



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เสถียรภาพการกระจายตัวของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จาก  
การดูดซับพอลิเมอร์ผสมสารลดแรงตึงผิวบางชนิด

ปรีชา ปัญญา

พฤษภาคม 2553

สัญญาเลขที่ MRG5180324

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เสถียรภาพการกระจายตัวของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จาก  
การดูดซับพอลิเมอร์ผสมสารลดแรงตึงผิวบางชนิด

ปรีชา ปัญญา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่อง “เสถียรภาพการกระจายตัวของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากการดูดซับพอลิเมอร์ผสมสารลดแรงตึงผิวบางชนิด” ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้สนับสนุนให้ทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2551 ซึ่งส่งเสริมสนับสนุนให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสพัฒนาศักยภาพในการทำวิจัย สร้างประสบการณ์ และพัฒนาไปสู่การเป็นนักวิจัยที่มีคุณภาพของประเทศ อีกทั้งยังเป็นการสร้างกำลังใจ ความกระตือรือร้นทางวิชาการ และทำให้งานวิจัยเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันและวิชาชีพอาจารย์ในอนาคต

ขอขอบคุณนักวิจัยที่ปรึกษาทั้งสองท่าน ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร. จอร์จ วี แฟรงค์ส์ แห่งภาควิชาวิศวกรรมเคมีและชีวโมเลกุล มหาวิทยาลัยเมลเบิร์น รัฐวิกตอเรีย ประเทศออสเตรเลีย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรอนงค์ อาร์คีโร อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้แนะนำ ช่วยเหลือ ปรับปรุง แก้ไข ตั้งแต่กระบวนการวิจัย การรายงานความก้าวหน้า การไปประเมินผลโครงการวิจัย จนถึงการรายงานฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์รัตนา รักการ อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ซึ่งเป็นผู้บังคับบัญชาจากหน่วยงานต้นสังกัดของผู้วิจัย ที่ได้สนับสนุนส่งเสริม ผ่านความเห็นชอบจากสถาบันในการให้ความร่วมมือ สนับสนุนโครงการวิจัยนี้ ทั้งในรูปของเวลาในการทำวิจัย เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ และสถานที่ทำงานวิจัยเป็นอย่างดีมาก

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ศึกษา และผู้ที่สนใจได้เป็นอย่างดี หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยไว้ทุกประการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ปัญญา  
พฤษภาคม 2553

## บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : MRG5180324

ชื่อโครงการ : เสถียรภาพการกระจายตัวของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากการดูดซับพอลิเมอร์ผสมสารลดแรงตึงผิวบางชนิด

ชื่อหลักวิจัย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา ปัญญา  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

E-mail Address : [preecha@kpru.ac.th](mailto:preecha@kpru.ac.th) or [preechapan@yahoo.com](mailto:preechapan@yahoo.com)

ระยะเวลาโครงการ : 15 พฤษภาคม 2551 – 14 พฤษภาคม 2553

ศึกษาการดูดซับพอลิเมอร์ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (พีวีเอ) และสารลดแรงตึงผิวทั้งชนิดไอออนบวก ได้แก่ เซทิลพิริดีเนียมคลอไรด์ (ซีพีซี) และสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนลบ ได้แก่ โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (เอสดีบีเอส) บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกรวมกัน 4 อนุภาค ได้แก่ ดินเกาลิน ลามสโตน คอาร์ทซ์ และเฟลด์สปาร์ ทั้งในสภาวะสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวเดี่ยว ๆ และสารพอลิเมอร์ผสมกับสารลดแรงตึงผิว การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับและเสถียรภาพการกระจายตัวของส่วนประกอบที่แขวนลอยในน้ำเคลือบเซรามิกเนื่องจากการดูดซับสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิว โดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตร และวิธีหาค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้า โดยกำหนดให้สภาวะสารละลายแขวนลอยของระบบมีค่าความแรงไอออนคงที่เป็น 0.01 โมลาร์ โซเดียมคลอไรด์ และพีเอชเท่ากับ 9 ตลอดจนการทดลอง

ไอโซเทอร์มการดูดซับทดลองที่อุณหภูมิ 25 °C โดยเทคนิคดีพลีชันหรือเป็นการหาความเข้มข้นที่แตกต่างกันระหว่างก่อนดูดซับกับความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ การวัดค่าความเข้มข้นที่เหลือของเซทิลพิริดีเนียมคลอไรด์ไอออน และโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนตไอออน ใช้วิธีวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 259 และ 223 นาโนเมตรตามลำดับ สำหรับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะวิเคราะห์ความเข้มข้นที่เหลือโดยวิธีคัลเลอร์เมตรี คือทำให้เกิดสารเชิงซ้อนที่มีสีกับไอโอดีน โพแทสเซียมไอโอไดด์ และกรดบอริก แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 690 นาโนเมตร เสถียรภาพการกระจายตัวโดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสงของส่วนประกอบที่แขวนลอยในน้ำเคลือบเซรามิกเนื่องจากการดูดซับสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิว จะใช้ตัวอย่างการทดลองเดียวกับชุดไอโซเทอร์มการดูดซับ โดยหลังจากเกิดสมมูลการดูดซับ ให้ทิ้งสารละลายแขวนลอยไว้โดยปราศจากการรบกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตร สำหรับการศึกษาศักย์ไฟฟ้าซีต้าจะใช้เครื่องคอลลอยด์ไดนามิกส์ (Colloidal Dynamics) ซึ่งสามารถคำนวณจากสเปคตรัมไดนามิกโมบิลิตี (dynamic mobility) และคุณสมบัติของวัตถุโดยใช้ทฤษฎีประจุชั้นซ้อน (โอไบรอัน โมเดล)

ผลการทดลองพบว่า การดูดซับพอลิเมอร์ไม่มีประจุ ได้แก่ พีวีเอบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกทั้ง 4 ตัวรวมกัน จะเกิดขึ้นได้โดยมีข้อมูลยืนยันจากค่าศักย์ไฟฟ้าที่ลดลง กลไกการดูดซับเป็นแบบหนา (thick layers) บนพื้นผิวอนุภาคที่เป็นไฮโดรโฟบิก แต่ผลจากการดูดซับทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวลดลง เนื่องจากผลจากความเกาะเกาะของโมเลกุลที่ถูกดูดซับบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกไม่สามารถเอาชนะแรงดึงดูดอิเล็กโทรสถิตและแรงแวนเดอร์วาลส์ได้ สำหรับการดูดซับซีพีซีบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกเมื่อเริ่มต้นจะเกิดการรวมเป็นกลุ่มก้อน (flocculation) อย่างชัดเจน ทำให้มีเสถียรภาพต่ำ (poor stability) เนื่องจากเกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interactions) ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำลงจนเป็นศูนย์ เมื่อความเข้มข้นสูงจะเกิดการดูดซับแบบสองชั้น (bilayer adsorption) ทำให้เกิดเสถียรภาพขึ้นโดยมีข้อมูลยืนยันจากค่าศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำที่เพิ่มขึ้น ส่วนการดูดซับเอสดีบีเอสจะเกิดขึ้นได้โดยมีข้อมูลยืนยันจากค่าศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น โมเลกุลของเอสดีบีเอสสามารถถูกดูดซับบนอนุภาคลามสโตนและที่ขอบ (edges) ซึ่งมีประจุบวกของอนุภาคดินเหนียวในน้ำเคลือบเซรามิกเนื่องจากประจุตรงข้ามกัน และสามารถถูกดูดซับบนพื้นผิวประจุบวกของอนุภาคควออร์ทซ์และเฟลด์สปาร์ในน้ำเคลือบเซรามิกได้จากการเกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก

การดูดซับซีพีซีบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับพีวีเอ (PVA +CPC) ไว้แล้วจะสูงกว่าปริมาณการดูดซับซีพีซีเดี่ยว ๆ แต่ค่าเสถียรภาพการกระจายตัวที่ได้จากผลของการดูดซับซีพีซีเดี่ยว ๆ กลับมีค่าสูงกว่า แสดงว่าผลของการเติมพีวีเอมีผลทำให้ปริมาณการดูดซับซีพีซีเพิ่มขึ้น แต่มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวที่ลดลง ส่วนการดูดซับเอสดีบีเอสเดี่ยว ๆ จะสูงกว่าปริมาณการดูดซับเอสดีบีเอสบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับพีวีเอ (PVA+SDBS) ไว้แล้ว สอดคล้องกับค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากผลของการดูดซับเอสดีบีเอสเดี่ยว ๆ ที่มีค่าสูงกว่า แสดงว่าผลของการเติมพีวีเอมีผลทำให้ปริมาณการดูดซับเอสดีบีเอสลดลง และมีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวที่ลดลงด้วย แต่ในกรณีการดูดซับพีวีเอบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก พบว่า การดูดซับพีวีเอเมื่อผสมกับเอสดีบีเอสและซีพีซีมีปริมาณสูงกว่าการดูดซับพีวีเอเดี่ยว ๆ และมีผลทำให้ค่าเสถียรภาพการกระจายตัวสูงขึ้นมากว่าเดิมที่ได้จากการดูดซับพีวีเอเดี่ยว ๆ

สรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเติมสารพอลิเมอร์ และสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ ซีพีซีและเอสดีบีเอสทั้งในรูปเดี่ยว ๆ และผสมกันมีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวสูงกว่าที่ไม่ได้เติมสารใด ๆ โดยปริมาณการเติมที่ทำให้เกิดเสถียรภาพสูงสุดในน้ำเคลือบเซรามิกจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณที่ดูดซับ เป็นผลมาจากแรงผลักจากชั้นซ้อนของประจุและแรงผลักจากความเกาะเกาะจากการดูดซับซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก ชนิดและความเข้มข้นสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวที่เติม

**คำหลัก :** สารลดแรงตึงผิว, พอลิไวนิลแอลกอฮอล์, เสถียรภาพการกระจายตัว, การดูดซับ, น้ำเคลือบเซรามิก

## ABSTRACT

---

**Project Code** : MRG5180324

**Project Title** : Dispersion stability of ceramic glaze achieved through some polymers mixed surfactants adsorption

**Investigator** : Assistance Professor Dr. Preecha Panya  
Chemistry Division, Faculty of Science and Technology  
Kamphaengphet Rajabhat University

**E-mail Address** : [preecha@kpru.ac.th](mailto:preecha@kpru.ac.th) or [preechapan@yahoo.com](mailto:preechapan@yahoo.com)

**Project Period** : 15 May 2008 – 14 May 2010

The adsorption of single and mixed of uncharged polymer, poly(vinyl alcohol) (PVA) and ionic surfactant such as cationic, cetylpyridinium chloride (CPC) and anionic, sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS) onto ceramic glaze particles consist of kaolin, limestone, quartz and feldspar was investigated. Both adsorption isotherms and dispersion stability were studied in order to understand the suspension stability as a function of polymer and surfactant concentration at control pH 9 and 0.01 M NaCl. Adsorption isotherms were measured at room temperature (25 °C) using the depletion method. The UV absorption of the cetylpyridinium ion and the dodecylbenzenesulfonate ion in the supernatant was measured at 259 and 223 nm respectively. For the equilibrium concentration of PVA in aqueous solution was colorimetrically determined by the complex with I<sub>2</sub>, KI and B(OH)<sub>3</sub>, then UV absorption of PVA was measured at 690 nm. An assessment of the stability of ceramic glaze particles suspensions was made using the same adsorption isotherm samples and visible spectrophotometer. After equilibration, the suspensions were allowed to stand without disturbance for 2 h before measurement of the transmission of 500 nm. Zeta potential measurements were performed using a Colloidal Dynamics. The mean zeta potential and particle size can be calculated from the dynamic mobility spectrum and material properties assuming a thin double layer (O'Brien) model.

The adsorption of uncharged polymer, PVA on ceramic glaze particles suspensions, confirm on the magnitude of the zeta potential decreases slowly upon addition. This indicates that the polymer adsorbs in thick layers on the particles hydrophobic surface. The dispersion stability of these suspensions is poor. Thus, even though this polymer imparts a steric barrier on the particles, it is inefficient in stabilising

the particles. The adsorption of small amounts of cationic CPC onto the primarily negatively charged surfaces of the particles such as basal plane of kaolin, quartz and feldspar, results in strong attraction and flocculation due to hydrophobic interactions. At higher surfactant concentrations a higher zeta potential results from the bilayered adsorbed surfactant, providing stability. Anionic SDBS monomers adsorb to positive sites on the edges of kaolin and positive charge of limestone by easily. Furthermore anionic SDBS monomers can adsorb to negative charge of quartz and feldspar by the interpretation of the SDBS adsorption results is driven by dispersion and hydrophobic interactions. Increased zeta potential values are seen, and at higher concentrations where it is postulated hemimicelle adsorption is dominant, the high zeta potential results in strong electrical double layer repulsion and stable suspensions.

The adsorption of CPC on ceramic glaze particles in the preadsorbed PVA (PVA+CPC) higher than single CPC adsorbed amount, but the dispersion stability is lower. The amount of single SDBS adsorbed higher than in the presence of PVA (PVA+SDBS), correspond with the higher dispersion stability. The result showed the preadsorbed PVA can decrease the dispersion stability of CPC and SDBS. It is interesting that the preadsorbed both CPC and SDBS on the ceramic glaze particles can promote the dispersion stability of PVA. The results showed the adsorbed amount of PVA increase when preadsorbed with surfactant, the dispersion stability higher than the single PVA adsorption.

It can be concluded that the optimum condition for addition PVA , CPC and SDBS both single and mixtures need to create the high dispersion stability of ceramic glaze component suspensions can achieved through PVA, CPC, SDBS and their mixtures adsorption. Either electrical double layer repulsion or steric repulsion from adsorption can increase dispersion stability depending on the particle in ceramic glaze, types and concentration of surfactant or polymer added.

**Keywords** : surfactant, poly(vinyl alcohol) , dispersion stability, adsorption, ceramic glaze

## หน้าสรุปโครงการ (Executive Summary)

ชื่อโครงการ : เสถียรภาพการกระจายตัวของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากการดูดซับพอลิเมอร์ผสมสารลดแรงตึงผิวบางชนิด  
**Dispersion stability of ceramic glaze achieved through some polymer mixed surfactants adsorption**

หัวหน้าโครงการ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา ปัญญา

### 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

กระบวนการในเซรามิกประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ เตรียมวัตถุดิบ การผสมเป็นรูปร่าง การขึ้นรูป การเคลือบ และการเผา โดยขั้นตอนการเคลือบเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เพราะเป็นการเคลือบรูปร่างเซรามิกให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ในกระบวนการทำน้ำเคลือบ มีองค์ประกอบที่แตกต่างกันตามแต่ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการบดผสมกันเป็นผงละเอียดรวมกับน้ำ ผสมให้เข้ากันเพื่อนำไปเคลือบบนรูปเซรามิกแล้วทำให้แห้ง ก่อนที่จะนำไปเผาเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป แต่ปัญหาที่พบคือ อนุภาคในน้ำเคลือบจะเกิดการนอนกันอย่างรวดเร็วหรือเกิดการกระจายตัวต่ำ ทำให้ในกระบวนการเคลือบเกิดได้ไม่ดี ได้ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีคุณภาพต่ำ โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการที่ทำต่อเนื่องจากการศึกษาการดูดซับสารพอลิเมอร์ผสมสารลดแรงตึงผิวไอออนิกที่มีต่อเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของส่วนประกอบที่แขวนลอยในน้ำเคลือบเซรามิก 4 อนุภาค ได้แก่ ดินกาแลน ลามสโตน ควอร์ทซ์ และเฟลด์สปาร์ ซึ่งยังค้นหาคำตอบได้ไม่ชัดเจน เพราะเป็นการศึกษาอนุภาคทั้งสี่ตัวแยกกัน ทำให้ไม่สามารถหาคำตอบได้ว่า ถ้าเป็นเสถียรภาพเกิดขึ้นอย่างไร ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำวิจัยเรื่องนี้ต่อเนื่อง โดยศึกษาการเกิดเสถียรภาพการกระจายตัวที่ได้จากการดูดซับสารพอลิเมอร์ผสมกับสารลดแรงตึงผิวบนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินกาแลนด้วยอัตราส่วนที่เท่ากันและไม่เท่ากัน

### 2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

2.1 ศึกษาการดูดซับสารผสมระหว่างสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวบนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินกาแลนด้วยอัตราส่วนเท่ากัน

2.2 ศึกษาการเกิดเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินกาแลนที่ได้จากผลของการดูดซับสารผสมระหว่างสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวบนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินกาแลนด้วยอัตราส่วนเท่ากัน

2.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเติมสารพอลิเมอร์ผสมกับสารลดแรงตึงผิวที่มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวสูงสุดของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กันของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินกาแลน



### 3. วิธีการและผลการดำเนินงานวิจัย

ศึกษาการดูดซับพอลิเมอร์ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (พีวีเอ) และสารลดแรงตึงผิวทั้งชนิดไอออนบวก ได้แก่ เซทิลพิริดีเนียมคลอไรด์ (ซีพีซี) และสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนลบ ได้แก่ โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (เอสดีบีเอส) บนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ตซ์ และ ดินกาลินด้วยอัตราส่วนเท่ากันและไม่เท่ากัน ทั้งในสภาวะสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวเดี่ยว ๆ และสารพอลิเมอร์ผสมสารลดแรงตึงผิว โดยกำหนดให้สภาวะสารละลายแขวนลอยของระบบมีค่าความแรงไอออนคงที่เป็น 0.01 M โซเดียมคลอไรด์ และพีเอชเท่ากับ 9 การดูดซับทำที่อุณหภูมิ 25 °C โดยเทคนิคดีฟิชั่น โดยวิเคราะห์หาปริมาณสารดูดซับที่เหลือโดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง สำหรับเสถียรภาพการกระจายตัวโดยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตร ของสารละลายแขวนลอยโดยทิ้งไว้ปราศจากการรบกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง สำหรับการศึกษาคักย์ไฟฟ้าซีต้าจะใช้เครื่องคอลลอยด์ไดนามิกส์ ผลการทดลองพบว่าการดูดซับพีวีเอบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกจะเกิดขึ้นได้โดยมีข้อมูลยืนยันจากค่าศักย์ไฟฟ้าที่ลดลง กลไกการดูดซับเป็นแบบหนานบนพื้นผิวอนุภาคที่เป็นไฮโดรโฟบิก แต่ผลจากการดูดซับทำให้เสถียรภาพการกระจายตัวลดลง เนื่องจากผลจากความเกาะเกาะของโมเลกุลที่ถูกดูดซับบนผิวอนุภาคไม่สามารถเอาชนะแรงดึงดูดอิเล็กโทรสถิติกและวานเดอร์วาลส์ได้ สำหรับการดูดซับซีพีซีบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกนั้น เมื่อเริ่มต้นจะเกิดการรวมเป็นกลุ่มก้อนอย่างชัดเจนทำให้เสถียรภาพต่ำ เนื่องจากเกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นจะเกิดการดูดซับแบบสองชั้น ทำให้เกิดเสถียรภาพขึ้นโดยมีข้อมูลยืนยันจากค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าที่เพิ่มขึ้น ส่วนการดูดซับเอสดีบีเอสจะเกิดขึ้นได้ดีบนอนุภาคลามสโตนและที่ขอบซึ่งมีประจุบวกของอนุภาคกาลินในน้ำเคลือบเซรามิกเนื่องจากประจุตรงข้ามกัน ขณะที่การดูดซับเอสดีบีเอสบนประจุลบของอนุภาคควอร์ตซ์และเฟลด์สปาร์ในน้ำเคลือบเซรามิกสามารถเกิดขึ้นได้จากอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกโดยยืนยันจากข้อมูลค่าศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการดูดซับผสมระหว่างสารพอลิเมอร์กับสารลดแรงตึงผิว พบว่า ซีพีซีผสมกับพีวีเอจะถูกดูดซับได้ดีกว่าซีพีซีเดี่ยว ๆ แต่ทำให้เสถียรภาพการกระจายตัวลดลง ส่วนกรณีเอสดีบีเอสผสมกับพีวีเอพบว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัวลดลงสอดคล้องกับปริมาณการดูดซับที่ลดลง ส่วนในกรณีพีวีเอ พบว่า การดูดซับพีวีเอเมื่อผสมกับเอสดีบีเอสและซีพีซีจะมีผลทำให้เสถียรภาพการกระจายตัวของน้ำเคลือบเซรามิกสูงกว่าผลที่ได้จากการดูดซับพีวีเอเดี่ยว ๆ มาก สรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเติมสารพอลิเมอร์ (พีวีเอ) และสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ ซีพีซี และเอสดีบีเอสทั้งในรูปเดี่ยว ๆ และผสมกันที่มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวสูงกว่าที่ไม่ได้เติมสารใด ๆ โดยปริมาณการเติมที่ทำให้เกิดเสถียรภาพสูงสุดในน้ำเคลือบเซรามิกจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณที่ดูดซับ เป็นผลมาจากแรงผลักจากชั้นซันของประจุและแรงผลักจากความเกาะเกาะจากการดูดซับซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก ชนิดและความเข้มข้นสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวที่เติม

# สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| กิตติกรรมประกาศ                                       | ก    |
| บทคัดย่อ  | ข    |
| ABSTRACT  | ง    |
| หน้าสรุปโครงการ                                       | ฉ    |
| สารบัญ  | ช    |
| สารบัญตาราง   | ฎ    |
| สารบัญภาพประกอบ                                       | ฏ    |
| <b>บทที่ 1 บทนำ</b>                                   | 1    |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา                         | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย                           | 4    |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย                                 | 4    |
| 1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ                                   | 4    |
| 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย                      | 5    |
| <b>บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>         | 6    |
| 2.1 เซรามิก   | 6    |
| 2.1.1 ความหมายของเซรามิก                              | 6    |
| 2.1.2 ความสำคัญของเซรามิก                             | 7    |
| 2.1.3 กระบวนการในเซรามิก                              | 8    |
| 2.1.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเซรามิก                  | 10   |
| 2.1.5 ประเภทของเซรามิก                                | 21   |
| 2.1.6 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และการตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิก | 24   |
| 2.1.7 น้ำเคลือบเซรามิก                                | 26   |
| 2.1.8 สารเติมและสารช่วยกระจายลอยตัว                   | 29   |
| 2.2 เสถียรภาพการกระจายตัว                             | 32   |
| 2.3 สารลดแรงตึงผิว                                    | 32   |
| 2.4 การดูดซับ   | 35   |
| 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                             | 37   |
| 2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างประเทศ                 | 37   |
| 2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศ                   | 40   |

|  |    |
|--|----|
| <b>บทที่ 3 วิธีทดลอง</b>   | 42 |
| 3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย   | 42 |
| 3.1.1 เครื่องมือ อุปกรณ์   | 42 |
| 3.1.2 สารเคมี  | 42 |
| 3.2 การเตรียมสารละลายในการวิเคราะห์  | 43 |
| 3.2.1 การเตรียมสารละลาย Stock solution ของ PVA   | 43 |
| 3.2.2 การเตรียมสารละลาย Stock solution ของ CPC   | 44 |
| 3.2.3 การเตรียมสารละลาย Stock solution ของ SDBS  | 44 |
| 3.2.4 การเตรียมสารละลาย Stock solution อื่น ๆ  | 44 |
| 3.3 การศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบในน้ำเคลือบเซรามิก  | 47 |
| 3.3.1 ขนาดอนุภาค   | 47 |
| 3.3.2 พื้นที่ผิวอนุภาค   | 47 |
| 3.3.3 ความหนาแน่น  | 47 |
| 3.4 การหาค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว<br>เนื่องจากผลของการเติมสารพอลิเมอร์                            | 47 |
| 3.5 การศึกษาการดูดซับพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวบนอนุภาค<br>ในน้ำเคลือบเซรามิก  | 48 |
| 3.5.1 การศึกษาการดูดซับพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวเดี่ยว ๆ  | 48 |
| 3.5.2 การศึกษาการดูดซับพอลิเมอร์ผสมสารลดแรงตึงผิว  | 53 |
| 3.6 การศึกษาเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก<br>ที่ได้จากการดูดซับพอลิเมอร์ผสมและไม่ผสมกับสารลดแรงตึงผิว | 54 |
| 3.6.1 วิธีวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm  | 54 |
| 3.6.2 การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้า   | 54 |
| 3.7 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำเคลือบเซรามิกที่เวลาต่าง ๆ   | 56 |
| <b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>  | 58 |
| 4.1 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่จะใช้ทำเป็นน้ำเคลือบเซรามิก   | 58 |
| 4.2 การหาค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว<br>เนื่องจากผลของการเติมสารพอลิเมอร์                            | 59 |
| 4.3 ผลการศึกษาการดูดซับสารผสมระหว่างสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิว<br>บนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน    | 60 |
| 4.3.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)   | 60 |
| 4.3.2 เซททิลพิริดีเนียมคลอไรด์ (CPC)   | 61 |
| 4.3.3 โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (SDBS)  | 62 |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.4 ผลการศึกษาการเกิดเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก<br>ที่ได้จากผลของการดูดซับสารผสมระหว่างสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิว | 63        |
| 4.4.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์   | 64        |
| 4.4.2 เซททิลพรีดีเนียมคลอไรด์  | 65        |
| 4.4.3 โซเดียมโตะเตคิลเบนซีนซัลโฟเนต  | 67        |
| 4.5 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเติมสารพอลิเมอร์ผสมกับสารลดแรงตึงผิว<br>ที่มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวสูงสุดของน้ำเคลือบเซรามิก   | 69        |
| 4.5.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์   | 70        |
| 4.5.2 เซททิลพรีดีเนียมคลอไรด์  | 72        |
| 4.5.3 โซเดียมโตะเตคิลเบนซีนซัลโฟเนต  | 75        |
| <b>บทที่ 5 สรุปผล และวิจารณ์ผลการทดลอง</b>   | <b>79</b> |
| 5.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์   | 79        |
| 5.2 เซททิลพรีดีเนียมคลอไรด์  | 80        |
| 5.3 โซเดียมโตะเตคิลเบนซีนซัลโฟเนต  | 82        |
| 5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต  | 84        |
| <b>บรรณานุกรม</b>  | <b>85</b> |
| <b>ภาคผนวก</b>   | <b>87</b> |
| <b>ประวัติผู้วิจัย</b>   | <b>96</b> |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวแต่ละประเภท  | 34   |
| 2.2 เปรียบเทียบการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ  | 36   |
| 3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน PVA ความเข้มข้นต่าง ๆ   | 44   |
| 3.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน CPC สำหรับทำ calibration curve  | 45   |
| 3.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน SDBS สำหรับทำ calibration curve   | 45   |
| 3.4 การเตรียมสารละลาย PVA ความเข้มข้นต่าง ๆ สำหรับการทดลองการดูดซับ  | 49   |
| 3.5 การเตรียมสารละลาย CPC ความเข้มข้นต่าง ๆ สำหรับการทดลองการดูดซับ  | 51   |
| 3.6 การเตรียมสารละลาย SDBS ความเข้มข้นต่าง ๆ สำหรับการทดลองการดูดซับ   | 52   |
| 3.7 ปริมาณการเติมสารลดแรงตึงผิวและสารพอลิเมอร์เพื่อวัดค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าของสารละลายแขวนลอยในน้ำเคลือบเซรามิก   | 55   |
| 4.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำน้ำเคลือบเซรามิกและน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอartz และดินเกาลินด้วยอัตราส่วนเท่ากัน   | 58   |
| 4.2 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำน้ำเคลือบเซรามิกและน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอartz และดินเกาลินด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ กัน  | 58   |
| 4.3 ค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ของ CPC และ SDBS เนื่องจากผลของการเติม PVA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยใช้เทคนิค Conductometry   | 59   |
| 4.4 ค่าเสถียรภาพการกระจายตัว (ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm) ของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอartz และดินเกาลินด้วยอัตราส่วนที่ต่างกัน เนื่องจากการดูดซับ PVA CPC และ SDBS ทั้งในรูปแบบเดี่ยว ๆ และผสม | 78   |

## สารบัญภาพประกอบ

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.1 แสดงอนุภาคดินเหนียวในน้ำ (A) และจับกันเองเป็นร่างตาข่ายเนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างส่วนหน้า (faces) ที่มีประจุลบกับส่วนขอบ (edges) ที่มีประจุบวก (B)   | 14   |
| 2.2 แสดงโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวในน้ำ น้ำมัน และอากาศ (A) และการจับกับอนุภาคที่มีประจุตรงข้าม (B)   | 30   |
| 2.3 แสดง Deflocculated (A) และ Coagulated (B)   | 30   |
| 2.4 แสดง Coagulation (A) และ Flocculation (B)   | 31   |
| 2.5 แสดงโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวและการเกิดการรวมตัวเป็นไมเซลล์  | 33   |
| 2.6 การดูดซับและการจัดเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวประเภท anionic ในสารละลาย  | 34   |
| 4.1 ไอโซเทอร์มการดูดซับ PVA บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ตซ์ และดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน โดยเปรียบเทียบการดูดซับบนอนุภาคที่ดูดซับสารลดแรงตึงผิวไว้แล้ว ได้แก่ CPC (●), SDBS (▲) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับสารลดแรงตึงผิว (■).   | 61   |
| 4.2 ไอโซเทอร์มการดูดซับ CPC บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ตซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน โดยเปรียบเทียบการดูดซับ CPC บนอนุภาคที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว (●) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับ PVA (■).   | 62   |
| 4.3 ไอโซเทอร์มการดูดซับ SDBS บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ตซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน โดยเปรียบเทียบการดูดซับ SDBS บนอนุภาคที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว (●) และที่ยังไม่ถูกดูดซับ PVA (■)  | 63   |
| 4.4 ไอโซเทอร์มการดูดซับ (closed symbols) ของ PVA บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่มี เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ตซ์ และดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน และค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm (open symbols) ของสารละลายส่วนบนของสารแขวนลอยหลังจากตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบการดูดซับบนอนุภาคที่ดูดซับสารลดแรงตึงผิวไว้แล้ว ได้แก่ CPC (●,○), SDBS (▲,△) และที่ยังไม่ถูกดูดซับสารลดแรงตึงผิว (■,□). | 64   |
| 4.5 ศักย์ไฟฟ้าซีต้าของสารละลายแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ตซ์ และดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน(closed symbols) กับปริมาณการดูดซับ PVA (open symbols) กับฟังก์ชัน PVA ที่เติม โดยเปรียบเทียบบนอนุภาคที่ดูดซับสารลดแรงตึงผิวไว้แล้ว ได้แก่ CPC (●,○), SDBS (▲,△) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับสารลดแรงตึงผิว (■,□).                         | 65   |

- 4.6 ไอโซเทอร์มการดูดซับ (closed symbols) ของ CPC บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน และค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm (open symbols) ของสารละลายส่วนบนของสารแขวนลอยหลังจากตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบการดูดซับ CPC บนอนุภาคที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว (●,○) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับ PVA (■,□). 66
- 4.7 ศักย์ไฟฟ้าซีต้าของสารละลายแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน(closed symbols) กับปริมาณการดูดซับ CPC (open symbols) บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกกับฟังก์ชันของ CPC ที่เติม โดยเปรียบเทียบบนอนุภาคที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว (●,○) กับบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับ PVA (■,□). 67
- 4.8 ไอโซเทอร์มการดูดซับ (closed symbols) ของ SDBS บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน และค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm (open symbols) ของสารละลายส่วนบนของสารแขวนลอยหลังจากตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง เปรียบเทียบการดูดซับ SDBS บนอนุภาคที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว (●,○) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับ PVA (■,□) 68
- 4.9 ศักย์ไฟฟ้าซีต้าของสารละลายแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน (closed symbols) กับปริมาณการดูดซับ SDBS (open symbols) บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกกับฟังก์ชันของ SDBS ที่เติม โดยเปรียบเทียบอนุภาคที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว (●,○) กับอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับ PVA (■,□). 69
- 4.10 การดูดซับ PVA บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ กัน โดยเปรียบเทียบการดูดซับบนอนุภาคที่ดูดซับสารลดแรงตึงผิวไว้แล้ว ได้แก่ CPC (●), SDBS (▲) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับสารลดแรงตึงผิว (■). 70
- 4.11 ค่าเสถียรภาพการกระจายตัว (ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm) ของสารแขวนลอยของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และ ดินเหนียว หลังจากตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง เนื่องจากผลของการเติม PVA โดยเปรียบเทียบการดูดซับบนอนุภาคที่ดูดซับสารลดแรงตึงผิวไว้แล้ว ได้แก่ CPC (○), SDBS (△) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับสารลดแรงตึงผิว (□). 71
- 4.12 การดูดซับ CPC บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิก (closed symbols) และค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm (open symbols) หลังจากตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบการดูดซับ CPC บนอนุภาคที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว (●,○) และที่ยังไม่ถูกดูดซับ PVA (■,□). 73

- 4.13 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm ของสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กันของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเกาลิน ที่เวลาต่าง ๆ เนื่องจากผลของการเติม CPC ก่อนจุด cmc (▲), ที่จุด cmc (x) และหลังจุด cmc (■). โดยเปรียบเทียบกับน้ำเคลือบเซรามิกที่ไม่เติม CPC 74
- 4.14 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm ของสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กันของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเกาลิน ที่เวลาต่าง ๆ เนื่องจากผลของการเติม CPC ที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว ก่อนจุด cmc (▲), ที่จุด cmc (x) และหลังจุด cmc (■). โดยเปรียบเทียบกับน้ำเคลือบเซรามิกที่ไม่เติม CPC (○) 74
- 4.15 การดูดซับ SDBS บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิก (closed symbols) ที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กันของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเกาลิน และค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm (open symbols) ของสารละลายส่วนบนของสารแขวนลอยหลังจากตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบการดูดซับ SDBS บนอนุภาคที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว (●,○) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับ PVA (■,□) 76
- 4.16 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm ของสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กันของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเกาลิน ที่เวลาต่าง ๆ เนื่องจากผลของการเติม SDBS ก่อนจุด cmc (▲), ที่จุด cmc (x) และหลังจุด cmc (■). โดยเปรียบเทียบกับน้ำเคลือบเซรามิกที่ไม่เติม SDBS (○) 77
- 4.17 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm ของสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กันของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเกาลิน ที่เวลาต่าง ๆ เนื่องจากผลของการเติม SDBS ที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว ก่อนจุด cmc (▲), ที่จุด cmc (x) และหลังจุด cmc (■) โดยเปรียบเทียบกับน้ำเคลือบเซรามิกที่ไม่เติม SDBS (○) 77



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เซรามิก เป็นเรื่องเกี่ยวกับเครื่องเคลือบดินเผาซึ่งได้แก่ เครื่องถ้วยชามเครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องกันไฟฟ้า กระเบื้องกรุฝาผนัง กระเบื้องโมเสค กระเบื้องมุงหลังคา อิฐก่อสร้าง กระถาง โอ่ง ไห พวกแจกันและเครื่องประดับอื่นๆ กล่าวถึงวัตถุดิบต่าง ๆ ที่นำมาใช้ผลิต เช่น ดินต่าง ๆ หิน ฟันม้า หินเขียวหุ่มนาน เป็นต้น กล่าวถึงกระบวนการผลิต ซึ่งประกอบด้วย การเตรียมวัตถุดิบ การเตรียมเนื้อดินปั้น การขึ้นรูปซึ่งมีหลายวิธี เช่น การขึ้นรูปด้วยมือ การขึ้นรูปโดยใช้แป้นหมุน การขึ้นรูปโดยใช้เครื่อง Jigger การขึ้นรูปโดยการเทแบบ และการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัด เป็นต้น เมื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เรียบร้อยแล้ว วิธีต่อมาก็คือ การตากแห้ง การเผาดิน (biscuitfiring) การเคลือบ (glazing) การเผาเคลือบ (glostfiring) นอกจากนี้ก็อาจมีการตกแต่งให้สวยงาม เช่น การเขียนลวดลายด้วยสีหรือการติดรูปลอก ซึ่งสามารถทำได้ทั้งก่อนและหลังการเคลือบ

อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบจากแหล่งทรัพยากรภายในประเทศและเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่รองรับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ในปัจจุบันอุตสาหกรรมเซรามิกได้ถูกพัฒนาการผลิตจากอุตสาหกรรมภายในครอบครัวขนาดเล็ก จนถึงระดับประเทศเพื่อได้ผลิตภัณฑ์สำหรับการส่งออก ในสมัยก่อนเซรามิก หมายถึง ศิลปะที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปั้นดินเผา เนื่องจากคำว่า เซรามิก เป็นคำศัพท์เดิมที่มาจากภาษากรีกว่า “ เครามอส” KERAMOS ซึ่งหมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากดินและผ่านการเผา ปัจจุบันนี้เซรามิก หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัตถุดิบในธรรมชาติ เช่น ดิน หิน ทราย และแร่ธาตุต่าง ๆ นำมาผสมกันทำเป็นสิ่งประดิษฐ์แล้วเผาเพื่อเปลี่ยนเนื้อวัตถุดิบให้แข็งและสามารถคงรูปอยู่ได้ เช่น เครื่องปั้นดินเผา อิฐ แก้ว ซีเมนต์ โลหะเคลือบ วัสดุขั้วถั่ว วัสดุทนไฟ ฉนวนไฟฟ้า ตลอดจนวัสดุก่อสร้างที่เป็นดินเผา

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกในปัจจุบันได้มีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับสมบัติส่วนผสมของวัตถุดิบ โครงสร้างของเนื้อสาร ผลึก สี การกระจายตัวของอนุภาค วิธีการขึ้นรูป การอบผลิตภัณฑ์ให้แห้งก่อนเคลือบรวมทั้งศึกษาวิจัยและพัฒนาสูตรน้ำเคลือบเพื่อให้เคลือบได้คงทนและสวยงาม ตลอดจนกระบวนการเผาและตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้มาตรฐานตามที่ต้องการจากงานวิจัยดังกล่าวที่ได้ให้ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรม สถาปัตยกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ตลอดจนเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภทแก้ว เลนซ์ ปริซึม ผลิตภัณฑ์ปูนขาว ยิปซัม และซีเมนต์ ผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้าง อิฐ กระเบื้อง เครื่องสุขภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์โลหะเคลือบ เครื่องถ้วยชามและเครื่องประดับต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์ฉนวนไฟฟ้า ลูกถ้วยไฟฟ้า หัวเทียนเครื่องยนต์ ผลิตภัณฑ์ตัวถังรถยนต์ที่มีน้ำหนักเบาและแข็งแรง ผลิตภัณฑ์ออกไซด์ปริสสุทรีที่มีสมบัติทางด้านไฟฟ้า แผ่นวงจรรวม แผ่นซิลิคอนที่ใช้

ในการสร้างเซลล์สุริยะ แผงวงจรเครื่องอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ผลิตภัณฑ์วัสดุทนไฟ วัสดุขัดถู ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ เช่น ยูเรเนียมไดออกไซด์ นอกจากนี้ยังนำผลิตภัณฑ์เซรามิกมาใช้ในวงการแพทย์และทันตแพทย์ เช่น การทำอวัยวะเทียม กระดูกเทียม ฟันเทียม

กระบวนการผลิตเซรามิกจะประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การเตรียมวัตถุดิบ (raw material preparation) 2) การผสมเป็นรูปร่าง (formulation of body mixture) 3) การขึ้นรูป (forming) 4) การเคลือบ (glazing) และ 5) การเผา (firing) โดยขั้นตอนการเคลือบเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เพราะเป็นการเคลือบรูปร่างเซรามิกให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ในกระบวนการทำน้ำเคลือบ มีองค์ประกอบที่แตกต่างกันตามแต่ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยองค์ประกอบหลักที่สำคัญ ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน (หินปูน) ควอร์ตซ์ และดินเกาลิน ซึ่งบดผสมกันเป็นผงละเอียด และรวมกับน้ำ ผสมให้เข้ากันเพื่อนำไปเคลือบบนรูปเซรามิก แล้วทำให้แห้ง ก่อนที่จะนำไปเผาเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

ผลิตภัณฑ์ เซรามิก ส่วนมากจะมีการเคลือบ เพื่อให้เกิดความสวยงามและง่ายต่อการทำความสะอาด ซึ่งเคลือบที่ใช้ต้องเหมาะสมกับชนิดและสมบัติของเนื้อดินปั้น มิฉะนั้น จะเกิดตำหนิบนผลิตภัณฑ์ได้ไม่ว่าจะเป็นเคลือบไม่สุก ผิวด้าน เคลือบหลุดร่อนออกจากผิวผลิตภัณฑ์หรือหากสุกตัวมีความมันวาวสดใส ก็อาจจะแตกร้าว ที่เรียกว่าเคลือบรานหรือเคลือบแตกลายงาได้ โดยสาเหตุที่สำคัญคือ อนุภาคในน้ำเคลือบจะเกิดการนอนกัน (sedimentation) อยู่ที่ส่วนล่างของน้ำเคลือบอย่างรวดเร็ว หรือเกิดการกระจายตัว (disperse) ต่ำภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก และทำให้กระจายตัวกลับคืนได้ยาก ทำให้ในกระบวนการเคลือบเกิดได้ไม่ดีพื้นผิวที่เคลือบจะไม่เรียบและไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จึงได้ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีคุณภาพต่ำ เป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมเซรามิก

ดังนั้น จึงมีงานวิจัยที่พยายามค้นคว้าหาวิธีการแก้ปัญหาเพื่อควบคุมกระบวนการกระจายตัวในน้ำเคลือบ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีคุณภาพสูง โดยการเติมสารที่ช่วยทำให้เกิดกระจายตัวได้ดี (dispersant) ได้แก่ สารพอลิเมอร์ (polymer) สารอนินทรีย์ (inorganic) และสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ซึ่งสารจำพวกนี้จะถูกดูดซับอยู่บนอนุภาคของน้ำเคลือบ ทำให้เกิดผลของแรงผลักจากความเกะกะ (steric repulsion) ของโมเลกุลสารที่ถูกดูดซับ และแรงผลักจากประจุชั้นซ้อน (electrical double layer repulsion, EDL) จะช่วยทำให้อนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกเกิดเสถียรภาพการกระจายตัว (dispersion stability) คือกระจายตัวได้ดีขึ้นหรือนานขึ้นในน้ำเคลือบ แต่ที่ผ่านมายังไม่มีงานวิจัยที่สามารถอธิบายกลไกของการเกิดเสถียรภาพนี้ได้อย่างชัดเจน

โดยงานวิจัยที่ผ่านมาโดยส่วนใหญ่เป็นการหาวิธีการแก้ปัญหาเพื่อควบคุมการกระจายตัวของอลูมินา หรือซิลิกา เท่านั้น โดยการเติมสารที่ช่วยทำให้เกิดกระจายตัวได้ดี (dispersant) ได้แก่ สารพอลิเมอร์ (polymer) สารอนินทรีย์ (inorganic) และสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ซึ่งสารจำพวกนี้จะถูกดูดซับอยู่บนอนุภาคของอลูมินา หรือซิลิกา ทำให้เกิดผลของแรงผลักจากความเกะกะ (steric repulsion) ของโมเลกุลสารที่ถูกดูดซับ และแรงผลักจากประจุชั้นซ้อน (electrical

double layer repulsion, EDL) จะช่วยทำให้อนุภาคของอลูมินา หรือซิลิกา เกิดเสถียรภาพการกระจายตัว (dispersion stability) คือกระจายตัวได้ดีขึ้นหรือนานขึ้น

ผู้วิจัยได้ศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวไอออนิก (ทั้งชนิดไอออนบวกและลบ) ที่มีต่อเสถียรภาพการกระจายตัวของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีส่วนประกอบรวมกัน 4 ตัว ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ตซ์ และดินเกาลิน โดยศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนบวก ได้แก่ เซททิลพิริดีเนียมคลอไรด์ (CPC ) และชนิดไอออนลบ ได้แก่ โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (SDBS) บนน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ 25 % เฟลด์สปาร์, 28 % ลามสโตน, 20% ควอร์ตซ์ และ 27% ดินเกาลิน โดยศึกษาผลของค่าพีเอชที่ 7 และ 9 และค่าความแรงไอออนที่ 0.001, 0.01 และ 0.1 M NaCl ด้วย พบว่า การดูดซับ CPC เกิดได้ดีบนประจุลบของอนุภาคในน้ำเคลือบ ทำให้เกิดเสถียรภาพขึ้นทั้งที่พีเอช 7 และ 9 ส่วนที่ความแรงไอออนสูง ๆ แม้จะดูดซับได้ดีกว่า แต่เสถียรภาพจะต่ำกว่า ส่วนการดูดซับ SDBS จะเกิดการดูดซับเป็นสารเชิงซ้อนที่ผิวคือ  $\text{Ca}(\text{SDBS})_2$  และทำให้เกิดเสถียรภาพขึ้นทั้งที่พีเอช 7 และ 9 ส่วนความแรงไอออนสูง ๆ เกิดเสถียรภาพไม่ดีเช่นกัน เนื่องจากเกิดการบังหรือความเกะกะ

ต่อมาผู้วิจัยได้ศึกษาการไหลของของเหลว น้ำเคลือบเซรามิก (rheology) และวัดความหนืด (viscosity) โดยนำปริมาณการดูดซับ CPC และ SDBS ที่ได้มาเติมในน้ำเคลือบ พบว่าการเติม CPC ที่ปริมาณการดูดซับสูงสุดทั้งที่ พีเอช 7 และ 9 จะทำให้น้ำเคลือบมีความหนืดต่ำ ซึ่งมีเสถียรภาพดีกว่า และพบว่าที่ความแรงไอออนสูงขึ้น ค่าความหนืดจะสูงขึ้นด้วย ส่วนกรณีผลของการเติม SDBS พบว่าที่ปริมาณ SDBS ดูดซับสูงสุด ความหนืดจะต่ำ แต่ถ้าเติมเกินไปอีกจะทำให้ความหนืดสูงขึ้น เนื่องจากการเกิดไมเซลล์จำนวนมากในระบบ และถ้าความแรงไอออนสูงความหนืดจะสูงด้วย แสดงว่าเสถียรภาพต่ำ

จากนั้นผู้วิจัยได้ศึกษาต่อเนื่อง โดยศึกษาอนุภาคทั้ง 4 ได้แก่ เฟลด์สปาร์, ลามสโตน, ควอร์ตซ์ และดินเกาลิน ทีละตัว ทีละภาวะตัวแปรต่าง ๆ รวมทั้งศึกษาการดูดซับสารพอลิเมอร์ผสมกับสารลดแรงตึงผิวด้วย การดูดซับได้ศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ เช่น ความเข้มข้นของสารพอลิเมอร์ผสมหรือสารลดแรงตึงผิว พบว่าเสถียรภาพการกระจายตัวของส่วนประกอบที่แขวนลอยในน้ำเคลือบเซรามิก สามารถปรับปรุงได้โดยการเติมสารพอลิเมอร์ สารลดแรงตึงผิวไอออนิกทั้งที่ผสมกันและแบบเดี่ยว ๆ เป็นผลมาจากแรงผลักจากชั้นซ้อนของประจุหรือแรงผลักจากความเกะกะจากการดูดซับขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาค ชนิดของสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิว

ในงานวิจัยนี้เป็นโครงการที่ทำต่อเนื่อง โดยนำผลที่ได้จากการดูดซับสารลดแรงตึงผิวและสารพอลิเมอร์บนอนุภาคเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ตซ์ และดินเกาลิน ทีละตัว (ศึกษาอนุภาค 4 ตัวแยกกัน) เพื่อไปใช้ศึกษาการดูดซับสารผสมกันระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสารพอลิเมอร์ที่มีผลต่อการเกิดเสถียรภาพของน้ำเคลือบที่มีอนุภาค 4 ตัวรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ตซ์ และดินเกาลิน ด้วยอัตราส่วนที่เท่ากันและต่าง ๆ กัน เพื่อที่จะหาสภาวะที่ดีที่สุดในการเกิดเสถียรภาพของน้ำเคลือบซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงกระบวนการทำน้ำเคลือบในอุตสาหกรรมเซรามิกได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาการดูดซับสารผสมระหว่างสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวบนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเกาลินด้วยอัตราส่วนเท่ากัน

1.2.2 ศึกษาการเกิดเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเกาลินที่ได้จากผลของการดูดซับสารผสมระหว่างสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวบนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเกาลินด้วยอัตราส่วนเท่ากัน

1.2.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเติมสารพอลิเมอร์ผสมกับสารลดแรงตึงผิวที่มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวสูงสุดของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กันของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเกาลิน

## 1.3. ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาเสถียรภาพการกระจายตัว (dispersion stability) บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก (ceramic glaze) จำนวน 4 ตัวรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเกาลิน ที่ได้จากผลของการดูดซับสารพอลิเมอร์ไม่มีประจุ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมกับสารลดแรงตึงผิวไอออนิกชนิดไอออนลบและบวก ได้แก่ โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต และ เซททิลฟิรดิเนียมคลอไรด์ โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิว โดยควบคุมค่าความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M โซเดียมคลอไรด์ และควบคุมพีเอชของระบบไว้ที่ 9 ส่วนตัวแปรอื่น ๆ ไม่ได้ศึกษา

## 1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.4.1 เสถียรภาพการกระจายตัว หมายถึง ความสามารถในการกระจายตัว (disperse) หรือไม่นอนกัน (sedimentation) หรือไม่ตกตะกอน (settling) ของอนุภาคในสารละลาย (solution) สารแขวนลอย (suspension) หรือในระบบคอลลอยด์ (colloidal)

1.4.2 น้ำเคลือบเซรามิก (ceramic glaze) หมายถึง น้ำที่ผสมด้วยวัตถุดิบที่ใช้ทำในน้ำเคลือบ ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน (หินปูน) ควอร์ทซ์ และดินเกาลิน ในอัตราส่วนคงที่ เพื่อใช้เคลือบบนรูป (body) เพื่อให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิก

1.4.3 อนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก หมายถึง อนุภาคของสารที่เป็นวัตถุดิบในน้ำเคลือบ ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน(หินปูน) ควอร์ทซ์ และดินเกาลิน

1.4.4 สารลดแรงตึงผิวไอออนิก หมายถึง สารที่มีทั้งหมู่ที่ว่องไวต่อน้ำและไม่ว่องไวต่อน้ำในโมเลกุล ในการวิจัยนี้ใช้ชนิดไอออนลบ ได้แก่ โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต และชนิดไอออนบวก ได้แก่ เซททิลฟิรดิเนียมคลอไรด์

1.4.5 เซททิลพิริดีเนียมคลอไรด์ หรือซีพีซี (cetylpyridinium chloride, CPC) หมายถึง สารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนบวก มีสูตรโมเลกุล  $C_{21}H_{38}ClN \cdot H_2O$

1.4.6 โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนตหรือเอสดีบีเอส (sodium dodecylbenzenesulfonate, SDBS) หมายถึง สารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนลบตัวหนึ่ง มีสูตรโมเลกุล  $C_{18}H_{29}NaO_3S$

1.4.7 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือพีวีเอ (Polyvinyl alcohol, PVA) หมายถึง สารพอลิเมอร์ชนิดที่ไม่มีประจุ มีสูตร  $[-CH_2CHOH-]_n$

## 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.5.1 รู้และเข้าใจความสัมพันธ์ของการเติมสารพอลิเมอร์ผสมกับสารลดแรงตึงผิว ที่มีผลต่อเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และ ดินกาลิน

1.5.2 เข้าใจกลไกการเกิดเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก เนื่องจากการดูดซับสารพอลิเมอร์ผสมสารลดแรงตึงผิว

1.5.3 นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการทำน้ำเคลือบในอุตสาหกรรมเซรามิก เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีคุณภาพดีขึ้น

1.5.4 เพื่อพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับภาคการผลิตเชิงอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์การค้าต่อไป

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เซรามิก

##### 2.1.1 ความหมายของเซรามิก

"เซรามิก" มีรากศัพท์มาจากภาษากรีกว่า "Keramos" มีความหมายว่า ไฟ หรือ ความร้อน ดังนั้น เซรามิก จึงหมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้เอาวัตถุดิบหลัก ซึ่งได้แก่ ดิน ททราย แร่ บางอย่าง มาผ่านกระบวนการขึ้นรูป เช่น การปั้น การหล่อ หรือการอัดเป็นแผ่น แล้วทำให้แข็งแรง โดยผ่านความร้อน ที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 100 หรือมากกว่า 1,000 °C

ความหมายของเนื้อเซรามิก

ในการผลิตเซรามิก หรือเครื่องเคลือบดิน สิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งที่ทุกคนต้องคิดถึง นั่นคือดิน (Clay) สำหรับดินที่ใช้ในการผลิตเซรามิกนี้ บางครั้งอาจได้จากแหล่งวัตถุดิบโดยตรง คือขุดดิน ขึ้นมาเพื่อปรับปรุงสภาพความชื้น และสามารถใช้ในการขึ้นรูปได้ หรืออาจต้องนำดินจากแหล่ง มาผ่าน กระบวนการเพื่อกรอง และแยกสิ่งเจือปนต่าง ๆ ออก เช่น รากไม้ ใบไม้ กรวด ททราย เป็นต้น จึงจะสามารถนำมาปรับปรุงสภาพความชื้น และใช้ขึ้นรูปได้ แต่โดยส่วนมากจำเป็นต้องนำดินจาก แหล่งมาผ่าน กระบวนการให้ดินสะอาดขึ้น รวมทั้งนำดินนั้นมาผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่น เช่น หิน ประเภทต่าง ๆ หรือออกไซด์ เพื่อให้มีสมบัติเหมาะสม ซึ่งไม่ว่าจะเป็นดินชนิดหนึ่งชนิดใด จาก สามชนิดดังกล่าวข้างต้น ที่สามารถนำมาใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ได้ตามความต้องการ เราเรียกดิน หรืออัตราส่วนผสมของดิน กับวัตถุดิบอื่น ๆ นี้ว่าเนื้อดินปั้น (Clay Body)

นอกจากเซรามิกจะขึ้นรูปจากดิน หรืออัตราส่วนผสมของดินแล้ว ปัจจุบัน เซรามิกสมัย ใหม่ (New Ceramics) สามารถใช้วิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ โดยไม่มีส่วนผสมของดิน ดังนั้นการ เรียกอัตราส่วนผสม ที่นำมาใช้ขึ้นรูปนี้ว่าเนื้อดินปั้น จึงไม่เหมาะสม และไม่ครอบคลุมทั้งหมด จึง เรียกอัตราส่วนผสมที่ใช้เพื่อการขึ้นรูป ไม่ว่าจะมีส่วนผสมดิน หรือมีส่วนผสมของดิน หรือไม่มีดินใน ส่วนผสม ที่ใช้นำมาใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกว่าเนื้อเซรามิก (Ceramics Body)

ดังนั้น เนื้อเซรามิก ได้จากการนำวัตถุดิบตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป มาผสมเข้าด้วยกันตาม อัตราส่วน มีเป้าหมายที่แน่นอนว่าจะทำผลิตภัณฑ์อะไร เพื่อให้เนื้อเซรามิกมีสมบัติตามต้องการ และมีคุณภาพดี เนื่องจากดินที่ขุดได้จากแหล่งวัตถุดิบ จะไม่มีความสม่ำเสมอของสมบัติ อีกทั้งมี สมบัติเฉพาะตัว ที่มีความเหมาะสม กับการผลิตผลิตภัณฑ์ ชนิดหนึ่ง ชนิดใดเท่านั้น ดังนั้นจึงต้อง มีการเตรียมเนื้อดิน เพื่อให้ได้เนื้อเซรามิก ที่มีสมบัติสม่ำเสมอมีคุณภาพดี และตรงกับ ความต้องการ ในการใช้งาน ซึ่งการเตรียมเนื้อเซรามิก ได้แก่ การผสมดินกับวัตถุดิบอื่นเข้าด้วยกัน เพื่อ ความมุ่งหมายเฉพาะอย่างหรือมีเป้าหมายที่แน่นอนนั่นเอง

ศาสตราจารย์ เดวิด คิวเกอร์ ผู้เป็นทั้งนักเซรามิกและนักเขียนที่ได้รับการยกย่องและ เป็นที่นับถืออย่างมากในวงการเซรามิก ได้กล่าวว่า เซรามิก มาจากภาษากรีกโบราณว่า kamos

(เค-รา-มอส) หมายถึง ศาสตร์และศิลป์ของการผลิตและการใช้วัสดุ ของแข็ง ที่มีองค์ประกอบพิเศษ และองค์ประกอบส่วนใหญ่ของวัสดุของแข็งนั้น ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่โลหะ

ดังนั้นผลิตภัณฑ์เซรามิก จึงรวมไปถึงผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตแก้ว (glass) ผลิตโลหะเคลือบ (enamel) ผลิตซีเมนต์ (cement) ปูนขาว (lime) ปูนปลาสเตอร์ (plaster) วัสดุทนไฟ (refractories) สิ่งขัดถู (abrasive)

### 2.1.2 ความสำคัญของเซรามิก

สำหรับความสำคัญของเซรามิก สามารถจำแนกได้ 4 ประการ คือ

1) ความสำคัญทางด้านประวัติศาสตร์และโบราณคดี ซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดอายุของโครงกระดูกมนุษย์ เนื่องจากรูปแบบและ รูปทรงที่แตกต่างกันในแต่ละยุคสมัยของผลิตภัณฑ์เซรามิก

2) ความสำคัญทางด้านการศึกษาค้นคว้าวิจัย ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกไปใช้กับงานต่าง ๆ เช่น ใช้กับโครงการอวกาศ (Space flight) ใช้ในเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ เครื่องมือสื่อสารดาวเทียม เครื่องคอมพิวเตอร์ และงานเตาปฏิกรณ์ปรมาณู

3) ความสำคัญทางด้านการบินอวกาศ มีการนำเซรามิกมาใช้เป็นภาชนะสำหรับการหมักดอง เพราะเมื่อเซรามิกได้รับการเผาในอุณหภูมิสูง จะไม่มีการดูดซึมน้ำหรือสารพิษ

4) ความสำคัญทางด้านอุปโภค เช่น เครื่องสุขภัณฑ์ กระเบื้องปูพื้น กระเบื้องกรุผนัง เครื่องประดับตกแต่งต่าง ๆ อุปกรณ์ไฟฟ้าบางส่วนที่เป็นฉนวน เช่น สะพานไฟ

เซรามิกดั้งเดิม (Traditional ceramics) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง เช่น กระเบื้องมุงหลังคา อิฐประเภทต่าง ๆ กระเบื้องปูพื้นและกรุผนัง สุขภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ ของประดับตกแต่ง และเครื่องประดับ เช่น ถ้วย จาน ชาม แจกัน กระถางต้นไม้

เซรามิกสมัยใหม่ (new ceramics) คือ ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีการพัฒนาให้ใช้กับงานประเภทอื่นนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว ได้แก่

ด้านวิศวกรรมเคมี เช่น แหวนกันซึมใน mechanical seal สำหรับปั๊ม ลูกลอยในอุปกรณ์วัดการไหลของสารเคมี ลิ้นควบคุมการผสมของไหล ภาชนะในห้องปฏิบัติการ ใสกรองน้ำ

ด้านวิศวกรรมเครื่องกล ตัวอย่างเช่น ปลอกหุ้มหรือชั้นรองในบริเวณที่มีการกัดกร่อนสูง มีดตัดสำหรับงานกลึงโลหะความเร็วสูง ชิ้นส่วนทนการสึกกร่อนในเครื่องผลิตกระดาษ

ด้านสิ่งทอ ตัวอย่างเช่น ชิ้นส่วนในเครื่องจักรผลิตเส้นใย เช่น Thread guides eyelets pins rollers ลูกบิดความหนาแน่นสูง สำหรับบิดวัสดุที่มีความคมและแข็ง หัวรีดลวดทองแดง และโลหะอื่น ๆ ฉนวนความร้อนและฉนวนไฟฟ้า งานเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าแรงสูง ปลอกป้องกันรอยเชื่อมโลหะขณะเชื่อมด้วยไฟฟ้าแรงสูง

ด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่างเช่น ฉนวนสำหรับวิทยุ เรดาร์และระบบ โทรศัพท ์ ตัวต้านทาน ตัวนำ ตัวเก็บประจุ เฟียโซอิเล็กทริก ทรานซิสเตอร์ หัวรีดลวดทองแดง และโลหะอื่น ๆ

ด้านการแพทย์ เช่น กระดูกเทียม ฟันปลอม มีดผ่าตัด เป็นต้น

### 2.1.3 กระบวนการในเซรามิก

ตัวอย่างกระบวนการผลิตซึ่งแสดงลำดับขั้นตอนพร้อมรูป ดังนี้



1. จัดหาวัตถุดิบ clay, feldspar, pottery stone



2. การบด, เติมน้ำ Rin และ Soda, บดละเอียด 20 hr ความจุ 10ตัน/หม้อบด



3. เติมน้ำให้เป็น slurry



4. ผสม spray dry







5. สายพานลำเลียงสู่ store



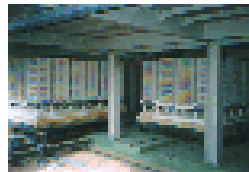
6. เครื่องอัดความดัน รีดน้ำออก



7. ขึ้นรูปตามแบบ



8. บรรจุหีบห่อ



9. จัดเก็บผลิตภัณฑ์ รอจำหน่าย

### 2.1.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเซรามิก

วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส่วนใหญ่ได้มาจากตามธรรมชาติ เช่น ดินขาว ดินเหนียว หินฟันม้า หินควอร์ตซ์ และทราย นอกจากนี้อาจผสม สารบางชนิด เช่น  $\text{Al}_2\text{O}_3$   $\text{ZrO}_2$   $\text{BeO}$   $\text{SiO}_2$   $\text{B}_2\text{O}_3$   $\text{SnO}_2$   $\text{ZnO}$  เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูงขึ้น

เซรามิกส่วนใหญ่มีส่วนผสมของวัตถุดิบ 3 ชนิดคือ ดิน แร่ควอร์ตซ์หรือทราย และแร่ฟันม้า มีลักษณะดังนี้

1) ดิน หมายถึง ดินขาวและดินเหนียว ดินขาว คือ ดินเกาลิน (Kaolin) เช่น ดินขาวระนอง ดินขาว ดินขาวลำปาง เป็นต้น ดินขาว เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตเซรามิก มีสูตรทางเคมีเป็น  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ประกอบด้วย  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ร้อยละ 39.8  $\text{SiO}_2$  ร้อยละ 46.3 และ  $\text{H}_2\text{O}$  ร้อยละ 13.9 โดยมวล ดินชนิดนี้เมื่อเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส จะมีสีขาว แต่ไม่ค่อยเหนียว ดังนั้นจึงต้องมีการผสมดินเหนียวลงไป เพื่อช่วยในการขึ้นรูป

สำหรับดินเหนียว หรือ ดินบอลเคลย์ (Ball Clay) มีสีดำ มีความละเอียดและมีความเหนียวสูง ใช้ผสมกับดินขาวช่วยให้การขึ้นรูปง่ายขึ้น ดินเหนียว มีเนื้อละเอียดมีความแข็งและความเหนียวมากกว่าดินขาว เมื่อผสมกับดินขาวจะทำให้เนื้อดินแน่นและเหนียวมากขึ้นจึงสะดวกในการขึ้นรูปและทำเป็นผลิตภัณฑ์ แหล่งดินเหนียวในประเทศไทย ที่นิยมนำมาผลิต ในอุตสาหกรรมอยู่ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี

2) แร่ควอร์ตซ์ เป็นสารซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) นำมาใช้ผสมทำเซรามิก เพื่อให้เนื้อผลิตภัณฑ์ มีความแข็งแรง และคงทนขึ้น ไม่โค้งงอและช่วยลดการหดตัวของเนื้อดินทั้งก่อนเผาและหลังเผา วัตถุดิบทุกชนิดที่ใช้ผลิตเซรามิกจะต้องทำให้บริสุทธิ์และบดให้มีความละเอียดตามต้องการจากนั้นจึงนำมาผสมกับน้ำและสารอื่น ๆ เพื่อทำให้เนื้อดินอยู่ในสภาพที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ แหล่งแร่ควอร์ตซ์ ในประเทศไทย พบที่ จ.ราชบุรี

3) แร่ฟันม้า (Feldspar) เป็นสารประกอบของอัลคาไลน์อะลูมิเนียมซิลิเกต ใช้ผสม ในเนื้อผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นตัวลดอุณหภูมิ ของการสุกตัวของผลิตภัณฑ์ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ มีความมันวาวและหลอมเป็นเนื้อแก้วได้ดี และช่วยทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์โปร่งแสงมากขึ้น

วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกบางอย่างได้มาจากสินแร่ตามธรรมชาติ เช่น ดินต่าง ๆ (clays) หินฟันม้า (feldspar) หินควอร์ตซ์ (quartz) และทรายทะเล เป็นต้น นอกจากนี้วัตถุดิบบางอย่างได้มาจากการสกัดจากสินแร่ตามธรรมชาติ และนำมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยขบวนการทางเคมี เช่น อะลูมินา (alumina) ซึ่งได้จากแร่บ็อกไซต์ (bauxite) ที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น แบเรียมทิตาเนต นอกจากนี้ก็มีพวกเฟอร์ไรท์ (ferrites) และสารอินทรีย์บางชนิดที่ให้เป็นตัวช่วยในการขึ้นรูป ผลิตภัณฑ์เซรามิกสมัยใหม่ต้องการวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์สูง เพราะสิ่งสกปรกเพียงเล็กน้อยซึ่งอาจจะน้อยกว่า 1% ก็อาจมีอิทธิพลต่อโครงสร้างซึ่งเชื่อมโยงไปถึงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์นั้นๆด้วย การผลิตเซรามิกกึ่งตัวนำ (semiconducting ceramics) สิ่งสกปรกจะต้องมีน้อยกว่า  $1$  ใน  $10^8$  โดยทั่วไป สิ่งสกปรกไม่เป็นที่ปรารถนาในทุกขั้นตอนของ

การผลิต การควบคุมขนาดและรูปร่างของวัตถุดิบ ก็มีความสำคัญไม่น้อยกว่า การควบคุมความบริสุทธิ์ของวัตถุดิบ เพราะมันจะมีผลต่อการขึ้นรูป การเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันของวัตถุดิบต่างๆ ในขณะที่เผาหรือระหว่างการทำการสังเคราะห์สารต่างๆ

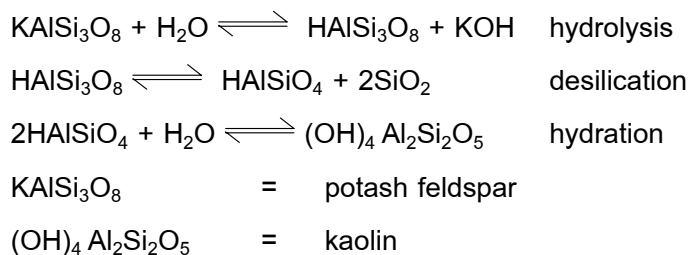
### 1) ดิน (Clays)

ดินเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยเฉพาะภาชนะรองรับอาหาร (dinner ware or table ware) พวกสุขภัณฑ์ (sanitary ware) พวกกระเบื้อง (wall and floor tile) และอื่นๆ ดินมีหลายชนิดแตกต่างกันไป อาจจะต่างกันในเรื่องโครงสร้าง รวมทั้งต่างกันในเรื่องคุณสมบัติทางกายภาพ เป็นต้นว่า มีความเหนียวต่างกัน ดินอาจจำแนกเป็น 2 ชนิด คือ ดินขาว และดินดำ

#### 1.1) ดินขาว (kaolin, china clay) : $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$

เป็นวัตถุดิบที่มีความเหนียว (plastic material) คำว่า kaolin มาจากภาษาจีน แปลว่า ภูเขาสูง ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดดินขาวในประเทศจีน ดินขาวมีอยู่หลายชนิด แตกต่างกันไป ตามแหล่งที่อยู่บนผิวโลก ดินขาวส่วนใหญ่ เป็นดินที่เกิดอยู่ในแหล่งผุพังของหินเดิม มีเม็ดหยาบ มีความเหนียวน้อย ประกอบด้วย แร่ เกาลินไนท์ (kaolinite) มากกว่าดินชนิดอื่น ดินขาวมีความบริสุทธิ์สูงเผาแล้วได้สีขาวบริสุทธิ์ นิยมนำมาทำผลิตภัณฑ์พอร์สเลน โบนไซนา และผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสีขาว

แหล่งต้นกำเนิดดินขาวแหล่งนี้ มักพบในลักษณะเป็นภูเขา หรือที่ราบซึ่งเดิมเป็นแหล่งแร่หินฟันม้า (feldspar) เมื่อหินฟันม้าผุพังโดยบรรยากาศ (weathering) ผลสุดท้ายเหลือเป็นดินขาวอยู่ ณ ที่นั้น ขบวนการเกิดดินขาว (kaolinization) นี้มีขั้นตอนของปฏิกิริยาต่างๆ ดังนี้



สิ่งสกปรกที่พบเสมอในดินเหล่านี้คือ ซิลิกา ( $SiO_2$ ) นอกจากนี้ก็มีหินฟันม้า และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ยังไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยายังไม่สมบูรณ์ และอาจมีสิ่งสกปรกจากที่อื่นไปอยู่

แหล่งสะสมที่ลุ่ม (sedimentary deposit) หมายถึง แหล่งดินขาวที่เกิดจากดินขาวจากแหล่งแรก ถูกกระแสน้ำพัดไป และไปสะสมในบริเวณที่ราบลุ่ม แหล่งที่พบในประเทศไทย ได้แก่ อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง ตำบลหาดส้มแป้น จังหวัดระยอง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี

เมื่อได้ชุดสำรวจจนทราบบริเวณของแหล่งดินแล้วชุดผิวหน้าซึ่งปกคลุมแหล่งดินออก แล้วจึงขุดดินขาวส่งไปยังโรงล้างดิน การล้างดินอาศัยน้ำเป็นตัวล้าง และใช้สารเคมี เช่น sodium

polyphosphate หรือ sodium Silicate เป็นตัวช่วยทำให้ดินกระจายตัวได้ดี ดินละเอียดจะถูกกระแสน้ำพาไป พวกหยาบๆจะจมตัวลง เครื่องมือใช้ในการล้างดินอาจใช้ รางแยกแร่ (trough type) อ่างกัดดิน (bowl classifier) เครื่องคัดขนาดแบบระหัด (drug classifier) hydrocyclone หรือเครื่องเซนติฟิวส์ที่มีอัตราเร็วสูง หลังจากจัดพวกหยาบๆแล้วกรองด้วย filter press หรือ centrifuge แยกดินออกจากน้ำ แล้วนำไปตากแห้ง บดละเอียด บรรจุถุงและส่งไปจำหน่าย

ผลึกที่บริสุทธิ์ของดินขาวมีส่วนประกอบทางเคมีเป็น  $(\text{OH})_4 \text{Al}_2\text{SiO}_2$  หรือ  $\text{AlO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   
39.8% AlO 46.3%  $\text{SiO}_2$  และ 13.9%  $\text{H}_2\text{O}$

ดินขาวที่พบตามแหล่งมีส่วนประกอบต่างกันไปด้วยเหตุผล 2 ประการ

- 1) เนื่องจากในโครงสร้างของดินขาวมีการแทนที่กันของโลหะธาตุซึ่งมีประจุบวก
- 2) เนื่องจากมีสารประกอบอื่นปะปนอยู่ ได้แก่ quartz feldspar rutile, pyrite tourmaline zircon hematite magnetite fluorite และ muscovite เป็นต้น

### 1.1.1) แร่ดินขาว (Kaolin Minerals)

ปัจจุบันเรารู้เรื่องดินขาวเป็นอย่างดี เนื่องจากเราสามารถใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์เข้าช่วย เครื่องมือนี้ได้แก่ x-ray diffraction, differential thermal analysis, electron microscope และ infrared spectrophotometer

โครงสร้างของสารประกอบพวกซิลิเกต (silicate structures) สารประกอบพวกซิลิเกตมีโครงสร้างได้หลายแบบซึ่งขึ้นกับการเชื่อมโยงกันของ silicon-oxygen tetrahedron disilicates เป็นโครงสร้างที่พบในแร่ดิน โครงสร้างของมันเกิดจากการเชื่อมโยงกันของออกซิเจนกับออกซิเจน อะตอมสามคู่ของ tetrahedron แต่ละหน่วยซึ่งการเชื่อมโยงกันเป็นไปอย่างต่อเนื่องในลักษณะที่เป็นแผ่น (sheet) ซึ่งจะมีอัตราส่วนของ Si:O ในอัตราส่วน 2:5 รูปร่างของ tetrahedron sheet จะมีลักษณะคล้ายวงผึ้งตรงกลางของแต่ละเซลล์เป็นโพรงใหญ่

Octahedron sheet ประกอบด้วยแต่ละคู่ของ octahedral-packed OH sheets ซึ่งมีอนุภาคมวลอยู่ระหว่าง octahedron เหล่านี้ มาเรียงซ้อนกันอย่างเหมาะสม พวกอนุภาคมวลอาจเป็น  $\text{Al}^{3+}$   $\text{Fe}^{2+}$  หรือ  $\text{Mg}^{2+}$  ในดินซึ่งมีคุณภาพสูง เราจะพบแต่  $\text{Al}^{3+}$  นอกจากนี้ใน octahedral sheet ยังมีโพรงเช่นเดียวกับ tetrahedral sheet ในโพรงเหล่านี้พวกอนุภาคมวล สามารถเข้าไปอยู่ได้ในหนึ่งเซลล์ ถ้ามีอนุภาคมวลเข้าไปอยู่เต็มที่ 6 ตัวเรียกแร่เหล่านี้ว่า tri-octahedral และถ้ามีอนุภาคมวลเข้าไปอยู่เพียง 2 ใน 3 หรือ 4 ตัว เรียกแร่เหล่านี้ว่า di-octahedral

Tetrahedral sheet กับ octahedral sheet เมื่อจับตัวกันอย่างเหมาะสมจะกลายเป็น layers typical ของแร่ดิน การจับตัวกันโดยการแทนที่ 4 ใน 6 ของ OH ในหนึ่งเซลล์ของ octahedral sheet ด้วย O ซึ่งเป็นตัวที่เหลืออยู่ที่ยอดของ tetrahedral sheet

เมื่อ T = tetrahedral sheet O = octahedral sheet และ : = การจับตัวกัน

แร่ที่เกิดจาก T:O พบในแร่ดินขาว

แร่ที่เกิดจาก T:O:T พบในแร่ Mica และ montmorillonite

ในหนึ่งเซลล์ของแร่ดินอาจะมี 2 layers หรือมากกว่า เรียงซ้อนกันก็ได้ เมื่อ layer หนึ่งซ้อนบนอีก layer หนึ่งอย่างเหมาะสมจะได้โครงสร้างเป็น orthorhombic ถ้า layers บิดไปทางหนึ่งทางใดจะได้โครงสร้างเป็น Monoclinic หรือถ้ามีการบิดไปใน 2 ทิศทางจะได้โครงสร้างเป็น triclinic แร่บางชนิด เช่น montmorillonite การซ้อนกันของ layer เป็นไปในลักษณะไม่มีระเบียบ

แร่ดินขาว (kaolin minerals) แร่ดินขาวมีหลายอย่างแตกต่างกันไปตามโครงสร้างและสูตรทางเคมี สูตรเคมีพื้นฐานคือ  $(OH)_4 Al_2(Si_2O_5)$  การเรียกชื่อแร่ดินต่างๆในที่นี้ เรียกตาม the clay minerals group sup-committee

Kaolinite เป็นแร่ดินที่พบมากที่สุด โครงสร้างของมันประกอบด้วย 1 layer ใน 1 เซลล์ ซึ่งเกิดจากการจับตัวกันของ tetrahedral sheet กับ octahedral sheet โครงสร้างของมันเป็น triclinic

Dickite เป็นแร่ดินที่พบบ้าง โครงสร้างของมันเป็นแบบสอง layers ในหนึ่งเซลล์ และมีโครงสร้างเป็น monoclinic

Nacrite เป็นแร่ดินที่หาได้ยาก โครงสร้างของมันเป็นแบบ six layers ในหนึ่งเซลล์ และมีโครงสร้างเป็น orthorhombic

Halloysite แร่ดินชนิดนี้นักเซรามิกสนใจเป็นพิเศษ เพราะว่ามันอาจช่วยทำให้เนื้อดินปั้นขาวมากขึ้น แร่ดินชนิดนี้ไม่เป็นแผ่นเหมือนแร่ดินที่กล่าวมาข้างต้น แต่มันมีลักษณะไม่เป็นแผ่น มันเป็นหลอดเล็กๆมีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็น  $(OH)_4 Al_2(Si_2O_5) \cdot 2H_2O$  ที่อุณหภูมิ  $50^\circ C$   $2H_2O$  จะเริ่มถูกขจัดออกไป ซึ่งจะกลายเป็น meta-halloysite เพราะฉะนั้นโครงสร้างของ halloysite อาจเป็นแบบ TO :  $H_2O$  : TO ส่วน meta-halloysite มีโครงสร้างคล้าย kaolinite มาก

Anauxite แร่ดินชนิดนี้มี x-ray diffraction patterns เหมือน kaolinite มาก แต่ส่วนประกอบทางเคมีมีอัตราส่วนระหว่าง  $SiO_2/Al_2O_3$  มากกว่า 2 แสดงว่า anauxite อาจเกิดจาก silica sheet แทรกเข้าไประหว่างชั้นของ kaolinite หรืออาจจะเกิดจาก  $Si^{4+}$  เข้าแทนที่  $Al^{3+}$  ใน kaolinite

Fire-clay Minerals แร่ดินชนิดนี้มักพบในดินเหนียว เขาพบว่าแร่ดินชนิดนี้ชั้นในทางแกน C มีการเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ

### 1.1.2) คุณสมบัติทางกายภาพของแร่ดินขาว

การทราบคุณสมบัติทางกายภาพของแร่ดินขาว จะช่วยทำให้เราสามารถทำนายคุณสมบัติของเนื้อดินปั้นซึ่งมีแร่ดินเหล่านั้นผสมอยู่ได้ดีพอสมควร คุณสมบัติที่ควรจะได้ศึกษา คือ

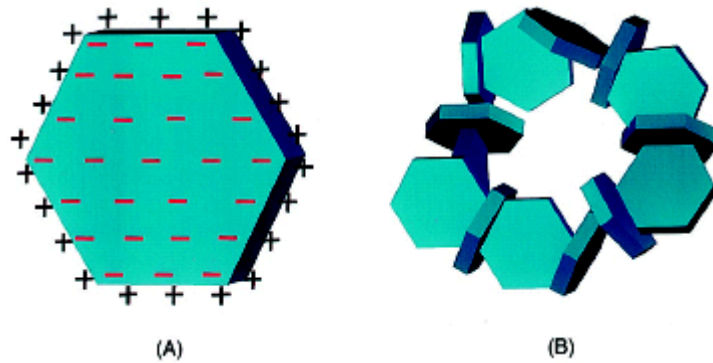
### 1.1.2.1) ขนาด (particle size)

คุณสมบัตินี้มีความสำคัญมากอันหนึ่ง เพราะว่ามันเกี่ยวข้องกับทางด้านคุณสมบัติความเหนียว (plasticity) และการหดตัวเมื่อแห้ง (drying shrinkage) กล่าวโดยทั่วไปดินเม็ดละเอียดจะให้ความเหนียว และการหดตัวเมื่อแห้งมากกว่าดินเม็ดหยาบ

### 1.1.2.2) รูปร่าง (particle shape)

แร่ kaolinite อนุภาคมันมีรูปร่างเป็นแผ่นหกเหลี่ยม ดังรูปที่ 2.1 มีขนาดจาก 0.05 ถึง 10 ไมครอน โดยเฉลี่ยขนาดอยู่ระหว่าง 0.5 ไมครอน

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุมูล (base exchange capacity) คุณสมบัติข้อนี้สำหรับแร่พวก kaolinite มีน้อยมาก เพราะว่ามันมีการแทนที่กันของพวกอนุมูลบวกในโครงสร้างน้อยมาก โดยเฉพาะผลึก kaolinite ที่บริสุทธิ์จะไม่สามารถแลกเปลี่ยนอนุมูลเลย มันจะแลกเปลี่ยนได้ เมื่อมันไม่เป็นผลึกที่สมบูรณ์ หรือจะดูเอาผลึกขนาดเล็กของแร่พวก three layer เข้าไว้ที่ผิวของมัน



รูปที่ 2.1 แสดงอนุภาคดินกาอลินในน้ำ (A) และจับกันเองเป็นร่างตาข่ายเนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างส่วนหน้า (faces) ที่มีประจุลบกับส่วนขอบ (edges) ที่มีประจุบวก (B)

คุณสมบัติเมื่อแห้ง (drying property) การหดตัวเมื่อแห้งของแร่ดินล้วนๆ เราไม่ค่อยสนใจ เพราะฉะนั้นดินนั้นมักประกอบด้วยแร่หลายอย่างแต่กล่าวได้กว้างๆว่าของละเอียด มีการหดตัวมากกว่าของหยาบ เมื่อทิ้งไว้ให้แห้ง

ความแข็งแกร่งเผา (green strength) คุณสมบัตินี้สำคัญมากโดยเฉพาะเมื่อจะนำแร่ดินขาวไปใช้ในเนื้อดินปั้นซึ่งไม่มีดินดำ (Ball clay) อยู่เลย เพราะที่ดินขาวเท่านั้นที่จะเป็นตัวช่วยให้ผลิตภัณฑ์ดินมีความแข็งแรงมากน้อยเพียงไร

คุณสมบัติหลังจากเผา (firing properties) แร่ดินขาวมีการหดตัวสูงหลังจากการเผาไม่ควรรใช้แร่ดินขาวล้วนเป็นเนื้อดินปั้น แร่ดินขาวเมื่อเผาแล้วจะหดตัวประมาณ 20%

## 1.2) ดินดำ (Ball clay)

ดินเหนียวขาว หรือดินดำ (ball clay) มีสูตรคือ  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O \cdot 0.1K_2O$  เป็นวัสดุที่มีความเหนียว (Plastic material) เกิดจากดินขาวย้ายถิ่น (Sedimentary clay) ไป

ตกตะกอนสะสมในแหล่งใหม่ มีเม็ดละเอียดมาก อนุภาคยึดเกาะกันได้ดี มีอินทรีย์สารเจือปนอยู่ จึงทำให้เปลี่ยนสีจากขาวเป็นสีเทาถึงสีดำ เมื่อนำไปเผาจะสีสีขาวหรือสีครีม ดินดำที่มีเนื้อละเอียด หลังการเผาเป็นสีขาว และมีความทนไฟ 1300 °C โดยไม่บิดเบี้ยวมักเป็นดินที่มีคุณภาพดี

แหล่งที่พบในประเทศไทย ได้แก่ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี อำเภอมะทนะ จังหวัดลำปาง อำเภอบ้านสาสาร อำเภอเวียงสะ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ดินขาวเป็นดินที่ใช้มากในอุตสาหกรรมเซรามิก แต่มีดินอีกชนิดหนึ่งแต่มีดินอีกชนิดหนึ่งที่สำคัญเช่นกัน ดินชนิดนี้มีสีดำ แต่เมื่อเผาแล้วจะมีสีขาว ดินชนิดนี้มีความเหนียวมากกว่า และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่เผามีความแข็งแรงมากกว่าดินขาว

ดินดำ อาจจะทำให้คำจำกัดความได้ว่า หมายถึงดินที่มีสีขาว ขาวคล้ำจนถึงดำสนิท มีแหล่งสะสมในที่ลุ่ม มีเม็ดละเอียด มีอินทรีย์สารเจือปน มีความเหนียวดี ให้ความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์เมื่อยังไม่เผาดีกว่าดินขาว เมื่อเผาจะมีสีขาวหรือเหลืองจางๆ

สาเหตุที่เราต้องนำดินดำมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกนั้น เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปของเนื้อดินปั้นให้ดีขึ้น และพัฒนาผลิตภัณฑ์ก่อนเผาให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้การสูญเสียเนื่องจากการแตกหักของผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่เผาในขณะที่มีการเคลื่อนย้ายลดลง นอกจากนี้ยังช่วยทำให้น้ำดินในการเทแบบมีการไหลตัวดีขึ้น

ดินดำบางชนิดมีความสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างมวลสาร ในเนื้อดินปั้นขณะทำการเผา เป็นผลทำให้ ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่นเป็นเนื้อเดียวกันตลอด

การนำดินดำมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก มีข้อเสียคือ ในดินดำมักมีสิ่งสกปรก เช่น  $Fe_2O_3$   $TiO_2$  ซึ่งเป็นตัวทำให้ความขาวของผลิตภัณฑ์เสียไป ทำให้ความโปร่งแสงของผลิตภัณฑ์น้อยลง นอกจากนี้ดินดำมีส่วนประกอบไม่แน่นอน ทำให้เกิดความยุ่งยากในการควบคุมน้ำดินสำหรับเทแบบ

แร่ดินต่างๆที่พบในดินดำพอสรุปได้คือ kaolinite ซึ่งมีทั้งหยาบและละเอียดเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้มี montmorillonite เล็กน้อย แร่อื่นๆที่เป็นส่วนประกอบอยู่ก็มี quartz, mica เป็นต้น

ส่วนอินทรีย์สารที่พบได้แก่ lignite waxes resins lignin และ humus นอกจากนี้ก็มีเกลือที่ละลายน้ำได้ เกลือส่วนใหญ่เป็นเกลือซัลเฟตและเกลือคลอไรด์ของ Al Fe Ca Mg K Na ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอนุมูลอยู่ระหว่าง 7 – 30 milliequivalents ใน 100 กรัม

### 1.2.1) คุณสมบัติทางกายภาพของดินดำ

1) ขนาดดินดำมีขนาดละเอียดกว่าดินขาว ขนาดดินดำจะมีขนาดละเอียดแค่ไหน และมากน้อยเพียงใดจะเปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งที่พบ คือแหล่งดินที่ถูกพัดพาไปไกลจากแหล่งเดิมมากจะมีการเสียดสี และการบดกันตามธรรมชาติมาก ขนาดของเม็ดดินจะละเอียดมากขึ้นตามลำดับ

2) ความเหนียว (plasticity) กล่าวโดยทั่วไปแล้ว ดินเหนียวมีความเหนียวดีกว่าดินขาว การผสมดินเหนียวลงไปเนื้อดินปั้นจะช่วยทำให้การขึ้นรูปได้ดีขึ้น

3) การหดตัวเมื่อแห้ง (drying shrinkage) ดินดำมีการหดตัวเล็กน้อยแตกต่างกันไปตามแหล่งหรือชนิดของดินดำนั้น เช่น ดินดำที่มี  $\text{SiO}_2$  สูงแทบไม่มีการหดตัวเลย แต่ดินดำที่มีอินทรีย์สารสูงจะมีการหดตัวมากประมาณ 15% แต่อย่างไรก็ตามเราไม่ใช้ดินดำอย่างเดียวในการผสมเนื้อดินปั้น เราสามารถที่จะทดลองผสมเนื้อดินปั้นขึ้นมาหาส่วนผสมเนื้อดินปั้นที่มีการหดตัวที่เหมาะสมได้

4) ความแข็งแรงก่อนเผา (green strength) ปกติดินเหนียวจะมีความแข็งแรงกว่าดินขาว ดินดำที่มีความแข็งแรงสูงเมื่อผสมในเนื้อดินปั้นจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงสูงตามด้วย

5) คุณสมบัติหลังเผา (firing properties) ถ้าเป็นดินเหนียวล้วนๆ คุณสมบัติหลังการเผา เป็นต้นว่ามีสีเป็นอย่างไร เนื้อดีหรือไม่ดีอย่างไร ไม่ค่อยสำคัญนัก แต่คุณสมบัติเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อกระเบื้องเมื่อผสมดินดำเข้าไปในเนื้อดินปั้น ดินดำบางอย่างมี mica ประกอบอยู่เมื่อผสมในเนื้อดินปั้นเมื่อเผา mica จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาในเนื้อดินปั้น ทำให้เนื้อดินปั้นมีคุณสมบัติคล้ายแก้วมากขึ้น

## 2) ควอร์ตซ์หรือหินเขี้ยวหนุमान (Quartz, $\text{SiO}_2$ )

หินเขี้ยวหนุमान ซิลิกา ควอร์ตซ์ หินแก้ว หรือ หินเหล็กไฟ (flint) เป็นวัสดุที่เปราะ ความเหนียว (non-plastic material) และเป็นตัวทนไฟ มีจุดหลอมละลายที่  $1728^\circ\text{C}$  ใช้ผสมในเนื้อดิน 10-30 % ในสูตรเคลือบอุณหภูมิสูง และใช้ในอุตสาหกรรมการทำแก้ว นอกจากนี้หินเขี้ยวหนุमानยังช่วยในเรื่องของปัญหาการแตกร้าว เพิ่มความแข็งแรงของเนื้อผลิตภัณฑ์และทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างกะทันหัน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นเหมือนโครงกระดูกของผลิตภัณฑ์เซรามิก

ควอร์ตซ์เป็นสารประกอบของซิลิกาที่เกิดในธรรมชาติมีความบริสุทธิ์มากกว่าวัสดุชนิดอื่น ๆ ที่เป็นสารประกอบอย่างเดียวกัน มีความแข็งและคมมาก การบดย่อยให้ละเอียดทำได้ยาก ลักษณะของหินเขี้ยวหนุमानที่พบในประเทศมีทั้งชนิดใสและขาวขุ่นทึบ สำหรับที่เขาหินแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี เป็นชนิดใส มีทั้งสีขาวและสีชมพู

แหล่งที่พบในประเทศไทย ได้แก่ ชนิดผลึกใส พบที่ ลำปาง น่าน อุตรดิตถ์ นครสวรรค์ ระนอง พังงา ภูเก็ตและนครศรีธรรมราช ชนิดสีม่วง พบที่ ลำปาง นครนายก ตาก ชนิดสีชมพู พบที่ จันทบุรี ราชบุรี ระนอง พังงา ภูเก็ต และชนิดคาลซิโดไนต์ อะเกต แจสเปอร์ พบที่ อำเภอลำ นารายณ์ ลพบุรี

ควอร์ตซ์หรือหินเขี้ยวหนุमानในผลิตภัณฑ์เซรามิก เปรียบเสมือนโครงร่างส่วนดิน ทำหน้าที่เป็นเนื้อและส่วนอื่น ๆ หินเขี้ยวหนุमानช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งแรงไม่โค้งงอ และช่วยทำให้การหดตัวทั้งก่อนและหลังเผาน้อยลง ในเนื้อดินปั้นถ้วยชามชั้นดีนั้นจะมีควอร์ตซ์ผสมอยู่ 10 ถึง



30 % สำหรับควอร์ตซ์ที่ใช้ในเนื้อดินปั้นถ้วยชามชั้นดีควรมีเปอร์เซ็นต์เหล็กต่ำ ถึงแม้จะมีลูมินาปนอยู่เล็กน้อยก็ไม่เป็นอันตราย

ตัวอย่าง คุณสมบัติบางประการของแร่ควอร์ตซ์ (หินเขี้ยวหนุมาน)

|  |         |                        |   |
|--|---------|------------------------|---|
| ความถ่วงจำเพาะ                             | = 2.651 | จุดหลอมตัว             | = 1728 °C                               |
| ความแข็ง                                   | = 7     | สัมประสิทธิ์การขยายตัว | = $7.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ |
| ดรรชนีการหักเหของแสง                       | = 1.544 | โครงสร้างของผลึก       | = hexagonal                             |
| ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric constant) | = 4.5   |                        |   |

โครงสร้างอะตอมของควอร์ตซ์เป็นร่างแหสามมิติ เกิดจากออกซิเจนอะตอมทั้งสี่ของ m-ring เหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedron) หลายๆ รูปเชื่อมโยงกันอย่างต่อเนื่อง การเชื่อมโยงกันเช่นนี้ทำให้ผลึกแข็งแกร่งตั้งนั้น หินหนุมานจึงจัดเป็นพวกซิลิเกตมากกว่าพวกออกไซด์ พันธะของมันแข็งแรงมากจึงทำให้มันมีจุดหลอมตัวสูงมาก

ส่วนประกอบตามธรรมชาติของควอร์ตซ์ เป็นดังนี้

|                                |                |
|--------------------------------|----------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 97.85 – 99.8 % |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.09 – 0.17 %  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.02 – 0.89 %  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0 – 0.01 %     |
| CaO                            | 0 – 0.20 %     |
| MgO                            | 0 – 0.09 %     |
| K or Na                        | 0 – 0.56 %     |
| น้ำ                            | 0 – 1.10 %     |
| อินทรีย์สาร                    | 0 – 0.50 %     |

ควอร์ตซ์หรือหินเขี้ยวหนุมานที่บดและใช้ในอุตสาหกรรมมีชื่อ เรียกว่า Potter's Flint นั้นมีขนาดโดยเฉลี่ย 50% ต่ำกว่า 30 ไมครอน การควบคุมขนาดก็มีความสำคัญเพราะว่าขนาดมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ทั้งก่อนและหลังเผา

### 3) หินฟันม้า (Feldspar)

หินฟันม้าหรือเฟลด์สปาร์เป็นวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียว (non-plastic material) และเป็นวัตถุดิบกลุ่มต่าง ซึ่งเป็นตัวช่วยหลอมละลาย ใช้ผสมในเคลือบอุณหภูมิสูงและเนื้อดินปั้นพอร์สเลน หินฟันม้าเป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกตและอัลคาไลน์หรืออัลคาไลน์เอิร์ท วัตถุดิบกลุ่มสารประกอบประเภทหินฟันม้า ได้แก่

โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ 1220 °C (orthoclase) :  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$

โซเดียมเฟลด์สปาร์ 1170-1200 °C (albite) :  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$

ไครมเฟลด์สปาร์ 1550 °C (anorthite) :  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$

แบเรียมเฟลด์สปาร์ 1750 °C (celsian) :  $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$

ลิเทียมเฟลด์สปาร์ 1200 °C (petalite) :  $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$

ลิเทียมเฟลด์สปาร์ 1250 °C (spodumene) :  $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$

ลิเทียมเฟลด์สปาร์ 1150 °C (lepidotite) :  $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$

แหล่งที่พบในประเทศไทย ได้แก่ อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก อำเภอปอพลอย จังหวัดกาญจนบุรี

เฟลด์สปาร์หรือหินฟันม้าเป็นสารที่ประกอบอลูมิโนซิลิเกตของอัลคาไลด์ และอัลคาไลด์เอิร์ท โดยเฉพาะสารประกอบของ Na, K, Ca พบมากและใช้มากในอุตสาหกรรมเซรามิก สารประกอบบริสุทธิ์ของ Na, K, Ca หาได้ยาก ในแร่หินฟันม้าจะมีทั้ง Na, K, และ Ca ซึ่งจะมีอัตราส่วนแตกต่างกันไป เนื่องจากว่า สารประกอบทั้งสามตัวนี้มีการละลายซึ่งกันและกัน

หินฟันม้าใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก เพื่อเป็นตัวเริ่มก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดเนื้อแก้วในเนื้อผลิตภัณฑ์ ดังนั้นหินฟันม้าจึงเป็นตัวส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก้ว และช่วยส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติโปร่งแสงดีขึ้น หินฟันม้าเป็นแหล่งอัลคาไลด์และอลูมินาแก่เคลือบและแก้ว ข้อดีที่ทำให้อุตสาหกรรมเซรามิกนำมาใช้ คือ หินฟันม้ามีราคาถูก และเป็นสารประกอบอัลคาไลด์ที่ไม่ละลายน้ำ

แร่หินฟันม้าที่พบมากมี 3 ชนิด คือ  $\text{K}[\text{Al},\text{Si}_3]\text{O}_8$  เรียก orthoclase  $\text{Na}[\text{Al},\text{Si}_3]\text{O}_8$  เรียก albite และ  $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2]\text{O}_8$  เรียก anorthite โครงสร้างของมันเป็นร่างแห 3 มิติ เกิดจากการเชื่อมโยงกันของ oxygen ทั้ง 4 อะตอมของ oxygen-silicon tetrahedrons นอกจากนี้ Al ยังเข้าไปแทนที่ Si บางส่วน และช่องว่างในโครงสร้างร่างแหยังถูก  $\text{K}^+$   $\text{Na}^+$   $\text{Ca}^{2+}$  เข้าไปอยู่ ขนาดของอนุกรม  $\text{Na}^+$  เท่ากับ  $0.98 \text{ \AA}$   $\text{Ca}^{2+}$  เท่ากับ  $1.06 \text{ \AA}$   $\text{K}^+$  เท่ากับ  $1.33 \text{ \AA}$  เนื่องจาก  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Ca}^{2+}$  มีขนาดใกล้เคียงกัน สารประกอบของมันจึงมีการละลายกันได้ดี ส่วน  $\text{K}^+$  มีขนาดใหญ่มากสารประกอบของมันจึงละลายกับสารประกอบของ  $\text{Na}^+$   $\text{Ca}^{2+}$  ได้เพียงบางส่วน หินฟันม้าที่มี  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Ca}^{2+}$  เป็นส่วนประกอบมีโครงสร้างเป็น triclinic และหินฟันม้าที่มี  $\text{K}^+$  เป็นองค์ประกอบมีโครงสร้างเป็น monoclinic โครงสร้างของแร่หินฟันม้าเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น

การทำเหมืองแร่และการแต่งแร่หินฟันม้า การทำเหมืองทำโดยการระเบิดแหล่งแร่แล้วทำการคัดเลือกแร่ แล้งจึงส่งแร่ไปยังโรงแต่งแร่

สำหรับส่วนประกอบของเฟลด์สปาร์หรือหินฟันม้านั้น หินฟันม้าส่วนใหญ่มีส่วนประกอบคงที่พอสมควร เว้นแต่อัตราส่วนของ Na และ K เท่านั้นที่เปลี่ยนแปลงไป หินฟันม้าที่มีเปอร์เซ็นต์ Na สูงใช้ในการผลิตแก้วและเคลือบ ส่วนหินฟันม้าที่มีเปอร์เซ็นต์ K สูงใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้น ส่วนประกอบทางเคมี จะประกอบด้วย  $\text{K}_2\text{O}$  อยู่ระหว่าง 3.3 ถึง 13.1 %  $\text{Na}_2\text{O}$  อยู่ระหว่าง 1.9 ถึง 12.9 % Fe อยู่ระหว่าง 0.04 ถึง 0.2 % หินฟันม้าที่มี % Fe ต่ำ เหมาะสำหรับการใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความขาว ใช้ในเคลือบที่ไม่ต้องการให้มีสี และใช้ในการผลิตแก้ว

การเตรียมตัวอย่างแร่ จะเริ่มจากการนำตัวอย่างที่ได้จากหน้าเหมือง หรือตัวอย่างที่ได้จากการบดแล้วมาทำ sampling ด้วยวิธี cone & quartering (ทำโดยนำตัวอย่างมารวมกันเป็น cone แล้วแบ่งเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน โดยนำเอา 2 ส่วนตรงข้ามกันทิ้งไป และนำเอาอีก 2 ส่วนที่เหลือมารวมกัน ทำจนได้ตัวอย่างในปริมาณที่ต้องการ) ให้ได้ปริมาณที่ต้องการ สำหรับตัวอย่างที่เก็บมาจากหน้าเหมืองที่มีลักษณะเป็นก้อนใหญ่ ก็ให้นำมาบดหยาบให้ได้ขนาดเล็กลงเป็นเกล็ดเล็ก ๆ จึงนำมาทำ cone & quartering โดยตัวอย่างที่ได้จากการบดนี้จะต้องมาทำการทดสอบคุณสมบัติก่อนด้วยแม่เหล็กแรงสูง เพราะเครื่องบดที่ใช้ใช้นั้น ใช้เหล็กคุณภาพที่ไม่ดี ถ้าไม่ทดสอบคุณสมบัติก่อนนั้น เวลานำ sample ไปขึ้นรูปเผาจะมีเศษมลทินเป็นจุดดำ ๆ มาก

เมื่อทำ cone & quartering เสร็จแล้วจึงนำตัวอย่างมาชั่งให้ได้ 160 กรัม เมื่อชั่งตัวอย่างได้ 160 กรัมแล้ว นำมาทดสอบคุณสมบัติออกด้วยแม่เหล็กแรงสูงจนหมดแล้วจึงนำตัวอย่างนั้นมาร้อนตะแกรงขนาดประมาณ 14 mesh ในส่วนที่ยังไม่ผ่านตะแกรงก็นำมาบดหรือตำให้ได้ขนาดที่สามารถผ่านรูตะแกรงได้จนหมด เมื่อตำจนผ่านตะแกรงจนหมดแล้วจึงนำเอาตัวอย่างนั้นไปอบไล่ความชื้นออกให้หมด (เวลาบดด้วย ball-mill นั้น เพื่อไม่ให้ตัวอย่างติดภาชนะและลูกบอล ในขณะบดตัวอย่าง) เมื่ออบไล่ความชื้นออกจนหมดแล้ว จึงนำมาบดด้วย ball-mill โดยใช้ลูกบอลในการบด 45 ลูก นาน 25 – 30 นาที เมื่อบดเสร็จแล้วจะได้ตัวอย่างออกมาในรูปของผงแป้ง ซึ่งสามารถนำมาทำการทดสอบคุณภาพของแร่ได้ทั้งทางกายภาพ และทางเคมีต่อไปได้

#### 4) ลามสโตนหรือหินปูน (Limestone : $\text{CaCO}_3$ )

ลามสโตนหรือหินปูน มีชื่อเรียกหลายชื่อ เช่น แคลไซต์ (calcite) ลามสโตน (limestone) ไวท์ติง (whiting) เป็นวัตถุที่ไม่มีคุณสมบัติเหนียว (non-plastic material) มีสูตรทางเคมี คือ แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) เมื่อนำมาเผาผ่านความร้อนที่ 825–900 °C จะกลายสภาพเป็นปูนขาวผง น้ำหนักเบา เปลี่ยนสูตรเป็น แคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ) นิยมนำไปผสมในเนื้อดินปั้นทำกระเบื้องกรูผนัง 10-20% เผาที่ 950-1100 °C เพื่อลดการพองตัวหลังการเผา และลดการร้าวตัวของเคลือบ ผสมในเนื้อดินปั้นโบนไชน่า (bone china) และเนื้อดินโดโลไมต์แวร์ (dolomite ware) เป็นตัวลดจุดหลอมละลายในเคลือบไฟสูง นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมการทำแก้ว

แหล่งที่พบในประเทศไทย ได้แก่ ตำบลวังน้ำขาว และ ตำบลหนองหญ้าปล้อง อำเภอ บ้านด่านลานหอย จังหวัดสุโขทัย ตำบลแม่ท้อ อำเภอเมือง จังหวัดตาก อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช

#### 5) หินเหล็กไฟและแร่อื่น ๆ

##### 5.1) หินเหล็กไฟ (Flint)

ก้อนแร่ชนิดนี้ประกอบด้วยผลึกเล็ก ๆ ของซิลิกา และมีน้ำอยู่ประมาณ 1 % แหล่งแร่ชนิดนี้มักพบตามลำธารน้ำตกในลักษณะเป็นก้อน ๆ ประโยชน์ของมันอาจจะเลือกเก็บเอามาใช้เป็นลูกบดในหม้อบด หรืออาจจะนำมาเผาประมาณ 600 – 700 °C แล้วบดเก็บไว้แทนหินเขี้ยวหนุมาน

## 5.2) แร่อื่น ๆ ได้แก่

แร่ Kyanite silimanite andalusite มีส่วนประกอบ คือ  $Al_2O_3 \cdot SiO_2$  ใช้เป็นส่วนใหญ่ในการผลิตหัวเทียน

Zircon ( $ZrSiO_4$ ) เป็นแร่ที่พบตามชายหาดบางแห่งจึงไม่ค่อยบริสุทธิ์ จะต้องนำมาทำให้บริสุทธิ์ เช่นเดียวกับ Zirconia ( $ZrO_2$ ) แล้วจึงนำมาใช้ในอุตสาหกรรมพอร์ซเลนและเคลือบ

## 5.3) วัสดุที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่

Pitcher หมายถึง เนื้อผลิตภัณฑ์ที่เสียแล้วถูกนำมาบดและผสมลงไปในส่วนผสมของเนื้อดินปั้นใหม่ ซึ่งเป็นส่วนช่วยประหยัด และยังช่วยให้เนื้อผลิตภัณฑ์ก่อนเผามีความแข็งแรง ถึงแม้ว่าใน pitcher จะเคลือบปนมา เล็กน้อยก็ไม่มีอันตรายใดๆ

Grog หมายถึง ดินขาวที่เผาจนขาว ไม่มีรูพรุนและเป็นวัสดุที่ไม่เปลี่ยนแปลงบางที่เรียกว่า molochite

ออกไซด์ (oxides) ออกไซด์ที่เป็นวัตถุดิบไฟหลายอย่าง เช่น magnesia alumina zirconium beryllium และ thorium ผลิตได้ด้วยการเผาเกลือ carbonate hydroxide acetate หรือเกลืออื่น ๆ การเผาจะต้องมีการควบคุมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างตามต้องการ ทำนองเดียวกับการผลิตพวกออกไซด์ทางอิเล็กทรอนิกส์ก็ต้องมีการควบคุมอย่างดี

Alumina ( $Al_2O_3$ ) ออกไซด์นี้มีความสำคัญมากอันหนึ่งใช้ผลิตผลิตภัณฑ์หลายอย่าง เช่น หัวเทียน thermocouple tube, thread guides, valve seats เป็นต้น

Beryllium ( $BeO$ ) ออกไซด์ชนิดนี้มีความทนไฟสูงใช้เป็น Moderator ในการปฏิกรณ์ปรมาณู และเนื่องจากมีสภาพความนำไฟฟ้าสูงจึงใช้ทำ Heat sink และในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ใช้เป็นแกนของ Resistor

สารประกอบอนินทรีย์ หมายถึง สารประกอบอนินทรีย์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมา ซึ่งจะมี ความบริสุทธิ์มากกว่าแร่ธรรมชาติ

วัสดุเคลือบ (glaze materials) สารประกอบอนินทรีย์เคมีพวกนี้ประกอบด้วย สารประกอบที่ทำให้เกิดแก้ว คือ  $SiO_2$  และ  $B_2O_3$  สารประกอบที่ทำให้คุณสมบัติของแก้วเปลี่ยนไป คือ  $Na_2CO_3$   $K_2CO_3$  และ  $MgCO_3$  เป็นต้น และสารประกอบที่ทำให้เคลือบที่บแสง เช่น  $SnO_2$   $ZnO$  สารประกอบไททาเนียม และสารประกอบเซอร์โคเนียม

วัสดุที่ทำให้เกิดสี (colour materials) สารประกอบที่ทำให้เกิดสีปกติจะเป็น สารประกอบของพวกธาตุทรานซิชัน เกลือของทอง เกลือของเงิน และเกลือของแพลตินัม

วัสดุที่ทำให้เกิดการกระจายตัว (deflocculant) สารประกอบพวกนี้ได้แก่โซเดียมซิลิเกต ซึ่งมีอัตราส่วนระหว่าง  $Na_2O : SiO_2$  ต่าง ๆ กัน อัตราส่วนที่ใช้มากในอุตสาหกรรมเซรามิก คือ 1 ต่อ 3.22 นอกจากนี้ก็มี  $Na_2CO_3$  ซึ่งจะต้องเก็บรักษาให้ดี เพราะว่ามันสามารถดูดความชื้น และ  $CO_2$  ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากลายเป็น  $NaHCO_3$

วัสดุอินทรีย์ (organic materials) ในอุตสาหกรรมเซรามิกใช้สารประกอบอินทรีย์หลายอย่าง สารประกอบอินทรีย์ที่ช่วยทำให้เกิดการกระจายตัว ได้แก่ กรดอิมิก เกลือซัลโฟเนต

วัสดุที่ช่วยทำให้เกิดความเหนียว (binders) สารประกอบพวกนี้ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ก่อนเผามีความแข็งแรง และช่วยทำให้การปั้นหรือการขึ้นรูปสะดวกยิ่งขึ้น สารประกอบพวกนี้ ได้แก่ flours starches gums alcohols cellulose derivatives เป็นต้น

วัสดุหล่อลื่น วัสดุพวกนี้ใช้มากในการผลิตผลิตภัณฑ์โดยวิธีอัด (dry-pressing) เพื่อลดการเสียดสี วัสดุเหล่านี้อาจใช้ขี้ผึ้งละลายน้ำ หรือตัวทำละลายอื่น ๆ หรือพวกโพลีไวนิลแอลกอฮอล์

### 2.1.5 ประเภทของเซรามิก

การแบ่งชนิดของเนื้อเซรามิก แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เนื้อเซรามิกที่มีดินเป็นส่วนผสม และเนื้อเซรามิก ที่ไม่มีดินเป็นส่วนผสม เนื้อเซรามิก ที่มีดินเป็นส่วนผสมอยู่นั้น อาจประกอบด้วยดินล้วน ๆ จากการเตรียมขึ้น หรือดิน จากแหล่งวัตถุดิบโดยตรง แต่ส่วนมากเนื้อเซรามิก จะมีดินผสมกับวัตถุดิบอื่น ๆ นอกจากแบ่งเป็น เนื้อเซรามิกที่มีดินเป็นส่วนผสม และไม่มีดิน เป็นส่วนผสม ยังสามารถแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ได้อีก 3 ประเภทคือ

#### 1) การแบ่งชนิดตามส่วนผสม สมบัติของเนื้อเซรามิก

(1) เนื้อเซรามิกทำอิฐ (brickware) เป็นเนื้อเซรามิกที่ผลิตได้จาก ดินตามธรรมชาติ เป็นส่วนใหญ่ มีการดูดซึมน้ำ หลังเผาที่อุณหภูมิ  $1,150^{\circ}\text{C}$  ประมาณร้อยละ 5 – 20 ส่วนมากใช้ทำอิฐและกระเบื้อง

(2) เนื้อเซรามิกทำวัตถุทนไฟ (refractories) เป็นเนื้อเซรามิกที่สามารถเผาได้ถึงอุณหภูมิ  $1,580 - 2,000^{\circ}\text{C}$  เนื้อเซรามิกมีสีต่าง ๆ กัน

(3) เนื้อเซรามิกทำฉนวนกันความร้อน (thermal insulator body) ใช้สำหรับทำอิฐหรือวัสดุทนไฟ โดยควบคุมความพรุนตัวให้เหมาะสม

(4) เนื้อเซรามิกสโตนแวร์ (stoneware body) เป็นเนื้อเซรามิก ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ราคาถูกมีหลายสี หลังเผาที่บแสง ส่วนผสมของเนื้อเซรามิก ส่วนมากเป็น ดินดำ (ball clay) หรือดินเหนียว (plastic clay) และสามารถนำมาใช้ขึ้นรูป ได้อย่างหลากหลาย

(5) เนื้อเซรามิกสโตนแวร์ชั้นดี (fine stoneware body) ทำจากวัตถุดิบที่ผ่านการเตรียม และเลือกสรรอย่างดี นิยมใช้ผลิต เครื่องโต๊ะอาหาร (tableware) และผลิตภัณฑ์ทางศิลปะ (art ware)

(6) เนื้อเซรามิกสโตนแวร์สีขาว (white chemical stoneware body) การสร้างส่วนผสมนิยมใช้วัตถุดิบที่มีความบริสุทธิ์สูง

(7) เนื้อเซรามิกสโตนแวร์ ทนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกระทันหัน (thermal Shock resisting stoneware body) จะเป็นเนื้อเซรามิกชนิดสโตนแวร์ ที่เพิ่มวัตถุดิบเพื่อให้ทนต่อแรงเค้น (stress) ได้ดี

(8) เนื้อเซรามิกสโตนแวร์เพื่อใช้งานทางไฟฟ้า (Electrical Stoneware Body) เป็นการเพิ่มวัตถุดิบ บางชนิด เพื่อให้เนื้อเซรามิก มีสมบัติเหมาะสม กับการนำไปใช้งาน ทางไฟฟ้า

(9) เนื้อเซรามิกจากดินทนไฟ (Fireclay Body) เป็นเนื้อเซรามิก ที่ได้จากการแทนที่ ดินขาว ดินดำ หรือดินสโตนแวร์ (Stoneware Clay) ด้วยดินทนไฟที่ได้จากธรรมชาติ

(10) เนื้อเซรามิกเอิร์ธเร็นแวร์ชนิดมีสี (Color Earthenware Body) เป็นเนื้อดินที่ได้ จากธรรมชาติ หลังเผามีสีต่าง ๆ กัน ส่วนมากมีสีน้ำตาลแดง มีความพรุนตัว แต่ในบางครั้ง ความพรุนตัวต่ำมาก เนื้อเซรามิกประเภทนี้ รวมผลิตภัณฑ์ในชื่อ ของมาจอลิกา (Majolica) และ เทอร์รา คอตตา (Terracotta) ด้วย

(11) เนื้อเซรามิกเอิร์ธเร็นแวร์สีขาว (white earthenware body) เป็นเนื้อเซรามิก ที่ นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง และมีสมบัติต่างกันอย่างออกไป แต่โดยทั่วไปแล้วมีความพรุนตัวหลังเผา ร้อยละ 10 - 15 มีสีขาว

(12) เนื้อเซรามิกกึ่งวิเทรียสไชนา (semi-vitreous china body) เป็นเนื้อเซรามิก ที่ ถูกพัฒนาขึ้นโดยชาวอเมริกัน โดยพัฒนาจากเนื้อเซรามิก ชนิดเอิร์ธเร็นแวร์ แต่มีความพรุนตัวต่ำ กว่า คือร้อยละ 4-10 และมีความแข็งแรง (strength) สูงกว่า แต่ก็มีสมบัติใกล้เคียงเอิร์ธเร็นแวร์ มาก นิยมใช้ทำเครื่องโต๊ะอาหาร

## 2) การแบ่งชนิดตามลักษณะของผลิตภัณฑ์

แบ่งชนิดของเนื้อเซรามิกตามลักษณะของผลิตภัณฑ์หรือประเภทของอุตสาหกรรม ที่ใช้เนื้อเซรามิกนั้น ๆ ซึ่งสามารถแบ่ง เนื้อเซรามิกที่ใช้ในอุตสาหกรรม ได้เป็น 7 ประเภท ดังนี้

(1) เนื้อเซรามิกที่ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตผลิตภัณฑ์ในงานก่อสร้าง (Building Materials) ซึ่งเนื้อเซรามิกประเภทนี้ แบ่งออกได้ตาม ชนิดของผลิตภัณฑ์ ดังต่อไปนี้

(1.1) อิฐ (brick) ได้แก่อิฐธรรมดา (common brick) อิฐผิว (facing bricks) อิฐ เบา (hollow bricks) เป็นต้น

(1.2) กระเบื้อง (tile) ได้แก่ กระเบื้องมุงหลังคา (roofing tiles) กระเบื้องปูพื้น (floor tiles) กระเบื้องบุผนัง ( Wall Tiles) และกระเบื้องโมเซค ( Mosaic) เป็นต้น

(1.3) เครื่องสุขภัณฑ์ (sanitary ware) ได้แก่ เครื่องสุขภัณฑ์ชนิดเอิร์ธเร็นแวร์ (sanitary earthenware) เครื่องสุขภัณฑ์ชนิดวิเทรียสไชนา (vitreous china sanitary ware) เครื่อง สุขภัณฑ์จากดินทนไฟ (fireclay sanitary Ware) เครื่องสุขภัณฑ์ ชนิดสโตนแวร์ (stoneware sanitary ware) เป็นต้น

(2) เนื้อเซรามิก ที่ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตผลิตภัณฑ์ในครัวเรือน ( House Ware) แบ่งตามประเภทของ ผลิตภัณฑ์ เพื่อการใช้งานได้ดังต่อไปนี้

(2.1) เครื่องโต๊ะอาหาร ซึ่งทำจากเนื้อเซรามิก หลายประเภท ได้แก่ สโตนแวร์ เอิร์ธเธินแวร์ วิเทรียสไซนา อเมริกันโฮเทลไซนา อเมริกันเฮาส์โฮลด์ไซนา (american household china) โปนไซนา และพอร์ซเลนแบบแข็งแกร่ง

(2.2) ผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ในเตาอบ (ovenproof ware) หรือผลิตภัณฑ์ทนความร้อน (heat resistant ware)

(3) เนื้อเซรามิก ในอุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์ทางเคมี เพื่อใช้ในห้องทดลอง และผลิตภัณฑ์ที่ใช้ใน อุตสาหกรรมทั่วไป เช่น หลอดจ่ายสำหรับ อุตสาหกรรมทอผ้า ไล์กรองน้ำ (filter) กระเบื้องสำหรับ ปูพื้นโต๊ะในห้องทดลอง เป็นต้น ซึ่งเนื้อเซรามิกจะมีสมบัติ ต่างกันไปตามความต้องการ ด้านสมบัติ การผลิต และการขึ้นรูป โดยเนื้อเซรามิกที่ใช้ เช่น สโตนแวร์สีขาว อิฐ และกระเบื้องทนการกัดกร่อนของกรด

(4) เนื้อเซรามิกที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิต ผลิตภัณฑ์ทางเคมี และวิศวกรรม เช่น เนื้อเซรามิกชนิดมัลต์ไลต์พอร์ซเลน เซอร์คอนพอร์ซเลน ซิลิกอนคาร์ไบด์ (silicon carbide) เนื้อเซรามิกอะลูมินาสูง (high alumina) เซอร์เมต เป็นต้น ส่วนมากเป็นเนื้อเซรามิก ที่มีส่วนผสมของดินต่ำ โดยจะใช้วัตถุดิบเป็นออกไซด์ ในการขึ้นรูป เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ ที่มีสมบัติพิเศษ นำไปใช้เป็นชิ้นส่วน ของเครื่องจักร หรืองานเฉพาะอื่น ๆ เช่น งานที่ต้องมีการเสียดสีสูง ชิ้นงานต้องการความแข็งแรงสูง มีความทนทาน ต่ออุณหภูมิสูงมาก ๆ

(5) เนื้อเซรามิกที่ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตผลิตภัณฑ์ทางไฟฟ้า (Insulator) และอุปกรณ์ประกอบในงานอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) ต่าง ๆ ซึ่งเนื้อเซรามิกที่ใช้ เช่น พอร์ซเลนแรงดึงต่ำ (Low-Tension Porcelain) พอร์ซเลนแรงดึงสูง (High-Tension Porcelain) มัลต์ไลต์พอร์ซเลนแรงดึงสูง (High-Tension Mullite Porcelain)

(6) เนื้อเซรามิกที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิต ผลิตภัณฑ์วัสดุทนไฟ ได้แก่ เนื้อเซรามิกที่มีสมบัติ ในการทนอุณหภูมิสูงได้อย่างดี ซึ่งสามารถแบ่ง เนื้อเซรามิกตามสมบัติของวัตถุดิบ ได้เป็น 3 ชนิด คือ วัสดุทนไฟชนิดกรด (acid refractories) วัสดุทนไฟชนิดกลาง (neutral refractories) และวัสดุทนไฟชนิดด่าง (basic refractories) นิยมนำมาใช้ทำอุปกรณ์ภายในเตาเผา (Kiln Furniture)

(7) เนื้อเซรามิกที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิต ผลิตภัณฑ์ฉนวนกันความร้อน เป็นเนื้อเซรามิกที่ทำจากวัตถุดิบ เช่นเดียวกับอิฐก่อสร้าง หรืออิฐทนไฟทั่วไป แต่เนื้อเซรามิกที่เป็นฉนวนกันความร้อน (thermal insulation body) จะมีรูพรุนสูง เพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์ ที่ทำจากเนื้อเซรามิกชนิดนี้ นำความร้อน (จากสมบัติของอากาศ ที่เป็นตัวนำความร้อน ที่เร็วกว่าของแข็ง) ซึ่งเนื้อเซรามิกชนิดนี้ นำมาใช้ทำอิฐฉนวน (insulator brick) โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มตามการใช้งาน ดังนี้คือ อิฐฉนวนทนความร้อนต่ำ (low temperature) ใช้กับอุณหภูมิสูงกว่า 40 °C อิฐฉนวนความร้อนปานกลาง (intermediate temperature) ใช้กับอุณหภูมิสูงกว่า 900 °C และอิฐฉนวนความร้อนสูง (high temperature) ใช้กับอุณหภูมิสูงกว่า 1,150 °C

### 3) การแบ่งชนิดตามลักษณะเนื้อเซรามิก

(1) เนื้อเซรามิกเพื่อการหล่อแบบ (Slip Body) หรือน้ำดิน ประกอบด้วยดิน น้ำ และ วัสดุติดอื่น ๆ น้ำในน้ำดินควรมีปริมาณน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่น้ำดินก็ต้องมีการไหลตัวดี การที่จะทำให้มีสมบัติเช่นนี้ จะต้องนำ สารเคมีซึ่งมีสมบัติช่วยทำให้อนุภาคของดิน และ วัสดุติดอื่น ๆ มีการกระจายและลอยตัวได้ดี ใส่ลงไปช่วยน้ำดิน เพราะการผสมวัสดุติด กับน้ำ เพียงอย่างเดียว ไม่ถือว่าเป็นน้ำดินที่ดี โดยน้ำดินที่ดี จะต้องมีความชื้นที่พอเหมาะ เนื้อวัสดุติด ลอยตัวได้ดี แต่ถ้าใส่น้ำมากเกินไป น้ำดินจะเหลว ซึ่งปริมาณน้ำที่เหมาะสม ในการเตรียมน้ำดิน จะอยู่ระหว่างร้อยละ 30-35 โดยน้ำหนักของวัสดุติด แล้วเติมโซเดียมซิลิเกต ประมาณร้อยละ 0.35-15 (Rhodes, 1973, p. 30)

(2) เนื้อเซรามิกที่อาศัยความเหนียวในการขึ้นรูป (Plastic Body) เนื้อเซรามิกที่มีความเหนียวจะมีน้ำในการขึ้นรูป ประมาณร้อยละ 20 ต้องอาศัยการนวดให้วัสดุติด และน้ำเข้ากัน เป็นอย่างดี ซึ่งนอกจากปริมาณน้ำ ที่เหมาะสมจะช่วยทำให้ เนื้อเซรามิกมีความเหนียวแล้ว ชนิดของวัสดุติด สมบัติของวัสดุติด และความละเอียดของวัสดุติด จะมีผลต่อความเหนียว ของเนื้อเซรามิก นอกจากนี้ การหมักเนื้อเซรามิก ที่นวดผสมกับน้ำ จะช่วยทำให้เนื้อเซรามิก มีความเหนียวเพิ่มขึ้น ซึ่งเนื้อเซรามิกชนิดนี้ จะใช้ขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน (Throwing Method) ขึ้นรูปด้วยใบมีด (Jiggering/Jollying Method) ขึ้นรูปโดยใช้มือ (Hand Forming Method) การขึ้นรูปแบบกด (Press Method) และการขึ้นรูปโดยการรีด (Extrusion)

(3) เนื้อเซรามิกแบบผง ( Powder Body) เป็นผงวัสดุติดที่มีปริมาณน้ำ ในรูปของความชื้น ต่ำกว่าร้อยละ 10 ใช้ขึ้นรูปด้วยวิธีอัดแห้ง (Dry Press) ซึ่งส่วนมาก จะเป็นการผลิต ในอุตสาหกรรมกระเบื้อง ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ ในงานอิเล็กทรอนิกส์ และงานด้านไฟฟ้า การอัดจะใช้พิมพ์โลหะ อัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก เนื้อเซรามิก ต้องผ่านการทดสอบความละเอียด การกระจายขนาดของอนุภาค และปริมาณความชื้นก่อนใช้ขึ้นรูป

#### 2.1.6 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และการตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิก

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกมีหลายวิธี เช่น การเทแบบการใช้แป้นหมุน การใช้เครื่องขึ้นรูป การอัดเนื้อดินผ่านหัวแบบและการอัดผงเนื้อดินลงในแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด รูปร่าง คุณภาพและสมบัติของผลิตภัณฑ์

การเทแบบ เริ่มจากการผสมดินกับน้ำจนได้ที่แล้วจึงเทลงในแบบซึ่งมีรูปร่างต่าง ๆ เมื่อเนื้อดินบริเวณผิวแบบเริ่มแห้งและมีความหนาพอสมควรจึงเทน้ำดินที่เหลือออกจากแบบ จากนั้นตัดแต่งปากผลิตภัณฑ์แล้วจึงแกะผลิตภัณฑ์ออกจากแบบ การขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ใช้ในการผลิตแจกัน ขวด และเครื่องสุขภัณฑ์ต่าง ๆ

การขึ้นรูปโดยใช้แป้นหมุน จะปั้นได้เฉพาะภาชนะที่มีลักษณะกลม ทรงกลมหรือ ทรงกระบอก เช่น การปั้นไห โอ่ง อ่าง กระถาง แจกัน การขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ผู้ปั้นต้องมีความชำนาญเป็นพิเศษจึงจะปั้นให้เกิดเป็นรูปทรงตามต้องการได้ นอกจากนี้การอัดเนื้อดินผ่านหัวแบบและการ



อัดผงเนื้อดินลงในแบบโลหะด้วยแรงอัดสูงก็เป็นวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม เช่น การทำผลิตภัณฑ์  
 วัตถุทนไฟ กระเบื้องผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปเสร็จแล้วต้องเก็บไว้ในที่ร่มเพื่อให้เนื้อดินแห้งอย่างช้า ๆ  
 จากนั้นจึงนำมาตบแต่งส่วนเกินและทำผิวให้เรียบ แล้วจึงนำไปตากหรืออบที่อุณหภูมิ 40-60 °C  
 เพื่อให้ผลิตภัณฑ์แห้งและเป็นการป้องกันการแตกก่อนนำไปเผาต่อไป

### การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ แบ่งได้ดังนี้

#### 1) การปั้นด้วยมือ (building by hand)

การปั้นวิธีนี้ส่วนมากเป็นการปั้นให้มีรูปเหมือนของจริงหรือปั้นภาชนะเครื่องใช้ต่าง ๆ  
 ด้วยมือและมีเครื่องมือใช้สำหรับตกแต่งในการปั้น เช่น การปั้นหม้อดินหุงข้าวปั้นขึ้นรูปด้วยมือ  
 และมีเครื่องมือ คือ ไม้สำหรับตีให้มีรูปกลมมีก้นหินสำหรับรองรับภายในดินที่ปั้นนั้นเป็นพวก  
 ดินเหนียว

#### 2) การปั้นบนแป้นหมุน (throwing on the potter's wheel)

การปั้นวิธีนี้เข้าใจว่าเป็นวิธีแรกที่ใช้แป้นเป็นเครื่องประกอบ แป้นหมุนอันแรกทำ  
 ด้วยหิน ซึ่งสลักให้มีรูปกลม ตั้งอยู่บนก้นหิน หมุนด้วยมือ ซึ่งเป็นการยากลำบากมากกว่าจะทำ  
 ให้แป้นหมุนได้เที่ยง ครั้นต่อมาแป้นได้ถูกตัดแปลงจากหินมาทำด้วยไม้ ซีเมนต์ แผ่นเหล็ก ปูนพ  
 ลาสเตอร์ หรือทำด้วยลัทธิยนต์ มีเพลเหล็กและลูกปืนรองรับ ทำให้หมุนได้เที่ยงแน่นอน ใช้หมุน  
 ด้วยมือหรือฝ่าเท้าหรือหมุนด้วยเครื่องยนต์ไฟฟ้า การปั้นบนแป้นหมุนนี้จะได้เฉพาะภาชนะที่มีรูป  
 กลมและปั้นด้วยดินเหนียว ทำให้เป็นรูปภาชนะต่าง ๆ ได้ โดยการรีดบีบเนื้อดินเหนียวด้วยมือบน  
 แป้นหมุน ใช้หมุนด้วยเครื่องเครื่องยนต์ไฟฟ้าเรียกว่า Jiggering ทำได้เฉพาะเครื่องปั้นขนาดเล็กที่  
 มีรูปแบบกลมหรือกลมรี เช่น ถ้วย ชาม จาน ถ้าเป็นเครื่องปั้นขนาดใหญ่ยังต้องใช้แป้นแบบหมุน  
 โดยเท้าถีบ เช่น โถง ไห

#### 3) การปั้นแบบอัดลงแบบ (pressing into mould)

การปั้นวิธีนี้ต้องทำด้วยไม้ ปูนซีเมนต์ ปูนพลาสเตอร์หรือโลหะต่าง ๆ และปั้นดินผสม  
 ลงในแบบ ทำให้เป็นรูปต่าง ๆ ได้ การปั้นอัดดินผสมลงในแบบนี้ จะใช้อัดด้วยมือหรือเครื่องมือก็ได้  
 ทั้งนี้ต้องประกอบด้วยคุณภาพของเนื้อดินปั้นด้วย เครื่องปั้นที่ทำโดยใช้อัดดินปั้นด้วยมือลงในแบบ  
 ส่วนมากเป็นพวกเครื่องปั้นชนิดที่มีคุณภาพเลว มีขนาดเล็ก เช่นของเด็กเล่นใช้ปั้นอัดด้วยดิน  
 เหนียวหรือปั้นอัดด้วยดินเหลว ลงในแบบ และจำพวกอิฐก่อสร้าง กระเบื้องมุงหลังคา เป็นต้น

#### 4) การปั้นด้วยแบบ (slip casting)

การปั้นภาชนะต่าง ๆ ด้วยวิธีนี้ต้องมีแบบ ทำด้วยปูนพลาสเตอร์เพราะมีคุณภาพดูด  
 น้ำได้ดี และเนื้อดินปั้นที่จะใช้ต้องเป็นน้ำเนื้อดินชั้น ๆ มีน้ำอยู่ไม่มากกว่า 40 % น้ำเนื้อดินปั้นต้อง  
 มีความเหลวพอดี ไม่เหลวหรือข้นจนเกินไป เนื้อดินปั้นควรลอยตัวอยู่กับน้ำ ไม่จมนอนกันเร็ว  
 เกินไป ก่อนที่จะปั้นโดยหล่อเป็นภาชนะต่างต้องผูกแบบปูนพลาสเตอร์ให้แน่น แล้วเทน้ำเนื้อดิน  
 ปั้นลงในแบบให้เต็ม แบบจะดูดน้ำในเนื้อดินปั้น ซึมเข้าไปในแบบ เนื้อดินปั้นจะเกาะติดกับเนื้อ

แบบ น้ำเนื้อดินปั้นในแบบจะยุบน้อยลงไป ต้องคอยเติมน้ำเนื้อดินปั้นให้เต็มแบบอยู่เสมอ การปั้นด้วยแบบ มี 2 ลักษณะคือ

4.1) การเทแบบโดยให้น้ำดินแข็งตัวอยู่ในแบบ เรียก solid casting ซึ่งเหมาะกับการเทแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาและรูปร่างแปลก ๆ

4.2) การเทแบบโดยมีการเทน้ำดินที่เหลือทิ้ง เรียก drain casting ซึ่งเหมาะกับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผั่งบางและต้องการความหนาสม่ำเสมอ

#### 5) การขึ้นรูปโดยใช้แรงอัด

การขึ้นรูปโดยวิธีการนี้ใช้แพร่หลายในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดพิเศษ แรงอัดจะอัดลงบนแบบซึ่งมีผงเนื้อดินปั้นแห้ง ๆ หรือความชื้นเล็กน้อยอยู่ภายในแบบ แบบที่ใช้เป็นโลหะแข็ง การขึ้นรูปโดยวิธีนี้มีหลายสิ่งหลายอย่างที่จะต้องคำนึงถึง ขนาดและรูปร่างและการกระจายตัวของอนุภาคของเนื้อดินปั้น

#### 6) การขึ้นรูปโดยวิธีการอัดเนื้อดินปั้นแห้ง ๆ (dry and dust pressing )

ใช้กับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ใช้ในงานประยุกต์ทั้งทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า เป็นวิธีการอัดผงกลม ๆ ของเนื้อดินปั้นแห้งภายในแบบโลหะด้วยแรงอัดที่สูง ความชื้นภายในผงเนื้อดินปั้นไม่เกิน 4% ผงเนื้อดินปั้นกลม ๆ เคลื่อนที่ได้อิสระแต่มีความเหนียวไม่ตีเท่าที่ควร แต่เมื่อถูกแรงอัดจะอัดตัวกันได้หนาแน่นดี

#### 7) การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการหลอมเหลวแล้วเทลงแบบ

การขึ้นรูปวิธีนี้จะใช้ในการทำให้ผลิตภัณฑ์วัสดุทนไฟ มีความหนาแน่นสูงและทนทานต่อการกัดกร่อน โดยหลอมเนื้อผลิตภัณฑ์ด้วยเตาไฟฟ้า แล้วเทลงในแบบโลหะหรือแบบทราย แต่จะเกิดช่องว่างขึ้นในระหว่างปล่อยให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง

### 2.1.7 น้ำเคลือบเซรามิก (ceramic glaze)

น้ำเคลือบ หมายถึง สารประกอบซิลิเกต ผสมกับสารประกอบอย่างอื่นที่เป็นตัวช่วยหลอมละลายซึ่งเรียกว่า ฟลักซ์ (flux) อาจมีออกไซด์ของโลหะผสมลงไปด้วย เพื่อทำให้เกิดสีและทึบในเคลือบ เมื่อเผาส่วนผสมของน้ำเคลือบถึงอุณหภูมิที่ทำให้หลอมละลายแล้ว น้ำเคลือบจะรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันและเมื่อผึ่งไว้ให้เย็นตัวจะมีลักษณะเหมือนแก้วบาง ๆ ฉาบติดอยู่กับผลิตภัณฑ์ หรือ เคลือบ หมายถึง ชั้นของแก้วบาง ๆ ที่หลอมละลายติดอยู่กับผิวดินซึ่งขึ้นรูปเป็นภาชนะทรงต่าง ๆ วัตถุประสงค์ที่เป็นน้ำยาเคลือบถูกจดจาะละเอียดมากกว่าดินหลายเท่า ก่อนนำมาเคลือบบนดินเผา เป็นชั้นหนา 1-1.5 mm. เมื่อเคลือบแล้วต้องทิ้งให้ผลิตภัณฑ์แห้ง เช็ดกันผลิตภัณฑ์ให้สะอาดก่อนเข้าเตาเผา ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบแล้ว โดนเผาผ่านความร้อนอุณหภูมิสูง วัตถุประสงค์ที่เป็นแก้วในเคลือบเมื่อถึงจุดหลอมละลาย ชั้นของเคลือบจะกลายเป็นแก้วมันวาวติดอยู่กับผิวดิน เคลือบช่วยให้การล้างภาชนะสะดวก เนื่องจากเคลือบมีสมบัติลื่นมือ สามารถทำความสะอาดได้ง่ายกว่าผิวดินที่มีลักษณะค่อนข้างหยาบ เคลือบมีคุณสมบัติเป็นแก้วไม่ดูดซึมน้ำ และยัง

เพิ่มความแข็งแรงทนทาน ทำให้ภาชนะดินเผาไม่บิ่นง่ายเมื่อกระทบกันบ่อยๆ ขณะล้างทำความสะอาดและสามารถใส่ของเหลวได้

### 1) ประวัติความเป็นมาของเคลือบ

ในยุคก่อนประวัติศาสตร์ประมาณ 8000 ปีก่อนคริสต์ศักราช มนุษย์เริ่มอยู่เป็นหลักแหล่ง รู้จักการเพาะปลูกพืช และเลี้ยงสัตว์ไว้เป็นอาหาร หรือทำเครื่องนุ่งห่ม มีหลักฐานค้นพบว่า มนุษย์รู้จักทำเครื่องปั้นดินเผาในยุคนี้ เนื่องจากต้องการภาชนะเพื่อใส่เมล็ดพืชและหุงต้มอาหาร เครื่องปั้นดินเผาในยุคก่อนประวัติศาสตร์ถูกค้นพบ เป็นจำนวนมาก พร้อมกับโครงกระดูกและสิ่งของมีค่าของผู้ตายในหลุมศพ มนุษย์สมัยก่อนเชื่อว่าผู้ที่ตายไปแล้วจะได้ มีภาชนะไว้ให้หุงหาอาหาร เครื่องปั้นดินเผาในยุคแรกๆ ประมาณ 5000 ปีก่อนประวัติศาสตร์ ยังไม่มีการเคลือบ ใช้วิธีชุบซีด ลวดลายบนผิวดิน เมื่อบรรลุเป็นภาชนะแล้ว อาจใช้ดินสีตกแต่งตามแต่จะหาได้ บางครั้งใช้ขี้เถ้า บางครั้งใช้ขี้สัตว์ทาบนผิวของผลิตภัณฑ์ เพื่อป้องกันการซึม้ำ จากนั้นก็วิวัฒนาการมาเรื่อยๆ จนเป็นภาชนะเผาอุณหภูมิต่ำไม่มีการเคลือบ ซึ่งปัจจุบันก็ยังมีการทำในชนบทสืบต่อกันมา เคลือบชนิดแรกที่ค้นพบตาม ประวัติศาสตร์ คือเคลือบสีฟ้าสด ซึ่งชาวอียิปต์ใช้เคลือบลูกปัดและเครื่องปั้นดินเผา มีอายุก่อนคริสตกาลกว่า 3000 ปี ปัจจุบันเคลือบสีฟ้าสดในอุณหภูมิ 900 °C ใช้โซดาแอช (sodium carbonate) หรือบอแรกซ์ผสมกับทรายในทะเลทรายและสนิมทองแดง จากหลักฐานพบว่า ชาวซีเรียและบาบิโล เป็นผู้ค้นพบการใช้เคลือบตะกั่ว ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มักเป็นสิ่งก่อสร้าง เช่น กระเบื้องมุงหลังคา และกระเบื้องประดับ ตกแต่งอาคาร เป็นต้น ต่อมาชาวจีนได้ค้นพบการทำเคลือบซีเถ้าไม้ และเคลือบหินซึ่งเผาที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ชาวจีนยังศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเคลือบต่อไปจนค้นพบเคลือบสลิป (slip glaze) โดยบังเอิญ มีลักษณะเป็นน้ำดิน (โคลน) แต่มีส่วนผสมที่สามารถเผาให้หลอมได้ ส่วนใหญ่เป็นสีน้ำตาลเข้มเนื่องจากมีออกไซด์ ของเหล็กสูง ในส่วนเคลือบหินนั้นชาวจีนใช้เคลือบผลิตภัณฑ์พอร์สเลน ซึ่งปัจจุบันเรียกว่า เคลือบพอร์สเลน

การทำเคลือบในปัจจุบันมีความก้าวหน้าและเครื่องมือในการทดลองก็อำนวยความสะดวกมากขึ้น จะเห็นได้ว่าสามารถทำเคลือบหลายชนิดและหลายสี ปัจจุบันนี้ประเทศที่เป็นผู้นำในการทำเคลือบคือญี่ปุ่น และสามารถผลิตเคลือบสำเร็จไปขายยังต่างประเทศด้วย แต่การทำเคลือบในไทยนั้นก็ทำได้ดีแต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลายซึ่ง อาจเป็นเพราะนักวิชาการทางด้านนี้มีน้อย

### 2) วัตถุประสงค์ของการเคลือบผลิตภัณฑ์

- (1) เพื่อป้องกันการซึมผ่านของแก๊สและของเหลว
- (2) เพื่อให้มีความแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อนต่าง ๆ
- (3) เพื่อให้มีความสวยงามน่าใช้
- (4) เพื่อป้องกันไม่ให้สกปรกง่าย และสะดวกในการทำความสะดวก
- (5) เพื่อให้มีความทนทานต่อการกระแทก
- (6) เพื่อคุณสมบัติเฉพาะด้าน เช่น คุณสมบัติทางไฟฟ้า แสง และทางเคมี

### 3) วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทำน้ำเคลือบ

วัตถุประสงค์ที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นต่าง (Base group) : RO , RO<sub>2</sub> มีสมบัติเป็นตัวลวดจุดหลอมละลาย เรียกว่า ฟลักซ์ (flux) มีอยู่ 2 ประเภทคือ อัลคาไลน์ (alkaline) ส่วนใหญ่เป็นสารที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ สารประกอบโซเดียมออกไซด์ โพแทสเซียมออกไซด์ และลิเทียมออกไซด์ และอีกประเภทคือ อัลคาไลน์เอิร์ท (alkaline earth) ส่วนใหญ่เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ สารประกอบตะกั่วออกไซด์ แบริียมออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ เป็นต้น

วัตถุประสงค์ที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง (intermediates หรือ neutrals group) : R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> มีสมบัติเป็นตัวทนความร้อน (refractory) และสารที่ทำให้เกิดสี ได้แก่ อลูมินาออกไซด์ เหล็กออกไซด์ โครมิกออกไซด์ พลวงออกไซด์ โบรอนออกไซด์ เป็นต้น

วัตถุประสงค์ที่มีคุณสมบัติทางเคมีเป็นกรด (acid group : RO<sub>2</sub>) ทำหน้าที่เป็นตัวทำให้เกิดแก้ว (glass forming) และอาจทำให้เกิดทึบในเคลือบ (opacifier) ได้แก่ ซิลิกาออกไซด์ ดีบุกออกไซด์ ไททาเนียมออกไซด์ เป็นต้น

ส่วนผสมน้ำเคลือบ แบ่งตามสมบัติทางเคมีได้ 3 กลุ่ม คือ

(1) กลุ่มสารที่ช่วยลดอุณหภูมิของการหลอมละลายของน้ำเคลือบ เช่น ออกไซด์ของโลหะอัลคาไลน์และโลหะอัลคาไลน์เอิร์ท รวมทั้งออกไซด์ของตะกั่ว สังกะสี และออกไซด์ที่ทำให้เกิดสีต่าง ๆ เช่น Na<sub>2</sub>O Li<sub>2</sub>O K<sub>2</sub>O SrO MgO CaO BaO PbO ZnO

(2) กลุ่มสารทนไฟและให้สี เช่น Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

(3) กลุ่มสารที่ช่วยให้ทึบแสง เช่น SiO<sub>2</sub> SnO<sub>2</sub> TiO<sub>2</sub> ZrO<sub>2</sub> CeO<sub>2</sub> ThO<sub>2</sub> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

เทคนิคและวิธีการเคลือบขึ้นอยู่กับลักษณะและขนาดของผลิตภัณฑ์ เช่น การเคลือบด้วยวิธีชุบหรือจุ่ม จะใช้กับผลิตภัณฑ์ ที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่จะใช้วิธีเทราดหรือพ่น แต่ถ้าผลิตภัณฑ์เป็นงานศิลปะซึ่งต้องใช้ความประณีตจะใช้แปรงหรือพู่กันทา น้ำเคลือบ ภายหลังจากเคลือบและตกแต่งผลิตภัณฑ์เรียบร้อยแล้วจึงนำไปเผาเคลือบในเตาเผา การเผาเคลือบควรเพิ่มอุณหภูมิช้า ๆ จนถึงจุดหลอมเหลวของสารในน้ำเคลือบ เมื่อเผาเคลือบเสร็จเรียบร้อยแล้วควรปล่อยให้อุณหภูมิลดลงช้า ๆ จนผลิตภัณฑ์เกือบเย็นจึงนำออกจากเตาเผา

การใช้ผลิตภัณฑ์เซรามิก จะต้องคำนึงถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากสารตะกั่วที่ใช้เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิ การหลอมละลายและทำให้มีสีสดใส ถ้าน้ำเคลือบยึดติดกับผิวหนังนั้นไม่ดี สารที่เคลือบอาจหลุดกะเทาะและทำให้มีสารตะกั่วหลุดออกมาได้ นอกจากนี้การนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไปใส่อาหารที่เป็นกรดหรือเบส จะทำให้สารตะกั่วที่เคลือบอยู่ละลายติดปนมากับอาหารได้

#### 4) การจำแนกประเภทของน้ำเคลือบ

แบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ ได้แก่ เคลือบตะกั่ว (lead glaze) เคลือบเกลือ (salt glaze) เคลือบบอแรกซ์ (borosilicate glaze) เคลือบขี้เถ้า (ash glaze) เคลือบเฟลด์สปาร์ (feldspar glaze)

แบ่งตามลักษณะที่มองเห็นหรือผิวของเคลือบ ได้แก่ เคลือบใส (clear glaze) เคลือบทึบ (opaque glaze) เคลือบผลึก (crystalline glaze) เคลือบด้าน (mat glaze) เคลือบร้าว (crackle glaze) เคลือบสี (color glaze) เคลือบมันหรือเคลือบมุก (luster glaze)

แบ่งตามชนิดของผลิตภัณฑ์ที่นำไปเคลือบ เคลือบพอร์สเลน (porcelain glaze) เคลือบโบนไชน่า (bone china glaze) เคลือบสโตนแวร์ (stone ware glaze) เคลือบเอิร์ทเธนแวร์ (earthen ware glaze)

แบ่งตามหลักวิชาการที่ตั้งขึ้นโดยนักวิชาการทางเซรามิก ได้แก่ เคลือบไม่มีตะกั่ว (leadless glaze) เคลือบตะกั่ว (lead glaze) เคลือบฟริต (frit glaze) แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต เคลือบดิบ (raw glaze) เคลือบฟริต (frit glaze)

แบ่งตามความทนไฟ ได้แก่ เคลือบไฟสูง (high temperature glaze) เคลือบไฟกลาง (intermediate temperature glaze) เคลือบไฟต่ำ (low temperature glaze)

#### 2.1.8 สารเติมและสารช่วยกระจายลอยตัว

สารเติม หมายถึง สารที่เติมลงไป ในกระบวนการผลิตเซรามิก อาจแยกประเภทของสารเติมได้ดังนี้

(1) Liquid/Solvent ของเหลว และตัวทำละลายที่เติมลงไป ในกระบวนการผลิตเซรามิก เพื่อให้อนุภาคของเซรามิกเปียก และทำให้ความหนืดลดลง

(2) Surfactant (Wetting Agent) เป็นตัวที่เติมลงไป เพื่อลดแรงตึงผิวระหว่างผิวของอนุภาคเซรามิก และน้ำ และทำให้อนุภาคจับตัวกับน้ำได้ดี

(3) Deflocculant เป็นตัวที่เติมลงไปเพื่อปรับปรุงแรงที่ยึดเกาะกันของอนุภาค ช่วยให้อนุภาคเกิดการจับตัวกัน

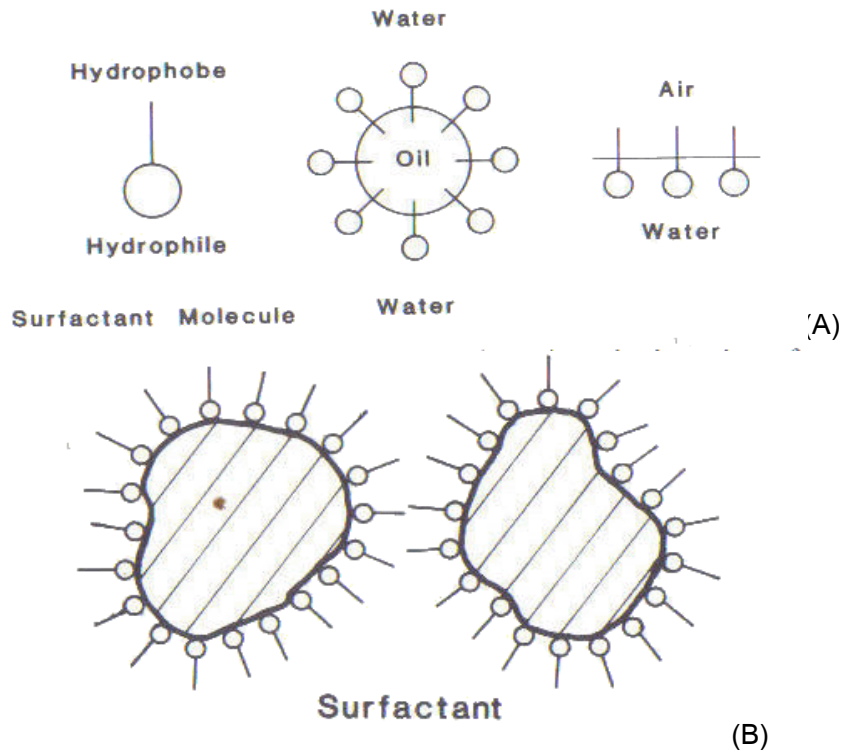
(4) Coagulant เป็นตัวที่เติมลงไปเพื่อช่วยให้อนุภาคเกิดการจับตัวกัน และตกตะกอน

(5) Binder/Flocculant เติมลงไป เพื่อช่วยให้อนุภาคเกิดการยึดเกาะกันได้ดีขึ้น

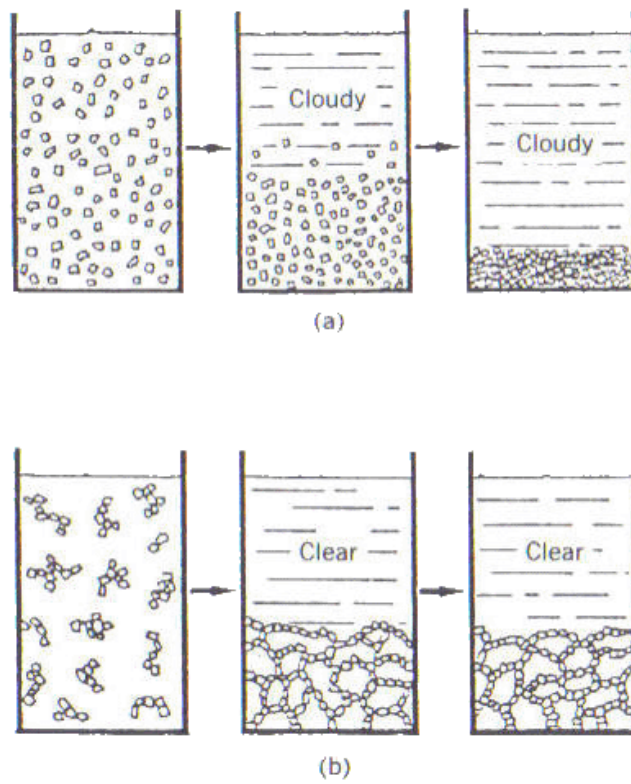
(6) Plasticizer เติมลงไปเพื่อเคลือบอนุภาคเซรามิก และให้ความหล่อลื่นในระหว่างการ pressing และทำให้เกิดการยึด หรือพันระชัวครวหลังจากการ pressing

(7) Antifoam เป็นตัวช่วยเพิ่มแรงตึงผิว

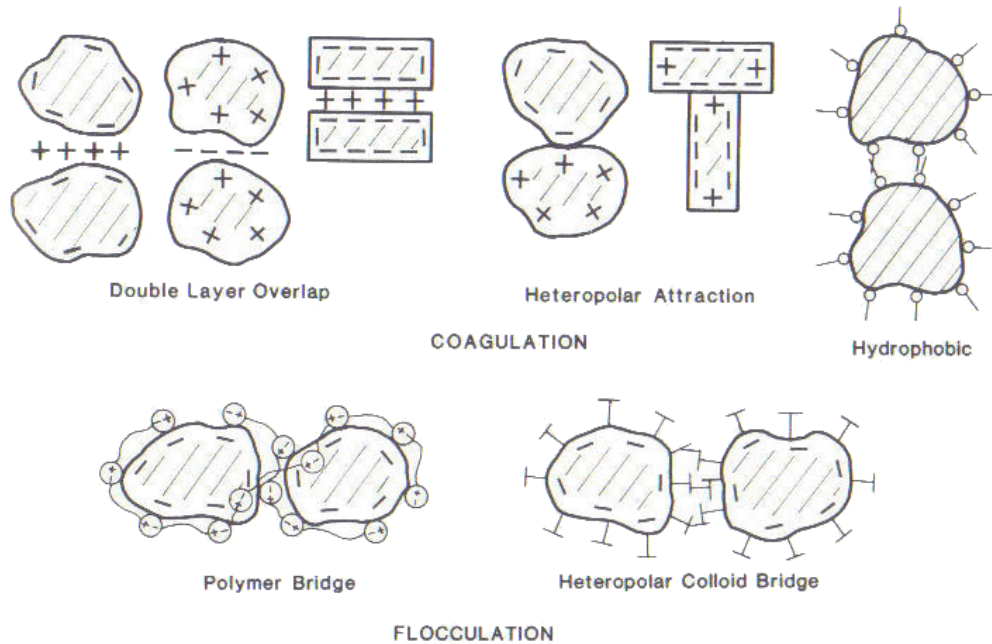
(8) Lubricant เป็นสารหล่อลื่น ช่วยให้ทำการถอดแบบได้สะดวก



รูปที่ 2.2 แสดงโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวในน้ำ น้ำมัน และอากาศ (A) และการจับกับอนุภาคที่มีประจุตรงข้าม (B)



รูปที่ 2.3 แสดง Deflocculated (A) และ Coagulated (B)



รูปที่ 2.4 แสดง Coagulation (A) และ Flocculation (B)

สารช่วยกระจายลอยตัว (Deflocculant) หมายถึง สารเคมีที่ช่วยให้อนุภาคเกิดการกระจายลอยตัวจะเป็นตัวช่วยให้ดิน และอนุภาคอื่น ๆ ลอยตัวในส่วนผสมของน้ำดิน และควบคุมการตกตะกอนให้เกิดน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจาก ตามปกติ น้ำดินจะมีอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำและอนุภาคจะตกตะกอนโดยการจับตัวกัน เพราะประจุผิวของอนุภาค ทำให้น้ำดินเกิดความหนืด จึงต้องทำให้อนุภาคแตกตัว เกิดการผลัดออกจากกัน เพื่อแก้ไขสมบัติด้านความหนืด และการตกตะกอนให้ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากหากน้ำดินตกตะกอนเร็ว จะทำให้ความหนาของผลิตภัณฑ์ไม่เท่ากัน คือส่วนกันของผลิตภัณฑ์จะหนากว่าส่วนบน ซึ่งสารเคมีพวกสารช่วยกระจายลอยตัว จะช่วยชะลอการตกตะกอน นอกจากนี้ หากต้องการให้น้ำดินมีการไหลตัวดีและเทน้ำดินออกจากแบบพิมพ์โดยไม่ทำให้ผิวด้านในขรุขระ ต้องใช้น้ำดินที่มีน้ำในส่วนผสมมาก การไหลตัวดี แต่ผลเสียคือ ทำให้อัตราการหล่อลดลง แบบพิมพ์ต้องดูดซับน้ำไว้มาก สารช่วยกระจายลอยตัวจะช่วยให้อนุภาคของดินแยกออกจากกันและความหนืดของน้ำดินจะลดลง จึงใช้ปริมาณน้ำในส่วนผสมน้อยลง และทำให้อัตราการหล่อเร็ว เทน้ำดินออกจากแบบพิมพ์ได้ง่าย และผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดี สารช่วยกระจายลอยตัวที่ใช้ในงานเซรามิก มีดังนี้

1) พวกอัลคาไลน (Alkali Cation Type) ได้แก่ สารเคมีที่มีสมบัติเป็นด่าง เช่น โซเดียมซิลิเกต โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) เป็นต้น

2) พวกโพลีแอนเนียน (Polyanion Type) ได้แก่ สารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้น จะส่งผลได้อย่างรวดเร็ว แต่จะมีราคาแพง เช่น พวกโพลีอะคลีเลต (Polyacrylate) ได้แก่ โซเดียมโพลีอะคลีเลต (Sodium Polyacrylate) แอมโมเนียมโพลีอะคลีเลต (Amonium Polyacrylate) พวกโพลีฟอสเฟต

(Polyphosphate) แต่สารเคมีชนิดนี้จะไม่นิยมใช้กับน้ำดิน เพราะมีผลต่อแบบพิมพ์ ทำให้แบบพิมพ์สึกหรออย่างรวดเร็ว

ในการนำ สารช่วยกระจายลอยตัว มาใช้ นิยมใช้ พวกอัลคาลีน เนื่องจากมีราคาถูกกว่า และมีผลกระทบต่อด้านอื่นต่ำกว่า โดยเฉพาะผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงความชื้นเหลว ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้ในการปรับความหนืดของน้ำดิน ในงานเซรามิก คือโซเดียมซิลิเกต และโซเดียมคาร์บอเนต โดยโซเดียมซิลิเกตจะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ช้ากว่าโซเดียมคาร์บอเนต แต่โซเดียมคาร์บอเนตอาจมีผลต่อการทรงตัวของผลิตภัณฑ์หลังการขึ้นรูปได้ ในการใช้งานจึงสามารถใช้ทั้งโซเดียมซิลิเกตและโซเดียมคาร์บอเนตร่วมกัน

## 2.2 เสถียรภาพการกระจายตัว (Dispersion stability)

สารละลายคอลลอยด์และดีสเพอร์ชันเป็นระบบที่ไม่เสถียรอย่างถาวร ซึ่งสามารถพิจารณาเป็นจลนศาสตร์ความเสถียรได้ถ้าอัตราความไม่เสถียร (destabilisation rate) มีค่าน้อยเพียงพอเมื่อเทียบกับช่วงระยะเวลาที่คาดหวัง การวิเคราะห์ความไม่เสถียรของดีสเพอร์ชันมีความสำคัญสำหรับการฟอร์มตัว ผลของ 2 ปฏิกิริยาการไม่เสถียรที่สำคัญต่อคุณสมบัติที่เหมือนกันของดีสเพอร์ชัน คือ การเคลื่อนย้ายอนุภาค (particle migration) ได้แก่ creaming และการนอนกัน (sedimentation) และการเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคหรือการรวมเข้าด้วยกันทั้งหมด (aggregation) ได้แก่ การรวมกัน (coalescence) และการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน (flocculation)

วิธีการที่ใช้ตรวจหาความไม่เสถียรทางกายภาพทำได้ทั้งการดูด้วยตาและการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำและความน่าเชื่อถือมากกว่า เช่น การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค การใช้เทคนิคไมโครสโคปี และการวิเคราะห์ทางแสง (spectroscopy) ดีสเพอร์ชันทั้งหมดจะค่อนข้างเข้มข้นสูง (concentrated) และทึบ (opaque) ทำให้เครื่องมือไม่สามารถวัดได้เพราะเกินขีดจำกัดความไวของมัน จึงได้มีการเจือจางลง แต่ก็ทำให้ความแม่นยำลดลงอย่างมาก และขอบเขตของเครื่องมือก็จำกัด

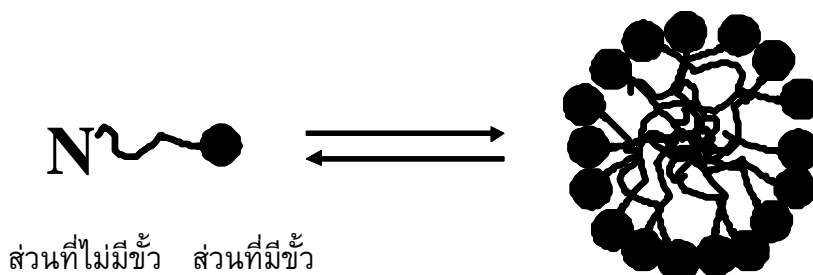
## 2.3 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงตึงผิว หมายถึง สารที่ว่องไวที่ผิว เป็นสารที่สามารถสะสมอยู่ที่ผิวซึ่งจะทำให้เกิดการดูดซับในทางบวก (positive adsorption) สารลดแรงตึงผิวโดยทั่วไปจะต้องมีความตึงผิวต่ำกว่าความตึงผิวของสารละลาย ไม่เช่นนั้นการสะสมที่ผิวจะไม่เป็นไปตามหลักเทอร์โมไดนามิกส์ สารเหล่านี้จะต้องละลายได้น้อย ไม่เช่นนั้นเมื่อหลุดจากบริเวณผิวจะมีแนวโน้มที่จะจมอยู่ชั้นล่างของของเหลว อาจกล่าวได้ว่า อันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวกับโมเลกุลของตัวทำละลายมีค่าน้อยกว่าระหว่างโมเลกุลของตัวทำละลายด้วยกันเอง ดังนั้นสารลดแรงตึงผิวจึงถูกผลักจากภายในของเหลวไปอยู่ที่ผิวส่วนใหญ่ จากการสะสมของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวซึ่งมีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลน้อยที่ผิวของสารละลายจึงทำให้ค่าความตึงผิวของสารละลายมีค่าลดลง



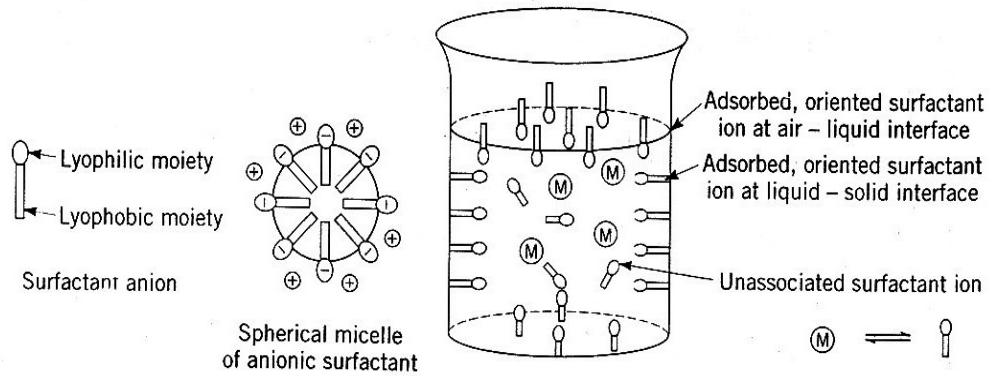
สารลดแรงตึงผิวสำหรับน้ำมันเป็นสารประกอบอินทรีย์ เช่น กรดไขมันที่มีคาร์บอนหลายตัวเกลือของกรดไขมันหรือสบู่ กรดซัลโฟนิค เกลือของกรดซัลโฟนิคหรือผงซักฟอก แอลกอฮอล์และเอมีน ลักษณะเฉพาะของโครงสร้างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวแบ่งเป็นสองส่วนคือส่วนที่มีขั้วและส่วนที่ไม่มีขั้ว ส่วนที่มีขั้วจะถูกล้อมรอบได้ดีด้วยน้ำซึ่งทำให้มีสมบัติการเป็นสารลดแรงตึงผิวสำหรับน้ำส่วนที่มีขั้วนี้เรียกว่าไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) ส่วนที่ไม่มีขั้วเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนหลายตัวเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำเรียกว่าไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) เป็นส่วนที่ทำให้สารประกอบเหล่านี้ละลายน้ำได้น้อย ค่าความตึงผิวอย่างต่ำของสารละลายสารลดแรงตึงผิวเหล่านี้ในน้ำมีค่าประมาณ  $25 \text{ mNm}^{-1}$  ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความตึงผิวของไฮโดรคาร์บอน

โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะประกอบด้วยส่วนที่ไม่มีขั้ว และส่วนที่มีขั้ว โดยที่ความเข้มข้นค่าหนึ่ง ๆ จะเกิดการรวมตัวกันของส่วนที่ไม่มีขั้ว เรียกว่า ความเข้มข้นวิกฤตไมเซลล์ (critical micelle concentration, cmc) ดังนั้นอาจเขียนสัญลักษณ์แสดงโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 แสดงโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวและการเกิดการรวมตัวเป็นไมเซลล์

สารลดแรงตึงผิวมีผลต่อสารละลาย โดยสารลดแรงตึงผิวเปลี่ยนแปลงสมบัติของตัวทำละลายที่สารลดแรงตึงผิวละลายอยู่ ซึ่งเป็นผลมาจากการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวที่บริเวณผิวสัมผัสของสารละลาย การจัดเรียงตัวของไอออนหรือโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว การเกิด micelle ในสารละลายและการจัดเรียงตัวของไอออนหรือโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวใน micelle ซึ่งเกิดจากโครงสร้างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวเป็นแบบ amphipathic รูปที่ 2.6 แสดงการดูดซับและการจัดเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวประเภท anionic ในสารละลาย จะเห็นได้ว่า จำนวนโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างอากาศและของเหลว และของแข็งและของเหลว (ผนังปีกเกอร์) มีปริมาณมากกว่าโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่อยู่ในสารละลาย โดยโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะหันด้าน lyophilic เข้าสู่สารละลาย และหันด้าน lyophobic เข้าสู่พื้นผิวของแข็ง ใน micelle โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะหันด้าน lyophilic เข้าสู่สารละลายและด้าน lyophobic จะอยู่ตรงกลาง



รูปที่ 2.6 การดูดซับและการจัดเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวประเภท anionic ในสารละลาย

สารลดแรงตึงผิวอาจจำแนกเป็นแอนไอออน (anion) แคทไอออน (cation) นอนแอนไอออน (non - ion) ขึ้นกับประจุของส่วนที่ว่องไวที่ผิวของโมเลกุล นอกจากนี้ยังมีซวิทเทอร์ไอออน (zwitterion) ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบ ตัวอย่างของสารลดแรงตึงผิวมีแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวแต่ละประเภท

| สารลดแรงตึงผิว                              | ตัวอย่าง  | สูตรโมเลกุล  |
|---|---|--|
| ANIONIC:<br>(ประจุลบ)                       | Sodium dodecyl sulphate (SDS)<br>Sodium dodecyl benzene sulphonate (SDBS)                             | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{SO}_4^-\text{Na}^+$<br>$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3^-\text{Na}^+$   |
| CATIONIC :<br>(ประจุบวก)                    | Cetyltrimethylammonium bromide (CTAB)<br>Cetylpyridinium chloride (CPC)<br>Dodecylamine hydrochloride | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{N}(\text{CH}_3)_3^+\text{Br}^-$<br>$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}(\text{C}_5\text{H}_5)\text{N}^+\text{Cl}^-$<br>$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{NH}_3^+\text{Cl}^-$ |
| NON-IONIC:<br>(ไม่มีประจุ)                  | Polymethylene oxide   | e.g. $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7(\text{O}.\text{CH}_2\text{CH}_2)_8$<br>(called $\text{C}_8\text{EO}_8$ )  |
| ZWITTERIONIC:<br>(มีทั้งประจุบวกและประจุลบ) | Dodecyl betaine   | $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{N}^+$ $\begin{matrix} \diagup (\text{CH}_3)_2 \\ \diagdown \text{CH}_2\text{COO}^- \end{matrix}$  |

## 2.4 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ (adsorption) เป็นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ (adsorbate) บนตัวดูดซับ (adsorbent) โดยพลังงานอิสระที่ผิวของสารดูดซับจะมีความสัมพันธ์กับแรงตึงผิว (surface tension) และพื้นที่ผิว (surface area) ดังนี้

$$G_{\text{surface}} = \lambda \cdot A$$

เมื่อ  $G_{\text{surface}}$  เป็นพลังงานอิสระที่ผิว  
 $\lambda$  เป็นความตึงผิว  
 $A$  เป็นพื้นที่ผิว

ความตึงผิวเป็นแรงที่กระทำขนานกับผิวต่อหนึ่งหน่วยความยาวที่ตั้งฉากกับแรงกระทำนั้น เมื่อความตึงผิวหรือพื้นที่ผิวเปลี่ยนแปลงไป จะเป็นผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปของพลังงานอิสระที่ผิว  $\Delta G_{\text{surface}}$

การดูดซับจะเกิดขึ้นต่อเมื่อมีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างสารดูดซับสารที่จะถูกดูดซับ เช่น ถ่านที่มีปฏิกิริยาหรือถ่านที่มีผิวสะอาดกับไอหรือสารละลายที่ต้องการดูดซับโดยที่ทั้งไอหรือสารละลายนั้น จะต้องมียุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤติ (critical temperature) ความดันและยังขึ้นอยู่กับพลังงานศักย์ของอันตรกิริยา (interaction potential energy) ระหว่างสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งอาจจะเป็นของแข็งของเหลวหรือแก๊สกับสารดูดซับซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลว ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันหรือความเข้มข้นและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จะทำให้ปริมาณการดูดซับเปลี่ยนแปลง

### (1) การดูดซับบนพื้นผิวของแข็ง (Adsorption on solid surface)

แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) และการดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

(1.1) การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) การดูดซับทางเคมี ส่วนมากจะเป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ และเป็นการดูดซับ ที่มีค่าพลังงานศักย์ของอันตรกิริยามาก ทำให้ที่ค่าความร้อนของการดูดซับ (heat of adsorption) สูงประมาณ 50 KJ/mol หรือมากกว่า ซึ่งอยู่ในช่วงค่าพลังงานศักย์ของพันธะเคมี จากการศึกษาเทคนิคสเปกโทรสโกปี อิเล็กตรอนสปินเรโซแนนซ์ (spectroscopic electron- spin resonance) และการวัดค่าการเรียงตัวของสนามแม่เหล็ก (magnetic susceptibility) สามารถที่จะยืนยันได้ว่าการดูดซับทางเคมีเป็นการดูดซับที่อาศัยการสร้างพันธะระหว่างสารที่ถูกดูดซับ กับสารละลายที่ดูดซับและหมักเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤติของสารที่ถูกดูดซับโดยมีค่าพลังงานสูงมากในการเกิดพันธะ

(1.2) การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption หรือ Physisorption) การดูดซับทางกายภาพมีค่าความร้อนของการดูดซับต่ำ

ประมาณ 20 KJ/mol หรือน้อยกว่าและไม่ทำให้โครงสร้างของผิวของตัวดูดซับ เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิการดูดซับทางกายภาพจะไม่เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยมาก จึงสามารถทำให้ผิวของตัวดูดซับสะอาดได้ และสามารถหาพื้นที่ผิวได้อย่างถูกต้อง การดูดซับทางกายภาพสามารถที่จะทำให้เกิดการผันกลับได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งสามารถศึกษาได้ทั้งกระบวนการดูดซับและคายออก (desorption) นอกจากนี้สารที่ถูกดูดซับสามารถที่จะเกาะรอบๆผิวของสารที่จะถูกดูดซับได้หลายๆ ชั้น (multilayers) การดูดซับทางเคมีและทางกายภาพมีข้อแตกต่างกันหลายประการ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ

| การดูดซับทางเคมี  | การดูดซับทางกายภาพ   |
|---|--|
| ค่าความร้อนของการดูดซับอยู่ระหว่าง 50 ถึง 400 KJ/mol ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปฏิกิริยาเคมีทั่วไป | ค่าความร้อนของการดูดซับประมาณ 20 KJ/mol หรือน้อยกว่า ซึ่งค่าใกล้เคียงกับความร้อนที่ได้จากการกลั่นตัวของแก๊ส เป็นของเหลว (Heat of liquefaction) |
| เกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ   | เกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า  |
| แรงดึงดูดของสารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับเป็นแรงดึงดูดที่แข็งแรง                                | แรงดึงดูดของสารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับเป็นแรงดึงดูดอ่อน   |
| มีพลังงานก่อกัมมันต์เกี่ยวข้อง  | ส่วนใหญ่ไม่มีพลังงานก่อกัมมันต์ในการเกิดกระบวนการ  |
| ส่วนใหญ่ไม่เกิดการผันกลับ   | ส่วนใหญ่เกิดการผันกลับได้  |
| เกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียวแต่อาจจะเกิดการดูดซับทางกายภาพบนชั้นที่เกิดการดูดซับทางเคมีแล้ว    | เกิดการดูดซับได้หลายชั้น   |

## (2) การดูดซับไอออนจากสารละลาย

การดูดซับไอออนขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับโดยตรงไอออนที่สามารถโพลารไรส์สามารถถูกดูดซับบนผิวของของแข็งที่ประกอบด้วยโมเลกุลมีขั้วหรือไอออน ดังนั้นการดูดซับไอออนจึงมักเรียกว่าการดูดซับโพลาร์ที่บริเวณผิวที่มีประจุจะดูดซับไอออนที่มีประจุตรงข้าม ส่วนไอออนที่มีประจุอีกชนิดหนึ่งจะไม่ถูกดูดซับแต่จะเข้ามาตั้งคู่อุณหภูมิใกล้เคียงกับไอออนที่ถูกดูดซับเกิดเป็นชั้นประจุสองชั้น (electrical double layer) บนผิวของการดูดซับ

### (3) ไอโซเทอร์มการดูดซับ (Adsorption isotherm)

ไอโซเทอร์มการดูดซับของแก๊สบนผิวของแก๊สบนผิวของแข็งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่ดูดซับกับความดันของแก๊สที่ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิคงที่ใด ๆ ส่วนกรณีการดูดซับสารละลายบนผิวของแข็งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่ดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายที่ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิคงที่ใด ๆ โดยทั่วไปปริมาณของสารละลายที่ถูกดูดซับในรูปของโมเลกุลในสารดูดซับ 1 g จากสารละลายอาจคำนวณได้จากสมการ

สำหรับสารละลายที่เจือจางจะใช้สมการ ดังนี้

$$a = \frac{(C_0 - C_1)V}{m}$$

|       |       |   |
|-------|-------|---|
| เมื่อ | a     | เป็นจำนวนโมลของสารที่ถูกดูดซับ (mol/g)          |
|       | $C_0$ | เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นของสารที่ถูกดูดซับ (M/L) |
|       | $C_1$ | เป็นความเข้มข้นสุดท้ายของสารที่ถูกดูดซับ (M/L)  |
|       | V     | เป็นปริมาตรของสารที่ถูกดูดซับ (ml)              |
|       | m     | เป็นมวลของสารดูดซับ (g)                         |

หากพิจารณาที่สภาวะสมดุล สามารถเขียนได้เป็น

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

|       |       |  |
|-------|-------|--|
| เมื่อ | $q_e$ | เป็นจำนวนโมลของสารที่ถูกดูดซับต่อกรัมที่สภาวะสมดุล (mol/g) |
|       | $C_e$ | เป็นความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล (mol/L)     |

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างประเทศ

ชีนาและคณะ (Chena et al, 2007) ศึกษาจลพลศาสตร์การดูดซับ cationic starch และการเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟลอคคูเลชัน (Flocculation) ของอนุภาคดินเหนียวในสารละลาย 0.01 M NaCl พบว่า จลพลศาสตร์การดูดซับเป็นไปตามแบบอันดับสองเทียม (pseudo-second-order model,  $R^2 > 0.98$ ) และไอโซเทอร์มเป็นแบบแลงก์เมียร์ (Langmuir isotherm,  $R^2 > 0.99$ ) ส่วนจลพลศาสตร์การเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนจะเพิ่มขึ้นตามสาร flocculant ที่เติม กระบวนการดูดซับแบบดูดความร้อน (endothermic) และกลไกการดูดซับเป็นแบบ electrostatic interaction

พาแกชและคณะ (Pagac et al, 1998) ได้ศึกษาจลพลศาสตร์การดูดซับเซททิลเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) เนื่องจากผลของสารพอลิเมอร์ poly-L-lysine hydrobromide บนอนุภาคประจุลบของซิลิกา พบว่า ปริมาณการดูดซับและอัตราการดูดซับ CTAB จะลดลง ผลของสารพอลิเมอร์ต่อการดูดซับ CTAB จะไวต่อค่าความแรงไอออนและอันดับของสารพอลิเมอร์และ

สารลดแรงตึงผิวที่จะแสดงที่ผิว และข้อมูลการศึกษาจลพลศาสตร์ชี้ให้เห็นว่ากระบวนการดูดซับเป็นแบบ nonequilibrium process และกลไกการดูดซับจะแตกต่างกันที่เหนือจุด cmc และต่ำกว่าจุด cmc

แมคคาร์อนและคณะ (McCarronet al, 2002) ได้ศึกษาจลพลศาสตร์การเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟลอคคูลูเลชันเนื่องจากผลของการดูดซับสารพอลิเมอร์ cationic starch และสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนบวก ได้แก่ CPC พบว่า การเติม CPC ความเข้มข้นต่ำ ๆ บนดินเหนียว เป็นผลให้เกิดการเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟลอคคูลูเลชัน (flocculation) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ CPC มากขึ้น กลไกการดูดซับเป็นแบบการทำประจุให้เป็นกลาง (charge neutralization) โดยอัตราการเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นประจุของสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิว

ทอร์นและคณะ (Torn et al., 2003) ศึกษาการดูดซับสารพอลิเมอร์ไม่มีประจุ ได้แก่ พอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนลบ ได้แก่ SDBS บนอนุภาคเหนียว พบว่าการดูดซับไวต่อค่าพีเอช ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ และจำนวนของสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวที่เติม และพบว่ากลไกการดูดซับ SDBS ที่มีผลของ PVP และความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 0.01 M NaCl จะเกิดโดยการแลกเปลี่ยนประจุที่ขอบ (edges) ของอนุภาคเหนียว ส่วนกลไกการดูดซับ PVP เนื่องจากผลของ SDBS พบว่า ที่ผลของความเข้มข้น SDBS ต่ำๆ PVP จะดูดซับโดยเกิดพันธะไฮโดรเจนและอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก (hydrogen bonding and hydrophobic interactions) จากนั้นเมื่อความเข้มข้น SDBS สูงขึ้น PVP จะดูดซับโดยเกิดอันตรกิริยาแบบอิเล็กโทรสถิต (electrostatic interactions) สุดท้ายการรวมตัวกันของสารเชิงซ้อนพอลิเมอร์กับสารลดแรงตึงผิวจะเกิดขึ้นที่ edges ของอนุภาคเหนียว

พาราธัคคัทและคณะ (Parathakkatt et al., 2008) ศึกษาการรวมตัวของสารพอลิเมอร์ polyethylene glycol (PEG) กับสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนบวก ได้แก่ CPC เนื่องจากผลของ octanol โดยเทคนิค viscosity, conductivity, differential scanning calorimetry (DSC), polarizing microscopy, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) และ rheology พบว่าการรวมกันของไมเซลล์พอลิเมอร์-สารลดแรงตึงผิวจะเกิดที่ความเข้มข้นสูงกว่า cmc โดยสารแอลกอฮอล์สายยาวของ n-octanol จะเหนี่ยวนำให้เกิดไมเซลล์สารผสมทั้งสองได้เร็วขึ้น

เดลเลอร์มันลี (Deliormanli, 2007) ศึกษาเสถียรภาพและการกระจายตัวและพฤติกรรมของการเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนของซิลิกาเนื่องจากผลของสารผสมระหว่างโคพอลิเมอร์ของ polyethylene oxide-polypropylene oxide-polyethylene oxide (PEO-PPO-PEO) กับสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนบวก ได้แก่ dodecylamine (DDA) โดยเทคนิคการวัดค่าความขุ่น (turbidity) พบว่าเสถียรภาพและการกระจายตัวและการเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนของซิลิกาจะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารพอลิเมอร์ และลำดับการเติมสารลงในระบบ

โซลเบิร์กและคณะ (Sjöberg et al., 1999) ได้ศึกษาเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคเกาลินเนื่องจากผลของการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนลบ ได้แก่ SDBS และสารพอลิเมอร์ประจุลบ ได้แก่ โซเดียมโพลีอะครีเลต (NaPAA) พบว่า ปริมาณการดูดซับ SDBS ลดลงจากผลของการดูดซับ NaPAA ก่อน (preadsorbed) เนื่องจากทั้งคู่มีประจุลบเหมือนกัน ทำให้เกิดการแข่งขันในการดูดซับ เมื่อเราเติม NaPAA ลงไปก่อน ทำให้ปริมาณการดูดซับ SDBS ที่เติมที่เหลือลดลง และทำให้เสถียรภาพการกระจายตัวของเกาลินลดลงด้วย

คูพอล และโกลือบ (Koopal and Goloub, 1997) ได้ศึกษาการดูดซับเซทิลพิริดีเนียมคลอไรด์บนซิลิกา โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ พีเอช ความแรงไอออน และความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว พบว่า เริ่มต้นการดูดซับจะเกิดจากการหันด้านหัว (head group) ของสารลดแรงตึงผิวเข้าหาอนุภาคซิลิกา และหันด้านหลัง (tail group) ออกมา และจากนั้นด้านหลังของสารลดแรงตึงผิวโมเลกุลใหม่จะเข้าไปจับกับด้านหลังที่ชี้ออกมา นั้น ทำให้เกิดเป็นการดูดซับโดยสมบูรณ์ ปริมาณการดูดซับสูงสุดเกิดขึ้นที่จุดความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เกิดไมเซลล์ และทำให้อนุภาคซิลิกามีพื้นผิวเปลี่ยนจากลบเป็นบวก

มอนติโคน และเทรียนเนอร์ (Monticone and Treiner, 1995) และมอนติโคน (Monticone, 1994) ได้รายงานสนับสนุนว่าการดูดซับเซทิลพิริดีเนียมคลอไรด์บนซิลิกา จะเกิดการดูดซับโดยสมบูรณ์ที่จุดความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เกิดไมเซลล์ และพบว่าปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามค่าของพีเอชและค่าความแรงไอออน

การดูดซับของเซทิลพิริดีเนียมคลอไรด์ และโซเดียมโตนเตติลเบนซีนซัลโฟเนต บนเฟลด์สปาร์และดินเกาลินได้มีการศึกษาจาก Köster และคณะ (Köster et al., 1992) พบว่า ปริมาณการดูดซับสูงสุดที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่จุดเกิดไมเซลล์ การดูดซับของเซทิลพิริดีเนียมคลอไรด์ บนดินเกาลินขึ้นอยู่กับค่าพีเอชน้อยกว่าบนเฟลด์สปาร์ เพราะว่าแนวระนาบของอนุภาคดินเกาลินมีปริมาณประจุลบอยู่

แบ็คฟอล์คและคณะ (Backfolk et al., 2002) ได้ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของโซเดียมโตนเตติลเบนซีนซัลโฟเนตบนแคลเซียมคาร์บอเนตที่กระจายตัวในน้ำ (dispersed calcium carbonate) ที่พีเอช 8.5 พบว่าการรวมกันของประจุลบของ dodecylbenzenesulfonate ions กับ calcium ions ที่มีประจุบวกที่พื้นผิวของการดูดซับ ทำให้เกิดเป็นสารเชิงซ้อนของ  $\text{Ca}(\text{DBS})_2$

คารูโซ และคณะ (Caruso et al., 1996) ได้ศึกษาการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวระหว่างของแข็ง-ของเหลวบนระบบคอลลอยด์ของซิลิกา โดยศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของ monodisperse polyethylene glycol monododecyl ethers,  $\text{C}_{12}\text{E}_n$  ( $n = 3, 5$  และ  $8$ ) จาก nonaqueous solution บนระบบคอลลอยด์ของซิลิกา พบว่าไอโซเทอร์มการดูดซับแสดงปริมาณการดูดซับอย่างแข็งแรงที่ต่ำกว่าจุด CMC และคงที่เป็นแนวราบที่ใกล้จุด CMC ซึ่งสอดคล้องกับไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ (Langmuir plots) ซึ่งเป็นเส้นตรง

## 2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศ

ปรีชา ปัญญา และคณะ (Panya et al, 2004) ศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนบวก ได้แก่เซทิลพิริดีเนียมคลอไรด์ (CPC) และชนิดไอออนลบ ได้แก่ โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (SDBS) บนน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ 25 %เฟลด์สปาร์, 28% ลามสโตน, 20% ควอร์ทซ์ และ 27% ดินเกาลิน โดยศึกษาผลของค่าพีเอชที่ 7 และ 9 และค่าความแรงไอออนที่ 0.001, 0.01 และ 0.1 M NaCl ด้วย พบว่า การดูดซับ CPC เกิดได้ดีบนประจุลบของอนุภาคในน้ำเคลือบ ทำให้เกิดเสถียรภาพขึ้นทั้งที่พีเอช 7 และ 9 ส่วนที่ความแรงไอออนสูง ๆ แม้จะดูดซับได้ดีกว่า แต่เสถียรภาพจะต่ำกว่า ส่วนการดูดซับ SDBS จะเกิดการดูดซับเป็นสารเชิงซ้อนที่ผิวคือ  $\text{Ca}(\text{DBS})_2$  และทำให้เกิดเสถียรภาพขึ้นทั้งที่พีเอช 7 และ 9 ส่วนความแรงไอออนสูง ๆ เกิดเสถียรภาพไม่ดีเช่นกัน เนื่องจากเกิดการบัง (shielding) หรือความเกะกะ (steric)

จากนั้น ปรีชา ปัญญา และคณะ (Panya et al., 2005) ได้ศึกษาการไหล (rheology) ของเหลวน้ำเคลือบเซรามิก และวัดความหนืด (viscosity) โดยนำปริมาณการดูดซับ CPC และ SDBS ที่ได้มาเติมในน้ำเคลือบ พบว่าการเติม CPC ที่ปริมาณการดูดซับสูงสุดทั้งที่ พีเอช 7 และ 9 จะทำให้น้ำเคลือบมีความหนืดต่ำ ซึ่งมีเสถียรภาพดีกว่า และพบว่าที่ความแรงไอออนสูงขึ้นไป ค่าความหนืดจะสูงขึ้นด้วย ส่วนกรณีผลของการเติม SDBS พบว่าที่ปริมาณ SDBS ดูดซับสูงสุด ความหนืดจะต่ำ แต่ถ้าเติมเกินไปอีกจะทำให้ความหนืดสูงขึ้น เนื่องจากการเกิดไมเซลล์จำนวนมากในระบบ และถ้าความแรงไอออนสูงความหนืดจะสูงด้วย แสดงว่าเสถียรภาพต่ำ

จะเห็นได้ว่าในงานวิจัยทั้งสองเรื่อง เป็นการศึกษาบนน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ 25 %เฟลด์สปาร์, 28% ลามสโตน, 20% ควอร์ทซ์ และ 27% ดินเกาลิน ยังค้นหาคำตอบได้ไม่ชัดเจน เพราะเป็นการศึกษาส่วนประกอบรวมกัน 4 ตัว ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเกาลิน ด้วยอัตราส่วนคงที่เท่านั้น ซึ่งยังไม่สามารถให้คำตอบได้ว่า การดูดซับหรือเสถียรภาพเกิดขึ้นอย่างไร ที่อนุภาคตัวไหน ต่อมา ปรีชา ปัญญา (2551) ได้ศึกษาการดูดซับพอลิเมอร์ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (พีวีเอ) และสารลดแรงตึงผิวทั้งชนิดไอออนบวก ได้แก่ เซทิลพิริดีเนียมคลอไรด์ (ซีพีซี) และสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนลบ ได้แก่ โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (เอสดีบีเอส) บนอนุภาคของส่วนประกอบแต่ละตัวที่แขวนลอยในน้ำเคลือบเซรามิก 4 อนุภาค ได้แก่ ดินเกาลิน ลามสโตน(แคลเซียมคาร์บอเนต) ควอร์ทซ์ และเฟลด์สปาร์ ทั้งในสภาวะสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวเดี่ยว ๆ และสารพอลิเมอร์ผสมกับสารลดแรงตึงผิว การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับและเสถียรภาพการกระจายตัวของส่วนประกอบที่แขวนลอยในน้ำเคลือบเซรามิกเนื่องจากการดูดซับสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิว ผลการทดลองพบว่า การดูดซับพอลิเมอร์ไม่มีประจุ ได้แก่ พีวีเอบนอนุภาคทั้ง 4 ตัวจะเกิดขึ้นได้โดยมีข้อมูลยืนยันจากค่าศักย์ไฟฟ้าที่ลดลง กลไกการดูดซับเป็นแบบหนา (thick layers) บนพื้นผิวอนุภาคที่เป็นไฮโดรโฟบิก แต่ผลจากการดูดซับทำให้เสถียรภาพการกระจายตัวลดลง เนื่องจากผลจากความเกะกะไม่



สามารถเอาชนะแรงดึงดูดอิเล็กโทรสถิตและแวนเดอร์วาลส์ได้ สำหรับการดูดซับซีพีซีบนอนุภาคดินเหนียว คออร์ทซ์ และเฟลด์สปาร์นั้น เมื่อเริ่มต้นจะเกิดการรวมเป็นกลุ่มก้อน (flocculation) อย่างชัดเจน เนื่องจากเกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interactions) เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นจะเกิดการดูดซับแบบสองชั้น ทำให้เกิดเสถียรภาพขึ้นโดยมีข้อมูลยืนยันจากค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าที่เพิ่มขึ้นและค่าความหนืดที่ลดลง ส่วนการดูดซับเอสดีบีเอสจะเกิดขึ้นได้ดีบนอนุภาคมอสโตนและที่ขอบ (edges) ซึ่งมีประจุบวกของอนุภาคเหนียวเนื่องจากประจุตรงข้ามกัน ขณะที่การดูดซับเอสดีบีเอสบนประจุลบของอนุภาคคออร์ทซ์และเฟลด์สปาร์เกิดขึ้นได้จากการอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกโดยมีข้อมูลยืนยันจากค่าศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดแรงผลักจากชั้นซ้อนของประจุ (electrical double layer) ทำให้มีเสถียรภาพมากขึ้น เมื่อศึกษาการดูดซับผสมระหว่างสารพอลิเมอร์กับสารลดแรงตึงผิว พบว่า สารลดแรงตึงผิวทั้งซีพีซีและเอสดีบีเอสซึ่งดูดซับบนอนุภาคของส่วนประกอบที่แขวนลอยในน้ำเคลือบเซรามิกทั้ง 4 อนุภาคไว้ก่อน ทำให้เซทิลพิริดีเนียมคลอไรด์ไอออน และโคเดซิลเบนซินซัลโฟเนตไอออนสามารถทำให้กลุ่ม  $\text{SiO}^-$  ของอนุภาคเป็นกลางซึ่งเป็นทำให้เกิดไฮโดรโฟบิกบนอนุภาคเพิ่มขึ้น ทำให้พีวีเอดูดซับได้มากขึ้น การเกิดสารเชิงซ้อน พีวีเอ-ซีพีซี และพีวีเอ-เอสดีบีเอส ทำให้ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้น และทำให้มีแรงผลักจากชั้นซ้อนของประจุ (electrical double layer) มากขึ้น จึงทำให้เกิดเสถียรภาพมากขึ้น โดยปริมาณการเติมพีวีเอ ซีพีซี และเอสดีบีเอสทั้งในรูปแบบเดี่ยว ๆ และผสมบนอนุภาคทั้ง 4 ตัวจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณที่ดูดซับ ค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าและค่าความหนืดของสารแขวนลอย

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้เป็นโครงการที่ทำต่อเนื่อง โดยนำผลที่ได้จากการดูดซับสารลดแรงตึงผิวและสารพอลิเมอร์บนอนุภาคเฟลด์สปาร์ ลามสโตน คออร์ทซ์ และดินเหนียว ทีละตัว (ศึกษาอนุภาค 4 ตัวแยกกัน) เพื่อไปใช้หาองค์ความรู้ใหม่โดยศึกษาการดูดซับสารผสมกันระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสารพอลิเมอร์ที่มีผลต่อการเกิดเสถียรภาพของน้ำเคลือบที่มีอนุภาค 4 ตัวรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน คออร์ทซ์ และดินเหนียว ด้วยอัตราส่วนที่เท่ากันและไม่เท่ากัน เพื่อที่จะหาสภาวะที่ดีที่สุดในการบวกรวมน้ำเคลือบที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดได้ และเข้าใจกลไกการดูดซับและการเกิดเสถียรภาพของน้ำเคลือบได้ ซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงกระบวนการทำน้ำเคลือบในอุตสาหกรรมเซรามิกได้

# บทที่ 3

## วิธีทดลอง

### 3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

#### 3.1.1 เครื่องมือ อุปกรณ์

- 1) เครื่องวัดขนาดของอนุภาค (Mastersizer, Malvern, England)
- 2) เครื่องวัดค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้า (Colloidal Dynamics, AcoustoSizer II, Australia)
- 3) เครื่อง UV-VIS spectrophotometer, Lambda 25, Perkin Elmer, USA
- 4) เครื่อง UV-VIS spectrophotometer, Lambda 20, Perkin Elmer, USA
- 5) เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity Meter, model 4071, Jenway, U.K.)
- 6) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH/ion/conductivity meter) ยี่ห้อ accumet บริษัท CE Deuver Instrument ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 7) ตู้อบความร้อนแห้ง (hot air oven) รุ่น ED ผลิตภัณฑ์ BINDER ของบริษัท Tuttingen ประเทศเยอรมนี
- 8) เครื่องซังสารอิเล็กทรอนิกส์ทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น BP 21QS บริษัท Scientific Promotion CO.,LTD ประเทศเยอรมนี
- 9) เครื่องแก้วที่ใช้
  - 9.1) Volumetric flasks ขนาด 50, 100, 250, 500 และ 1000 mL
  - 9.2) Pipettes ขนาด 1, 2, 5, 10 และ 25 mL
  - 9.3) Beaker ขนาด 50 100 250 400 และ 600 mL
  - 9.4) Erlenmeyer flasks ขนาด 50, 100 และ 250 mL
- 10) ขวดพอลิเอทิลีน ขนาด 25, 50, 100 และ 250 mL

#### 3.1.2 สารเคมี

- 1) เฟลด์สปาร์ (feldspar,  $\text{KNa} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ) 98%
- 2) ลามสโตน (limestone or calcium carbonate,  $\text{CaCO}_3$ ) 96%
- 3) ควอทซ์ (quartz,  $\text{SiO}_2$ ) 99%
- 4) เกาลิน (kaolin,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) >99%
- 5) โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนตหรือเอสดีบีเอส (sodium dodecylbenzene-sulfonate, SDBS) มีสูตรโมเลกุล  $\text{C}_{18}\text{H}_{29}\text{NaO}_3\text{S}$  >95% มวลโมเลกุล = 348.48 บริษัท Fluka, Sigma – Aldrich Chemie GmbH. ประเทศอิตาลี

6) เซททิลพิริดีเนียมคลอไรด์ หรือซีพีซี (cetylpyridinium chloride, CPC) มีสูตรโมเลกุล  $C_{21}H_{38}ClN \cdot H_2O \geq 98.0\%$  มวลโมเลกุล = 358.01 บริษัท Fluka, Sigma–Aldrich Chemie GmbH. ประเทศอิตาลี

7) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือพีวีเอ (Poly vinyl alcohol, PVA) สูตร  $[-CH_2CHOH-]_n$  98% hydrolyzed มวลโมเลกุลเฉลี่ย = 13,000–23,000, บริษัท Fluka, Sigma–Aldrich Chemie GmbH. ประเทศอิตาลี

8) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) เกรด A.R., บริษัท BDH Chemicals, England

9) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) เกรด A.R., บริษัท BDH Chemicals, ประเทศ England

10) โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl) เกรด A.R., บริษัท Sigma, USA

11) น้ำปราศจากไอออน (deionized water)

## 3.2 การเตรียมสารละลายในการทดลอง

### 3.2.1 การเตรียมสารละลาย Stock solution ของ PVA

1) การเตรียมสารละลาย PVA เข้มข้น 1,000, 200 และ 100mg/L

ชั่ง PVA มา 0.500 g ใส่บีกเกอร์ขนาดเล็ก ละลายในน้ำ 0.01 M NaCl ที่ pH = 9 ประมาณ 30 – 50 mL อุณหภูมิให้ละลายโดยใช้ Hotplate เมื่อละลายแล้วทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเทใส่ Volumetric flask ขนาด 500 mL ปรับปริมาตรให้ถึงขีด 500 mL โดยใช้ น้ำปราศจากไอออนที่มีความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M NaCl และ pH = 9

สำหรับการเตรียมสารละลาย PVA เข้มข้น mg/L ทำได้โดยปิเปตสารละลาย PVA เข้มข้น 1,000 mg/L ที่เตรียมได้ในข้อ 1) มา 100 mL แล้ว dilute เป็น 500 mL โดยใช้ น้ำปราศจากไอออนที่มีความแรงไอออน 0.01 M NaCl ที่ pH = 9

ส่วนการเตรียมสารละลาย PVA เข้มข้น mg/L ทำได้จากการปิเปตสารละลาย PVA เข้มข้น 1,000 mg/L ที่เตรียมได้ในข้อ (1) มา 50 mL แล้ว dilute เป็น 500 mL โดยใช้ น้ำปราศจากไอออนที่มีความแรงไอออน 0.01 M NaCl และ pH = 9

2) การเตรียมสารละลายมาตรฐาน PVA สำหรับทำ calibration curve

ปิเปตสารละลาย PVA เข้มข้น 100 mg/L มาปริมาตรต่าง ๆ กัน ใน Volumetric flask ขนาด 50.00 mL เพื่อเตรียมสารละลายมาตรฐาน PVA เข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 mg/L โดยมีวิธีการเตรียมดังตารางที่ 3.1 จากนั้นนำสารละลายทั้ง 4 ความเข้มข้นที่เตรียมได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV – Vis ที่ความยาวคลื่น 690 nm บันทึกผลเพื่อนำไปสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของ PVA (แกน x) กับค่าการดูดกลืนแสง (แกน y)

ตารางที่ 3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน PVA ความเข้มข้นต่าง ๆ

| ขวด<br>ที่ | ความ<br>เข้มข้น<br>(mg/L) | วิธีการเตรียม                                      |  |  |                                    |  |
|------------|---------------------------|--|--|--|------------------------------------|--|
|            |                           | ปิเปตจาก<br>Stock Sol.<br>เข้มข้น 100<br>mg/L (mL) | ปรับปริมาตร<br>เป็น (mL)<br>(ใช้น้ำ 0.001 M<br>NaCl, pH 9) | เติม<br>สารละลาย<br>Boric acid<br>(mL) | เติม<br>สารละลาย<br>Iodine<br>(mL) | ปรับปริมาตร<br>เป็น (mL)<br>(ใช้น้ำ 0.001 M<br>NaCl, pH 9) |
| 1          | 5.00                      | 2.50   | 25.00  | 15.00                                  | 3.00                               | 50.00  |
| 2          | 10.00                     | 5.00   | 25.00  | 15.00                                  | 3.00                               | 50.00  |
| 3          | 15.00                     | 7.50   | 25.00  | 15.00                                  | 3.00                               | 50.00  |
| 4          | 20.00                     | 10.00  | 25.00  | 15.0                                   | 3.00                               | 50.00  |

### 3.2.2 การเตรียมสารละลาย Stock solution ของ CPC

#### 1) การเตรียมสารละลาย 25 และ 5 mM CPC

ซึ่ง Cetylpyridinium chloride monohydrate, CPC (MW = 358.01) มา 0.8950 g ละลายในสารละลายน้ำปราศจากไอออนที่ควบคุมความแรงไอออน ได้แก่ 0.01 M NaCl ที่ปรับ pH = 9 แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 mL ในขวดวัดปริมาตร

สำหรับการเตรียม 5 mM CPC ให้ปิเปต 25 mM CPC มา 20 mL, ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 mL ในการปรับปริมาตรจะใช้สารละลายน้ำปราศจากไอออนที่ควบคุมความแรงไอออน ได้แก่ 0.01 M NaCl ที่ปรับ pH = 9

#### 2) การเตรียมสารละลายมาตรฐาน CPC สำหรับทำ calibration curve

โดยมีวิธีการเตรียมดังตารางที่ 3.2 จากนั้นนำสารละลายทั้ง 4 ความเข้มข้นที่เตรียมได้ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV – Vis ที่ความยาวคลื่น 259 nm บันทึกผลเพื่อนำไปสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของ CPC (แกน x) กับค่าการดูดกลืนแสง (แกน y)

### 3.2.3 การเตรียมสารละลาย Stock solution ของ SDBS

#### 1) การเตรียมสารละลาย 50, 25 and 5 mM SDBS

สำหรับการเตรียม SDBS เข้มข้น 50 mM ให้ชั่ง SDBS (sodium dodecylbenzenesulfonate, (MW = 348.48) มา 8.7120 g of ละลายในสารละลายน้ำปราศจากไอออนที่ควบคุมความแรงไอออน ได้แก่ 0.01 M M NaCl ที่ปรับ pH = 9 แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 500 mL ในขวดวัดปริมาตร

สำหรับการเตรียม SDBS ที่เข้มข้น 25 mM, ให้ปิเปต 50 mM SDBS มา 50 mL, ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 mL ในการปรับปริมาตรจะใช้สารละลายน้ำปราศจากไอออน ที่ควบคุมความแรงไอออน ได้แก่ 0.01 M NaCl ที่ปรับ pH = 9 ไว้แล้ว

สำหรับการเตรียม SDBS ที่เข้มข้น 5 mM, ให้ปิเปต 50 mM SDBS มา 10 mL, ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 mL ในการปรับปริมาตรจะใช้สารละลายน้ำปราศจากไอออน ที่ควบคุมความแรงไอออน ได้แก่ 0.01 M NaCl ที่ปรับ pH = 9 ไว้แล้ว

## 2) การเตรียมสารละลายมาตรฐาน SDBS สำหรับทำ calibration curve

โดยมีวิธีการเตรียมดังตารางที่ 3.3 จากนั้นนำสารละลายทั้ง 4 ความเข้มข้นที่เตรียมได้ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV – Vis ที่ความยาวคลื่น 223 nm บันทึกผลเพื่อสร้างกราฟ ระหว่างความเข้มข้นของ SDBS (แกน x) กับค่าการดูดกลืนแสง (แกน y)

**ตารางที่ 3.2** การเตรียมสารละลายมาตรฐาน CPC สำหรับทำ calibration curve

| ขวด<br>ที่ | ความเข้มข้น<br>(mM) | วิธีการเตรียม                      |                      |
|------------|---------------------|------------------------------------|----------------------|
|            |                     | เตรียมในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL    | ปรับปริมาตรเป็น (mL) |
| 1          | 0.050               | ปิเปต CPC เข้มข้น 5 mM มา 0.50 mL  | 50.00                |
| 2          | 0.100               | ปิเปต CPC เข้มข้น 5 mM มา 1.00 mL  | 50.00                |
| 3          | 0.200               | ปิเปต CPC เข้มข้น 5 mM มา 2.00 mL  | 50.00                |
| 4          | 0.500               | ปิเปต CPC เข้มข้น 5 mM มา 5.00 mL  | 50.00                |
| 5          | 1.000               | ปิเปต CPC เข้มข้น 5 mM มา 10.00 mL | 50.00                |

**ตารางที่ 3.3** การเตรียมสารละลายมาตรฐาน SDBS สำหรับทำ calibration curve

| ขวด<br>ที่ | ความเข้มข้น<br>(mM) | วิธีการเตรียม                      |                      |
|------------|---------------------|------------------------------------|----------------------|
|            |                     | เตรียมในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL    | ปรับปริมาตรเป็น (mL) |
| 1          | 0.050               | ปิเปต SDBS เข้มข้น 5 mM มา 0.50 mL | 50.00                |
| 2          | 0.100               | ปิเปต SDBS เข้มข้น 5 mM มา 1.00 mL | 50.00                |
| 3          | 0.200               | ปิเปต SDBS เข้มข้น 5 mM มา 2.00 mL | 50.00                |
| 4          | 0.400               | ปิเปต SDBS เข้มข้น 5 mM มา 4.00 mL | 50.00                |

### 3.2.4 การเตรียมสารละลาย Stock solution อื่น ๆ

#### 1) การเตรียมสารละลาย Boric acid

ชั่ง Boric acid 40.00 g ละลายในน้ำปราศจากไอออน เทใส่ Volumetric flask ขนาด 1,000 mL ปรับปริมาตรให้ถึงขีด 1,000 mL โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน

#### 2) การเตรียมสารละลาย Potassium iodide (KI)

ชั่ง potassium iodide (KI) 25.0000 กรัมของ potassium iodide ละลายในน้ำปราศจากไอออน 50 mL

#### 3) การเตรียมสารละลาย Iodine (I<sub>2</sub>)

ชั่งของแข็งไอโอดีน 12.7000 กรัมละลายใน potassium iodide (KI) 50 mL ที่เตรียมได้จากข้อ (2) เทใส่ Volumetric flask ขนาด 1,000 mL ปรับปริมาตรให้ถึงขีด 1,000 mL โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน

#### 4) การเตรียมสารละลาย 1.0, 0.1 และ 0.001 M โซเดียมคลอไรด์

เตรียมสารละลาย 1.0 M NaCl โดยละลาย 58.44 g (อย่างละเอียด) NaCl ในน้ำปราศจากไอออน และปรับปริมาตรเป็น 1000 mL ในขวดวัดปริมาตร สำหรับการเตรียม 0.1 M NaOH ให้ปิเปตสารละลาย 1.0 M NaCl มา 50 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยในน้ำปราศจากไอออนเป็น 500 mL ในขวดวัดปริมาตร

สำหรับการเตรียมสารละลาย 0.001 M NaCl ให้ปิเปตสารละลาย 0.1 M NaCl มา 5 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยในน้ำปราศจากไอออนเป็น 500 mL

#### 5) การเตรียมสารละลาย 1.0, 0.1 and 0.01 M กรดไฮโดรคลอริก

เตรียมสารละลาย 1.0 M HCl โดยปิเปตสารละลายกรด HCl เข้มข้น (12.02 M) มา 8.32 mL ลงในน้ำปราศจากไอออนจำนวนหนึ่ง แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 mL ในขวดวัดปริมาตร

สำหรับการเตรียม 0.1 M NaOH ให้ปิเปตสารละลาย 1.0 M NaOH มา 10 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยในน้ำปราศจากไอออนเป็น 100 mL ในขวดวัดปริมาตร

#### 6) การเตรียมสารละลาย 1.0, 0.1 และ 0.01 M โซเดียมไฮดรอกไซด์

เตรียมสารละลาย 1.0 M NaOH โดยละลาย 4 g (อย่างละเอียด) NaOH ในน้ำปราศจากไอออน และปรับปริมาตรเป็น 100 mL ในขวดวัดปริมาตร

สำหรับการเตรียมสารละลาย 0.1 และ 0.01 M NaOH ให้ปิเปตสารละลาย 1.0 M NaOH มา 10 และ 1 mL ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยในน้ำปราศจากไอออนเป็น 100 mL ในขวดวัดปริมาตร

### 3.3 การศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบในน้ำเคลือบเซรามิก

#### 3.3.1 ขนาดอนุภาค (particle size)

การหาขนาดอนุภาคของส่วนประกอบน้ำเคลือบเซรามิก โดยใช้เทคนิค laser particle sizers ของเครื่อง Mastersizer เริ่มจากการชั่งสารผสมที่ใช้ทำน้ำเคลือบเซรามิก ประมาณ 0.3 g ในน้ำปราศจากไอออนโดยใช้โพรบอัลตราโซนิก (ultrasonic probe) ที่เข้มข้นสูง สำหรับเครื่อง Mastersizer การคำนวณค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคสารผสมที่ใช้ทำน้ำเคลือบเซรามิก โดยดัชนีหักเหของแคลเซียมคาร์บอเนต (1.49 mm) และค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคจากข้อมูลการกระเจิงแสงสามารถคำนวณจากทฤษฎีไมย์ (Mie theory)

#### 3.3.2 พื้นที่ผิวอนุภาค (surface area)

การหาพื้นที่ผิวของอนุภาคของสารผสมที่ใช้ทำน้ำเคลือบเซรามิก โดยใช้เทคนิคการดูดซับแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 77 K โดยใช้เครื่อง Surface area apparatus

#### 3.3.3 ความหนาแน่น (density)

การหาความหนาแน่นจำเพาะของอนุภาคที่ใช้ทำน้ำเคลือบเซรามิกที่เป็นผง (powder) และของเหลวข้น (slurry) จะหาโดยใช้เทคนิคพิคโนเมตรี (pycnometry) โดยใช้ขวดวัดความหนาแน่น (pycnometer) ที่สะอาดพร้อมทั้งจุกปิด ทำให้แห้งก่อนชั่งน้ำหนัก ( $W_0$ ) จากนั้นผสมน้ำหนัก 5 g ของสารที่ใช้ทำน้ำเคลือบเซรามิกกับน้ำปราศจากไอออน 5 mL จะได้ปริมาณ 50 wt% น้ำเคลือบเซรามิกเติมขวดวัดความหนาแน่น แล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_1$ ) ขวดวัดความหนาแน่นว่างเปล่าและสะอาด, เติมน้ำปราศจากไอออนให้เต็ม แล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ ) ความหนาแน่นจำเพาะของอนุภาคที่ใช้ทำน้ำเคลือบเซรามิก ( $\rho$ ) สามารถคำนวณได้จากสูตร ;

$$\rho = \frac{(W_1 - W_0)}{(W_2 - W_0) \rho_L} \text{ เมื่อ } \rho_L \text{ เป็นความหนาแน่นของของเหลวที่อุณหภูมิการทดลอง}$$

### 3.4 การหาค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวเนื่องจากผลของการเติมสารพอลิเมอร์

การศึกษาค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ (critical micelle concentration, cmc) ของ Cetylpyridinium chloride (CPC) และ sodium dodecylbenzene-sulfonate (SDBS) เนื่องจากผลของการเติม Poly vinyl alcohol (PVA) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยเตรียมสารละลาย CPC หรือ SDBS ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีสภาวะของสารละลายที่ควบคุมความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M NaCl และ pH = 9 แล้วนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity Meter) นำค่าการนำไฟฟ้าที่ได้ไปพล็อตกราฟกับค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว แล้วหาจุดที่เส้นกราฟเกิดการหักเหไป เป็นค่าของ cmc จากนั้นก็เตรียมสารละลาย CPC หรือ SDBS ความเข้มข้นต่าง ๆ เหมือนเดิม แต่เติมสารละลาย PVA เข้มข้น 50 100 หรือ 200 mg/L เพื่อดูผลของ PVA ที่มีต่อค่า cmc

### 3.5 การศึกษาการดูดซับพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก

#### 3.5.1 การศึกษาการดูดซับพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวเดี่ยว ๆ

ศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุได้แก่ cetylpyridinium chloride (CPC) และ sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS) และสารพอลิเมอร์ได้แก่ poly vinyl alcohol (PVA) sodium poly-acrylate (NaPAA) บนพื้นผิวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก ที่มีองค์ประกอบจำนวน 4 อนุภาค ได้แก่ (1) เฟลด์สปาร์ (2) ลามสโตน (3) ควอร์ทซ์ และ (4) ดินเกาลิน โดยศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวและสารพอลิเมอร์ที่มีต่อการดูดซับ โดยควบคุมค่าพีเอช เท่ากับ 9 และความแรงไอออนที่มีผลต่อการดูดซับเท่ากับ 0.01 M NaCl

ในการศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวได้ใช้วิธีการ Depletion Method คือหาความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวก่อนและหลังการดูดซับโดยใช้เครื่อง UV – Visible Spectrophotometer (Perkins Elmer, USA). ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงแล้วนำมาเขียนกราฟมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารลดแรงตึงผิวโดยใช้เทคนิค Calibration curve สำหรับในการศึกษาการดูดซับสารพอลิเมอร์ได้แก่ PVA จะใช้วิธี colorimetric โดยทำให้เกิดสารเชิงซ้อนที่มีสีกับ  $I_2$  และ Boric acid แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 690 นาโนเมตร แล้วนำมาเขียนกราฟมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์ปริมาณ PVA สำหรับความยาวคลื่นที่ใช้สำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสงของ CPC เท่ากับ 259 นาโนเมตร ส่วนของ SDBS เท่ากับ 223 นาโนเมตร โดยใช้เทคนิค Calibration curve ในการวิเคราะห์ปริมาณ

##### 3.5.1.1 วิธีการทดลองการดูดซับ PVA

- 1) เตรียมขวด polyethylene จำนวน 12 ขวด ใส่หมายเลข 1 – 12 ดังตารางที่ 3.4
- 2) เตรียมสารละลายแขวนลอย โดยชั่งน้ำหนักสารดูดซับ (ได้แก่ Ceramic glaze) มา 0.2000 g (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงในขวด polyethylene ทั้ง 12 ขวด
- 3) แต่ละขวดเติมน้ำที่ 0.01 M NaCl ที่ pH = 9 ลงไป 8.00 mL
- 4) นำสารละลายแขวนลอยในขวด polyethylene ทั้ง 10 ขวด ไปเขย่าด้วยเครื่อง Shaker เป็นเวลา 5 นาที
- 5) จากนั้นวัดค่า pH ของสารแขวนลอยอีกครั้ง ถ้าค่า pH ไม่เท่ากับ 9 ให้ปรับให้ตรงค่าที่ต้องการโดยใช้ 0.01 M หรือ 0.1 M HCl และ/หรือ NaOH จากนั้นปรับให้ปริมาตรสุดท้ายในขวด polyethylene เป็น 10 mL โดยใช้ น้ำที่ 0.01 M NaCl ที่ pH = 9
- 6) เติมสารละลายตัวถูกดูดซับได้แก่ PVA ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ในขวดที่ 1 ให้เติมเฉพาะสารละลาย 0.01 M NaCl ที่ pH = 9 เท่านั้น ส่วนขวดที่ 2 -12 ให้เติมสารละลาย PVA ให้ตรงหมายเลขขวดดังตารางที่ 3.4 ลงไป 10.00 mL ดังนั้น จะทำให้ปริมาตรของสารละลายแขวนลอยทั้งหมดเป็น 20.00 mL
- 7) เขย่าสารละลายแขวนลอยที่ได้ในขวด polyethylene ด้วยเครื่อง Shaker ที่ปรับความเร็วประมาณ 150 rpm เป็นเวลา 12 ชั่วโมง



8) เมื่อครบ 12 ชั่วโมง นำขวด polyethylene ออกจากเครื่อง Shaker วางทิ้งไว้โดยปราศจากการเคลื่อนย้ายหรือรบกวนสมดุลเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

9) เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ใช้ Dropper ตูดสารละลายแขวนลอยส่วนบนที่ใสอย่างเบา ๆ เพื่อไม่ให้สารละลายแขวนลอยในขวด polyethylene ชุ่กระจาย โดยตูดใส่ใน quartz cell ปริมาณ  $\frac{3}{4}$  ส่วนของปริมาตร quartz cell แล้วนำสารละลายใส่ใน quartz cell ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis ที่ 500 nm บันทึกผลค่าการดูดกลืนแสง

10) สารละลายแขวนลอยส่วนที่เหลือในขวด polyethylene นำไปเทใส่หลอด centrifuge tube จากนั้นทำการ centrifuged ที่ 1500 rpm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

11) ใช้ Dropper ตูดสารละลายใสในหลอด centrifuge อย่างเบา ๆ ใส่ลงในบีกเกอร์ แล้วให้ปิเปตมา 5.00 mL ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 50 mL เติมน้ำที่ควบคุมความแรงไอออน 0.01 M NaCl ที่ pH = 9 ให้ได้ปริมาตร 25.00 mL เติม boric acid 15.00 mL และเติมสารละลาย  $I_2$  3.00 mL ปรับปริมาตรเป็น 50 mL นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV – Vis ที่ความยาวคลื่น 690 nm โดยใช้ น้ำที่ควบคุมความแรงไอออน 0.01 M M NaCl ที่ pH = 9 ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย

**ตารางที่ 3.4** การเตรียมสารละลาย PVA ความเข้มข้นต่างๆ สำหรับการทดลองการดูดซับ

| ขวดที่ | ความเข้มข้น (mg/L) | ปริมาตรที่ปิเปตมาจาก Stock Sol. 1,000 mg/L (mL) | ปรับปริมาตรเป็น (mL) |
|--------|--------------------|---|----------------------|
| 1      | 0.00               | 0.00  | 50.00                |
| 2      | 10.00              | 0.50  | 50.00                |
| 3      | 30.00              | 1.50  | 50.00                |
| 4      | 50.00              | 2.50  | 50.00                |
| 5      | 75.00              | 3.75  | 50.00                |
| 6      | 100.00             | 5.00  | 50.00                |
| 7      | 150.00             | 7.50  | 50.00                |
| 8      | 200.00             | 10.00   | 50.00                |
| 9      | 300.00             | 15.00   | 50.00                |
| 10     | 400.00             | 20.00   | 50.00                |
| 11     | 500.00             | 25.00   | 50.00                |
| 12     | 600.00             | 30.00   | 50.00                |

### 3.5.1.2 วิธีการทดลองการดูดซับ CPC

- 1) เตรียมขวด polyethylene จำนวน 12 ขวด ใส่หมายเลข 1 – 12 ดังตารางที่ 3.5
- 2) เตรียมสารละลายแขวนลอย โดยชั่งน้ำหนักสารดูดซับ (ได้แก่ Ceramic glaze) มา 0.2000 g (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงในขวด polyethylene ทั้ง 12 ขวด
- 3) แต่ละขวดเติมสารละลายน้ำกลั่น ที่ควบคุมความแรงไอออน ได้แก่ 0.01 M NaCl ที่ pH = 9 ลงไป 8.00 mL
- 4) นำสารละลายแขวนลอยในขวด polyethylene ทั้ง 12 ขวด ไปเขย่าด้วยเครื่อง Shaker เป็นเวลา 5 นาที
- 5) จากนั้นวัดค่า pH ของสารแขวนลอยอีกครั้ง ถ้าค่า pH ไม่เท่ากับ 9 ให้ปรับให้ตรงค่าที่ต้องการโดยใช้ 0.001 M, 0.01 M หรือ 0.1 M HCl และ/หรือ NaOH โดยให้ปริมาตรสุดท้ายในขวด polyethylene เป็น 10 mL
- 6) จากนั้นในขวดที่ 1 ให้เติมเฉพาะสารละลายน้ำกลั่น 0.01 M NaCl ที่ pH = 9 ลงไป 10 mL ส่วนขวดที่ 2 -12 ให้เติมสารละลาย CPC ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้ตรงกับหมายเลขขวด ดังตารางที่ 3.5 ลงไป 10.00 mL (โดยสารละลายในตารางที่ 3.5 เหล่านี้จะต้องเตรียมเป็น Stock solution ที่ปรับปริมาตรโดยใช้ความแรงไอออน ได้แก่ 0.01 M NaCl และ pH = 9) ดังนั้น จะทำให้ปริมาตรของสารละลายแขวนลอยทั้งหมดเป็น 20.00 mL
- 7) เขย่าสารละลายแขวนลอยที่ได้ในขวด polyethylene ด้วยเครื่อง Shaker ที่ปรับความเร็วประมาณ 150 rpm เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- 8) เมื่อครบ 12 ชั่วโมง นำขวด polyethylene ออกจากเครื่อง Shaker วางทิ้งไว้โดยปราศจากการเคลื่อนไหวหรือรบกวนสมดุลเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 9) เมื่อครบเวลา 2 ชั่วโมง ใช้ Dropper ตูดสารละลายแขวนลอยส่วนบนที่ใสอย่างเบา ๆ เพื่อไม่ให้สารละลายแขวนลอยในขวด polyethylene ชุ่กระจาย โดยตูดใส่ใน quartz cell ปริมาณ  $\frac{3}{4}$  ส่วนของปริมาตร quartz cell แล้วนำสารละลายใส่ใน quartz cell ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis ที่ 500 nm บันทึกผลค่าการดูดกลืนแสง
- 10) สารละลายแขวนลอยส่วนที่เหลือในขวด polyethylene นำไปเทใส่หลอด centrifuge tube จากนั้นทำการ centrifuged ที่ 1500 rpm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 11) ตูดสารละลายใส่ในหลอด centrifuge tube อย่างเบา ๆ ใส่ลงใน quartz cell ประมาณ  $\frac{3}{4}$  ส่วนของปริมาตร quartz cell แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis ที่ 259 nm ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยด้วย

**ตารางที่ 3.5** การเตรียมสารละลาย CPC ความเข้มข้นต่างๆ สำหรับการทดลองการดูดซับ

| ขวดที่ | ความเข้มข้น (mM) | ปิเปตจาก stock Sol. เข้มข้น 25 mM (mL) | ปรับปริมาตรเป็น (mL) |
|--------|------------------|--|----------------------|
| 1      | 0                | 0                                      | 50.00                |
| 2      | 0.20             | 0.40                                   | 50.00                |
| 3      | 0.40             | 0.80                                   | 50.00                |
| 4      | 0.60             | 1.20                                   | 50.00                |
| 5      | 0.80             | 1.60                                   | 50.00                |
| 6      | 1.00             | 2.00                                   | 50.00                |
| 7      | 1.50             | 3.00                                   | 50.00                |
| 8      | 2.00             | 4.00                                   | 50.00                |
| 9      | 3.00             | 6.00                                   | 50.00                |
| 10     | 4.00             | 8.00                                   | 50.00                |
| 11     | 5.00             | 10.00                                  | 50.00                |
| 12     | 6.00             | 12.00                                  | 50.00                |

### 3.5.1.3 วิธีการทดลองการดูดซับ SDBS

- 1) เตรียมขวด polyethylene จำนวน 12 ขวด ใส่หมายเลข 1 – 12 ดังตารางที่ 3.6
- 2) เตรียมสารละลายแขวนลอย โดยชั่งน้ำหนักสารดูดซับ (ได้แก่ Ceramic glaze) มา 0.2000 g (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงในขวด polyethylene ทั้ง 12 ขวด ในข้อ 1
- 3) แต่ละขวดเติมสารละลายน้ำกลั่น (ที่ควบคุมความแรงไอออน ได้แก่ 0.01 M NaCl ที่ pH = 9) ลงไป 8.00 mL
- 4) นำสารละลายแขวนลอยในขวด polyethylene ทั้ง 12 ขวด ไปเขย่าด้วยเครื่อง Shaker เป็นเวลา 5 นาที
- 5) จากนั้นวัดค่า pH ของสารแขวนลอยอีกครั้ง ถ้าค่า pH ไม่เท่ากับ 9 ให้ปรับให้ตรงค่าที่ต้องการโดยใช้ 0.001 M, 0.01 M หรือ 0.1 M HCl และ/หรือ NaOH โดยให้ปริมาตรสุดท้ายในขวด polyethylene เป็น 10 mL
- 6) จากนั้นในขวดที่ 1 ให้เติมเฉพาะสารละลายน้ำกลั่น 0.01 M NaCl ที่ pH = 9 ลงไป 10 mL ส่วนขวดที่ 2 -12 ให้เติมสารละลาย SDBS ความเข้มข้นต่าง ๆ ให้ตรงกับหมายเลขขวดดังตารางที่ 3.6 ลงไป 10.00 mL ทำให้ปริมาตรของสารละลายทั้งหมดเป็น 20.00 mL

7) เขย่าสารละลายแขวนลอยที่ได้ในขวด polyethylene ด้วยเครื่อง Shaker ที่ปรับความเร็วประมาณ 150 rpm เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

8) เมื่อครบ 12 ชั่วโมง นำขวด polyethylene ออกจากเครื่อง Shaker วางทิ้งไว้โดยปราศจากการเคลื่อนย้ายหรือรบกวนสมดุลเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

9) เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ใช้ Dropper ตูดสารละลายแขวนลอยส่วนบนที่ใสอย่างเบา ๆ เพื่อไม่ให้สารละลายแขวนลอยในขวด polyethylene ชุ่กระจาย โดยตูดใส่ใน quartz cell ปริมาณ  $\frac{3}{4}$  ส่วนของปริมาตร quartz cell แล้วนำสารละลายใส่ใน quartz cell ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis ที่ 500 nm บันทึกผลค่าการดูดกลืนแสง

10) สารละลายแขวนลอยส่วนที่เหลือในขวด polyethylene นำไปเทใส่หลอด centrifuge tube จากนั้นทำการ centrifuged ที่ 1500 rpm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

11) ตูดสารละลายใสในหลอด centrifuge tube อย่างเบา ๆ ใส่ลงใน quartz cell ประมาณ  $\frac{3}{4}$  ส่วนของปริมาตร quartz cell แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis ที่ 223 nm บันทึกผลทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย

**ตารางที่ 3.6** การเตรียมสารละลาย SDBS ความเข้มข้นต่างๆ สำหรับทดลองการดูดซับ

| ขวดที่ | ความเข้มข้น (mM) | ปิเปตจาก Stock solution SDBS 50 mM (mL) | ปรับปริมาตรเป็น (mL) |
|--------|------------------|---|----------------------|
| 1      | 0                | 0                                       | 50.00                |
| 2      | 0.10             | 0.10                                    | 50.00                |
| 3      | 0.25             | 0.25                                    | 50.00                |
| 4      | 0.50             | 0.50                                    | 50.00                |
| 5      | 0.75             | 0.75                                    | 50.00                |
| 6      | 1.00             | 1.00                                    | 50.00                |
| 7      | 1.50             | 1.50                                    | 50.00                |
| 8      | 2.00             | 2.00                                    | 50.00                |
| 9      | 4.00             | 4.00                                    | 50.00                |
| 10     | 6.00             | 6.00                                    | 50.00                |
| 11     | 8.00             | 8.00                                    | 50.00                |
| 12     | 10.00            | 10.00                                   | 50.00                |

### 3.5.2 การศึกษาการดูดซับพอลิเมอร์ผสมสารลดแรงตึงผิว

ศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุได้แก่ cetylpyridinium chloride (CPC) และ sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS) ผสมกับสารพอลิเมอร์ได้แก่ poly vinyl alcohol (PVA) บนพื้นผิวอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก ได้แก่ (1) ดินเกาลิน (2) ลามสโตน (3) คอาร์ทซ์ (4) เฟลด์สปาร์ โดยศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวและสารพอลิเมอร์ที่มีต่อการดูดซับ โดยควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 9 และความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M NaCl

สำหรับวิธีการศึกษาการดูดซับพอลิเมอร์ผสมสารลดแรงตึงผิวบนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกจะมีวิธีการทำเช่นเดียวกับการศึกษาการดูดซับสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวเดี่ยว ๆ ในหัวข้อ 3.5.1 แต่ปริมาณการเติมสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวตัวที่ 1 ก่อนที่จะเติมสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวตัวที่ 2 ผสมลงไปนั้น มีข้อปฏิบัติ ดังนี้

ปริมาณการเติมสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวตัวที่ 1 ในหน่วย  $\mu\text{mole/g}$  หรือ  $\text{mg/g}$  จะต้องสอดคล้องกับปริมาณการดูดซับสูงสุดของสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวเดี่ยว ๆ บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อ 3.4.1 นั้นเอง

ตัวอย่างเช่น การดูดซับ PVA บนอนุภาคเกาลินที่ดูดซับ CPC ไว้แล้ว (หรือจะเขียนย่อว่า CPC + PVA) จะมีวิธีการทำได้ดังนี้

1) เตรียมสารละลายแขวนลอย โดยชั่งน้ำหนักสารดูดซับมา 0.2000 g (บันทึกผลเป็นทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงในขวด polyethylene จำนวน 12 ขวด

2) เติมสารละลายที่จะดูดซับก่อน (pre-adsorbed) ได้แก่ สารละลาย CPC เข้มข้น 2.00 mg/L ที่ควบคุมความแรงไอออนได้แก่ 0.01 M NaCl pH 9 ลงไป 8.00 mL (สอดคล้องกับปริมาณการดูดซับสูงสุดของ CPC บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกเดี่ยว ๆ) ทั้ง 12 ขวด

3) นำสารละลายในขวด polyethylene ทั้ง 12 ขวด ไปเขย่า Shaker เป็นเวลา 5 นาที

4) จากนั้นวัดค่า pH ของสารแขวนลอยอีกครั้ง ถ้าค่า pH ไม่เท่ากับ 9 ให้ปรับให้ตรงจากนั้นใช้น้ำที่ 0.01 M NaCl ที่ pH = 9 ปรับให้ปริมาตรในขวด polyethylene ให้เป็น 10 mL

5) เขย่าสารละลายแขวนลอยที่ได้ในขวด polyethylene ด้วยเครื่อง Shaker ที่ปรับความเร็วประมาณ 150 rpm เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

6) เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ในขวดที่ 1 ให้เติมเฉพาะสารละลาย 0.01 M NaCl ที่ pH = 9 เท่านั้น ส่วนขวดที่ 2 -12 ให้เติมสารละลาย PVA ความเข้มข้นต่าง ๆ (เช่นเดียวกับการทดลองการดูดซับเดี่ยว ๆ ของ PVA ในหัวข้อ 3.5.1 ลงไป 10.00 mL ดังนั้น จะทำให้ปริมาตรของสารละลายแขวนลอยทั้งหมดเป็น 20.00 mL

7) เขย่าสารละลายแขวนลอยที่ได้ในขวด polyethylene ด้วยเครื่อง Shaker ที่ปรับความเร็วประมาณ 150 rpm เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

8) จากนั้นก็ทำการทดลองต่อไป โดยมีขั้นตอนเหมือนกับการดูดซับ PVA บนอนุภาคเดี่ยว ๆ ดังเช่นในหัวข้อที่ 3.5.1

### 3.6 การศึกษาเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จาก

#### การดูดซับพอลิเมอร์ผสมและไม่ผสมกับสารลดแรงตึงผิว

ในการศึกษาเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ตซ์ และดินเกาลินเนื่องจากการดูดซับสารลดแรงตึงผิวและสารพอลิเมอร์ โดยจะใช้การศึกษาทั้งสิ้น 3 วิธีเพื่อบอกค่าเสถียรภาพการกระจายตัว ได้แก่ การวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm และการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้า (zeta potential)

#### 3.6.1 วิธีวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm

การวัดค่าเสถียรภาพการกระจายตัววิธีนี้ เป็นการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร โดยวิธีการจะใช้ชุดการทดลองเดียวกันกับการศึกษาการดูดซับพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวในหัวข้อ 3.5 โดยในขั้นตอนหลังจากเขย่าสารละลายแขวนลอยที่ได้ในขวด polyethylene ด้วยเครื่อง Shaker ที่ปรับความเร็วประมาณ 150 rpm เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วเมื่อครบ 12 ชั่วโมง นำขวด polyethylene ออกจากเครื่อง Shaker วางทิ้งไว้โดยปราศจากการเคลื่อนย้ายหรือรบกวนสมดุลเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นใช้ Dropper ตูดสารละลายแขวนลอยส่วนบนที่ใสอย่างเบา ๆ เพื่อไม่ให้สารละลายแขวนลอยในขวด polyethylene ชุ่กระจาย โดยตูดใส่ใน quartz cell ปริมาณ  $\frac{3}{4}$  ส่วนของปริมาตร quartz cell แล้วนำสารละลายใส่ใน quartz cell ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis ที่ 500 nm บันทึกผลค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งถ้าค่าการดูดกลืนแสงมีค่ามากแสดงว่าสารละลายแขวนลอยมีเสถียรภาพการกระจายตัวสูง แต่ถ้าค่าการดูดกลืนแสงมีค่าน้อยแสดงว่าสารละลายแขวนลอยมีเสถียรภาพการกระจายตัวต่ำ คือมีแนวโน้มนอนกันเร็วกว่า

#### 3.6.2 การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้า

การวัดค่าเสถียรภาพการกระจายตัววิธีนี้ เป็นการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้า (zeta potential) โดยเทคนิค ESA และ Attenuation โดยใช้เครื่อง Colloidal Dynamic AcoustoSizer ซึ่งมีหลักการคือ ค่าเฉลี่ยของศักย์ไฟฟ้าซีต้าและขนาดอนุภาคจะถูกคำนวณจากค่าสเปคตรัมการเคลื่อนที่ (dynamic mobility spectrum) และจากค่าคุณสมบัติอื่น ๆ ของสารวัดถุติบ ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืดของของเหลว เป็นต้น โดยใช้การคำนวณแบบทฤษฎีชั้นซ้อนของประจุผิวบาง (thin double layer) ของ O'Brien model

โดยในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ตอน ได้แก่ การเติมสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวเดี่ยว ๆ และการเติมสารพอลิเมอร์ผสมสารลดแรงตึงผิว ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

### 3.6.2.1 ศักย์ไฟฟ้าซีต้าจากการเติมสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวเดี่ยว ๆ

สารละลายแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกก่อนนำไปวัดค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้า ให้เตรียมสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิก (slurry) 10 wt% ในน้ำที่ 0.01 M NaCl และ pH = 9 จากนั้นทำให้เข้าสู่สมดุลโดยใช้แท่งคนแม่เหล็กเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำสารละลายแขวนลอยผสมที่ได้ไปวัดค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าโดยใช้เครื่อง AcoustoSizer ซึ่งระบบในเครื่องจะทำการวัดค่าแบบอัตโนมัติ จากการประมวลผลโดยซอฟต์แวร์ในคอมพิวเตอร์

โดยในการเติมสารพอลิเมอร์ ได้แก่ PVA หรือสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ CPC และ SDBS ให้สอดคล้องกับปริมาณการเติมสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวในหน่วย  $\mu\text{mole/g}$  และ  $\text{mg/g}$  สำหรับอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกเป็นไปดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ปริมาณการเติมสารลดแรงตึงผิวและสารพอลิเมอร์เพื่อวัดค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าของสารละลายแขวนลอยในน้ำเคลือบเซรามิก

| No. | CPC dosage<br>( $\mu\text{mole/g}$ ) | SDBS dosage<br>( $\mu\text{mole/g}$ ) | PVA dosage<br>( $\text{mg/g}$ ) |
|-----|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1   | 0.00                                 | 0.00                                  | 0.000                           |
| 2   | 4.98                                 | 2.50                                  | 0.500                           |
| 3   | 10.00                                | 6.25                                  | 1.496                           |
| 4   | 14.98                                | 12.47                                 | 2.489                           |
| 5   | 19.93                                | 18.72                                 | 3.493                           |
| 6   | 24.99                                | 24.90                                 | 4.995                           |
| 7   | 37.50                                | 37.46                                 | 7.470                           |
| 8   | 49.85                                | 49.95                                 | 9.980                           |
| 9   | 74.85                                | 99.85                                 | 12.494                          |
| 10  | 99.70                                | 149.70                                | 14.978                          |
| 11  | 124.50                               | 199.50                                | 19.980                          |
| 12  | 150.00                               | 250.00                                | 25.000                          |

### 3.6.2.2 ศักย์ไฟฟ้าซีต้าจากการเติมสารพอลิเมอร์ผสมสารลดแรงตึงผิว

สำหรับการทดลองวัดค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าของสารละลายแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกเนื่องจากผลของการเติมสารพอลิเมอร์ผสมสารลดแรงตึงผิวให้ทำเช่นเดียวกับวิธีการเติมการเติมสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวเดี่ยว ๆ ในหัวข้อ 3.6.2.1 แต่ปริมาณการเติมสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวตัวที่ 1 ลงบนอนุภาคก่อนที่จะเติมสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวตัวที่ 2 ผสมลงไปนั้น มีข้อปฏิบัติ ดังนี้

ปริมาณการเติมสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวตัวที่ 1 ในหน่วย  $\mu\text{mole/g}$  หรือ  $\text{mg/g}$  จะต้องสอดคล้องกับปริมาณการดูดซับสูงสุดของสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวเดี่ยว ๆ บนอนุภาคแต่ละตัวได้แก่ ดินเหนียว ลามสโตน คอวอร์ทซ์ และเฟลด์สปาร์ ที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อ 3.5.1 นั้นเอง

สำหรับปริมาณการเติมสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวตัวที่ 2 ผสมลงไปนั้น ให้เติมได้ตามการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองเดี่ยว ๆ ของสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวตัวที่สองในหัวข้อ 3.6.2.1

### 3.7 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำเคลือบเซรามิกที่เวลาต่าง ๆ

1) ชั่งน้ำหนักสารดูดซับ (Ceramic Glaze) มา 0.2000 g (บันทึกผลเป็นทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงในขวด polyethylene จำนวน 8 ขวด

2) แต่ละขวดเติมสารละลาย ดังนี้

ขวดที่ 1 เติมสารละลายน้ำกลั่น 0.01 M NaCl ที่ pH = 9 ลงไป 10.00 mL

ขวดที่ 2 เติมสารละลายน้ำกลั่น 0.01 M NaCl ที่ pH = 9 ลงไป 10.00 mL

ขวดที่ 3 เติมสารละลายน้ำกลั่น 0.01 M NaCl ที่ pH = 9 ลงไป 10.00 mL

ขวดที่ 4 เติมสารละลายน้ำกลั่น 0.01 M NaCl ที่ pH = 9 ลงไป 10.00 mL

ขวดที่ 5 เติมสารละลาย PVA ความเข้มข้น 200 mg/L จำนวน 10 mL

ขวดที่ 6 เติมสารละลาย PVA ความเข้มข้น 200 mg/L จำนวน 10 mL

ขวดที่ 7 เติมสารละลาย CPC ความเข้มข้น 3 mM จำนวน 10 mL

ขวดที่ 8 เติมสารละลาย SDBS ความเข้มข้น 8.0 mM จำนวน 10 mL

3) นำสารละลายแขวนลอยในขวด polyethylene ทั้ง 8 ขวด ไปเขย่าด้วยเครื่อง Shaker ที่ปรับความเร็วประมาณ 150 rpm เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4) จากนั้นให้เติมเฉพาะสารละลาย ดังนี้

ขวดที่ 1 เติมเฉพาะสารละลายน้ำกลั่น 0.01 M NaCl ที่ pH = 9 ลงไป 10 mL

ขวดที่ 2 เติมสารละลาย CPC ความเข้มข้น 3.0 mM จำนวน 10 mL

ขวดที่ 3 เติมสารละลาย SDBS ความเข้มข้น 8.0 mM จำนวน 10 mL

ขวดที่ 4 เติมสารละลาย PVA ความเข้มข้น 200 mg/L จำนวน 10 mL



ขวดที่ 5 เติมสารละลาย CPC ความเข้มข้น 0.50 mM (in 150 mg/L PVA) ลงไป 10 mL

ขวดที่ 6 เติมสารละลาย SDBS ความเข้มข้น 0.75 mM(in 150 mg/L PVA) ลงไป 10 mL

ขวดที่ 7 เติมสารละลาย PVA ความเข้มข้น 150 mg/L(in 3.0 mM CPC) จำนวน 10 mL

ขวดที่ 8 เติมสารละลาย PVA ความเข้มข้น 150 mg/L (in 8.0 mM SDBS) ลงไป 10 mL

5) เขย่าสารละลายแขวนลอยที่ได้ในขวด polyethylene อีกครั้งด้วยเครื่อง Shaker ที่ปรับความเร็วประมาณ 150 rpm เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

6) เมื่อครบ 2 ชั่วโมง (ทดลองสารละลายที่ละขวด) ใช้ Dropper ตูดสารละลายแขวนลอยส่วนบนที่ใสอย่างเบา ๆ เพื่อไม่ให้สารละลายแขวนลอยในขวด polyethylene ชุ่กระจาย โดยตูดใส่ใน quartz cell ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis ที่ 500 nm (ใช้น้ำกลั่นที่ 0.01 M NaCl pH = 9 ปรับ auto zero เมื่อเริ่มต้น) บันทึกค่าการดูดกลืนแสงลงในตารางที่ 1 ในช่องหลัง Shaker ทันที (เวลา = 0 นาที = เริ่มจับเวลา)

7) จากนั้น ยังไม่ต้องเอา quartz cell ออก แต่ดูค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงครึ่งหนึ่งจากเริ่มต้น เช่น สมมุติถ้าค่าการดูดกลืนแสงหลัง Shaker ทันที (เวลา = 0 นาที) เท่ากับ 3.6 แสดงว่าระยะเวลาที่ค่าการดูดกลืนแสงลดลงจะเท่ากับ  $3.6/2 = 1.8$  บันทึกผลเป็นเวลาที่ค่าการดูดกลืนแสงลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง (กรณีเมื่อครบ 1 ชั่วโมงแล้วค่าการดูดกลืนแสงยังไม่ลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง ก็ให้ทดลองข้อ 8) ต่อไป

8) จากนั้น ก็ยังไม่ต้องเอา quartz cell ออก จนครบ 1 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงแล้วบันทึกค่าการดูดกลืนแสงลงในช่องหลังทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

10) สารละลายแขวนลอยที่เหลือในขวดที่ 1 - 12 ให้วางทิ้งไว้โดยปราศจากการเคลื่อนย้ายหรือรบกวนสมดุลเป็นเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง โดยเมื่อครบช่วงเวลาดังกล่าว (ให้นับเวลาต่อเนื่องตั้งแต่หยุดจาก Shaker) ใช้ Dropper ตูดสารละลายแขวนลอยส่วนบนที่ใสอย่างเบา ๆ เพื่อไม่ให้สารละลายชุ่กระจาย โดยตูดใส่ใน  $\frac{3}{4}$  ส่วนของ quartz cell แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis ที่ 500 nm (ใช้น้ำกลั่นที่ 0.01 M NaCl pH = 9 ปรับ auto zero เมื่อเริ่มต้น) บันทึกผลค่าการดูดกลืนแสงลงในช่องหลังทิ้งไว้ 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบในน้ำเคลือบเซรามิก

ผลการศึกษาคุณสมบัติของอนุภาคที่จะใช้ทำเป็นน้ำเคลือบเซรามิก ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน (แคลเซียมคาร์บอเนต) ควอร์ทซ์ และดินเกาลิน และน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเกาลินด้วยอัตราส่วนเท่ากันและต่างกัน โดยคุณสมบัติที่ศึกษาได้แก่ ความหนาแน่น (density) พื้นที่ผิว (surface area) และขนาดอนุภาค (particle size) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำน้ำเคลือบเซรามิกและน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเกาลินด้วยอัตราส่วนเท่ากัน

| Particles     | wt% | Density (g/mL) | Specific surface area (m <sup>2</sup> /g) | Particle size (μm) |
|---------------|-----|----------------|---|--------------------|
| kaolin        | 25  | 2.6            | 16.5                                      | 15.89              |
| limestone     | 25  | 2.8            | 2.6                                       | 13.11              |
| quartz        | 25  | 2.6            | 2.7                                       | 23.43              |
| Feldspar      | 25  | 2.5            | 1.1                                       | 16.53              |
| Ceramic glaze | 100 | 2.8            | 5.7                                       | 17.61              |

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำน้ำเคลือบเซรามิกและน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเกาลินด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

| Particles     | wt% | Density (g/mL) | Specific surface area (m <sup>2</sup> /g) | Particle size (μm) |
|---------------|-----|----------------|---|--------------------|
| kaolin        | 27  | 2.6            | 16.5                                      | 15.89              |
| limestone     | 28  | 2.8            | 2.6                                       | 13.11              |
| quartz        | 20  | 2.6            | 2.7                                       | 23.43              |
| Feldspar      | 25  | 2.5            | 1.1                                       | 16.53              |
| Ceramic glaze | 100 | 2.8            | 9.7                                       | 15.33              |

#### 4.2 การหาค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวเนื่องจากผลของการเติมสารพอลิเมอร์

ผลการศึกษาค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ (critical micelle concentration, cmc) ของ Cetylpyridinium chloride (CPC) และ sodium dodecylbenzene-sulfonate (SDBS) เนื่องจากผลของการเติม Poly vinyl alcohol (PVA) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยมีสภาวะของสารละลายที่ควบคุมความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M NaCl และ pH = 9 โดยใช้เทคนิค Conductometry ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ (critical micelle concentration, cmc) ของ CPC และ SDBS เนื่องจากผลของการเติม PVA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (สภาวะสารละลาย 0.01 M NaCl และ pH = 9) โดยใช้เทคนิค Conductometry

| ชนิดสารลดแรงตึงผิว | ความเข้มข้น PVA ที่เติม (mg/L) | ค่า cmc (mM) |
|--------------------|--------------------------------|--------------|
| CPC                | 0                              | 0.36         |
|                    | 50                             | 0.32         |
|                    | 100                            | 0.20         |
|                    | 200                            | 0.12         |
| SDBS               | 0                              | 0.90         |
|                    | 50                             | 0.60         |
|                    | 100                            | 0.42         |
|                    | 200                            | 0.20         |

### 4.3 ผลการศึกษาการดูดซับสารผสมระหว่างสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวบนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ตซ์ และดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน

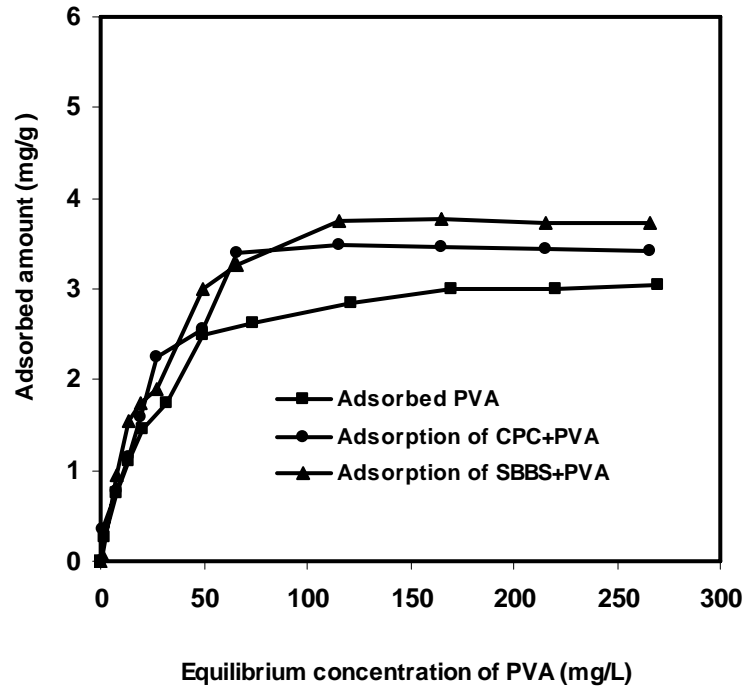
ในการวิจัยนี้เริ่มจากศึกษา “การดูดซับพอลิเมอร์ที่ไม่มีประจุ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly (vinyl alcohol), PVA) และสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนบวกและไอออนลบ ได้แก่ เซททิลพิริดีเนียมคลอไรด์ (CPC) และโซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (SDBS) บนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ตซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน (ดังตารางที่ 4.1) ต่อจากนั้นทำการศึกษา “เสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ตซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากันที่ได้จากผลของการดูดซับสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวเดี่ยวๆ และเนื่องจากการดูดซับสารผสมระหว่างพอลิเมอร์กับสารลดแรงตึงผิว” โดยในการวัดเสถียรภาพการกระจายตัวจะใช้การศึกษาทั้งสิ้น 2 วิธีเพื่อบอกค่าเสถียรภาพการกระจายตัว ได้แก่ การวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm และการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้า

เพื่อความเข้าใจโดยง่าย ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการทดลองโดยเปรียบเทียบให้เห็นผลการทดลองอย่างชัดเจนระหว่างผลการดูดซับสารเดี่ยว ๆ กับสารผสมระหว่างพอลิเมอร์กับสารลดแรงตึงผิว โดยแยกเป็นชนิดของสารเติม ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เซททิลพิริดีเนียมคลอไรด์ (CPC) และโซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (SDBS) ดังต่อไปนี้

#### 4.3.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

รูปที่ 4.1 แสดงการดูดซับสารพอลิเมอร์ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) บนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ตซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน (ดังตารางที่ 4.1) โดยศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารพอลิเมอร์ที่มีต่อการดูดซับ โดยควบคุมค่าพีเอช เท่ากับ 9 และความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M NaCl พบว่า ปริมาณการดูดซับ PVA เดี่ยว ๆ จะน้อยกว่าปริมาณการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ CPC (ใช้สัญลักษณ์ CPC+PVA) หรือ SDBS (ใช้สัญลักษณ์ SDBS+PVA) ไว้แล้ว

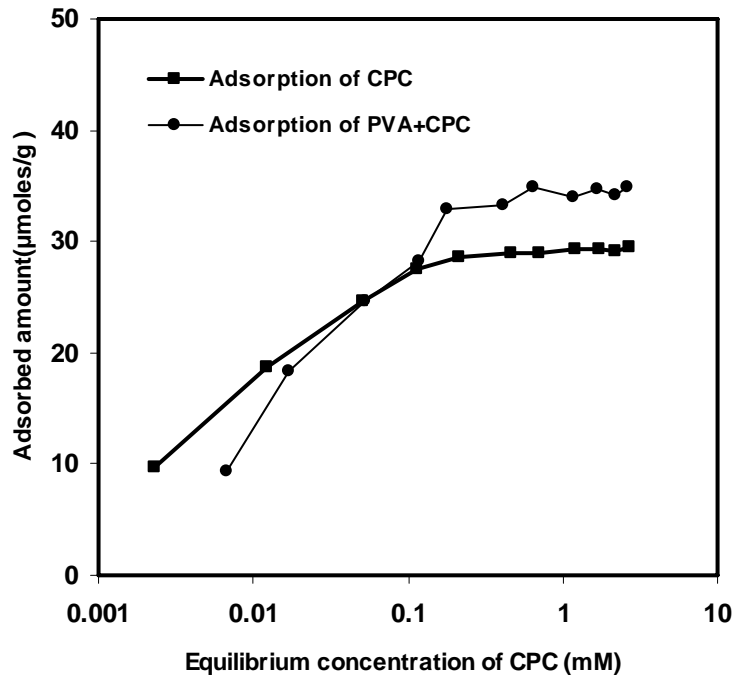
เมื่อเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด ได้แก่ ชนิดไอออนบวก CPC กับชนิดไอออนลบ SDBS ที่มีต่อปริมาณการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก พบว่า ปริมาณการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ CPC ไว้ก่อน จะสูงกว่าการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ SDBS ไว้ก่อน



รูปที่ 4.1 ไอโซเทอร์มการดูดซับ PVA บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน โดยเปรียบเทียบการดูดซับบนอนุภาคที่ดูดซับสารลดแรงตึงผิวไว้แล้ว ได้แก่ CPC (●), SDBS (▲) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับสารลดแรงตึงผิว (■).

#### 4.3.2 เซททิลพริติเนียมคลอไรด์ (CPC)

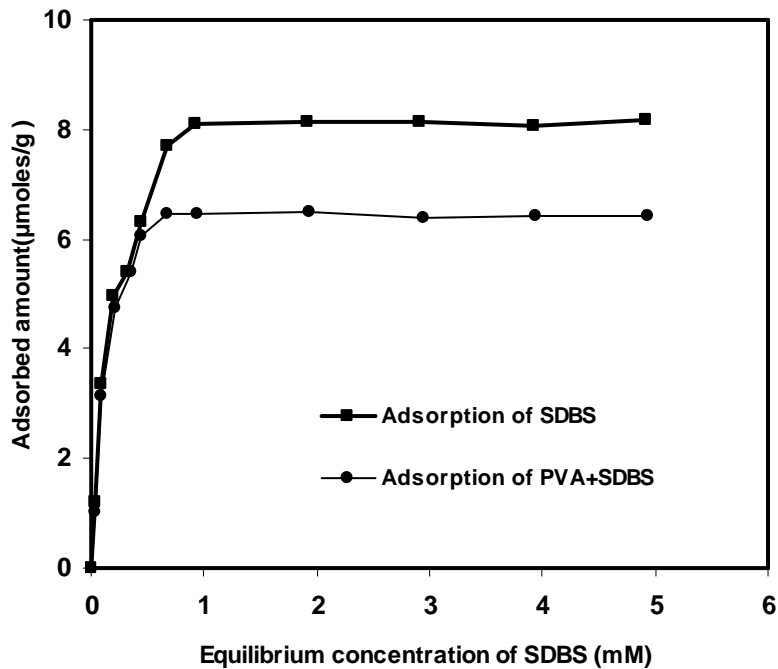
รูปที่ 4.2 แสดงผลการศึกษากการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก ได้แก่ เซททิลพริติเนียมคลอไรด์ (CPC) บนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน โดยควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 9 และความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M NaCl จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเริ่มต้นความเข้มข้น CPC ต่ำ ๆ การดูดซับ CPC เตี้ย ๆ จะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (ใช้สัญลักษณ์ PVA +CPC) ไว้แล้ว จากนั้นเมื่อความเข้มข้น CPC เพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก จะมีปริมาณสูงสุดที่บริเวณใกล้เคียงกับจุด cmc (ตารางที่ 4.3) และพบว่าปริมาณการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (ใช้สัญลักษณ์ PVA +CPC) ไว้แล้วจะสูงกว่าปริมาณการดูดซับ CPC เตี้ย ๆ โดยที่ค่าปริมาณการดูดซับสูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณจุดใกล้เคียง cmc ทั้งสองสภาวะ โดยปริมาณการดูดซับ CPC สูงสุดบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA ไว้แล้วจะคงที่ก่อนปริมาณการดูดซับ CPC สูงสุดเตี้ย ๆ เนื่องจากค่า cmc ของ CPC ที่มีผลของ PVA ต่ำกว่า cmc ของ CPC เตี้ย ๆ (ตารางที่ 4.3)



รูปที่ 4.2 ไอโซเทอร์มการดูดซับ CPC บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน โดยเปรียบเทียบการดูดซับ CPC บนอนุภาคที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว (●) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับ PVA (■).

#### 4.3.3 โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (SDBS)

รูปที่ 4.3 แสดงผลการศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ SDBS บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน โดยควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 9 และความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M NaCl จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเริ่มต้นที่ความเข้มข้น SDBS ต่ำ ๆ การดูดซับ SDBS เดี่ยว ๆ จะเกิดขึ้นได้เร็วพอ ๆ กับการดูดซับ SDBS บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (ใช้สัญลักษณ์ PVA +SDBS) ไว้แล้ว จากนั้นเมื่อความเข้มข้น SDBS เพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับ SDBS บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก จะมีปริมาณสูงสุดที่บริเวณใกล้เคียงกับจุด cmc (ตารางที่ 4.3) และพบว่าปริมาณการดูดซับ SDBS เดี่ยว ๆ จะสูงกว่าปริมาณการดูดซับ SDBS บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (ใช้สัญลักษณ์ PVA + SDBS) ไว้แล้ว โดยที่ค่าปริมาณการดูดซับสูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณจุดใกล้เคียง cmc ทั้งสองสภาวะ โดยปริมาณการดูดซับ SDBS สูงสุดบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA ไว้แล้วจะคงที่ก่อนปริมาณการดูดซับ SDBS สูงสุดเดี่ยว ๆ สอดคล้องกับค่า cmc ของ SDBS ที่มีผลของ PVA ต่ำกว่า cmc ของ SDBS เดี่ยว ๆ (ตารางที่ 4.3)



รูปที่ 4.3 ไอโซเทอร์มการดูดซับ SDBS บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเผาหินด้วยอัตราส่วนเท่ากัน โดยเปรียบเทียบการดูดซับ SDBS บนอนุภาคที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว (●) และที่ยังไม่ถูกดูดซับ PVA (■)

#### 4.4 ผลการศึกษาการเกิดเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากผลของการดูดซับสารผสมระหว่างสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิว

ผลการศึกษาเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก ที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเผาหินด้วยอัตราส่วนเท่ากัน เนื่องจากผลของการดูดซับสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวเดี่ยว ๆ และเนื่องจากการดูดซับสารผสมระหว่างพอลิเมอร์กับสารลดแรงตึงผิว โดยในการวัดเสถียรภาพการกระจายตัวจะใช้การศึกษาทั้งสิ้น 2 วิธี เพื่อบอกค่าเสถียรภาพการกระจายตัว ได้แก่ การวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm และการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้า

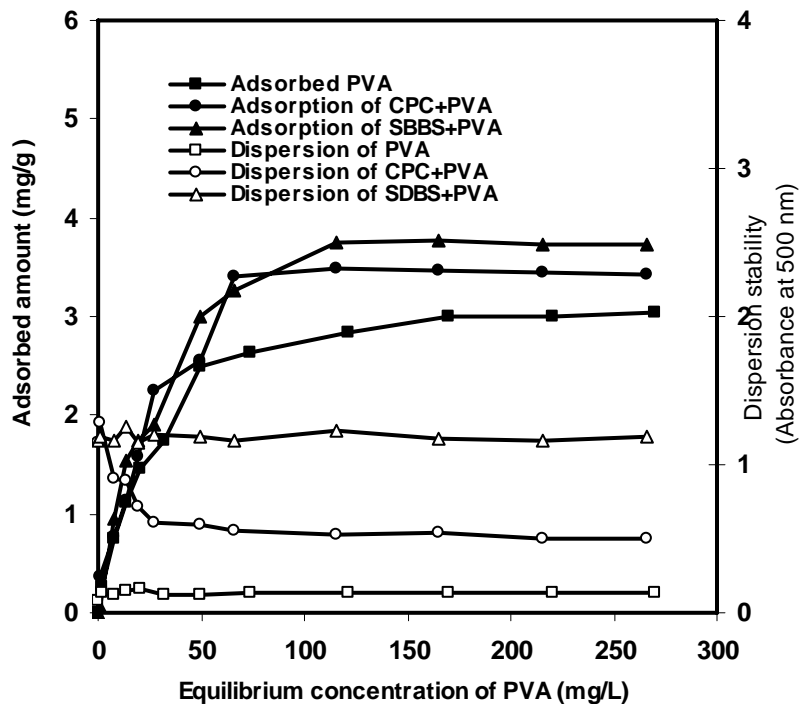
เพื่อความเข้าใจโดยง่าย ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการทดลองโดยเปรียบเทียบให้เห็นผลการทดลองอย่างชัดเจนระหว่างผลการดูดซับสารเดี่ยว ๆ กับสารผสมระหว่างพอลิเมอร์กับสารลดแรงตึงผิว โดยแยกเป็นชนิดของสารเติม ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เซพทิลพีริดีเนียมคลอไรด์ (CPC) และโซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (SDBS) ดังต่อไปนี้

#### 4.4.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

รูปที่ 4.4 แสดงค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน เนื่องมาจากผลของการดูดซับ PVA โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 nm พบว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัว (ค่าการดูดกลืนแสง) ของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากผลของการดูดซับ PVA เดี่ยว ๆ จะต่ำกว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ SDBS (ใช้สัญลักษณ์ SDBS+PVA) และ CPC (ใช้สัญลักษณ์ CPC+PVA) ไว้แล้ว

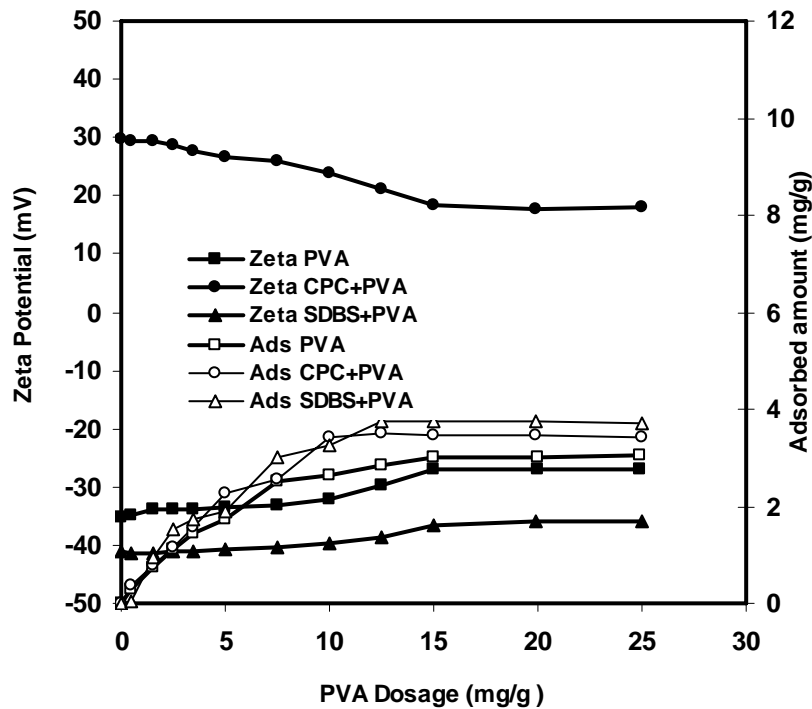
เมื่อเปรียบเทียบผลของการดูดซับ PVA ที่มีสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด พบว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัวเนื่องจากการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ SDBS ไว้ก่อน จะมีค่าสูงกว่าอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ CPC ไว้ก่อน

สำหรับผลการศึกษาศักย์ไฟฟ้าซีตาดังรูปที่ 4.5 พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าซีตาของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกจะลดลงทั้งผลของการเติม PVA เดี่ยว ๆ และการเติม PVA บนอนุภาคเหนียวที่ดูดซับ CPC (CPC+PVA) หรือ SDBS (SDBS+PVA) ไว้แล้ว



รูปที่ 4.4 ไอโซเทอร์มการดูดซับ (closed symbols) ของ PVA บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน และค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm (open symbols) ของสารละลายส่วนบนของสารแขวนลอยหลังจากตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบการดูดซับบนอนุภาคที่ดูดซับสารลดแรงตึงผิวไว้แล้ว ได้แก่ CPC (●,○), SDBS (▲,△) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับสารลดแรงตึงผิว (■,□).





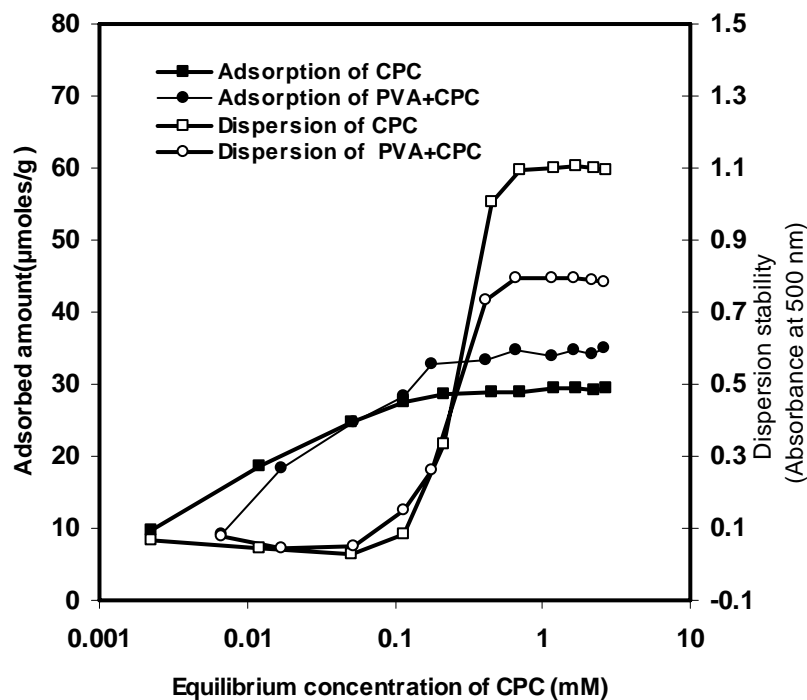
รูปที่ 4.5 ศักย์ไฟฟ้าซีต้าของสารละลายแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินกาลินด้วยอัตราส่วนเท่ากัน (closed symbols) กับ ปริมาณการดูดซับ PVA (open symbols) กับฟังก์ชันของปริมาณ PVA ที่เติม โดยเปรียบเทียบบนอนุภาคที่ดูดซับสารลดแรงตึงผิวไว้แล้ว ได้แก่ CPC (●,○), SDBS (▲,△) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับสารลดแรงตึงผิว (■,□).

#### 4.4.2 เซททิลพีริดิเนียมคลอไรด์ (CPC)

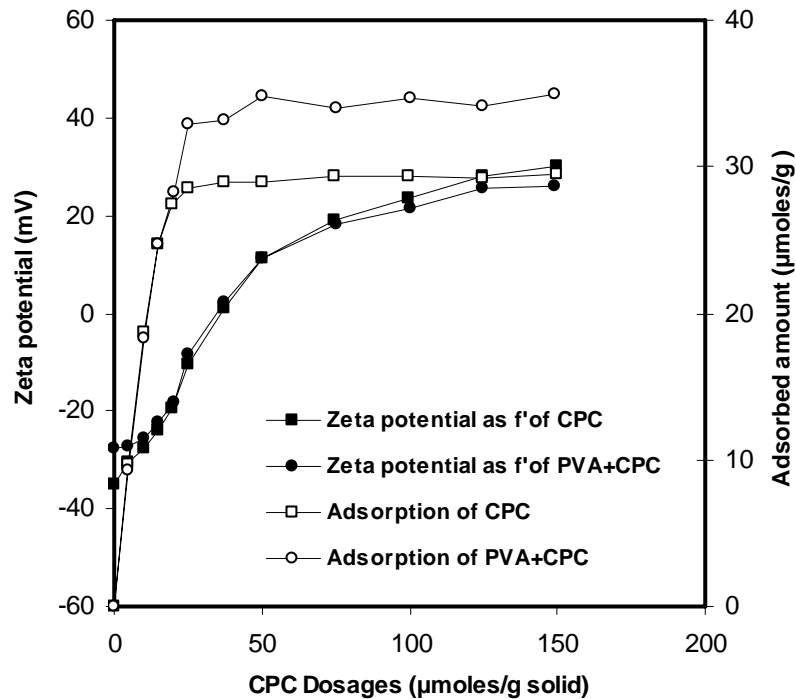
รูปที่ 4.6 แสดงผลการศึกษาค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของบอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินกาลินด้วยอัตราส่วนเท่ากัน เนื่องจากการดูดซับ CPC โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร พบว่า การดูดซับ CPC จะมีผลต่อค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก โดยเริ่มต้นที่ความเข้มข้นของ CPC ต่ำ ๆ ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงเล็กน้อยอย่างช้า ๆ จนกระทั่งเมื่อความเข้มข้นของ CPC เพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่จุดใกล้เคียงกับจุด cmc จากนั้นค่าการดูดกลืนแสงจะคงที่สอดคล้องกับค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด พฤติกรรมนี้จะเหมือนกันทั้งการดูดซับ CPC เดี่ยว ๆ และการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA +CPC) ไว้แล้ว

สิ่งที่น่าสนใจได้แก่ จากรูปที่ 4.2 และ 4.6 พบว่าปริมาณการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA +CPC) ไว้แล้วจะสูงกว่าปริมาณการดูดซับ CPC เดี่ยว ๆ แต่ค่าเสถียรภาพการกระจายตัว (ค่าการดูดกลืนแสง) ของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากผลของการดูดซับ CPC เดี่ยว ๆ กลับมีค่าสูงกว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA+CPC) ไว้แล้ว แสดงว่าผลของการเติม PVA มีผลทำให้ปริมาณการดูดซับ CPC เพิ่มสูงขึ้น แต่มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวที่ลดลง

ข้อมูลปริมาณการดูดซับ CPC เพิ่มสูงขึ้น แต่มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวที่ลดลง สามารถยืนยันได้จากผลการศึกษาคักย์ไฟฟ้าซีต้าดังรูปที่ 4.7 ค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกเริ่มต้นจะเป็นลบ เมื่อปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าจะลดลงจนเป็นศูนย์และจะเพิ่มขึ้นเป็นบวกจนกระทั่งคงที่ โดยค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากผลของการดูดซับ CPC เดี่ยว ๆ มีค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกสูงกว่าที่ดูดซับ PVA (PVA+CPC) เล็กน้อย สอดคล้องกับผลที่ได้จากค่าเสถียรภาพการกระจายตัวในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ไอโซเทอร์มการดูดซับ (closed symbols) ของ CPC บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน และค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm (open symbols) ของสารละลายส่วนบนของสารแขวนลอยหลังจากตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบการดูดซับ CPC บนอนุภาคที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว (●,○) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับ PVA (■,□).



รูปที่ 4.7 ศักย์ไฟฟ้าซีต้าของสารละลายแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเกาลินด้วยอัตราส่วนเท่ากัน (closed symbols) กับ ปริมาณการดูดซับ CPC (open symbols) บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกกับฟังก์ชันของปริมาณ CPC ที่เติม โดยเปรียบเทียบบนอนุภาคที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว (●,○) กับบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับ PVA (■,□).

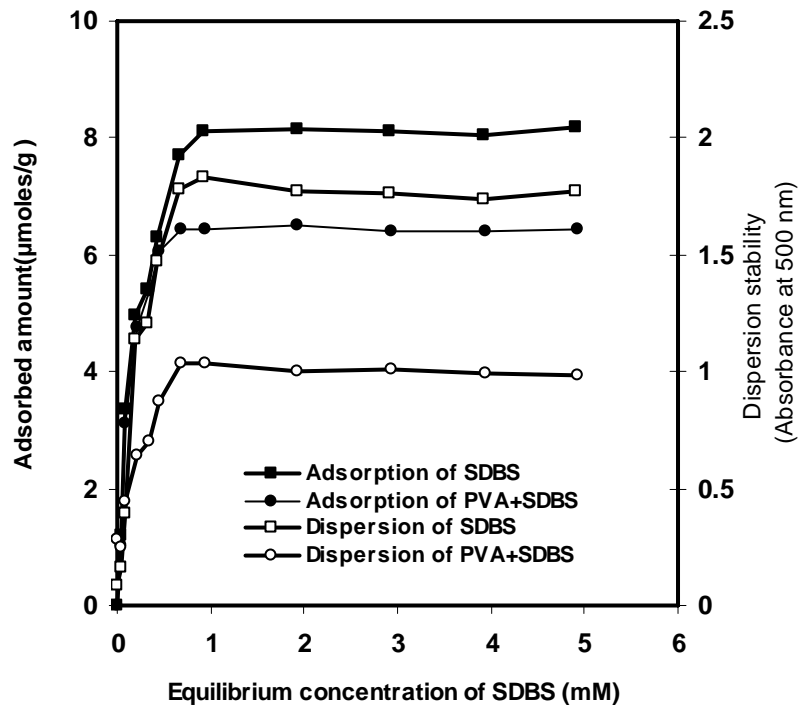
#### 4.4.3 โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (SDBS)

รูปที่ 4.8 แสดงผลการศึกษาค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเกาลินด้วยอัตราส่วนเท่ากัน เนื่องจากการดูดซับ SDBS โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร พบว่า การดูดซับ SDBS จะมีผลต่อค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก โดยเริ่มต้นที่ความเข้มข้นของ SDBS ต่ำ ๆ ค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเมื่อความเข้มข้นของ SDBS เพิ่มขึ้นถึงจุด cmc ของแต่ละสภาวะ ค่าการดูดกลืนแสงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และคงที่สอดคล้องกับค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด พฤติกรรมนี้จะเหมือนกันทั้งการดูดซับ SDBS เดี่ยว ๆ และการดูดซับ SDBS บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA+SDBS) ไว้แล้ว

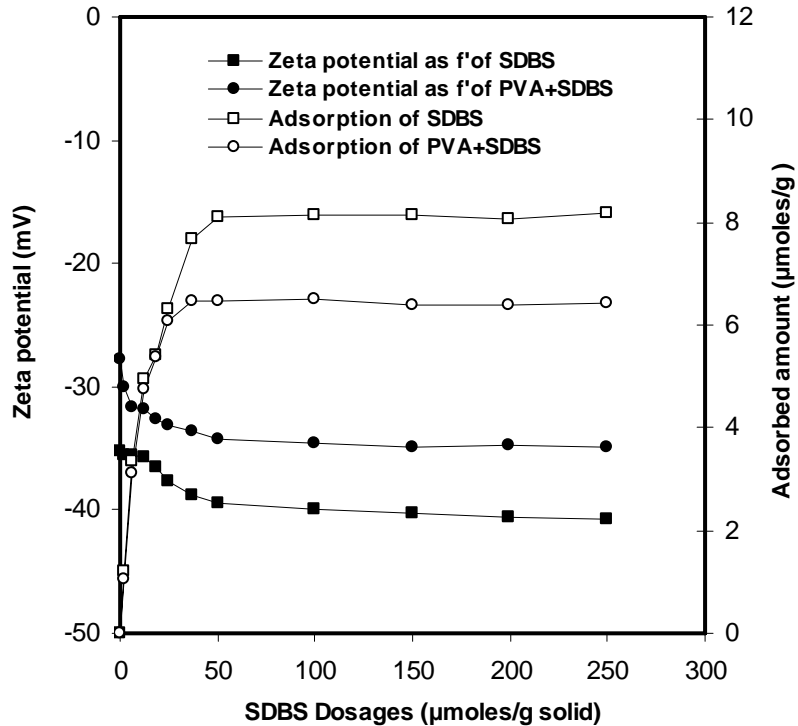
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับ SDBS เดี่ยว ๆ จะสูงกว่าปริมาณการดูดซับ SDBS บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA+SDBS) ไว้แล้ว สอดคล้องกับค่า

เสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากผลของการดูดซับ SDBS เดี่ยว ๆ ที่มีค่าสูงกว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากการดูดซับ SDBS ที่มีผลของ PVA (PVA+SDBS) ไว้แล้ว แสดงว่าผลของการเติม PVA มีผลทำให้ปริมาณการดูดซับ SDBS ลดลง และมีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวที่ลดลงด้วย

ผลการศึกษาค่าศักย์ไฟฟ้าซีตาดังรูปที่ 4.9 ค่าศักย์ไฟฟ้าซีตาของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกเริ่มต้นจะเป็นลบ เมื่อปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นค่าศักย์ไฟฟ้าซีตาจะมากขึ้น (ติดลบมากขึ้น) จนกระทั่งคงที่ที่จุดปริมาณการดูดซับสูงสุด โดยค่าศักย์ไฟฟ้าซีตาของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากผลของการดูดซับ SDBS เดี่ยว ๆ มีค่าศักย์ไฟฟ้าซีตาของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกสูงกว่าที่ได้จากการดูดซับ PVA (PVA+SDBS) ไว้แล้ว ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากค่าเสถียรภาพการกระจายตัว (ค่าการดูดกลืนแสง) ในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ไอโซเทอร์มการดูดซับ (closed symbols) ของ SDBS บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน และค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm (open symbols) ของสารละลายส่วนบนของสารแขวนลอยหลังจากตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบการดูดซับ SDBS บนอนุภาคที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว (●,○) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับ PVA (■,□)



รูปที่ 4.9 ศักย์ไฟฟ้าซีต้าของสารละลายแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินกาลินด้วยอัตราส่วนเท่ากัน (closed symbols) กับ ปริมาณการดูดซับ SDBS (open symbols) บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกกับฟังก์ชันของปริมาณ SDBS ที่เติม โดยเปรียบเทียบอนุภาคที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว (●,○) กับอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับ PVA (■,□).

#### 4.5 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเติมสารพอลิเมอร์ผสมกับสารลดแรงตึงผิวที่มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวสูงสุดของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กันของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินกาลิน

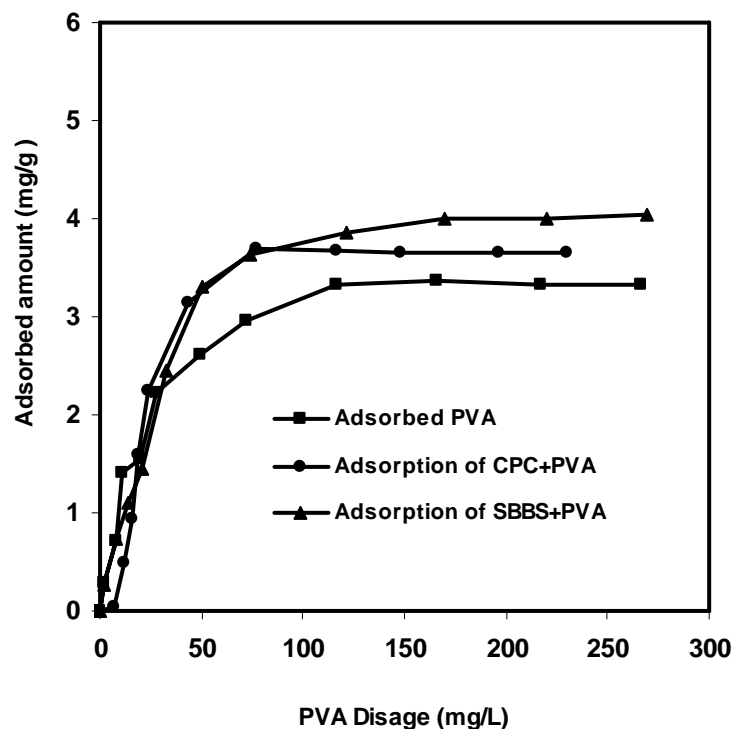
ผลการศึกษาเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินกาลินด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ กัน (ตารางที่ 4.2) ที่ได้จากผลของการดูดซับสารพอลิเมอร์หรือสารลดแรงตึงผิวเดี่ยว ๆ และเนื่องจากการดูดซับสารผสมระหว่างพอลิเมอร์กับสารลดแรงตึงผิว โดยในการวัดเสถียรภาพการกระจายตัวจะใช้การวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm

ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการทดลองโดยเปรียบเทียบให้เห็นผลการทดลองอย่างชัดเจนระหว่างผลการดูดซับสารเดี่ยว ๆ กับสารผสมระหว่างพอลิเมอร์กับสารลดแรงตึงผิว โดยแยกเป็นชนิดของสารเติม ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เซททิลพิริดีเนียมคลอไรด์ (CPC) และโซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (SDBS) ดังต่อไปนี้

#### 4.5.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

รูปที่ 4.10 แสดงการดูดซับสารพอลิเมอร์ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) บนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเหนียวด้วยอัตราส่วนที่ต่างกัน (ดังตารางที่ 4.2) โดยศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารพอลิเมอร์ที่มีต่อการดูดซับ โดยควบคุมค่าพีเอช เท่ากับ 9 และความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M NaCl พบว่า ปริมาณการดูดซับ PVA เดี่ยว ๆ จะน้อยกว่าปริมาณการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ CPC (ใช้สัญลักษณ์ CPC+PVA) หรือ SDBS (ใช้สัญลักษณ์ SDBS+PVA) ไว้แล้ว

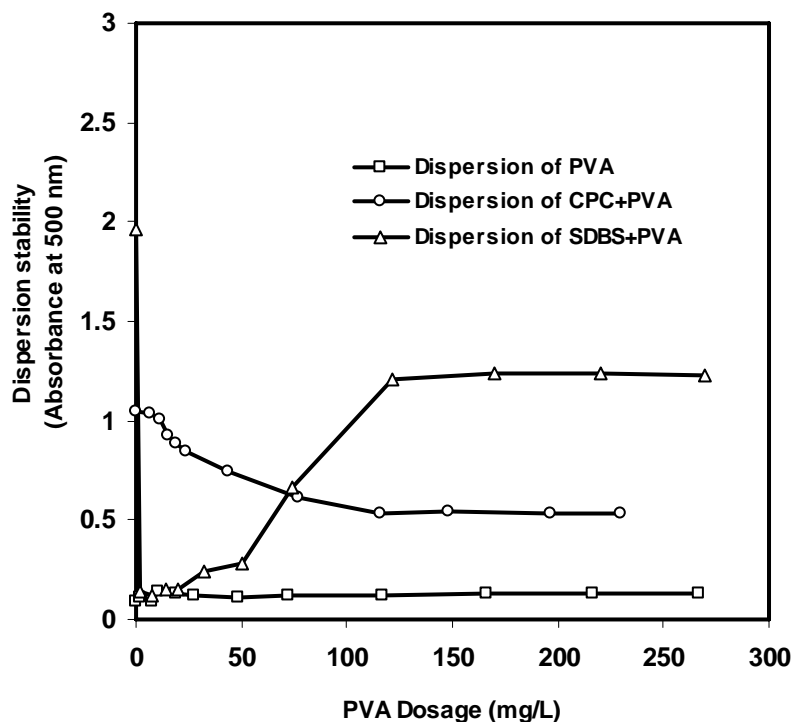
เมื่อเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด ได้แก่ ชนิดไอออนบวก CPC กับชนิดไอออนลบ SDBS ที่มีต่อปริมาณการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก พบว่า ปริมาณการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ CPC ไว้ก่อน จะสูงกว่าการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ SDBS ไว้ก่อน



รูปที่ 4.10 การดูดซับ PVA บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ กัน โดยเปรียบเทียบการดูดซับบนอนุภาคที่ดูดซับสารลดแรงตึงผิวไว้แล้ว ได้แก่ CPC (●), SDBS (▲) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับสารลดแรงตึงผิว (■).

รูปที่ 4.11 แสดงค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนที่ต่างกัน เนื่องมาจากผลของการดูดซับ PVA โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 nm พบว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัว (ค่าการดูดกลืนแสง) ของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากผลของการดูดซับ PVA เพียง ๆ จะต่ำกว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ SDBS (ใช้สัญลักษณ์ SDBS+PVA) และ CPC (ใช้สัญลักษณ์ CPC+PVA) ไว้แล้ว

เมื่อเปรียบเทียบผลของการดูดซับ PVA ที่มีสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด พบว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัวเนื่องจากการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ SDBS (SDBS+PVA) ไว้ก่อน จะมีค่าสูงกว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกเนื่องจากการดูดซับ CPC (CPC+PVA) ไว้ก่อน แสดงว่าผลของการเติม CPC และ SDBS มีผลทำให้ปริมาณการดูดซับ PVA เพิ่มขึ้น และมีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวที่เพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4.11 ค่าเสถียรภาพการกระจายตัว (ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm) ของสารแขวนลอยของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และ ดินเหนียวหลังจากตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง เนื่องมาจากผลของการเติม PVA โดยเปรียบเทียบการดูดซับบนอนุภาคที่ดูดซับสารลดแรงตึงผิวไว้แล้ว ได้แก่ CPC (O), SDBS ( $\Delta$ ) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับสารลดแรงตึงผิว ( $\square$ ).

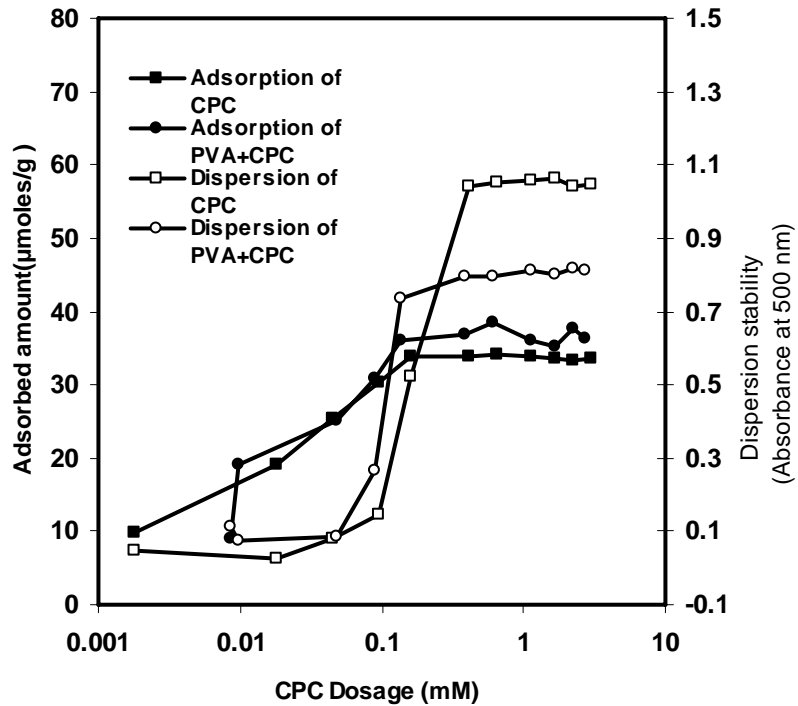
#### 4.5.2 เซททิลพริติเนียมคลอไรด์ (CPC)

รูปที่ 4.12 แสดงผลการศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวกได้แก่ เซททิลพริติเนียมคลอไรด์ (CPC) บนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเกาลินด้วยอัตราส่วนเท่ากัน โดยควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 9 และความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M NaCl จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเริ่มต้นความเข้มข้น CPC ต่ำ ๆ การดูดซับ CPC เดี่ยว ๆ จะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (ใช้สัญลักษณ์ PVA +CPC) ไว้แล้ว จากนั้นเมื่อความเข้มข้น CPC เพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก จะมีปริมาณสูงสุดที่บริเวณใกล้เคียงกับจุด cmc (ตารางที่ 4.3) และพบว่าปริมาณการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (ใช้สัญลักษณ์ PVA +CPC) ไว้แล้วจะสูงกว่าปริมาณการดูดซับ CPC เดี่ยว ๆ โดยที่ค่าปริมาณการดูดซับสูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณจุดใกล้เคียง cmc ทั้งสองสภาวะ โดยปริมาณการดูดซับ CPC สูงสุดบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA ไว้แล้วจะคงที่ก่อนปริมาณการดูดซับ CPC สูงสุดเดี่ยว ๆ เนื่องจากค่า cmc ของ CPC ที่มีผลของ PVA ต่ำกว่า cmc ของ CPC เดี่ยว ๆ (ตารางที่ 4.3)

การศึกษาค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเกาลินด้วยอัตราส่วนเท่ากัน เนื่องจากการดูดซับ CPC โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร แสดงผลในรูปที่ 4.12 เช่นกัน พบว่า การดูดซับ CPC จะมีผลต่อค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก โดยเริ่มต้นที่ความเข้มข้นของ CPC ต่ำ ๆ ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงเล็กน้อยอย่างช้า ๆ จนกระทั่งเมื่อความเข้มข้นของ CPC เพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่จุดใกล้เคียงกับจุด cmc จากนั้นค่าการดูดกลืนแสงจะคงที่สอดคล้องกับค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด พฤติกรรมนี้จะเหมือนกันทั้งการดูดซับ CPC เดี่ยว ๆ และการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA +CPC) ไว้แล้ว

สิ่งที่น่าสนใจได้แก่ จากรูปที่ 4.12 พบว่าปริมาณการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA +CPC) ไว้แล้วจะสูงกว่าปริมาณการดูดซับ CPC เดี่ยว ๆ แต่ค่าเสถียรภาพการกระจายตัว (ค่าการดูดกลืนแสง) ของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากผลของการดูดซับ CPC เดี่ยว ๆ กลับมีค่าสูงกว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA+CPC) ไว้แล้ว แสดงว่าผลของการเติม PVA มีผลทำให้ปริมาณการดูดซับ CPC เพิ่มขึ้น แต่มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวที่ลดลง

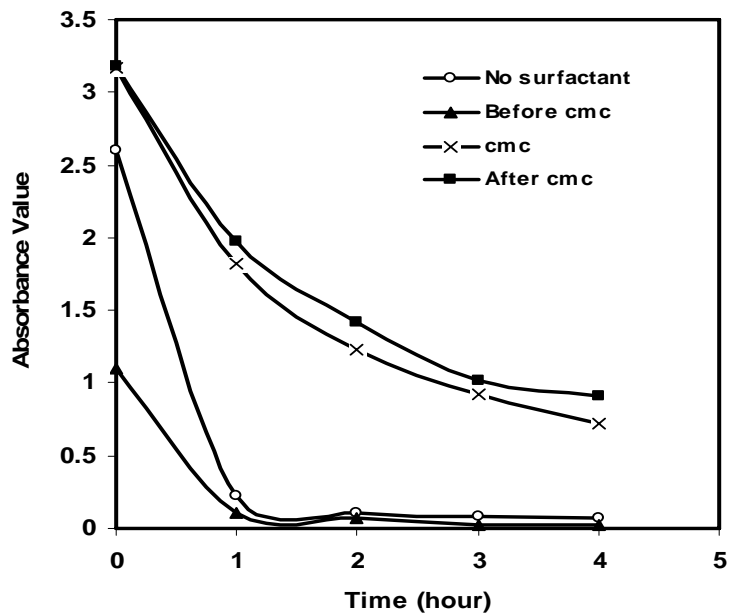




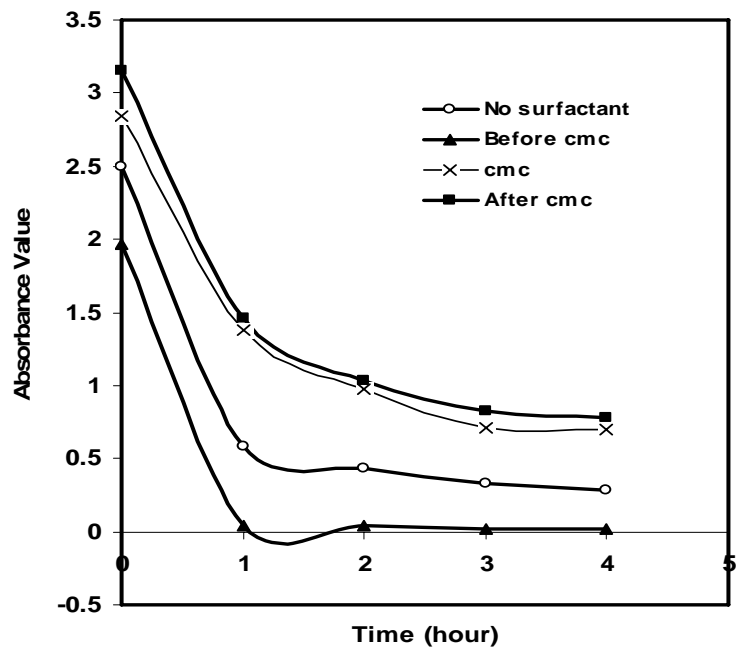
รูปที่ 4.12 การดูดซับ CPC บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิก (closed symbols) และค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm (open symbols) ของสารละลายส่วนบนของสารแขวนลอยหลังจากตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบการดูดซับ CPC บนอนุภาคที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว (●, ○) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับ PVA (■, □).

