



ภาคผนวก ก  
วัตถุดิบในการเตรียมน้ำดินและการเตรียมน้ำดินหล่อแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

## ก วัตถุดิบในการเตรียมน้ำดินและการเตรียมน้ำดินหล่อแบบ

### ก 1 วัตถุดิบในการเตรียมน้ำดิน

#### 1. ดินขาว (Kaolin)

เป็นวัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์ ทำให้เนื้อดินมีสีขาวหลังการเผา ช่วยให้สีเคลือบหลังการเผาสวยงาม ดินขาวช่วยในการหดตัวในขณะที่ปล่อยให้ผลิตภัณฑ์แห้งในแบบพิมพ์ได้ดี ช่วยให้น้ำดินหล่อแบบแห้งเร็ว และเหมาะสำหรับทำผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสีขาวทุกชนิด

#### 2. ดินดำ (Ball clay)

เป็นวัตถุดิบที่ช่วยให้เกิดความเหนียว ช่วยให้น้ำดินหล่อแบบเกิดการไหลตัวได้ดี ทำให้ส่วนผสมต่างๆ ในเนื้อดินยึดเกาะกันได้ดี ขึ้นรูปได้ง่ายทำหน้าที่คล้ายกาว ผลิตภัณฑ์ที่แห้งมีความแข็งแรงหยาบย่นและเคลื่อนย้ายได้โดยไม่เปราะแตกง่าย

#### 3. ควอตซ์หรือซิลิกา (Quartz or silica)

เป็นวัตถุดิบที่เสริมความแข็งแรงให้ผลิตภัณฑ์ เปรียบเสมือนโครงกระดูกของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความทนไฟ ไม่ทรุดตัวหลังการเผา และช่วยเปิดเนื้อดิน ทำให้เนื้อดินผึ่งแห้งได้เร็วขึ้นโดยไม่แตกร้าว

#### 4. เฟลด์สปาร์ (Feldspar)

ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิในการเผา และทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้อนุภาคดินและควอตซ์เป็นเนื้อเดียวกันในขณะเผา ทำให้ดินสุกตัวในอุณหภูมิที่ต้องการ ลดการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์หลังการเผา เพิ่มความโปร่งแสงให้ผลิตภัณฑ์พอร์ซเลน

#### 5. สารเคมีที่ช่วยให้น้ำดินเกิดการกระจายตัว (Deflocculant)

การเตรียมน้ำดินหล่อแบบให้มีการไหลตัวที่ดีได้ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเติมสารเคมีที่เหมาะสมลงไป ซึ่งนอกจากน้ำดินไหลตัวได้ดีแล้ว จะต้องมีความหนืดคงที่ ระยะเวลาในการแข็งตัวของน้ำดินสั้น การหล่อแบบผลิตภัณฑ์ทุกครั้งได้ผลสม่ำเสมอมีมาตรฐานเดียวกัน สิ่งเหล่านี้เป็นคุณสมบัติที่ดีของน้ำดินหล่อ

สารเคมีที่ช่วยให้เกิดการกระจายตัว (Deflocculating agents) แบ่งออกได้ดังนี้

#### 1. สารเคมีประเภทต่างหรือเกลือต่างๆ

- โซเดียมซิลิเกต
- โซเดียมคาร์บอเนต
- โซเดียมพอลิฟอสเฟต
- โซเดียมพอลิอะคริเลต

- โซเดียมออกซาลาเลท
- โซเดียมเฮกซะเมตทาฟอสเฟต

## 2. สารเคมีที่เป็นสารประกอบของพอลิเมอร์

- ดิสเพกซ์ (Dispex) แอมโมเนียมพอลิอะคริเลท (ชื่อทางการค้า)
- ดาแวน (Davan 7) (ชื่อทางการค้า)
- อัลโคสเพิร์ท (Alcosperse) (ชื่อทางการค้า)
- คอลลอยด์ (Colloids 211) (ชื่อทางการค้า)

## ก 2 การเตรียมน้ำดินหล่อแบบ

การเตรียมน้ำดินหล่อแบบสามารถเตรียมได้ 2 วิธีคือ การเตรียมจากวัตถุดิบแห้ง และเตรียมจากวัตถุดิบที่เปียกหรือมีความชื้น ซึ่งผ่านการบดละเอียดมาแล้ว

### การเตรียมน้ำดินหล่อแบบจากวัตถุดิบแห้ง

วัตถุดิบทุกชนิดที่นำมาผสมทำน้ำดินหล่อแบบ ควรผ่านการบดละเอียดมาก่อน และร่อนผ่านตะแกรง 100 เมช ไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบดินขาว ดินดำ ควอตซ์ หรือเฟลด์สปาร์ วัตถุดิบเหล่านี้จะต้องแห้งสนิทก่อนนำมาชั่งตามอัตราส่วนผสม ซึ่งวิธีการเตรียมน้ำดินจะใช้สมการที่ (ก 1) เพื่อคำนวณในการเตรียมน้ำดิน

$$\text{Density of slurry} = \frac{W_s + W_l}{(W_s / \rho_s) + (W_l / \rho_l)} \quad (\text{ก 1})$$

เมื่อ  $W_s$  คือ น้ำหนักของดิน (g)

$W_l$  คือ น้ำหนักของน้ำ (ml)

$\rho_s$  คือ ความหนาแน่นของดิน (g/ml)

$\rho_l$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ (ประมาณ 1 g/ml)

ยกตัวอย่างในการเตรียมน้ำดิน เช่น ถ้าต้องการเตรียมน้ำดินให้มีความหนาแน่น 1.7 จำนวน 10,000 กรัม โดยมีอัตราส่วนผสมของดินขาว 5,000 กรัม (ความหนาแน่น 2.61 กรัมต่อมิลลิกรัม) ควอตซ์ 2,500 กรัม (ความหนาแน่น 2.65 กรัมต่อมิลลิกรัม) และเฟลด์สปาร์ 2,500 กรัม (ความหนาแน่น 2.63 กรัมต่อมิลลิกรัม) และปริมาณโซเดียมซิลิเกตที่ใช้คือ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (สารช่วยกระจายตัวอยู่ในสถานะของเหลว มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.39 กรัมต่อมิลลิกรัม)

### วิธีคำนวณหาปริมาณน้ำในการเตรียมน้ำดินให้มีความหนาแน่น 1.7

$$\text{Density of slurry} = \frac{W_s + W_l}{(W_s / \rho_s) + (W_l / \rho_l)}$$

$$1.7 = \frac{10000 + W_l}{\left(\frac{5000}{2.61} + \frac{2500}{2.65} + \frac{2500}{2.63}\right) + \frac{W_l}{1}}$$

แก้สมการหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมน้ำดิน ( $W_l$ )

$$W_l = 5,034 \text{ มิลลิลิตร}$$

### วิธีคำนวณปริมาณสารช่วยกระจายตัวที่ใช้

ปริมาณสารโซเดียมซิลิเกตที่ใช้ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีความหนาแน่น 1.39 กรัมต่อมิลลิลิตร

$$D = \frac{M}{V} = \frac{0.25(g)}{1.39(g/ml)}$$

$$= 0.1798 \text{ ml}$$

วัตถุดิบ 100 กรัม เติมโซเดียมซิลิเกต 0.1798 มิลลิลิตร

ถ้าวัตถุดิบ 10,000 กรัม เติมโซเดียมซิลิเกต  $\frac{0.1798 \times 10000}{100} = 17.98$  มิลลิลิตร

