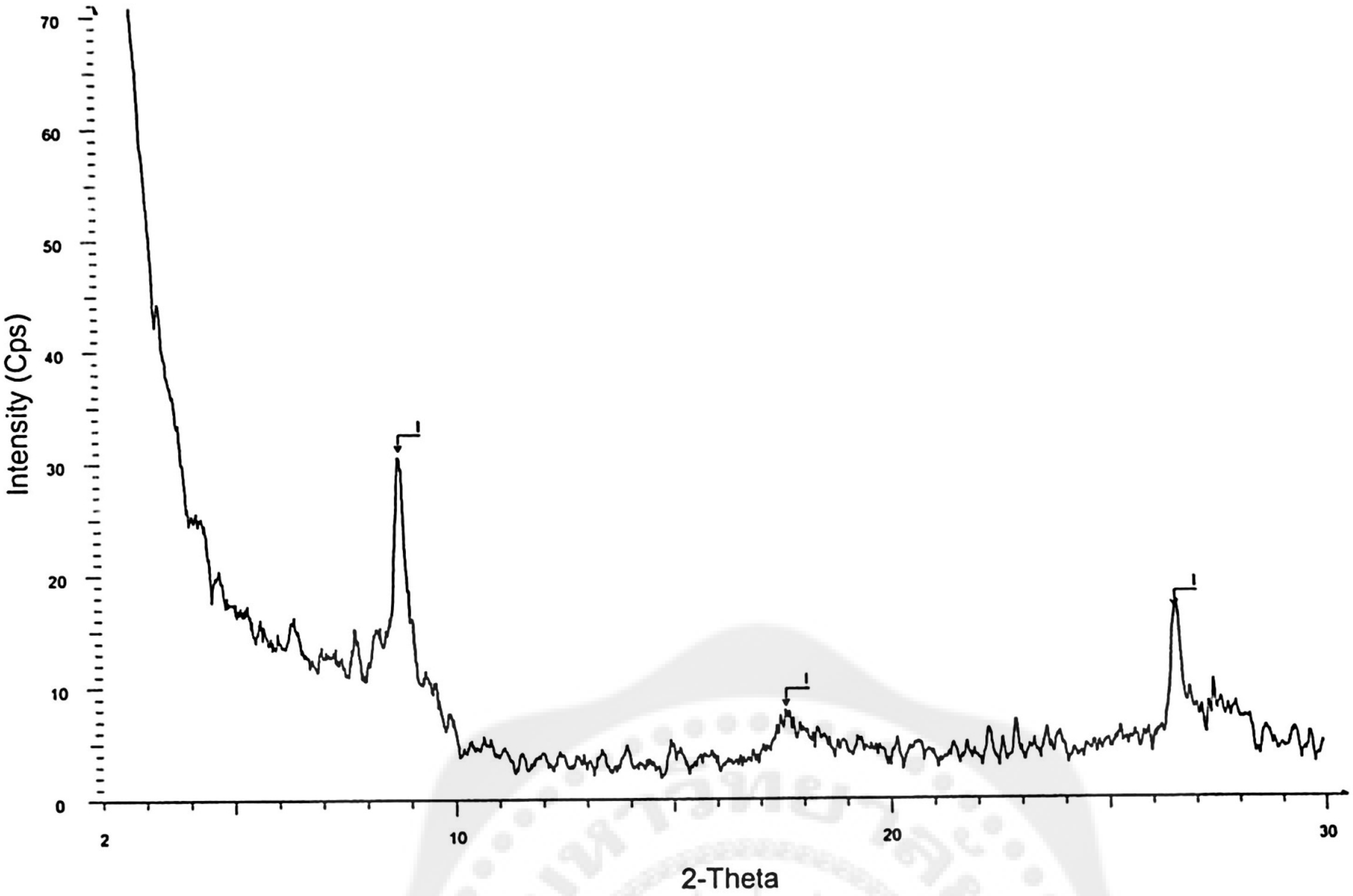


ภาพประกอบ 31 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส (I=Illite, K=Kaolinite)

ตาราง 19 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ในภาพประกอบ 31

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
8.844	9.9902	100.0	0	0	1	I*
12.351	7.1608	17.9	0	0	1	K*
17.611	5.0319	24.4	0	0	2	I*
24.870	3.5772	21.9	0	0	2	K*
26.594	3.3349	57.8	0	2	2	I*

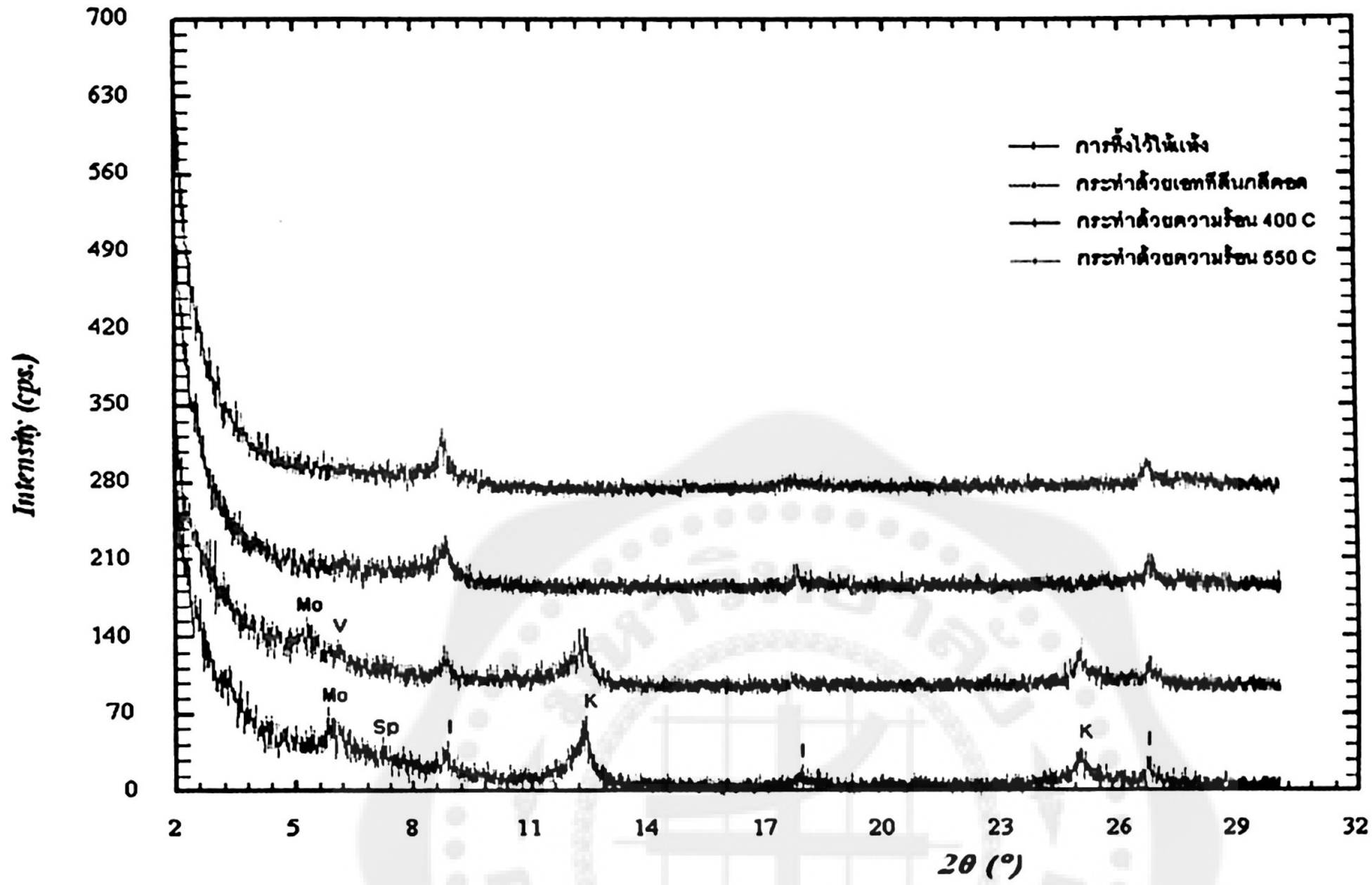
* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้



