

วิศวกรรมศาสตร์ มช. ปีที่ 33 ฉบับที่ 6 (675 - 690) พฤศจิกายน - ธันวาคม 2549

บทความวิจัย

KKU Engineering Journal Vol. 33 No. 6 (675 - 690) November – December 2006

กลไกของการปรับปรุงคุณภาพของดินขาวด้วย กลวิธีโพลิเมอไรเซชัน*

อมรวรรณ พิศิษฐ์วนิช¹⁾ วิชัย สัจารปทานสกุล²⁾

¹⁾ นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²⁾ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Email: amolvan_p@yahoo.co.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษากลไกของการปรับปรุงคุณภาพของดินขาวจากแหล่งต่างๆ ภายในประเทศไทย 13 แหล่ง คือ ลำปาง 4 แหล่ง, อุตรดิตถ์, 朗邦, สุราษฎร์ธานี, ราชบุรี, อุตรธานี, ปราจีนบุรี, ระยอง, ราชบุรี และเพชรบุรี ด้วยกลวิธีโพลิเมอไรเซชัน โดยการผสมกับสารเคมีต่างๆ กัน ได้แก่ $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, Na_2CO_3 , Na_2HPO_4 , Na_3PO_4 , NaOH และ KOH และการซึมปูนปูนก็จะมีผลลัพธ์ที่ดีเช่นเดียวกัน สำหรับดินขาวที่มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัดจนถึงอายุ ปั๊ม 56 วัน ร่วมกับวิธีค่าโลร์เมตريكเพื่อวัดปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ ร่วมกับการพิจารณาองค์ประกอบทางเคมี องค์ประกอบด้านแร่ดินเหนียว ความสมมูลรณ์ของผลึกแร่ดินเหนียว และความสามารถในการแยกเปลี่ยนประจุบวก ผลการทดสอบพบว่าดินขาวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ แล้วจะเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันเริ่มแรกหลายรูปแบบ แปรผันตรงกับค่ากำลังรับแรงอัด ซึ่งขึ้นอยู่ กับการประเมินค่าการวัดปริมาณความร้อน และพบว่าดินขาวส่วนใหญ่มีแนวโน้มในการปรับปรุงคุณภาพ ด้วย KOH และ NaOH ได้แก่ ดินขาวลำปาง ดินขาวเพชรบุรี ดินขาวระยอง ดินขาวสุราษฎร์ธานี ดินขาว朗邦 ดินขาวนานราชวิสาส ดินขาวปราจีนบุรี และดินขาวอุตรธานี ยกเว้นดินขาวอุตรดิตถ์ จะมีแนวโน้มในการปรับปรุงคุณภาพด้วย $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

คำสำคัญ : ดินขาว, การปรับปรุงคุณภาพ, โพลิเมอไรเซชัน, วิธีค่าโลร์เมต릭

* รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2549 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2549

Mechanism of Stabilization of Kaolin by Polymerization Technique*

Amolvan Pisithavanich¹⁾ Wichai Sungwongpatansaku²⁾

¹⁾ Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi.

²⁾ Prof., Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi.

Email:amolvan_p@yahoo.co.th

ABSTRACT

This paper presents stabilization mechanism of Kaolin by Polymerization from 13 locations in Thailand : 4 locations from Lampang, one location each from Uttaradit, Ranong, Suratthani, Narathiwat, Udonthani, Prachinburi, Rayong, Rachaburi and Phetchaburi. The polymerization was carried out by mixing different substances such as $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, Na_2CO_3 , Na_2HPO_4 , Na_3PO_4 , KOH and NaOH with the specimens. Polymerization reaction was activated under a temperature of 80 degree celcius for 24 hours followed by cooling in room temperature. Tendency of stabilization was studied using compressive strength tests of samples after curing for 56 days along with calorimetric study to determine heat content during stabilization. Chemical elements, clay mineral, clay mineral crystallization and cation exchange capacity were taken into account. Models were proposed to describe the early polymerization mechanism of Kaolin for various maximum compressive strengths based on heat evolution measurements. Most Kaolin samples such as Lampang Kaolin, Phetchaburi Kaolin, Rayong Kaolin, Suratthani Kaolin, Ranong Kaolin, Narathiwat Kaolin, Prachinburi Kaolin, and Udonthani Kaolin showed tendency of stabilization using KOH and NaOH except Uttaradit Kaolin which can be stabilized by using $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Keywords : Kaolin, Stabilization, Polymerization, Calorimetric

* Original manuscript submitted: July 12, 2006 and Final manuscript received: August 30, 2006

บทนำ

ปัจจุบันการขยายตัวของอุตสาหกรรมการก่อสร้างอาคาร ผู้มีรายได้น้อยมีความเป็นไปได้ต่ำที่จะมีท่อสูญอาศัยเป็นของตนเอง เนื่องจากวัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้างอาคารที่สำคัญ เช่น ปูนซีเมนต์ต้องใช้พลังงานเชือเพลิงในการผลิตสูงมาก อีกทั้งในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จะทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาวัสดุก่อสร้างเพื่อให้มีความสอดคล้องกับความต้องการของตลาด ซึ่งจะต้องคำนึงถึงต้นทุน และพลังงานที่จะใช้ในการผลิต การนำวัสดุที่หาได้ยากในแต่ละท้องถิ่นมาใช้ผลิตเป็นวัสดุทดแทนให้มีคุณภาพเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างได้ เช่น การนำดินขาวมาปรับปรุงคุณภาพจะมีกระบวนการที่ง่ายกว่า และราคาต้นทุนถูกกว่า อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าของดินขาว และเป็นการนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า นอกจากนี้ดินขาวยังมีความสำคัญยิ่งต่ออุตสาหกรรมหล่ายประเทก เช่น อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา อิฐ กระเบื้อง กระดาษ ปูนซีเมนต์และอื่นๆ

