



เอกสารอ้างอิง

- กรกฎ วิจิตรพงศ์ การใช้ซีเอ็มเอ็มในการปรับปรุงความสามารถทำงานได้ของคอนกรีต
สด ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2530.
- ประจิต จิรประภา การศึกษาเพื่อใช้ประโยชน์ของซีเอ็มเอ็มจากการเผาลิกไนต์แม่เมาะใน
โรงงานไฟฟ้า การประชุมทางวิชาการเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาชนบท, ณ.
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ตุลาคม 2523.
- ประจิต จิรประภา คอนกรีตผสมซีเอ็มเอ็ม รายงานผลการวิจัยทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช,
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2525.
- ปริญญ์ จินดาประเสริฐ และอินทรชัย หอวิจิต ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเอ็มเอ็ม สำหรับ
งานเทคโนโลยีเพื่อพัฒนาชนบท, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, มกราคม
2528.
- วินิต ช่อวิเชียร คอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 7, กรุงเทพฯ., โรงพิมพ์ห้างหุ้นส่วน
ป.สัมพันธ์พาณิชย์, 2529.
- วิริยะ กীরติวิรัชการ ปฏิกิริยาและการพัฒนากำลังของส่วนผสมดินเหนียวกับปูนขาว วิทยานิพนธ์
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2525.



เอกสารอ้างอิง

- ASTM C 109-84 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in or 50-mm Cube Specimens).
- ASTM C 128-85 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate.
- ASTM C 150-85 Standard Specification for Portland Cement.
- ASTM C 187-85 Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement.
- ASTM C 188-84 Standard Test Method For Density of Hydraulic Cement.
- ASTM C 191-82 Standard Test Method for Time Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle.
- ASTM C 230-83 Standard Specification for Flow Table for Use in Test of Hydraulic Cement.
- ASTM C 618-85 Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete.
- Berry, E.E. and Malhotra, V.M. Fly Ash for Use in Concrete - A Critical Review Journal ACI. March - April 1980.
- Cannon, Robert W. Proportioning Fly Ash Concrete Mixes for Strength and Economy , Journal ACI, Vol. 65 Nov. 1968,.
- Columna, Virgilio B. The Effect of Rice hull ash in cement and concrete mixes. M.Eng. Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok Thailand, 1974.
- Damer, Sjaiful Anwar Rice hull ash as a pozzolanic material M. Eng. Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok Thailand, 1976.
- Goplaland, M.K. and Haque, M.N. Strength Development of Cyclinically cured plain and fly ash concrete 13th ARRB/5th REAAA, 1986.

- Hulett, L.D. and Weinberger, A.J. and Northcutt, K.J. and Marian, Ferguson Chemical Species in Fly Ash Form Coal-Burning Power Plants Science. Vol. 210, December 1980.
- Jan - Yuan - he, Scheetz, Barry E. and Roy, Della M. Comparison of Tuff and Fly Ash in Blended Concrete American Ceramic Society Bulletin, Vol. 64, No.5, 1985.
- Lane, R.O. and Best, J.F. Properties and Use of Fly Ash in Portland Cement Concrete Concrete International Design and Construction, July 1982.
- Lea, F.M. The Chemistry of Cement and Concrete Third edition, Bell and Bain Ltd., glasgow, Bangkok, 1970.
- Lovewell, C.E. and Washa, George W. Proportioning Concrete Mixture Using Fly Ash Journal ACI, June 1958.
- Mehta, P.K. Rice Hull Ash Cement...High - Quality, Acid - Resisting Journal ACI, May 1975.
- Meininger, R.C. Use of Fly Ash in Cement and Concrete Report of Two Recent Meetings Concrete International Design and Construction, July 1982.
- Nasser, K.W. and Marzouk, H.M. Properties of Mass Concrete Containing Fly Ash and High Temperatures Journal ACI, Vol.76, April 1979.
- Satapathy, B.K. and Ramana Rao, D.V. Adsorption Difficiency of High Carbon Fly Ash Research and Industry. Vol. 29. September 1984.
- Washa, G.W. and Withey, N.H. Strength and Durability of Concrete Containing Chicago Fly Ash Journal ACI, Vol. 49, April 1953.
- Williamms, E.H.P. and Sukpatrapirome, Sompong. Some properties of Rice Hull Ash Geotechnical Engineering Vol. 2, 1971.



ภาคผนวก ก.

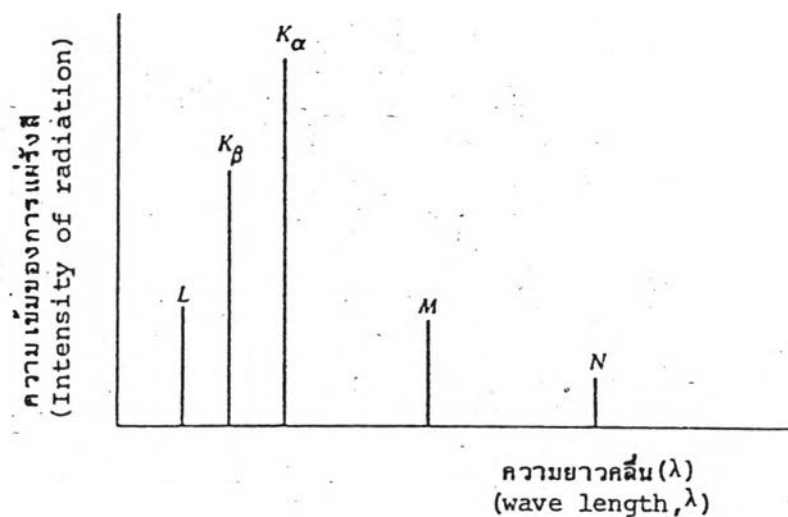
การวิเคราะห์โดย x-ray diffraction

X-ray diffraction เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ศึกษาส่วนประกอบของแร่ที่เป็นผลึก โดยรังสีเอ็กซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นประมาณ 0.01 ถึง 100 Å รังสีเอ็กซ์เกิดจากการที่อิเล็กตรอนความเร็วสูงวิ่งเข้าชนสารที่ใช้ทำเป้า ซึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์อันหนึ่งอันใดใน 2 ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นคือ