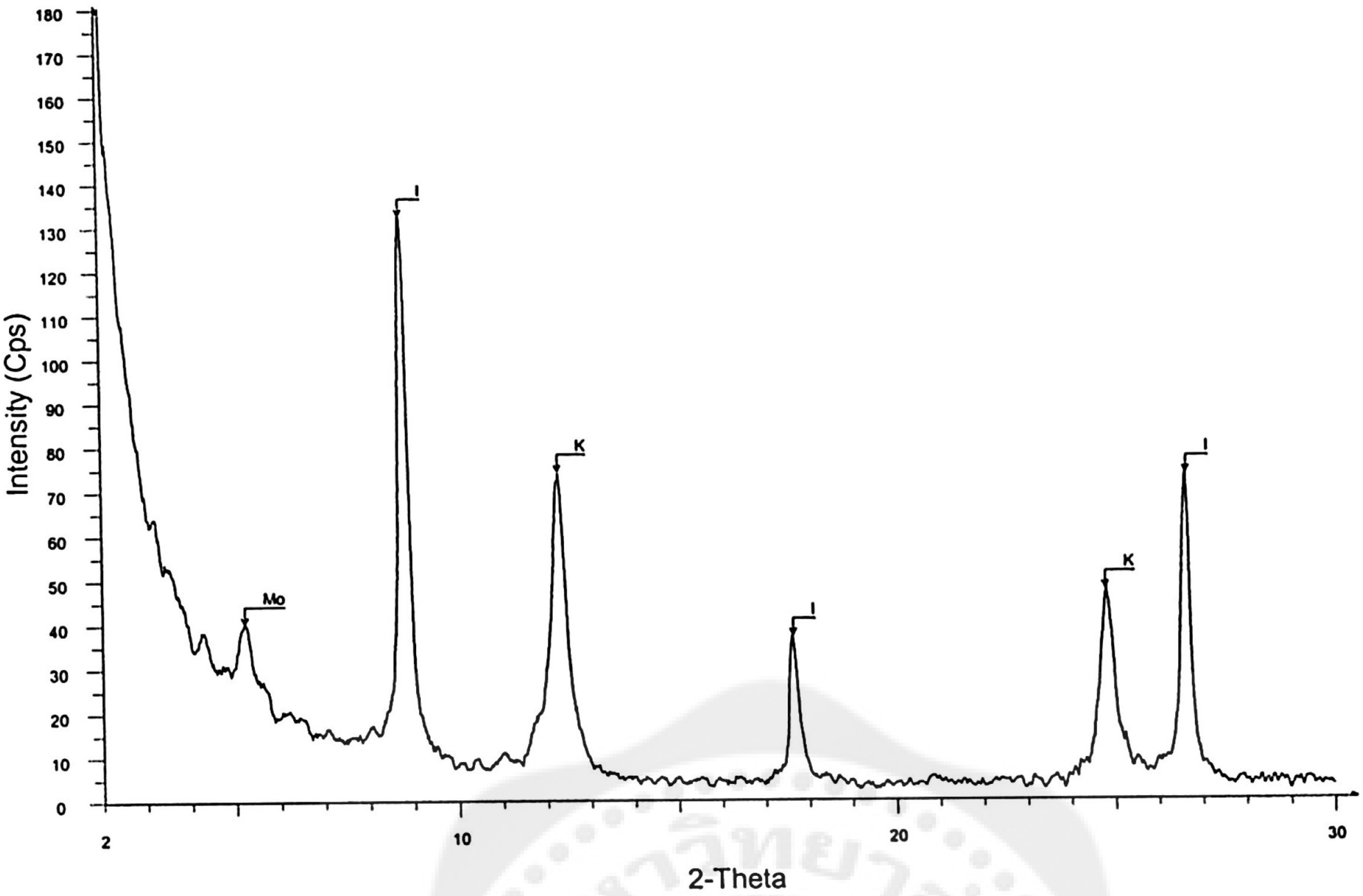
ภาพประกอบ 32 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส (I=Illite)

ตาราง 20 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานีสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ในภาพประกอบ 32

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
8.844	9.9902	100.0	0	0	1	I
17.611	5.0319	28.6	0	0	2	I
26.594	3.3349	70.4	0	2	2	I



ภาพประกอบ 33 แสดงผลการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินดำสุราษฎร์ธานี จากชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาทีแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง การกระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล และกระทำด้วยความร้อน จากภาพประกอบที่ 22 และ 30-32 (I=Illite, K=Kaolinite, Mo=Montmorillonite, Sp=Sepiolite, V=Vermiculite)



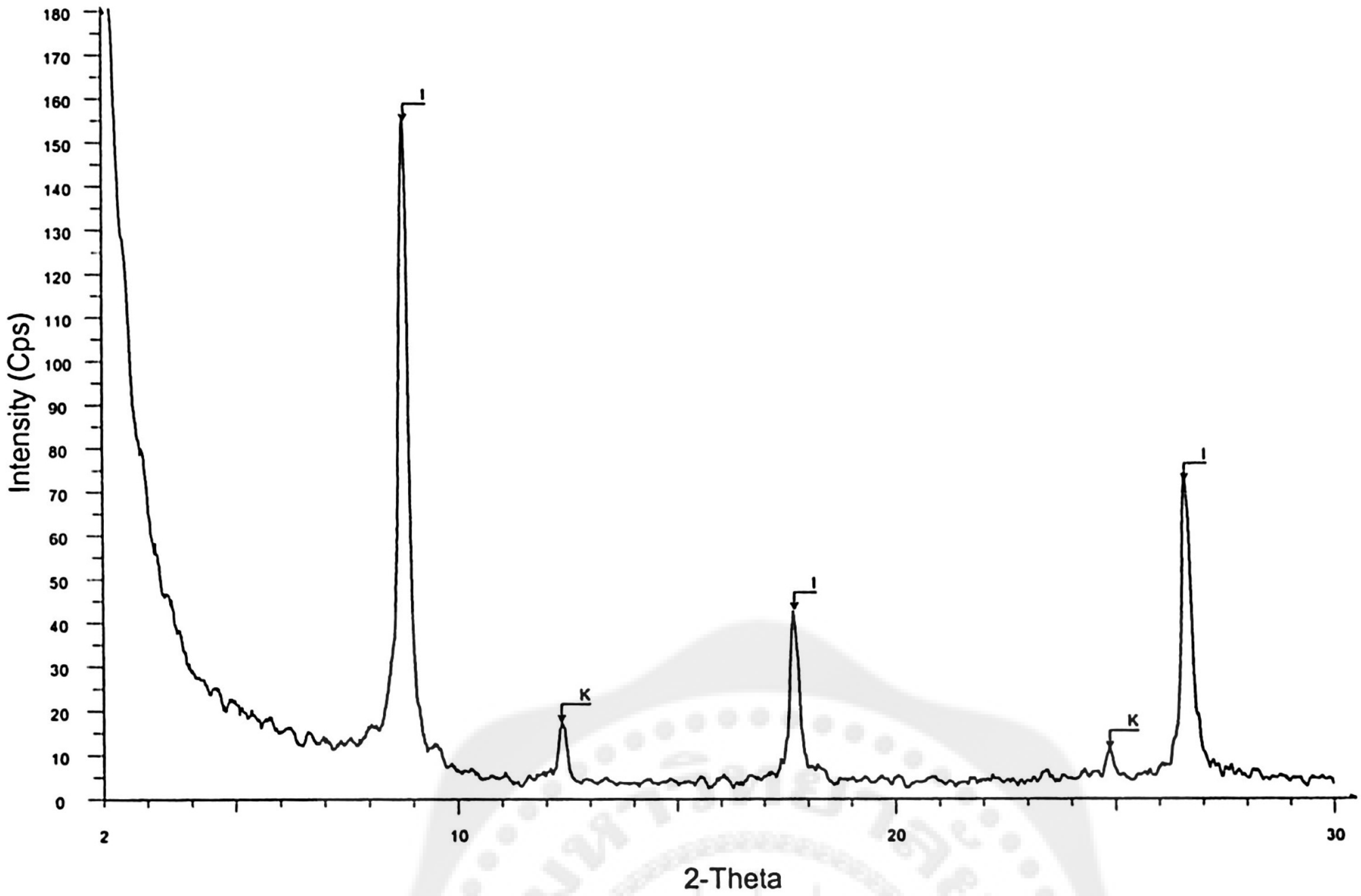
ภาพประกอบ 34 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปาง สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาทีมากระทำด้วยเอททีลีนกลีคอล (I=Illite, K=Kaolinite, Mo=Montmorillonite)

ตาราง 21 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มากระทำด้วยเอททีลีนกลีคอล ในภาพประกอบ 34