ดินขาว (Kaolin หรือ Chaina Clay) เป็นแร่ชนิดหนึ่งเรียกว่า คาโอลินิต (Kaolinite) อยู่ในกลุ่มพากแร่ดิน คือดินที่ประกอบด้วยแร่ดินเหนียวคาโอลินิตเป็นส่วนใหญ่ มี Alkali น้อยกว่า 2 % มีเหล็กออกไซด์ ปูนขาว (Lime) แมกนีเซียม (MgO) และไททาเนียม (TiO₂) น้อยมากผลกระทบวิเคราะห์คุณสมบัติของดินขาวมาตรฐานพบว่า มีซิลิก้า (SiO₂) ประมาณ 45% อลูมิเนียม (Al₂O₃) ประมาณ 40% น้ำประมาณ 2% และมลพิษประมาณ 2-3% ส่วนประกอบทางเคมีของดินขาวมักจะไม่คงที่ โดยปกติดินขาวจะมีความขาว มีความเหนียว (Plasticity Index, PI) ประมาณ 25-40%

วัสดุ

1.1 ดินขาว (Kaolin)

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้เก็บดินขาวจากแหล่งที่เปิดเหมือนเชิงพาณิชย์ภายในประเทศ 13 แหล่ง ได้แก่

ภาคเหนือ เก็บจากตำบลบ้านสา ตำบลบุญนาคพัฒนา ตำบลสันตอนแก้ว และตำบลทุ่งฝาย จังหวัดลำปาง และตำบล พฤษภาคม จังหวัดอุตรดิตถ์

ภาคใต้ เก็บจากตำบลหาดส้มแป้น จังหวัดระนอง, ตำบลขุนทด จังหวัดสุราษฎร์ธานี และตำบลเจาะ จังหวัดราชบุรี

ภาคตะวันออก เก็บจากตำบลโลกไม้ลาย จังหวัดปราจีนบุรี และตำบลห้วยยาง จังหวัดระยอง

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เก็บจากตำบลโนนทอง จังหวัดอุดรธานี

ภาคกลาง เก็บจากตำบลด่านทับตะโก จังหวัดราชบุรี และตำบลวังจันทร์ จังหวัดเพชรบุรี

1.2 สารผสมเพิ่ม (Admixture)

สารผสมเพิ่มที่ใช้ผสมกับตัวอย่างดินขาว ที่มีจำนวนน้อยในห้องทดลอง สารผสมเพิ่มใช้ที่ 10 % โดยน้ำหนักดินขาว ซึ่งใช้แตกต่างกันจำนวน 6 สาร คือ

1. โซเดียมซิลิกेटไฮเดรต (Sodiumsilicate Hydrate, $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
2. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate, Na_2CO_3)
3. ไดโซเดียมฟอสเฟตหรือไดโซเดียมไฮโดรเจโนฟอสเฟต (Disodium Hydrogen orthophosphate, Na_2HPO_4)
4. ไตรโซเดียมฟอสเฟต (Trisodium Phosphate, Na_3PO_4)
5. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide, KOH)
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH)

1.3 น้ำ

น้ำที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำสะอาด ใช้น้ำที่ปริมาณความชื้นเท่ากับ OMC ของดินกับสารผสมแต่ละสาร

ระเบียบวิธีการวิจัย

Lee, Han และ Choy ได้ศึกษาเรื่องการเปลี่ยนรูปของชั้น Aluminosilicate จาก 2 มิติไปเป็น 3 มิติ เช่น Kaolinite และ Montmorillonite ที่มี Al_2O_3 เป็นหลัก ให้ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C ผลที่ได้คือ ได้วัสดุแข็งที่เป็นผลลัพธ์ของโซดาไลท์ (Sodalite) เป็นรูปทรงลูกบาศก์ ประกอบด้วยโครงข่ายของ Zeolitic Al – O – Si สถาปัตย์ที่น่าจะระหว่าง Al และ Silica Tetrahedral และพบว่ากลไกสำคัญที่ทำให้เกิด Inorganic Soil Stabilization ก็คือแรงยึดเหนี่ยว สำหรับสารเคมีที่เพิ่มเข้าไปจะใช้ 10 %ของดินแห้ง ซึ่งแสดงให้เห็นการปรับปรุงคุณภาพอย่างชัดเจน

Shi และคณะ ศึกษาปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ของ Alkali-slag cement กับสาร NaOH , $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, Na_3PO_4 , Na_2HPO_4 และ NaF ที่อุณหภูมิ 25 และ 50°C โดยใช้เครื่องมือวัดปริมาณความร้อนที่แสดงสัญญาณปฏิกิริยาไฮเดรชั่น พบรากเป็นการแก้วรักษาของตัวกระดุน จึงได้ใช้ Alkali-slag cement เป็นตัวกระดุนไฮเดรชั่น ไอออนลูน และการแตกตัวของ Ca^{2+} จากชิ้นโลหะจะมีมากกว่าการวัดค่า pH และพบว่าเกิดรูปแบบ peak เริ่มแรกหลายรูปแบบและอัตราของการประเมินค่าความร้อนรวมของ Alkali-activated slag ใน 24 ชั่วโมง จะประเมินได้ตีกว่าชีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดังนั้น Alkali-slag cement ไม่ถือว่าเป็นชีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำ

| การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และวิศวกรรมของดินขาวที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพจากสารประกอบโซเดียมและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และศึกษาแนวโน้มในการปรับปรุงคุณภาพของดินขาวด้วยกลิเมอริซิโลลิเมอไรซั่น โดยใช้สารประกอบโซเดียมและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดย

วิธีคลอเรเมตวิก ซึ่งปั่นด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับรายละเอียดของการดำเนินงานมีดังนี้คือ

1 การทดสอบคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของดินขาว ได้แก่

1. ความถ่วงจำเพาะ ตามมาตรฐาน ASTM D 854
2. ขีดจำกัดแอดเตอร์เบอร์ก ตามมาตรฐาน ASTM D 4318
3. องค์ประกอบทางเคมี โดยใช้เครื่อง X-Ray Fluorescence รุ่น wavelength Disperse X-Ray Spectrometer PW 2400/Philips ทำการวิเคราะห์โดยเตรียมตัวอย่างดินร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 อบให้แห้ง ดำเนินการทดสอบโดยคุณยศรี ใจวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. องค์ประกอบของแร่ดินเหนียว โดยใช้เครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ของ Miniflex ทำการวิเคราะห์โดยเตรียมตัวอย่างดินตัวอย่างดินที่อบแห้ง แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 นำไปอัดด้วยแรงส่วน渺 เท่ากันทุกทิศทางในที่สุดตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนและการกระเจิงของรังสีเอกซ์และความรู้เกี่ยวกับระบบโครงสร้างผลึก
5. ศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของดินเหนียว โดยใช้กล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่น LEO 1455VP เพื่อวิเคราะห์รายละเอียดภาพที่กำลังขยาย 4000 เท่า ในโปรแกรมสำเร็จรูปที่ทำงานบนไมโครคอมพิวเตอร์