เมื่อคำนวณปริมาณดิน น้ำ และ โซเดียมซิลิเกตที่ใช้ได้แล้วจึงลงมือทำการเตรียมน้ำดิน ดังนี้  
 ชั่งน้ำ 5,034 มิลลิลิตร และตวงปริมาณสารโซเดียมซิลิเกต 17.98 มิลลิลิตร เทใส่ถังกวน แล้วปั่นให้  
 โซเดียมซิลิเกตให้เกิดกระจายตัว หลังจากนั้นเติมดินที่ชั่งตามอัตราส่วนผสมของสูตรลงในถังกวน  
 และปั่นให้น้ำดินเกิดการกระจายตัวเป็นเวลา 4 ชั่วโมง หมักน้ำดินไว้เป็นเวลา 1 คืน แล้วนำไปหล่อ  
 แบบในวันถัดไป ก่อนจะทำการหล่อแบบต้องวัดค่าความหนืดก่อนเพื่อตรวจสอบพฤติกรรมการ  
 ไหลของน้ำดินว่าไหลตัวดีหรือไม่

### การเตรียมน้ำดินหล่อแบบจากวัตถุดิบเปียก

วิธีนี้เป็นที่นิยมของโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป วัตถุดิบทุกชนิดถูกชั่งตามอัตราส่วนของเนื้อดินโดยนำมาหักค่าความชื้นออกนำมาบดในหม้อบด เติมวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียวลงบดก่อน เช่น เฟลด์สปาร์ และควอตซ์ บดไปประมาณ 8-10 ชั่วโมง หรือ 1 วัน จึงเติมดินต่ำลงไปบดต่อแล้วเติมดินขาวประการสุดท้าย บดรวมกันประมาณ 5-6 ชั่วโมง เมื่อวัตถุดิบมีความละเอียดดีแล้วเกรอะดินให้แห้ง หรือนำดินเข้าเครื่องกรองแบบอัด (Filter press) เพื่ออัดเอาน้ำดินออกจากเนื้อดิน จะได้ดินแผ่น (Filter cake) พร้อมทั้งจะนำไปใช้งาน

ในกรณีที่โรงงานไม่ได้เตรียมน้ำดินไว้ใช้เองก็สามารถซื้อดินสำเร็จ ซึ่งจำหน่ายเป็นถุงๆ ละ 50 กิโลกรัม เลือกเนื้อดินและอุณหภูมิการเผาตามที่ต้องการ เพื่อใช้เตรียมน้ำดินหล่อ ดินเปียกมีปริมาณน้ำอยู่ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังนั้นการเตรียมน้ำดินชนิดนี้ใช้น้ำปริมาณน้อยกว่าการเตรียมจากวัตถุดิบแห้ง

**ยกตัวอย่างในการเตรียมน้ำดิน** เช่น ถ้าต้องการเตรียมน้ำดินให้มีความหนาแน่น 1.7 จำนวน 10,000 กรัม ความหนาแน่นของเนื้อดิน 2.63 กรัมต่อมิลลิกรัม ความชื้นของเนื้อดินที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และปริมาณโซเดียมซิลิเกตที่ใช้คือ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (สารช่วยกระจายตัวอยู่ในสถานะของเหลว มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.39 กรัมต่อมิลลิกรัม )

### วิธีคำนวณหาปริมาณน้ำในการเตรียมน้ำดินให้มีความหนาแน่น 1.7

$$\text{Density of slurry} = \frac{W_s + W_l}{(W_s / \rho_s) + (W_l / \rho_l)}$$

$$1.7 = \frac{10000 + W_l}{\left(\frac{10000}{2.63}\right) + \frac{W_l}{1}}$$

แก้สมการหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมน้ำดิน ( $W_l$ )

$$W_l = 5,052 \text{ มิลลิกรัม}$$

### วิธีคำนวณการหักน้ำออกจากเนื้อดิน

เนื้อดิน 100 กรัม มีความชื้น 20 กรัม

$$\text{ถ้าเนื้อดิน 10,000 มีความชื้น } \frac{20 \times 10000}{100} = 2000 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นปริมาณน้ำที่จะใช้ในการเตรียมน้ำดินจริงคือ  $5,052 - 2,000 = 3,052$  กรัม

### วิธีคำนวณปริมาณสารช่วยกระจายตัวที่ใช้

ปริมาณสารโซเดียมซิลิเกตที่ใช้ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีความหนาแน่น 1.39 กรัมต่อมิลลิลิตร

$$D = \frac{M}{V} = \frac{0.25(g)}{1.39(g/ml)} = 0.1798 \text{ ml}$$

วัตถุดิบ 100 กรัม เติมโซเดียมซิลิเกต 0.1798 มิลลิลิตร

$$\text{ถ้าวัตถุดิบ 10,000 กรัม เติมโซเดียมซิลิเกต } \frac{0.1798 \times 10000}{100} = 17.98 \text{ มิลลิลิตร}$$

เมื่อคำนวณปริมาณดิน น้ำ และโซเดียมซิลิเกตที่ใช้ได้แล้วจึงลงมือทำการเตรียมน้ำดิน ดังนี้ ชั่งน้ำ 3,052 มิลลิลิตร และตวงปริมาณสารโซเดียมซิลิเกต 17.98 มิลลิลิตร เทใส่ถังกวน แล้วปั่นให้โซเดียมซิลิเกตให้เกิดกระจายตัว หลังจากนั้นนำเนื้อดินที่ตัดเป็นชิ้นเล็กจำนวน 10,000 กรัม ใส่ลงไปถังกวน และปั่นให้น้ำดินเกิดการกระจายตัวเป็นเวลา 4 ชั่วโมง หมักน้ำดินไว้เป็นเวลา 1 คืน แล้วนำไปหล่อแบบในวันถัดไป ก่อนจะทำการหล่อแบบต้องวัดค่าความหนืดก่อนเพื่อตรวจสอบพฤติกรรมการไหลของน้ำดินว่าไหลตัวดีหรือไม่



ภาคผนวก ข

ส่วนประกอบ การทำงาน การเตรียมการวัดตัวอย่าง เทคนิค และข้อควรระวังของเครื่องวัด  
ความหนืด Brookfield viscometer

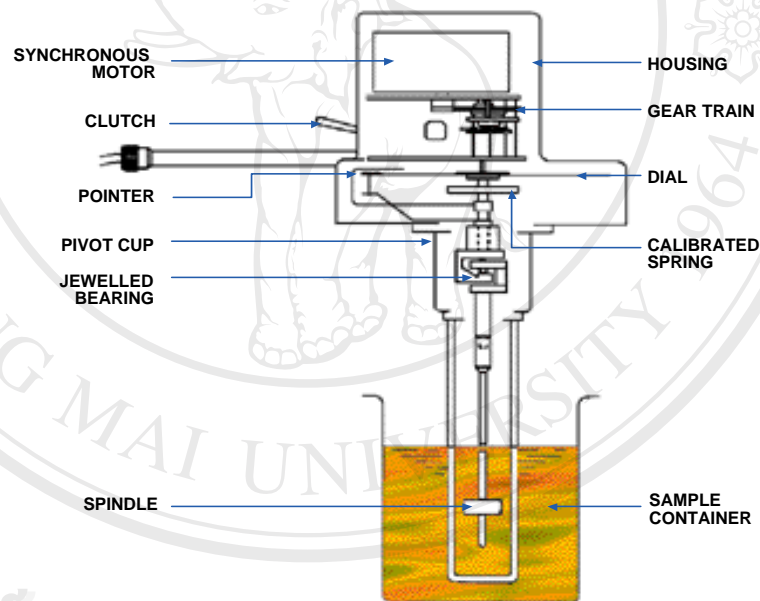
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved



ข ส่วนประกอบ การทำงาน การเตรียมการวัดตัวอย่าง เทคนิค และข้อควรระวังของเครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer

#### ข 1 ส่วนประกอบของเครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer

จากรูปที่ ข 1 จะเห็นว่าภายในฝาครอบด้านบนประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือ มอเตอร์และสปริงที่ทำด้วยเบริลเลียม-คอปเปอร์ (Beryllium-copper, Be-Cu) ซึ่งผ่านการปรับเทียบมาแล้วโดยต่ออยู่กับเพลา และมีทรานส์ดิวเซอร์เป็นตัวตรวจจับตำแหน่งมุมสัมผัสของเพลา ถัดลงมาเป็นส่วนซึ่งห่อหุ้มเพลาส่วนบน และมีช่องให้เพลาส่วนล่างยื่นออกมา ภายในส่วนที่ห่อหุ้มเพลายังมีแปรง ซึ่งทำหน้าที่ค้ำจุนเพลาส่วนบนเอาไว้ และส่วนปลายของเพลาที่ยื่นออกมาก็จะมีเกลียวที่ใช้ต่อกับเข็มต่อไป



รูปที่ ข 1 ส่วนประกอบของเครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer

#### ข 2 หลักการทำงานของเครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer

เครื่องวัดความหนืด สามารถวัดค่าความหนืดได้โดยอาศัยการวัดค่าทอร์กที่ต้องการใช้ในการหมุนเข็มที่จุ่มอยู่ในของเหลว ซึ่งเข็มจะถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ผ่านสปริงที่ผ่านการปรับตั้งตำแหน่งแล้ว การเบี่ยงเบนตำแหน่งของสปริงจะถูกตรวจจับโดยทรานส์ดิวเซอร์ซึ่งจะทำการแปลงสัญญาณและแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข



จากนิยามของความหนืด ความต้านทานต่อการไหลซึ่งแสดงให้เห็นจากองศาการหมุนตัวของสปริงจะแปรผันโดยตรงกับความเร็วในการหมุนเข็มและมีความสัมพันธ์กับขนาดและรูปร่างของเข็ม โดยแรงต้านจะเพิ่มขึ้นถ้าใช้เข็มขนาดใหญ่หรือใช้ความเร็วในการหมุนสูงขึ้น สำหรับเครื่องวัดความหนืดรุ่นหนึ่งๆ ช่วงความหนืดที่ต่ำที่สุดจะเกิดจากการใช้เข็มขนาดใหญ่ที่สุดและใช้ความเร็วในการหมุนสูงสุด และถ้าต้องการเลือกในช่วงความหนืดที่สูงที่สุดจะต้องใช้เข็มขนาดเล็กที่สุดและความเร็วต่ำที่สุด การวัดค่าความหนืดของสารตัวอย่างโดยใช้เข็มที่เหมาะสม แล้วทำการวัดที่ความเร็วต่างๆ นั้น จะมีประโยชน์ต่อการศึกษาสมบัติทางด้านพฤติกรรมการไหลของของเหลวชนิดนั้นได้

### ข 3 การเตรียมการวัดตัวอย่างของเครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer

1. ปรับระดับลูกน้ำ และปรับศูนย์ของเครื่อง (Autozero)
2. เตรียมสารตัวอย่างโดยใช้บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ใส่สารตัวอย่าง 500 มิลลิลิตร ถ้าหัวเข็มมีขนาดใหญ่ แต่ถ้าหัวเข็มมีขนาดเล็ก เช่น ชุดหัววัดเป็นแบบ Small Sample Adapter จะต้องใส่สารประมาณ 10 มิลลิลิตร
3. เลือกหัวเข็มและความเร็ว
4. ใส่หัวเข็มเข้ากับเครื่องวัดความหนืด
5. ปรับระดับหัวเข็มให้จุ่มลงในตำแหน่งที่กำหนด
6. ใส่รหัสเข็มและความเร็วที่ใช้

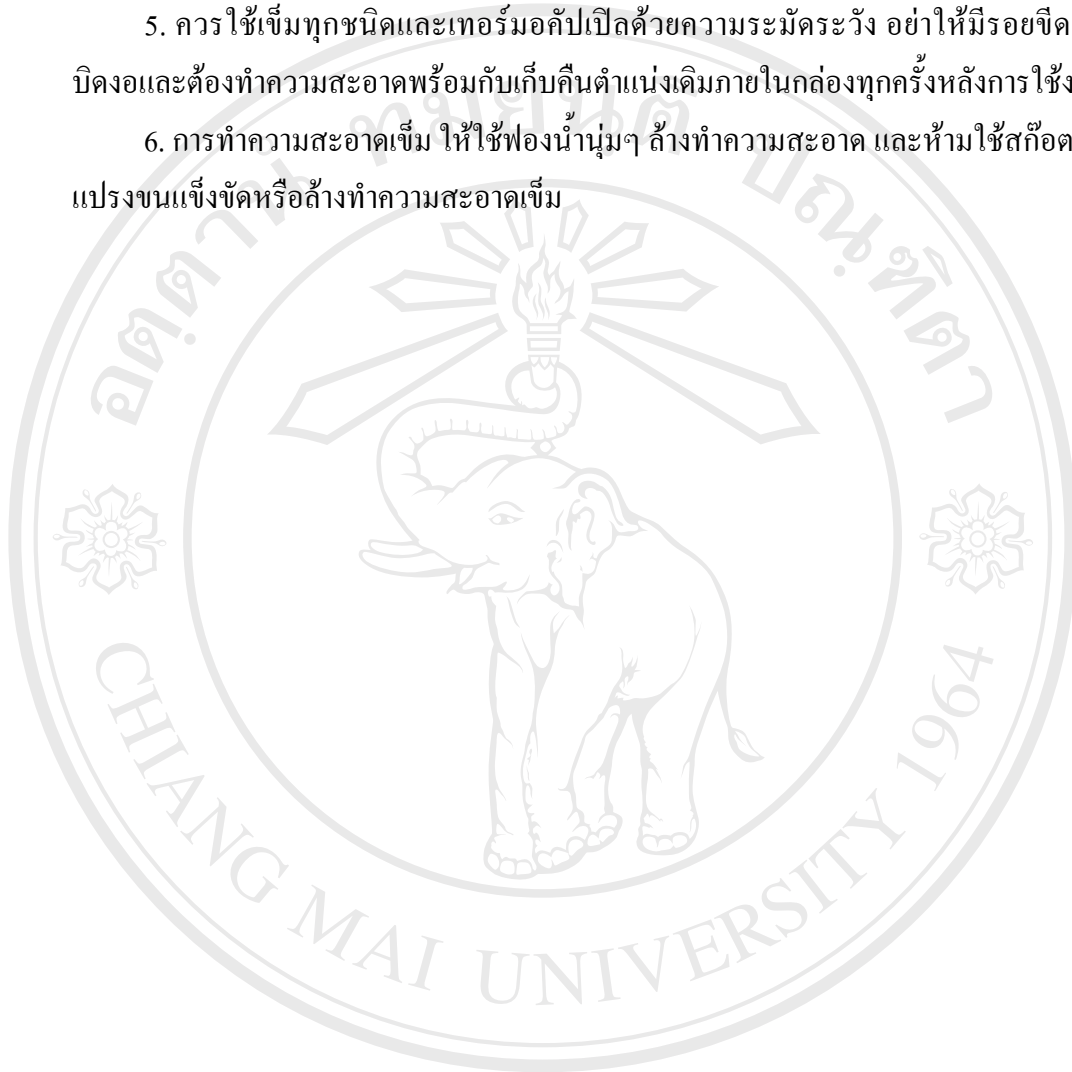
### ข 4 เทคนิคและข้อควรระวังของเครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer

1. การวัดค่าความหนืดแต่ละครั้ง ควรเลือกชนิดและขนาดของเข็มรวมทั้งความเร็วรอบให้เหมาะสม (เข็มเบอร์ต่ำจะเหมาะกับสารตัวอย่างที่มีความหนืดน้อยๆ ส่วนเข็มเบอร์สูงจะเหมาะกับสารที่มีความหนืดสูงๆ) โดยอาศัยค่าเปอร์เซ็นต์ทอร์คที่อ่านได้เป็นหลัก ถ้าค่าที่อ่านได้มีความใกล้เคียง 100 เปอร์เซ็นต์มาก ค่าความหนืดก็จะยังมีความถูกต้องมากขึ้น
2. การวัดความหนืดของสารตัวอย่างชนิดไม่ไหลคืนใช้เข็มรูปตัว T ควรใช้ความเร็วรอบต่ำๆ เนื่องจากการใช้ความเร็วสูงจะทำให้ค่าความหนืดแกว่งมาก ทำให้ยากแก่การบันทึกค่าที่ต้องการ
3. การติดตั้งเข็มเข้ากับเดือยหมุน ต้องใช้มือข้างหนึ่งยกเดือยขึ้น และจับให้อยู่กับที่แล้วใช้มืออีกข้างหนึ่งหมุนเกลียวเข็มเข้ากับเดือยตามเข็มนาฬิกาให้แน่น และเมื่อต้องการถอดเข็มออกก็ต้องยกเดือยขึ้นด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เพื่อไม่ให้สปริงที่ผ่านการปรับเทียบมาแล้วนั้นเกิดการเคลื่อนตำแหน่งไปจากเดิม

4. การล้างหรือทำความสะอาดหลอดไฟตัวอย่าง ควรระวังบริเวณหัวที่ต่อกับสารวัดอุณหภูมิ อย่าให้เปียกน้ำ

5. ควรใช้เข็มทุกชนิดและเทอร์มอคัปเปิดด้วยความระมัดระวัง อย่าให้มีรอยขีดข่วนหรือบีดงและต้องทำความสะอาดพร้อมกับเก็บคืนตำแหน่งเดิมภายในกล่องทุกครั้งหลังการใช้งาน

6. การทำความสะอาดเข็ม ให้ใช้ฟองน้ำนุ่มๆ ล้างทำความสะอาด และห้ามใช้สก็อตไบท์หรือแปรงขนแข็งขัดหรือล้างทำความสะอาดเข็ม



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved



ภาคผนวก ค  
รูปเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

ค รูปเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ ค 1 เครื่องวัดขนาดอนุภาค



รูปที่ ค 2 เครื่องวัดพื้นที่ผิว



รูปที่ ค 3 เครื่องวัดปริมาณสารอินทรีย์



รูปที่ ค 4 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์





รูปที่ ค 5 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน



รูปที่ ค 6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน



รูปที่ ค 7 เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าซีต้า



รูปที่ ค 8 เครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer





รูปที่ ค 9 หัวเข็มและภาชนะใส่สารของเครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer



รูปที่ ค 10 เครื่องวัดความหนืด Rion viscometer



รูปที่ ค 11 หัวเข็มของเครื่องวัดความหนืด Rion viscometer



รูปที่ ค 12 เครื่องวัดความชื้น



รูปที่ ก 13 เครื่องชั่ง



รูปที่ ก 14 เครื่องกวนสาร

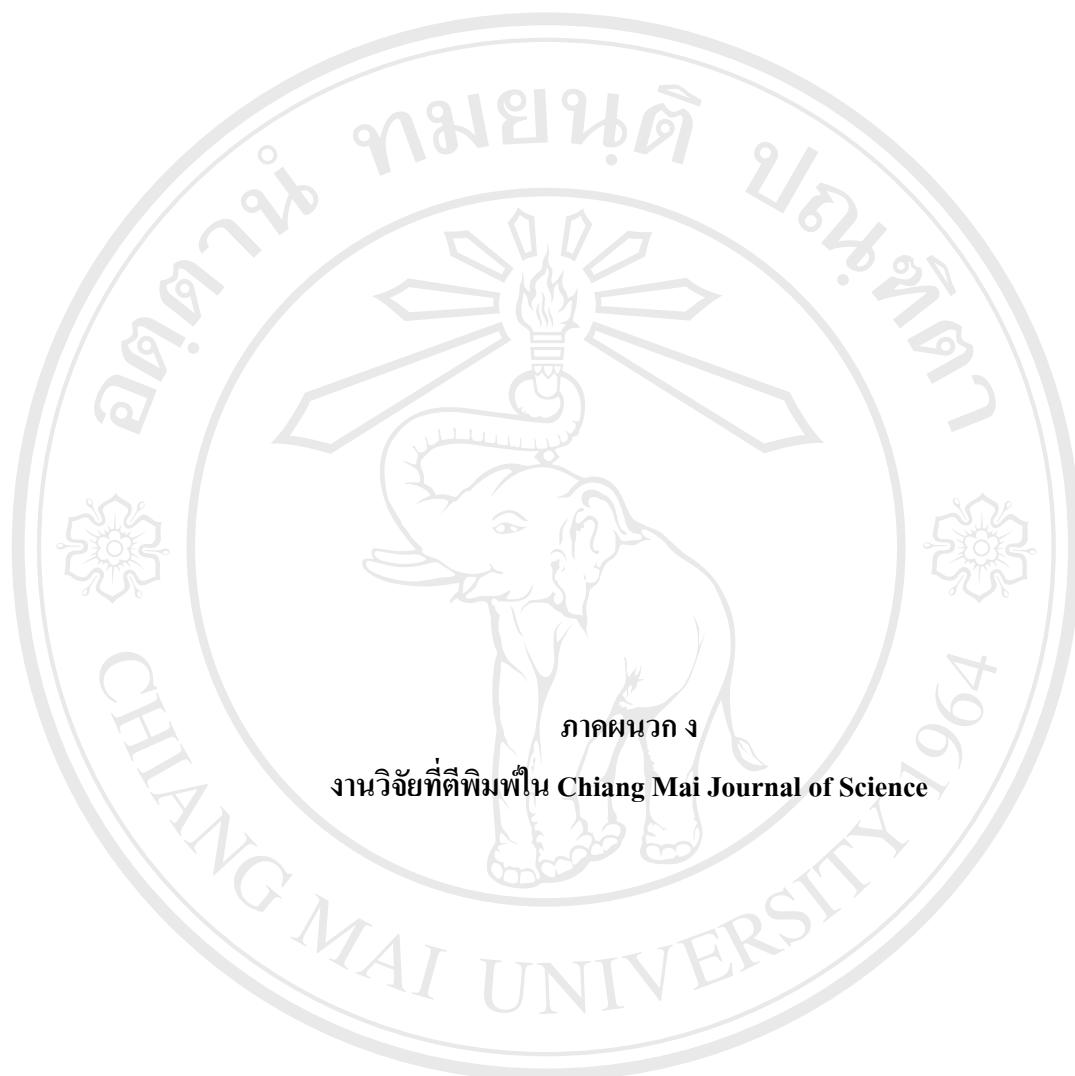


รูปที่ ค 15 เครื่องวัดพีเอช



รูปที่ ค 16 ตะแกรงร้อน





ภาคผนวก ง

งานวิจัยที่ตีพิมพ์ใน Chiang Mai Journal of Science

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved



Chiang Mai J. Sci. 2006; 33(2) : first page - last page

[www.science.cmu.ac.th/journal-science/josci.html](http://www.science.cmu.ac.th/journal-science/josci.html)

Contributed Paper

## Electrokinetic Properties of Kaolins, Sodium Feldspar and Quartz

Sitthitsak Prasarnphan and Apinon Nuntiya\*

Department of Industrial Chemistry, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

\*e-mail address: [anuntiya@chiangmai.ac.th](mailto:anuntiya@chiangmai.ac.th)

### ABSTRACT

Zeta potential of three kaolins (Ranong, Lampang and Narathiwat), sodium feldspar and quartz were determined as a function of pH and in the presence of sodium silicate. From the experimental results, it was found that the increase of the suspension pH resulted in an increase in the negative charge of the three kaolins, sodium feldspar and quartz. Furthermore, when sodium feldspar and quartz were added to either of the kaolins, it was found that the zeta potential of the mixtures decreased (being less negative) as the concentration of sodium feldspar and quartz increased. The results also indicate that the zeta potential of the 25wt% sodium feldspar-25% w/w quartz-50wt% kaolin mixtures were more negatively charge than those of sodium feldspar and quartz, but less negatively charge than that of the kaolins. The addition of sodium silicate into the suspensions provided higher negative zeta potential. The three kaolins and sodium feldspar did not show any isoelectric point, but quartz showed isoelectric points at pH about 2.13 and 2.77 in the absence and presence of sodium silicate in suspensions, respectively.