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
5.199	16.9834	30.3	-**	-	-	Mo*
8.844	9.9902	100.0	0	0	1	I*
12.372	7.1483	54.1	0	0	1	K*
17.611	5.0319	21.9	0	0	2	I*
24.892	3.5741	36.0	0	0	2	K*
26.594	3.3491	43.6	0	2	2	I*

* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้

** ไม่แสดงดัชนีมิลเลอร์เนื่องจากการจัดเรียงตัวของระนาบในผลึกไม่ชัดเจน

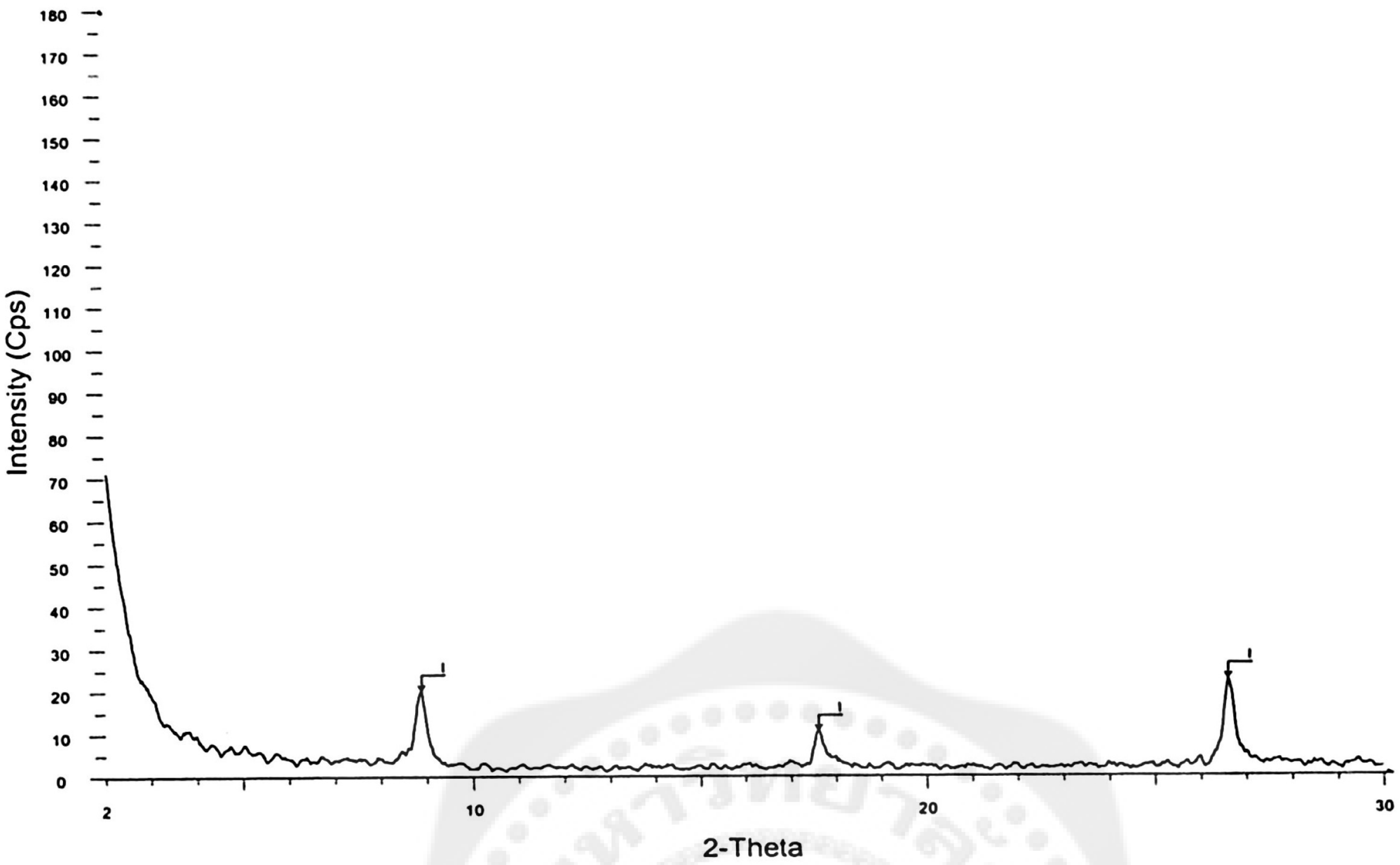


ภาพประกอบ 35 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปาง สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส (I=Illite, K=Kaolinite)

ตาราง 22 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ในภาพประกอบ 35

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
8.844	9.9902	100.0	0	0	1	I*
12.372	7.1483	10.7	0	0	1	K*
17.611	5.0319	19.3	0	0	2	I*
24.892	3.5741	7.2	0	0	2	K*
26.594	3.3491	34.4	0	2	2	I*

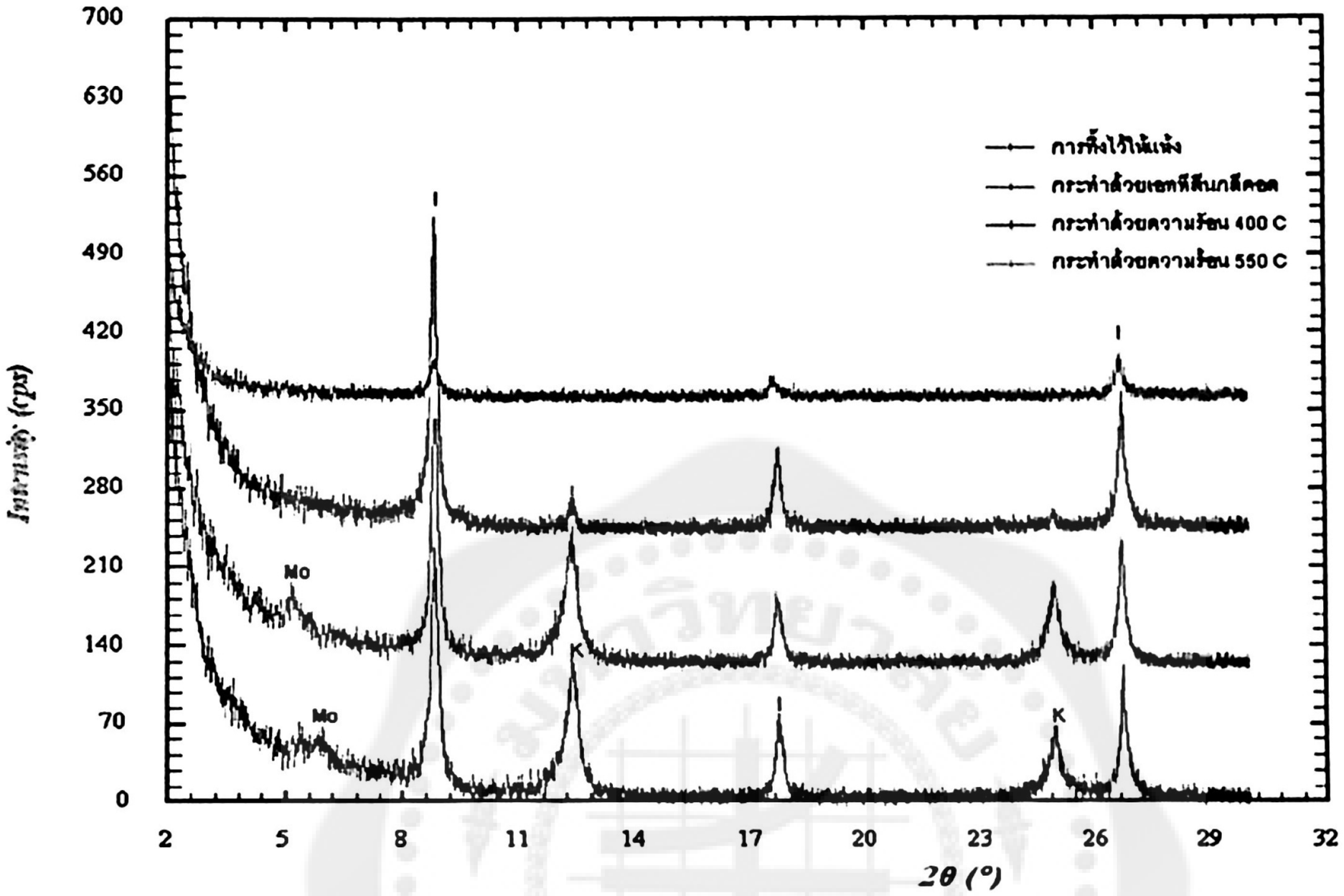
* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้