2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM D2166

ในการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อทดสอบหากำลังรับแรงอัด จะนำตัวอย่างดินที่ผึ่งแห้งทุกด้วยค้อนยางแล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ผสมดินตัวอย่างกับสารผสมเพิ่มที่ 10 % โดยนำหันกัดดินขาว ใช้น้ำที่ปริมาณความชื้นเหมาะสมเท่ากับ OMC ของดินกับสารผสมแต่ละสาร ทำการบดอัดโดยวิธี Static Compaction โดยใช้แบบหล่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร สูง 50 มิลลิเมตร ในการขันรูปตัวอย่างจะใช้แรงอัดที่ 16 MPa ซึ่งเทียบกับการบดอัดแล้วเป็นแบบสูงกว่ามาตรฐาน หลังจากที่กดออกจากการแบบหล่อแล้ว นำตัวอย่างมาห่อหุ้มด้วยแผ่นฟิล์มอย่างมิดชิดเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น แล้วอบที่อุณหภูมิ 80°C เซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นนำไปปั่นที่อุณหภูมิห้องที่อายุบ่ม 3, 14, 28, 56 วัน (รูปที่ 1) เพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัดจนถึงอายุการปั่น การนำตัวอย่างเข้าเครื่องกดให้แรงอัดด้วยอัตราความเร็ว 1.14 เปอร์เซ็นต์ของความสูงตัวอย่าง ทำการบันทึกค่าแรงอัดและระยะเวลาทดสอบตัวตนถึงกระหั้งตัวอย่างทดสอบถึงจุดวิกฤต นำข้อมูลที่ได้เพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัด (Unconfined Compressive Strength, UCS) และโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity, E_{50})

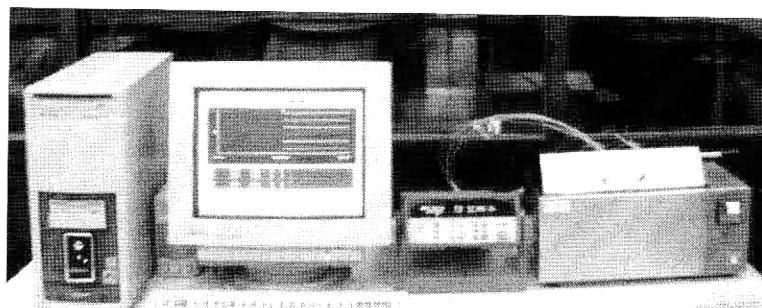
ในการประเมินผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดจะใช้ค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างรูปทรงกรวย 3 ตัวอย่าง ซึ่งมีผลแตกต่างกันไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ในกรณีที่ผลการทดสอบแตกต่างกันเกิน 15 เปอร์เซ็นต์ จะทดสอบตัวอย่างเพิ่มจำนวนกระหั้งผลการทดสอบแตกต่างกันไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ รวมตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทั้งสิ้น 960 ตัวอย่าง



รูปที่ 1 การเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง

3 การเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบการวัดค่าลอรีเมตริก

ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบการวัดปริมาณความร้อนของตัวอย่างดิน จะเตรียมตัวอย่างดินผสมกับสารผสมที่ใช้แตกต่างกัน 6 สาร ในอัตราส่วนและใช้น้ำจากค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมเช่นเดียวกับการทดสอบกำลังรับแรงอัดตามข้อ 2 นำตัวอย่างที่ผสมแล้วใส่ในถุงร้อนขนาดเล็ก และซึ่งน้ำหนัก แล้วจุ่มสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Thermocouple Type K) ลงในตัวอย่างดิน และวางในอ่างน้ำ (Water Baths) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ซึ่งเชื่อมต่อเข้ากับเครื่อง Data Logger และ เครื่องคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 2) ในการประเมินผลการวัดปริมาณความร้อน รวมจำนวนตัวอย่างที่ใช้ประเมินผลทั้งสิ้น 160 ตัวอย่าง



รูปที่ 2 การเตรียมตัวอย่างดินเพื่อทดสอบการวัดค่าลอรีเมตริก

ลำดับ	แหล่งที่มา	Gs (%)	LL. (%)	PL. (%)	PI. (%)	USC	AASHTO
1	ต.บุญนาคพัฒนา จ.ลำปาง	2.65	54.64	32.51	22.13	MH	A-7-5
2	ต.สันدونแก้ว จ.ลำปาง	2.63	53.43	25.40	28.03	CH	A-7-6
3	ต.ทุ่งผ่าย จ.ลำปาง	2.66	40.00	29.16	10.84	ML	A-4(8)
4	ต.บ้านสา จ.ลำปาง	2.69	33.38	10.05	2.69	CL	A-4(8)
5	ต.วังจันทร์ จ.เพชรบูรณ์	2.70	Non Plastic			ML	A-4(8)
6	ต.โนนทอง จ.อุดรธานี	2.69	Non Plastic			ML	A-4(8)
7	ต.ค่านทับตะโก จ.ราชบูรณะ	2.69	Non Plastic			ML	A-4(8)
8	ต.ห้วยยาง จ.ระยอง	2.69	65.34	38.25	27.09	MH	A-7-5
9	ต.ขุนทด เจ.สุราษฎร์ธานี	2.65	50.00	23.22	26.78	CL	A-7-6
10	ต.โคกไม้ลาย จ.ปราจีนบูรณ์	2.64	37.20	15.48	21.72	CL	A-6(13)
11	ต.หาดส้มแป้น จ.ระนอง	2.64	43.40	22.89	20.51	CL	A-7-6
12	ต.ครบ จ.นราธิวาส	2.66	86.00	52.67	33.33	MH	A-7-5
13	ต.พaju จ.อุดรดิตถ์	2.70	30.48	25.54	4.94	ML	A-4(8)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินขาวแต่ละแหล่ง

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์

ในการทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินขาว 13 แหล่ง ได้ผลการทดสอบของค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity,Gs) ปีดจำกัดความเหลว(Liquid Limit,LL) ปีดจำกัดความเหนียว(Plastic Limit,PL) ดัชนีความเหนียว(Plasticity Index,PI) การจำแนกประเภทตามระบบ Unified Soil Classification (USC) และระบบ American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) แสดงในตารางที่ 1

ในการวิเคราะห์ของประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) ของดินขาว 13 แหล่ง แสดงในตารางที่ 2

ลำดับ	แหล่งที่มา	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	K ₂ O(%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Na ₂ O(%)	MgO(%)	CaO(%)	TiO ₂ (%)
1	ต.บุญนาคพัฒนา จ.ลำปาง	61.96	27.14	7.09	1.61	0.48	0.85	0.5	0.11
2	ต.สันตอนแก้ว จ.ลำปาง	66.97	24.10	3.60	2.35	0.30	1.10	0.46	0.83
3	ต.ทุ่งฝ่าย จ.ลำปาง	66.48	25.11	5.76	0.99	0.66	0.49	0.12	0.05
4	ต.บ้านสา จ.ลำปาง	68.75	23.34	5.43	1.10	0.72	0.21	0.12	0.05
5	ต.วังจันทร์ จ.เพชรบูรี	70.23	17.59	5.49	3.34	0.13	1.46	0.06	1.04
6	ต.โนนทอง จ.อุดรธานี	75.79	14.21	5.44	2.78	0.82	0.47	0.03	0.18
7	ต.ด่านทับตะโภ จ.ราชบูรี	73.00	15.72	6.25	2.38	0.06	1.33	0.04	0.95
8	ต.ห้วยยาง จ.ระยอง	50.98	32.17	0.29	14.25	-	1.19	0.34	0.43
9	ต.ขุนทด เจ.สุราษฎร์ธานี	64.46	30.83	1.14	1.51	-	0.42	0.08	1.30
10	ต.โคกไม้ลาย จ.ปราจีนบูรี	75.90	20.60	0.78	0.87	0.19	0.24	0.09	0.88
11	ต.หาดส้มแป้น จ.ระนอง	57.45	36.57	2.80	2.29	0.09	0.2	0.03	0.12
12	ต.ครบ จ.นราธิวาส	58.85	36.82	1.81	0.83	-	0.38	0.03	1.14
13	ต.ผาจุก จ.อุตรดิตถ์	74.92	13.73	6.77	2.92	0.50	0.64	0.12	0.23

ตารางที่ 2 ผลของการวิเคราะห์ดินขาวด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence

ในการวิเคราะห์แร่ดินเหนียวด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) และศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของดินขาวด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) พิจารณาจากรูปที่ 3 และรูปที่ 4 พบว่า

- ดินขาวต่ำบลบุญนาคพัฒนา จังหวัดลำปาง และต่ำบลพานาจุก จังหวัดอุตรดิตถ์ จะเห็นได้ว่าลักษณะผลึกเป็นแผ่นเกล็ดค่อนข้างขนาดใหญ่ ของแร่ดินเหนียวกลุ่ม Kaolinite แสดงว่ามีความสมบูรณ์ของการก่อรูปผลึกค่อนข้างสูง

- ดินขาวต่ำบลวังจันทร์ จังหวัดเพชรบูรี และดินขาวต่ำบลโนนทอง จังหวัดอุตรธานีลักษณะผลึกเป็นแผ่นเกล็ดขนาดปานกลางของแร่ดินเหนียวกลุ่ม Kaolinite แสดงว่ามีความสมบูรณ์ของการก่อรูปผลึกปานกลาง

- ดินขาวต่ำบลห้วยยาง จังหวัดระยอง และต่ำบลครบ จังหวัดนราธิวาส จะเห็นได้ว่าลักษณะผลึกเป็นแผ่นเกล็ดขนาดเล็กปานแผ่นเกล็ดเป้อยของแร่ดินเหนียวกลุ่ม Kaolinite แสดงว่ามีความสมบูรณ์ของการก่อรูปผลึกไม่ได้สักส่วน

- ดินขาวต่ำบลขุนทด เจ.สุราษฎร์ธานี และดินขาวต่ำบลโคกไม้ลาย จังหวัดปราจีนบูรี ลักษณะผลึกเป็นแผ่นเกล็ดขนาดเล็กของแร่ดินเหนียวกลุ่ม Kaolinite แสดงว่ามีความสมบูรณ์ของการก่อรูปผลึกค่อนข้างต่ำ

- ดินขาวต่ำสุดเป็น จังหวัดระนอง จะเห็นได้ว่าลักษณะผลึกเป็นเส้นยาวของแร่ดินเหนียวกลุ่ม Attapulgite เป็นส่วนใหญ่ และกว่ามีความสมบูรณ์ของการก่อรูปผลึกไม่ได้สัดส่วน

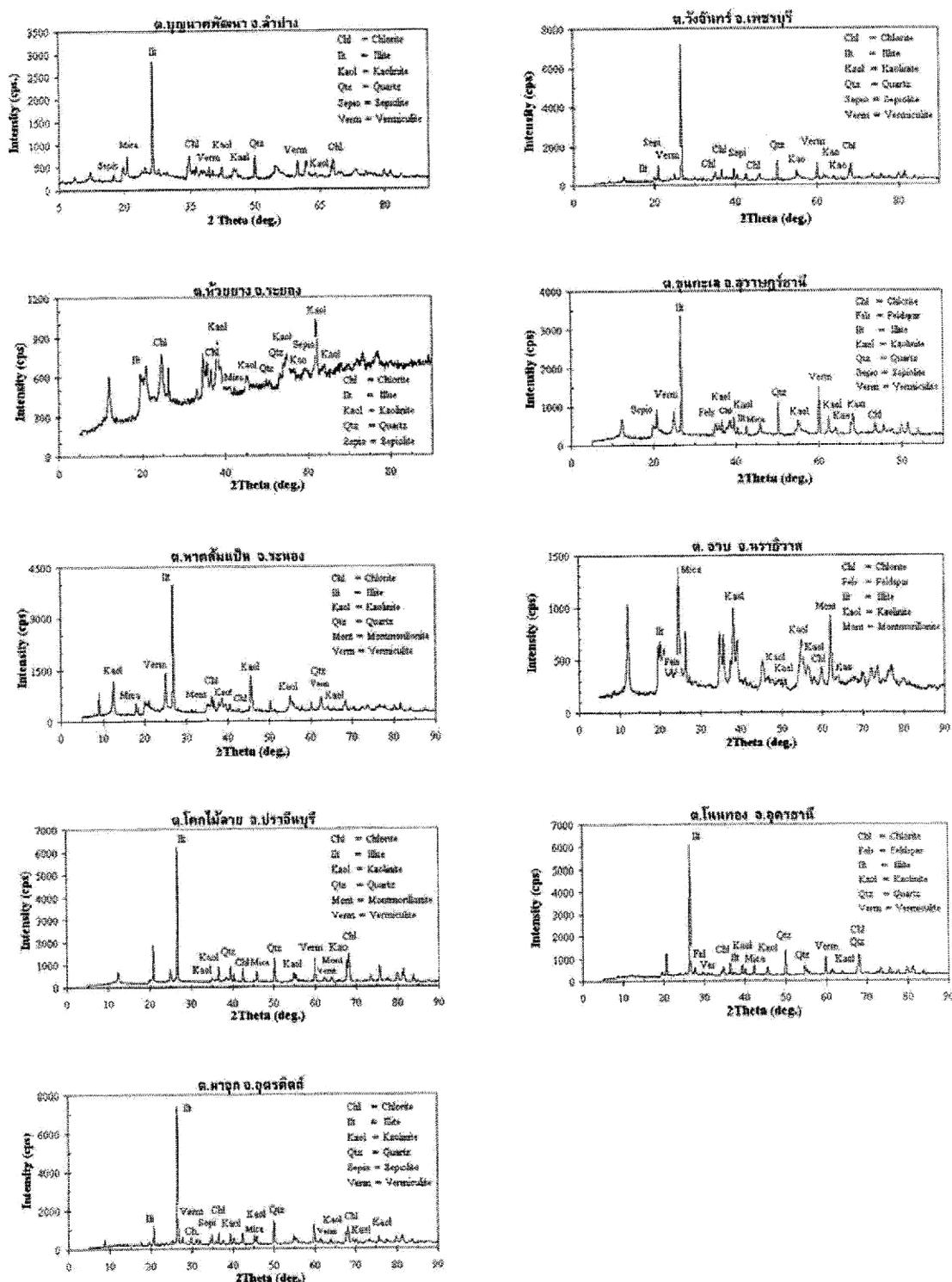
ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของดินขาวเหล่งต่างๆในรูปที่ 5 ส่วนใหญ่พบว่ามีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่สาร KOH และ NaOH ตามลำดับซึ่งก็คือ ดินขาวลำปาง 4 แหล่งมีค่าเฉลี่ย 22.20 MPa และ 12.24 MPa, ดินขาวเพชรบูรณ์มีค่า 20.49 MPa และ 6.35 MPa, ดินขาวรายอยองมีค่า 16.22 MPa และ 14.48 MPa, ดินขาวสุราษฎร์ธานีมีค่า 14.33 MPa และ 14.17 MPa, ดินขาวระยองมีค่า 10.94 MPa และ 15.35 MPa, ดินขาวราษฎร์ฯมีค่า 9.44 MPa และ 16.52 MPa, ดินขาวปราจีนบุรีมีค่า 14.36 MPa ของสาร KOH, ดินขาวอุดรธานีมีค่า 10.55 MPa ของสาร KOH และดินขาวอุดรติดถ้มมีค่า 7.56 MPa ของสาร $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

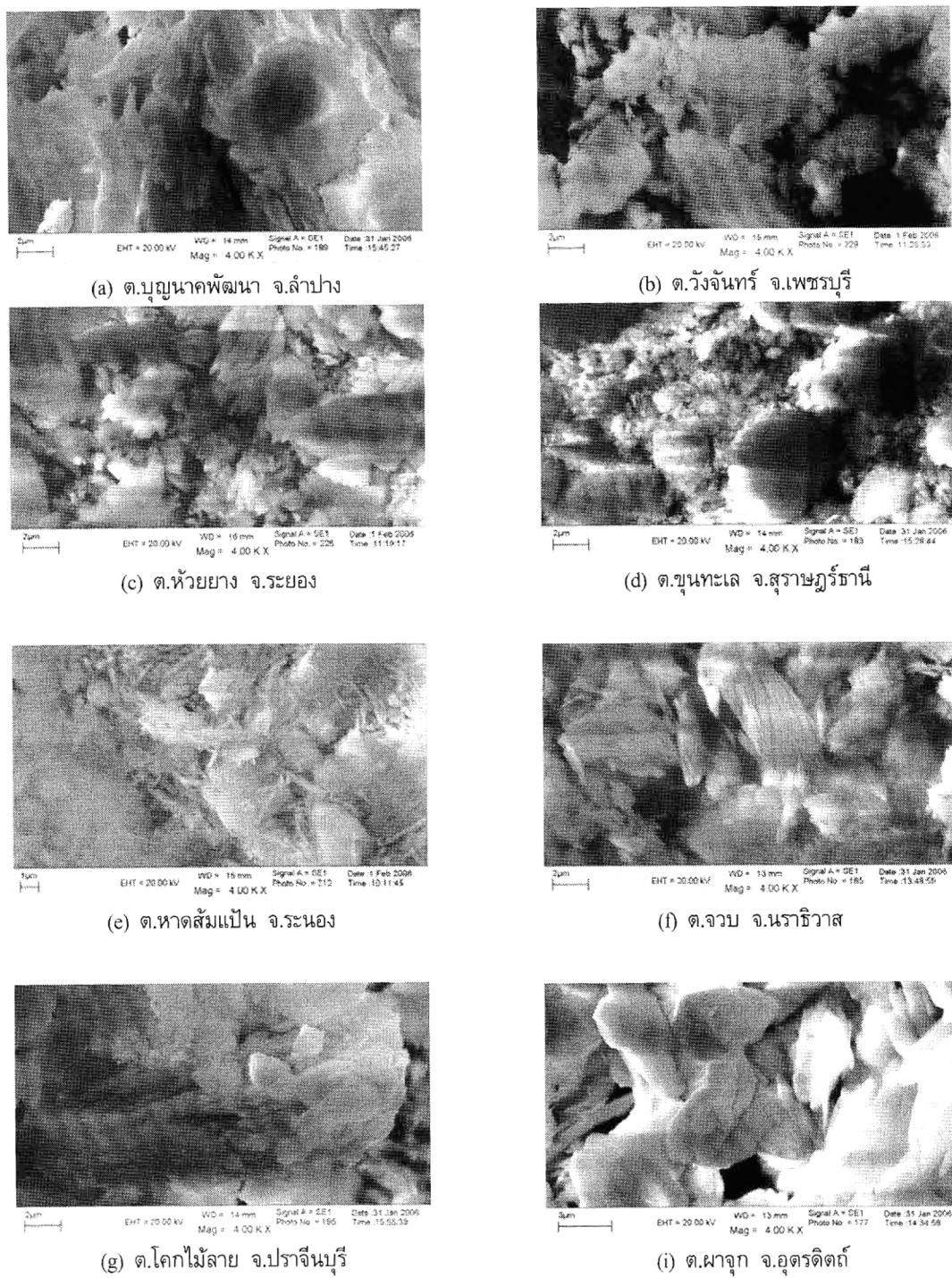
จากการพิจารณาเส้นกราฟของดินขาวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย KOH และ NaOH จะพบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มสูงขึ้นหรือมีแนวโน้มคงที่ หรือลดลงเพียงเล็กน้อยตามอายุการบ่มมากขึ้นที่อายุ 56 วัน ยกเว้นดินขาวอุดรติดถ้มมีแนวโน้มที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มสูงขึ้นที่อายุ 28 วัน หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลง จากรูปที่ 6 จะเห็นว่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E_{50}) ส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดคล่องกับค่ากำลังรับแรงอัด กล่าวคือเมื่อค่ากำลังรับแรงอัดสูงขึ้น จะมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงขึ้นด้วย

ผลการทดสอบการวัดค่าโลหะตriticumของตัวอย่างดินขาว

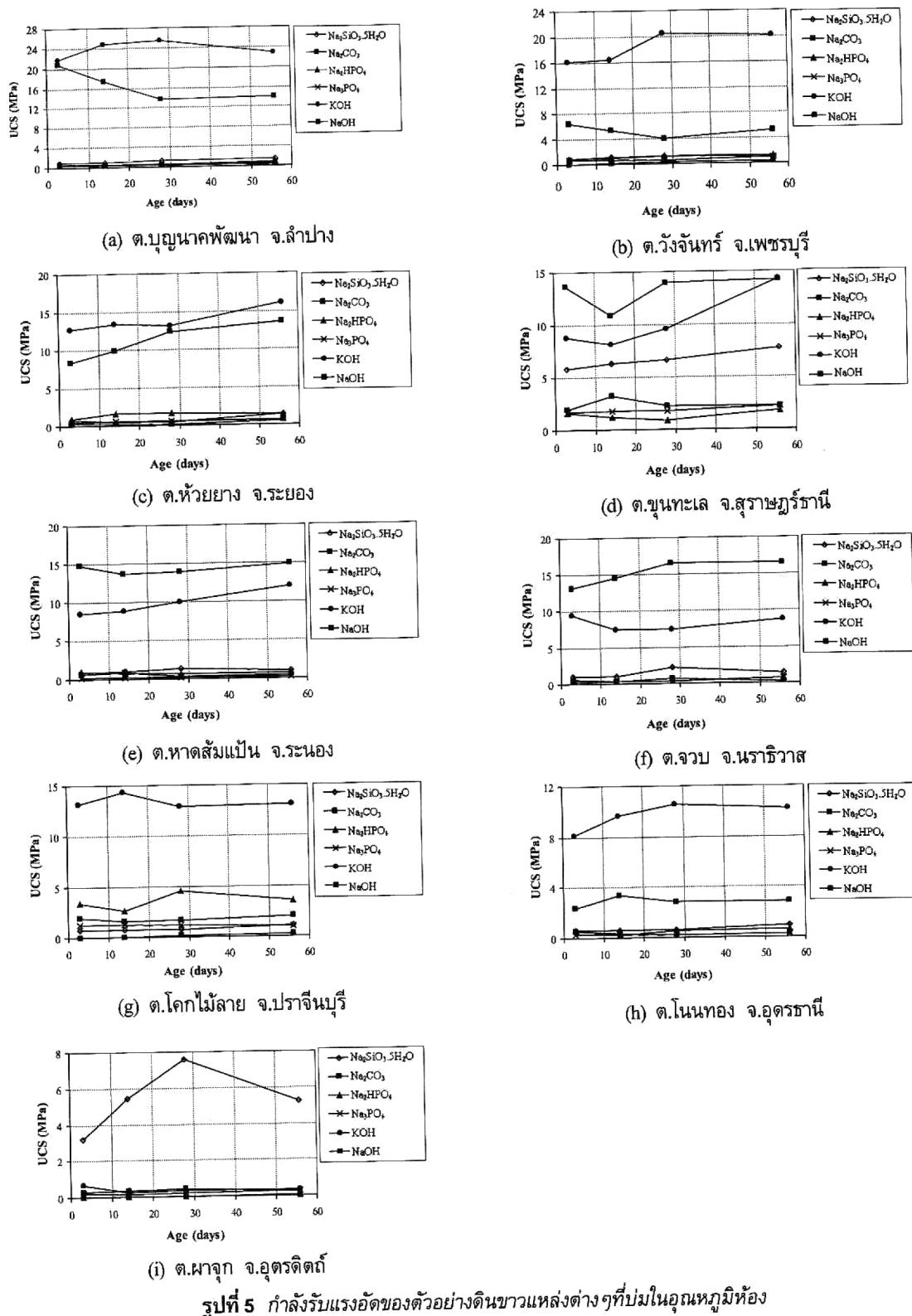
ผลการทดสอบการวัดปริมาณความร้อนของตัวอย่างดินดังแสดงรูปที่ 7 พบว่ากลุ่มตัวอย่างตัวอย่างดินขาวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วจะเกิดปริมาณความร้อนในช่วงแรกมีแนวโน้มสูงขึ้น หลังจากนั้นไม่เกิดปริมาณความร้อนอีก และยังพบว่ากลุ่มดินขาวส่วนใหญ่มีแนวโน้มในการปรับปรุงคุณภาพด้วย KOH และ NaOH ยกเว้นดินขาวอุดรติดถ้มมีแนวโน้มในการปรับปรุงคุณภาพด้วย $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$



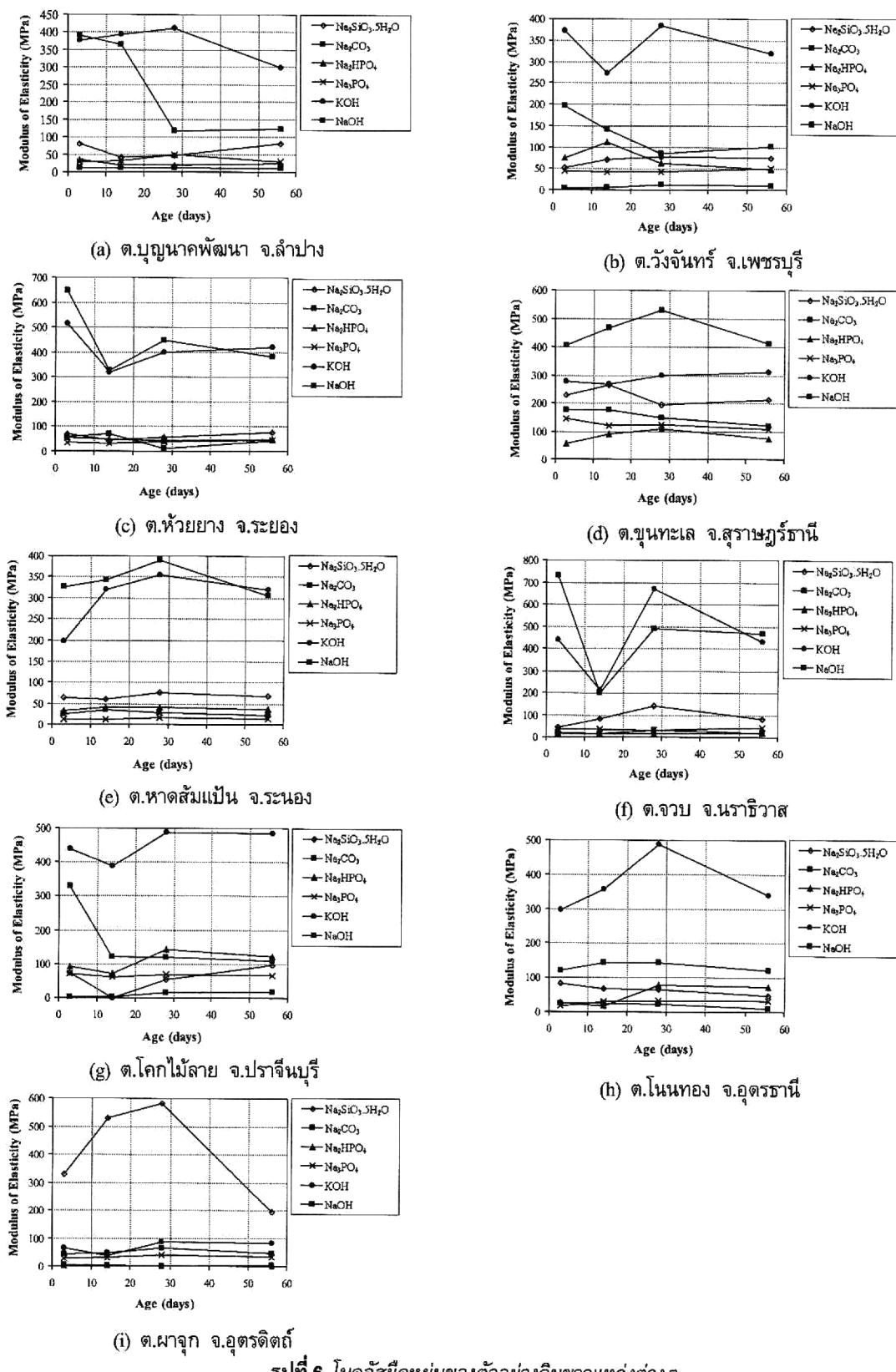
รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์ของตัวอย่างดินแหล่งต่างๆ ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction



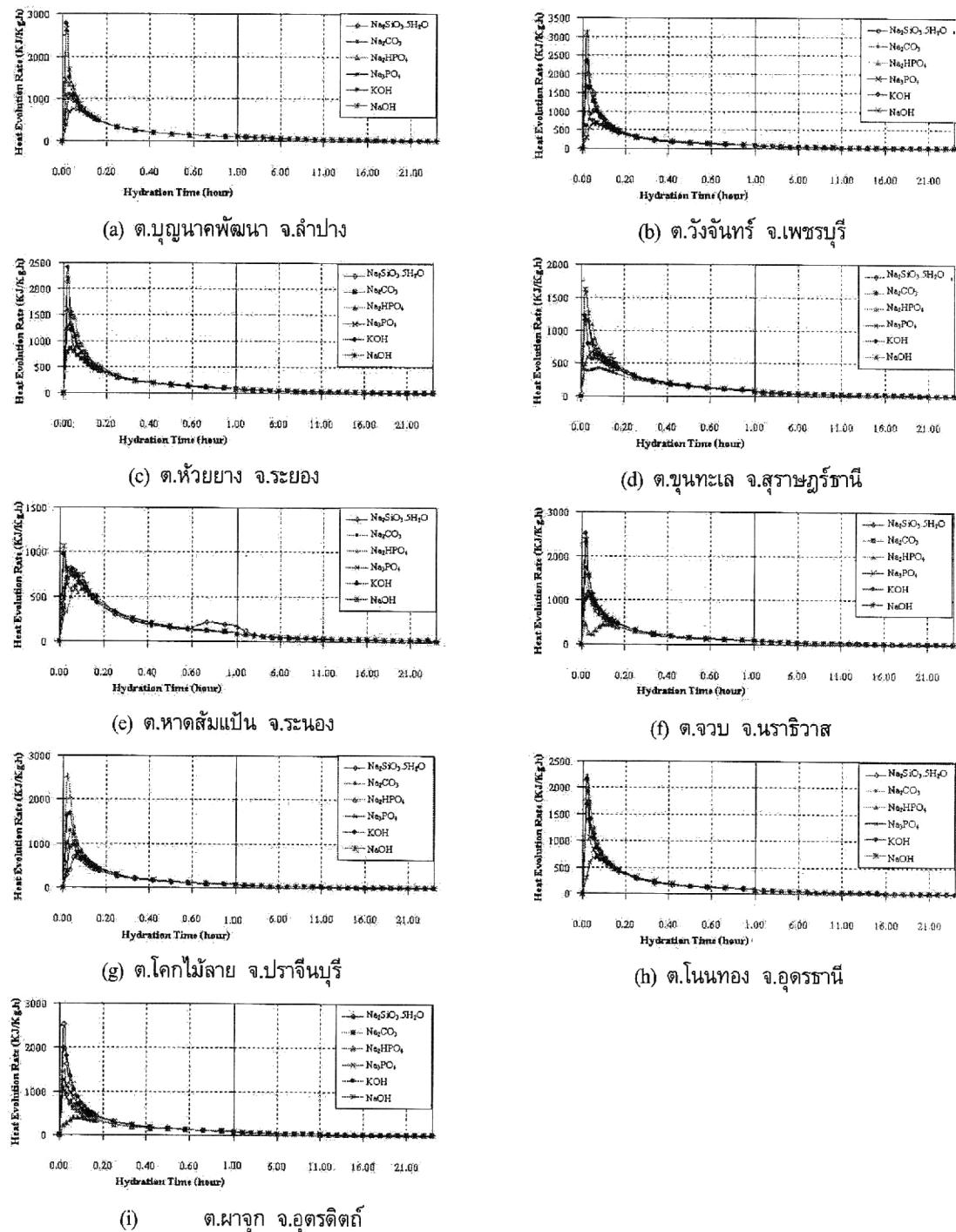
รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของดินขาวด้วย Scanning Electron Microscope



รูปที่ 5 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างติดขาวแหล่งต่างๆที่บ่มในอุณหภูมิท้อง



รูปที่ 6 ໂນດลัลส์ชีดหยุ่นของด้วยร่างดินขาวแห้งต่างๆ



รูปที่ 7 ผลการวัดค่าลอเรนซ์ตริกของตัวอย่างดินขาวแหล่งต่างๆที่ปูมในอย่างนำ

สรุปผลการศึกษา

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดและการวัดค่าลอรีเมตريكของดินขาว สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ดินขาวส่วนใหญ่มีแนวโน้มในการปรับปรุงคุณภาพด้วย KOH และ NaOH ยกเว้นดินขาวอุตรดิตถ์ จะมีแนวโน้มในการปรับปรุงคุณภาพด้วย $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

2. กำลังรับแรงอัดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย KOH และ NaOH ของดินขาวลำปาง, เพชรบูรี, ระยอง, สุราษฎร์ธานี, ระนอง, narathiwat, ปราจีนบุรี, อุดรธานี มีค่าสูงเพียงพอที่จะใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ ในงานก่อสร้างอาคาร หรือใช้ในงานอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา อิฐ กระเบื้องและอื่นๆได้ แต่ยังมีการสูญเสียกำลังอัดในช่วงแรกด้วยความซึมซึ้งของดินขาวไว้ให้คงที่ตลอดเวลา และการลดอุณหภูมิที่ 80 °C ลงเหลืออุณหภูมิบรรยายกาศไม่ให้เร็วเกินไปจนเกิดรอยแตกร้าวในเนื้อวัสดุได้

3. ผลของการวัดค่าลอรีเมตريكพบว่าดินขาวส่วนใหญ่ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วย KOH, NaOH และดินขาวอุตรดิตถ์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ จะมีค่าปริมาณความร้อนในช่วงแรกมีแนวโน้มสูงขึ้นซึ่งแปรผันตรงกับค่ากำลังรับแรงอัด ค่าอัตราของการประเมินค่าความร้อนรวมตั้งกล่าวใน 24 ชั่วโมงสามารถประเมินได้ ดังนั้นดินขาวที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย KOH, NaOH และ $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ไม่ถือว่าเป็นสารผสมที่ให้ความร้อนต่ำ

4. การศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้ตัวส่วนผสม และการตุ้นปฏิกิริยาการวัดค่าลอรีเมตريكที่ 80 °C ที่ค่าเดียว จึงเป็นเพียงการศึกษาความเป็นไปได้ของ การประยุกต์ใช้ในเบื้องต้นเท่านั้น ควรศึกษาอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ตุ้นปฏิกิริยาของดินขาว เพื่อจะให้ดินขาวแต่ละห้องถิ่นมาเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีราคาถูกและมีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมได้

เอกสารอ้างอิง

สมฤทธิ์ เสือคำราม. 2546. การปรับปรุงคุณภาพดินขาวจากจังหวัดปราจีนบูรีโดยกลวิธีโพลิเมอร์ โลเซชั่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาศิวกร มหาบัณฑิต สาขาวิชาศิวกรรรมโยธา คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. : 114 หน้า.

Grim, Ralph E. 1968. **Clay Mineralogy**. Second Edition, Mc Graw-Hill Book Company. New York.

Ingles O.G. & Metcalf. 1972. **Soil Stabilization Principles and Practice**. Sydney, Butterworths.

Mitchell, James K. 1993. **Fundamentals of Soil Behavior**. Second Edition, University of California. John Wiley & Sons Inc. Canada.: 18-40.

Kuzntsov, D. 1969. **Chemical Engineering**. MIR Publishers, Moscow.: 163-168.

Lee, S.R., Han, Y.S. & Choy, J.H., 2002. **2D and 3D Transformation of layered Aluminosilicate Upon Base Treatment**. Science direct. Vol.4, : 343-346.

Shi, C. & Day, R.L. 1995. A calorimetric study of Early Hydration of Alkali-silicate cements. Vol.25, : 1333-1346.