

เปรียบเทียบปัจจัยของสารลดแรงตึงผิวชนิด ประจุบวกที่มีความยาวของสารประกอบ อินทรีย์ต่างกันต่อการกลไกการลอยแร่ควอทซ์

พนมกร ขาวทอง
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ จะเป็นการเปรียบเทียบกระบวนการลอยแร่อนุภาคควอทซ์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ โดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (DTAB) เททริลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (TTAB) และเซทริลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) สารลดแรงตึงทั้ง 3 ชนิดมีส่วนที่เป็นประจุบวกชนิดเดียวกัน แต่มีความยาวของสารประกอบอินทรีย์ที่ต่างกัน ผลจากการศึกษานี้พบว่า สารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนประกอบสารอินทรีย์ที่ยาวที่สุด (CTAB) จะใช้ความเข้มข้นที่น้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดอื่นๆ ที่มีความยาวส่วนประกอบสารอินทรีย์ที่สั้นกว่าทำให้เกิดประสิทธิภาพการลอยที่เท่ากัน โดยสัมพันธ์กับช่วงความเข้มข้นของการดูดซับ และการรวมตัวของอนุภาคควอทซ์ การลอยจะเกิดขึ้นมากที่สุดที่ช่วงที่ II ของการดูดซับ และมีแนวโน้มพฤติกรรมเป็นไปในลักษณะเดียวกันทั้ง 3 ชนิด แต่แตกต่างกันเพียงช่วงของความเข้มข้นเท่านั้น

Comparison Effect of Long Chain Cationic Surfactant in Mechanism of Ore Quartz

Pranomkorn Kwakhong

Department of Chemical Engineering,
Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Abstract

The objective of this study is to compare the effect of long chain hydrocarbon of three types cationic surfactant in ore quartz flotation system. The cationic surfactants that are utilized in this study are Dodecyltrimethyl ammoniumbromide (DTAB). The cation section (ammonium group) of these three cationic surfactants is similar in structure but difference in hydrocarbon chain length. The results showed that the surfactant having the longest hydrocarbon chain (CTAB) utilizes less concentration than other surfactants in order to reach the same flotation efficiency. It is also found that the flotation efficiency is related to the adsorption region and the quartz aggregate. The maximum flotation efficiency of all three surfactants are observed in region II of adsorption isotherm curve. In addition, these three different surfactants showed their behaviors in the same trend but their behaviors strongly depend upon the concentration of each kind of surfactant.

บทนำ

หลักการของกระบวนการลอยแร่คือ การที่ฟองอากาศสามารถที่จะจับกับอนุภาคของแข็งและสามารถที่จะพาอนุภาคของแข็งลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของเหลว โดยเกิดเป็นชั้นโฟมจนได้ระดับที่สูงกว่าภาชนะบรรจุสาร จากนั้นก็จะไหลล้นออกจากภาชนะพร้อมกับพาอนุภาคของแข็งออกไปด้วย มีการนำหลักการดังกล่าวนี้ไปใช้ประโยชน์ในการแยกอนุภาคของแข็งผสมให้ออกจากกัน

กลไกของการลอยที่ทำให้ประสิทธิภาพสำหรับอนุภาคของแข็ง จะสัมพันธ์กับขอบเขตของการดูดซับสารลดแรงตึงผิวบนผิวหน้าอนุภาคของแข็ง ได้มีการวิจัยที่ได้รับการยอมรับเกี่ยวกับแบบจำลองของการดูดซับ และได้มีการเสนอแบบจำลองการดูดซับหลายๆ ผลงานดังนี้

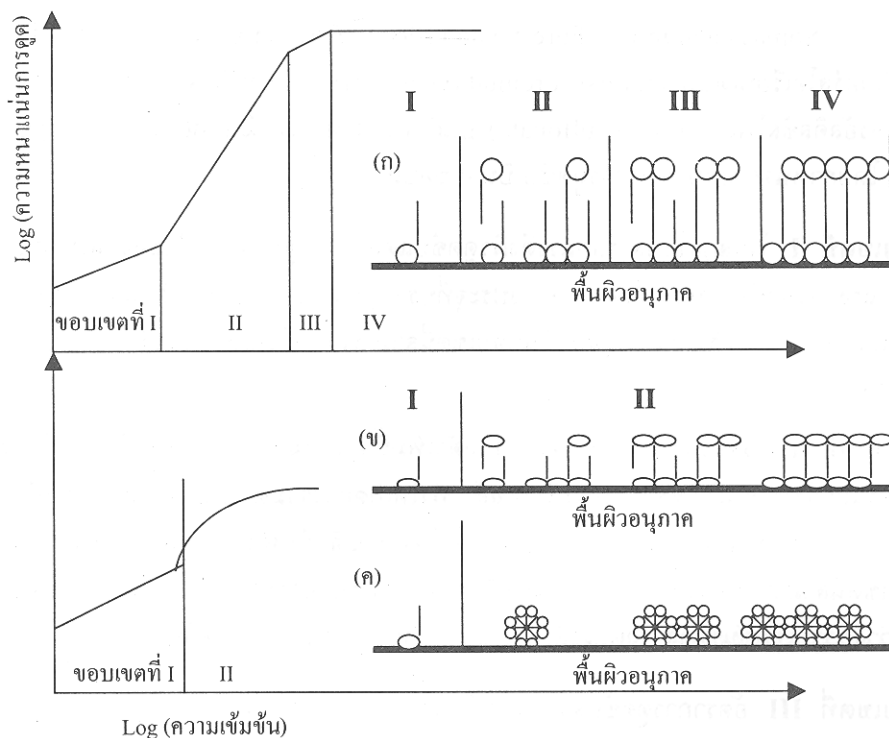
Somasandaran และ Furestenau (1966) ได้เสนอแบบจำลองการดูดซับเรียกว่า รีเวอร์สโอเรียนเตชัน (reverse orientation model) จากการศึกษากลไกของการดูดซับของอัลคิลซัลโฟเนต (alkyl-sulfonate) บนผิวหน้าระหว่างอลูมินา-น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 1(n) โดยกำหนดขอบเขตของการดูดซับเป็น 4 ขอบเขต ดังนี้

ขอบเขตที่ I โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวดูดซับแต่ละโมเลกุลบนผิวหน้าของอนุภาคของแข็ง แรงการดูดซับเป็นแรงดึงดูดระหว่างประจุที่ปรากฏบนผิวหน้าของอลูมินาและประจุบนสารลดแรงตึงผิว ปริมาณการดูดซับในขอบเขตนี้สามารถอ้างถึงกฎของเฮนรี (Henry's law model)