รูปที่ 4.13 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm ของสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเกาลิน ที่เวลาต่าง ๆ เนื่องมาจากผลของการเติม CPC โดยเปรียบเทียบปริมาณการเติมสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นก่อนจุด cmc ที่จุด cmc และหลังจุด cmc และที่ไม่เติม CPC พบว่า ที่ความเข้มข้นก่อนจุด cmc ค่าการดูดกลืนแสงลดลงอย่างรวดเร็ว และเร็วกว่าที่ไม่ได้เติม CPC แต่เมื่อถึงจุด cmc และเลยจุด cmc ไปแล้ว ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงช้ากว่า

สำหรับผลของการเติม CPC ที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว จะแสดงพฤติกรรมที่เหมือนกรณีดูดซับเดี่ยว ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm ของสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเกาลิน ที่เวลาต่าง ๆ พบว่าที่ปริมาณการเติมสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นก่อนจุด cmc ค่าการดูดกลืนแสงลดลงอย่างรวดเร็ว และเร็วกว่าที่ไม่ได้เติม CPC แต่เมื่อถึงจุด cmc และเลยจุด cmc ไปแล้ว ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงช้ากว่า



รูปที่ 4.13 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm ของสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเหนียว ที่เวลาต่าง ๆ เนื่องจากผลของการเติม CPC ก่อนจุด cmc (▲), ที่จุด cmc (x) และหลังจุด cmc (■). โดยเปรียบเทียบกับน้ำเคลือบเซรามิกที่ไม่เติม CPC



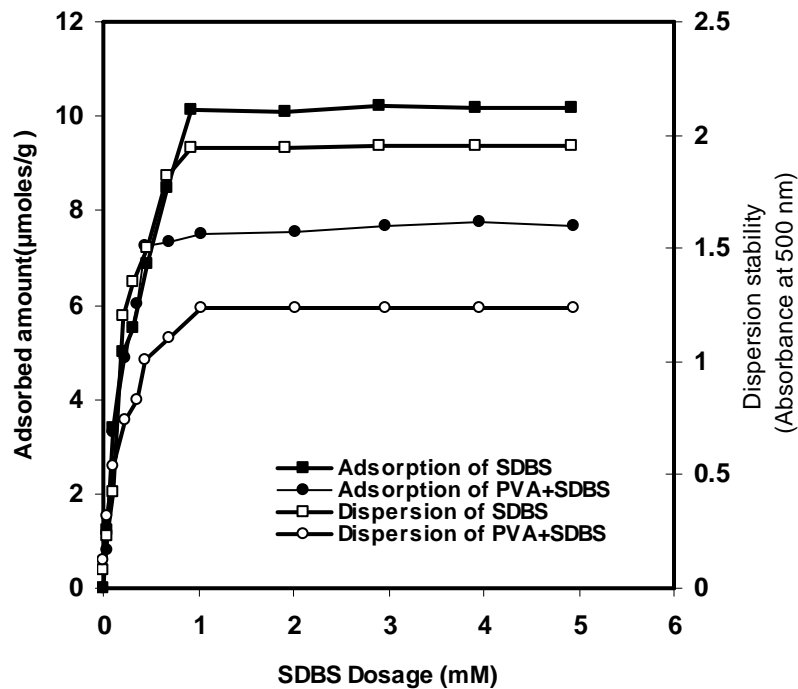
รูปที่ 4.14 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm ของสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเหนียว ที่เวลาต่าง ๆ เนื่องจากผลของการเติม CPC ที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว ก่อนจุด cmc (▲), ที่จุด cmc (x) และหลังจุด cmc (■). โดยเปรียบเทียบกับน้ำเคลือบเซรามิกที่ไม่เติม CPC (○)

#### 4.5.3 โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (SDBS)

รูปที่ 4.15 แสดงผลการศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ SDBS บนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน โดยควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 9 และความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M NaCl จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเริ่มต้นที่ความเข้มข้น SDBS ต่ำ ๆ การดูดซับ SDBS เต็ม ๆ จะเกิดขึ้นได้เร็วพอ ๆ กับการดูดซับ SDBS บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (ใช้สัญลักษณ์ PVA +SDBS) ไว้แล้ว จากนั้นเมื่อความเข้มข้น SDBS เพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับ SDBS บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก จะมีปริมาณสูงสุดที่บริเวณใกล้เคียงกับจุด cmc (ตารางที่ 4.3) และพบว่าปริมาณการดูดซับ SDBS เต็ม ๆ จะสูงกว่าปริมาณการดูดซับ SDBS บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (ใช้สัญลักษณ์ PVA + SDBS) ไว้แล้ว โดยที่ค่าปริมาณการดูดซับสูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณจุดใกล้เคียง cmc ทั้งสองสภาวะ โดยปริมาณการดูดซับ SDBS สูงสุดบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA ไว้แล้วจะคงที่ก่อนปริมาณการดูดซับ SDBS สูงสุด เต็ม ๆ สอดคล้องกับค่า cmc ของ SDBS ที่มีผลของ PVA ต่ำกว่า cmc ของ SDBS เต็ม ๆ (ตารางที่ 4.3)

การศึกษาค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน เนื่องจากการดูดซับ SDBS โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร แสดงผลดังรูปที่ 4.15 เช่นกัน พบว่า การดูดซับ SDBS จะมีผลต่อค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก โดยเริ่มต้นที่ความเข้มข้นของ SDBS ต่ำ ๆ ค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเมื่อความเข้มข้นของ SDBS เพิ่มขึ้นถึงจุด cmc ของแต่ละสภาวะ ค่าการดูดกลืนแสงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และคงที่สอดคล้องกับค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด พฤติกรรมนี้จะเหมือนกันทั้งการดูดซับ SDBS เต็ม ๆ และการดูดซับ SDBS บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA+SDBS) ไว้แล้ว

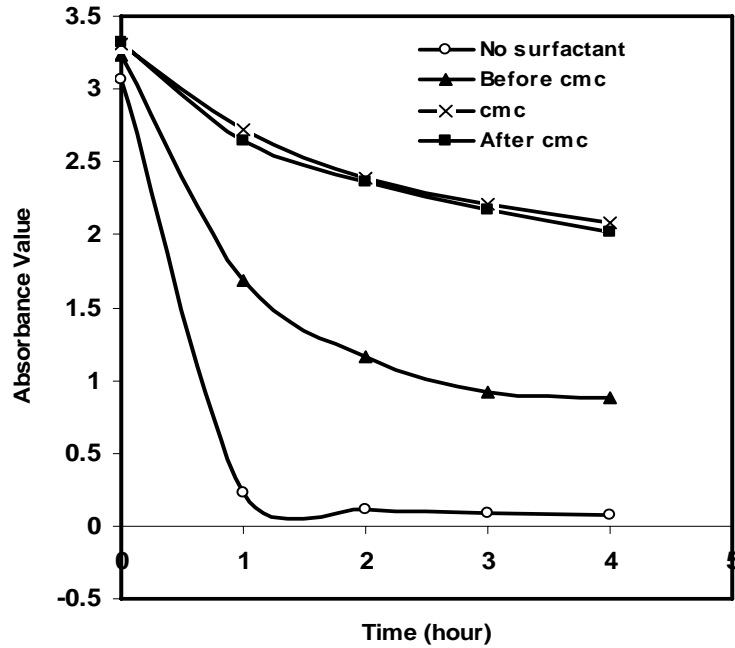
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับ SDBS เต็ม ๆ จะสูงกว่าปริมาณการดูดซับ SDBS บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA+SDBS) ไว้แล้ว สอดคล้องกับค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากผลของการดูดซับ SDBS เต็ม ๆ ที่มีค่าสูงกว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากการดูดซับ SDBS ที่มีผลของ PVA (PVA+SDBS) ไว้แล้ว แสดงว่าผลของการเติม PVA มีผลทำให้ปริมาณการดูดซับ SDBS ลดลง และมีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวที่ลดลงด้วย



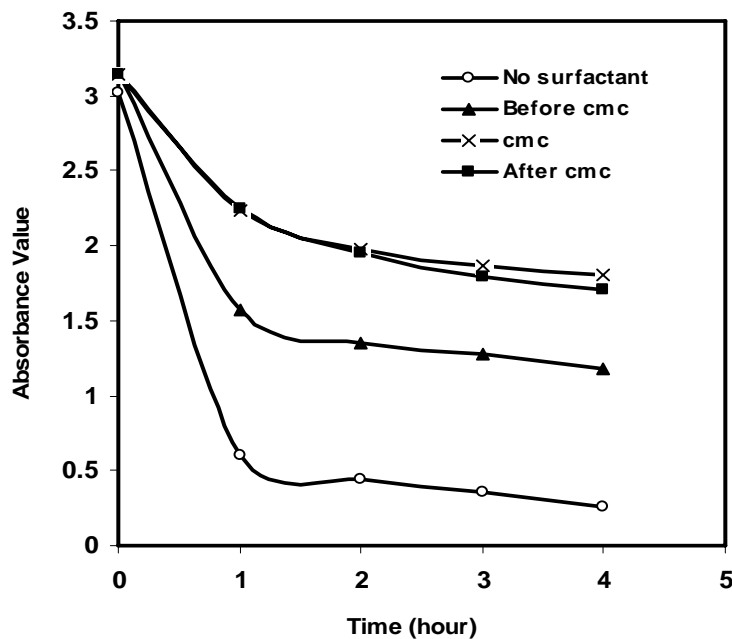
รูปที่ 4.15 การดูดซับ SDBS บนอนุภาคน้ำเคลือบเซรามิก (closed symbols) ที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และดินเหนียว และค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm (open symbols) ของสารละลายส่วนบนของสารแขวนลอยหลังจากตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบการดูดซับ SDBS บนอนุภาคที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว (●,○) และบนอนุภาคที่ยังไม่ถูกดูดซับ PVA (■,□)

รูปที่ 4.16 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm ของสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และดินเหนียวที่เวลาต่าง ๆ เนื่องจากการเติม SDBS โดยเปรียบเทียบปริมาณการเติมสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นก่อนจุด cmc ที่จุด cmc และหลังจุด cmc และที่ไม่เติม SDBS พบว่า ที่ไม่ได้เติม SDBS ค่าการดูดกลืนแสงลดลงอย่างรวดเร็ว และเร็วกว่าที่เติม SDBS ก่อนจุด cmc จากนั้นเมื่อเติม SDBS ที่ความเข้มข้น cmc และเลยจุด cmc ไปแล้ว ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงอย่างช้า ๆ

สำหรับผลของการเติม SDBS ที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว จะแสดงพฤติกรรมที่เหมือนกรณีดูดซับเดี่ยว ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm ของสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และดินเหนียว ที่เวลาต่าง ๆ พบว่าที่ไม่ได้เติม SDBS ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเร็วกว่าที่เติม SDBS ที่ความเข้มข้นก่อนจุด cmc จากนั้นเมื่อเติม SDBS ที่ความเข้มข้นถึงจุด cmc และเลยจุด cmc ไปแล้ว ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงอย่างช้า ๆ



รูปที่ 4.16 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm ของสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเกาลินที่เวลาต่างๆ เนื่องจากผลของการเติม SDBS ก่อนจุด cmc (▲), ที่จุด cmc (x) และหลังจุด cmc (■). โดยเปรียบเทียบกับน้ำเคลือบเซรามิกที่ไม่เติม SDBS (○)



รูปที่ 4.17 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm ของสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเกาลิน ที่เวลาต่างๆ เนื่องจากผลของการเติม SDBS ที่ดูดซับ PVA ไว้แล้ว ก่อนจุด cmc (▲), ที่จุด cmc (x) และหลังจุด cmc (■) โดยเปรียบเทียบกับน้ำเคลือบเซรามิกที่ไม่เติม SDBS (○)

**ตารางที่ 4.4** ค่าเสถียรภาพการกระจายตัว (ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm) ของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเกาลินด้วยอัตราส่วนที่ต่างกัน เนื่องจากการดูดซับ PVA CPC และ SDBS ทั้งในรูปแบบเดี่ยว ๆ และผสม

| ชนิดที่ | Dispersants | ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm |  |  |                       |
|---------|-------------|----------------------------|--|--|-----------------------|
|         |             | หลัง shaker (เริ่มจับเวลา) | ครึ่งหนึ่งของค่าการดูดกลืนแสงหลัง shaker | เวลาที่ค่าการดูดกลืนแสงลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง | หลังทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง |
| 1       | Blank       | 3.050                      | 1.525                                    | 8 นาที                                     | 0.112                 |
| 2       | PVA         | 3.080                      | 1.540                                    | 35 นาที                                    | 0.344                 |
| 3       | CPC+PVA     | 3.164                      | 1.582                                    | 92 นาที                                    | 1.092                 |
| 4       | SDBS+PVA    | 3.204                      | 1.602                                    | > 2 ชม.                                    | 2.344                 |
| 5       | CPC         | 3.184                      | 1.592                                    | 112 นาที                                   | 1.227                 |
| 6       | PVA+CPC     | 2.842                      | 1.421                                    | 86 นาที                                    | 0.980                 |
| 7       | SDBS        | 3.310                      | 1.655                                    | > 2 ชม.                                    | 2.387                 |
| 8       | PVA + SDBS  | 3.144                      | 1.572                                    | > 2 ชม.                                    | 1.980                 |

จากการทดลองศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเติมสารพอลิเมอร์ผสมกับสารลดแรงตึงผิว โดยเลือกเติมที่ความเข้มข้นที่จุด cmc (ในหัวข้อ 4.5.2 และ 4.5.3) ที่มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวสูงสุดของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กันของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเกาลิน ได้ผลดังตารางที่ 4.4 พบว่า สารแขวนลอยของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ไม่ได้เติมสารใด ๆ จะมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าลดลงครึ่งหนึ่งภายในเวลา 8 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเติม SDBS PVA+SDBS และ SDBS+PVA ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงอย่างช้า ๆ โดยมีค่าลดลงครึ่งหนึ่งเกินกว่า 2 ชั่วโมง

การเติม PVA เพียงอย่างเดียวทำให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลงครึ่งหนึ่งภายในเวลา 35 นาที แต่เมื่อผสมกับ SDBS และ CPC มีผลทำให้ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงช้ากว่า โดยการเติม SDBS จะมีผลมากกว่า โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลงครึ่งหนึ่งภายในเวลามากกว่า 2 ชั่วโมง ส่วนเมื่อผสมกับ CPC ให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลงครึ่งหนึ่งภายในเวลา 92 นาที

## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเสถียรภาพการกระจายตัวของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากการดูดซับพอลิเมอร์ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ผสมสารลดแรงตึงผิวบางชนิด ได้แก่ เซทกิลพริดิเนียมคลอไรด์ (CPC) และ โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (SDBS) บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ประกอบด้วย เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ตซ์ และดินเกาลิน ด้วยอัตราส่วนเท่ากันและไม่เท่ากัน และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเติมสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวที่มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวสูงสุดของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก สามารถสรุปและวิจารณ์ผลการทดลองดังต่อไปนี้

#### 5.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

##### 5.1.1 การดูดซับเดี่ยว (Single adsorption)

การดูดซับสารพอลิเมอร์ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่มีส่วนประกอบ ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ตซ์ และดินเกาลิน โดยศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวและสารพอลิเมอร์ที่มีต่อการดูดซับ โดยควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 9 และความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M NaCl พบว่า การดูดซับ PVA สามารถเกิดขึ้นได้บนพื้นผิวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก สอดคล้องกับการศึกษาของ Tadros (1978) ซึ่งสรุปไว้ว่า เนื่องจาก hydrogen bonding ระหว่างกรุป OH ของสายโมเลกุล PVA กับกลุ่ม silanol อิสระที่ขอบ (edges) ของพื้นผิวเกาลิน โดยกลไกนี้ การดูดซับ PVA สามารถดูดซับได้ทั้ง hydrophobic siloxane groups ของพื้นผิวซิลิกา กับกลุ่ม OH ของ PVA (Sjöberg et al., 1999)

การเกิดเสถียรภาพการกระจายตัวสูงสุดของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกอันเนื่องมาจากผลของการเติม PVA เดี่ยวๆ จะมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าลดลงครึ่งหนึ่งภายในเวลา 35 นาที แต่ยังคงสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไม่ได้เติมสารใด ๆ ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลงครึ่งหนึ่งภายในเวลา 8 นาที

##### 5.1.2 การดูดซับผสม (Mixed adsorption)

ปริมาณการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ CPC (CPC+PVA) หรือ SDBS (SDBS+PVA) ไว้แล้ว จะมีปริมาณสูงกว่าการดูดซับ PVA เดี่ยว ๆ เมื่อเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด ได้แก่ ชนิดไอออนบวก CPC กับชนิดไอออนลบ SDBS ที่มีต่อปริมาณการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก พบว่าปริมาณการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ CPC ไว้ก่อน จะสูงกว่าการดูดซับ PVA บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ SDBS ไว้ก่อน

ค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 nm พบว่า ค่าเสถียรภาพการกระจายตัว (ค่าการดูดกลืนแสง) ของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากผลของการดูดซับ PVA เดี่ยว ๆ จะต่ำกว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ SDBS (SDBS+PVA) และ CPC (CPC+PVA) ไว้แล้ว

จากการทดลองศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเติมสารพอลิเมอร์ผสมกับสารลดแรงตึงผิวโดยเลือกเติมที่ความเข้มข้นที่จุด cmc ที่มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวสูงสุดของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กันของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเกาลิน พบว่า สารแขวนลอยของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ไม่ได้เติมสารใด ๆ จะมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าลดลงครึ่งหนึ่งภายในเวลา 8 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเติม PVA เพียงอย่างเดียวทำให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลงครึ่งหนึ่งภายในเวลา 35 นาที แต่เมื่อผสมกับ SDBS และ CPC มีผลทำให้ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงช้ากว่า โดยการเติม SDBS จะมีผลมากกว่า ได้แก่ PVA+SDBS (> 2 ชั่วโมง) และ CPC+PVA (92 นาที)

สรุปได้ว่าการเกิดรวมตัวกันของสารเชิงซ้อนพอลิเมอร์กับสารลดแรงตึงผิวที่ผลของความเข้มข้น SDBS ต่ำๆ PVA จะดูดซับโดยเกิดพันธะไฮโดรเจนและอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก (hydrogen bonding and hydrophobic interactions) จากนั้นเมื่อความเข้มข้น SDBS สูงขึ้น PVA จะดูดซับโดยเกิดอันตรกิริยาแบบอเล็กโทรสถิต (electrostatic interactions) สอดคล้องกับงานวิจัยของธอร์นและคณะ (Torn et al., 2003) นอกจากนี้ความเกาะของโมเลกุลสารเชิงซ้อนอาจทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวมากขึ้น มากกว่าในกรณีการเติม PVA อย่างเดียว ๆ

## 5.2 เซพทิลพิริดิเนียมคลอไรด์ (CPC)

### 5.2.1 การดูดซับเดี่ยว (Single adsorption)

การศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก ได้แก่ เซพทิลพิริดิเนียมคลอไรด์ (CPC) บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่มีส่วนประกอบ ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเกาลิน โดยควบคุมค่าพีเอช เท่ากับ 9 และความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M พบว่า พบว่าการดูดซับ CPC จะมีผลโดยเริ่มต้นค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเริ่มต้นดูดซับ จนกระทั่งเมื่อปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นใกล้จุดสูงสุด ค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง และคงที่ที่จุดปริมาณการดูดซับสูงสุด และผลการศึกษาศักย์ไฟฟ้าซีต้า พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าของอนุภาคดินเกาลินเริ่มต้นจะเป็นลบ เมื่อเกิดการดูดซับ CPC ค่าศักย์ไฟฟ้าจะลดลงจนเป็นศูนย์ (the point of zero charge) แสดงว่าเกิดการดูดซับส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิวกับผิวอนุภาคเกาลินที่มีประจุเป็นลบ (hydrophilic interaction ) เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption) จากนั้นค่าศักย์ไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเป็นค่าบวก นั่นคือเกิดการดูดซับเนื่องจากการจับกันเองของส่วนหาง (hydrophobic tail ) ของสารลดแรงตึงผิวที่ถูกอนุภาคดูดซับก่อนแล้ว โดยที่



ส่วนหัวจับกับอนุภาคประจุลบจะทำให้ส่วนหางชี้ออกมา และจับกับสารลดแรงตึงผิวโมเลกุลใหม่ที่เข้าไปจับ (hydrophobic interaction) ทำให้สุดท้ายพื้นผิวอนุภาคเป็นบวก โดยแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก โดยที่ปริมาณจุดนี้จะสอดคล้องกับปริมาณการดูดซับ CPC สูงสุด (Panya et al, 2004)

### 5.2.2 การดูดซับผสม (Mixed adsorption)

เมื่อเริ่มต้นความเข้มข้น CPC ต่ำ ๆ การดูดซับ CPC เดี่ยว ๆ จะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA +CPC) ไว้แล้ว จากนั้นเมื่อความเข้มข้น CPC เพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก จะมีปริมาณสูงสุดที่บริเวณใกล้เคียงกับจุด cmc และพบว่าปริมาณการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA +CPC) ไว้แล้วจะสูงกว่าปริมาณการดูดซับ CPC เดี่ยว ๆ โดยที่ค่าปริมาณการดูดซับสูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณจุดใกล้เคียง cmc ทั้งสองสภาวะ โดยปริมาณการดูดซับ CPC สูงสุดบนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA ไว้แล้วจะคงที่ก่อนปริมาณการดูดซับ CPC สูงสุดเดี่ยว ๆ เนื่องจากค่า cmc ของ CPC ที่มีผลของ PVA ต่ำกว่า cmc ของ CPC เดี่ยว ๆ

ผลการศึกษาค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเหนียวด้วยอัตราส่วนเท่ากัน เนื่องจากการดูดซับ CPC โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร พบว่าการดูดซับ CPC จะมีผลต่อค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก โดยเริ่มต้นที่ความเข้มข้นของ CPC ต่ำ ๆ ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงเล็กน้อยอย่างช้า ๆ จนกระทั่งเมื่อความเข้มข้นของ CPC เพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่จุดใกล้เคียงกับจุด cmc จากนั้นค่าการดูดกลืนแสงจะคงที่สอดคล้องกับค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด พฤติกรรมนี้จะเหมือนกันทั้งการดูดซับ CPC เดี่ยว ๆ และการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA +CPC) ไว้แล้ว

สิ่งที่น่าสนใจได้แก่ ปริมาณการดูดซับ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA +CPC) ไว้แล้วจะสูงกว่าปริมาณการดูดซับ CPC เดี่ยว ๆ แต่ค่าเสถียรภาพการกระจายตัว (ค่าการดูดกลืนแสง) ของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากผลของการดูดซับ CPC เดี่ยว ๆ กลับมีค่าสูงกว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA+CPC) ไว้แล้ว แสดงว่าผลของการเติม PVA มีผลทำให้ปริมาณการดูดซับ CPC เพิ่มขึ้น แต่มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวที่ลดลง

ข้อมูลปริมาณการดูดซับ CPC เพิ่มขึ้น แต่มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวที่ลดลง สามารถยืนยันได้จากผลการศึกษาศักย์ไฟฟ้าซีต้า นั่นคือค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกเริ่มต้นจะเป็นลบ เมื่อปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าจะลดลงจนเป็นศูนย์และจะเพิ่มขึ้นเป็นบวกจนกระทั่งคงที่ โดยค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากผลของการดูดซับ CPC เดี่ยว ๆ มีค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก

สูงกว่าที่ดูดซับ PVA (PVA+CPC) เล็กน้อย สอดคล้องกับผลที่ได้จากค่าเสถียรภาพการกระจายตัวจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 nm

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเติมสารพอลิเมอร์ผสมกับสารลดแรงตึงผิวโดยเลือกเติมที่ความเข้มข้นที่จุด cmc ที่มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวสูงสุดของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กันของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และดินเกาลิน การเติม CPC เพียงอย่างเดียวทำให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลงครึ่งหนึ่งภายในเวลา 112 นาที แต่เมื่อผสมกับ PVA มีผลทำให้ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงเร็วขึ้น คือ 92 นาที (CPC+PVA) และ 86 นาที (PVA+CPC) โดยสามารถสรุปได้ว่า การเติม CPC จะมีผลทำให้เพิ่มเสถียรภาพการกระจายตัวของน้ำเคลือบเซรามิกที่มี PVA อยู่ด้วย เนื่องจากกรณีเติมเฉพาะ PVA เดียว ๆ มีค่าการดูดกลืนแสงลดลงครึ่งหนึ่งในเวลาเพียง 35 นาที

สำหรับกลไกการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก ได้แก่ CPC บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่มีส่วนประกอบ ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และดินเกาลิน ที่ดูดซับ PVA (PVA +CPC) ไว้แล้ว มีกลไกที่ Tadros (1974) ได้รายงานไว้ว่า การดูดซับผสมระหว่าง PVA กับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก คือ CTABr สามารถเกิดเป็นสารเชิงซ้อน PVA-CTABr ทำให้เพิ่มปริมาณการดูดซับ PVA บนซิลิกา

### 5.3 โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (SDBS)

#### 5.3.1 การดูดซับเดี่ยว (Single adsorption)

การดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ SDBS บนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควออร์ทซ์ และ ดินเกาลินด้วยอัตราส่วนเท่ากัน โดยควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 9 และความแรงไอออนเท่ากับ 0.01 M NaCl จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเริ่มต้นที่ความเข้มข้น SDBS ต่ำ ๆ การดูดซับ SDBS จะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว จากนั้นเมื่อความเข้มข้น SDBS เพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับ SDBS บนอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก จะมีปริมาณสูงสุดที่บริเวณใกล้เคียงกับจุด cmc

กลไกการดูดซับ SDBS นั้น แม้อนุภาคส่วนใหญ่ในน้ำเคลือบเซรามิกจะมีประจุเป็น แต่ SDBS สามารถถูกดูดซับที่ขอบ (edge) ของอนุภาคเกาลิน ซึ่งประกอบด้วย alumina site ที่มีประจุบวก นอกจากนี้ SDBS ยังสามารถถูกดูดซับบนซิลิกา หรือควออร์ทซ์โดยแรงดิสเพอร์ชัน (dispersion force) ระหว่าง หมู่เบนซีน ของ SDBS กับหมู่ซิลานอล (silanol groups) ของผิวอนุภาคซิลิกา (Sjöberg et al., 1999) แลนอกจากนี้ SDBS สามารถดูดซับบนอนุภาคประจุบวก ได้แก่ ลามสโตนได้ด้วย

ผลการศึกษาเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากการดูดซับ SDBS พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงจะสูงสุดจะสอดคล้องกับปริมาณการดูดซับสูงสุด ส่วนค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าเริ่มต้นจะมีค่าเป็นลบ เมื่อเกิดการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชนิดไอออนลบ ค่า

ศักย์ไฟฟ้าซีต้าจะลดลง ยืนยันว่าเกิดการดูดซับสารลดแรงตึงผิวไอออนลบกับอนุภาคผิวที่มีประจุเป็นบวกจริง โดยโมเลกุลส่วนหัวที่มีประจุลบของ SDBS จับกับอนุภาคประจุบวก (Hydrophilic interaction) และเป็น การดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption) จากนั้นค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าจะลดลงอย่างช้า ๆ เนื่องจากเมื่อการดูดซับแบบชั้นเดียวยึดตัวจะทำให้ส่วนหางที่ไม่มีประจุออกมา และจากนั้นจะจับกับสารลดแรงตึงผิวโมเลกุลใหม่ (hydrophobic interaction) ทำให้สุดท้ายพื้นผิวอนุภาคเป็นลบ โดยแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าเป็นลบโดยคงที่ที่ค่าการดูดซับใกล้เคียงกับจุดสูงสุด (Panya et al, 2004)

### 5.3.2 การดูดซับผสม (Mixed adsorption)

การศึกษาค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของบอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินเหนียว เนื่องจาก การดูดซับ SDBS โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร พบว่า การดูดซับ SDBS จะมีผลต่อค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิก โดยเริ่มต้นที่ความเข้มข้นของ SDBS ต่ำ ๆ ค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเมื่อความเข้มข้นของ SDBS เพิ่มขึ้นถึงจุด cmc ของแต่ละสภาวะ ค่าการดูดกลืนแสงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และคงที่สอดคล้องกับค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด พฤติกรรมนี้จะเหมือนกันทั้งการดูดซับ SDBS เดี่ยว ๆ และการดูดซับ SDBS บอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA+SDBS) ไว้แล้ว

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับ SDBS เดี่ยว ๆ จะสูงกว่าปริมาณการดูดซับ SDBS บอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ดูดซับ PVA (PVA+SDBS) ไว้แล้ว สอดคล้องกับค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากผลของการดูดซับ SDBS เดี่ยว ๆ ที่มีค่าสูงกว่าค่าเสถียรภาพการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากการดูดซับ SDBS ที่มีผลของ PVA (PVA+SDBS) ไว้แล้ว แสดงว่าผลของการเติม PVA มีผลทำให้ปริมาณการดูดซับ SDBS ลดลง และมีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวที่ลดลงด้วย

การศึกษาศักย์ไฟฟ้าซีต้าของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกเริ่มต้นจะเป็นลบ เมื่อปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าจะมากขึ้น (ติดลบมากขึ้น) จนกระทั่งคงที่ที่จุดปริมาณการดูดซับสูงสุด โดยค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าของอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่ได้จากผลของการดูดซับ SDBS เดี่ยว ๆ มีค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าของอนุภาคในน้ำเคลือบเซรามิกสูงกว่าที่ได้จากการดูดซับ PVA (PVA+SDBS) ไว้แล้ว ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากค่าเสถียรภาพการกระจายตัวโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเติมสารพอลิเมอร์ผสมกับสารลดแรงตึงผิวโดยเลือกเติมที่ความเข้มข้นที่จุด cmc (ค่าสอดคล้องกับปริมาณการดูดซับสูงสุด) ที่มีผลทำให้เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวสูงสุดของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีอัตราส่วนต่าง ๆ กันของเฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และดินเหนียว การเติม SDBS เพียงอย่างเดียวทำให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลงครึ่งหนึ่งในเวลาเกิน 2 ชั่วโมง แต่เมื่อผสมกับ PVA มีผลทำให้ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงใกล้เคียง

กัน โดยสามารถสรุปได้ว่า การเติม SDBS จะมีผลทำให้เพิ่มเสถียรภาพการกระจายตัวของน้ำเคลือบเซรามิกที่มี PVA อยู่ด้วย เนื่องจากกรณีเติมเฉพาะ PVA เดี่ยว ๆ มีค่าการดูดกลืนแสงลดลงครึ่งหนึ่งในเวลาเพียง 35 นาที

#### 5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

5.4.1 ศึกษาอันตรกิริยาระหว่างสารพอลิเมอร์กับสารลดแรงตึงผิวไอออนิกโดยใช้เทคนิควิธีการต่าง ๆ ได้แก่ viscosity, conductivity, differential scanning calorimetry, rheology และ Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) เป็นต้น

5.4.2 ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการดูดซับสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวไอออนิกทั้งชนิดเดี่ยว ๆ และผสมบนสารแขวนลอยน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินกาลิน

5.4.3 ศึกษาจลนพลศาสตร์ของเสถียรภาพการกระจายตัวของสารแขวนลอยที่เกิดจากการดูดซับชนิดเดี่ยว ๆ และผสมของสารพอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวไอออนิกบนอนุภาคของน้ำเคลือบเซรามิกที่มีองค์ประกอบรวมกัน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ลามสโตน ควอร์ทซ์ และ ดินกาลิน ที่มีอัตราส่วนที่แตกต่างจากนี้

## บรรณานุกรม

- A. S. Deliormanli .Synergistic effect of polymer-surfactant mixtures on the stability of aqueous silica suspensions. **Journal of the European Ceramic Society**. 2007; 27 : 611–618.
- Y. Chena, S. Liu and G. Wang. A kinetic investigation of cationic starch adsorption and flocculation in kaolin suspension. **Chemical Engineering Journal**. 2007 ;133 : 325–333.
- E. S. Pagac, D. C. Prieve and R. D. Tilton. Kinetics and Mechanism of Cationic Surfactant Adsorption and Coadsorption with Cationic Polyelectrolytes at the Silica-Water Interface. **Langmuir**. 1998; 14: 2333-2342.
- A.M. McCarron, S. Crispo, T. Smith-Palmer. The Flocculation of Kaolin by Cationic Polyacrylamides and the Effect of Cationic Surfactant on This Process. **J. App. Polym. Sci.** **2002**; **83** : 2382-2399.
- L.H. Torn, A. de Keizer, L.K. Koopal, and J. Lyklema. Mixed adsorption of poly(vinylpyrrolidone) and sodium dodecylbenzenesulfonate on kaolinite. **Journal of Colloid and Interface Science**. **2003** ; 260 : 1–8.
- S. Parathakkatt, J. George, S. M. Sankarakutty and L. Sreejith. Polymer induced structures in cetylpyridinium chloride–octanol micellar system. **J Polym Res**. 2008; 19 :1-6.
- K. Esumi and M. Ueno, **Structure - Performance Relationships in Surfactants**, Marcel Dekker, New York, 1990.
- J. R. Taylor and A.C. Bull, **Ceramics Glaze Technology**, Pergamon, New York, 1986.
- S. Stefanov, **Ceramic Monographs-Handbook of Ceramics**, Verlag Schmid, Freiburg, 1985.
- J. S. Reed, **Introduction to the Principals of Ceramic Processing**, 2nd ed., pp. 227–50. Wiley, New York, 1989.
- F. F. Lange, **J. Am. Ceram. Soc.**, 72 (1989) 3–15.
- A. A. Zaman, R. Tsuchiya and B.M. Moudgil, **J. Colloid Interface Sci.**,226 (2000) 290-298.
- H. V. Olphen, **An Introduction to Clay Colloid Chemistry**, John Wiley & Son, New York, London, 1963.
- P. F. Luckham and S. Rossi, **Adv. Colloid Interface Sci.**, 82 (1999) 43–92.
- E. Tombacz, G. Filipcsei, M. Szekeres and Z. Gingl, **Colloid Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspect.**, 151 (1999) 233–244.
- W.M. Carty and U. Senapati, **J. Am. Ceram. Soc.**, 81 (1998) 3–19.
- W.E. Worrall, **Ceramic Monographs-Handbook of Ceramics**, Verlag, Freiburg,1982.

P. Panya, O. Arquero, G. V. Franks, and E. J. Wanless, **J. Colloid Interface Sci.**, 279 (2004) 23–35.

P. Panya, O. Arquero, E. Wanless, and G. Franks, **J. Am Ceram. Soc.**, 88 (2005) 540–546.

L.K. Koopal, and T.P. Goloub, **Langmuir.**, 13 (1997) 673.

V. Monticone, C. Treiner, **Colloids Surf. A** 104 (1995) 285.

H. Köster, B. Schreck, W. Von Rybinski, and B. Dobiás, **Miner. Eng.** 5 (1992) 445.

A. M. McCarron, S. Crispo, T. Smith-Palmer, **J. App. Polym. Sci.** 83 (2002) 2382.

M. Sjöberg, L. Bergström, A. Larsson, E. Sjöström, **Colloids Surf. A** 159 (1999) 197.

K. Backfolk, S. Lagerge, J.B. Rosenholm, **J. Colloid Interface Sci.** 254 (2002).

F. Caruso, H.A. Rinia and D.N. Furlong, **Langmuir**, 12 (1996) 2145

<http://digitalfire.com/education/glaze/>

<http://www.kyocera.com/KICC/TPH/T-fe/t-tf/tf-heater/tf-heater.htm>

[http://www.carpco.com/news/tpaper\\_hgms\\_of\\_kaolin\\_clay.htm](http://www.carpco.com/news/tpaper_hgms_of_kaolin_clay.htm)

[http://enghome.eng.psu.ac.th/mne/staff/lek\\_files/ceramic/home.htm](http://enghome.eng.psu.ac.th/mne/staff/lek_files/ceramic/home.htm)

<http://www.geocities.com/tumrer/link.htm>

[www.dola.go.th](http://www.dola.go.th)

[www.dss.go.th](http://www.dss.go.th)

**ภาคผนวก**

## กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์

### 1) เชิงวิชาการ (การสร้างนักวิจัยใหม่)

ผู้วิจัยได้เชื่อมโยงกับผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ อาร์ทีโร ซึ่งเป็นนักวิจัยที่ปรึกษาของผู้วิจัย ซึ่งทำการวิจัยด้าน surfactant and polymer adsorption at the solid/solution interface เช่นกัน

โดยผู้วิจัยได้รับเชิญเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมของนักศึกษาระดับปริญญาเอก แบบ 1.1 สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จำนวน 1 คน 1 เรื่อง ดังนี้

ชื่อนักศึกษา : นางสาวสุภาพรรณ สัจจวรรณ

ชื่อเรื่องวิจัย : การใช้ไอร์ออนออกไซด์ในเคลือบเซรามิกที่มีสารลดแรงตึงผิวและพอลิเมอร์

### 2) การเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ

2.1) Panya, P. and Franks, G.V., Dispersion stability of a ceramic glaze suspension achieved through cetylpyridinium chloride mixed poly (vinyl alcohol) Adsorption, 34<sup>th</sup> Congress on Science and Technology of Thailand, Bangkok, 2008.

2.2) Panya, P. and Franks, G.V., Dispersion stability of ceramic glaze suspensions achieved through cetylpyridinium chloride and poly(vinyl alcohol) adsorption. การประชุม “นักวิจัยรุ่นใหม่ พบ เมธีวิจัยอาวุโส สกว.ครั้งที่ 9, 15 – 17 ต.ค. 2552 ชะอำ จ.เพชรบุรี