**Keywords:** isoelectric point, kaolin, quartz, sodium feldspar and zeta potential.

### 1. INTRODUCTION

The structure of a kaolinite is based on the combination of two layer structures. One layer, known as the silica layer, is composed of silicon and oxygen atoms, and the second layer, known as the gibbsite layer, is composed of aluminium atoms and hydroxyl groups. The kaolinite crystal consists of a large number of two-layer units held together with hydrogen bonds [1-5]. Kaolinite platelets have negative charges on basal surface due to substitution, positive and negative charges on edge surface due to broken bond at the edge [4,6].

The basic feldspar structure consists of a ring of four tetrahedral unit; potassium and sodium feldspar have three silicon tetrahedra and one aluminium tetrahedron, while, in calcium feldspar, half of the four tetrahedral

units are silicon-based and another half are aluminium-based [7,8]. The surface of feldspar is composed of positive and negative sites. The positive charges are mostly  $\text{Na}^+$  ions in albite and  $\text{K}^+$  ions in orthoclase, and the negative sites are polar silanol groups or nonpolar siloxane group [9,10].

The basic structure of quartz ( $\text{SiO}_2$ ) consists of a tetrahedral with oxygen anions at its apexes and a centrally positioned silicon atom. A complete tetrahedron, then, has four negative ions [11]. When quartz crystal is crushed in a dry environment, broken Si-O bonds will result in reactive surface sites, on which atmospheric water molecules can chemisorb to cover the surface with hydroxyl group (silanol group) [7,11].

When placed in water, surface hydroxyl groups of kaolinite, feldspar and quartz react



with either  $H^+$  or  $OH^-$  at low and high pH, respectively, creating either a positively or negatively charged surface [7, 10-14]. There is a pH known as the point of zero charge (pzc), where the majority of surface sites are neutral and the net charge on the surface is zero (i.e. the density of positive and negative sites is equal). The zeta potential is the electric potential measured at the shear plane. The isoelectric point is the pH at which the zeta potential is zero [15]. The zeta potential measured by electrophoresis and streaming potential are nearly identical in most situations, particularly when the aqueous phase is adjusted by addition of 0.1 M HCl or 0.1 M NaOH.

Kaolin, sodium feldspar and quartz are typical constituents in clays. Electrokinetic properties, such as the isoelectric point (iep) and potential determining ions (pdi), of these fine particles in an aqueous solution play a significant role in understanding the adsorption mechanism of inorganic and organic species at the solid/solution interface. The principal reason for determining the zeta potential is to obtain an indication of the magnitude of the potential at the beginning of the diffuse double layer around the particles. This can then be used to estimate the effect of the particle charge on such behaviours as aggregation, flow, sedimentation, and filtration. Besra et al. [13] measured the zeta potential and specific surface charge of kaolin as a function of pH in 0.01 M KCl solution. They found that kaolin was positively charged below pH 2.2 while, above pH 2.2, it carried a net negative charge. This is in agreement with Alkan et al. [12] which reported that kaolinite has an isoelectric point at about pH 2.35. Demir et al. [9] showed feldspar surface charge character is mainly governed by the ratio of the cations and dissociated silanol groups as a function of pH. Increasing the pH leads to an increase in the negative centers and a decrease in pH results in the positively charged centers. Karagüzel et al. [10] determined zeta potential of feldspar as a function of pH and found that increasing pH for both albite and orthoclase results in an increase in the negative charge and vice

versa. Besra et al. [13] measured zeta potential and specific surface charges of quartz as a function of pH (in 0.01M KCl solution). It was found that quartz attained a net negative zeta potential/surface charge in the entire pH range of 2 and above. The magnitude of negative zeta potential was larger for higher pH value compared to lower pH condition. The point of zero charge of quartz from both zeta potential and surface charge measurement was found to be approximately at pH 2. In this manner, some researchers have investigated electrokinetic properties of kaolinite, feldspar and quartz [15]. The surface interactions when these materials are incorporated into aqueous dispersion or polymer system are poorly understood, for example, the development of charge in aqueous systems and, consequently, the electrical double layer properties of the surface as a function of pH and electrolyte [12].

The aims of this study are to examine the electrochemical properties of kaolins, sodium feldspar and quartz in distilled water as a function of pH and to study the effect of sodium silicate on the surface charge.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Materials

Kaolin, quartz and sodium feldspar powders were used in the experiments. Kaolins were obtained from Narathiwat, Ranong and Lampang (Thailand), the sodium feldspar was obtained from Tak (Thailand), and quartz was obtained from India. The three kaolins, quartz and feldspar samples were passed through 325 mesh sieve in a wet state, allowed it to settle, and the supernatant was discarded. The washed samples were dried at 80°C for over 48 h and all samples were grounded in a rod mill.

### 2.2 Chemical Analysis by X-ray Fluorescence (XRF)

The three kaolins, sodium feldspar and quartz powders were determined by using Philips Magix Pro MUA /USEP T84005 XRF spectrometer. The powders were fused



into a pellet prior to irradiation with x-rays.

### 2.3 Mineralogical Analysis by X-ray Diffraction (XRD)

Panalytical model x'pert pro MPD X-ray diffractometer was used to determine the phases present in the three kaolins, sodium feldspar and quartz powders. Powders were placed in a flat glass holder and scanning was taken, using CuK $\alpha$  radiation, over the 2 $\theta$  ranging from 5° to 95° at scan speeds 0.003 s<sup>-1</sup> and 0.008 s<sup>-1</sup>.

### 2.4 Zeta Potential Measurements

The zeta potential of kaolins, sodium feldspar, quartz, 25:75 wt% and 50:50 wt% of sodium feldspar: kaolin mixtures, 25:75 wt% and 50:50 wt% of quartz: kaolin mixtures and a mixture of 25 wt% of sodium feldspar-25 wt% of quartz-50 wt% of kaolin were evaluated using an automated micro-electrophoresis instrument (Zetasizer 3000 HSA, Malvern). The unit automatically calculated the electrophoresis mobility of the particles and converted to the zeta potential using the Henry's equation [16];

$$U_E = \frac{2\varepsilon_0\varepsilon\zeta[1 + f(ka)]}{3\eta} \quad (1)$$

where  $\zeta$  is the zeta potential,  $U_E$  is the electrophoretic mobility,  $\varepsilon_0$  is the dielectric constant of free space,  $\varepsilon$  is the dielectric constant of medium,  $\eta$  is the viscosity and  $f(ka)$  is the Henry's function.

Each sample of 0.01 g of the three kaolins, sodium feldspar, quartz and their mixtures were dispersed into 100 ml distilled water or distilled water containing 4  $\mu$ l sodium silicate, and mixed homogeneously with a magnetic stirrer bar. The zeta potential of prepared samples were evaluated using an automated micro-electrophoresis instrument (Zetasizer 3000 HAS, Malvern) as a function of pH at 25 °C.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1 Chemical Analysis

Chemical constituents of the three kaolins,

sodium feldspar and quartz analyzed by XRF are shown in Table 1.