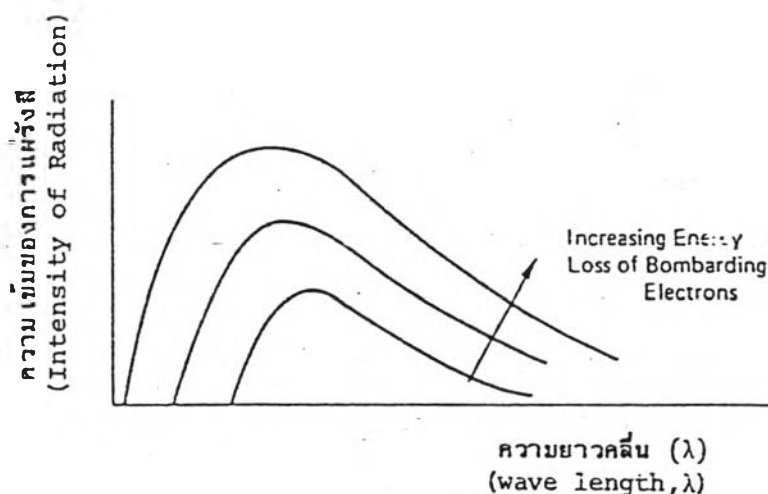
1. อิเล็กตรอนความเร็วสูงวิ่งเข้าไปชน และแทนที่อิเล็กตรอนที่อยู่ shell ชั้นใน ของอะตอมหนึ่งในสารที่ใช้ทำเป้า ดังนั้นอิเล็กตรอนที่อยู่ shell ชั้นนอกซึ่งมีพลังงานสูงกว่าจะลงมาแทนที่ จึงปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาเป็นรังสีเอ็กซ์ ส่วนความยาวคลื่นและความเข้มของการแผ่รังสีขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของอะตอมของสารที่ใช้ทำเป้า แต่เนื่องจากการแทนที่ของอิเล็กตรอนสามารถเกิดขึ้นได้หลาย shell และการแทนที่ในแต่ละ shell จะให้คุณลักษณะของรังสีเอ็กซ์ที่แตกต่างกัน ผลของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสี (Intensity of radiation) กับความยาวคลื่นแสดงในรูปที่ ก.1

2. อิเล็กตรอนความเร็วสูงไม่ได้วิ่งเข้าไปชนอิเล็กตรอนในอะตอมของสารที่ใช้ทำเป้าโดยตรง เพียงแต่ความเร็วของอิเล็กตรอนช้าลงในสนามไฟฟ้าที่อยู่ใกล้กับนิวเคลียสของอะตอม ดังนั้นพลังงานที่ลดลงจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนและโปรตอนของรังสีเอ็กซ์ รังสีเอ็กซ์ที่เกิดโดยวิธีนี้คุณสมบัติจะไม่ขึ้นกับธรรมชาติของอะตอมที่ถูกชนคือ จะให้ผลเป็นแถบของคลื่นต่อเนื่องที่มีความยาวคลื่นแปรเปลี่ยนไปดังรูปที่ ก.2

ผลรวมของรังสีเอ็กซ์จากปรากฏการณ์ทั้ง 2 นี้ จะเป็นดังรูป ก.3 ในทางปฏิบัติแล้ว รังสีเอ็กซ์จะถูกสังเคราะห์โดยใช้หลอดที่มีขั้วหนึ่งสร้างอิเล็กตรอน และด้วยความต่างศักย์คาโนไฟฟ้าประมาณ 50,000 โวลท์ทำให้เกิดลำอิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนสารที่ใช้ทำเป้า รังสีเอ็กซ์ที่เกิดขึ้นจะใช้ Curved crystal monochrometer ทำให้มีความยาวคลื่นเพียงค่าเดียวหรืออาจจะใช้สารซึ่งสามารถดูดซึมรังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นต่างๆ เป็นตัวกรองรังสีให้ได้รังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นเพียงค่าเดียว ความยาวคลื่นของ monochromatic radiation จะขึ้นกับสารที่ใช้



รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีและความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการแทนที่ของอิเล็กตรอนใน shell ต่าง ๆ โดยตัวอักษรแสดงถึง shell ที่ถูกแทนที่



รูปที่ ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสี กับความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการลดความเร็วของอิเล็กตรอนในสนามไฟฟ้า

ทำเป่าด้วยความยาวคลื่นจะเป็น 0.71 \AA เมื่อใช้โมลิบดีนัมทำเป่าจนถึง 2.29 \AA เมื่อใช้โครเมียมทำเป่า ส่วนของแดงซึ่งเป็นสารที่ใช้กันมากในการวิเคราะห์แร่ดินเหนียวจะมีความยาวคลื่นเท่ากับ 1.54 \AA

การสะท้อนของรังสีเอ็กซ์

เนื่องจากความยาวคลื่นประมาณ 1 \AA นี้เป็นขนาดที่ใกล้เคียงกับระยะห่างของ atomic plane ในสารที่มีโครงสร้างเป็นแบบผลึกทำให้อรังสีเอ็กซ์มีประโยชน์มากในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึก atomic plane กับรังสีเอ็กซ์จะมีพฤติกรรมต่อกันคล้ายกับการสะท้อนของแสง กล่าวคือเมื่อรังสีเอ็กซ์กระทบกับโครงสร้างผลึกรังสีเอ็กซ์ จะทะลุเข้าไปในโครงสร้างผลึกหลายล้านชั้น (layers) ก่อนที่จะถูกดูดซึม ที่แต่ละ dipole แล้วจะเกิดการแผ่รังสีในทุกทิศทาง การแผ่รังสีในทิศทางที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการซ้อนและเสริมกันของคลื่นและมีผลคล้ายการสะท้อนของคลื่นแสง รังสีเอ็กซ์ที่คลื่นเสริมกันนี้จะถูกดักจับด้วยฟิล์ม หรือเครื่องมือวัดรังสี

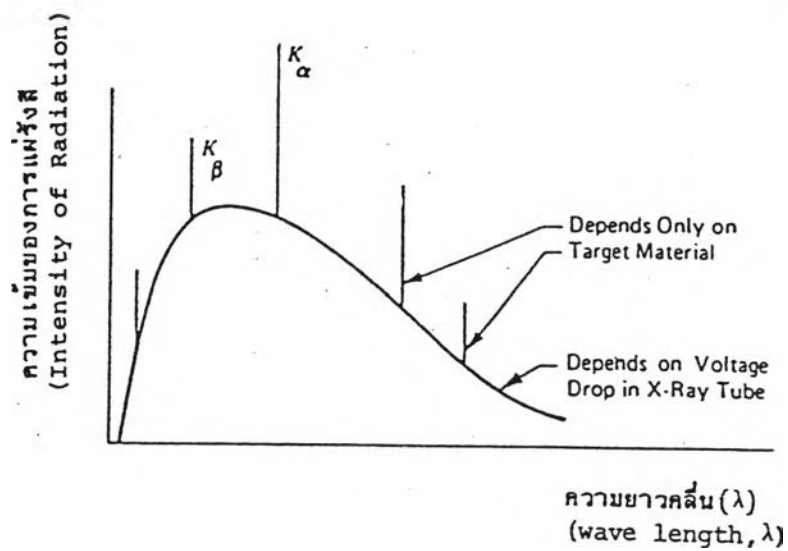
รูปที่ ก.4 แสดงลำรังสีที่ขนานกันของรังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่น λ กระทบกับโครงสร้างผลึกทำมุม θ กับ atomic plane ที่ขนานและห่างกันเป็นระยะ d ถ้าการสะท้อนของคลื่นจากจุด c ไปเป็นคลื่นเสริมกับที่สะท้อนมาจาก A แล้วผลต่างของระยะทางของคลื่นทั้ง 2 นี้จะเท่ากับผลรวมของความยาวคลื่นคือ ผลต่างของระยะทางคือ ระยะ $BC+CD$

$$BC+CD = n\lambda \quad \dots\dots\dots(1)$$

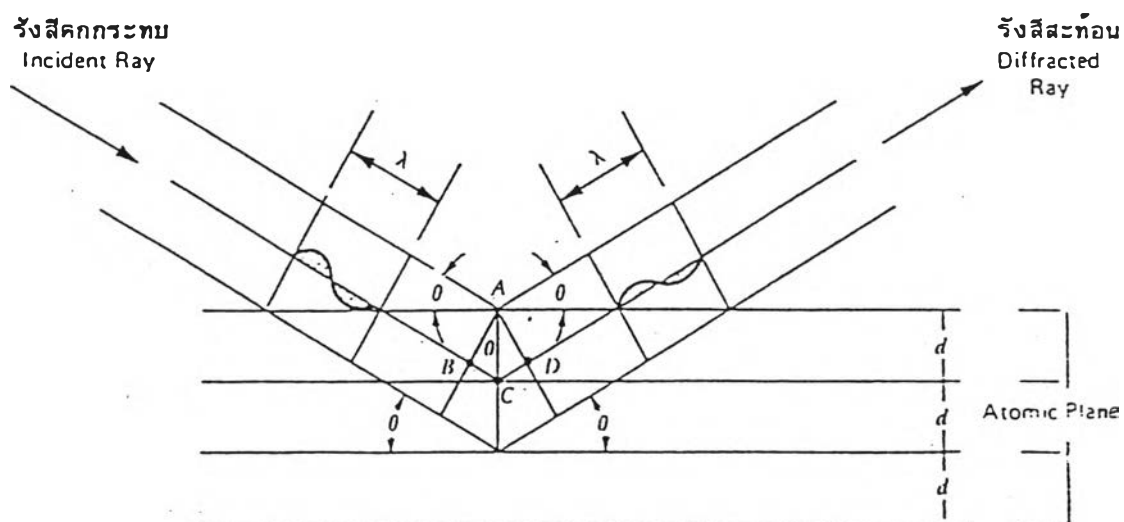
แต่จากการสมมาตรกัน $BC = CD$ และจากความสัมพันธ์ทางตรีโกณมิติ $CD=d\sin \theta$ ดังนั้นสมการ (1) จะเขียนใหม่ได้เป็น

$$n\lambda = 2 d \sin \theta \quad \dots\dots\dots(1)$$

ความสัมพันธ์นี้ เรียกว่า กฎของ Bragg ซึ่งเป็นกฎพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์หาชนิดของผลึกเมื่อใช้ X-ray diffraction เนื่องจากระยะห่างระหว่าง atomic plane



รูปที่ ก.3 ความสัมพันธ์ของความเข้มของการแผ่รังสีเอ็กซ์ กับความยาวคลื่น



รูปที่ ก.4 ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตของการสะท้อนรังสีเอ็กซ์ตามกฎของ Bragg



ใน 3 มิติของแร่แต่ละชนิดไม่เท่ากัน ดังนั้นมุมของรังสีสะท้อนจึงสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ถึงชนิดของแร่ได้ X-ray diffraction นี้ เหมาะสมที่จะใช้ในการวิเคราะห์หาชนิดของแร่ดินเหนียวด้วย เพราะระยะห่างของ atomic plane (001) มีค่าเฉพาะสำหรับแต่ละชนิดของแร่ดินเหนียว basal plane จะสะท้อนรังสีได้ดีที่สุดในโครงสร้างผลึกเพราะอะตอมใน plane นี้จะอยู่กันอย่างหนาแน่น นอกจากนี้ X-ray diffraction ยังสามารถใช้ตรวจสอบพวกแร่ที่ไม่ใช่ดินเหนียวในดินได้เช่นกัน

การตรวจจับรังสีเอ็กซ์ที่สะท้อนออกมา

รังสีที่สะท้อนออกมามจะถูกดักจับโดยใช้เครื่องมือ 2 ชนิดคือ

1. ฟิล์ม โดยติดตั้งอยู่ในกล่องรูปทรงกระบอก การที่สามารถใช้ฟิล์มบันทึกผลได้เพราะรังสีเอ็กซ์ทำให้ฟิล์มเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับแสงอาทิตย์

2. Geiger Muller counting tube เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดรังสีสะท้อนออกมาโดยตรงแล้วบันทึกค่าโดยอัตโนมัติ

การเตรียมตัวอย่างดิน

การเตรียมตัวอย่างเมื่อจะทำการวิเคราะห์ดินเหนียวโดยใช้ X-ray diffraction มีอยู่ 2 วิธีคือ

- Random powder method
- Oriented aggregate method

1. Random powder method เป็นการเตรียมตัวอย่างดินโดยใช้ตัวอย่างที่บดละเอียดและผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แล้วนำมาใส่ในถ้วยดี เนื่องจากอนุภาคเล็กๆ แต่ละอนุภาคจะมีการจัดเรียงตัวในทิศทางต่างๆ กัน ดังนั้นจึงมีโอกาสที่เป็นไปได้ที่จะมีบางอนุภาคจัดเรียงตัวขนานกัน เมื่อถูกรังสีเอ็กซ์มาตกกระทบแล้วจะสะท้อนออกไปด้วยความเข้มของรังสีต่างๆ แล้วถูกดักจับโดยแผ่นฟิล์มหรือ Geiger Muller counting tube ความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมา จากการเตรียมตัวอย่างดินด้วยวิธีนี้จะเป็นสัดส่วนใกล้เคียงกับจำนวนผลึกที่อยู่ในสารมากกว่าตัวอย่างดินที่ติดตั้งโดย oriented aggregate method

การจัดตัวอย่างดินที่เตรียมแบบ random powder นี้สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

ก. Rod method ทำโดยเอาตัวอย่างดินที่เตรียมไว้มาปั้นให้เป็นแท่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 ถึง 0.5 มม. โดยใช้ตัวประสานพวก Gum tragacanth ซึ่งตัวประสานนี้จะ มีผลเล็กน้อยต่อ X-Ray diffraction