ขอบเขตที่ II สารลดแรงตึงผิวจะเกิดการรวมตัวเพิ่มขึ้นอย่างมาก การรวมตัวนี้อ้างถึงโครงสร้างชนิดคั้งไมเซลล์ หรือการเพิ่มไมเซลล์ ทำให้เกิดการรวมตัวเป็นพื้นผิวของแข็งที่ไม่ชอบน้ำ ซึ่งอนุภาคของแข็งสามารถลอยได้โดยเกาะติดกับฟองอากาศ การพิจารณาขอบเขตนี้สามารถพิจารณาได้จากการเพิ่มขึ้นของความชันอย่างมาก ในความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวและความหนาแน่นของการดูดซับ

ขอบเขตที่ III อัตราการดูดซับสารลดแรงตึงผิวจะลดลง เป็นผลเนื่องมาจากการผลักกันระหว่างประจุ หรือจากการกระจายของพลังงานชั้นการดูดซับ หรือเกิดจากความใกล้เคียงสมบูรณ์ของการเกิดเป็น 2 ชั้นสารลดแรงตึงผิวบนอนุภาคของแข็ง สามารถแสดงได้ด้วย ความชันที่ลดลงในความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวและความหนาแน่นการดูดซับ

ขอบเขตที่ IV เกิดการรวมตัวของสารลดแรงตึงผิวครอบคลุมเป็น 2 ชั้น อย่างสมบูรณ์ (bilayer) บนผิวอนุภาคของแข็ง แสดงได้โดยความหนาแน่นของการดูดซับจะมีค่าคงที่เมื่อความเข้มข้นเปลี่ยนแปลง โดยขอบเขตที่ IV จะเริ่มเกิดขึ้นบริเวณใกล้เคียงกับความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดเป็นไมเซลล์ (CMC)



รูปที่ 1 แสดงแบบจำลองของ (ก) Somasandaran (ข) Harwell และ (ค) Gu
แบบจำลองการดูดซับอื่นๆ

Harwell และคณะ (1955 และ 1988) ได้เสนอแบบจำลอง 2 ชั้น การดูดซับ (bilayer model) แสดงในรูปที่ 1(ข) ได้แบ่งขอบเขตของการดูดซับเป็น 2 ขอบเขตด้วยกัน

ขอบเขตที่ I เป็นเช่นเดียวกับ reverse orientation model ของ Somasundaran นั่นคือ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวแต่ละโมเลกุลดูดซับบนผิวของแข็งด้วยแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์

ขอบเขตที่ II เป็นการรวมตัวกันของสารลดแรงตึงผิวตามขอบเขตที่ II-IV ของ reverse orientation model โดยโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะเข้าเกาะกลุ่มกันโดยใช้ส่วนหาง (สารประกอบอินทรีย์) ที่ไม่ชอบน้ำยึดเกาะกันเกิดเป็นชั้นที่ 2 (bilayer)

Gu และคณะ (1989-1991) ได้เสนอแบบจำลองที่เรียกว่า การเกิดเป็นกลุ่มผิวหน้าเซลล์เล็กๆ (small surface micell model) ดังแสดงในรูปที่ 1(ค) ได้แบ่งขอบเขตของการดูดซับเป็น 2 ขอบเขตด้วยกัน

ขอบเขตที่ I เช่นเดียวกับขอบเขตที่ I ตามแบบจำลองทั้ง 2 ชนิดที่กล่าวมา

ขอบเขตที่ II บนพื้นผิวของอนุภาคของแข็งเกิดการรวมตัวของกลุ่มเซลล์เล็กๆ ที่ดูดซับบนพื้นผิวของกลุ่มเซลล์ที่เกิดจากขอบเขตที่ I เกิดเป็นกลุ่มเซลล์ขนาดเล็กที่โตขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนสารลดแรงตึงผิว

ผลงานวิจัยอื่นๆ Somasandaran และคณะ (1964) ศึกษาสารลดแรงตึงผิวเกี่ยวกับความยาวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหมู่อัลคิล ในกระบวนการดูดซับบนผิวของของเหลวและกระบวนการลอย พบว่าความยาวของสารลดแรงตึงผิวที่มีความยาวมากจะมีผลทำให้การยึดเหนี่ยวเพิ่มขึ้น

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือการศึกษาปัจจัยของสารลดแรงตึงผิวที่มีความยาวมากจะมีผลทำให้การยึดเหนี่ยวเพิ่มขึ้น

วัสดุและวิธีการทดลอง

วัสดุ

ควอทซ์ เป็นแร่ควอทซ์ (SiO_2) ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติความบริสุทธิ์สูง 99.8% จากบริษัทเซอร์นิก อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ที่มีขนาดเฉลี่ย 28.29 ไมโครเมตร พื้นที่เฉลี่ย 4.12 ตารางเมตร/กรัม โดยใช้วิธีการวัดด้วยเทคนิค BET ในการดูดซับไนโตรเจน

สารลดแรงตึงผิว ใช้สารลดแรงตึงผิวจำนวน 3 ชนิด คือ โดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (DTAB, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11} \text{N}(\text{CH}_3)_3 \text{Br}$) เททิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (TTAB, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13} \text{N}(\text{CH}_3)_3 \text{Br}$) และเซทริลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15} \text{N}(\text{CH}_3)_3 \text{Br}$) ผลิตโดย บริษัทฟลูการ์สวิสเซอร์แลนด์ ความบริสุทธิ์ 98%

วิธีการทดลอง

การเตรียมสารแขวนลอยควอทซ์

สารแขวนลอยควอทซ์ที่ใช้ในการศึกษา ถูกเตรียมโดยใส่ปริมาณควอทซ์คงที่ที่ 50.00 ± 0.005 กรัม/ลิตร ของสารละลายสารลดแรงตึงผิว มีความเป็นกรด-ด่างคงที่ที่ pH 7.00 ± 0.05 ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เตรียม 100 มิลลิลิตร ขั้นตอนการเตรียมโดยชั่งอนุภาคควอทซ์ 5 กรัม เติมน้ำกลั่นที่ผ่านการกลั่น 3 ครั้ง จำนวน 50 มิลลิลิตร กวนด้วยเครื่องกวนชนิดแม่เหล็กที่ 500 รอบ/นาทิต เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้อนุภาคดูดซับน้ำ จาก

นั้นเติมสารละลายสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด ทั้ง 3 ชนิด จำนวน 50 มิลลิลิตร เพื่อลงไปผสมกัน รวมเป็นสารละลายปริมาณ 100 มิลลิลิตร ตามความเข้มข้นที่ต้องการนั้นคือ DTAB และ TTAB อยู่ในช่วงความเข้มข้น 1 ถึง 100000 ไมโครโมล/ลิตร และ CTAB อยู่ในช่วงความเข้มข้น 1 ถึง 50,000 ไมโครโมลต่อลิตร กวนเพิ่มอีก 20 นาที วัดความเป็นกรด-ด่าง ให้มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.00 ± 0.05 ซึ่งปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.012 โมล/ลิตร ทั้งไว้ 20 นาที จากนั้นนำสารละลายไปใช้ในการทดลองต่อไป

การศึกษาค่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดเป็นไมเซลล์สารลดแรงตึงผิว (CMC)

เตรียมสารละลายสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นต่างๆ ข้างต้น โดยปราศจากแร่ควอทซ์ นำไปวัดค่าความตึงผิวด้วยวิธี Du Noy ด้วยเครื่องวัดความตึงผิวแบบอิเล็กโทรนิครุ่น KIDST ผลิตโดย KEUSS Instrument โดยใช้ลวดวงแหวนแพลตทินัม-อิริเดียม ความยาวโดยรอบ 119.95 มิลลิเมตร รัศมีวงแหวน 9.45 มิลลิเมตร ขนาดเส้นลวด มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.185 มิลลิเมตร

การศึกษากการดูดซับสารลดแรงตึงผิวบนอนุภาคควอทซ์

เตรียมตัวอย่างตามขั้นตอนการเตรียมสารแขวนลอยที่ผ่านมา ตามความเข้มข้นที่ต้องการ เมื่อได้เวลาการดูดซับตามกำหนดก็นำตัวอย่างมาผ่านเหวี่ยงแยกตะกอน และกรอง นำสารละลายที่กรองได้ไปหาความเข้มข้นสุดท้ายที่เหลืออยู่ และนำไปคำนวณหาปริมาณการดูดซับ การหาความเข้มข้นทำได้โดยใช้เทคนิคการไทเตรท 2 สถานะ โดยใช้คลอโรฟอร์มเป็นสารละลายอินทรีย์และโบรมีนฟีนอลบลูเป็นตัวดัชนีปริมาณการไทเตรท

การวัดประจุบนผิวหน้าอนุภาคควอทซ์

สารตัวอย่างที่เตรียมได้ในขั้นตอนการเตรียมสารแขวนลอยควอทซ์ จำนวน 100 มิลลิลิตรถูกนำไปใช้ทดลอง วัดประจุผิวหน้าด้วยเครื่องมือวัดความต่างศักย์ซีตาระบบ 3.0 ถ้ามีการดูดซับบนผิวอนุภาคจริงจะทำให้ประจุบนผิวหน้าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น

การทดลองการลอยแร่

สารแขวนลอยที่เตรียมได้ในขั้นตอนการเตรียมสารแขวนลอยควอทซ์จำนวน 100 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นต่างๆ ถูกเทลงในอุปกรณ์การลอย จากนั้นปล่อยอากาศที่ความเร็ว 6.5 มิลลิลิตร/วินาที เป็นระยะเวลา 90 วินาที ในขณะการทดลองก็จะมีการฉีดน้ำรอบๆ บริเวณอนุภาคควอทซ์ที่ลอยออกมาให้ตกลงไปยังบีกเกอร์ และเมื่อเสร็จสิ้นก็นำไปกรองให้เหลือเฉพาะอนุภาคควอทซ์ และนำไปผ่านการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นคำนวณหาประสิทธิภาพการลอยโดย

$$\text{ประสิทธิภาพการลด} (\%) = \frac{\text{นน.ควอทซ์ที่ผ่านการลด} \times 100}{\text{นน. ควอทซ์ก่อนการลด}}$$

การทดลองการรวมตัวของอนุภาคควอทซ์

สารแขวนลอยที่เตรียมในขั้นตอนการเตรียมสารแขวนลอยจำนวน 20 มิลลิลิตร ถูกเตรียมในขวดเก็บตัวอย่างขนาด 25 มิลลิลิตร ก่อนนำมาใช้ต้องเขย่าจำนวน 20 ครั้ง ใน 1 นาที ดูดสารแขวนลอยขึ้นมาด้วยหลอดหยดและหยดสารตัวอย่าง 1 หยดลงบนแผ่นกระจกหน้าขนาด 25.4×76.2 มิลลิเมตร ความหนา 1-1.2 มิลลิเมตร จากนั้นนำแผ่นกระจกบาง ขนาด 25.4×25.4 มิลลิเมตร ความหนา 0.5 มิลลิเมตร ปิดลงบนกระจกหน้าทับสารตัวอย่าง ทำการกลับทิศทางให้กระจกหน้าอยู่ด้านบน กระจกบางอยู่ด้านล่าง นำไปวางไว้บนแท่นส่องกล้องจุลทรรศน์บนเครื่อง Laser-Scan Microscope (LSM 410) ผลิตโดยบริษัท ZEISS Instrument ปลอแสงเลเซอร์ผ่านชิ้นงานทดสอบ ซึ่งจะแสดงผลทางจอภาพ และพิมพ์ผลออกมา จากนั้นนำไปหาค่าความโตของอนุภาคควอทซ์ที่รวมตัว

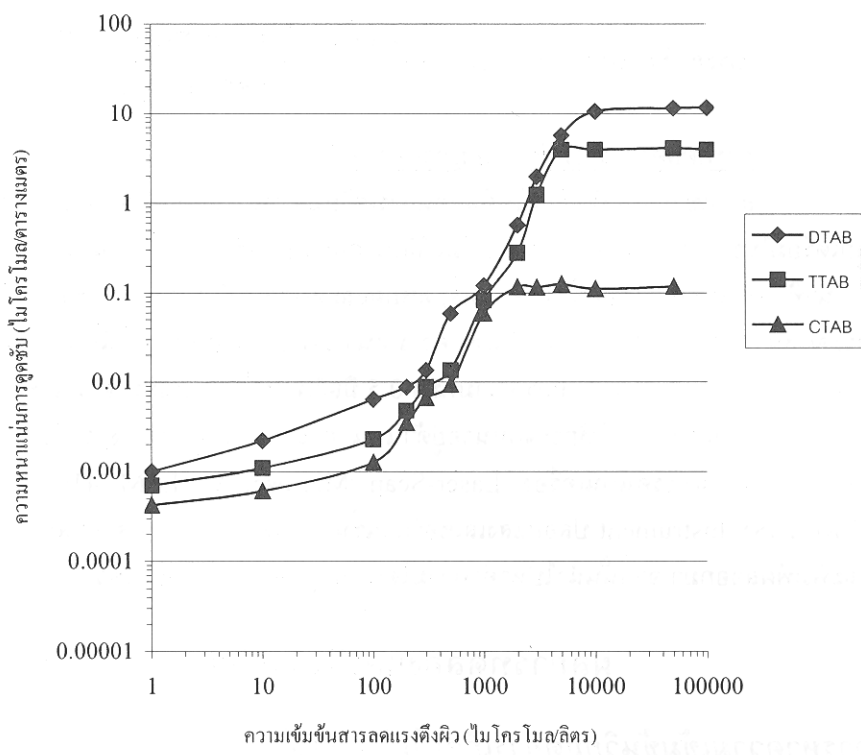
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การหาความเข้มข้นวิกฤตการเกิดเป็นไมเซลล์

จากผลการทดลองพบว่า ค่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดเป็นไมเซลล์ได้จากการศึกษา DTAB, TTAB และ CTAB มีความเข้มข้น 15,000 ไมโครโมล/ลิตร 3,600 ไมโครโมล/ลิตร และ 1,100 ไมโครโมล/ลิตร ตามลำดับ ใกล้เคียงกับการวิจัยของ Rosen, 1988 พบว่า ค่า CMC ของ DTAB, TTAB และ CTAB ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6.2 ± 0.05 อุณหภูมิห้องเป็น 16,000 3,600 และ 920 ไมโครโมล/ลิตร ตามลำดับ เป็นความแตกต่างจากการทดลองเพียงเล็กน้อย ความแตกต่างนี้เป็นผลเนื่องจากความแตกต่างของความเป็นกรด-ด่าง ความบริสุทธิ์ของสารและความละเอียดการเตรียมความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว

ความสัมพันธ์การดูดซับ DTAB, TTAB และ CTAB บนอนุภาคควอทซ์

ผลการทดลองความสัมพันธ์การดูดซับ DTAB, TTAB และ CTAB บนอนุภาคควอทซ์กับความเข้มข้นสมมูลของสารลดแรงตึงผิวแสดงในรูปที่ 2 จะพบว่าสามารถแบ่งขอบเขตของการดูดซับได้ชัดเจน 3 ขอบเขตด้วยกันสำหรับสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของการดูดซับและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด

ขอบเขตที่ I จะเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นของ DTAB, TTAB และ CTAB ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 300 200 และ 100 ไมโครโมล ตามลำดับ จะพบว่า ขอบเขตที่ I ของการดูดซับความชื้นของความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นการดูดซับกับความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวจะมีค่าน้อย

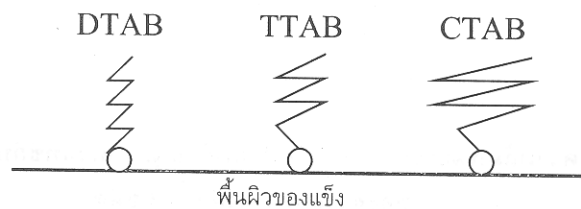
การดูดซับนี้เป็นผลเนื่องจาก ศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันระหว่างอนุภาคควอทซ์และสารลดแรงตึงผิว การดูดซับนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกับ reverse orientation model และเป็นไปตามกฎของเฮนรี่

ขอบเขตที่ II ของการดูดซับจะเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นของ DTAB, TTAB และ CTAB อยู่ระหว่าง 100 ถึง 10,000 ไมโครโมล/ลิตร, 200 ถึง 3,000 ไมโครโมล/ลิตร และ 300 ถึง 1,000 ไมโครโมล/ลิตร ตามลำดับ จากความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเป็นการดูดซับ

และความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว ความชันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลที่เกิดขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวมีปริมาณที่เพิ่มอย่างมาก และการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวจะเกิดขึ้นเป็น 2 ชั้น ที่เรียกว่า bilayer ทำให้สามารถดูดซับได้เพิ่มขึ้นอย่างมาก ผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากส่วนของสารประกอบอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) พยายามรวมตัวกันเพื่อให้เกิดความเสถียร

ขอบเขตที่ III จากผลการทดลองไม่สามารถแยกได้ชัดเจน อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความชัน ของความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นการดูดซับและความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวในช่วงความเข้มข้นสั้นๆ จึงยากในการพิจารณาจากการดูดซับต้องใช้การพิจารณาจากวิธีอื่น

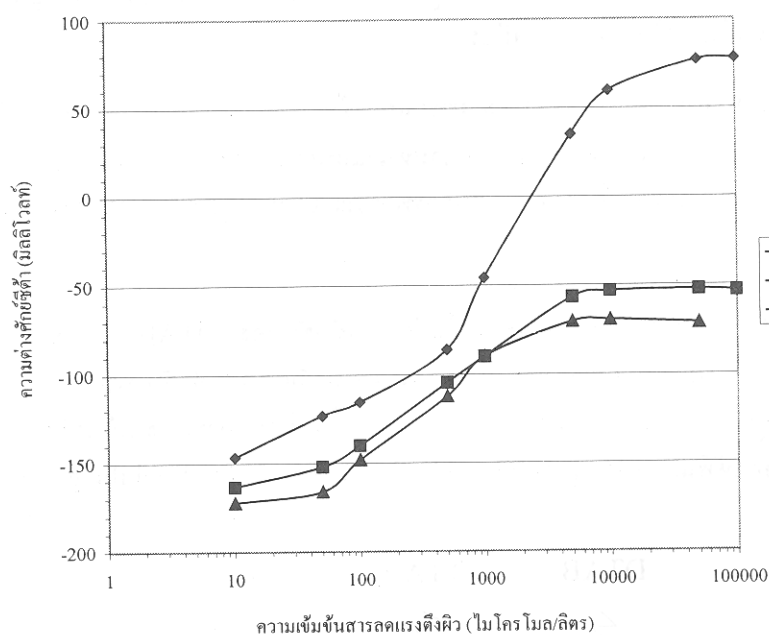
ขอบเขตที่ IV จากผลการทดลองจะเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นของ DTAB, TTAB และ CTAB มากกว่า 10,000 3,000 และ 1,000 ไมโครโมล/ลิตร ตามลำดับ พบได้โดยความหนาแน่นการดูดซับมีค่าคงที่ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเกิดการดูดซับเป็นชนิด 2 ชั้น โดยสมบูรณ์ ทำให้พื้นผิวหน้าอนุภาคควอเทอร์เป็นพื้นผิวที่ชอบน้ำ (hydrophilic group)



รูปที่ 3 แสดงการลดพื้นที่การสัมผัสน้ำของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด

จากผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดขอบเขตการดูดซับต่างๆ จะมีค่าแตกต่างกันโดยที่สารที่มีความยาวของส่วนประกอบสารอินทรีย์ที่มากกว่า จะมีความเข้มข้นที่น้อยกว่าทุกๆ ขอบเขตของการดูดซับนั้นคือ CTAB จะมีความเข้มข้นน้อยที่สุด รองลงมาเป็น TTAB และสุดท้ายเป็น DTAB ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกันในแต่ละขอบเขตของการดูดซับ ผลที่เกิดขึ้นจะสอดคล้องกับการศึกษาของ Somasandaran และคณะ (1964) พบว่า ความยาวของสารประกอบอินทรีย์ในสารลดแรงตึงผิวเพิ่มมากขึ้น ตามความยาวของสารประกอบอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้นเดียวกัน จะมีผลโดยตรงต่อปริมาณของแร่ที่ลอยออกมาได้ และเป็นผลเนื่องจากความพยายามที่จะลดพื้นที่การสัมผัสของส่วนที่ไม่ชอบน้ำลด โดยสารที่มีส่วนประกอบสารอินทรีย์ที่ยาวกว่า

จะใช้พื้นที่มากกว่าบนพื้นผิวนุภาคควอท์ที่เท่ากัน ทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่จะดูดซับบนผิวนุภาคควอท์มีจำนวนลดลงดังรูปที่ 3



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าบนผิวนุภาคควอท์กับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด

ความเป็นประจุของอนุภาคควอท์

การทดลองนี้เป็นการตรวจสอบยืนยัน การดูดซับสารลดแรงตึงผิวบนอนุภาคควอท์ เนื่องจากอนุภาคควอท์มีประจุเป็นลบประมาณ -200 มิลลิโวลต์ ถ้ามีการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุมาก จะทำให้ผิวหน้าของควอท์มีประจุเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองในรูปที่ 4 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าบนผิวนุภาคควอท์กับความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิวพบว่า ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงจะเป็นไปในทิศทางเดียวกับการดูดซับ ในช่วงขอบเขตที่ I ของการดูดซับ ประจุไฟฟ้าของอนุภาคควอท์สำหรับสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และเมื่อความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวอยู่ในช่วงขอบเขตที่ II ของการดูดซับประจุไฟฟ้าของอนุภาคควอท์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะมีประจุคงที่ในช่วงความเข้มข้นของขอบเขตที่ IV ของการดูดซับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบประจุบนอนุภาคควอท์ที่ความเข้มข้นเดียวกันพบว่า ประจุของอนุภาคควอท์จะมีค่าน้อยที่สุดสำหรับสาร

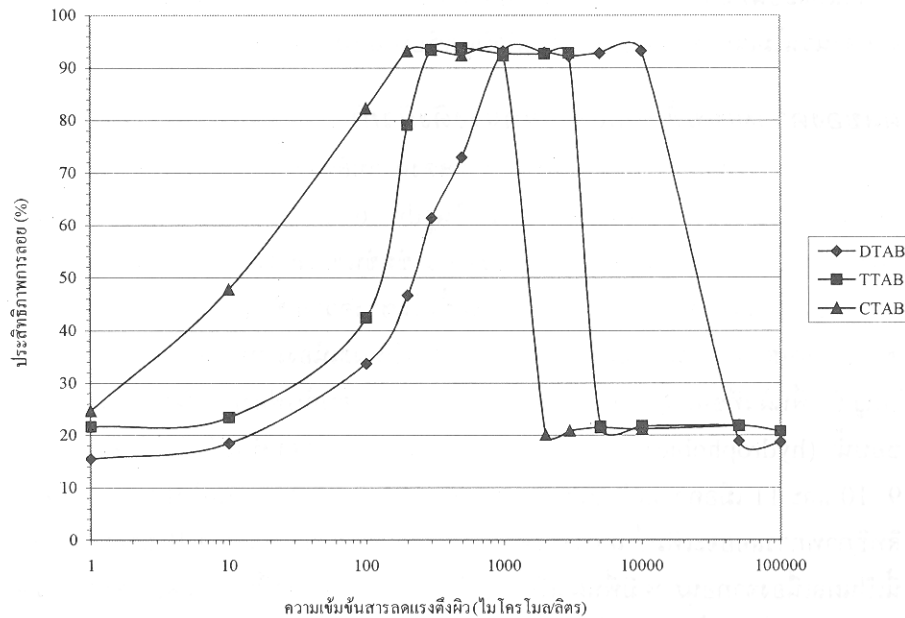
ลดแรงตึงผิวที่ส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่ยาวกว่า อันเนื่องมาจากจำนวนโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่ดูดซับบนอนุภาคคอลลอยด์มีจำนวนน้อยกว่า แต่ประจุไฟฟ้าของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นความแตกต่างของประจุของอนุภาคคอลลอยด์ จึงเกิดจากจำนวนโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่ดูดซับบนอนุภาคคอลลอยด์

ผลของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวกับประสิทธิภาพการลอย

ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการลอยกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว และในรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขอบเขตของการดูดซับ ประสิทธิภาพการลอยและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด เพิ่มขึ้นในช่วงความเข้มข้น ขอบเขตที่ I ของการดูดซับ ประสิทธิภาพการลอยจะมีค่าไม่มากนัก อันเป็นผลเนื่องมาจากพื้นผิวของอนุภาคส่วนใหญ่เป็นพื้นผิวที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ซึ่งยากที่จะจับกับฟองอากาศที่พื้นผิวเป็นแบบไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และการรวมตัวกันของอนุภาคคอลลอยด์ยังมีไม่มาก ดังแสดงในรูปที่ 9 10 และ 11 เมื่อความเข้มข้นของการดูดซับใกล้เคียงกับขอบเขตที่ II ของการดูดซับ ประสิทธิภาพการลอยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีค่าสูงสุดในขอบเขตที่ II ของการดูดซับ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากอนุภาคมีพื้นผิวเป็นแบบไม่ชอบน้ำเพิ่มมากขึ้น และเกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น ดังรูปที่ 12 13 และ 14 เมื่อผ่านฟองอากาศเข้าไปในสารละลายทำให้ฟองอากาศสามารถที่จะจับกับจำนวนอนุภาคคอลลอยด์มากขึ้น และอนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่ขึ้น สำหรับอนุภาคที่ใหญ่มากๆ ฟองอากาศสามารถที่จะแยกอนุภาคคอลลอยด์ออกเป็นกลุ่มที่เล็กลงได้ ทำให้สามารถที่จะพาอนุภาคขึ้นสู่ผิวหน้าของสารละลาย และเกิดการลอยออกได้ และเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวอยู่ในช่วงขอบเขตที่ IV ของการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด พบว่าประสิทธิภาพของการลอยจะลดลงอย่างมากจากขอบเขตที่ II ของการดูดซับ และมีค่าคงที่ในขอบเขตที่ IV ของการดูดซับ ทั้งนี้เนื่องจากในขอบเขตที่ IV ของการดูดซับ ผิวหน้าของอนุภาคคอลลอยด์เกิดเป็นผิวหน้าที่ชอบน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดการผลักกันระหว่างฟองอากาศที่ไม่ชอบน้ำ ในช่วงขอบเขตที่ IV ของการดูดซับนี้ จะมีการกระจายของอนุภาคคอลลอยด์มากกว่าที่จะรวมตัวกัน ดังแสดงในรูปที่ 15 16 และ 17 ดังนั้นประสิทธิภาพของการลอยจึงมีค่าน้อยและมีค่าคงที่ จะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพของการลอยและการรวมตัวของอนุภาคคอลลอยด์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

ในการทดลองนี้สามารถที่จะแบ่งขอบเขตที่ III ของการดูดซับได้ด้วยความเข้มข้นของ DTAB, TTAB และ CTAB อยู่ในระหว่างความเข้มข้น 10,000-50,000 ไมโครโมล/ลิตร 3,000-5,000 ไมโครโมล/ลิตร และ 1,000-2,000 ไมโครโมล/ลิตร ตามลำดับ เนื่อง

จากขอบเขตที่ III จะเป็นช่วงอยู่ระหว่างขอบเขตที่ II และขอบเขตที่ IV ของการดูดซับซึ่งสามารถหาได้จากการทดลองนี้

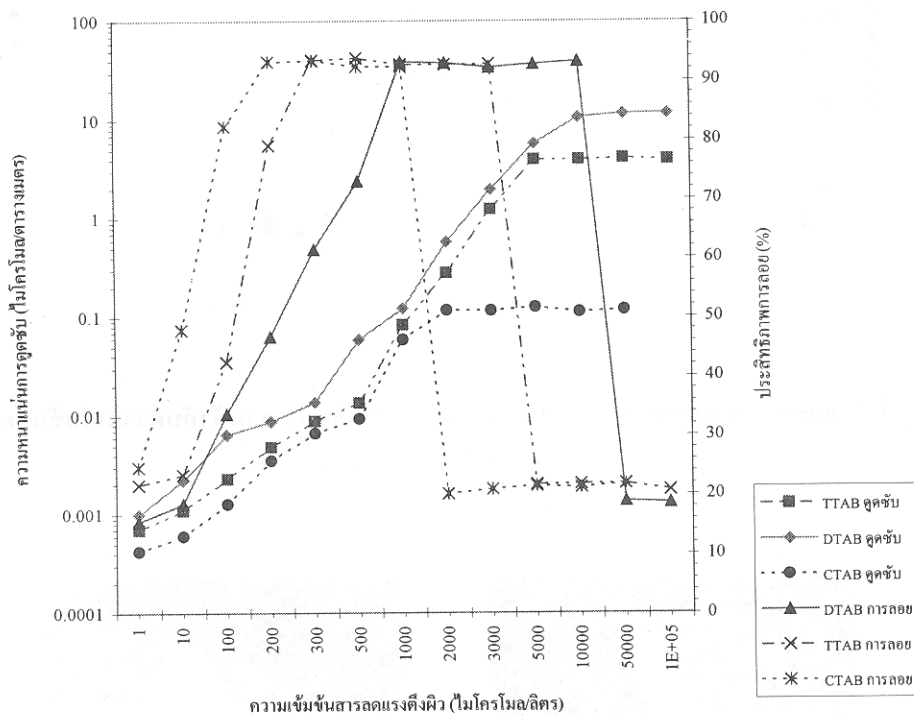


รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการลอยและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด

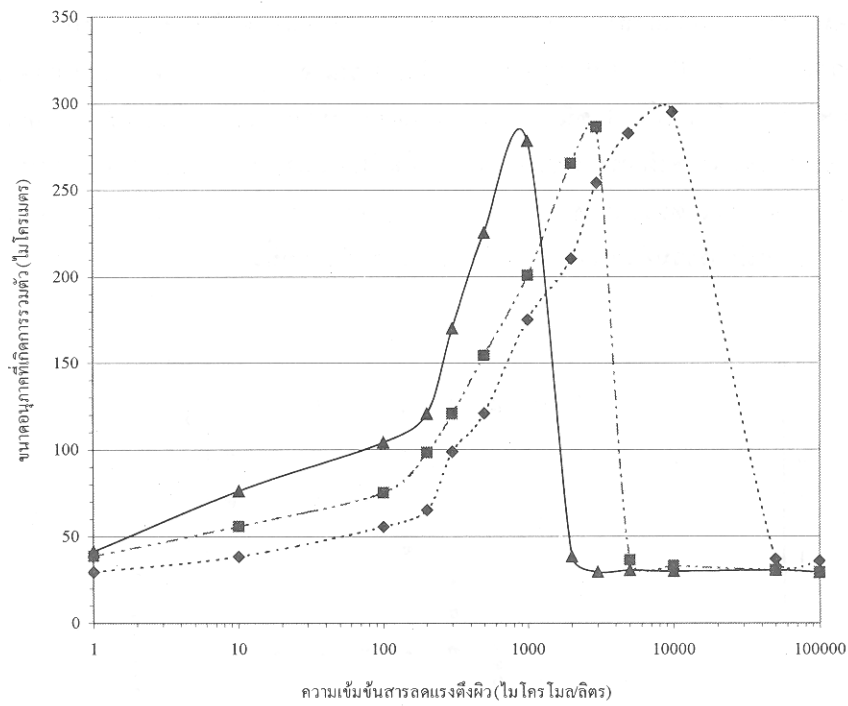
ขนาดของการรวมตัว

ผลการทดลองแสดงภาพการรวมตัวของอนุภาคควอทซ์ในรูปที่ 8-17 ในรูปที่ 8 เป็นภาพของอนุภาคควอทซ์ที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิว จะเห็นว่าอนุภาคจะมีขนาดเล็กที่สุด และมีการกระจายตัวของอนุภาคมาก ในรูปที่ 9 10 และ 11 เป็นการรวมตัวกันในช่วงความเข้มข้นของการดูดซับของเขตที่ I จะพบขนาดอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับภาพที่ 8 แต่ยังคงมีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคอยู่มากเช่นกัน และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคที่เกิดการรวมตัวกันกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวพบว่า ขนาดของอนุภาคจะสัมพันธ์กับขอบเขตของการดูดซับ โดยในช่วงความเข้มข้นที่ I ของการดูดซับ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวขนาดของอนุภาคจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อเข้าสู่ความเข้มข้นที่ II ของการดูดซับเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 7 พบว่าขนาดของอนุภาคจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 12 13 และ 14 กับรูปที่ 8 พบว่า ขนาดของ

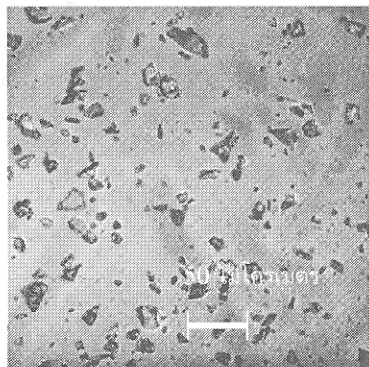
อนุภาคมีการกระจายตัวลดลง และเกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นอย่างมาก เมื่อเข้าสู่ความเข้มข้นที่ IV ของการดูดซับและเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 7 พบว่า ขนาดของอนุภาคสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด มีขนาดเล็กลงอย่างมากและมีแนวโน้มคงที่ เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด เพิ่มขึ้น อันเป็นผลมาจากพื้นผิวอนุภาคควอทซ์เป็นพื้นผิวที่ชอบน้ำและเกิดแรงผลักระหว่างประจุบนควอทซ์ จากรูปที่ 15 16 และ 17 พบว่ามีอนุภาคควอทซ์มีการรวมตัวกันลดลงและมีการกระจายตัวมากขึ้น



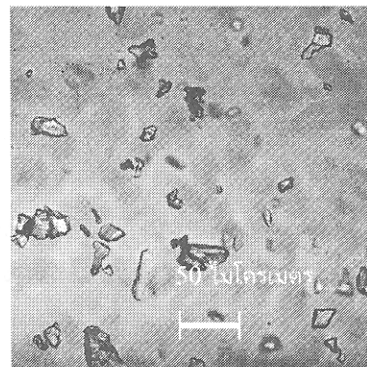
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของการลอย, ความหนาแน่นของการดูดซับ และความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด



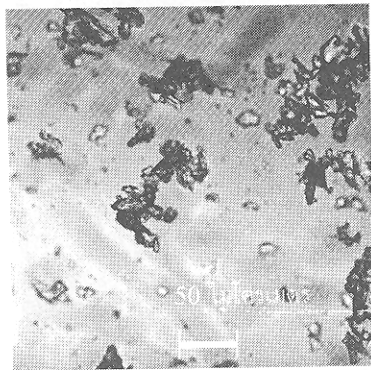
รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคที่เกิดการรวมตัวกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด



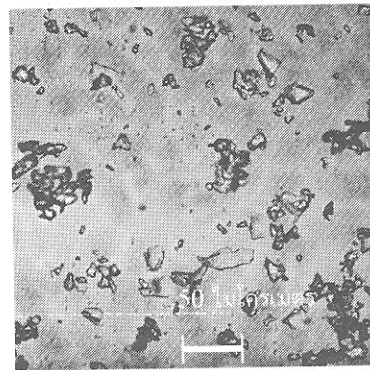
รูปที่ 8 อนุภาคควอท์ที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิว



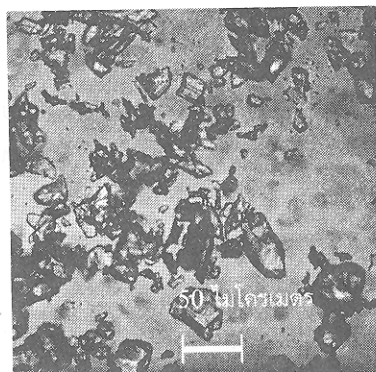
รูปที่ 9 อนุภาคควอท์ที่มี สารละลาย DTAB เข้มข้น 1 ไมโครโมล/ลิตร



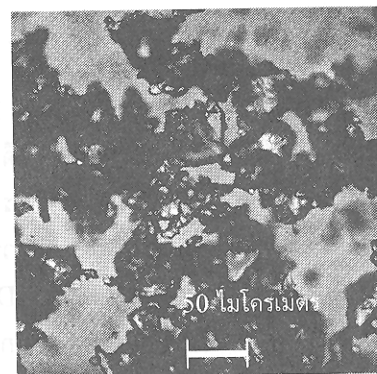
รูปที่ 10 อนุภาคควอทซ์ที่ไม่มีสารละลาย
TTAB เข้มข้น 1 ไมโครโมล/ลิตร



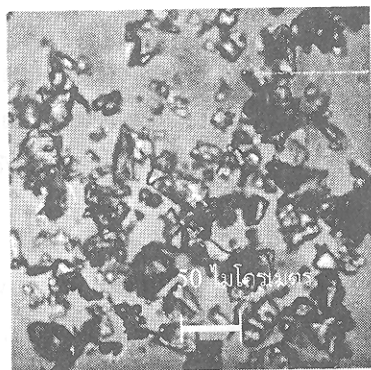
รูปที่ 11 อนุภาคควอทซ์ที่มีสารละลาย
CTAB เข้มข้น 1 ไมโครโมล/ลิตร



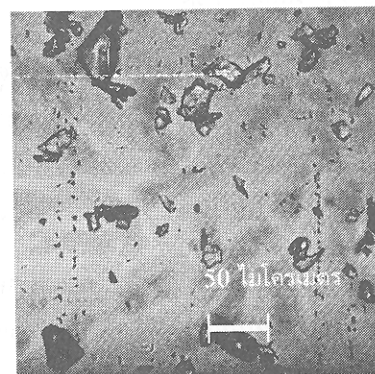
รูปที่ 12 อนุภาคควอทซ์ที่มีสารละลาย
DTAB เข้มข้น 1,000 ไมโครโมล/ลิตร



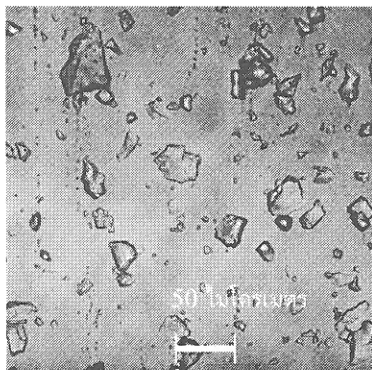
รูปที่ 13 อนุภาคควอทซ์ที่มีสารละลาย
TTAB เข้มข้น 1,000 ไมโครโมล/ลิตร



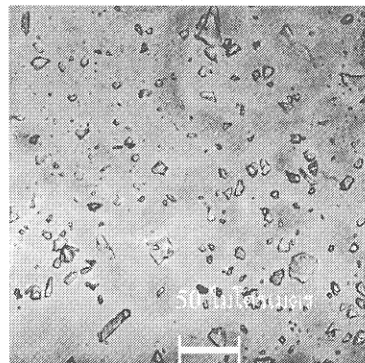
รูปที่ 14 อนุภาคควอทซ์ที่มีสารละลาย
CTAB เข้มข้น 1,000 ไมโครโมล/ลิตร



รูปที่ 15 อนุภาคควอทซ์ที่มีสารละลาย
DTAB เข้มข้น 50,000 ไมโครโมล/ลิตร



รูปที่ 16 อนุภาคควอเทอร์นารีที่มีสารละลาย
TTAB เข้มข้น 50,000 ไมโครโมล/ลิตร



รูปที่ 17 อนุภาคควอเทอร์นารีที่มี สารละลาย
CTAB เข้มข้น 50,000 ไมโครโมล/ลิตร

4. สรุปผล

การดูดซับสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด บนพื้นผิวควอเทอร์นารีสามารถแบ่งขอบเขตการดูดซับออกได้เป็น 3 ขอบเขตชัดเจนคือ ขอบเขตที่ I อยู่ในช่วงของความเข้มข้นน้อยกว่า 300 200 และ 100 ไมโครโมล/ลิตร ของสารละลาย DTAB TTAB และ CTAB ตามลำดับ ขอบเขตที่ II อยู่ในช่วงของความเข้มข้น 300-1,000 200-3,000 และ 100-1,000 ไมโครโมล/ลิตร ของสารละลาย DTAB TTAB และ CTAB ตามลำดับ และขอบเขตที่ IV อยู่ในช่วงความเข้มข้นมากกว่า 10,000 3,000 และ 1,000 ไมโครโมล/ลิตร ของสารละลาย DTAB TTAB และ CTAB แต่ละช่วงของการดูดซับ CTAB จะมีความเข้มข้นน้อยที่สุด และ DTAB มากที่สุด เนื่องจากผลของความยาวเป็นสารประกอบอินทรีย์ในสารลดแรงตึงผิว

สำหรับขอบเขตที่ III ของการดูดซับไม่สามารถจะสังเกตด้วยผลการทดลองการดูดซับ แต่สามารถสังเกตได้จากการทดลองของการลอยโดยมีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวอยู่ในช่วง 10,000-50,000 3,000-5,000 และ 1,000-2,000 ไมโครโมล/ลิตร ของ DTAB TTAB และ CTAB ตามลำดับ

การหาค่าประจุไฟฟ้าของอนุภาคควอเทอร์นารีพบว่า ประจุไฟฟ้าของอนุภาคจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการดูดซับ เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้น

ประสิทธิภาพการลอยที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับการดูดซับ ซึ่งเกิดขึ้นได้มากที่สุดที่ขอบเขตที่ II ของการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด ที่ให้ประสิทธิภาพการลอย

ใกล้เคียงกันอันเป็นผลจากการรวมตัวกันของอนุภาคควอทซ์ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับการรวมตัวของอนุภาคควอทซ์อย่างมีนัยสำคัญ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่สนับสนุนทุนการวิจัย
ในครั้งนี้

บรรณานุกรม

- Adamson, A. W. Physical chemistry of surfaces. 5th ed. New York. John Willey & Sons, Inc., 1990.
- Ball, B., and Fuerstenau, D.W. Thermodynamics and adsorption behaviour in the quartz/aqueous surfactant system. Discuss. Faraday Soc. 52(1971): 361-371.
- Fan, A., Somasundaran, P., and Turro, N.J. Adsorption of alkyltrimethylammonium bromides on negatively charged alumina. Langmuir 13(1996): 506-510.
- Fuerstenau, D.W., Healy, T.W., and Somasundaran, P. The role of the hydrocarbon chain of alkyl collectors in flotation. Trans. AIME. 229(1964): 321.
- Fuerstenau, D.W., Metzger, P.H., and Seele, G.D. How to use this modified Hallimond tube. J. Engineering and Mining 158 (1957): 93-95.
- Gao, Y., Du, J., and Gu, T., J. Chem. Soc., Faraday Trans. 83 (1987): 2671.
- Gaudin, A M., and Fuerstenau, D W. Quartz flotation with anionic collectors. Trans. AIME. 202 (1955): 66-72.
- Gu, T., and Huang, Z. Colloids and Surface 40 (1989): 71.
- Harwell, J H., Hoskins, J C., Schechter, R. S., and Wade, W.H. Pseudophase separation model for surfactant adsorption: Isomerically pure surfactants. Langmuir 1 (1985): 251-262.
- Kwahhong, P., Chavadej, S. and Hareel, H. Mechanism of Ore flotation. Masters thesis, the Refroleum and Retro Chemical College Chulalongkorn University 1995.
- Rosen, M.J. Surfactants and interfacial phenomena. 2nd. New York: John Willey & Sons, Inc., 1988.
- Rosen, M.J., and Gu, B. Synergism in binary mixtures of surfactants. 6 Interfacial tension reduction efficiency at the liquid/hydrophobic solid surface. Colloid and Surfaces 23 (1987): 119-135.

- Scamahan, J.F. and Harwell, J.H., eds. Surfactant science series: Surfactant in chemical/process engineering Vol.28: New York. Marcel Dekker, Inc., 1988.
- Somasundaran, P. Zeta potential of apatite in aqueous solutions and its change during equilibration. J. Colloid Interface Sci. 27 (1968): 659-666.
- Somasundaran, P., and Fuerstenau, D.W. Mechanisms of alkyl sulfonate adsorption at the alumina-water interface. J. Phys. Chem. 70 (1966): 90-96.
- Somasundaran, P., Healy, T.W., and Fuerstenau, D.W. Surfactant adsorption at the solid-liquid interface-dependence of mechanism on chain length. J. Phys. Chem. 86 (1964): 3562.
- Somasundaran, P., and Moudgil, B.M., eds. Surfactant science series: Reagents in Mineral Technology. Vol.27. New York Marcel Dekker, Inc., 1988.
- Takeda, S., and Usui, S. Adsorption of dodecylammonium ion on quartz in relation to its flotation. Colloids and Surface 23 (1987): 15-28.
- Yeskie, M. A., and Harwell, J. H. J. Phys. Chem. 92 (1988): 2346.