**Table 1. Chemical composition of the three kaolins, sodium feldspar and quartz.**

Compounds,%	R	L	N	F	Q
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35.870	31.064	36.180	15.604	<0.0001
SiO <sub>2</sub>	46.252	53.047	44.755	71.075	98.734
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.712	1.327	0.825	0.904	0.305
TiO <sub>2</sub>	0.075	0.066	0.835	0.106	0.008
Na <sub>2</sub> O	1.269	1.931	3.123	6.437	0.478
K <sub>2</sub> O	2.057	4.193	1.153	2.442	0.031
CaO	0.397	0.208	0.132	1.099	0.084
MgO	0.252	0.238	0.110	0.472	0.093
MnO	0.052	0.057	0.005	0.074	<0.0001
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.027	0.014	0.061	0.097	0.009
LOI	12.037	17.855	12.821	1.690	0.258

R: Ranong kaolin

L: Lampang kaolin

N: Narathiwat kaolin

F: Sodium feldspar

Q: Quartz

LOI: Loss on ignition

### 3.2 MINERAL ANALYSIS

From the diffractograms in Figures 1-5, the Ranong kaolin composes of halloysite, kaolinite, illite, quartz and microcline. The Narathiwat kaolin consists of well-ordered kaolinite, illite and quartz. The major compositions of the Lampang kaolin are disordered kaolinite, illite,

quartz and albite. The diffractogram of sodium-feldspar shows albite and illite as major phases with quartz as the minor composition. Quartz shows the strong evidence of its d-spacing and intensity.

### 3.3 Zeta Potential

#### 3.3.1 Effect of pH

Figure 6 illustrates the effect of pH on zeta potential of three kaolins, sodium feldspar and quartz. It can be seen that the increase of the suspension pH resulted in an increase in the negative charge of kaolins. This can be ascribed to either the adsorption of OH<sup>-</sup> onto the positive charges of kaolin or deprotonation of surface hydroxyl groups. On the other hand, the decrease of the suspension pH resulted in a decrease of the negative



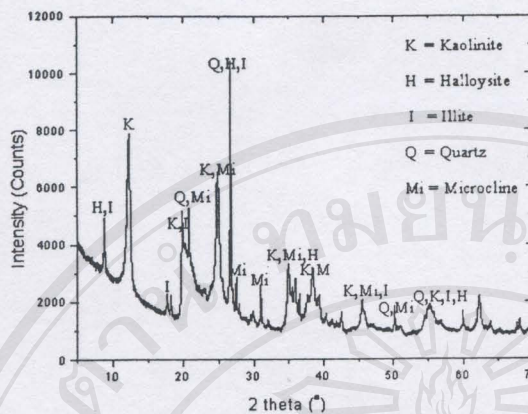


Figure 1. XRD diffractogram of the Ranong kaolin.

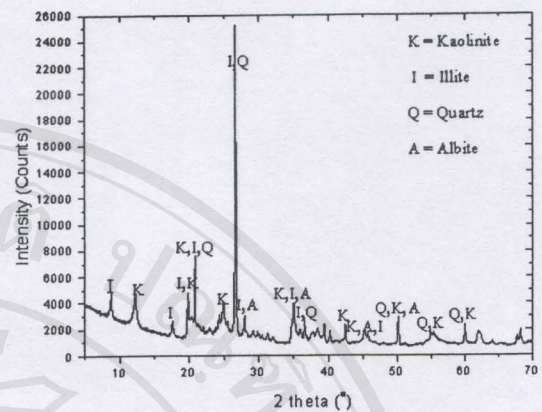


Figure 2. XRD diffractogram of the Lampang kaolin.

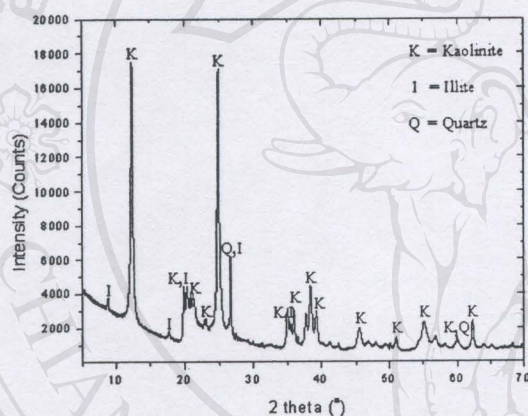


Figure 3. XRD diffractogram of the Narathiwat kaolin.

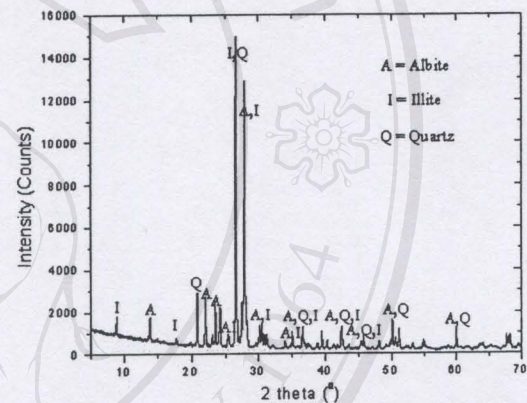
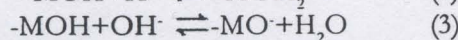
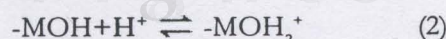


Figure 4. XRD diffractogram of the sodium feldspar.

potential due to the  $H^+$  adsorption on the negative charges or protonation of  $H^+$  ions [6,7,12,17]. The following description assumes that the kaolin surface behaves as an amphoteric oxide, where the electrical double layer properties are due to different surface site on the basal planes and edges. Kaolin has a permanent negative charge on its basal planes, due to isomorphous substitution [2,3,4,5, 18,19]. The electrical protonation/deprotonation of the surface hydroxyl can be ascribed as



Comparing with the zeta potential of kaolin

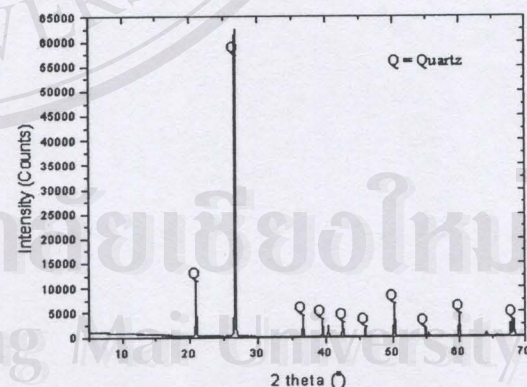


Figure 5. XRD diffractogram of the quartz.

determined by Besra et al. [13], it can be seen that the increase of suspension pH resulted in an increase in the negative charge of kaolin, and vice versa, similar to the three kaolins from



Thailand used in this study.

The surface of sodium feldspar is composed of positive and negative sites. The positive sites are mostly  $\text{Na}^+$  ion in albite and negative sites are silicic acid groups ( $\text{Si-O}^-$ ). The electrostatic charge is mainly a function of pH. Increasing pH will increase the negative species [7, 10,14] as follows;



Conversely, the positive charges increase with decreasing pH [7,10,14];

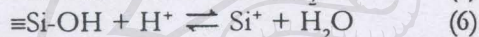
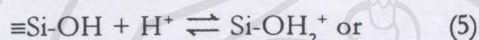


Figure 6 reveals that, with increasing pH, albite surface acquires a similar charge profile, indicating the relative abundance of negatively charged silicic acid groups on the surface.

Quartz which showed in Figure 6 attains a net negative zeta potential value at over pH 2.13. The magnitude of negative zeta potential is larger for higher pH value compared to lower pH conditions. From the other experiments, quartz shows an isoelectric point at pH 2.13 [11,13,20]. Comparing with the zeta potential of kaolin determined by Besra et al. [13], it showed the same similar manner. Huang and Fuerstenau [11] have investigated zeta potential as a function of pH for quartz and talc. They were quite similar with the zeta potential of quartz, being slightly more negative than those of talc, possibly because of more polar groups of silicic acid groups on the quartz surface or because of the more basic  $\text{MgOH}$  site at the edges of the talc particles. The point of zero charge of both quartz and talc occurred at pH about 2.