ข. Wedge method ทำโดยเอาตัวอย่างดินที่เป็นผงละเอียดมาใส่ในตัวยึดที่ออกแบบให้ตัวอย่างดินเป็นรูปลิ้ม (Jeffries และ Jackson , 1949) การใส่ตัวอย่างดินไปในที่ยึด ทำโดยใช้แผ่นแก้วกดให้เรียบ

2. Oriented aggregate method ทำโดยนำตัวอย่างดินที่ถูกแยกขนาดโดยใช้ deflocculating agent ช่วย แล้วนำสารที่ตกตะกอนอยู่ด้านบนซึ่งมีขนาด clay size มาหยดลงบนแผ่นแก้วหรือเซรามิค ดังนั้นอนุภาคดินเหนียวที่อยู่บนแผ่นแก้วหรือเซรามิคจะมีการจัดเรียงตัวขนาน ทำให้การสะท้อนรังสีจาก plane (001) มีความเข้มมากขึ้น ส่วนระนาบอื่นๆ จะสะท้อนรังสีเอ็กซีได้น้อยลง X-ray diffraction ที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างโดยวิธีนี้จะ ได้ผลดีเมื่อใช้ ประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างแบบ random powder

เพื่อให้การวิเคราะห์หาชนิดของแร่ดินเหนียวทำได้ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น จึงได้มีการเตรียมตัวอย่างแบบ Oriented aggregate 4 แบบคือ

1. Mg-Saturation , air dry sample
2. Mg-Saturated , glycerol solvated sample
3. K-Saturated , air dry sample
4. K-Saturated , heated sample (500 °C)

เนื่องจากว่าประจุบวกต่างชนิดกันจะทำให้มีปริมาณน้ำในปฏิกิริยา hydration แตกต่างกัน (Barshad , 1950 Norrish , 1954 และ Mielenz , et al., 1955) ดังนั้น ตัวอย่างดินที่เตรียมสำหรับการวิเคราะห์ X-ray diffraction จึงควรมีประจุบวกเพียงชนิดเดียว เพื่อจะได้มั่นใจว่าการขยายตัวซึ่งมีผลจากปฏิกิริยา hydration นั้นจะเป็นแบบเดียวกันในโครงสร้างผลึก การวิเคราะห์โดยทั่วไปมักทำกันในสภาพที่ตัวอย่างแห้งในอากาศ (air dry) ดังนั้นจึง จำเป็นที่จะต้องเลือกประจุบวกชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อความชื้นเปลี่ยนแปลงไป Mg^{2+}

เป็นประจุบวกที่ทำให้หน้าที่ถูกดูดซึมอยู่ระหว่าง interlayer ของชั้นซิลิเกตขยายตัวเป็นแบบเดียวกัน และ K^+ เป็นประจุบวกที่จำกัดการดูดซึมน้ำใน interlayer ของเวอร์มิคูไลต์ ดังนั้นจึงเป็นประจุบวกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยทั่วไป (Hellman , et al., 1943 , Mac Ewan , 1946 และ Walker, 1957)

ตัวอย่างที่ทำให้ห่อตัวด้วย K^+ แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500°C . เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะทำให้ Hydroxy complex ถูกทำลายลง ซึ่งจะทำให้ระยะห่าง interlayer ของเวอร์มิคูไลต์ หดตัวลง แต่คลอไรด์จะไม่มีเปลี่ยนแปลง

ตัวอย่างที่ผสมกรีเซอรอล ($\text{C}_3\text{H}_8(\text{OH})_3$) ลงไปจะทำให้ระยะห่างของ interlayer ในแร่ดินเหนียวมอนทอร์มิลโลไนท์ขยายตัวจาก 14° เป็น 17.7 \AA (Mac Evan, 1944, Bradley, 1945, White และ Jackson , 1947) ในขณะที่แร่ดินเหนียวเวอร์มิคูไลต์จะไม่มี การเปลี่ยนแปลง (Walker, 1950 ; Barshad , 1950) ปรากฏการณ์นี้เป็นข้อแตกต่างที่จะใช้ในการแยกชนิดของแร่ดินเหนียวทั้ง 2 ชนิดนี้ สำหรับตารางที่ใช้ในการวิเคราะห์ชนิดของแร่ดินเหนียวโดยวิธี X-ray diffraction จากการเตรียมตัวอย่างดินทั้งหมด 4 แบบดังกล่าวข้างต้นได้ แสดงในตารางที่ ก.1

การวิเคราะห์ X-ray diffraction pattern

X-ray diffraction pattern ที่ได้มาไม่ว่าจะเป็นจากฟิล์มหรือจาก Geiger Muller counting tube จะให้ผลที่ประกอบด้วยมุมที่รังสีเอ็กซ์ตกกระทบกับแนวระนาบ (θ) กับ ความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่สะท้อนจากผลึกของแร่ในตัวอย่างดิน ขึ้นแรกในการวิเคราะห์ทำโดยหา ระยะห่างของ interlayer โดยใช้กฎของ Bragg ดังแสดงไว้ในตารางที่ ก.2 จากโลหะที่ใช้ทำ เป้าแตกต่างกันจะทำให้ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ที่จะนำมาวิเคราะห์แตกต่างกัน ในการทดลองนี้ ใช้ทองแดง (Cu) เป็นเป้า ดังนั้นความยาวคลื่นที่ใช้ในการวิเคราะห์จะเท่ากับ 1.54 \AA ในการวิเคราะห์ผลจะนำระยะห่างระหว่าง interlayer (d) ของตัวอย่างดินที่ได้มาเปรียบเทียบกับ pattern มาตรฐานของแร่บริสุทธิ์ ข้อมูล X-ray diffraction pattern ของแร่ที่พบโดยทั่วไป ในดินแสดงในตารางที่ ก.3 , และ diffraction Pattern ของ สารประกอบในหมู่ซีเมนต์

พอร์ตแลนด์ ดังแสดงในตารางที่ ก.4 , ก.5 , ก.6 , ก.7

การวิเคราะห์หาปริมาณของแร่โดยวิธี X-ray diffraction

การหาปริมาณของแร่ชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของตัวอย่างดินเหนียว โดยใช้การเปรียบเทียบความสูงของ diffraction peak หรือพื้นที่ใต้ diffraction peak โดยใช้หลักการเปรียบเทียบแบบธรรมดาๆ นั้นไม่สามารถจะทำได้ถูกต้อง เนื่องจากความแตกต่างกันของคุณสมบัติต่างๆ ของสารซึ่งเป็นส่วนประกอบของตัวอย่างดินเหนียว กล่าวคือ สัมประสิทธิ์ของการดูดซึมรังสี ปริมาณของสารแต่ละชนิดซึ่งเป็นส่วนประกอบ ลักษณะผิวของผลึก ความสมบูรณ์ของผลึกและลักษณะการจัดเรียงตัวของอนุภาค เป็นต้น ดังนั้น การเปรียบเทียบปริมาณของสารซึ่งเป็นส่วนประกอบของตัวอย่างดินเหนียวจึงเป็นไปได้ยากแต่อาจจะทำได้ผลที่ดีเมื่อใช้ internal standard ซึ่งเป็นสารประกอบพวก ZnO_2 มาใช้ประกอบการวิเคราะห์