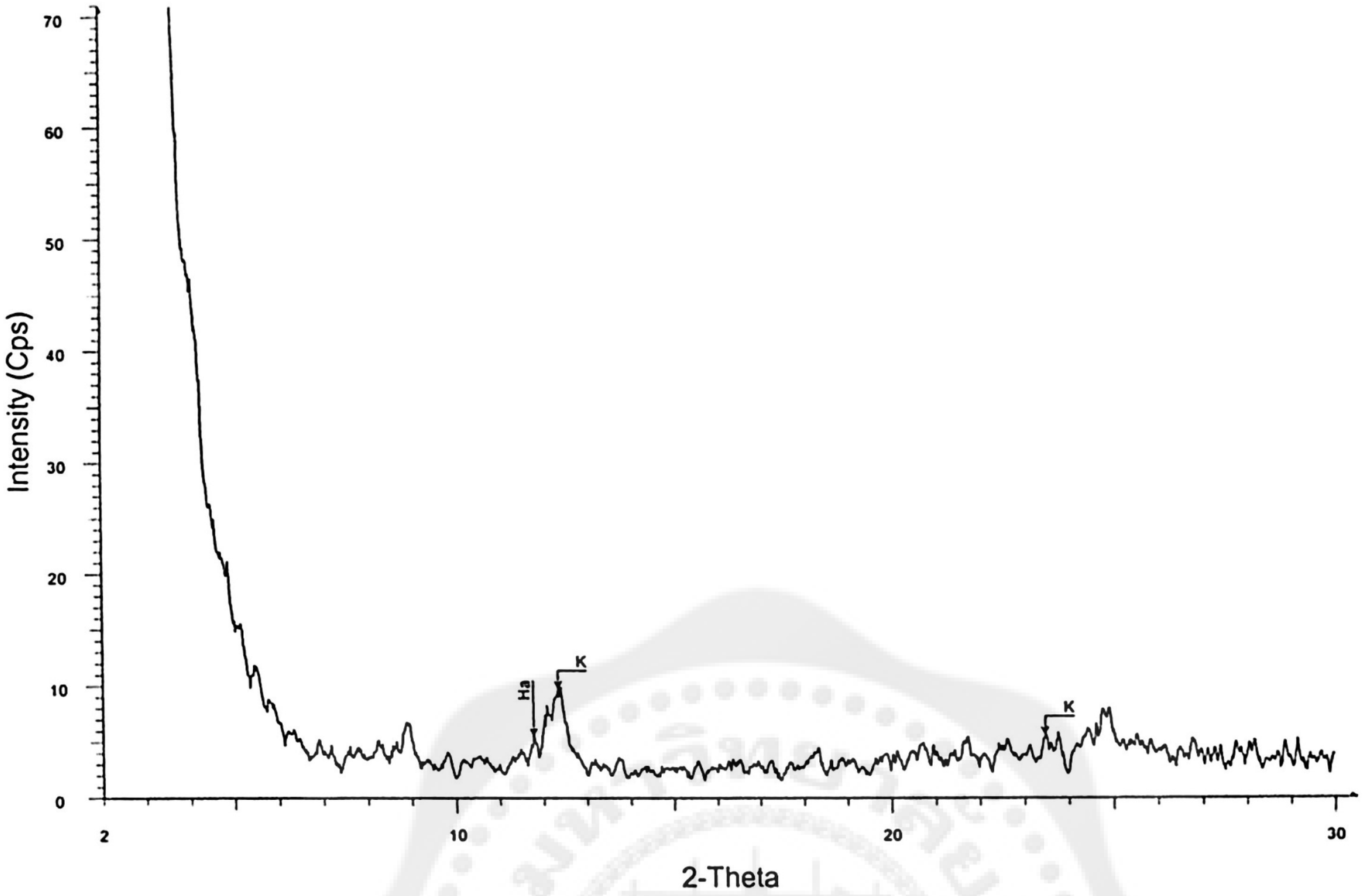
ภาพประกอบ 36 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปาง สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส (I=Illite)

ตาราง 23 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ในภาพประกอบ 36

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
8.844	9.9902	94.3	0	0	1	I
17.611	5.0319	49.1	0	0	2	I
26.594	3.3496	100.0	0	2	2	I



ภาพประกอบ 37 แสดงผลการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวลำปางจากชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง การกระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล และกระทำด้วยความร้อน จากภาพประกอบที่ 26 และ 34-36 (I=Illite, K=Kaolinite, Mo=Montmorillonite)



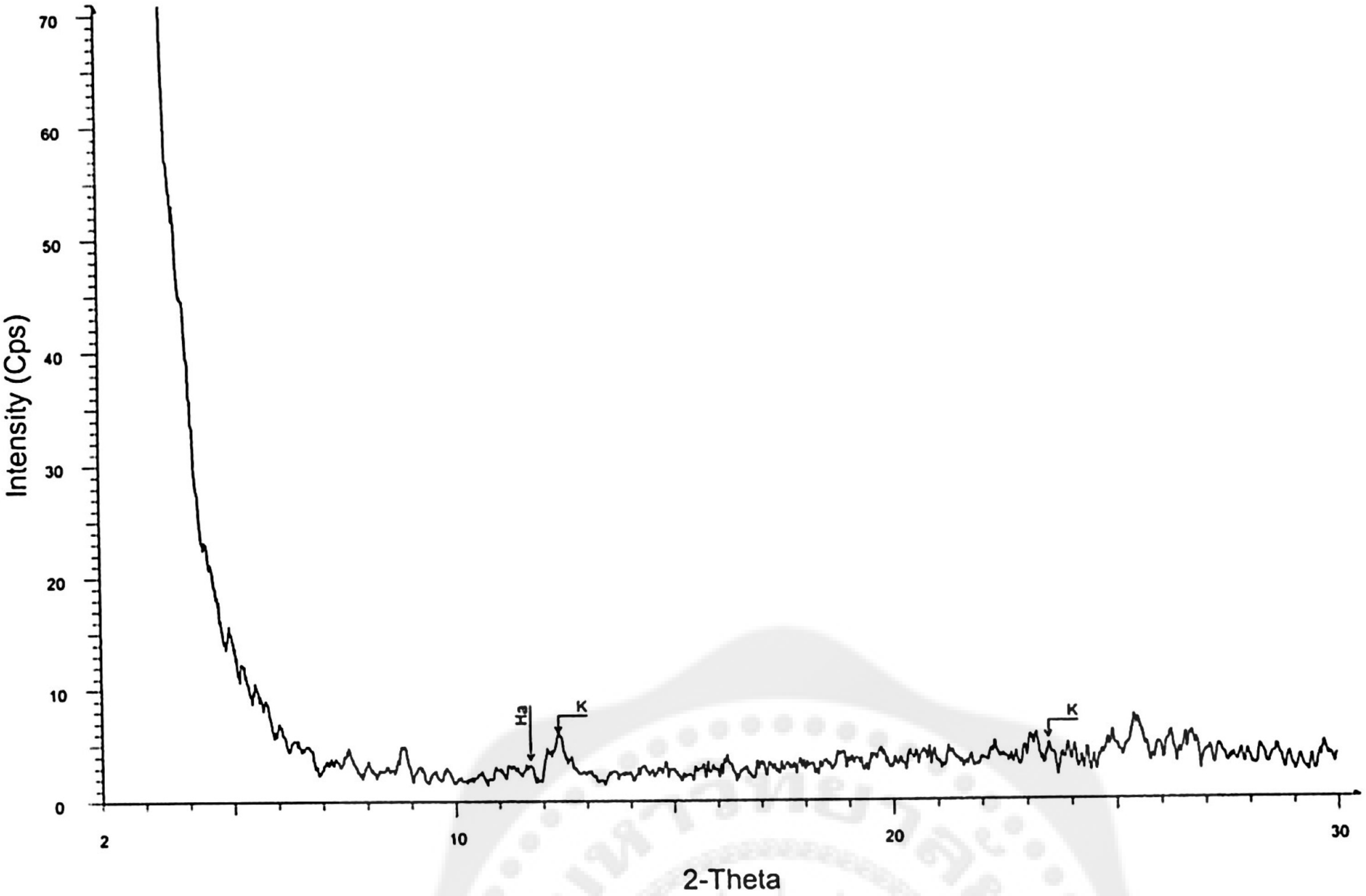
ภาพประกอบ 38 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนอง สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มากระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล (K=Kaolinite, Ha=Metahalloysite)

ตาราง 24 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มากระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล ในภาพประกอบ 38

มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
11.787	7.5018	58.3	-**	-	-	Ha*
12.286	7.1985	100.0	0	0	1	K*
23.398	3.7996	47.8	0	$\bar{2}$	1	K*

* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้

** ไม่แสดงดัชนีมิลเลอร์เนื่องจากการจัดเรียงตัวของระนาบในผลึกไม่ชัดเจน



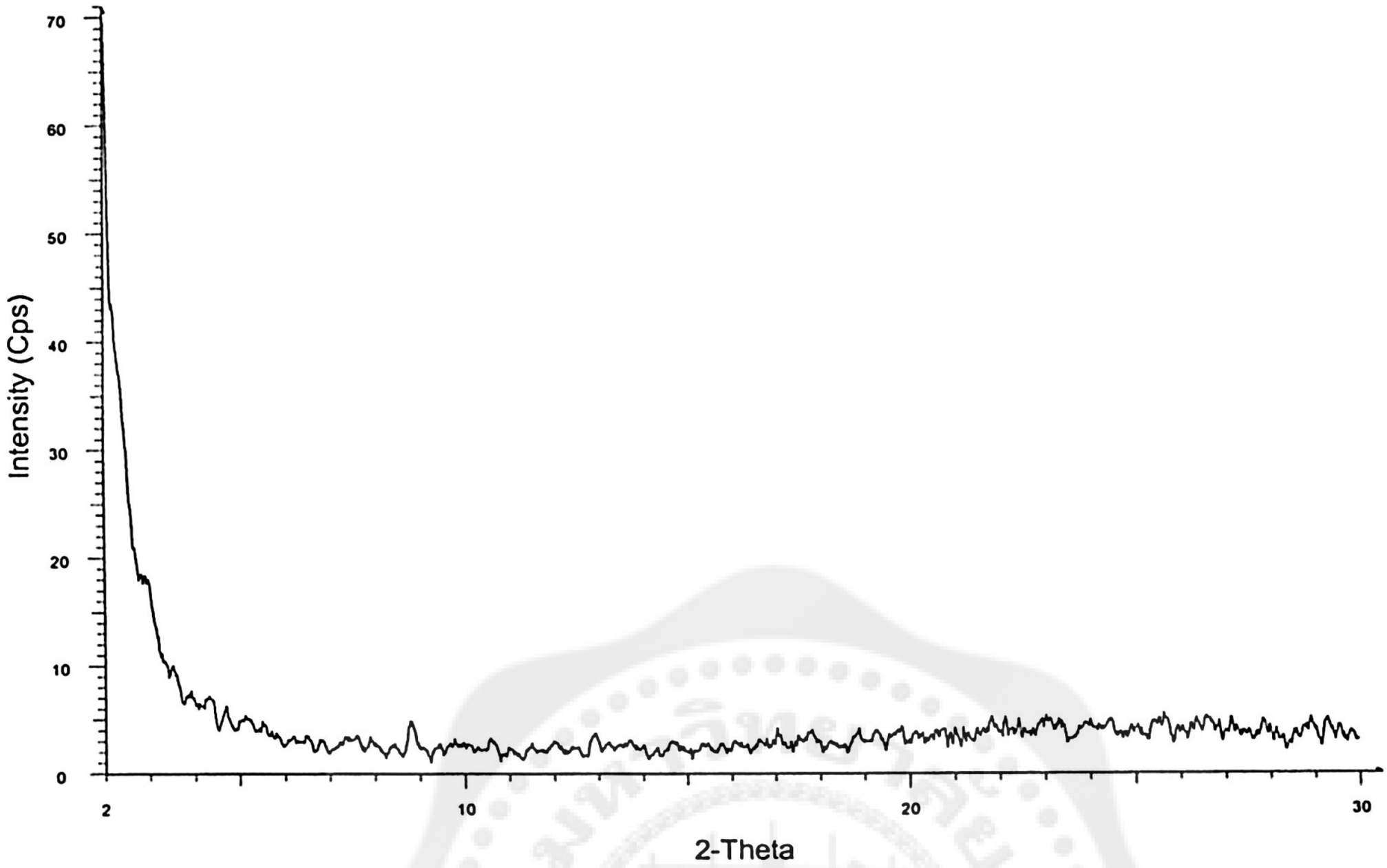
ภาพประกอบ 39 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนอง สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส (K=Kaolinite, Ha=Metahalloysite)

ตาราง 25 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองสำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ในภาพประกอบ 39

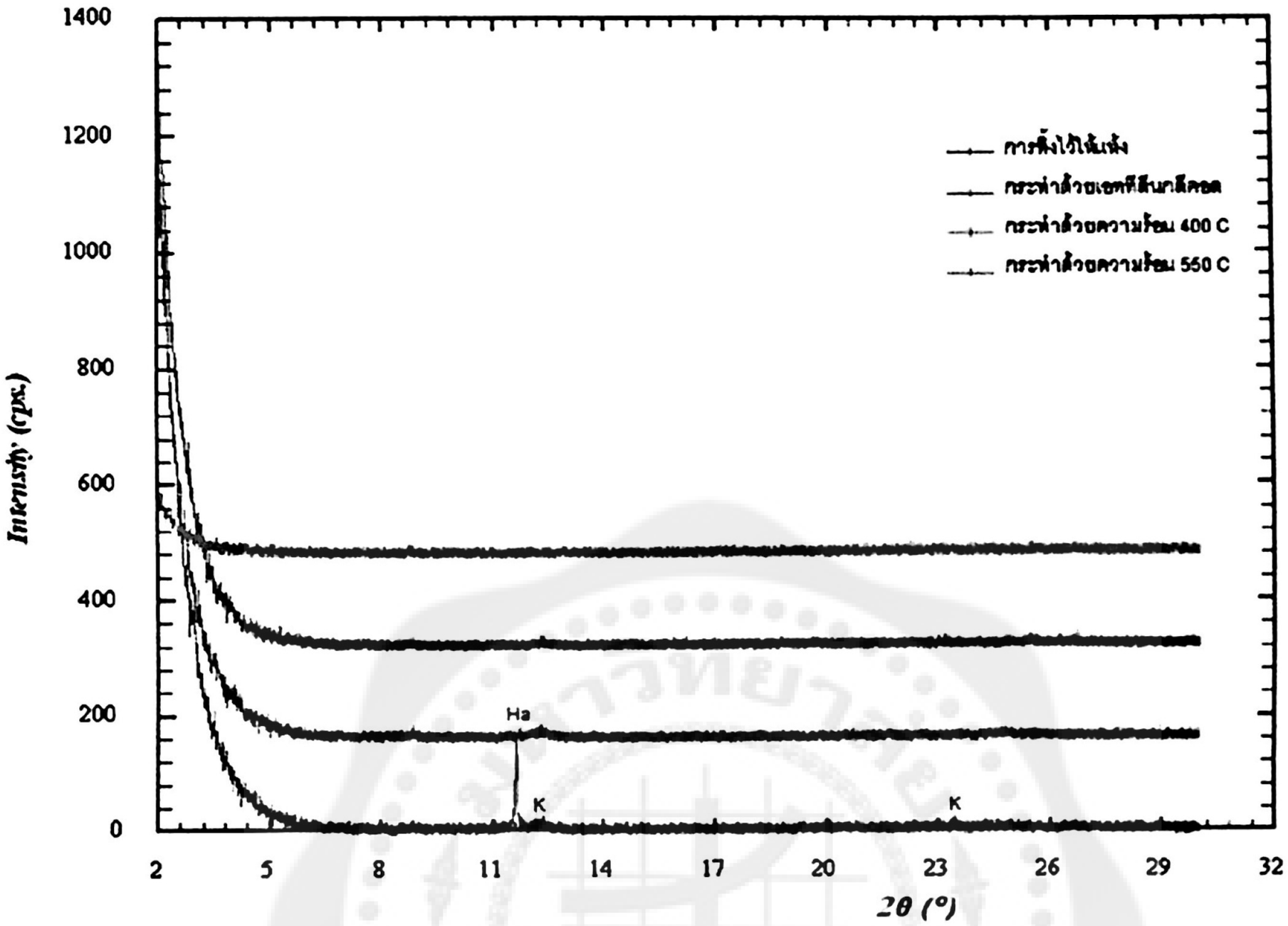
มุม 2θ (องศา)	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (อังสตรอม)	ความเข้มสัมพัทธ์ (%)	h	k	l	สัญลักษณ์
11.787	7.5018	49.0	-**	-	-	Ha*
12.286	7.1985	100.0	0	0	1	K*
23.398	3.7996	66.4	0	$\bar{2}$	1	K*

* คาดว่าเป็นแร่ชนิดนี้

** ไม่แสดงดัชนีมิลเลอร์เนื่องจากการจัดเรียงตัวของระนาบในผลึกไม่ชัดเจน



ภาพประกอบ 40 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนอง สำหรับชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที มาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 41 แสดงผลการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินขาวระนองจากชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำ และให้มีการตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง การกระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล และกระทำด้วยความร้อน จากภาพประกอบที่ 29 และ 38-40 (K=Kaolinite, Ha=Metahalloysite)

ตาราง 26 แสดงการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวจากดินตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด

สารตัวอย่าง	การทำให้แห้ง*	กระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล*	กระทำด้วยความร้อน 400 ^{0}C*	กระทำด้วยความร้อน 550 ^{0} C*	ผลวิเคราะห์ชนิดของแร่
ดินดำสุราษฎร์ธานี	15.00	16.73	~10	~10	มอนท์มอริลโลไนต์
	14.42	14.42	~10	~10	เวอร์มิคูไลต์
	12.30	12.30	~10	หายไป	เซปพิโอไลต์
	9.99	9.99	9.99	9.99	อิลไลต์
	7.16	7.16	7.16	หายไป	เคโอลิไนต์
ดินขาวลำปาง	15.28	16.98	~10	~10	มอนท์มอริลโลไนต์
	9.99	9.99	9.99	9.99	อิลไลต์
	7.14	7.14	7.14	หายไป	เคโอลิไนต์
ดินขาวระนอง	7.50	7.50	7.50	หายไป	เมตาฮาลอยไซต์
	7.20	7.20	7.20	หายไป	เคโอลิไนต์

* แสดงค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกมีหน่วยเป็นอังสตรอม (A^{0})

ตาราง 27 แสดงผลการจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียวด้วยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของดินตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ภายหลังการกระทำด้วยเอทธีลีนกลีคอล กระทำด้วยความร้อน และวิเคราะห์ด้วยฐานข้อมูล PDF\Jcp.2cat

สารตัวอย่าง	ชื่อแร่	ส่วนประกอบทางเคมี*	โครงสร้างผลึก
ดินดำสุราษฎร์ธานี	1.เคโอลิไนต์	$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$	ไตรคลีนิก
	2.อิลไลต์	$KAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$	โมโนคลีนิก
	3.มอนท์มอริลโลไนต์	$MgO.Al_2O_3.5SiO_2.H_2O$	-
	4.เซปพิโอไลต์	$Mg_2Si_3O_8.2H_2O$	ออร์โทรอมบิก
	5.เวอร์มิคูไลต์	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	โมโนคลีนิก
ดินขาวลำปาง	1.เคโอลิไนต์	$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$	ไตรคลีนิก
	2.อิลไลต์	$KAl_2(Si_3AlO_{10})(OH)_2$	โมโนคลีนิก
	3.มอนท์มอริลโลไนต์	$Si_{3.74}Al_{2.03}Fe_{0.03}Mg_{0.02}.O_{11}$	-
ดินขาวระนอง	1.เคโอลิไนต์	$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$	ไตรคลีนิก
	2.เมตาฮาลลอยไซต์	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	-

* จากฐานข้อมูล PDF\Jcp.2cat

บทที่ 5
สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของแร่ดินเหนียวที่มีอยู่ในดินตัวอย่างที่นำมาใช้ในงานปั้น ได้แก่ ดินดำสุราษฎร์ธานี ดินขาวลำปาง และดินขาวระนอง ด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1.ดินขาวโดยทั่วไปไม่ได้มีแร่ดินเหนียวเพียงอย่างเดียวแต่มีแร่ประเภทอื่นๆเช่น แร่ควอทซ์ และแร่ไมกาที่ผุสลายมาจากหินแกรนิตอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นการวิเคราะห์แร่ดินเหนียวโดยการเตรียมสารตัวอย่างดินแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง โดยไม่แยกแร่ดินเหนียว จะทำให้การวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวทำได้ยาก เนื่องจากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ควอทซ์ และแร่ไมกาเด่นมากเมื่อเปรียบเทียบกับแร่ดินเหนียว จึงยากที่จะวิเคราะห์แร่ดินเหนียวที่มีความเข้มการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ต่ำกว่ามาก ดังนั้นจึงควรเตรียมดินตัวอย่างโดยแยกแร่ดินเหนียวออกจากแร่ควอทซ์ และแร่ที่หนักด้วยวิธีการละลายน้ำก่อนนำมาตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD จะทำให้ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวชัดเจนขึ้น และชิ้นตัวอย่างที่ได้จากเตรียมให้มีการตกตะกอนที่นับว่าเหมาะสมที่สุดสำหรับในงานวิจัยนี้ คือ 60 นาที เมื่อนำไปทำให้ชั้นโครงสร้างของแร่ดินเหนียวขยายตัวด้วยโมเลกุลของเอททีลีนกลีคอล โดยจะมีผลกับแร่มอนท์มอริลโลไนต์ และการกระทำด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และ 550 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้ช่องว่างของผลึกเปลี่ยน หรืออาจทำให้โครงสร้างผลึกหายไป ซึ่งชนิดของแร่ดินเหนียวที่พบในดินตัวอย่างจำแนกองค์ประกอบได้ดังนี้

-ในดินดำสุราษฎร์ธานี พบแร่เคโอลิไนต์ แร่อิลไลต์ แร่มอนท์มอริลโลไนต์ แร่เวอร์มิคูไลต์ และแร่เซปพิโอไลต์

-ในดินขาวลำปางพบแร่เคโอลิไนต์ แร่อิลไลต์ และแร่มอนท์มอริลโลไนต์

-ส่วนดินขาวระนองพบแร่เคโอลิไนต์ และแร่เมตาฮาลลอยไซต์ ผลการจำแนกองค์ประกอบของแร่ดินเหนียวในดินขาวระนองที่ได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ พิสุทธอานนท์ ที่ได้ศึกษาดินขาวระนองที่ไม่ผ่านกระบวนการใดๆ โดยขนาดของอนุภาคดินแตกต่างกัน และใช้วิธีการวิเคราะห์หลายวิธีด้วยกัน แต่ก็มีการศึกษาโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ด้วย ซึ่งพบแร่เคโอลิไนต์ และแร่ฮาลลอยไซต์ แต่ในงานวิจัยนี้พบแร่เมตาฮาลลอยไซต์ ซึ่งแร่ที่พบนี้จะมีโครงสร้างคล้ายแร่เคโอลิไนต์มากกว่าโดยในโครงสร้างจะไม่มีน้ำอยู่ ดังนั้นเมื่อกระทำด้วยเอททีลีนกลีคอล และกระทำด้วยความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงเหมือนแร่เคโอลิไนต์ ความสอดคล้องนี้ทำให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

2.จากการจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียวที่มีอยู่ในดินตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด คุณสมบัติของแร่ดินเหนียวที่คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้เปรียบเทียบการขยายตัวของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์ซึ่งจัดเป็นแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 กับแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 โดยแร่ในกลุ่มสเมกไทต์เมื่อดินเปียกจะมีการขยายตัวสูงกว่าแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 และเมื่อดินแห้งจะหดตัวเร็ว เมื่อพิจารณาถึงสมบัติของแร่ดินเหนียวที่มีส่วนทำให้เกิดการแตกร้าวได้ง่ายเมื่อนำไปใช้ในงานปั้นโดยพิจารณาจากการขยายตัวและหดตัวของแร่ดินเหนียว พบว่าแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 ได้แก่แร่เคโอลิไนต์ และแร่เมตาฮาลลอยไซต์ เมื่อดินเปียกจะไม่มีการขยายตัวและเมื่อดินแห้งจะไม่หดตัว ส่วนแร่ดินเหนียวประเภท 2:1ได้แก่แร่อิลไลต์ แร่มอนท์มอริลโลไนต์ แร่เวอร์มิคูไลต์ และแร่เซปพิโอไลต์ แร่มอนท์มอริลโลไนต์จะขยายตัวเมื่อดินเปียกและหดตัวอย่างรวดเร็วเมื่อดินแห้ง ดังนั้นดินที่มีแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 มากกว่าแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 ที่มีแร่มอนท์มอริลโลไนต์เมื่อนำไปใช้ในงานปั้นจะเกิดการแตกร้าวได้ยากกว่า และจะเห็นได้ว่าในดินทั้ง 3 ชนิดนี้ ดินขาวระนองมีแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 มากที่สุด รองลงมาคือ ดินขาวลำปาง และดินดำสุราษฎร์ธานีตามลำดับ ดังนั้นการที่นำดินดำสุราษฎร์ธานีไปทำงานปั้นจึงได้มีการผสมกับดินขาว เพื่อเพิ่มความแข็งของงานปั้น ซึ่งจะทำให้งานปั้นเกิดการแตกร้าวได้ยากหลังการเผา เนื่องจากดินดำสุราษฎร์ธานีมีแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 มาก โดยแร่มอนท์มอริโลไนต์จะทำให้การหดตัวของดินเกิดขึ้นได้ง่ายและเร็ว ถ้าใช้ดินดำเพียงอย่างเดียวงานปั้นที่ได้จะเกิดการหดตัว เสียรูปทรง และเกิดรอยร้าวได้ง่าย จึงต้องนำดินขาวมาผสมเพื่อลดการหดตัวและเพิ่มความแข็งของเนื้อดิน เมื่อนำไปเผางานปั้นจะเกิดการแตกร้าวได้ยาก

3.พิจารณาถึงสมบัติทางกายภาพ (Physical Property) ของดินเกี่ยวกับความเหนียวของดิน (Plasticity Clay) ขนาดของเม็ดดิน (Particle Size of Clay) การหดตัวของดิน (Shrinkage of Clay) ความพรุนตัวของดิน (Porosity of Clay) สีของดิน (Color of Clay)และความแข็งแรงของดิน (Strength of Clay) ดินที่มีขนาดของเม็ดดินเล็กจะมีความเหนียวมาก ความพรุนตัวต่ำ และถ้าดินมีความละเอียดมากปริมาณของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์จะมีมากด้วยเนื่องจากแร่ในกลุ่มนี้มีขนาดของอนุภาคเล็กมาก ส่งผลให้ดินมีการหดตัวมาก จากการสัมผัสเนื้อดินของดินทั้ง 3 ชนิดที่นำมาวิเคราะห์ ดินที่มีขนาดของเม็ดดินละเอียดที่สุดเรียงตามลำดับได้แก่ ดินดำสุราษฎร์ธานี ดินขาวลำปาง และดินขาวระนอง ดังนั้นการพิจารณาสมบัติทางกายภาพโดยใช้ขนาดของเม็ดดินและปริมาณของแร่ในกลุ่มสเมกไทต์เป็นเกณฑ์จะเห็นได้ว่าดินที่มีการหดตัวมากที่สุด คือ ดินดำสุราษฎร์ธานี ดินขาวลำปาง และดินขาวระนอง ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ในข้อ 2 ที่พิจารณาจากโครงสร้างผลึกของชนิดของแร่ดินเหนียว ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าดินทั้ง 3 ชนิดเมื่อนำมาใช้ในงานปั้น ดินที่ทำให้เกิดการแตกร้าวได้น้อยที่สุด คือดินขาวระนอง รองลงมา คือดินขาวลำปาง และแตกร้าวมากที่สุด คือดินดำสุราษฎร์ธานี

4.เทคนิคการวิเคราะห์โครงสร้างและจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียวในงานวิจัยนี้ พบว่าการวิเคราะห์โครงสร้างและจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียว ควรใช้วิธีแยกแร่ดินเหนียวออกจากแร่ประเภทอื่นๆ ด้วยวิธีการเตรียมชิ้นงานแบบการละลายน้ำตามการทดลองนี้ก่อนนำมาวัดด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ สามารถวิเคราะห์ชนิดของแร่ดินเหนียวที่มีอยู่ในดินตัวอย่างได้ผลที่น่าเชื่อถือกว่าการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง เนื่องจากการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบผงที่อัดเป็นก้อน โดยไม่แยกแร่ดินเหนียวรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะมาจากแร่หลักอื่นๆในดินตัวอย่างเช่นแร่ควอทซ์ แร่ไมกา ทำให้การวิเคราะห์แร่ดินเหนียวที่มีอยู่ในดินทำได้ยาก จึงนับว่าการเตรียมชิ้นตัวอย่างด้วยวิธีการละลายน้ำเป็นวิธีที่ดีและเหมาะสมในการวิเคราะห์แร่ดินเหนียว

อภิปรายผลการทดลอง

การวิเคราะห์ดินตัวอย่างทั่วไปถ้าต้องการจำแนกองค์ประกอบของแร่ดินเหนียวในสารตัวอย่างดินต้องทำตามขั้นตอนที่กล่าวมาในข้างต้น ดังต่อไปนี้

1.เทคนิคการเตรียมชิ้นตัวอย่างดินโดยวิธีการละลายน้ำนี้นับว่าสามารถนำไปใช้วิเคราะห์แร่ดินเหนียวในดินตัวอย่างอื่นๆได้ดี เนื่องจากทำให้ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแร่ดินเหนียวที่ชัดเจน

2.การจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียวในดินโดยวิธีนี้สามารถนำไปใช้คัดเลือกดินเพื่องานเซรามิกส์ดั้งเดิมต่างๆได้ โดยพิจารณาจากประเภทของแร่ดินเหนียวที่มีผลต่อการเกิดการแตกร้าวในงานปั้น ถ้าพบว่าดินที่จำแนกได้มีแร่ดินเหนียวประเภท 1:1 มากกว่าแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 แสดงว่าเมื่อดินแห้งการหดตัวของดินมีน้อย ดังนั้นเมื่อใช้ดินนี้ในงานปั้นย่อมเกิดการแตกร้าวได้ยากเมื่อนำไปเผา

3.การวิเคราะห์ชนิดของแร่ดินเหนียวตามการศึกษาของพอพเพสามารถนำไปจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียวที่มีอยู่ในดินทั่วไปได้ โดยการเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงในการตรวจสอบแต่ละขั้นตอน ซึ่งในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของแร่ดินเหนียวที่มีในดินตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดเมื่อนำมาตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ได้ดังนี้

-แร่เคโอลิไนต์ให้ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกที่ 7.15-7.20 อังสตรอม และแร่เมตาฮาลลอยไซต์ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก 7.50-7.60 อังสตรอม แต่โครงสร้างของผลึกจะหายไปเมื่อถูกกระทำด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส

-แร่มอนท์มอริลโลไนต์ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก15.00-16.00 อังสตรอม เปลี่ยนไปที่ ~17.00 อังสตรอม เมื่อกระทำด้วยเอททีลีนกลีคอล และจะเปลี่ยนไปที่ ~10.00 อังสตรอม เมื่อกระทำด้วยความร้อน

-แร่เวอร์มิคูไลต์ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก ~14.00 อังสตรอม จะเปลี่ยนไปที่ ~10.00 อังสตรอม เมื่อกระทำด้วยความร้อน

-แร่เซปพิโอไลต์ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก 12.00-13.00 อังสตรอม เปลี่ยนไปที่ ~10.00 อังสตรอม เมื่อกระทำด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส แต่โครงสร้างของผลึกจะหายไปเมื่อกระทำด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส

-แร่อิลไลต์ค่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกที่เด่นชัดที่ 10.00 อังสตรอมและ 3.30 อังสตรอม จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆเมื่อกระทำด้วยเอททีลีนกลีคอล และกระทำด้วยความร้อน การเปลี่ยนแปลงของแร่ดินเหนียวแต่ละชนิดนี้สามารถที่จะนำไปวิเคราะห์แร่ดินเหนียวที่มีในดินอื่นๆได้

4.การแตกร้าวของงานปั้นอาจเกิดจากสาเหตุหลายๆอย่างประกอบกัน ดังนั้นในการพิจารณาต้องดูองค์ประกอบอื่นด้วย ซึ่งงานปั้นส่วนใหญ่จะไม่ใช้ดินชนิดเดียว จะต้องมีการผสมกันระหว่างดินขาวและดินดำ โดยการผสมกันนี้ดินขาวจะเพิ่มความแข็งโดยลดการหดตัวของงานปั้นหลังการเผาและจะคงรูปร่างของงานปั้นให้เหมือนเดิม ส่วนดินดำจะเป็นตัวทำให้งานปั้นขึ้นรูปทรงได้ง่ายขณะทำการปั้นแต่ถ้าใส่ดินดำมากเกินเมื่อนำไปเผาจะส่งผลให้งานปั้นนั้นเกิดการหดตัวและรูปทรงของงานบิดเบี้ยวได้ง่าย

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์โครงสร้างและจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียว ที่มีอยู่ในดินตัวอย่างที่นำมาใช้ในงานปั้น ด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ มีข้อเสนอแนะดังนี้