In this experiment, the Ranong kaolin was higher negatively charged than the Narathiwat kaolin, Lampang kaolin, sodium feldspar and quartz, respectively. The Ranong kaolin composes of halloysite, which give the highest isomorphous substitution in the structural lattice and structure defects [18,19]. The three kaolins and feldspar did not show any

isoelectric point because the isomorphous substitution remains independent of pH in the acidic range. In the basic range, the edge surface of kaolin, at which the octahedral sheet is broken, may be compared with the surface of an alumina or a silica particle. Hydroxyl

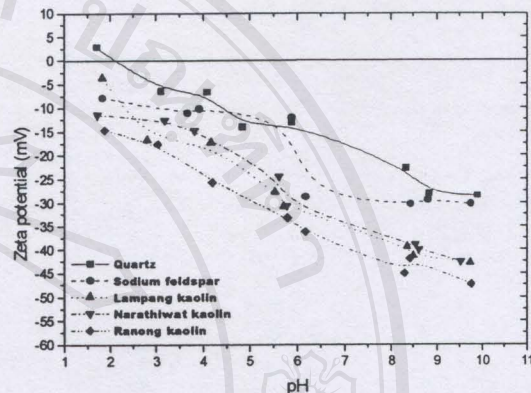


Figure 6. Zeta potentials of the three kaolins, sodium feldspar and quartz as a function of pH.

ion acts as a potential-determining ion and cause the edge surface to be negatively charged [18]. The surface of sodium feldspar and quartz are composed of positive and negative sites. Increasing of pH then increase the negative species.

### 3.3.2 Effect of Admixing

Zeta potential of sodium feldspar-Ranong kaolin and quartz-Ranong kaolin mixtures at weight ratios of 25:75 and 50:50, and sodium feldspar-quartz- Ranong kaolin mixtures at the weight ratio of 25:25:50 were measured as shown in Figures 7-9. The results indicated that the increasing of sodium feldspar content in the Ranong kaolin suspensions led to the decrease of zeta potential (less negative), because of less negative charge on sodium feldspar surface.

The zeta potential of the mixture of quartz and Ranong kaolin showed similar trend. As the concentration of quartz increased, the zeta potential became less negative. On the other hand, the zeta potential of the mixtures became more negative when the concentration of quartz decreased because permanent negative charge of kaolin is higher



than that of quartz due to the isomorphous substitution or structure defects.

Furthermore, the zeta potential of sodium feldspar-quartz-Ranong kaolin mixtures at the weight ratio of 25:25:50 was more negatively charged than sodium feldspar and quartz, due to the highest isomorphous substitution in the structural lattice of the Ranong kaolin. On the other hand, the zeta potential of their mixtures was less negatively charged than that of the Ranong kaolin, because sodium feldspar and quartz have less negatively charged at surface. For the Narathiwat and the Lampang kaolins, the effect of admixing is similar to that found in the Ranong kaolin (not shown).

Taubaso et al. [21] found that kaolinite-illite-quartz mixtures at the weight ratio of 59.66:10.15:30.19 was more negatively charged than kaolinite-illite-quartz mixtures at the weight ratio of 23.45:26.14:50.42 and 17.38:45.27:37.35, respectively, due to the highest isomorphous substitution in the structural lattice of kaolinite. Compared with negative charge of their mixtures determined by

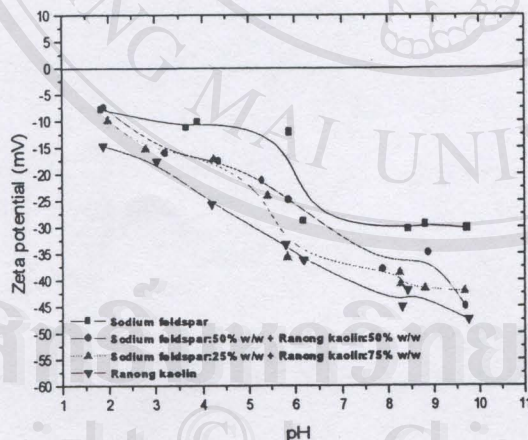


Figure 7. Zeta potential of sodium feldspar-Ranong kaolin mixtures.

Taubaso et al., it was found that increasing of kaolinite content in illite and quartz suspensions led to the increase of negative charge and vice versa, which similar to the mixtures in this study.

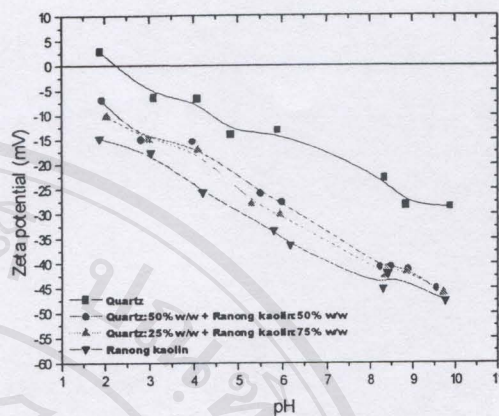


Figure 8. Zeta potential of quartz-Ranong kaolin mixtures.

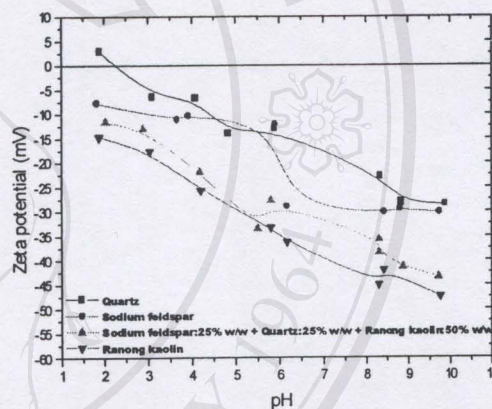


Figure 9. Zeta potential of sodium feldspar-quartz-Ranong kaolin mixtures.

### 3.3.3 Effect of Sodium Silicate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )

As shown in Figures 10-12, the addition of  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  into the Ranong kaolin, sodium feldspar and quartz suspensions provided higher negative zeta potential values due to the specific adsorption of  $\text{SiO}_3^{2-}$  ions onto positively charges of the surfaces [22]. The Ranong kaolin and sodium feldspar did not show any isoelectric point because the isomorphous substitution remains independent of pH in the acidic range but quartz showed an isoelectric point at pH about 2.77 in the presence of sodium silicate in suspensions. Compared with the addition of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  and  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  into kaolinite suspension by Alkan et al. [12,23], it can be seen that the kaolin suspensions provided higher negative zeta potential values, similar to addition of



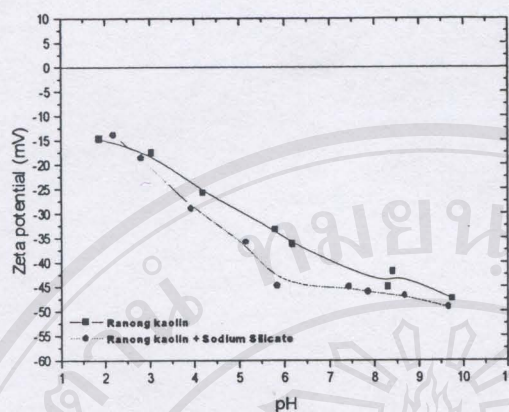


Figure 10. Zeta potential of Ranong kaolin in the presence of 4 µl sodium silicate.