เนื่องจากหลักที่ว่าความสูงของ diffraction peak จะแปรโดยตรงกับปริมาณของสารประกอบที่ก่อให้เกิด diffraction peak นั้น ดังนั้น จึงอาจเปรียบเทียบปริมาณของสารประกอบชนิดเดียวกันในแต่ละตัวอย่างดินเหนียวโดยประมาณได้

ตัวอย่างการวิเคราะห์หาสารประกอบในตัวอย่าง ผงปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ล้วน โดย X-Ray Diffraction แสดงในรูป ก.5

ตารางที่ ก.1 การวิเคราะห์ชั้นตองแร่ดินเหนียวโดยวิธี X-ray diffraction

Diffraction spacing (A.)	Mineral (or minerals) indicated
<u>Mg-saturated, air-dried</u>	
14-15	Montmorillonite, vermiculite, chlorite
9.9-10.1	Mica (Ittite), halloysite
7.2- 7.5	Metahalloysite
7.15	Kaolinite, chlorite (2nd-order maximum)
<u>Mg-saturated, glycerol-solvated</u>	
17.7-18.0	Montmorillonite
14-15	Vermiculite, chlorite
10.8	Halloysite
9.9-10.1	Mica (Ittite)
7.2- 7.5	Metahalloysite
7.15	Kaolinite, chlorite (2nd-order maximum)
<u>K-saturated, air-dried</u>	
14-15	Chlorite, vermiculite (with interlayer aluminum)
12.4-12.8	Montmorillonite
9.9-10.1	Mica (Ittite), halloysite, vermiculite (contracted)
7.2-7.5	Metahalloysite
7.15	Knolinite, chlorite (2nd-order maximum)
<u>K-saturated, heated (500 °C.)</u>	
14	Chlorite
9.9-10.1	Mica, vermiculite (contracted), montmorillonite (contracted)
7.15	Chlorite (2nd-order maximum)



ตารางที่ n.2 Determination of interplanar spacing d from Bragg's law $n\lambda = 2d \sin\theta$, $CuK \alpha$ $\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$

	0 (0)	6 (0.1)	12 (0.2)	18 (0.3)	24 (0.4)	30 (0.5)	36 (0.6)	42 (0.7)	48 (0.8)	54 (0.9)
0		441.32	220.66	147.11	110.33	88.265	73.555	63.048	55.167	49.038
1	44.134	40.123	36.779	33.950	31.526	29.425	27.586	25.964	24.521	23.230
2	22.069	21.020	20.065	19.193	18.393	17.658	16.990	16.351	15.767	15.224
3	14.717	14.243	13.798	13.380	12.957	12.617	12.268	11.937	11.623	11.325
4	11.042	10.773	10.517	10.273	10.040	9.8172	9.6043	9.4004	9.2050	9.0176
5	8.6377	8.6648	8.3387	8.3387	8.1847	8.0363	7.8933	7.7553	7.6220	7.4932
6	7.3698	7.2485	7.1320	7.0192	6.9100	6.8042	6.7016	6.6021	6.5054	6.4115
7	6.3023	6.2317	6.1456	6.0619	5.9804	5.9011	5.8239	5.7487	5.6755	5.6041
8	5.5345	5.4666	5.4004	5.3358	5.2727	5.2111	5.1510	5.0922	5.0347	4.9785
9	4.9236	4.8700	4.8176	4.7663	4.7161	4.6669	4.6187	4.5715	4.5253	4.4800
10	4.4257	4.3923	4.3497	4.3079	4.2669	4.2267	4.1873	4.1486	4.1106	4.0733
11	4.0367	4.0008	3.9656	3.9310	3.8970	3.8635	3.8306	3.7983	3.7666	3.7354
12	3.7047	3.6745	3.6448	3.6156	3.5869	3.5587	3.5309	3.5036	3.4767	3.4502
13	3.4241	3.3964	3.3731	3.3482	3.3237	3.2995	3.2757	3.2522	3.2291	3.2063
14	3.1839	3.1618	3.1400	3.1185	3.0973	3.0764	3.0558	3.0354	3.0153	2.9955
15	2.9760	2.9567	2.9377	2.9190	2.9005	2.8822	2.8642	2.8464	2.8289	2.8116
16	2.7945	2.7776	2.7609	2.7444	2.7281	2.7120	2.6961	2.6804	2.6649	2.6496
17	2.6345	2.6196	2.6048	2.5902	2.5758	2.5615	2.5474	2.5334	2.5196	2.5060
18	2.4926	2.4793	2.4661	2.4531	2.4402	2.4274	2.4148	2.4024	2.3901	2.3779
19	2.3669	2.3540	2.3422	2.3305	2.3189	2.3075	2.2962	2.2850	2.2739	2.2629
20	2.2520	2.2412	2.2306	2.2201	2.2097	2.1994	2.1892	2.1790	2.1690	2.1591
21	2.1493	2.1396	2.1299	2.1204	2.1110	2.1017	2.0924	2.0832	2.0741	2.0651
22	2.0562	2.0473	2.0385	2.0298	2.0213	2.0128	1.0044	1.9960	1.9877	1.9795
23	1.9713	1.9632	1.9552	1.9473	1.9394	1.9316	1.9239	1.9163	1.9087	1.9012
24	1.8938	1.8864	1.8790	1.8717	1.8645	1.8574	1.8503	1.8433	1.8363	1.8294
25	1.8226	1.8158	1.8091	1.8024	1.7958	1.7892	1.7826	1.7761	1.7697	1.7634
26	1.7571	1.7508	1.7446	1.7384	1.7323	1.7262	1.7202	1.7143	1.7084	1.7025
27	1.6997	1.6909	1.6851	1.6794	1.6737	1.6681	1.6625	1.6570	1.6515	1.6461
28	1.6407	1.6353	1.6300	1.6247	1.6195	1.6143	1.6091	1.6040	1.5989	1.5938
29	1.5897	1.5837	1.5788	1.5739	1.5690	1.5642	1.5594	1.5546	1.5499	1.5452
30	1.5405	1.5358	1.5312	1.5266	1.5221	1.5176	1.5131	1.5087	1.5043	1.4999

ตารางที่ ก.3 ข้อมูล X-ray diffraction ของแร่ที่พบโดยทั่วไปในดิน

d(A)	Mineral	d(A)	Mineral
14	Mont. (VS) Chl. V crm. (VS)	2.93-3.00	Felds.
12	Sepiolite, heated corrensite	2.89-2.90	Carb.
10	Illite, Mica(S)	2.86	Felds.
9.23	Heated Verm.	2.84	Carb. Chl.
7	Kaol.(S). Chl.	2.84-2.87	Chl.
6.90	Chl.	2.73	Carb.
6.44	Attapulgit	3.61	Attapulgit
6.39	Felds.	2.60	Verm., Sepiol.
4.90-5.00	10A (2nd)	2.56	Illite (VS), Kaol.
4.70-4.79	Chlor. (S)	2.53-2.56	Chlor., Felds., Mont.
4.60	Sepiol., Verm.(S)	2.49	Kaol. (VS)
4.45-4.50	Illite (VS)	2.46	Quartz, heated Verm.
4.46	Kaol.	2.43-2.46	Chlorite
4.36	Kaol.	2.39	Verm., Illite
4.26	Quartz (S)	2.38	Kaol.
4.18	Kaol.	2.34	Kaol. (VS)
4.02-4.04	Felds. (S)	2.29	Kaol. (VS)
3.85-3.90	Felds.	2.28	Quartz, Sepiol.
38.2	Sepiol.	2.23	Illite, Chl.
3.78	Felds.	2.13	Quartz, Mica
3.67	Felds.	2.05-2.06	Kaol. (WK)
3.58	Carbonate, Chl.	1.99-2.00	Mica, Illite(S), Kaol. Chl.
3.57	Kool. (VS), Chl.	1.90	Kaol.
3.54-3.56	Verm.	1.83	Carb.
3.50	Felds., Chlor.	1.82	Quartz
3.40	Carb.	1.79	Kaol.
3.34	Quartz (VS)	1.68	Quartz
3.32-3.35	Illite (VS)	1.66	Kaolin
3.30	Carb.	1.62	Kaolin
3.23	Attapulgit	1.54B	Verm. (S), Quartz
3.21	Felds.	1.55	Quartz
3.20	Mica	1.58	Chl.
3.19	Felds. (VS)	1.53	Verm., Illite (Trioctahed)
3.05	Mont.	1.50	Ill. (S), Kaol.
3.04	Carb. (VS)	1.48-1.50	Kaol. (VS), Mont.
3.02	Felds.	1.45B	Kaol.
3.00	Heated Verm.	1.38	Quartz, Chl.
2.98	Mica (S)	1.31, 1.34, 1.36	Kaol. (B)

Italics: (001) spacing

(B) = broad; (S) = strong; (VS) = very strong; (WK) = weak; Mont. = Montmorillonite; Chl. = Chl.
Verm. = Vermiculite; Kaol. = Kaolinite; Carb. = Carbonate; Felds. = Feldspar; Sepiol. = Sepiolite

ตาราง ๓.๔ X - Ray Diffraction Pattern

CaO		Mgo		Ca(OH) ₂		Mg(OH) ₂ (Bructie)	
d	I	d	I	d	I	d	I
<u>2.778</u>	8	2.431	1	<u>4.900</u>	7	<u>4.77</u>	8
<u>2.405</u>	10	<u>2.106</u>	10	3.112	2	2.725	2
<u>1.701</u>	9	<u>1.489</u>	9	<u>2.628</u>	10	<u>2.365</u>	10
1.451	6	1.270	1	2.447	1	<u>1.794</u>	7
1.390	3	<u>1.216</u>	2	1.927	4	1.573	6
1.203	1	1.0533	1	<u>1.796</u>	4	1.494	5
1.1036	1	0.9665	1	1.687	2	1.373	5
1.0755	4	0.9419	2	1.634	1	1.363	1
0.9819	4	0.8600	2	1.557	1	1.310	3
0.9258	1	0.8109	1	1.434	2	1.192	1
0.8504	1			1.449	2	1.183	2
0.8131	3			1.314	1	1.118	1
0.8018	3			1.228	1	1.092	1
				1.211	1	1.034	2
				1.762	1	1.0067	2
				1.1432	2		
				1.1275	1		
				1.0599	2		
				1.0366	1		
				1.0143	2		

ตารางที่ ก.5 X - Ray Diffraction Pattern

C_3S		C_3S		C_2S		C_2S	
$3CaO.SiO_2$		Alite		$2CaO.SiO_2$		$2CaO.SiO_2$	
d	I	d	I	d	I	d	I
5.901	4	3.861	3	4.69	2	4.74	2
3.862	3	3.517	1	3.87	2	4.63	1
3.510	2	3.334	2	3.41	2	3.83	2
3.346	2	3.144	2	3.15	2	3.40	2
3.227	1	3.022	8	3.02	1	3.14	2
3.022	8	2.959	6	<u>2.88</u>	<u>7</u>	2.89	2
2.957	6	2.880	2	2.83	2	2.81	2
2.891	3	2.804	1	<u>2.76</u>	<u>9</u>	<u>2.76</u>	<u>10</u>
2.818	1	<u>2.764</u>	<u>10</u>	<u>2.71</u>	<u>10</u>	<u>2.75</u>	<u>10</u>
<u>2.776</u>	<u>10</u>	<u>2.739</u>	<u>9</u>	2.54	2	<u>2.69</u>	<u>8</u>
2.730	8	2.682	3	2.46	1	2.63	2
2.670	1	<u>2.592</u>	<u>9</u>	2.35	2	2.36	2
<u>2.602</u>	<u>10</u>	2.436	3	2.035	2	2.28	2
2.549	1	2.313	6	2.208	7	2.23	2
2.449	3	2.178	9	2.129	1	2.200	6
2.326	6	2.172	6	2.072	2	2.137	1
2.304	5	2.089	1	2.052	2	2.082	1
2.277	2	2.060	1	2.008	1	2.035	6
2.234	1	2.028	1	1.971	2	1.965	2
<u>2.185</u>	<u>10</u>	1.973	5	1.935	7	1.939	6
2.159	1	1.928	6	1.870	1	1.914	1

ตาราง ก.6 X - Ray Diffraction Pattern

C ₂ S		C ₂ S		C ₄ AF	
2CaO.SiO ₂		2CaO.SiO ₂		4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	
d	I	d	I	d	I
4.920	1	5.265	4	7.24	5
4.645	1	4.320	4	3.63	3
3.790	3	4.047	2	3.39	1
3.380	1	3.794	4	<u>2.77</u>	8
3.335	1	3.354	2	2.67	7
3.090	1	<u>3.002</u>	10	<u>2.63</u>	10
3.040	2	2.881	2	2.57	2
2.874	2*	<u>2.728</u>	10	2.43	11
<u>2.778</u>	10*	2.525	2	2.20	13
<u>2.740</u>	10*	2.508	2	2.15	3
2.714	1	2.460	2	2.04	6
<u>2.607</u>	10	2.320	2	<u>1.92</u>	8
2.544	3	2.243	2	1.86	2
2.448	4*	2.186	2	1.81	4
2.403	4	2.024	2	1.73	2
2.279	3	1.963	2	1.57	4
2.189	6*	<u>1.928</u>	8	1.53	4
1.163	4	1.878	2	1.51	1
2.128	1*	1.800	6	1.50	2
2.088	1	1.751	6	1.45	1
2.044	2	1.685	8	1.42	1



ตาราง ก.7 X - Ray Diffraction Parttern

C - S - H

Calcium silicate hydrate (I)		Calcium silicate hydrate (II)		Afwillite [9]		2CaO.SiO ₂ hydrate (C ₂ SH(A))	
d	I	d	I	d	I	d	I
<u>9-14</u>	<u>10</u>	<u>9.80</u>	<u>9</u>	6.45	8	5.35	3
<u>3.06</u>	<u>10</u>	4.90	2	5.74	8	4.63	1
<u>2.81</u>	<u>8</u>	<u>3.07</u>	<u>10</u>	5.08	5	4.22	9
1.83	8	2.85	5	4.73	8	3.90	8
1.67	4	<u>2.80</u>	<u>9</u>	4.15	5	3.54	8
1.53	2	2.40	4	3.91	5	3.27	10
1.40	4	2.20	1	3.75	5	3.04	3
1.17	1	2.10	1	3.28	5	2.87	8
1.11	2	2.00	6	<u>3.19</u>	<u>10</u>	2.80	8
1.07	1	1.83	9	3.05	5	2.77	3
This is the		1.72	1	<u>2.84</u>	<u>10</u>	2.71	3
data for the		1.62	1	<u>2.74</u>	<u>10</u>	2.69	2
poorly crystal-		1.56	5	2.67	5	2.65	6
line material.		1.40	4	2.59	5	2.60	8
The long spacing		1.225	3	2.44	4	2.56	3
can vary consi-		1.165	3	2.35	6	2.52	6
derably and may		1.100	1	2.31	5	2.47	1
also be undetec-		1.045	2	2.21	5	2.41	9
ted.		1.025	1	1.145	8	2.31	2

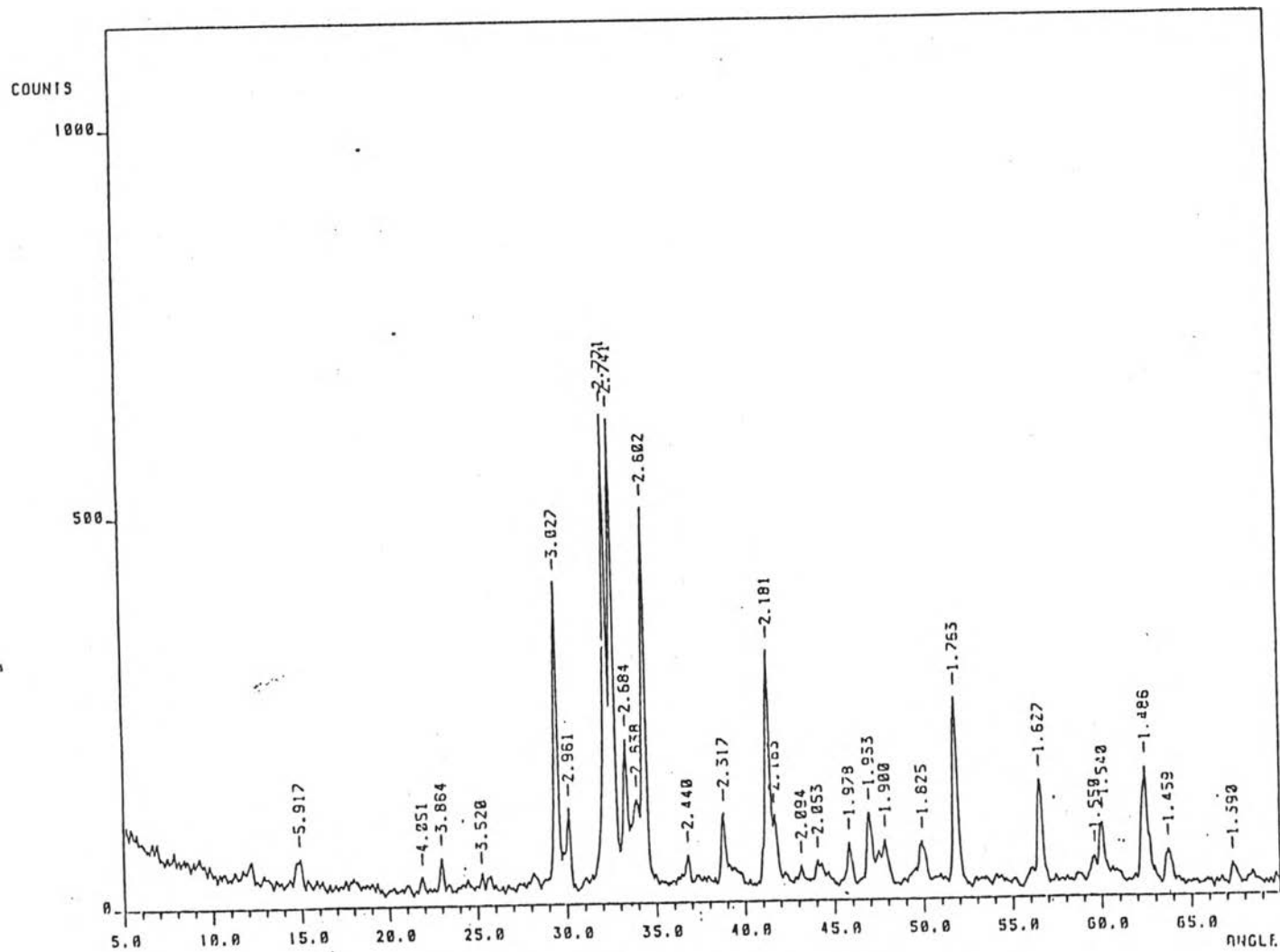


Figure 1.5 X-Ray Diffraction of Portland Cement

Measure condition		2θ / °
Sample	F7-CEMENT	14.96
		21.92
Target	Cu	23.00
		25.20
KV	45.0 KV	29.40
		30.16
Start angle	30.0 mA	32.20
		32.64
Stop angle	5.00 deg.	33.36
		33.96
Step angle	70.00 deg.	34.44
		36.00
M. time	0.040 deg.	30.04
		41.36
Operator	0.50 sec.	41.72
		43.16
Memo		44.00
		45.64
		46.96
		47.04
		49.02
		51.60
		56.52
		59.60
		60.04
		62.44
		63.72
		67.32

ภาคผนวก ข

องค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์

ซีเมนต์ที่ใช้ในการวิจัยในประเทศไทยได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้า อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ทั้งหมด แต่ผลจากการวิเคราะห์ องค์ประกอบทางเคมี ที่กระทำต่างเวลาและสถานที่ทำให้ผลของปริมาณองค์ประกอบแตกต่างกันไป โดยทำการเปรียบเทียบ 4 ตัวอย่าง คือ

1. ปริญา จินดาประเสริฐ และอินทรชัย หอวิจิตร (มกราคม 2528)
วิเคราะห์โดยบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด
2. ประจิต จิรปภา (กันยายน 2523)
3. อุดม หงษ์ประธานพร (สิงหาคม 2530) วิเคราะห์โดยศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งซีเมนต์ชนิดนี้เป็นชนิดที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นตัวอย่างใหม่จากเตาเผา
4. อุดม หงษ์ประธานพร (สิงหาคม 2532) วิเคราะห์โดยศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นการเก็บตัวอย่างเก่าในพื้นที่ยังซีเมนต์ ซีเมนต์บางส่วนจะมีลักษณะจับตัวกันเป็นก้อน ขนาดต่าง ๆ กัน โดยขนาดใหญ่สุด ประมาณ 1 นิ้ว แต่สามารถบดเป็นผงได้

ดังแสดงในตาราง ข.1 จากตารางนี้ จะพบว่า มีส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน คือ

1. ผลรวมของ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ผลรวมขององค์ประกอบทั้งสามของตัวอย่างที่ (1) , (2) , (3) และ (4) ได้เท่ากับ 35.25 , 46.00 , 78.27 และ 62.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณผลรวมขององค์ประกอบทั้งสามนี้เป็นตัวที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยาปิ้งโซลัน กับซิลิเกตไฮดรอกไซด์โมโนเมอร์, ในความเป็นจริง ถ้าสารประกอบทั้งสามนี้มีปริมาณมากก็จะทำปฏิกิริยาปิ้งโซลันได้ดี ตามมาตรฐาน ASTM C 618 กำหนดให้มีไม่น้อยกว่า 70 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าอนุมูลซัลเฟต (SO_3)พบว่า องค์ประกอบทางเคมี SO_3 ของตัวอย่างที่ (1) ,

(2), (3) , และ (4) มีค่าเท่ากับ 11.46 , 2.80 , 2.35 , และ 6.33 ตามลำดับ ตามมาตรฐาน ASTM C 618 กำหนดให้มอดูล์ประกอบทางเคมี SO_3 ได้ไม่เกิน 4 เปอร์เซ็นต์ ในชนิด N และ 5 เปอร์เซ็นต์ ในชนิด F เพราะองค์ประกอบทางเคมีจะเป็นตัวกัดกร่อนโลหะ และเนื้อคอนกรีต ทำให้เกิดอันตรายแก่โครงสร้าง ในการวิจัย ประจิด 2523 พบว่ามี องค์ประกอบทางเคมี SO_3 เท่ากับ 2.80 เปอร์เซ็นต์ และอุดม (2530) พบว่ามี องค์ประกอบทางเคมี SO_3 เท่ากับ 2.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหมาะสมต่อการใช้งาน แต่เมื่อเก็บตัวอย่างเก่า ที่จับตัวกันเป็นก้อนในชั้นที่ทิ้งของการไฟฟ้าแม่เมาะ มาทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี กลับพบว่า มีองค์ประกอบทางเคมี SO_3 เพิ่มขึ้นเป็น 6.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกินมาตรฐาน ASTM C 618 ไปเล็กน้อย ซึ่งสาเหตุในการเพิ่มนี้อาจจะเป็นจากหลาย ๆ ทาง เช่น องค์ประกอบทางเคมีในเนื้อถ่านหินเอง วิธีการเผาและการตกเก็บขี้เถ้า การกองทิ้งไว้ให้น้ำและอากาศชะล้างในชั้นที่ทิ้งขี้เถ้า

3. ค่า CaO พบว่า องค์ประกอบทางเคมี CaO ของตัวอย่างที่ (1) , (2) , (3) และ (4) มีค่าเท่ากับ 39.46 , 43.0 , 11.92 , และ 25.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบทางเคมี CaO นี้มีผลต่อปฏิกิริยาเคมีในการก่อสารเชื่อมประสานมาก เพราะถ้าวัสดุได้มี CaO มากพอและมีองค์ประกอบที่เป็นสารปฏิกิริยาอยู่ด้วย อาจเกิดการรวมตัวกันได้เอง โดยไม่ต้องอาศัยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ช่วย

ค่าที่ต่างกันทั้ง 3 หัวข้อนี้ อาจเกิดจากความแตกต่างทางเคมีจริงในเนื้อขี้เถ้า หรืออาจเกิดจากเครื่องมือทดสอบในแต่ละสถาบัน ที่ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีให้ผลต่างกันไป ความแตกต่างนี้เป็นข้อที่น่าจะศึกษาให้แน่ชัดในกาลข้างหน้า



ตาราง ข.1 องค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์ยี่ห้อแม่เมาะ

สารประกอบ	เปอร์เซ็นต์			
	ปริมาตร (2528) (1)	ประจิด (2523) (2)	อุดม (2530) (3)	อุดม (2532) (4)
SiO ₂	12.03	46.00	35.43	29.90
Al ₂ O ₃	5.89	46.00	28.27	15.90
Fe ₂ O ₃	17.33	46.00	14.57	16.50
SO ₃	11.46	2.80	2.35	6.33
C _a O	39.46	43.00	11.92	25.6
M _g O	4.59	3.2	2.13	1.30
K ₂ O	0.78	1.2	2.48	2.38



ประวัติผู้เขียน

นายอุดม หงษ์ประธานพร เกิดเมื่อวันที่ 19 มิถุนายน พ.ศ. 2503 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับ อนุปริญญา สาขาช่างสำรวจ จากวิทยาลัยเทคโนโลยี และอาชีวศึกษาวิทยาเขต เทคนิคกรุงเทพ ใน พ.ศ. 2525 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชากรรมโยธา จากวิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษาวิทยาเขตเทเวศร์ ในพ.ศ. 2528 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทในปีเดียวกัน ระหว่างศึกษาได้รับราชการอยู่ในสถาบัน เทคโนโลยีราชมนคล วิทยาเขต อุเทนถวาย