1.ในการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบผงที่อัดเป็นก้อนลงบนแผ่นวางสารตัวอย่าง ต้องอาศัยความระมัดระวังอย่างมากในเรื่องของการปนเปื้อน การบดสารตัวอย่าง การอัดสารตัวอย่าง และความเรียบของผิวหน้าของสารตัวอย่าง เนื่องจากวิธีการดังกล่าวมีผลต่อโครงสร้างผลึกของผง ซึ่งจะส่งผลต่อรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ปรากฏออกมา โดยอาจทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดได้

2.การเตรียมดินตัวอย่างโดยแยกแร่ดินเหนียวด้วยวิธีการละลายน้ำก่อนนำมาตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ในการใช้เข็มฉีดยาดูดน้ำออกเมื่อดินตกตะกอนในท่อพลาสติกใสแล้ว ไม่ควรให้ผิวหน้าดินกระทบกระเทือน เพราะจะทำให้การจัดเรียงตัวของระนาบผลึกเปลี่ยนไปมีผลต่อรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ปรากฏออกมา

3.ในการเตรียมสารตัวอย่างดินโดยวิธีการละลายน้ำ ควรเตรียมสารตัวอย่างดินให้อยู่ตรงตำแหน่งที่พอดีกับรังสีเอกซ์ตกกระทบบนแผ่นกระจก โดยให้สารตัวอย่างดินอยู่ตรงกึ่งกลางของแผ่นกระจก และไม่ควรทำให้สารตัวอย่างได้รับการกระทบกระเทือนจากการเตรียมขณะที่ทิ้งให้แร่ดินที่หนักตกตะกอนที่เวลาต่างๆ

4.ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์มีหลายประเภท ได้แก่ผลิตภัณฑ์ประเภทพอร์ซเลน สโตนแวร์ และเออร์เทนแวร์ ตามลำดับ ในการเลือกใช้ดินให้เหมาะสมกับความต้องการของชิ้นงานจึงมีส่วนช่วยลดการสิ้นเปลืองทรัพยากรธรรมชาติได้ โดยในการผลิตชิ้นงานบางประเภทอาจไม่ต้องใช้ดินที่มีคุณภาพสูงมากก็ได้ ก็อาจจะหันไปใช้ดินที่คุณภาพของเนื้อดินระดับปานกลางหรือต่ำกว่าได้ ดังเช่นดินที่มีคุณภาพต่ำก็ควรที่จะนำมาใช้ผลิตเซรามิกส์ประเภทเออร์เทนแวร์จะเหมาะสมกว่าการนำไปใช้ในงานด้านอื่นๆ ส่วนดินที่มีคุณภาพดีก็ควรที่จะเลือกนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทพอร์ซเลนและสโตนแวร์ เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาการวิเคราะห์โครงสร้างและจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียวในการทดลองนี้นับว่าได้เทคนิคที่ดี ที่จะนำไปใช้วิเคราะห์เพื่อเลือกคุณภาพดินที่เหมาะสมได้

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2530). *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.* กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2532). *เซรามิกส์.* กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรทิวา กัญยวงศ์หา. (2544, มกราคม-เมษายน). สมบัติของดินปลูกข้าวบริเวณลุ่มน้ำชีตอนล่าง :III. องค์ประกอบของแร่ดินเหนียว. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า.* 19(1) : 59–69.

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2541). *เนื้อดินเซรามิกส์.* กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

แม้น อมรสิทธิ์ และ สมชัย อัครทิวา. (2544). *วัสดุวิศวกรรม.* กรุงเทพฯ : แมคกรอฮิลอินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพรส์.

วรรณา ชูรักษ์. (2546). *การศึกษาวิธีการวิเคราะห์ส่วนประกอบของเฟสเชิงผลึกของแร่ในเซรามิกส์บางประเภทในประเทศไทยโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์.* วิทยานิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

สำนักงานนโยบายอุตสาหกรรมรายสาขา 2 สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. (2546). *โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาเซรามิกส์และแก้ว).* (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.oie.go.th/policy. วันที่สืบค้น 20 สิงหาคม 2546.

อายุวัฒน์ สว่างผล. (2543). *วัตถุดิบที่ใช้แพร่หลายในงานเซรามิกส์.* กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

อัญชลี สุทธิประการ. (2534). *แร่ในดิน.* กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Battey, M. H. & Pring, A. (1997). *Mineralogy for Students.* London : Oliver & Boyd.

Blackburn, H. W & Denner, H. W. (1994). *Principles of Mineralogy.* America : Wm. C. Brown Communications, Inc.

Bruker AXS. (1999). *D8 X-Ray Diffractometer Vol 1.* Karlruhe : Bruker Analytical X-Ray Systems.

Callister, W. D. (1994). *Materials Science and Engineering An Introduction.* New York : John Wiley & Sons. Inc.

Chamley, H. & et al. (1997). *Clay Mineral Distribution And Significance In Quaternary Sediments Of The Amazon Fan.* Online. Available : http://www.odp.tamu.edu/publications. Retrieved. June 23,2003.

Cullity, B. D. (1967). *Elements of X–Ray Diffraction.* London : Addion–Wesley Publishing.

Giacovazzo, C. (2002). *Fundamentals of Crystallography.* New York : Oxford.

Glusker, J. P. (1994). *Crystal Structure Analysis for Chemists and Biologists.* New York : VCH Publishers. Inc.

Hammond, C. (2001). *The Basics of Crystallography and Diffraction.* New York : Oxford.

Hurlbut, C S. (1959). *Manual of Mineralogy.* New York : John Wiley & Sons. Inc.

Islam, A. K. M. E. & Lotse, E. G. (1986). Quantitative Mineralogical Analysis of some Bangladesh Soils with X–Ray, Ion Exchange and Selective Dissolution Techniques. *Clay Minerals.* (21) : 31–42.

Kittel, C. (1991). *Introduction to Solid State Physics.* New York : John Wiley & Sons. Inc.

Klein, C. & Hurlbut, C. S. (1993). *Manual of Mineralogy*. New York : John Wiley & Sons.

Minichelli, D. (1982). The Quantitative Phase Analysis of Clay Minerals by X–Ray Diffraction : Modern Aspects of Industrial Routine Control. *Clay Minerals.* (17) : 401–408.

Nuffield, E. W. (1966). *X–Ray Diffraction Methods.* New York : John Wiley & Sons.

Pisutha-Arnond, V., et al. (1993). Mineralogical variation in the size fractions of a Ranong kaolin, Southern Thailand. *Southeast Asian Earth Sciences.* (8) : 293-305.

Plummer, C. C. & Mcgeary, D. (1993). *Physical Geology.* America : Wm. C. Brown Communications, Inc.

Poppe, L. J., et al. *U.S. Geological Survey Open–File Report 01–041 A Laboratory Manual for X–Ray Powder Diffraction.* Online. Available : http://pubs.usgs.gov/of/of01-041/. Retrieved. June 20,2003.

Saffer, D. M. & Marone, C. (2003). Comparison of smectite- and illite-rich gouge frictional. *Earth and Planetary Science Letters.* (215) : 219-235.

Sands, D. E. (1975). *Introduction to Crystallography.* New York : Dover Publications. Inc.

Scholotz, R. & Uhlig, S. (2000). *Introduction to X–Ray Fluorescence Analysis (XRF).* Karlsruhe : Bruker Analytical X–Ray Systems.

Tellio, C. (2004). *A Comparison of Holocene and Late Pleistocene Soils from Grand Mesa, Colorado and the Hawaiian Islands.* Online. Available: http://www.mesastate.edu/susm/geology/classes/geomorph. Retrieved. June 23,2003.

Takematsu, N. & et al. (1996). The Chemical States of Iron in Marine Sediments by Means of Mossbauer Spectroscopy in Combination with Chemical Leachings. *Journal of Oceanography.* (52) : 705-715.

Wade, F. A. & Mattox, R. B. (1960). *Elements of Crystallography and Mineralogy.* New York : Harper & Brothers.

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นางสาวธันยากร ชื่อสกุล ช่วยทุกข์เพื่อน
เกิดวันที่ 20 เดือน กันยายน พุทธศักราช 2521
สถานที่เกิด อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน 391/4 หมู่ 1 ต.คลองวาฬ อ.เมือง จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77000
ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2540	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนประจวบวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
พ.ศ. 2544	กศ.บ.วิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2547	กศ.ม.(สาขาวิชาฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