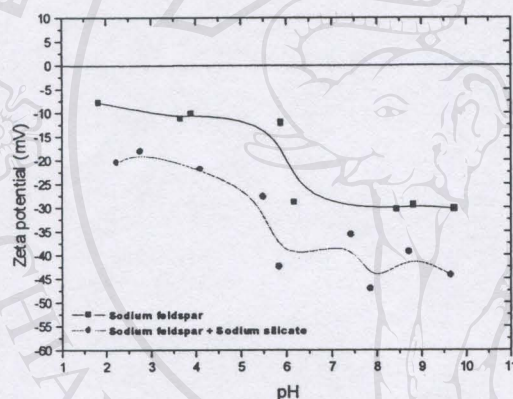


Figure 11. Zeta potential of sodium feldspar in the presence of 4 µl sodium silicate.

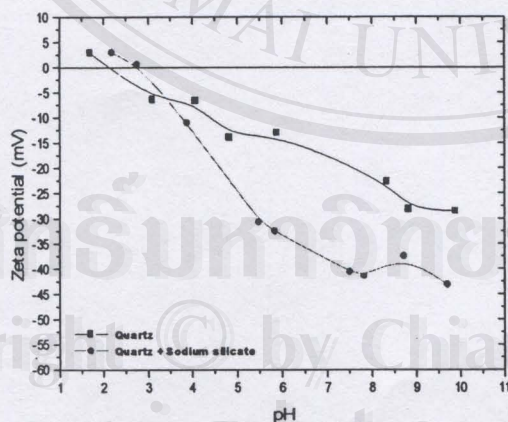


Figure 12. Zeta potential of quartz in the presence of 4 µl sodium silicate.

$\text{Na}_2\text{SiO}_3$  into the Ranong kaolin, sodium feldspar and quartz suspensions in this study.

The same results were found from the Narathiwat and Lampang kaolins (not shown).

#### 4. CONCLUSION

4.1 Zeta potential of three kaolins (Ranong, Lampang and Narathiwat) and sodium feldspar determined in distilled water over a pH range from 2 to 10 showed all negative charge, but zeta potential of quartz indicated negative charge at over pH 2.13.

4.2 No point of zero charge of three kaolins and sodium feldspar could be found because its permanent negative charges due to isomorphous substitution and/or structure defects.

4.3 The Ranong kaolin gave the highest negative charge due to the halloysite phase which normally generates higher negative charge.

4.4 The higher content of sodium feldspar and quartz in the kaolin suspensions resulted in the lower zeta potential (less negative).

4.5 Zeta potential of sodium feldspar-quartz-kaolin mixtures at the weight ratio of 25:25:50 was more negatively charged than those of sodium feldspar and quartz, but less than that of kaolin.

4.6 The addition of sodium silicate in the kaolin, sodium feldspar and quartz suspensions generated higher negative zeta potential values than in the absence of sodium silicate and quartz showed an isoelectric point at pH about 2.77 in the presence of sodium silicate in suspensions.

Acknowledgement: The authors acknowledge the Thailand Research Fund-Master Research Grant (TRF-MAG) for the financial support.

#### References

- [1] Konta, J., Clay and Man: Clay Raw Materials in the Service of Man, *Applied Clay Science*, 1995; 10: 275-335.
- [2] Lawrence, W.G., Ceramic Science for the Potter, 1st Edn., Canada: Chilton Book Company, 1972.
- [3] Ryan, W., Properties of Ceramic Raw



- Materials, 2nd Edn., England: Pergamon Press, 1978.
- [4] Ryan, W. and Radford, C., *Whitewares: Production, Testing and Quality Control*, 2nd Edn., England: The Institute of Materials, 1997.
- [5] van Olphen, H., *Clay Colloid Chemistry for Clay Technologists and Soil Scientists*, 2nd Edn., New York: John Wiley & Sons, 1963.
- [6] Brady, P.V., Cygan, R.T. and Nagy, K.L., Molecular Controls on Kaolinite Surface Charge, *Journal of Colloid and Interface Science*, 1996; **183**: 356-364.
- [7] Graveling, G.J., Vala Ragnarsdottir, K., Allen, G.C., Eastman, J., Brady, P.V., Balsley, S.D. and Skuse, D.R., Controls on Polyacrylamide Adsorption to Quartz, Kaolinite and Feldspar, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997; **61**: 3515-3523.
- [8] Smith, J.V., *Feldspar Minerals*, 3th Edn., USA: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1974.
- [9] Demir, C., Bentli, I., Gülgönül, I. and Çelik, M.S., Effects of Bivalent Salts on the Flotation Separation of Na-feldspar from K-feldspar, *Minerals Engineering*, 2003; **16**: 551-554.
- [10] Karagüzel, C., Can, M.F., Sönmez, E. and Çelik, M.S., Effect Electrolyte on Surface Free Energy Components of Feldspar Minerals using Thin-Layer Wicking Method, *Journal of Colloid and Interface Science*, 2005; **285**: 192-200.
- [11] Huang, P. and Fuerstenau, W., The Effect of the Adsorption of Lead and Cadmium Ions on the Interfacial Behavior of Quartz and Talc, *Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2001; **177**: 147-156.
- [12] Alkan, M., Demirbas, Ö. and Dogan, M., Electrokinetic Properties of Kaolinite in Mono- and Multivalent Electrolyte Solutions, *Microporous and Microporous Materials*, 2005; **83**: 51-59.
- [13] Besra, L., Sengupta, D.K. and Roy, S.K., Particle Characteristics and Their Influence on Dewatering of Kaolin, Calcite and Quartz Suspensions, *International Journal of Mineral Processing*, 2000; **59**: 89-112.
- [14] Stillings, L.L., Brantley, S.L. and Machesky, M.L., Proton Adsorption at an Adularia Feldspar Surface, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995; **59**: 1473-1482.
- [15] Franks, G.V. and Meagher, L., The Isoelectric Points of Sapphire Crystals and Alpha-Alumina Powder, *Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2003; **214**: 99-110.
- [16] Rahaman, M.N., *Ceramic Processing and Sintering*, 2nd Edn., New York: Maral Dekker Inc, 2003.
- [17] Hu, Y. and Liu, X., Chemical Composition and Surface Property of Kaolins, *Minerals Engineering*, 2003; **16**: 1279-1284.
- [18] Hussain, S.A., Demirci, S. and Özbayoglu, G., "Zeta Potential Measurements on Three Clays from Turkey and Effects of Clays on Coal Flotation", *Journal of Colloid and Interface Science*, 1996; **184**: 535-541.
- [19] Tari, G., Bobos, I., Gomes, C.S.F. and Ferreira, M.F., Modification of Surface Charge Properties during Kaolinite to Halloysite-7Å Transformation, *Journal of Colloid and Interface Science*, 1999; **210**: 360-366.
- [20] Kosmulski, M., Maczka, E., Janusz, W. and Rosenholm, J.B., Multiinstrument Study of the Electrophoretic Mobility of Quartz, *Journal of Colloid and Interface Science*, 2002; **250**: 99-103.
- [21] Tauboso, C., Dos Santos Afonso, M. and Torres Sánchez, R.M., Modeling Soil Surface Charge Density Using Mineral Composition, *Geoderma*, 2004; **121**: 123-133.
- [22] Diz, H.M.M. and Rand, B., The Mechanism of Deflocculation of Kaolinite by Polyanions, *British Ceramic Transaction Journal*, 1990; **89**: 124-129.
- [23] Alkan, M., Demirbas, Ö. and Dogan, M., Electrokinetic Properties of Sepiolite Suspensions in Different Electrolyte Media, *Journal of Colloid and Interface Science*, 2005; **281**: 240-248.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายสิทธิศักดิ์ ประสานพันธ์  
วัน เดือน ปีเกิด 11 สิงหาคม 2523  
ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเบญจลักษณ์พิทยา  
ศรีสะเกษ ปีการศึกษา 2541  
สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีการศึกษา 2545

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved