

การใช้สารลดแรงตึงผิวในการกำจัดหมึกชนิดที่ใช้ตัวทำละลายบนผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน



นายเทตศักดิ์ คำสุริวัณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

USE OF SURFACTANTS TO REMOVE SOLVENT-BASED INK FROM POLYPROPYLENE  
SURFACE



Mr. Terdsak Kumsurivorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science  
(Interdisciplinary Program)

Graduate School  
Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การใช้สารลดแรงตึงผิวในการกำจัดหมึกชนิดที่ใช้ตัวทำละลายบนผิว  
พลาสติกโพลีโพรพิลีน

โดย

นายเทิดศักดิ์ คำสุวิวัฒน์

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ดร. อรุบล โชติพงษ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์)

.....  
(ดร. อรุบล โชติพงษ์)

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ชวเลข)

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรชานันท์ พงศ์สถาปติ)

เทิดศักดิ์ คำสุวิวรร : การใช้สารลดแรงตึงผิวในการกำจัดหมึกชนิดที่ใช้ตัวทำละลายบนผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน. (USE OF SURFACTANTS TO REMOVE SOLVENT- BASED INK FROM POLYPROPYLENE SURFACE) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ดร. อรุณกล โขติพงษ์, 87 หน้า.

การกำจัดหมึกชนิดที่ใช้ตัวทำละลายบนพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน โดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิวประจุบวกประเภท อัลคิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ ที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในสายอัลคิลเท่ากับ 12 , 14 และ 16 คือ โคเคคซิล- เดตระเคคซิล- ซิทิล- ไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (DTAB TTAB และ CTAB) ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 โดยศึกษาผลของการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.0,0.1,0.2,0.5 และ 1.0 โมล ลงในสารละลายลดแรงตึงผิว จากผลการศึกษาพบว่าสารลดแรงตึงผิว ทั้ง 3 ชนิดเมื่อเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.2 โมล ส่งผลให้มีประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกสูงที่สุด และยังพบว่าประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนอะตอมในสายอัลคิลของสารลดแรงตึงผิวมีความยาวเพิ่มขึ้น ในขณะที่สภาพการละลายของผงหมึกในสารละลายลดแรงตึงผิวก็ให้ผลที่สอดคล้องกับผลของการกำจัดหมึกที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์และผลของสายอัลคิลในสารลดแรงตึงผิว ได้เป็นอย่างดี กล่าวคือทั้งการกำจัดหมึกและการละลายมีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.2 โมล นอกจากนี้ยังศึกษาผลของการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติก โดยใช้สารลดแรงตึงผิว 2 ชนิดผสมกัน คือ สารลดแรงตึงผิว ชนิดไม่มีประจุ Triton-X 100 ผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก CTAB พบว่า ปริมาณของหมึกที่ถูกกำจัดออกไปจากพื้นผิวพลาสติกจะลดลงเมื่อมีความเข้มข้นของTriton X-100 เพิ่มมากขึ้น ในทุกๆความเข้มข้นของ CTAB ทั้งนี้ค่าการดูดซับและค่าการละลายก็มีผลสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติกเช่นกัน

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนิสิต *ศุภณัฐ*  
ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก *อรุณ 9/10/51*

## 4889080820 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : DEINKING / ZETA POTENTIAL / SOLUBILIZATION / MIXED SURFACTANT SYSTEM / CMC

TERDSAK KUMSURIVORN : USE OF SURFACTANTS TO REMOVE SOLVENT- BASED INK FROM POLYPROPYLENE SURFACE. ADVISOR : ARUBOL CHOTIPONG, Ph.D., 87 pp.

Ink removal from printed polypropylene (PP) was performed using alkyltrimethylammonium bromides (CnTAB) having carbon atoms of the alkyl chain lengths 12, 14 and 16 for dodecyl-, tetradecyl- and cetyl-trimethylammonium bromides (i.e., DTAB, TTAB, and CTAB) respectively at 30°C and pH level 12. To study the effect of sodium chloride (NaCl) 0.0, 0.1, 0.2, 0.5 and 1.0 M concentrations were added into each surfactant solution. For any given surfactant, the results indicate that 0.2 M NaCl produces the highest deinking efficiency. Moreover, the amount of ink removed by CnTAB improves as the alkyl chain length of CnTAB increases. Also, the solubilization of ink particles in CnTAB solution gives a good explanation on the effect of NaCl concentration and the alkyl chain length of surfactant. That is, the deinking and solubilization peaked when CTAB with 0.2 M NaCl was used. In addition, the result of ink removal by mixed surfactants, nonionic surfactant: Triton-x 100 and cationic surfactant: CTAB, shows that the percentage of ink removal decreases with increasing TritonX-100 concentration at any given CTAB concentration. The results of both absorption and solubilization of ink particles agree well with deinking efficiency.

Field of Study : Environmental Science.....

Student's Signature *Terdsak K.*

Academic Year : 2008.....

Advisor's Signature *Arubol Chotipong*

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความอนุเคราะห์จากผู้มีพระคุณหลายท่าน ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ดร. อรุบล โชติพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาช่วยเหลือ แนะนำ ให้คำปรึกษา และตรวจทานรายละเอียดต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โหมยตานนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ชวเดช และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐชยาน์ พงศ์สถาปติ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นที่มีส่วนสำคัญในการแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษาครั้งที่ 2/2550 จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทุนสนับสนุนการวิจัยส่วนหนึ่งจากสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกแก่ข้าพเจ้าในการทดลอง จนสำเร็จลุล่วง ขอบใจในมิตรภาพและความผูกพันอันดีของเพื่อน ๆ นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมในที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ คุณทัศนพล รัชพิชชา คุณไอยเรศ บุญฤทธิ์ และคุณเทียบเทียบ เขียววิวัฒน์ ที่ให้คำแนะนำพื้นฐานความรู้ในหลายๆเรื่อง คุณธีรศักดิ์ สุนทรฯ ช่วยตรวจสอบเอกสารวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา สมาชิกในครอบครัว เพื่อนๆทุกคน ผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่สนับสนุนคอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจสำคัญแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญภาพ .....	ฉุ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	4
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1 พลาสติกโพลีโพรพิลีน .....	5
2.2 หมึก .....	6
2.3 แร่งตึงผิว .....	8
2.4 สารลดแรงตึงผิว .....	9
2.5 การดูดซับของสารลดแรงตึงผิว .....	21
2.6 ซีตาโพเทนเชียล .....	22
2.7 สภาพการละลาย .....	23
2.8 กลไกกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกของสารลดแรงตึงผิว .....	26
2.9 กลไกกระบวนการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติกของสารลดแรงตึงผิว .....	32
2.10 ระบบของสารลดแรงตึงผิวที่ผสมกัน .....	37
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	40

บทที่	หน้า
3. วิธีดำเนินการวิจัย .....	44
3.1 วัตถุประสงค์ .....	44
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย .....	44
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย .....	45
3.4 วิธีการดำเนินการศึกษา .....	45
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง .....	50
4.1 การกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน .....	50
4.2 ซีตาโพเทนเชียลของอนุภาคหมึก .....	55
4.3 สภาพการละลายของหมึก .....	57
4.4 กลไกการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน .....	66
4.5 ระบบสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิด ไม่มีประจุ .....	69
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....	81
5.1 การกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน โดยใช้สารลด แรงตึงผิว.....	81
5.2 การดูดซับของอนุภาคหมึกผ่านค่าซีตาโพเทนเชียล .....	81
5.3 สภาพการละลายของหมึก .....	82
5.4 ระบบสารลดแรงตึงผิวผสม .....	82
5.5 ข้อเสนอแนะ .....	82
รายการอ้างอิง .....	84
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	87

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ลักษณะทางกายภาพของโพลีโพรพิลีน .....	6
2.2	แสดงการเปรียบเทียบตัวอย่างของค่า CMC ของสารละลายลดแรงตึงผิว ชนิดต่างๆที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเติมอิเล็กโตรไลต์ .....	20
4.1	แสดงค่า CMC ของสารละลายลดแรงตึงผิวเมื่อเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าความเข้มข้นต่างๆกัน .....	67



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างทางเคมีของ โพลีโพรพิลีนและ โพลีเอธิลีน .....	5
2.2	แสดงทิศทางของแรงที่กระทำต่อโมเลกุลของของเหลว .....	9
2.3	โมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิว .....	10
2.4	ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ .....	11
2.5	ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก .....	11
2.6	ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ .....	12
2.7	ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวแอมโฟเทอริก .....	13
2.8	กระบวนการสร้างไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว .....	16
2.9	การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวของแข็งออกไซด์ .....	22
2.10	ค่ามุมสัมผัสที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ของแรงตึงผิวในแต่ละเฟส .....	27
2.11	การกำจัดสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิวขั้วสเตรทเมื่อมีค่ามุมสัมผัสที่ $\theta > 90^\circ$ ซึ่งกำจัดได้อย่างสมบูรณ์ .....	28
2.12	การกำจัดสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิวขั้วสเตรทเมื่อมีค่ามุมสัมผัสที่ $\theta < 90^\circ$ ซึ่งกำจัดได้ไม่สมบูรณ์ .....	29
2.13	กลไกสภาพการละลายในการกำจัดสิ่งสกปรกและการกระจายตัว .....	31
2.14	Fourier Transform Infrared Spectrophotometer ของหมึกบนพื้นผิวพลาสติก ติกโพลีเอธิลีน .....	32
2.15	ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของอีพอกซีเรซิน .....	33
2.16	แสดงปฏิกิริยาการเปิดวงของอีพอกซีเรซินโดยไฮดรอกไซด์ไอออน .....	34
2.17	แรงทางไฟฟ้าระหว่างประจุบวกที่ส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิว CnTAB และประจุลบของโมเลกุลอีพอกซีในหมึก .....	34
2.18	กลไกการใช้สารลดแรงตึงผิวในการกำจัดหมึกชนิดใช้ตัวทำละลายบนพื้น ผิวพลาสติกโพลีเอธิลีน .....	37
2.19	การดูดซับบนพื้นผิวจากการผสมสารลดแรงตึงประจุลบกับสารลดแรงตึง ผิวชนิดที่ไม่มีประจุ .....	39

ภาพที่	หน้า
2.20    แสดงการสร้างไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่างสารลดแรงตึงผิว ประจุลบกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ .....	39
4.1      แสดงประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน โดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว DTAB ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอ ไรด์ 0.0,0.1,0.2,0.5 และ 1.0 โมล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็น กรด-ด่างที่ระดับ 12 .....	51
4.2      แสดงประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน โดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว TTAB ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอ ไรด์ 0.0,0.1,0.2,0.5 และ 1.0 โมล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็น กรด-ด่างที่ระดับ 12 .....	52
4.3      แสดงประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน โดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว CTAB ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอ ไรด์ 0.0,0.1,0.2,0.5 และ 1.0 โมล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็น กรด-ด่างที่ระดับ 12 .....	53
4.4      เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลี โพรพิลีน โดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว CnTAB ที่ความเข้มข้นของเกลือ โซเดียมคลอไรด์ 0.2 โมล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด- ด่างที่ระดับ 12 .....	55
4.5      ค่าซีตาโพเทนเชียลของอนุภาคหมึกในน้ำที่ระดับความเป็นกรด-ด่างระดับ 1 ถึง 12 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส .....	56
4.6      การละลายของหมึกโดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว DTAB ที่ความเข้มข้น ของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.1,0.2,0.5 และ 1.0 โมล ที่อุณหภูมิ 30 องศา เซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 .....	58
4.7      การละลายของหมึกโดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว TTAB ที่ความเข้มข้น ของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.1,0.2,0.5 และ 1.0 โมล ที่อุณหภูมิ 30 องศา เซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 .....	59

ภาพที่	หน้า	
4.8	การละลายของหมึกโดยใช้สารละลายดแรงดึงผิว CTAB ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.1,0.2,0.5 และ 1.0 โมล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 .....	60
4.9	เปรียบเทียบการละลายของหมึกโดยใช้สารละลายดแรงดึงผิว CnTAB ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.2 โมล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 .....	62
4.10	โครงสร้างทางเคมีของแอมฟิฟิลิก เฮมิไซยานิน .....	62
4.11	การละลายของค้ประกอบของแอมฟิฟิลิกเฮมิไซยานินในไมเซลล์ของสารลดแรงดึงผิว CTAB .....	63
4.12	การละลายของหมึกในไมเซลล์ของสารลดแรงดึงผิวชนิดประจุบวก CnTAB .....	65
4.13	Fourier Transform Infrared Spectrophotometer ของหมึกบนพื้นผิวพลาสติก โพลีโพรพิลีน .....	66
4.14	การกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนโดยใช้สารลดแรงดึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงดึงผิว Triton X-100 .....	71
4.15	การกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนโดยใช้สารลดแรงดึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงดึงผิว Triton X-100 แสดงความเข้มข้นในรูปแบบ CMC .....	72
4.16	ค่าซีตาโพเทนเชียลของหมึกในระบบของสารลดแรงดึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงดึงผิว Triton X-100 .....	73
4.17	ค่าซีตาโพเทนเชียลของหมึกในระบบของสารลดแรงดึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงดึงผิว Triton X-100 แสดงความเข้มข้นในรูปแบบ CMC .....	74
4.18	การละลายของหมึกในระบบของสารลดแรงดึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงดึงผิว Triton X-100 .....	76
4.19	การละลายของหมึกในระบบของสารลดแรงดึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงดึงผิว Triton X-100 แสดงความเข้มข้นในรูปแบบ CMC .....	77
4.20	ลักษณะการดูดซับสารลดแรงดึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Triton X-100 ที่บริเวณพื้นผิวหมึกบนพลาสติกโพลีโพรพิลีน .....	79
4.21	สภาพการละลายของหมึกในสารลดแรงดึงผิวชนิดประจุบวก CTAB ผสมกับสารลดแรงดึงผิว ชนิดไม่มีประจุ Triton X-100 .....	80

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

PP	=	พลาสติกโพลีโพรพิลีน
ลบ. น้ำ	=	ลูกบาศก์น้ำ
ตร. น้ำ	=	ตารางน้ำ
dyne/cm	=	ไดน์ต่อเซนติเมตร
N/m	=	นิวตันต่อเมตร
CMC	=	ความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤต (Critical Micelle Concentration)
HLB	=	ดัชนีบอกการละลายน้ำของสาร
$\Gamma$	=	Surface excess
C	=	ค่าความเข้มข้นของสาร
R	=	ค่าคงที่ของแก๊ส
T	=	อุณหภูมิ
K	=	องศาเคลวิน
PZC	=	Point of Zero Charge
DTAB	=	โดเดคซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์
TTAB	=	เตตระเดคซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์
CTAB	=	ซีทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์
CnTAB	=	สารลดแรงตึงผิว DTAB TTAB และ CTAB
Wa	=	งานของการยึดติด (work of adhesion)
$\gamma_{SB}$	=	แรงตึงผิวระหว่างซัพสเตรทกับสารละลายลดแรงตึงผิวในภาวะ
$\gamma_{LB}$	=	แรงตึงผิวระหว่างสิ่งสกปรกเหลวกับสารละลายลดแรงตึงผิวในภาวะ
$\gamma_{SL}$	=	แรงตึงผิวระหว่างสิ่งสกปรกเหลวกับซัพสเตรท
$\theta$	=	มุมสัมผัสที่เกิดขึ้นระหว่างสิ่งสกปรกกับซัพสเตรท

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในแต่ละปีปริมาณการใช้พลาสติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุที่ว่าพลาสติกมีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่นสูง ทนทาน ขึ้นรูปได้ง่าย จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางในการทำวัสดุ อุปกรณ์ ภาชนะต่าง ๆ การบรรจุหีบห่อ วัตถุดิบที่จะนำมาผลิตพลาสติกนั้นได้มาจากผลิตภัณฑ์ทางด้านปิโตรเคมี ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีคุณค่าและใช้เวลานานในการเกิดขึ้นใหม่ ทำให้มีปริมาณไม่เพียงพอที่จะรองรับการใช้พลาสติกในอนาคต เมื่อมีความต้องการใช้มากขึ้นปัญหาที่จะเกิดขึ้นตามมาคือการเกิดขยะ ประกอบกับผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้อยู่มีอายุการใช้งานสั้นมากเมื่อเทียบกับความทนทานของผลิตภัณฑ์ ขยะพลาสติกจึงเกิดขึ้นในแต่ละปีมีปริมาณที่สะสมเป็นจำนวนมหาศาล เนื่องจากขยะพลาสติกมีลักษณะคงทนและย่อยสลายได้ยาก จึงเกิดภาวะมลพิษที่กระทบกับสิ่งแวดล้อมโดยตรง

จากข้อมูลในปี 2549 ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยทั่วประเทศประมาณ 14.6 ล้านตัน ซึ่งในจำนวนนี้เป็นปริมาณขยะพลาสติกประมาณ 2.7 ล้านตัน โดยนำกลับมาใช้ใหม่ ประมาณ 0.2 ล้านตัน พลาสติกที่เหลือประมาณ 2.5 ล้านตันจะตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อม ซึ่งในปัจจุบันจะใช้วิธีการฝังกลบเป็นส่วนใหญ่ ขยะพลาสติกที่ตกค้างประกอบไปด้วย พลาสติก โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงประมาณ 1 ล้านตัน พลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำประมาณ 0.7 ล้านตัน พลาสติกโพลีโพรพิลีนประมาณ 0.4 ล้านตัน และพลาสติกชนิดอื่นๆอีกประมาณ 0.4 ล้านตัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณของขยะพลาสติกที่เข้าสู่กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่นั้นมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณขยะพลาสติกที่ตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อม ถ้ามีระบบการจัดการการนำกลับมาใช้ใหม่ที่ดีก็จะทำให้ปริมาณขยะพลาสติกลดลงได้

หนทางหนึ่งที่จะลดการใช้ปิโตรเลียมและลดปริมาณขยะพลาสติกที่เกิดขึ้น คือกระบวนการนำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่หรือการรีไซเคิล การนำกลับมาใช้ใหม่ของขยะพลาสติกนั้น ขั้นตอนที่เกี่ยวข้อง คือการกำจัดสิ่งสกปรกออกจากขยะพลาสติก เพราะหากมีการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกจะทำให้คุณภาพของพลาสติกต่ำลงมาก ทั้งนี้สาเหตุหนึ่งมาจากปัจจัยการพิมพ์หมึกลงบนพลาสติกเพื่อให้ข้อมูลของสินค้าชนิดนั้น ๆ ต่อลูกค้า เมื่อนำพลาสติกกลับมาเป็นพ

ลิเมอร์ใหม่จะเกิดการปนเปื้อนจากหมึกที่ติดค้างบนผิวพลาสติก ส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป พลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่นั้นจึงมีคุณสมบัติที่แตกต่างไปจากพอลิเมอร์บริสุทธิ์ ซึ่งถ้ามีการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกก่อนเข้าสู่กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ก็จะทำให้ลดปัญหานี้ได้ (Gecol et al., 2001)

พลาสติกที่ใช้ในการทำวัสดุนี้มีหลายประเภท ซึ่งพลาสติกที่นำมาใช้มากในปัจจุบันเป็นประเภทโพลีเอทิลีน (polyethylene) ซึ่งหมึกที่นำมาพิมพ์บนผิวพลาสติกส่วนใหญ่เป็นหมึกชนิดที่ใช้ตัวทำละลาย (solvent-base ink) (Gecol et al., 2003) พลาสติกอีกประเภทหนึ่งที่มีเทคนิคการพิมพ์เช่นเดียวกับพลาสติกโพลีเอทิลีนคือ โพลีโพรพิลีน (polypropylene) มีแนวโน้มการนำมาใช้มากขึ้น ถ้ามีการนำพลาสติกชนิดนี้กลับเข้าสู่กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ก็จะเป็นการประหยัดทรัพยากรธรรมชาติได้อีกทางหนึ่ง

เทคนิคที่จะนำมาใช้ในการกำจัดหมึกบนผิวพลาสติกนั้น ทำได้โดยการใช้สารละลายที่เหมาะสมกับหมึกประเภทนั้น แต่เนื่องจากตัวทำละลายบางชนิดจะเกิดการระเหยในบรรยากาศเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน นอกจากนี้ยังเกิดกากของเสียซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังนั้นทางเลือกใหม่ของการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติกคือ การใช้สารลดแรงตึงผิว (surfactant) ซึ่งมีความเป็นพิษต่ำ ย่อยสลายในธรรมชาติได้ และไม่เป็นอันตรายกับสิ่งแวดล้อม

สารลดแรงตึงผิวเป็นสารเคมีที่ประกอบด้วยโครงสร้างสองส่วนคือ ส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic portion) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic portion) โดยมีหลักการทำงานของสารลดแรงตึงผิวคือ ส่วนที่ชอบน้ำก็จะจับกับส่วนที่มีขั้ว ในขณะที่ส่วนที่ไม่ชอบน้ำก็จะจับกับส่วนที่ไม่มีขั้ว จึงเป็นสารที่อยู่ได้ในสองวัฏภาคกระบวนการนี้จึงทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกมาได้ สารลดแรงตึงผิวมี 4 ประเภทได้แก่ สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (anionic surfactant) สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (nonionic surfactant) สารลดแรงตึงผิวแอมโฟเทอริก (amphotheric surfactant) และสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (cationic surfactant) โดยในแต่ละประเภทมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปจึงต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานแต่ละชนิดด้วย (Rosen, 2004)

จากที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาการกำจัดหมึกชนิดที่ใช้ตัวทำละลาย ออกจากพื้นผิวพลาสติกโดยเลือกพลาสติกประเภทโพลีโพรพิลีน โดยการใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกและสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ทั้งนี้ยังศึกษาถึงอิทธิพลของการเติมเกลือเพื่อหาสภาวะที่เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดหมึก และศึกษากลไกการทำงานของสารละลายในการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกประเภท โพลีโพรพิลีน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกและสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกผสมกับชนิดไม่มีประจุ
2. ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่เติมลงในสารละลายลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกประเภท โพลีโพรพิลีน
3. ศึกษากลไกการดูดซับและการละลายของหมึกจากการใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกที่เติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ และจากการใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกผสมกับชนิดไม่มีประจุ

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ สถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. พลาสติกที่ใช้ในการทดลองเป็นพลาสติกประเภทโพลีโพรพิลีน พิมพ์ด้วยหมึกชนิดที่ใช้ตัวทำละลาย เป็นองค์ประกอบ ด้วยเทคนิคซิลค์สกรีน (silk screen) โดยที่หมึกเป็นสารประกอบพวกอีพอกซีเรซิน (epoxy resin)
2. สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในกระบวนการกำจัดหมึกบนผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกและสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกคือ อัลคิล ไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (alkyltrimethylammonium bromides, CnTAB) ส่วนสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุคือ ไตรตอนเอกซ์ 100 (triton x-100)
3. ศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกบนผิวพลาสติกโดยการเติมอิเล็กโทรไลต์ โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โดยเตรียมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อนำไปผสมกับสารลดแรงตึงผิว
4. จากงานวิจัยที่ผ่านมา งานวิจัยนี้จะควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในระดับ 12 และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นภาวะหนึ่งที่เหมาะสมต่อกระบวนการกำจัดหมึก



#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. แผ่นพลาสติกโพลีโพรพิลีนที่ทำการกำจัดหมึกออกไปแล้วนั้น สามารถเข้าสู่กระบวนการนำกลับไปใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ทราบถึงชนิดของสารลดแรงตึงผิว ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว ปริมาณการเติมเกลือที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ได้ผลการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ได้
3. ทราบถึงกลไกสภาพการละลายและการดูดซับของการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนด้วยสารลดแรงตึงผิว
4. ลดปริมาณการใช้ทรัพยากรปิโตรเคมีที่จะนำมาใช้ผลิตพลาสติกลงได้ และลดปริมาณขยะพลาสติกที่เกิดขึ้น โดยการนำกลับมาใช้ใหม่ อันจะส่งผลให้สิ่งแวดล้อมมีความเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ดีขึ้น

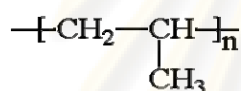
ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

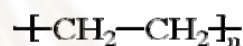
### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 พลาสติกโพลิโพรพิลีน ( Polypropylene, PP)

พลาสติกโพลิโพรพิลีนเป็นพวกโพลิโอเลฟินส์(Polyolefin) เป็นพลาสติกอีกประเภทหนึ่งที่ใช้มากในการทำบรรจุภัณฑ์ รองจากพลาสติกโพลิเอทิลีนที่ใช้มากที่สุด โครงสร้างทางเคมีของโพลิโพรพิลีนแตกต่างจากโพลิเอทิลีนตรงที่มีหมู่เมทิล (methyl group) อยู่ในสายพอลิเมอร์ ดังแสดงในภาพที่ 2.1



โพลิโพรพิลีน



โพลิเอทิลีน

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของโพลิโพรพิลีนและโพลิเอทิลีน(<http://pslc.ws/macrogcss/pe.html>)

คุณสมบัติของโพลิโพรพิลีนจะมีคุณสมบัติคล้ายกับโพลิเอทิลีน มีความใส ความแข็ง (stiffness) ความแข็งแรง(strength)และจุดหลอมเหลวสูง ด้วยคุณลักษณะที่ดีเหล่านี้จึงทำให้ในปัจจุบันพลาสติกโพลิโพรพิลีนจึงถูกนำมาใช้เพิ่มมากขึ้น คุณสมบัติทางกายภาพของพลาสติกโพลิโพรพิลีนดังแสดงในตารางที่ 2.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพของโพลีโพรพิลีน (พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์, 2542)

คุณสมบัติ	โพลีโพรพิลีนแบบพื้นฐาน	โพลีโพรพิลีนแบบ ทนแรงกระแทก
ความถ่วงจำเพาะ	0.904	0.91
ปริมาตร (ลบ.นิ้ว/ปอนด์)	30.6	30.5
ทนต่อแรงดึง(ปอนด์/ตร.นิ้ว)	5,500	4,400
ทนต่อแรงอัด	8,000	6,000
ทนต่อความร้อน(ฟาเรนไฮต์)	275	216
ความใส	โปร่งใส	ทึบ
ทนแสงแดด	พอใช้	พอใช้
ทนต่อกรด	ทนต่อกรดอ่อนแต่การทนต่อกรดแก่จะถูกทำลายอย่างช้าๆจาก Oxidizing acid	ทนต่อกรดอ่อนแต่การทนต่อกรดแก่จะถูกทำลายอย่างช้าๆจาก Oxidizing acid
ทนต่อด่าง	ได้ทั้งด่างอ่อนและด่างแก่	ได้ทั้งด่างอ่อนและด่างแก่

## 2.2 หมึก ( Ink)

หมึกคือ สารสีหรือวัตถุสี (pigment) ที่กระจายตัวอยู่ในของเหลว หมึกพิมพ์ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์สำหรับการพิมพ์ลงพลาสติกก่อนที่จะนำพลาสติกเหล่านั้นไปใช้ในการบรรจุหีบห่อมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ หมึกพิมพ์ ultraviolet curing และหมึกพิมพ์ conventional โดยที่ ultraviolet curing ใช้มากในการพิมพ์พลาสติกที่เสร็จสิ้นกระบวนการแล้ว จำพวกฉลาก ฝาปิด เป็นต้น ในขณะที่หมึกพิมพ์ conventional จะใช้ในกระบวนการพิมพ์ลงบนพลาสติกโดยทั่วไปทั้งการสกรีน (screen) และการบุ (pad) ซึ่งจะเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นพร้อมไปกับกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกเป็นลักษณะ

หมึกพิมพ์ conventional จึงมีความสำคัญในการพิมพ์พลาสติก ซึ่งหมึกพิมพ์ชนิดนี้มีองค์ประกอบหลักคือ วัสดุสี ตัวประสาน (binder) สารลำเลียง(carrier)หรือตัวทำละลาย และสารเติมแต่ง (additive) วัสดุสีเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์เป็นสารที่ให้สีแก่ของเหลว ซึ่งเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากที่สุดในหมึกพิมพ์ ตัวประสานเป็นสารที่มีมวลโมเลกุลมาก เป็นพอลิเมอร์เรซินกระจายตัวอยู่กับวัสดุสี ทำหน้าที่ในการประสานตัววัสดุสีให้อยู่บนพลาสติกหลังจากการพิมพ์ สารลำเลียงเป็นของเหลวหรือตัวทำละลายให้หมึกถูกขนส่งจากระบบการพิมพ์ ไปยังพลาสติก ซับสเตรท หลังจากกระบวนการที่หมึกพิมพ์อยู่บนพื้นผิวพลาสติกแล้ว สารลำเลียงต้องทำให้ระเหยอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ สารเติมแต่งในหมึกพิมพ์เป็นพวกไข (waxes) สารลดแรงตึงผิว ครายอิงเอเจนต์(drying agent) แอนติออกซิไดซ์เอเจนต์(antioxidizing agent) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการพิมพ์หมึก

หมึกพิมพ์ conventional หากแบ่งตามประเภทของสารลำเลียงมี 2 ชนิดคือ ชนิดใช้ตัวทำละลาย(solvent-based ink)และชนิดใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย(water-based ink) สารลำเลียงชนิดที่ใช้ตัวทำละลายจะมีตัวทำละลาย หรือตัวทำละลายผสม เป็นตัวขนส่ง ในขณะที่ชนิดที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจะมีน้ำเป็นตัวขนส่ง (Gecol et al., 2003)

โดยพื้นฐานของการพิมพ์หมึกที่มีลักษณะเปียกก่อนการพิมพ์ลงบนพื้นผิวพลาสติกนั้น ต้องทำให้บริเวณพื้นผิวพลาสติกกับหมึกพิมพ์มีพันธะที่มีความแข็งแรง (Satas, 1986) ขั้นตอนของกรรมวิธีการผลิตเกี่ยวข้องกับพลังงานที่พื้นผิวของพลาสติกและความสามารถในการเปียกของหมึก ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ประกอบไปด้วยกรรมวิธีทางเคมีต่างๆ ทั้ง flame treatment และcorona treatment เป็นต้น ซึ่งกรรมวิธีเหล่านี้ เป็นกระบวนการโดยพื้นฐานที่การพิมพ์หมึกลงบนพลาสติกต้องทำ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้มีแรงยึดติดระหว่างหมึกกับผิวพลาสติกได้มากขึ้น

การทำ flame treatment เป็นการปรับผิวหน้าด้วยเปลวไฟ เป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันมานาน โดยเฉพาะกับพลาสติกโพลีเอธิลีน วิธีการนี้จะใช้หลักการของการทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนบนผิวหน้าของพลาสติก ทำให้ผิวหน้าพลาสติกสามารถดูดซับหมึกพิมพ์ได้ดีขึ้นเนื่องจากความมีขรุขระเพิ่มขึ้นที่ผิวหน้า หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้เกิดมาจากเมื่อทำการปรับผิวหน้าด้วยเปลวไฟแล้วจะมีอนุภาค 3 ชนิดคือ อนุมูล (radical) ไอออน(ions)และ โมเลกุลในสถานะกระตุ้น(excited molecule) เกิดขึ้น อนุภาคเหล่านี้จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบนผิวหน้าของพลาสติกทำให้มีหมู่ฟังก์ชันต่างๆเกิดขึ้น (Selke, 1997)

การทำ corona treatment เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมทำกันมากในพลาสติกโพลีโพรพิลีน เป็นกระบวนการใช้สนามไฟฟ้าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผิวหน้าพลาสติก ทั้งทางกายภาพและทางเคมี การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพคือ มีรูพรุนเล็กๆเกิดขึ้นทำให้ผิวหน้ามีความขรุขระช่วยทำให้เกิด

การขีดตีดเชิงกล ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ปฏิกริยาหลักคือ ปฏิกริยาออกซิเดชัน ซึ่งเกิดจาก แก๊สออกซิเจน หรือความชื้นที่อยู่ในบรรยากาศบริเวณที่ทำ corona treatment ถูกกระตุ้นจาก สนามไฟฟ้าให้ไปทำปฏิกริยากับอนุมูลอิสระที่อยู่ในโมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้ผิวหน้าบริเวณนั้น เกิดความมีขี้ทำให้พลาสติกมีแรงยึดเกาะกับโมเลกุลของหมึกพิมพ์มากขึ้น (Zhang et al., 1998)

### 2.3 แรงตึงผิว (Surface Tension)

ปกติในของเหลวหนึ่งโมเลกุลของสารภายในเนื้อของของเหลวจะมีแรงดึงดูดกันทุกทิศทุกทาง แต่โมเลกุลของสารที่บริเวณพื้นผิวจะมีแรงดึงดูดไม่ครบทุกทิศทุกทางดังแสดงในภาพที่ 2.2 ทำให้เกิดความไม่สมดุลของแรงที่กระทำจึงเกิดเป็นพลังงานอิสระที่พื้นผิว (free energy) ขึ้น สารต่างๆจึงพยายามลดพลังงานอิสระดังกล่าวเพื่อให้มีเสถียรภาพที่ดี โดยทำการดูดซับโมเลกุลหรือ ไอออนของสารอื่นไว้ที่พื้นผิวทำให้เกิดแรงตึงผิวขึ้น

แรงตึงผิว คือแรงที่ทำให้พื้นผิวของของเหลวแผ่ขยายออกไปต่อหนึ่งหน่วยความยาว แรงตึงผิวมีหน่วยเป็นแรงต่อความยาว เช่น ไคน์ต่อเซนติเมตร (dyne/cm) หรือ นิวตันต่อเมตร(N/m)

ปัจจัยที่มีผลต่อแรงตึงผิว ได้แก่

- อุณหภูมิ
- ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย
- โครงสร้างของสารและอายุในการเก็บของสารละลายในน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

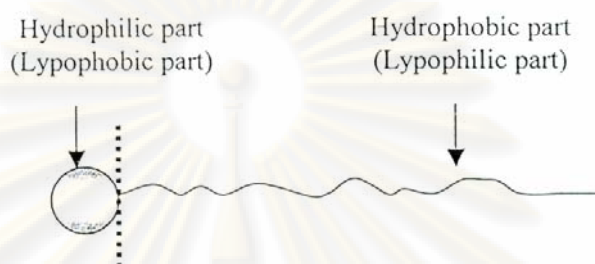


ภาพที่ 2.2 แสดงทิศทางของแรงที่กระทำต่อ โมเลกุลของของเหลว (วราภรณ์ สุวกุล, 2532)

สารชนิดหนึ่งที่สามารถช่วยลดแรงตึงผิวของของเหลวได้ คือสารลดแรงตึงผิว ทั้งนี้เพราะสารลดแรงตึงผิวเมื่อละลายในน้ำ โมเลกุลจะหันส่วนที่มีขั้วเข้าหาน้ำและหันส่วนที่ไม่มีขั้วเข้าหาอากาศ ซึ่งแรงตึงผิวของส่วนที่ไม่มีขั้วจะต่ำกว่าแรงตึงผิวของน้ำ จึงส่งผลให้แรงตึงผิวของสารลดลง

#### 2.4 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงตึงผิวเป็นคำย่อของ surface active agent เป็นสารที่มีที่มีคุณสมบัติในการดูดซับที่ผิวระหว่าง เฟส ทำให้แรงตึงผิว (surface tension) ลดต่ำลง สารลดแรงตึงผิวมีลักษณะประกอบไปด้วยโครงสร้างสองส่วน คือส่วนที่มีขั้วหรือส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) เป็นส่วนหัวซึ่งจะละลายน้ำได้ และส่วนที่ไม่มีขั้วหรือส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) เป็นส่วนหางซึ่งจะละลายในน้ำได้น้อย ซึ่งจะเป็นอนุพันธ์ของสารอินทรีย์โซ่ยาว ด้วยโครงสร้างทั้งสองส่วนนี้เรียกรวมกันว่า โมโนเมอร์ (monomer) ดังแสดงในภาพที่ 2.3 โดยเมื่อโมโนเมอร์สารลดแรงตึงผิวละลายในน้ำจะหันส่วนที่มีขั้วเข้าหาน้ำและหันส่วนที่ไม่มีขั้วเข้าหาอากาศหรือน้ำมัน



ภาพที่ 2.3 โมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิว (Rosen, 1989)

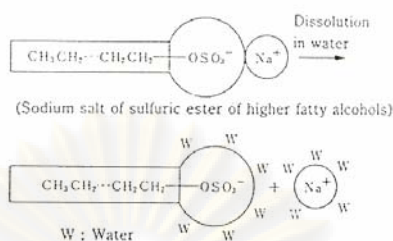
#### 2.4.1 ชนิดของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็นหลายกลุ่ม ขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าบนส่วนประกอบไฮโดรฟิลิก โดยสามารถแยกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (Anionic surfactant)
2. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cationic surfactant)
3. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic surfactant)
4. สารลดแรงตึงผิวแอมโฟเทอริก (Amphoteric surfactant)

##### 1. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (Anionic surfactant)

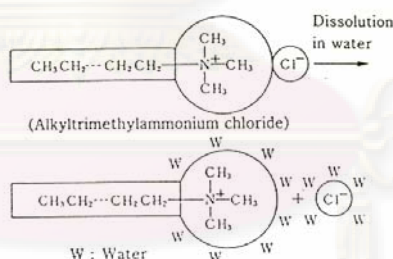
สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบคือสารลดแรงตึงผิวที่เมื่อละลายน้ำแล้วส่วนที่มีขั้ว แสดงประจุลบ เนื่องจากโมเลกุลประกอบด้วยหมู่ที่มีความสามารถแตกตัวเป็นไอออนลบได้ เช่น หมู่คาร์บอกซิล(carboxyl group) หมู่ซัลเฟต(sulfate group) เป็นต้น สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะใช้มากในอุตสาหกรรมพวกซักล้าง เนื่องจากสามารถขจัดคราบสกปรกเป็นอย่างดี ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (Fujimoto, 1985)

## 2. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cationic surfactant)

สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก คือสารลดแรงตึงผิวที่เมื่อละลายน้ำแล้วส่วนที่มีขั้ว แสดงประจุบวก เนื่องจากโมเลกุลประกอบด้วยหมู่ที่มีความสามารถแตกตัวเป็นไอออนบวกได้ เช่น เกลือของเอมีน และเกลือของควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium salt) ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกดังภาพที่ 2.5



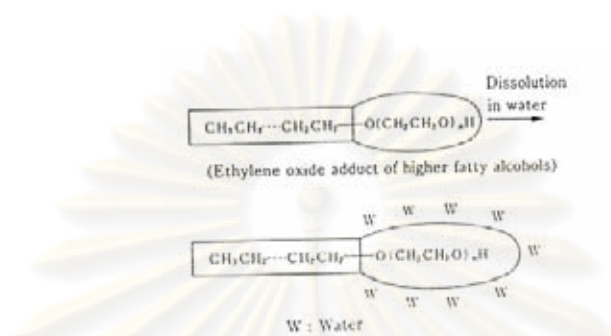
ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Fujimoto, 1985)

## 3. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic surfactant)

สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ คือสารลดแรงตึงผิวที่เมื่อละลายน้ำแล้วส่วนที่มีขั้วจะไม่แสดงประจุ โมเลกุลของสาร ประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำและส่วนที่ชอบน้ำมันในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ทำให้มีความสามารถในการละลายน้ำได้ต่างกัน โดยใช้ค่า HLB (Hydrophilic Lipophilic Balance) เป็นดัชนีบอกการละลายน้ำของสาร สารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB ต่ำจะละลายน้ำได้น้อย แต่ละลายได้ดีในน้ำมัน ถ้ามีค่า HLB สูงจะละลายน้ำได้ดี แต่ไม่ละลายในน้ำมัน เป็นต้น เช่น



$\text{RCOOCH}_2\text{CHOHCH}_2\text{OH}$  (monoglyceride of long chain fatty acid) ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ดังภาพที่ 2.6

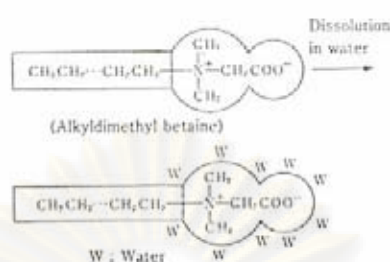


ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Fujimoto, 1985)

สารลดแรงตึงผิวชนิดนี้มีข้อดีก็คือเป็นสารที่มีฤทธิ์เป็นกลาง ความเป็นพิษต่ำ จึงไม่ระคายเคือง สามารถผสมกับสารได้หลายชนิด เพราะไม่มีประจุ เมื่อใช้เป็นอิมัลซิฟายเออร์ ทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความหนืดช่วงกว้างและทำให้เกิดอิมัลชันชนิดน้ำกระจายในน้ำมัน หรือน้ำมันกระจายในน้ำก็ได้แล้วแต่การผสม

#### 4. สารลดแรงตึงผิวแอมโฟเทอริก (Amphoteric surfactant)

สารลดแรงตึงผิวแอมโฟเทอริก คือสารลดแรงตึงผิวที่เมื่อละลายน้ำแล้วส่วนที่มีขั้ว สามารถแสดงได้ทั้งประจุบวกและประจุลบ แบ่งเป็น 2 ประเภท ประเภทแรกคือการแตกตัวขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลาย กล่าวคือ ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าสูงส่วนที่มีประจุของสารลดแรงตึงผิวจะแสดงความเป็นลบ ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าต่ำส่วนที่มีประจุของสารลดแรงตึงผิวจะแสดงความเป็นบวก ส่วนอีกประเภทเป็นแบบที่ส่วนที่มีประจุไม่แสดงความเป็นบวกหรือลบที่ความเป็นกรด-ด่างทุกระดับ กล่าวคือเป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีลักษณะการดูดซับได้ทุกค่าความเป็นกรด-ด่าง เช่น sulfobetaines ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวแอมโฟเทอริกที่ขึ้นกับค่าความเป็นกรด-ด่างดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวแอมโฟเทอริก (Fujimoto, 1985)

#### 2.4.2 ลักษณะของส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกในสารลดแรงตึงผิว

ในส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกหรือส่วนที่ไม่มีขั้วของสารลดแรงตึงผิว โดยทั่วไปเป็นความยาวของสายไฮโดรคาร์บอน ทั้งโซ่ตรงหรือโซ่กิ่งอย่างไรก็ดี ยังมีโครงสร้างอื่นที่เป็นส่วนประกอบกับสายไฮโดรคาร์บอนที่แตกต่างกันไป เช่น หมู่เบนซีน อัลคิลแนฟทาลิน เรซิน หมู่พอลิซิลอกเซน ลิกนิน ซึ่งล้วนแล้วมีอิทธิพลต่อลักษณะของสารลดแรงตึงผิว

##### ความยาวของส่วนที่ไม่มีขั้ว (Length of the hydrophobic group)

เมื่อความยาวของส่วนที่ไม่มีขั้วเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การละลายในน้ำ ของสารลดแรงตึงผิว ลดลงแต่จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้เพิ่มขึ้น ทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวเกาะกันแน่น (closer packing) ที่บริเวณผิวของสารละลาย (interface) และแนวโน้มของการดูดซับหรือการสร้างไมเซลล์เพิ่มมากขึ้น

##### โครงสร้างโซ่กิ่ง ความไม่อิ่มตัว (Branching ,Unsaturated)

การมีโซ่กิ่งหรือโครงสร้างที่ไม่อิ่มตัวจะส่งผลให้เกิดการละลายในน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ได้เพิ่มมากขึ้น(เมื่อเทียบกับสายโซ่ตรง หรือโครงสร้างที่อิ่มตัว ที่มีคาร์บอนอะตอมเท่ากัน) ทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวเกาะกันอย่างหลวมๆ (looser packing) ที่พื้นผิวระหว่างเฟส อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในบริเวณที่มีโครงสร้างที่ไม่อิ่มตัว

##### แอมโรมาติก นิวเคลียส (Aromatic nucleus)

การมีส่วนประกอบของโครงสร้างเป็นพวกแอมโรมาติก นิวเคลียส จะส่งผลให้การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นบนพื้นผิวที่มีขั้ว นอกจากนี้ยังมีผลต่อค่า biodegradability ของสารลด

แรงดึงผิวจะมีค่าลดลงอีกด้วยและทำให้โมเลกุลของสารลดแรงดึงผิวเกาะกันอย่างหลวมๆ ที่พื้นผิวระหว่างเฟส

### สายโพลีออกซีโพรพิลีน (Polyoxypropylene chain)

การมีส่วนประกอบของโครงสร้างเป็นพวกโพลีออกซีโพรพิลีน จะส่งผลให้การดูดซับของสารลดแรงดึงผิวเพิ่มขึ้นบนพื้นผิวที่มีขี้ การละลายของสารลดแรงดึงผิวในสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น

### หมู่โพลีซิลอกเซน (Polysiloxane group)

การมีส่วนประกอบของโครงสร้างหมู่โพลีซิลอกเซน จะส่งผลให้แรงดึงผิวของน้ำมีค่าลดลงกว่าการมีไฮโดรคาร์บอนอยู่ทั้งโมเลกุล

### 2.4.3 การละลายของสารลดแรงดึงผิว

การละลายของสารลดแรงดึงผิวในตัวทำละลายสามารถอธิบายด้วยค่า surface excess ( $\Gamma$ ) ซึ่งคือปรากฏการณ์ที่ความเข้มข้นของสารบริเวณพื้นผิวมีมากกว่าภายในเนื้อของของเหลว ซึ่งเป็นพฤติกรรมของสารลดแรงดึงผิว โมเลกุลของสารลดแรงดึงผิวจะเคลื่อนที่จากภายในเนื้อของสารละลายไปเรียงตัวที่บริเวณพื้นผิวของสารละลาย ทำให้ความเข้มข้นของสารลดแรงดึงผิวที่บริเวณพื้นผิวมีมากกว่าภายในสารละลาย พฤติกรรมนี้ทำให้เกิดการดูดซับทางบวก (positive adsorption) ของสารลดแรงดึงผิว

ค่า surface excess คำนวณได้จากสมการของ Gibb ซึ่งเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของตัวถูกละลายและแรงดึงผิว ดังสมการที่ 2.1 (Rosen, 2004)

$$\Gamma = (-C/RT) \times (d\gamma/dC) \quad (2.1)$$

เมื่อ  $\Gamma$  = surface excess

C = ค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (mol/l)

R = ค่าคงที่ของแก๊ส ( $8.314 \times 10^7 \text{ mol}^{-1}\text{K}$ )

T = อุณหภูมิ (K)

( $d\gamma/dC$ ) = การเปลี่ยนแปลงแรงดึงผิวเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวถูกละลาย

สมการที่ 2.1 ใช้กับสารละลายเจือจางที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤต

จาก

$$\begin{aligned} dC/C &= d \ln C \\ &= 2.303 d \log C \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น

$$\Gamma = -[ 1 / (2.303 \times RT) ] \times (d \gamma / d \log C) \quad (2.2)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $\log C$  และ  $\gamma$  จะมีความชันของกราฟเท่ากับ  $-\Gamma RT$  ที่ความเข้มข้นหนึ่งๆจะ  
ได้

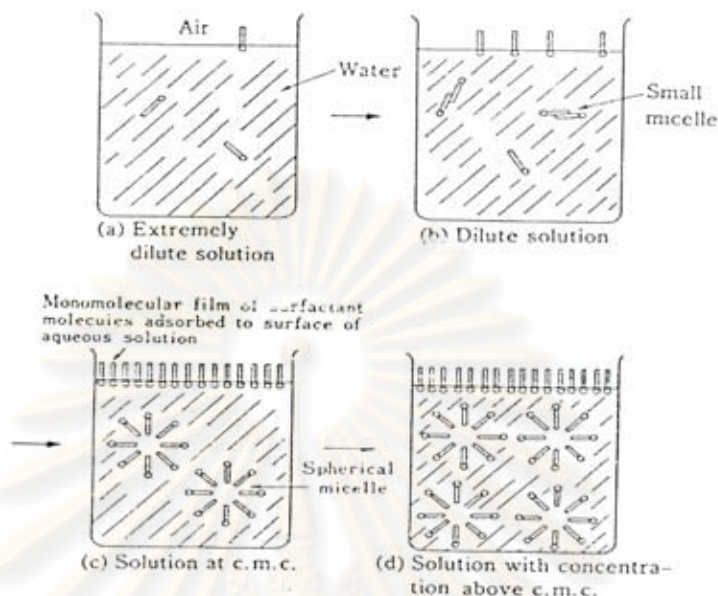
$$\Gamma = -(\text{slope}) / (2.303 \times RT) \quad (2.3)$$

จากสมการที่กล่าวมาข้างต้นจะทำให้สามารถหาค่า surface excess ของสารลดแรงตึงผิวได้

#### 2.4.4 ความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤต (Critical Micelle Concentration , CMC )

ค่าความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤตหรือ CMC คือค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดที่ทำให้โมโนเมอร์ของ  
สารลดแรงตึงผิวรวมตัวกันเป็นไมเซลล์ ในกรณีที่ใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย พฤติกรรมการสร้างไม  
เซลล์ของสารลดแรงตึงผิวสามารถอธิบายจากภาพที่ 2.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.8 กระบวนการสร้างไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว (Attwood and Florence, 1983)

กล่าวคือสารลดแรงตึงผิวที่มีความเข้มข้นต่ำ โมโนเมอร์จะไม่สามารถอยู่ระหว่างพื้นผิวของอากาศกับน้ำได้ อากาศจึงสัมผัสกับน้ำโดยตรง แรงตึงผิวของของเหลวยังคงไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แรงตึงผิวจะค่อยๆ ลดลง เนื่องจากโมโนเมอร์จะเรียงตัวโดยหันส่วนที่มีขั้วเข้าหาน้ำและส่วนที่ไม่มีขั้วเข้าหาอากาศ จนกระทั่งเปลี่ยนผิวสัมผัสจากน้ำ-อากาศเป็นสารลดแรงตึงผิว-อากาศ ซึ่งแรงตึงผิวของไฮโดรคาร์บอนจะต่ำกว่าแรงตึงผิวของน้ำ จึงทำให้แรงตึงผิวของของเหลวลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวสูงถึงความเข้มข้นหนึ่ง โมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิวภายในสารละลายจะเริ่มสร้างไมเซลล์ ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เริ่มเกิดไมเซลล์ เรียกว่า ความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤต (CMC) ที่ความเข้มข้นที่ต่ำกว่า CMC นี้ แรงตึงผิวของของเหลวจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น จนเมื่อถึง CMC เมื่อค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นค่าของแรงตึงผิวก็จะคงที่ไปตลอด เนื่องจากพื้นผิวอากาศที่สัมผัสกับน้ำหมดไป ดังนั้นที่ความเข้มข้นสูงกว่า CMC จึงมีเพียงจำนวนไมเซลล์ที่เพิ่มขึ้นเท่านั้น

ไมเซลล์ที่เกิดขึ้นแต่ละไมเซลล์จะประกอบไปด้วยโมโนเมอร์จำนวนหนึ่งที่มารวมตัวกัน จำนวนโมโนเมอร์ที่มารวมตัวกันนี้คือ ค่า aggregation number ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงขนาดของไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวนั้น โดยค่า aggregation number จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของสารลดแรงตึงผิว ชนิดตัวทำละลาย อุณหภูมิ เป็นต้น (Porter, 1994)

## 2.4.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าของCMC

ค่า CMC เป็นค่าที่มีความสำคัญของกระบวนการที่จะสามารถอธิบายกลไกของปฏิกิริยาได้เป็นอย่างดี มีหลายเหตุหลายปัจจัยที่จะส่งผลต่อค่า CMC ปัจจัยหลักได้แก่

### โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว

โดยทั่วไปปัจจัยที่มีผลทำให้สารลดแรงตึงผิวเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มหรือไมเซลล์ ในกรณีที่ใช้เป็นตัวแทนตัวทำละลาย มาจากแรงทางไฟฟ้า (electrostatic force) ซึ่งเกิดขึ้นที่ส่วนหัวหรือไฮโดรฟิลิกของสารลดแรงตึงผิว โดยจะเกิดแรงผลักรวมตัวกัน (repulsion) กันระหว่างโมโนเมอร์ เนื่องจากส่วนไฮโดรฟิลิกของสารลดแรงตึงผิวมีประจุเดียวกัน ถ้าส่วนหัวมีความเป็นขั้วมาก จะทำให้เกิดไมเซลล์ยากขึ้นด้วย ดังนั้นสารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีประจุส่วนใหญ่ค่าของ CMC จะสูงกว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ

ส่วนอีกแรงคือแรงไฮโดรโฟบิก (hydrophobic force) เกิดขึ้นบริเวณส่วนที่ไม่มีขั้วของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งจะส่งผลให้เกิดแรงดึงดูด (attractive force) ระหว่างกันที่บริเวณส่วนหางของสารลดแรงตึงผิว โดยส่วนนี้จะไม่ชอบน้ำเนื่องจากมีความเป็นขั้วอยู่ จึงพยายามที่จะมารวมตัวกัน ด้วยการดึงดูดระหว่างกัน หากลักษณะโครงสร้างของส่วนไฮโดรโฟบิก มีความยาวเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าของ CMC ลดลงด้วย นั่นคือเมื่อจำนวนคาร์บอนอะตอมของไฮโดรคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความไม่มีขั้วเพิ่มมากขึ้นจึงเกิดแรงดึงดูดระหว่างกันมากขึ้น การสร้างไมเซลล์ก็จึงเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นต่ำลง (Clint, 1992)

เมื่อส่วนของไฮโดรโฟบิกมีคาร์บอนอะตอมแบบไม่อิ่มตัว ค่า CMC จะมีค่าสูงกว่าคาร์บอนอะตอมที่มีอิ่มตัว หากส่วนของไฮโดรโฟบิกมีลักษณะเป็นโซ่กิ่ง cis isomer จะมีค่า CMC สูงกว่า trans isomer

จากงานวิจัยที่ผ่านมามีค่าของความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤต (CMC) ของทั้งสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก DTAB TTAB CTAB ซึ่งมีโครงสร้างส่วนหัวเหมือนกันแต่ต่างกันที่จำนวนอะตอมของหมู่ฮัลโลเจนในส่วนหางตามลำดับจากน้อยไปหามาก ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตึงผิวกับค่าความเข้มข้นของสารละลายลดแรงตึงผิว มีค่าเท่ากับ 13.77, 3.70 และ 0.93 มิลลิโมล (Chotipong et al., 2006) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าของ CMC ของสารทั้ง 3 ชนิด จะลดลงเมื่อความยาวของสายไฮโดรคาร์บอนหรือหมู่ฮัลโลเจนมีความยาวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดจากเมื่อสารลดแรงตึงผิวละลายในน้ำ โมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิวจะเรียงตัวโดยหัน

ส่วนที่มีขั้วเข้าหาน้ำและส่วนที่ไม่มีขั้วเข้าหาอากาศ จนกระทั่งเปลี่ยนผิวสัมผัสจากน้ำ-อากาศเป็น สารลดแรงตึงผิว-อากาศ เมื่อความเข้มข้นของ สารลดแรงตึงผิวสูงถึงความเข้มข้นหนึ่ง โมโนเมอร์ ของสารลดแรงตึงผิวภายในสารละลายจะเริ่มสร้างไมเซลล์โดยหันส่วนหัวหรือไฮโดรฟิลิกเข้าหา น้ำ ในขณะที่ส่วนหางหรือไฮโดรโฟบิกจะหันหน้าเข้าหากันเพื่อหลีกเลี่ยงความเป็นขั้วของน้ำ ไม เซลล์ที่สร้างขึ้นในส่วนไฮโดรโฟบิกของโมโนเมอร์จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างกันจากแรงแวนเดอร์ วาลส์ ในขณะที่ส่วนไฮโดรฟิลิกของโมโนเมอร์จะเกิดการผลักกันจากการมีขั้วเหมือนกันซึ่งเป็น แรงทางไฟฟ้า ดังนั้นการสร้างไมเซลล์จะเกิดขึ้นได้ยากเมื่อส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกมีความยาวน้อย เพราะแรงผลักของส่วนไฮโดรฟิลิกมีมาก โมโนเมอร์จึงหันหน้าเข้าหากันได้ยาก เมื่อสายของ หมู่อัลคิลมีความยาวมากขึ้น ก็จะเพิ่มแรงดึงดูดระหว่างกันมากขึ้นและยังไปลดแรงผลักของแต่ละ โมโนเมอร์ให้ลดลง ทำให้การสร้างไมเซลล์เป็นไปได้ง่าย จากการศึกษาหาค่า CMC จึงมีค่าลดลง เมื่อมีความยาวของหมู่อัลคิลเพิ่มขึ้นจากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น

### ผลของอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)

การเติมสารอิเล็กโทรไลต์ซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งที่จะส่งผลต่อการสร้างไมเซลล์ของสารลด แรงตึงผิวส่งผลให้ค่า CMC เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะจะส่งผลต่อสารลดแรงตึงผิวชนิดมี ประจุลบกับประจุบวกมากกว่าสารลดแรงตึงผิวแอมโฟเทอริกกับชนิดไม่มีประจุ เนื่องจากการมี ประจุของอิเล็กโทรไลต์ที่จะส่งผลให้เกิดแรงผลักหรือแรงดึงดูดระหว่างส่วนที่มีขั้วของโมโนเมอร์ ในไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว ชนิดของอิเล็กโทรไลต์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า CMC ของ สารละลายลดแรงตึงผิว จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การลดค่า CMC ของสารละลายลดแรงตึงผิว ชนิดไม่มีประจุของอิเล็กโทรไลต์ประเภทประจุลบ สามารถจัดลำดับได้ดังนี้คือ  $\frac{1}{2} \text{SO}_4^{2-} > \text{BrO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{NO}_3^- > \text{I}^- > \text{CNS}^-$  (Schick,1962; Ray, 1971) สำหรับอิเล็กโทรไลต์ประเภทประจุบวกที่ เติมลงในสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่ประจุ (POE nonionic) มีผลในการลด CMC ได้ตามลำดับดังนี้  $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Li}^+ > \frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}$  (Schick,1962; Ray, 1971) นอกจากนี้ยังพบว่า CMC ของ สารละลายลดแรงตึงผิวมีค่าลดลงเมื่อมวลโมเลกุลของอิเล็กโทรไลต์ที่มีค่าสูงขึ้นตามลำดับดังนี้  $\text{Na}_3\text{PO}_4 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaCl}$  (Pandit et al., 2000)

การลดค่า CMC จะส่งผลให้ลดปริมาณการใช้สารลดแรงตึงผิวที่เติมลงไป เนื่องจากเกิด การสร้างไมเซลล์ได้เร็วกว่าสารลดแรงตึงผิวที่บริสุทธิ์ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งแสดงร่วมกับผล ของอุณหภูมิ (Rosen, 2004)

### ผลของอุณหภูมิ

อุณหภูมิมิผลต่อการสร้าง ไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว เป็นปัจจัยที่ซับซ้อนเพราะค่าของอุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นต้องคำนึงถึงชนิดของสารลดแรงตึงผิว ภาวะความเป็นกรด-ด่าง เทอร์โมไดนามิกส์ของสารจากตารางที่ 2.2 พบว่า ค่า CMC ของสารละลายลดแรงตึงผิวบางชนิดมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ขณะที่บางชนิดมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 2.2



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบตัวอย่างของค่า CMC ของสารละลายลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเติมอิเล็กโทรไลต์ (Rosen, 2004)

สารลดแรงตึงผิว	ตัวทำละลาย	อุณหภูมิ (°C)	CMC (M)	อ้างอิง
<b>ชนิดประจุลบ</b>				
$C_{10}H_{21}SO_3^-Na^+$	H <sub>2</sub> O	10	$4.8 \times 10^{-2}$	Dahanayake, 1986
$C_{10}H_{21}SO_3^-Na^+$	H <sub>2</sub> O	25	$4.3 \times 10^{-2}$	Dahanayake, 1986
$C_{10}H_{21}SO_3^-Na^+$	H <sub>2</sub> O	40	$4.0 \times 10^{-2}$	Dahanayake, 1986
$C_{10}H_{21}SO_3^-Na^+$	0.1 M NaCl	25	$2.1 \times 10^{-2}$	Dahanayake, 1986
$C_{10}H_{21}SO_3^-Na^+$	0.5 M NaCl	40	$7.3 \times 10^{-3}$	Dahanayake, 1986
<b>ชนิดประจุบวก</b>				
$C_{14}H_{29}N^+(CH_3)_3Br^-$	H <sub>2</sub> O	40	$4.2 \times 10^{-3}$	Gorski, 2001
$C_{14}H_{29}N^+(CH_3)_3Br^-$	H <sub>2</sub> O	60	$5.5 \times 10^{-3}$	Gorski, 2001
$C_{12}H_{25}Pyr^+Cl^-$	H <sub>2</sub> O	25	$1.7 \times 10^{-2}$	Rosen, 1982b
$C_{12}H_{25}Pyr^+Cl^-$	H <sub>2</sub> O	40	$1.7 \times 10^{-2}$	Rosen, 1982b
$C_{12}H_{25}Pyr^+Cl^-$	0.1 M NaCl	25	$4.8 \times 10^{-3}$	Rosen, 1982b
$C_{12}H_{25}Pyr^+Cl^-$	0.5 M NaCl	25	$1.78 \times 10^{-3}$	Rosen, 1982b
<b>ชนิดไม่มีประจุ</b>				
$C_{12}H_{25}(OC_2H_4)_4OH$	H <sub>2</sub> O	25	$6.4 \times 10^{-5}$	Rosen, 1982a
$C_{12}H_{25}(OC_2H_4)_4OH$	H <sub>2</sub> O	40	$5.9 \times 10^{-5}$	Rosen, 1982a
<b>ชนิดแอมโฟเทอริก</b>				
$C_{10}H_{21}N^+(CH_3)(CH_2C_6H_5)CH_2COO^-$	H <sub>2</sub> O, pH 5.5-5.9	25	$5.3 \times 10^{-3}$	Dahanayake, 1984
$C_{10}H_{21}N^+(CH_3)(CH_2C_6H_5)CH_2COO^-$	H <sub>2</sub> O, pH 5.5-5.9	40	$4.4 \times 10^{-3}$	Dahanayake, 1984

## 2.5 การดูดซับของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant Adsorption)

การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวที่ระหว่างเฟสของแข็งกับของเหลวจะเกิดขึ้นจากหลายปัจจัยซึ่งล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อการดูดซับทั้งสิ้นได้แก่

1. ลักษณะหมู่ของโครงสร้างพื้นผิวของแข็งกล่าวคือ ลักษณะความมีขี้หรือไม่มีขี้ของโมเลกุล สภาพทั่วไปของอะตอม หรือการรวมกันของหมู่ต่างๆภายในเนื้อของแข็ง

2. โครงสร้างของโมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ ชนิดของประจุในส่วนที่มีขี้ของสารลดแรงตึงผิวและลักษณะของส่วนที่ไม่มีขี้ คือ ความสั้นยาวของหมู่ไฮโดรคาร์บอน รวมทั้งลักษณะของสายโซ่ คือ การเรียงตัวเป็นแบบสายโซ่ตรงหรือเป็นแบบโซ่กึ่ง

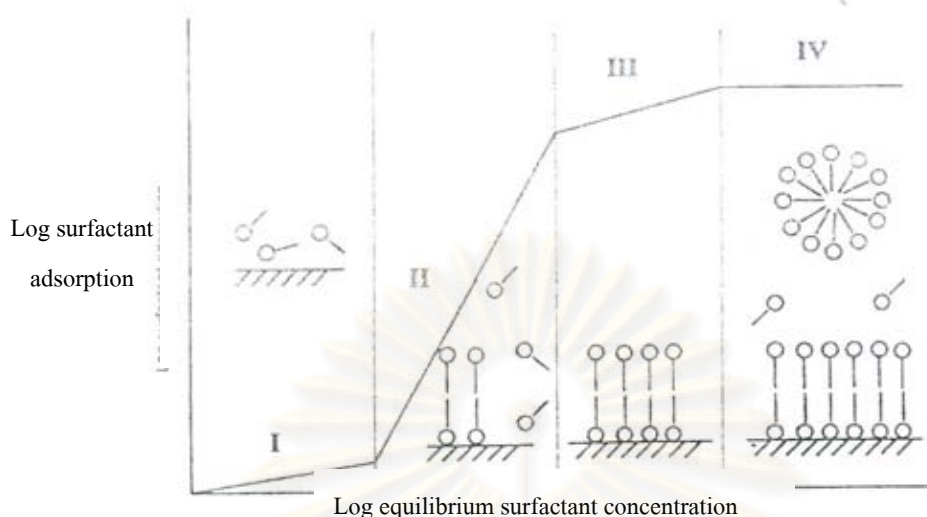
3. สภาพแวดล้อมของสารที่มาอยู่ร่วมกัน ทั้งสภาพความเป็นกรด-ด่าง การเติมสารอิเล็กโทรไลต์ หรือลักษณะของสารเติมแต่งมีความเป็นขี้มากน้อยเช่น แอลกอฮอล์ ยูเรีย เป็นต้น ภาวะของอุณหภูมิ

จากปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นล้วนแล้วแต่เป็นตัวกำหนดลักษณะกลไกการดูดซับของสารลดแรงตึงผิว ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพและผลกระทบของการดูดซับ

การดูดซับของโมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวของซับสเตรท สามารถแยกได้ 4 ขอบเขต ตัวอย่างผลของการดูดซับ เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวโซเดียมอัลเคนซัลโฟเนตหรืออัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต บนผิวของอลูมิเนียมออกไซด์ ( $Al_2O_3$ ) แสดงในภาพที่ 2.9 โดยการเขียนกราฟล็อกการิทึม ระหว่างค่าการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวกับค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นรูปตัวเอส ( S Shape)

ขอบเขตที่ 1 การดูดซับอยู่ในปริมาณน้อย เนื่องจากความหนาแน่นของโมโนเมอร์สารลดแรงตึงผิวยังน้อย ทำให้เส้นกราฟการดูดซับเกือบจะเป็นเส้นตรง

ขอบเขตที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟที่มีความชันเพิ่มขึ้น ความชันที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นสัญญาณบ่งบอกถึงแรงดึงดูดที่เป็นปฏิริยาร่วมกันระหว่างโมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิวซึ่งพยายามรวมตัวกันที่บริเวณเฟสของของแข็งกับของเหลว โดยโมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิวมีการจัดเรียงตัวเป็น 2 ชั้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เองที่เป็นจุดเริ่มต้นไปสู่กระบวนการสร้างไมเซลล์ เรียกกระบวนการนี้ที่ชื่อคล้ายคลึงกับความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤต (CMC) ว่า ความเข้มข้นแอตไมเซลล์วิกฤต (Critical Admicelle Concentration , CAC ) หรือ ความเข้มข้นเฮมิไมเซลล์ (Hemimicelle Concentration, HMC) ผลการทดลองที่เกิดขึ้นในขอบเขตนี้จะอยู่ในช่วงความเข้มข้นที่ต่ำกว่า CMC และสามารถติดตามรูปแบบของแอตไมเซลล์ที่เพิ่มขึ้นได้ที่ช่วงของขอบเขตนี้



ภาพที่ 2.9 การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวของแข็งออกไซค์ (Scaemhorn, Schechter and Wade, 1981)

ขอบเขตที่ 3 ค่าของความชันของกราฟจะมีค่าลดลง เนื่องมาจากปฏิกิริยาร่วมที่เกิดขึ้นจากแรงผลักของแอดไมเซลล์

ขอบเขตที่ 4 ค่าความชันของกราฟมีค่าคงที่ เพราะว่า พื้นผิวซับสเตรทได้อิ่มตัวด้วยแอดไมเซลล์ หรือเนื่องมาจากความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมีค่าเท่ากับค่าความเข้มข้นไมเซลล์วิกฤต จึงเป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างไมเซลล์และเป็นการสร้างแอดไมเซลล์ช่วงสุดท้าย ถ้าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นในช่วงนี้ ก็จะมีเพียงจำนวนไมเซลล์ที่เพิ่มขึ้นเท่านั้น จะไม่มีการเพิ่มขึ้นของการดูดซับอีก

## 2.6 ซีตาโพเทนเชียล (Zeta Potential)

การดูดซับบนพื้นผิวสามารถศึกษาจากค่าซีตาโพเทนเชียลได้ ค่าซีตาโพเทนเชียลเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าของพื้นผิวอนุภาคในสารละลาย เกิดขึ้นเมื่อมีการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวของอนุภาค ซึ่งส่งผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคมีการเปลี่ยนแปลงไป ทั้งแรงทางไฟฟ้า แรงแวนเดอร์วาลส์ จากค่าความเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นทำให้สามารถคาดการณ์การดูดซับโมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิวที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวอนุภาคได้เมื่อความเข้มข้นต่ำกว่าซีเอ็มซี การดูดซับที่บริเวณพื้นผิวของอนุภาค เกิดจากแรงทางไฟฟ้า โดยประจุบนส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิวจะดึงดูด

ประจุตรงกันข้ามบนพื้นผิวของของแข็ง และพยายามผลักประจุเดียวกันออก ในขณะที่แรงไฮโดรโฟบิกเกิดขึ้นที่ส่วนหางนั้นก็จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมโนเมอร์กันเองหรือกับผิวของแข็งที่ไม่มีขั้วหรือกับสารอื่นๆที่ไม่มีขั้วที่อยู่ในสารละลาย การเพิ่มจำนวนของโมโนเมอร์หรือความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวหรือจำนวนคาร์บอนอะตอมในส่วนไฮโดรโฟบิกจะมีผลต่อการดูดซับบนพื้นผิวของอนุภาคทั้งสิ้น ยังผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยส่วนที่สำคัญมากที่สุดคือส่วนของไฮโดรฟิลิก เพราะค่าซีตาโพเทนเชียลจะแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าตามการดูดซับของส่วนนี้ และยังบ่งบอกถึงปริมาณโมโนเมอร์ที่ถูกดูดซับที่พื้นผิวอนุภาคอีกด้วย

ค่าของความเป็นกรด-ด่างของสารละลายก็ส่งผลให้กับค่าซีตาโพเทนเชียลเช่นกัน กล่าวคือเมื่ออนุภาคอยู่ในภาวะของความเป็นกรด-ด่างหนึ่งๆ โดยที่ไม่มีสารอื่นมาผสม อนุภาคจะดูดซับขั้วของกรด-ด่างนั้นเอาไว้ ส่งผลให้เกิดค่าศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้นและค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ทำให้อนุภาคมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์เรียกว่า Point of Zero Charge (PZC) ตัวอย่างงานวิจัย (Chotipong et al., 2007) จากการหาค่า PZC ของหมึกพิมพ์ชนิดใช้ตัวทำละลายของพลาสติกโพลีเอธิลีน มีค่า PZC เท่ากับ 3.3 ซึ่งบ่งบอกว่า ถ้าสารละลายใดมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 3.3 อนุภาคนั้นมีค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก ในทางตรงกันข้ามถ้าสารละลายใดมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 3.3 อนุภาคนั้นมีค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ

## 2.7 สภาพการละลาย (Solubilization)

คุณสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญต่อสารลดแรงตึงผิวคือสภาพการละลาย สภาพการละลายจะบ่งบอกถึงความเป็นเนื้อเดียวกันของสาร และเกิดขึ้นเมื่อสารที่ต้องการให้เกิดการละลาย ละลายในไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งสารที่เข้ามาอยู่ภายในไมเซลล์เรียกว่า Solubilizate โดยจะเกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมีค่าสูงกว่า CMC เนื่องจากที่สภาวะนี้มีการจัดเรียงตัวของไมเซลล์ในสารละลายซึ่งทำให้ส่วนประกอบของสารบางส่วนสามารถละลายเข้าไปในไมเซลล์ได้ จำนวนของ Solubilizate จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมากขึ้น ซึ่งความสามารถของการละลายจะบ่งบอกถึงคุณลักษณะที่เหมาะสมของสารลดแรงตึงผิวที่ควรใช้ในการกำจัดสารที่ไม่ต้องการออกจากพื้นผิวของแข็งที่ต้องการได้ ดังนั้นทั้งชนิดของสารลดแรงตึงผิวและ Solubilizate เป็นตัวแปรสำคัญในการควบคุมสภาพการละลาย

## 2.7.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาพการละลาย

### โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว

โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวในส่วนของไฮโดรโฟบิก หรือความยาวของสายไฮโดรคาร์บอนอะตอม จะส่งผลต่อความลึกของชั้นภายใน (palisade layer) ของไมเซลล์ เมื่อจำนวนคาร์บอนอะตอมในสายโซ่มีจำนวนมากขึ้น ทำให้ไมเซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้น ความจุของช่องภายในไมเซลล์จึงเพิ่มขึ้นเช่นกัน นั่นก็คือเส้นผ่านศูนย์กลางของไมเซลล์มีขนาดเพิ่มขึ้นและผลรวมของโมโนเมอร์ในหนึ่งไมเซลล์ (aggregation number) เพิ่มขึ้น และในส่วนของไฮโดรฟิลิกซึ่งเป็นส่วนที่ดึงดูดประจุที่ต่างกันและผลึกประจุที่เหมือนกันในสภาพการละลายก็มีผลต่อการละลายเช่นกัน

### โครงสร้างของ Solubilizate

โครงสร้างของ Solubilizate เป็นปัจจัยสำคัญเช่นเดียวกับสารลดแรงตึงผิวเช่นกันเพราะโครงสร้างของ Solubilizate จะถูกดึงดูดหรือผลึกประจุ หรือการละลายในชั้นของ palisade layer ของไมเซลล์สารลดแรงตึงผิว ล้วนแล้วแต่เป็นผลมาจาก Solubilizate ทั้งสิ้น การทำงานของสภาพการละลายจึงต้องทราบคุณลักษณะ Solubilizate ด้วย ซึ่ง Solubilizate เป็นได้ทั้งสารที่มีประจุหรือสารที่ไม่มีประจุ สารที่มีขั้วหรือไม่มีขั้ว สิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อการละลายของ Solubilizate ในไมเซลล์ ยกตัวอย่างจากการศึกษาการละลายของสารพวกแอมฟิฟิลิก เฮมิไซยานิน (amphiphilic hemicyanine) ในสารละลายลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก CTAB โครงสร้างส่วนที่เป็นวงแโรมาติก (aromatic) และสายไดอัลคิล (dialkyl) จะอยู่ภายใน palisade layer ของไมเซลล์ของ CTAB ในขณะที่ส่วนของกลุ่มซัลโฟเนต (sulfonate) ซึ่งมีประจุลบ จะถูกดึงดูดโดยประจุบวกด้านไฮโดรฟิลิกของไมเซลล์ CTAB ซึ่งอยู่ด้านนอก palisade layer ของไมเซลล์ (Shan et al., 1997) ส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการละลายของหมึกที่ใช้พิมพ์บนพื้นผิวพลาสติกโพลีเอทิลีนในไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก CTAB ที่ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 ซึ่งหมึกมีโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นอีพอกซี วงแโรมาติก และหมู่อัลคิล โดยที่อีพอกซีแสดงอำนาจประจุลบจากการเติมด่างลงไป จะถูกดึงดูดด้วยโมโนเมอร์ของ CTAB ในด้านไฮโดรฟิลิก ซึ่งอยู่ด้านนอก palisade layer ของไมเซลล์ ส่วนวงแโรมาติกและหมู่อัลคิลจะละลายอยู่ด้านใน ส่วนไฮโดรโฟบิกของโมโนเมอร์ในไมเซลล์ (Chotipong et al., 2006)

### ผลของอิเล็กโทรไลต์

การเติมอิเล็กโทรไลต์เพียงเล็กน้อยเป็นการทำให้ค่าการสร้างไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวเกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อการสร้างไมเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพการละลายก็เกิดการเปลี่ยนแปลงด้วย สารอิเล็กโทรไลต์ที่เติมลงไปนั้นทำให้ความนำไฟฟ้าของสารละลายมีค่าเพิ่มมากขึ้น ประจุอิเล็กโทรไลต์มีความเป็นขั้ว จึงมีอิทธิพลต่อสารลดแรงตึงผิวและ Solubilizate เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวมีทั้งส่วนที่มีขั้วและส่วนที่ไม่มีขั้ว ส่วนที่มีขั้วก็จะเกิดแรงดึงดูดและแรงผลัก ในส่วนที่ไม่มีขั้วก็จะไม่ชอบโมเลกุลของอิเล็กโทรไลต์ค่าของความจุ ผลรวมโมโนเมอร์ในหนึ่งไมเซลล์ก็เกิดการเปลี่ยนแปลงไป ส่วน Solubilizate ซึ่งมีทั้งส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ก็มีลักษณะเช่นเดียวกันกับสารลดแรงตึงผิว ซึ่งสภาพการละลายจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณของสารอิเล็กโทรไลต์ที่นำมาเติมนั่นเอง (Rosen, 2004)

### ผลของอุณหภูมิ

อุณหภูมิของสารละลายมีผลต่อสภาพการละลายภายในไมเซลล์ของ Solubilizate เป็นที่ทราบกันดีว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสาร ย่อมทำให้ตัวถูกละลายละลายดียิ่งขึ้น เนื่องจากการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับระบบ อนุภาคจึงเคลื่อนที่ได้ดี การละลายจึงเพิ่มมากขึ้น แต่สำหรับการละลายของสารลดแรงตึงผิวไม่ได้มีแนวโน้มดังที่กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะมีความเหมาะสมต่อการสร้างไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวได้แตกต่างกันไป สารลดแรงตึงผิวบางชนิดเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้การละลายของ Solubilizate เพิ่มขึ้นทั้งส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ทั้งนี้เพราะความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้พื้นที่ของไมเซลล์มีค่าเพิ่มมากขึ้น สารลดแรงตึงผิวบางชนิดเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสภาพการละลายก็ลดลง เนื่องจากการสร้างไมเซลล์เป็นไปได้ยาก เมื่อไม่เกิดไมเซลล์การละลายก็เกิดขึ้นไม่ได้ เพราะฉะนั้นสภาพการละลายของสารเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจึงเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ต้องพิจารณาความเหมาะสมในหลายๆปัจจัย ทั้งชนิดของสารลดแรงตึงผิว ชนิดของ Solubilizate ภาวะของความเป็นกรด-ด่าง เช่นจากงานวิจัยที่ผ่านมา เมื่อนำสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก คือ CnTAB ไปละลายหมึกที่มีอ็อกซีเจนเป็นตัวประสาน พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลาย สภาพการละลายลดลง (Chotipong et al., 2007) อีกรงานวิจัยคือสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุประเภท POE เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ สภาพการละลายของ Solubilizate จะเพิ่มขึ้น เป็นต้น (Rosen, 2004)

จากปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น ทั้งโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว โครงสร้างของ Solubilize การเติมอิเล็กโทรไลต์ ผลของอุณหภูมิ ล้วนแล้วมีอิทธิพลต่อสภาพการละลายทั้งสิ้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อสภาพการละลาย เช่น ผลของการเติมสาร โมโนเมอร์ ผลการเติมสารพอลิเมอร์ ไฮโดรโทรปี เป็นต้น ซึ่งจะไม่ขอกล่าวถึงในงานวิจัยนี้

## 2.8 กลไกกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกของสารลดแรงตึงผิว (Mechanism of the Cleaning Process)

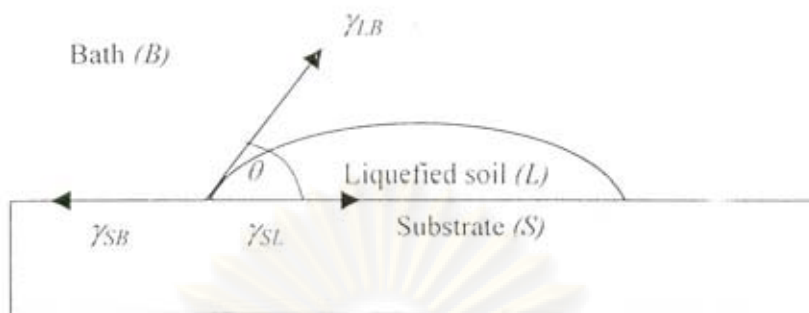
กระบวนการทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก โดยการประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวนั้น ก็เพื่อช่วยกำจัดสารปนเปื้อนออกจากพื้นผิว โดยทั่วไปการทำความสะอาดอธิบายด้วยกระบวนการหลัก 2 กระบวนการ คือ การกำจัดสิ่งสกปรก (ดิน หมัก) จากซับสเตรท (พื้นผิววัสดุที่มีคราบสกปรก) และ ลักษณะสารที่แขวนลอยของสิ่งสกปรกออกมาแล้วในสารละลาย หรือสภาพการละลายนั่นเอง ซึ่งจะป้องกันไม่ทำให้สิ่งสกปรกมาเกาะติดอีก (Rosen, 2004)

### 2.8.1 การกำจัดสิ่งสกปรกจากซับสเตรท (Removal of soil from substrate)

กลไกการกำจัดสิ่งสกปรกในสารละลายขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้างของสิ่งสกปรกนั้น

#### 2.8.1.1 สิ่งสกปรกเหลว (liquefaction soil)

กระบวนการเริ่มต้นของการกำจัดสิ่งสกปรก เริ่มต้นจากสิ่งสกปรกที่อยู่ในสถานะเหลว ถูกซึมซับโดยซับสเตรท ด้วยแรงการยึดติด ทั้งแรงทางไฟฟ้า แรงแวนเดอร์วาลส์ ชนิดของสิ่งสกปรกนี้เองที่เป็นกุญแจสำคัญในการที่จะเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีความเหมาะสมกับกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรก นอกจากนี้ยังขึ้นกับสารเติมแต่งอื่นๆ อุณหภูมิ ซึ่งล้วนแล้วแต่ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของสิ่งสกปรกในลักษณะ roll-back หรือ roll-up ทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกจากซับสเตรทไปได้ ซึ่งสามารถอธิบายกลไกของการกำจัดได้โดย ค่านุมสัมผัส (contact angle) โดยที่สารลดแรงตึงผิวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแรงตึงผิวของผิวทั้ง 3 เฟส คือแรงตึงผิวระหว่างซับสเตรทกับสารละลายลดแรงตึงผิวในสถานะ แรงตึงผิวระหว่างสิ่งสกปรกเหลวกับสารละลายลดแรงตึงผิวในสถานะและแรงตึงผิวระหว่างสิ่งสกปรกเหลวกับซับสเตรท ทำให้ค่านุมสัมผัสนี้เพิ่มขึ้นจนสิ่งสกปรกหลุดออกไปได้



ภาพที่ 2.10 ค่ามุมสัมผัสที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ของแรงตึงผิวในแต่ละเฟส (Rosen,2004)

จากภาพที่ 2.10 อธิบายถึงลักษณะของการเกาะติดของสิ่งสกปรกที่อยู่บนพื้นผิวขั้วสเตอรท ซึ่งงานของการยึดติด(work of adhesion)ของสิ่งสกปรกกับพื้นผิวขั้วสเตอรทมีความสัมพันธ์ตาม สมการ 2.4 (Rosen, 2004)

$$W = \gamma_{SB} + \gamma_{LB} - \gamma_{SL} \quad (2.4)$$

$$= \gamma_{LB} (\cos \theta + 1) \quad (2.5)$$

ซึ่งมุมสัมผัสมีความสัมพันธ์กับค่าแรงตึงผิวตามสมการที่ 2.6

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SB} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LB}} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $W_a$  คือ งานของการยึดติด (work of adhesion)

$\gamma_{SB}$  คือ แรงตึงผิวระหว่างขั้วสเตอรทกับสารละลายลดแรงตึงผิวในสถานะ

$\gamma_{LB}$  คือ แรงตึงผิวระหว่างสิ่งสกปรกเหลวกับสารละลายลดแรงตึงผิวในสถานะ

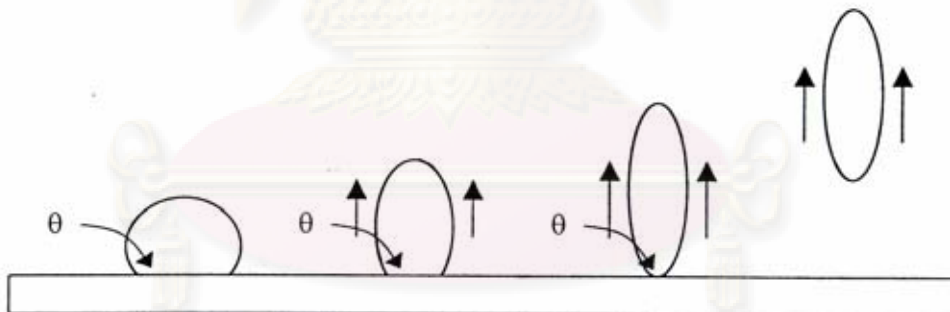
$\gamma_{SL}$  คือ แรงตึงผิวระหว่างสิ่งสกปรกเหลวกับขั้วสเตอรท

$\theta$  คือ มุมสัมผัสที่เกิดขึ้นระหว่างสิ่งสกปรกกับขั้วสเตอรท

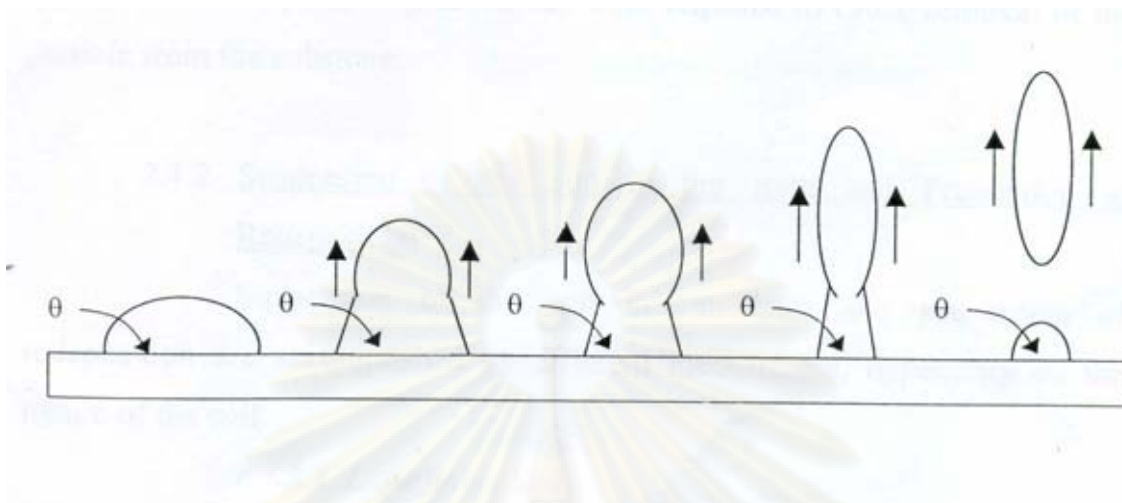


เมื่อสารลดแรงตึงผิวอยู่ในสถานะที่เหมาะสมเมื่อระบบทั้งหมดอยู่ในสถานะ ซึ่งการดูดซับของสารต่างๆจะเกิดขึ้นที่บริเวณ ชั้นสเตรทกับสารในสถานะ(SB)และสิ่งสกปรกเหลวกับสารละลายลดแรงตึงผิวในสถานะ (SL) ซึ่งภายในของโครงสร้างของการกำจัดสิ่งสกปรกออกจากชั้นสเตรทก็เป็นผลมาจากกลุ่มสารพวกไฮโดรฟิลิก ซึ่งจะปลดค่าแรงตึงผิวของ  $\gamma_{SB}$  และ  $\gamma_{LB}$  ก็จะทำให้การกำจัดสิ่งสกปรกหลุดออกจากชั้นสเตรทไปได้ การลดค่าของ  $\gamma_{SB}$  เกิดจากค่าของ  $\cos \theta$  ที่ลดลงหรือค่า  $\theta$  เพิ่มมากขึ้นนั่นเอง จึงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของสิ่งสกปรกเหลวแบบ roll-back จนในที่สุดสิ่งสกปรกเหลวหลุดออกไปได้

ถ้าค่ามุมสัมผัสของกระบวนการมีค่า  $180^\circ$  แสดงว่าสิ่งสกปรกไม่มีความเปียกคือไม่มีการยึดติดของสิ่งสกปรกอยู่เลยบนพื้นผิวชั้นสเตรท ถ้าค่ามุมสัมผัสน้อยกว่า  $180^\circ$  แต่มากกว่า  $90^\circ$  สิ่งสกปรกจะเริ่มไม่มีความสามารถในการเปียก คือการยึดติดกับชั้นสเตรทจะมีแรงยึดเกาะระหว่างกันน้อย ซึ่งสามารถกำจัดสิ่งสกปรกออกได้ง่าย ตามภาพที่ 2.11 เมื่อค่ามุมสัมผัสน้อยกว่า  $90^\circ$  สิ่งสกปรกเริ่มมีความสามารถในการเปียกคือการยึดเกาะกับชั้นสเตรทจะมีแรงยึดเกาะระหว่างกันมาก ทำให้การกำจัดสิ่งสกปรกหลุดออกมาได้ยาก หรือหลงเหลืออยู่ที่ผิวชั้นสเตรท ตามภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.11 การกำจัดสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิวชั้นสเตรทเมื่อมีค่ามุมสัมผัสที่  $\theta > 90^\circ$  ซึ่งกำจัดได้อย่างสมบูรณ์ (Rosen, 2004)



ภาพที่ 2.12 การกำจัดสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิวขั้วสเตอทเมื่อมีค่ามุมสัมผัสที่  $\theta < 90^\circ$  ซึ่งกำจัดได้ไม่สมบูรณ์ (Rosen, 2004)

### 2.8.1.2 สิ่งสกปรกของแข็ง (particulate soil)

การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวส่งผลให้อนุภาคของสิ่งสกปรกที่เป็นของแข็งลดลง เช่นเดียวกับสิ่งสกปรกเหลว การกำจัดสิ่งสกปรกที่เป็นของแข็งอาศัยการอธิบายของพลังงานอิสระต่างๆที่อยู่ในสารละลายต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ความสัมพันธ์ของการกำจัดสิ่งสกปรกแสดงด้วยสมการ 2.7

$$W_a = \gamma_{SB} + \gamma_{PB} + \gamma_{PL} \quad (2.7)$$

เมื่อ  $W_a$  คือ งานของการยึดติด (work of adhesion)

$\gamma_{SB}$  คือ แรงตึงผิวระหว่างขั้วสเตอทกับสารละลายลดแรงตึงผิวในสถานะ

$\gamma_{PB}$  คือ แรงตึงผิวระหว่างสิ่งสกปรกของแข็งกับสารละลายลดแรงตึงผิวในสถานะ

$\gamma_{PL}$  คือ แรงตึงผิวระหว่างสิ่งสกปรกของแข็งกับขั้วสเตอท

การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวจะไปลดค่าของแรงตึงผิวระหว่างเฟส และ ผลที่เกิดขึ้นจึงไปลดค่าของงานของการยึดติด จนสิ่งสกปรกของแข็งหลุดออกจากพื้นผิวซับสเตรท

## 2.8.2 ลักษณะสารแขวนลอยของสิ่งสกปรกและการป้องกันตะกอนมาเกาะกับซับสเตรท (Suspension of the soil in the bath and prevention of redeposition)

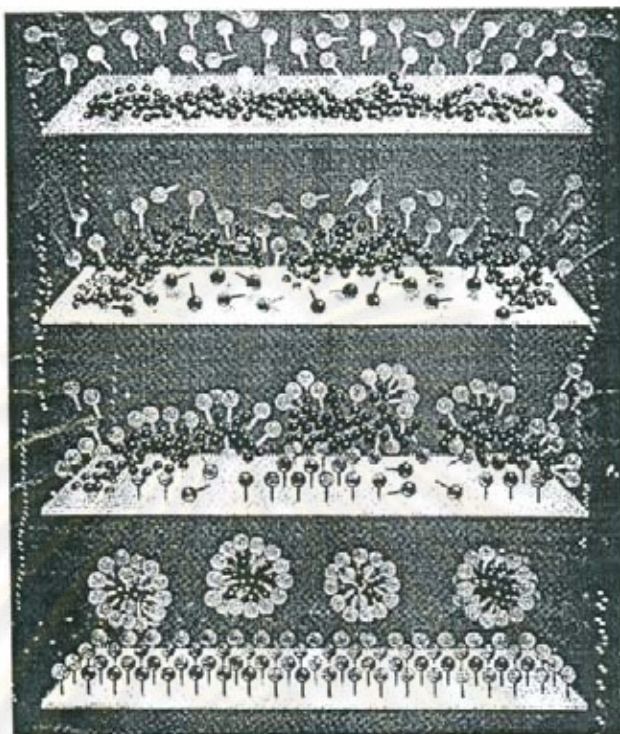
หลังจากการกำจัดสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิวซับสเตรทแล้ว จะเกิดสารแขวนลอยหรือสภาพการละลายของสิ่งสกปรกนั่นเอง ซึ่งกลไกของการละลายแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของสิ่งสกปรก และสารที่มีอยู่ภายในภาชนะ

### 2.8.2.1 สิ่งสกปรกเหลว (liquefaction soil)

สภาพการละลาย(solubilization)เป็นปัจจัยหลักที่สามารถอธิบายกลไกและลักษณะสารแขวนลอยของสิ่งสกปรกได้เป็นอย่างดี (Rosen, 2004) ซึ่งลักษณะความสามารถของการละลายอธิบายตามภาพที่ 2.13 เมื่อมีสิ่งปรกเกาะที่บริเวณผิวซับสเตรทและเมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวลงไป โมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิวจะดูดซับสิ่งสกปรกและเข้าแทนที่สิ่งสกปรกบริเวณผิวซับสเตรท จากนั้นสิ่งสกปรกจะไปรวมตัวกับสารลดแรงตึงผิว ซึ่งสิ่งปรกเหล่านั้นจะเข้าไปอยู่ในช่องว่างของไมเซลล์ แพร่กระจายอยู่ในสารละลาย สิ่งสกปรกก็จะไม่ตกตะกอนกลับมาดูดซับที่บริเวณพื้นผิวซับสเตรทอีก (Borchardt, 1994)

ปัจจัยของการละลายของสิ่งสกปรกเหลวขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยทั้งโครงสร้างทางเคมีของสารลดแรงตึงผิว ความเข้มข้นของสาร และอุณหภูมิ ที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวต่ำจะส่งผลให้การดูดซับสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิวซับสเตรทได้เพียงเล็กน้อย ในขณะที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวสูงจะส่งผลให้สิ่งสกปรกสามารถหลุดออกได้จำนวนมากเพราะสามารถสร้างไมเซลล์ได้เป็นอย่างดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.13 กลไกสภาพการละลายในการกำจัดสิ่งสกปรกและการกระจายตัว (Baler, 1998)

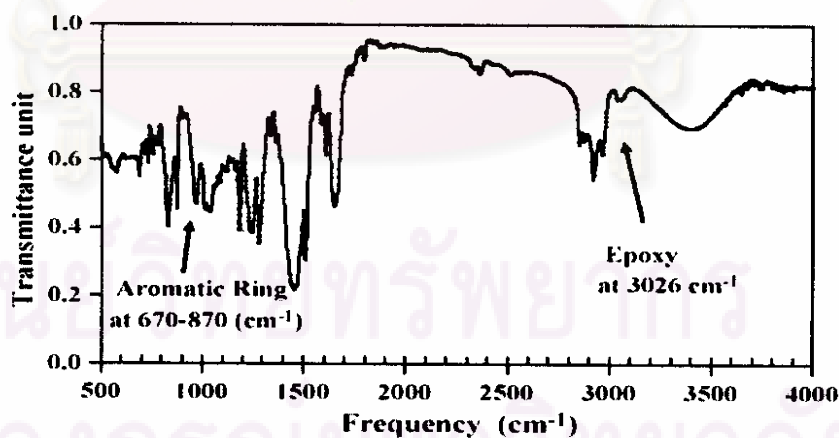
#### 2.8.2.2 สิ่งสกปรกของแข็ง (particulate soil)

ลักษณะของอนุภาคที่อยู่ในสารละลาย มีทั้งสภาพที่นำไฟฟ้าและอนุภาคที่เป็นอุปสรรคต่อกลไกการกำจัดสิ่งสกปรก ส่งผลต่อการละลายของสิ่งสกปรกที่เป็นของแข็งในสารละลาย ซึ่งการดูดซับของการละลายของสิ่งสกปรกที่เป็นของแข็งก็มีลักษณะเช่นเดียวกับสิ่งสกปรกเหลว

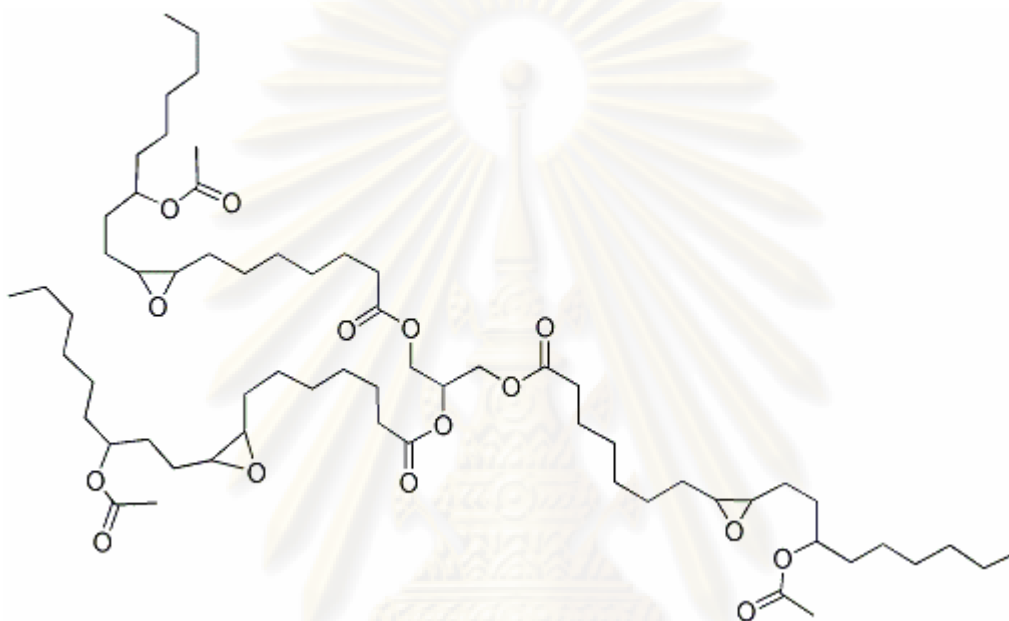
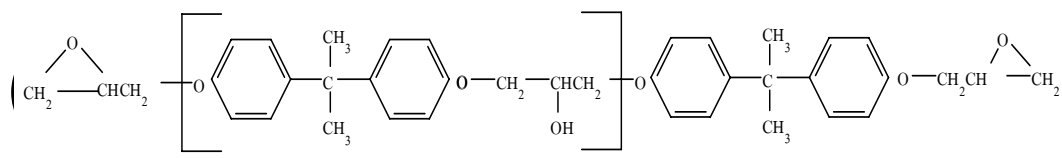
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.9 กลไกกระบวนการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติกของสารลดแรงตึงผิว (Mechanism of the Deinking Process)

การใช้สารลดแรงตึงผิวในการกำจัดหมึกชนิดใช้ตัวทำละลายออกจากพื้นผิวพลาสติก มีกลไกในการกำจัดหลายขั้นตอน ปัจจัยที่สำคัญที่จะทำให้ทราบถึงกระบวนการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกที่นอกเหนือจากองค์ประกอบของสารละลาย คือ โครงสร้างของหมึกนั่นเอง หมึกที่นำมาพิมพ์ลงบนพื้นผิวพลาสติกส่วนใหญ่เป็นหมึกประเภทชนิดที่ใช้ตัวทำละลาย (solvent-based ink) หมึกมีองค์ประกอบทั้ง วัสดุสี (pigment) ตัวประสาน (binder) สารลำเลียง (carrier) หรือตัวทำละลาย และสารเติมแต่ง (additive) ซึ่งองค์ประกอบหลักและเป็นปัจจัยสำคัญของกระบวนการคือ ตัวประสาน ซึ่งทำหน้าที่ในการยึดเกาะตัววัสดุสีให้อยู่บนพลาสติกหลังจากการพิมพ์ ตัวประสานของหมึกพิมพ์เป็นพอลิเมอร์เรซินกระจายตัวอยู่กับวัสดุสีเป็นสารพวก อีพอกซีเรซิน จากการศึกษาโครงสร้างของหมึกที่พิมพ์บนพลาสติกโพลีเอทิลีนด้วย Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) (Chotipong et al., 2007) ดังภาพที่ 2.14 พบว่าในช่วงค่าความถี่ 3050 ถึง 2990  $\text{cm}^{-1}$  จะมีเส้นกราฟที่มีจุดสูงสุด (peak) ของ weak C-H ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีกลุ่มสารอีพอกซี (epoxy group) อยู่ อีพอกซีเรซินมีสูตรโครงสร้างหลายรูปแบบ แต่ส่วนประกอบที่แสดงความเป็นสารอีพอกซีคือส่วนของอีพอกไซด์ ดังภาพที่ 2.15

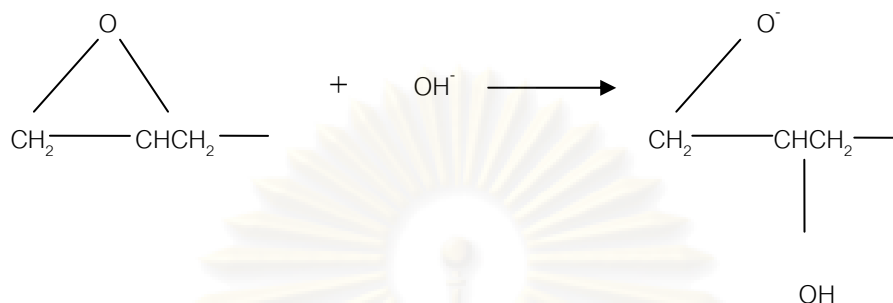


ภาพที่ 2.14 Fourier Transform Infrared Spectrophotometer ของหมึกบนพื้นผิวพลาสติกโพลีเอทิลีน (Chotipong et al., 2007)

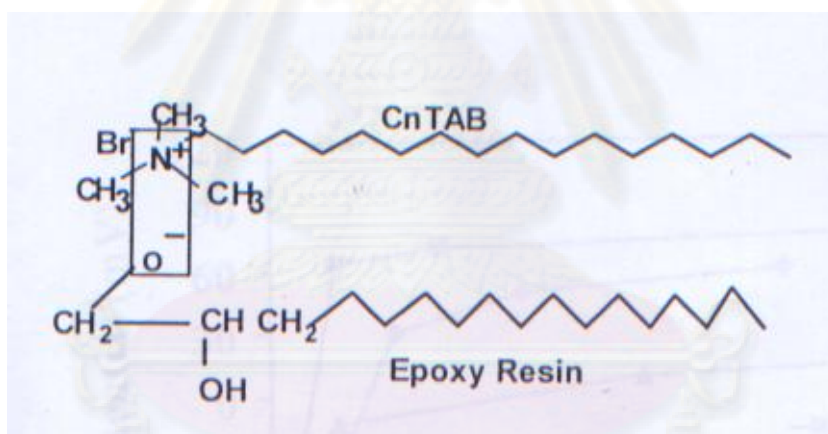


ภาพที่ 2.15 ตัวอย่าง โครงสร้างทางเคมีของอีพอกซีเรซิน (O dian, 1991)

จากโครงสร้างของหมึกที่มีทั้ง วงเบนซีน หมู่อัลคิล และวงอีพอกไซด์ ซึ่งโครงสร้างของวงอีพอกไซด์เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกได้ กล่าวคือ จากผลการทดลองของการกำจัดหมึกโดยใช้สารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด (DTAB,TTAB,CTAB) จะเห็นได้ว่าต้องใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงที่ระดับ 12 โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปในระบบ เมื่อโซเดียมไฮดรอกไซด์แตกตัวในสารละลายเป็น ไฮดรอกไซด์ไอออนจะเข้าทำปฏิกิริยาการเติมด้วยประจุลบ (nucleophilic addition) ที่บริเวณวงอีพอกไซด์ จะเกิดการเปิดวง (ring opening reaction) ออกและถูกแทนที่ด้วย หมูไฮดรอกไซด์ไอออน ทำให้เกิดเป็นประจุลบ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังภาพที่ 2.16 เมื่ออีพอกซีเรซินแสดงอำนาจประจุลบ ก็จะเกิดแรงทางไฟฟ้ากับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.16 แสดงปฏิกิริยาการเปิดวงของอีพอกซีเรซิน โดยไฮดรอกไซด์ไอออน (O dian, 1991)



ภาพที่ 2.17 แรงทางไฟฟ้าระหว่างประจุบวกที่ส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิว CnTAB และ ประจุลบของโมเลกุลอีพอกซีในหมึก (Chotipong et al, 2006)

ลักษณะของการเข้าคู่กันระหว่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกที่ส่วนหัวของโมโนเมอร์ CnTAB และส่วนที่เป็นประจุลบของหมึก การดูดซับที่เกิดขึ้นทำให้อนุภาคของหมึกมีค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นไปในทางบวกเมื่อมีโมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาหมึกที่เคลือบอยู่บนพื้นผิว ในแต่ละโมเลกุลของหมึกส่วนใหญ่จะเกิดเป็นประจุลบ ในขณะที่เดียวกันก็จะมีบางโมเลกุลที่ไม่ได้เกิดเป็นประจุลบ จากการไม่ได้ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกไซด์ไอออน เมื่อส่วนหัว

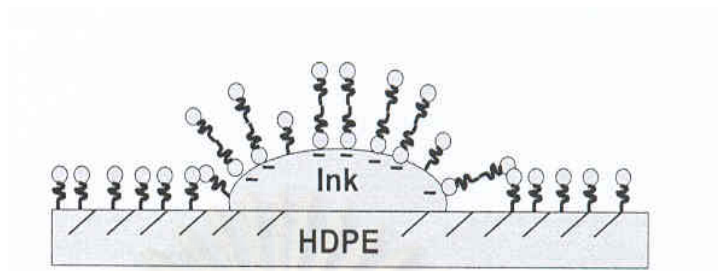
โมนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกมาพบกับหมึกที่มีอำนาจประจุลบก็จะเกิดแรงทางไฟฟ้าดึงดูดระหว่างกัน ในขณะที่บริเวณที่แสดงความไม่มีขั้ว คือพื้นผิวพลาสติกที่ไม่มีหมึกเคลือบอยู่ และ ผิวหมึกที่ไม่แสดงประจุลบ โมนเมอร์จะหันส่วนหางที่ยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์เข้าหาบริเวณนั้น โมนเมอร์ที่ดึงดูดกับประจุลบของหมึกแล้วนั้นจะหันส่วนหางออกมา โมนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิวอีกโมนเมอร์หนึ่งก็จะหันส่วนหางเข้าหาโมนเมอร์ที่ดึงดูดกับหมึกแล้วนั้นจนเกิดเป็นลักษณะของโมนเมอร์สองชั้น ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าซีตาโพเทนเชียลและเป็นการเพิ่มแรงทางไฟฟ้า กล่าวคือ แรงทางไฟฟ้าระหว่างโมนเมอร์ที่เกาะอยู่กับพื้นผิวของหมึก กับ โมนเมอร์ที่เกาะอยู่บนพื้นผิวพลาสติกเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิด แรงผลักระหว่างส่วนหัวของโมนเมอร์ด้วยกันเอง ประกอบกับความไม่ชอบความเป็นขั้วของส่วนที่ไม่มีขั้วของทั้งพลาสติกและส่วนหางของโมนเมอร์สารลดแรงตึงผิว มุมสัมผัสระหว่างหมึกกับพลาสติกมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยมีค่ามากกว่า 90 องศาทำให้หมึกที่ยึดติดกับผิวพลาสติกเกิดการชะล้าง (detachment) หลุดออกไปได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมา กลไกการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติกโพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูงโดยใช้สารลดแรงตึงผิว (Chotipong et al., 2006) อธิบายได้โดยภาพที่ 2.18 ซึ่งมี 4 ขั้นตอน ได้แก่

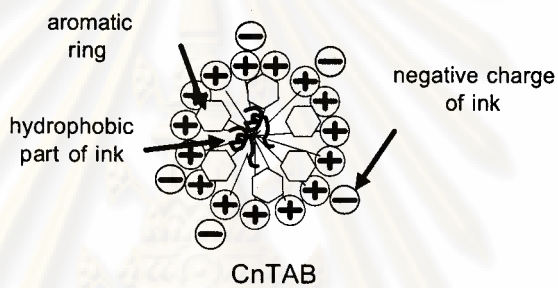
1. การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกที่บริเวณพื้นผิวบนแผ่นพลาสติก โดยพิจารณาทั้งบริเวณพื้นผิวพลาสติกที่มีหมึกและไม่มีหมึกเคลือบอยู่ โดยจะหันส่วนไฮโดรฟิลิกเข้าหาส่วนที่มีขั้ว หันส่วนไฮโดรโฟบิกเข้าหาส่วนที่ไม่มีขั้ว
2. การละลายของหมึกในไมเซลล์ ส่วนที่มีขั้วของหมึกจะดึงดูดที่ส่วนไฮโดรฟิลิกของสารลดแรงตึงผิว ส่วนที่ไม่มีขั้วของหมึกจะละลายภายในส่วนไฮโดรโฟบิกของไมเซลล์
3. การชะล้างหมึกของสารละลายลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวพลาสติก ซึ่งเป็นผลมาจากแรงทางไฟฟ้าที่ทำให้หมึกหลุดออกไปได้
4. สภาพการกระจายตัวของผงหมึกหลังจากการชะล้างหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติก ซึ่งเป็นสภาพทางไฟฟ้าที่มีความคงที่แล้ว และหมึกไม่สามารถมารวมตัวกันได้อีกหรือมาเกาะที่พื้นผิวพลาสติกได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

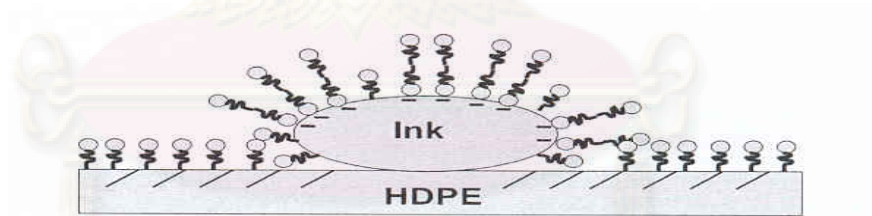




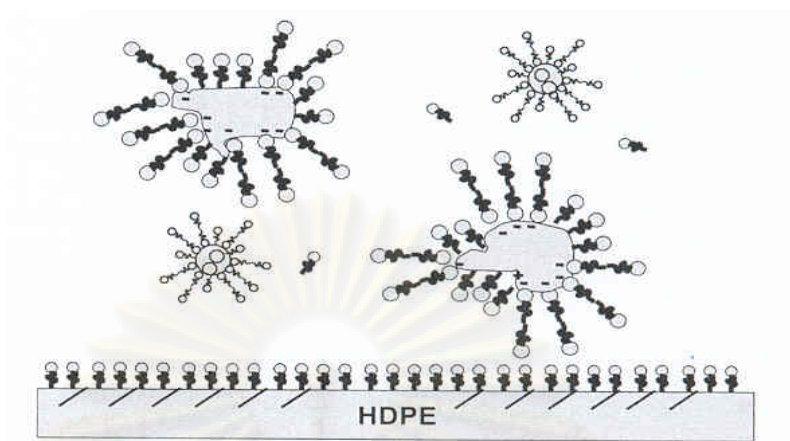
1. การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกที่บริเวณพื้นผิวบนแผ่นพลาสติก



2. การละลายของหมึกในไมเซลล์



3. การชะล้างหมึกของสารละลายลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวพลาสติก



#### 4. สภาพการกระจายตัวของผงหมึกหลังจากการชะล้างหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติก

ภาพที่ 2.18 กลไกการใช้สารลดแรงตึงผิวในการกำจัดหมึกชนิดใช้ตัวทำละลายบนพื้นผิวพลาสติก โพลีเอธิลีน (Chotipong et al., 2006)

#### 2.10 ระบบของสารลดแรงตึงผิวที่ผสมกัน (Mixed Surfactant System)

การศึกษาของระบบของสารลดแรงตึงผิวที่ผสมกันนั้น มีทฤษฎีในการศึกษาเป็นจำนวนมากทั้งในประเด็นของ เทอร์โมไดนามิกส์ การดูดซับ การสร้างไมเซลล์ เป็นต้น โดยทั่วไปปฏิกิริยาระหว่างสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิดที่ผสมกันนั้น จะเกิดการรวมตัวกันหรือแยกตัวออกจากกันขึ้นอยู่กับชนิดของสารลดแรงตึงผิวนั้นๆ ซึ่งการนำสารลดแรงตึงผิวสองชนิดมาผสมกันจะเกิดความซับซ้อนของระบบมากกว่าระบบของสารลดแรงตึงผิวเพียงชนิดเดียว การทำความเข้าใจจึงต้องอาศัยการอธิบายจากการทดลองที่ได้มีการศึกษามา

เมื่อพิจารณาค่า CMC ในสารละลายลดแรงตึงผิวที่ผสมกัน สามารถหาค่าของ CMC ที่ผสมกันได้จากความสัมพันธ์ตามสมการ 2.8 (Porter, 1994)

$$\frac{1}{\text{CMC}_{12}} = \frac{\alpha}{\text{CMC}_1} + \frac{(1-\alpha)}{\text{CMC}_2} \quad (2.8)$$

เมื่อ  $CMC_{12}$  คือ ค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวสองชนิดที่ผสมกัน

$CMC_1$  คือ ค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวชนิดที่ 1

$CMC_2$  คือ ค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวชนิดที่ 2

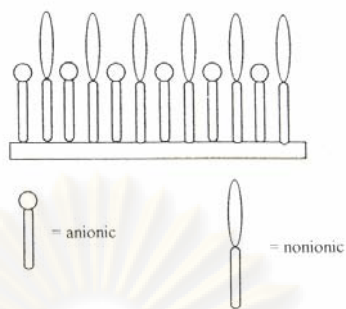
$\alpha$  คือ เศษส่วนโมล (mole fraction) ของสารลดแรงตึงผิวชนิดที่ 1

จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.8 เป็นไปในเชิงอุดมคติ (ideal) แต่การผสมของสารลดแรงตึงผิว ส่วนใหญ่ไม่เป็นไปในเชิงอุดมคติ (nonideal) ค่าของ CMC ที่ได้จากการทดลองจึงไม่เป็นไปตามความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.8 จากที่ไม่เป็นไปตามอุดมคตินี้เองจึงเกิดข้อมูลอย่างกว้างขวางที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการต่อไป

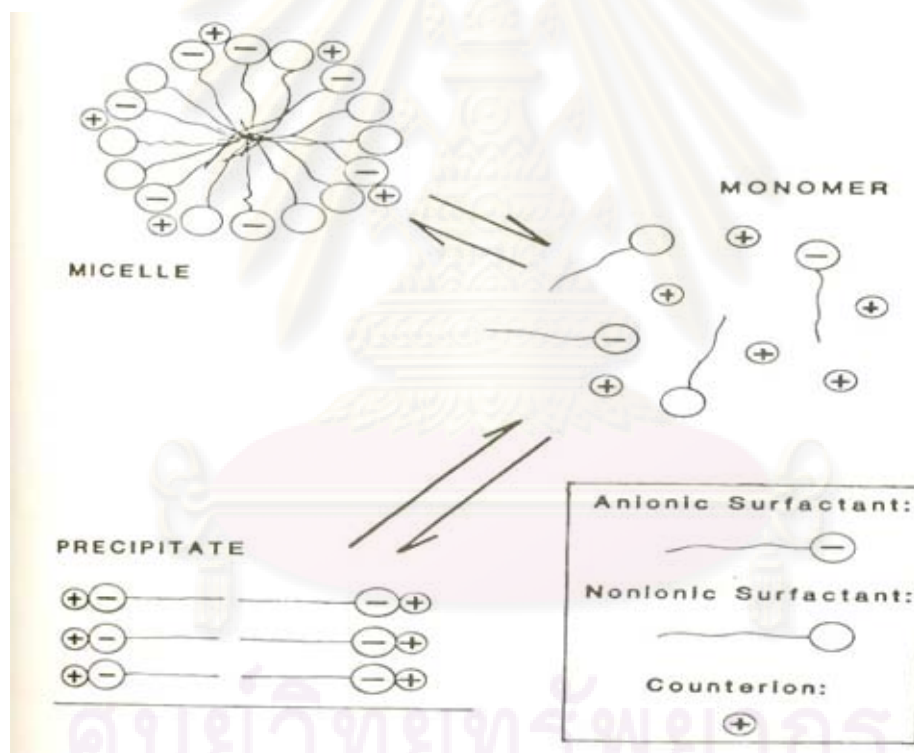
### 2.10.1 การผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีประจุกับชนิดที่ไม่มีประจุ

การผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีประจุกับชนิดที่ไม่มีประจุจะมีคุณสมบัติที่เฉพาะกว่าสารลดแรงตึงผิวเพียงชนิดเดียว ทั้งในด้านการละลาย การกำจัดสิ่งสกปรก การนำไปใช้ประโยชน์จึงแตกต่างกัน จากงานวิจัยที่ผ่านมา เมื่อพิจารณาจำนวนของโมโนเมอร์ที่มารวมตัวกันเป็นไมเซลล์ หรือ ค่า aggregation number จากการผสมของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบคือ SDS กับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุคือ (NP(EO)<sub>10</sub>) พบว่ามีค่า aggregation number เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่า aggregation number ของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิดที่อยู่ในระบบเดี่ยว ทั้งนี้เนื่องมาจากสารลดแรงตึงผิวชนิดที่ไม่มีประจุจะไปลดแรงทางไฟฟ้าของสารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีประจุ การลดแรงผลึกที่บริเวณส่วนไฮโดรฟิลิกของโมโนเมอร์นี้เองทำให้การสร้างไมเซลล์รวมตัวกันได้ง่ายขึ้น ไมเซลล์จึงมีขนาดใหญ่กว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดเดียว (Alain et al., 1993)

จากที่กล่าวมาปฏิกิริยาร่วม (interaction) ระหว่างสารลดแรงตึงผิวสองชนิดจึงเป็นสิ่งที่จะอธิบายลักษณะของการดูดซับและการสร้างไมเซลล์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งการคาดการณ์โดยการสร้างโมเดลจะช่วยสร้างความเข้าใจได้มากขึ้น จากงานวิจัยที่ผ่านมา Porter (1994) ได้ทำการศึกษาถึงลักษณะของไมเซลล์ เมื่อนำสารลดแรงตึงผิวประจุลบผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดที่ไม่มีประจุ จะมีลักษณะการดูดซับดังภาพที่ 2.19 ในขณะที่ Stellner และ Scamehorn (1986) ศึกษาการสร้างไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่างสารลดแรงตึงผิวประจุลบ (SDS) กับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (NP(EO)<sub>10</sub>)



ภาพที่ 2.19 การดูดซับบนพื้นผิวจากการผสมสารลดแรงตึงประจุลบกับสารลดแรงตึงผิวชนิดที่ไม่มีประจุ (Porter, 1994)



ภาพที่ 2.20 แสดงการสร้างไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่างสารลดแรงตึงผิวประจุลบ (SDS) กับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (NP(EO)<sub>10</sub>) (Stellner and Scamehorn, 1986)

## 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lim and Teeters (1997) ได้อธิบายการกำจัดหมึกชนิดที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายบนพื้นผิวพลาสติกโพลีเอทิลีนด้วยการพิมพ์หลากหลายสี โดยใช้สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายและเม็ดอลูมินาช่วยในการขัด ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 10 หมึกสามารถถูกกำจัดออกไปได้ การทดลองนี้ได้แสดงถึงค่าแรงดึงผิววิกฤตของพลาสติก ซึ่งใช้วิธีการหาค่ามุมสัมผัส โดยใช้สารละลายหลายชนิด กับผงหมึก 9 ชนิด และยังใช้ FTIR spectroscopy ตรวจสอบโครงสร้างของหมึก และ optical scanning ในการหาปริมาณของหมึกที่ถูกกำจัดออกไป โดยสรุปความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดหมึกออกจากผิวพลาสติกกับค่าแรงดึงผิววิกฤตบนชั้นสเตรทพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดหมึกเป็นไปได้สูงเมื่อแรงดึงผิววิกฤตบนชั้นสเตรทมีค่าลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าหมึกจะถูกกำจัดออกได้ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูง

Gecol et al. (2001) ได้ศึกษาใช้สารลดแรงดึงผิวในการกำจัดหมึกที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (water based ink) ออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene) ในการศึกษาพบว่า ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 แม้ไม่ได้เติมสารลดแรงดึงผิวก็สามารถกำจัดหมึกออกไปได้ 90 เปอร์เซ็นต์ แต่ใช้เวลานานในการกำจัด และเมื่อใช้สารลดแรงดึงผิวประเภทต่าง ๆ โดยที่อธิบายจากค่า CMC ของสารละลายลดแรงดึงผิว จากการศึกษาพบว่า สารลดแรงดึงผิวชนิดประจุบวก (hexadecyltrimethylammonium bromides, CTAB) มีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยสามารถกำจัดหมึกได้ทั้งที่ความเข้มข้นของสารละลายสูงและต่ำกว่าค่า CMC ส่วนสารลดแรงดึงผิวชนิดประจุลบ (sodium dodecylsulfate, SDS) และชนิดไม่มีประจุ (polydisperse nonylphenol polyethoxylate, NP(EO)<sub>10</sub>) จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงกว่าค่าซีเอ็มซีเท่านั้น และเมื่อนำสารลดแรงดึงผิวแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกัน สารลดแรงดึงผิวชนิดประจุลบจะมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด

Gecol et al. (2003) ได้ศึกษาใช้สารลดแรงดึงผิวในการกำจัดหมึกชนิดที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีเอทิลีนผสม (70%LPDE และ 30 % HPDE) โดยการพิมพ์หลากหลายสี โดยใช้สารลดแรงดึงผิวหลายชนิด ทั้งสารลดแรงดึงผิวชนิดประจุบวก สารลดแรงดึงผิวชนิดประจุลบ สารลดแรงดึงผิวชนิดไม่มีประจุ สารลดแรงดึงผิวแอมโฟเทอริก ในช่วงความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 3 ถึง 12 พบว่าสารลดแรงดึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) มีประสิทธิภาพในการกำจัดหมึกชนิดที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายมากที่สุดและค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมที่ระดับมากกว่า 11 การกำจัดหมึกจึงจะสมบูรณ์ การกำจัดหมึกชนิดที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจะกำจัดได้ยากกว่าหมึกที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

Min et al. (1999) ได้ศึกษาการกำจัดหมึกชนิดที่ใช้ตัวทำละลาย(solvent based ink) ออกจากพื้นผิวของโพลีเอทิลีนแข็งชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene) โดยใช้สารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด ได้แก่ ชนิดที่มีประจุบวก (cetyltrimethylammonium bromides, CTAB) ชนิดที่มีประจุลบ (sodium dodecylsulfate, SDS) และชนิดที่ไม่มีประจุ (polydisperse nonylphenol polyethoxylate, NP(EO)<sub>10</sub>) จากการศึกษาพบว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดหมึกสูงสุดที่สภาวะความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวสูงกว่าค่าซีเอ็มซี และที่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12

Songsiri et al. (2002) ศึกษาการใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกในการกำจัดหมึกชนิดที่ใช้ตัวทำละลายบนผิวพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยศึกษาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก ค่าความเป็นกรด-ด่าง เวลาในการแช่ เขย่า ตลอดจนการขัดสี ต่อการกำจัดหมึกสีน้ำเงินชนิดที่ใช้ตัวทำละลายบนผิวพลาสติกโพลีเอทิลีน พบว่า ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดหมึกได้สูงที่สภาวะความเข้มข้นสูงเกินค่าซีเอ็มซีและค่าความเป็นกรดเบสระดับสูง ที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวต่ำและสูงกว่าค่าซีเอ็มซีการกำจัดหมึกจะเพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มระยะเวลาในการแช่และระยะเวลาในการเขย่า นอกจากนี้การใส่วัสดุขัดผิวในสารละลายระหว่างการเขย่ายังช่วยให้หมึกที่ละลายตัวอยู่ที่ผิวพลาสติกหลุดออกได้ง่ายขึ้น

Chotipong et al. (2006) และ Chotipong et al. (2007) ศึกษาการกำจัดหมึกชนิดที่ใช้ตัวทำละลายบนพื้นผิวพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยใช้สารลดแรงตึงผิวประเภทอัลคิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ พบว่าการเพิ่มจำนวนของอะตอมในหมู่อัลคิลในสารลดแรงตึงผิว ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว และระดับความเป็นกรด-ด่างในช่วงระหว่าง 11-12 มีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดหมึก ในขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายระหว่าง 30-55 องศาเซลเซียส มีผลในการลดประสิทธิภาพของการกำจัดหมึก เมื่อพิจารณาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวบนแผ่นพลาสติกผ่านค่าซีตาโพเทนเชียลของหมึก และความสามารถในการเปียก (wettability) ของสารลดแรงตึงผิวบนแผ่นพลาสติกในช่วงต่ำกว่าซีเอ็มซี พบว่ามีความสัมพันธ์ในทำนองเดียวกันกับค่าการกำจัดหมึกทุกสาร ส่วนการละลาย (solubilization) ของหมึกในสารลดแรงตึงผิวมีแนวโน้มในทำนองเดียวกับประสิทธิภาพในการกำจัดหมึก ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการละลายเป็นกระบวนการที่สำคัญของการกำจัดหมึกเมื่อสารลดแรงตึงผิวมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าซีเอ็มซี นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดหมึกและการละลายของหมึกในสารลดแรงตึงผิวที่ผสมเกลือโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลมีค่าสูงกว่าสารลดแรงตึงผิวบริสุทธิ์

Chotipong (In press) ได้ศึกษาการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติกโพลีเอธิลีน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวประเภทอัลคิล ไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CnTAB) งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 12 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่า ทั้งค่าประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ค่าซีตาโพเทนเชียลและสภาพการละลายของหมึกก็มีผลสอดคล้องกับประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกเช่นกัน

Chotipong (2007) ได้ศึกษาการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนโดยใช้สารลดแรงตึงผิวประเภทอัลคิล ไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CnTAB) งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ พบว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-เบสที่ระดับ 12 พบว่าประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นและจำนวนของคาร์บอนอะตอมในหมู่แอลคิลของสารลดแรงตึงผิวมีความยาวมากขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดหมึกจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นในช่วง 11-12 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิระหว่าง 35 ถึง 50 องศาเซลเซียสจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดหมึกลดลง

Kessadayurat (2004) ศึกษาการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวและการแอคโซลูบิไลเซชันของโพลูอินและอะซิโตฟีโนนในระบบสารลดแรงตึงผิวที่ผสมกันระหว่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) และสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่มีความยาวของสายไฮโดรคาร์บอนที่แตกต่างกัน (Triton X-165 และ Triton X-305) ในการดูดซับบนซิลิกาพบว่า CTAB ดูดซับบนซิลิกาได้ดีกว่า Triton X-165 และ Triton X-305 ตามลำดับ ส่วนการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวผสมบนพื้นผิวซิลิกาพบว่า จะดูดซับลดน้อยลงเมื่อมีอัตราส่วน โดยโมลของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุเพิ่มมากขึ้นในระบบและจะยิ่งดูดซับได้น้อยลงเมื่อสายไฮโดรคาร์บอนของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุมีความยาวมากขึ้น ในขณะที่การแอคโซลูบิไลเซชันของโพลูอินพบว่า สารลดแรงตึงผิวที่ผสมกันส่งผลกระทบต่อเพียงเล็กน้อยต่อระบบ แต่ในการแอคโซลูบิไลเซชันของอะซิโตฟีโนนพบว่าส่งผลอย่างเห็นได้ชัดต่อระบบ ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวชนิดที่ไม่มีประจุ Triton X-165 และ Triton X-305 ที่มีจำนวนของกลุ่มเอธิลีนออกไซด์แตกต่างกัน

Fang et al., (2003) ได้ใช้ NMR เทคนิคในการอธิบาย self – diffusion coefficients ของสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) และสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Triton X-100) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้สัดส่วนโดยโมล (mole fraction) ของสารลดแรงตึงผิว CTAB เมื่อสัดส่วนโดยโมลมีค่าลดลง จะส่งผลให้ค่า CMC ของสารละลายลดแรงตึงผิวผสมมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดและรูปแบบของการสร้างไมเซลล์มีลักษณะเฉพาะตัว เป็นการสร้างไม

เซลล์อย่างช้าๆ ในขณะที่ขนาดของไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวผสมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนโดยโมลเพิ่มขึ้น และค่า self – diffusion coefficients มีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนโดยโมลเพิ่มมากขึ้น แต่ค่า self – diffusion coefficients จะเพิ่มขึ้นอีกเมื่อสัดส่วนโดยโมลเพิ่มขึ้นมากกว่า 0.8



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุดิบ

1. แผ่นพลาสติกโพลีโพรพิลีนที่ผ่านกระบวนการ corona treatment (อธิบายในหัวข้อ 2.2) มาพิมพ์หมึกเบอร์ PE-7047 ด้วยวิธี silk screen

2. หมึกที่ใช้ในการทดลองขูดจากแผ่นพลาสติกที่ผ่านการพิมพ์แล้ว แล้วนำไปบดให้ละเอียด จากนั้นนำผงหมึกไปร่อนในตะแกรง (sieved) ขนาด 100 mesh เก็บผงหมึกในที่ปราศจากความชื้น

#### 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. โดเดคซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (DTAB,  $C_{12}H_{25}^+N(CH_3)_3Br^-$ ) (99% purity; powder) บริษัท Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

2. เตตระเดคซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (TTAB,  $C_{14}H_{29}^+N(CH_3)_3Br^-$ ) (99% purity; powder) บริษัท Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

3. ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB,  $C_{16}H_{33}^+N(CH_3)_3Br^-$ ) (98% purity; powder) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

4. ไตรตอนเอกซ์ 100 (Triton X-100) บริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

5. เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) บริษัท Carlo Erba Reagenti ประเทศฝรั่งเศส

6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (98% purity) บริษัท EKA Noble ประเทศสวีเดน

### 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิและการเขย่า (water bath and shaking) รุ่น GFL 1086
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก รุ่น Sartorius BP221S
3. เครื่องกวนปรับความเร็วรอบ รุ่น Clifton magnetic stirrer
4. ไมโครปิเปต(micropipette) ขนาด 5000 ไมโครลิตร Eppendorf Research
5. เครื่องปั่นเหวี่ยงชนิดควบคุมอุณหภูมิ(refrigerated centrifuge) SORVALL® Biofuge Stratos
6. สแกนเนอร์ HP ScanJet 4C
7. กระดาษกรอง (filter paper) Whatman no.7402-001 ขนาด pore size 0.2 ไมโครเมตร
8. เครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV spectrophotometer) Analytik Jena Ag Specord 40
9. ซีตานิเตอร์ Zeta Meter System3.0+
10. กระดาษวัดความเป็นกรด-ด่าง (universalindicator ) บริษัท Merck KGaA ประเทศเยอรมนี
11. เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ

### 3.4 วิธีการดำเนินการศึกษา

การศึกษาจะศึกษาถึงประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนและกลไกการดูดซับกับการละลายของหมึกจากการใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก ชนิดประจุบวกที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ และชนิดประจุบวกผสมกับชนิดไม่มีประจุ

#### 3.4.1. การทดลองเพื่อศึกษาการกำจัดหมึกบนผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Deinking Measurement)

1. นำแผ่นพลาสติกโพลีโพรพิลีนที่พิมพ์หมึกลงไปแล้วมาตัดขนาดกว้าง 8 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร จากนั้นนำแต่ละชิ้นไปตรวจสอบหาปริมาณพิกเซล (pixel) โดยใช้เครื่องสแกนเนอร์ HP ScanJet 4C โดยตั้งค่าที่เหมาะสมต่อการสแกน จากนั้นหาค่าพิกเซลโดยใช้โปรแกรม Adobe Photoshop version 5.5 ซึ่งจะบอกค่าพิกเซล (pixel) ที่พิมพ์ลงบนแผ่นพลาสติก (Songsiri et al.,2002) ค่าพิกเซลที่เหมาะสมจะนำไปใช้ในการทดลองอยู่ที่ 3000-4500 หลังจากหา

ปริมาณวัตถุสีแล้วนำไปใส่ใน erlenmeyer flask ขนาดละ 1 ชิ้น เพื่อนำไปกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกด้วยสารลดแรงตึงผิวที่เตรียมไว้

2. กรณีใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกเพียงชนิดเดียว (Pure CnTAB) ทำได้โดยเตรียมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก 3 ชนิดคือ DTAB ,TTAB, CTAB โดยเตรียมสารแต่ละชนิดหลายๆความเข้มข้น จากนั้นใช้น้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องละลายสารลดแรงตึงผิวที่เตรียมไว้ในแต่ละชนิดแต่ละความเข้มข้น แล้วนำสารละลายลดแรงตึงผิวปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ระดับ 12 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จากบิวเรต โดยใช้กระดาษวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ปิเปิดสารละลายลดแรงตึงผิวไปใส่ใน erlenmeyer flask ที่มีแผ่นพลาสติกใส่ไว้แล้ว ในปริมาณ 15 มิลลิลิตร ปิดขวดด้วยพาราฟิน นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ  $30 \pm 1$  องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3. กรณีการศึกษาภาวะที่มีการเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ (CnTAB + NaCl) ใช้น้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมล แล้วนำไปละลายสารลดแรงตึงผิวที่ซั่งเอาไว้ จะได้สารละลายลดแรงตึงผิวที่มีการเติมอิเล็กโทรไลต์ลงไป แล้วทำการทดลองเช่นเดียวกันกับในภาวะที่ไม่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ในข้อที่ 2 สำหรับความเข้มข้นของการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น 0.2, 0.5 และ 1.0 โมล ก็ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับภาวะที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.1 โมล

4. นำแผ่นพลาสติกที่ผ่านการแช่และเขย่าออกมาล้างน้ำเพื่อล้างวัตถุสีที่เกิดจากการกำจัดหมึกของสารลดแรงตึงผิวออกจากพื้นผิวพลาสติก จากนั้นหึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องทิ้งไว้หนึ่งคืน จากนั้นนำแผ่นพลาสติกไปตรวจสอบหาปริมาณวัตถุสีอีกครั้งหนึ่งโดยทำวิธีเดียวกับก่อนนำไปกำจัดหมึก ค่าที่ได้นำไปหาประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกจากความสัมพันธ์ (Songsiri et al., 2002)

$$\text{Ink removed (\%)} = \left[ \frac{(\text{pixels}_{\text{before deinking}} - \text{pixels}_{\text{after deinking}})}{\text{pixels}_{\text{before deinking}}} \right] \times 100$$

5. นำผลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างร้อยละการกำจัดหมึกกับค่าความเข้มข้นของสารละลายลดแรงตึงผิว และเปรียบเทียบกับกราฟทดลองที่ไม่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์

### 3.4.2. การทดลองเพื่อศึกษาคุณลักษณะของอนุภาคหมึกแสดงในเชิงค่าซีตาโพเทนเชียลของหมึก (Zeta Potential Measurement)

การทดลองหาค่า point of zero charge (PZC) ของเม็ดอนุภาคของผงหมึกทำโดยใช้น้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง 20 มิลลิลิตรลงในขวด vial แล้วใส่ผงหมึกที่ร่อนผ่านตะแกรง 100 mesh เพียงเล็กน้อยประมาณ 1 มิลลิกรัม ในทุกๆขวด ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างในแต่ละขวดระดับ 1 ถึง 12 เรียงตามลำดับ ใส่แมกเนติก ปิดขวดไปวางที่เครื่องกวนปรับความเร็วรอบ ระดับ 3 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แล้วทำการทดลองหาค่าศักย์ไฟฟ้าบนพื้นผิวอนุภาคของหมึกหรือค่าซีตาโพเทนเชียลด้วยเครื่องซีตามิเตอร์ โดยใส่ส่วนผสมลงในเซลล์อิเล็กโทรโพรเซสจ่ายไฟที่ขั้วแคโทดและแอโนด ปรับค่าต่างๆที่เหมาะสม โดยเครื่องซีตามิเตอร์จะมีจอแสดงผลการเคลื่อนที่ของเม็ดอนุภาคของผงหมึกผ่านกล้องไมโครสโคป ซึ่งเม็ดอนุภาคของผงหมึกที่เคลื่อนที่อยู่ในส่วนผสมนี้จะแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของแต่ละอนุภาคซึ่งเคลื่อนที่ในทิศทางเข้าหาขั้วแคโทดหรือขั้วแอโนด ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารที่นำมาวัดศักย์ไฟฟ้า การวัดค่าซีตาโพเทนเชียลโดยอาศัยความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของผงหมึกในระยะทางที่กำหนด ซึ่งควรทำการหาค่าซีตาโพเทนเชียลของเม็ดอนุภาคไม่ต่ำกว่า 10 อนุภาค แล้วหาค่าเฉลี่ยของซีตาโพเทนเชียลของสารผสม(Chotipong et al.,2007) นำผลที่ได้เขียนกราฟระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับค่าซีตาโพเทนเชียล ก็จะสามารหาค่า point of zero charge ได้

### 3.4.3. การทดลองเพื่อศึกษาสภาพการละลายของหมึกในสารละลายลดแรงตึงผิว (Solubilization Measurement)

1.กรณีใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกเพียงชนิดเดียว ทำได้โดยเตรียมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก 3 ชนิด คือ DTAB ,TTAB, CTAB โดยเตรียมสารแต่ละชนิดหลายๆความเข้มข้นจากนั้นใช้น้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องละลายสารลดแรงตึงผิวที่เตรียมไว้ในแต่ละชนิดแต่ละความเข้มข้น ต่อจากนั้นนำสารละลายปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ระดับ 12 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จากบิวเรต โดยใช้กระดาษวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ปิดขวดสารละลายลดแรงตึงผิวไปใส่ใน erlenmeyer flask ในปริมาณ 15 มิลลิลิตร จากนั้นใส่ผงหมึก 10 มิลลิกรัม ปิดขวดด้วยพาราฟิน นำไปเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่เครื่องปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็ว 9000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ใช้หลอดชนิดยาคูคของเหลวใสนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman no.7402-001 ความกว้างเฉลี่ยของ pore size 0.2 ไมโครเมตร จากนั้นนำสารละลายที่กรองได้ไปหาค่า absorbance ของสารละลายลดแรงตึงผิวที่กระทำต่อหมึก ด้วยเครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV spectrophotometer) Analytik Jena Ag Specord 40 โดยใส่สารละลายลงในคิวเวทชนิดควอทซ์ แล้วนำไปใส่ลงในตัวเครื่องที่ค่าความยาวคลื่น 273.8 นาโนเมตร (Chotipong et al.,2007)

2. ในกรณีการศึกษาภาวะที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ (CnTAB + NaCl) ใช้น้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลแล้วนำไปละลายสารลดแรงตึงผิวที่เตรียมไว้ จะได้สารละลายลดแรงตึงผิวที่มีการเติมอิเล็กโทรไลต์ลงไปแล้วทำการทดลองเช่นเดียวกันกับในภาวะที่ไม่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ในข้อที่ 1 สำหรับความเข้มข้นของการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น 0.2, 0.5 และ 1.0 โมล ก็ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับภาวะที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.1 โมลกับการทดลองที่ไม่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์

3. นำผลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของสารละลายลดแรงตึงผิว

### 3.4.4 การทดลองเพื่อศึกษาการผสมกันระหว่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกกับชนิดไม่มีประจุที่มีผลต่อการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน รวมทั้งการดูดซับและการละลายของหมึก ( Mixed Surfactant )

1. การทดลองเพื่อศึกษาการผสมกันระหว่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกกับชนิดไม่มีประจุที่มีผลต่อการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน ทำได้โดยการเลือกสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก [CnTAB] เพียง 1 ชนิดจากการทดลองที่ไม่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดหมึกดีที่สุดเมื่อเทียบจากค่าความเข้มข้น โดยเตรียมสารมา 3 ความเข้มข้น เรียงลำดับจากประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกจากน้อยไปมากที่มีช่วงความเหมาะสม ซึ่งต้องมีความเข้มข้นที่สามารถกำจัดหมึกออกไปหมดอย่างสมบูรณ์รวมอยู่ด้วยแล้ว นำไปผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ในการทดลองนี้ใช้ triton x-100 ซึ่งเตรียมไว้หลายความเข้มข้นเช่นเดียวกัน โดยผสมในอัตราส่วนของปริมาตรที่เท่ากัน ต่อจากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกับกรณีการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก หัวข้อ 3.4.1

ค่าที่ได้นำไปหาประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกเขียนกราฟระหว่างร้อยละการกำจัดหมึกกับค่าความเข้มข้นของสารละลายลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ

2. ทำการทดลองเพื่อศึกษาการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวผสมแสดงในเชิงค่าซีตาโพเทนเชียลของหมึก เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวประจุบวกผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ โดยเตรียมสารละลายผสมที่มีลักษณะเดียวกันกับ ข้อ 1 จากนั้นทำการทดลองหาค่าซีตาโพเทนเชียล โดยนำสารละลายผสมปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ระดับ 12 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จากบิวเรต โดยใช้กระดาษวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง จากนั้นเปิดสารละลายลดแรงตึงผิว ที่มีความเข้มข้นต่างกันไปในขวด vial แต่ละขวด ในปริมาณ 20 มิลลิลิตร แล้วใส่ผงหมึกเพียงเล็กน้อยประมาณ 1 มิลลิกรัม ในทุกๆขวด ใส่แมกเนติก ปิดขวดไปวางที่เครื่องกวนปรับความเร็วรอบ ระดับ 3 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปวัดศักย์ไฟฟ้าหรือซีตาโพเทนเชียลด้วยเครื่องซีตามิเตอร์ ซึ่งควรทำการซีตาโพเทนเชียลของเม็ดอนุภาคไม่ต่ำกว่า 10 เม็ดอนุภาค แล้วหาค่าเฉลี่ยของซีตาโพเทนเชียลของสารนั้น นำผลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างค่าซีตาโพเทนเชียลกับค่าความเข้มข้นของสารละลายลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ

3. ทำการทดลองเพื่อศึกษาสภาพการละลายของหมึกในสารละลายลดแรงตึงผิวผสมเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวประจุบวกผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ โดยเตรียมสารละลายผสมที่มีลักษณะเดียวกันกับ ข้อ 1 จากนั้นทำการทดลองหาค่าการละลายเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.4.3 นำผลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของสารละลายลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

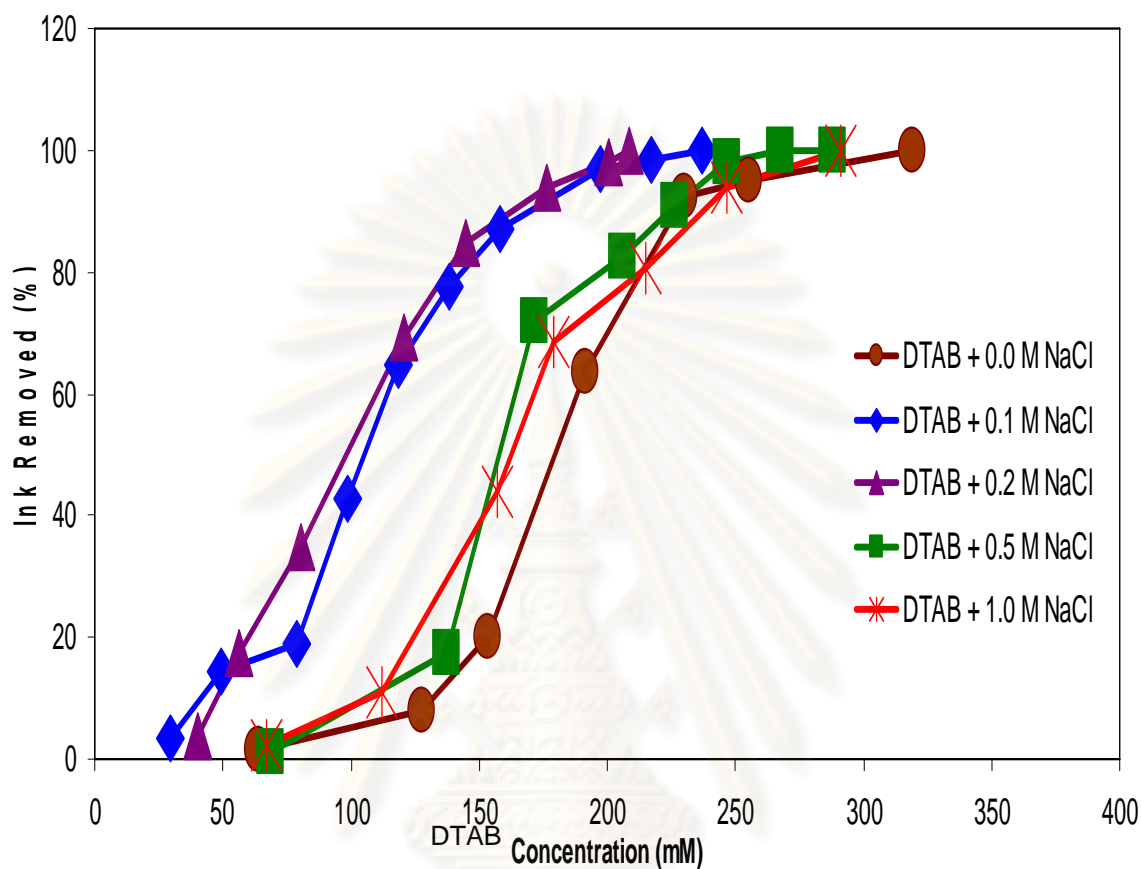
### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 การกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน (Deinking)

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการกำจัดหมึกชนิดที่ใช้ตัวทำละลายบนพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกประเภทเกลือควอเทอร์นารีแอมโมเนียม 3 ชนิด ได้แก่ โดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (DTAB,  $C_{12}H_{25}^+N(CH_3)_3Br^-$ ) เตตระเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (TTAB,  $C_{14}H_{29}^+N(CH_3)_3Br^-$ ) ซิลิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB,  $C_{16}H_{33}^+N(CH_3)_3Br^-$ ) ซึ่งมีจำนวนอะตอมของหมู่ฮัลด์คิลแตกต่างกัน ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ระดับความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 11-12 และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการกำจัดหมึก (Chotipong et al., 2006) โดยจะศึกษาถึงอิทธิพลของการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกชนิดที่ใช้ตัวทำละลายออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน ซึ่งจะใช้ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์มีค่า 0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมล โดยจะเทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงไปในระบบ

##### 4.1.1 ผลของประสิทธิภาพการกำจัดหมึกจากการใช้สารลดแรงตึงผิว [CnTAB] ที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์

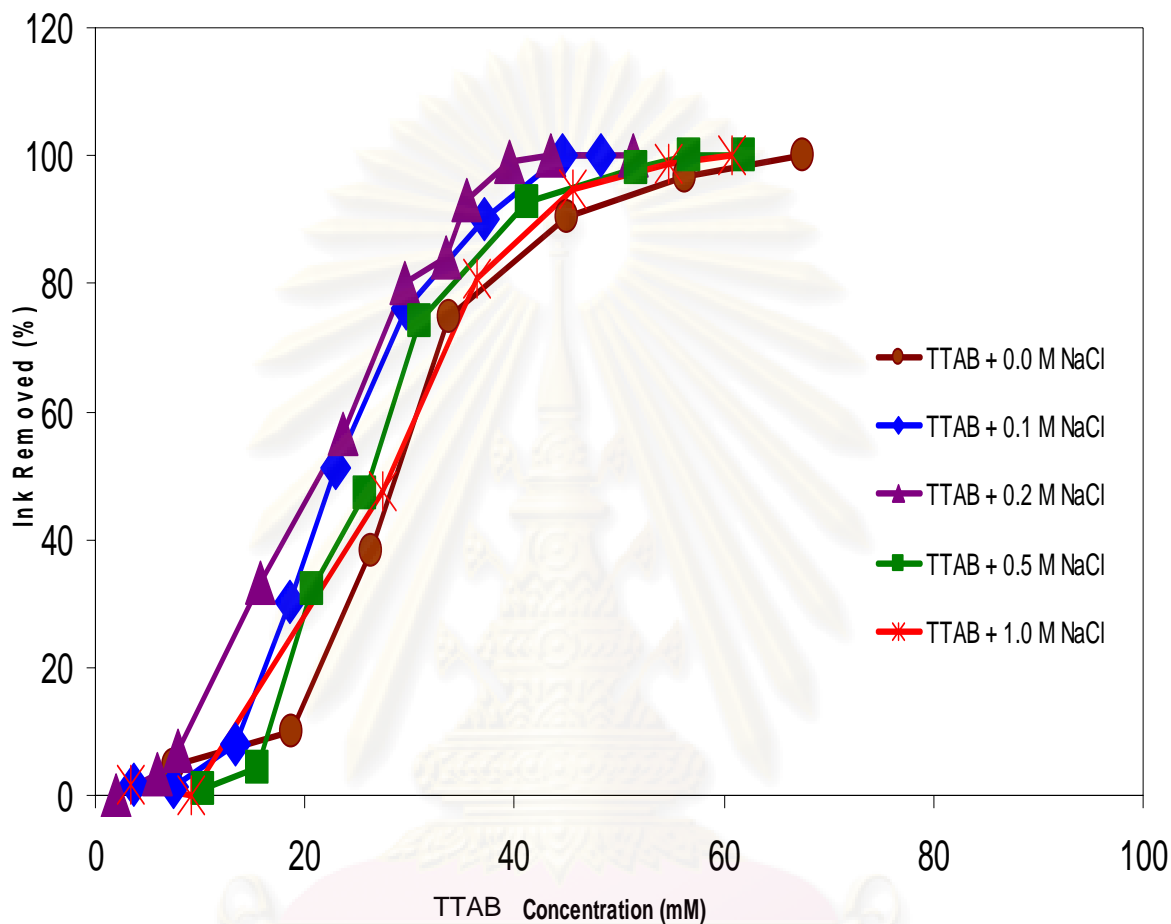
การกำจัดหมึกชนิดที่ใช้ตัวทำละลายออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน โดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก 3 ชนิด จากการศึกษาความแปรผันของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมล เทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงไปในระบบ (0.0 โมล) โดยสารละลาย DTAB แสดงในภาพที่ 4.1 สารละลาย TTAB แสดงในภาพที่ 4.2 และสารละลาย CTAB แสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.1 แสดงประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน โดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว DTAB ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.0, 0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12

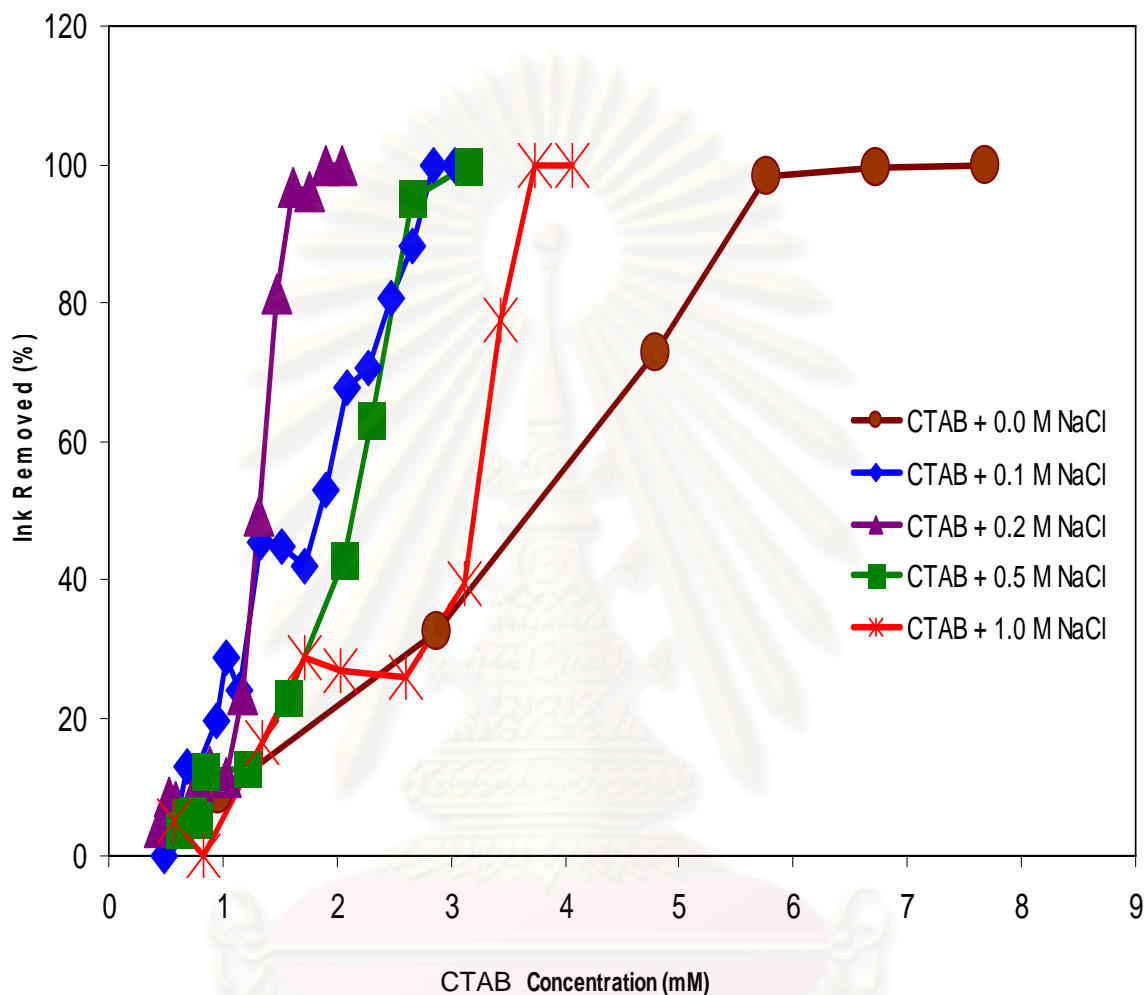
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาพที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนโดยใช้สารละลายด่างดิ่งผิว TTAB ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.0, 0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนโดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว CTAB ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.0,0.1,0.2,0.5 และ 1.0 โมล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12

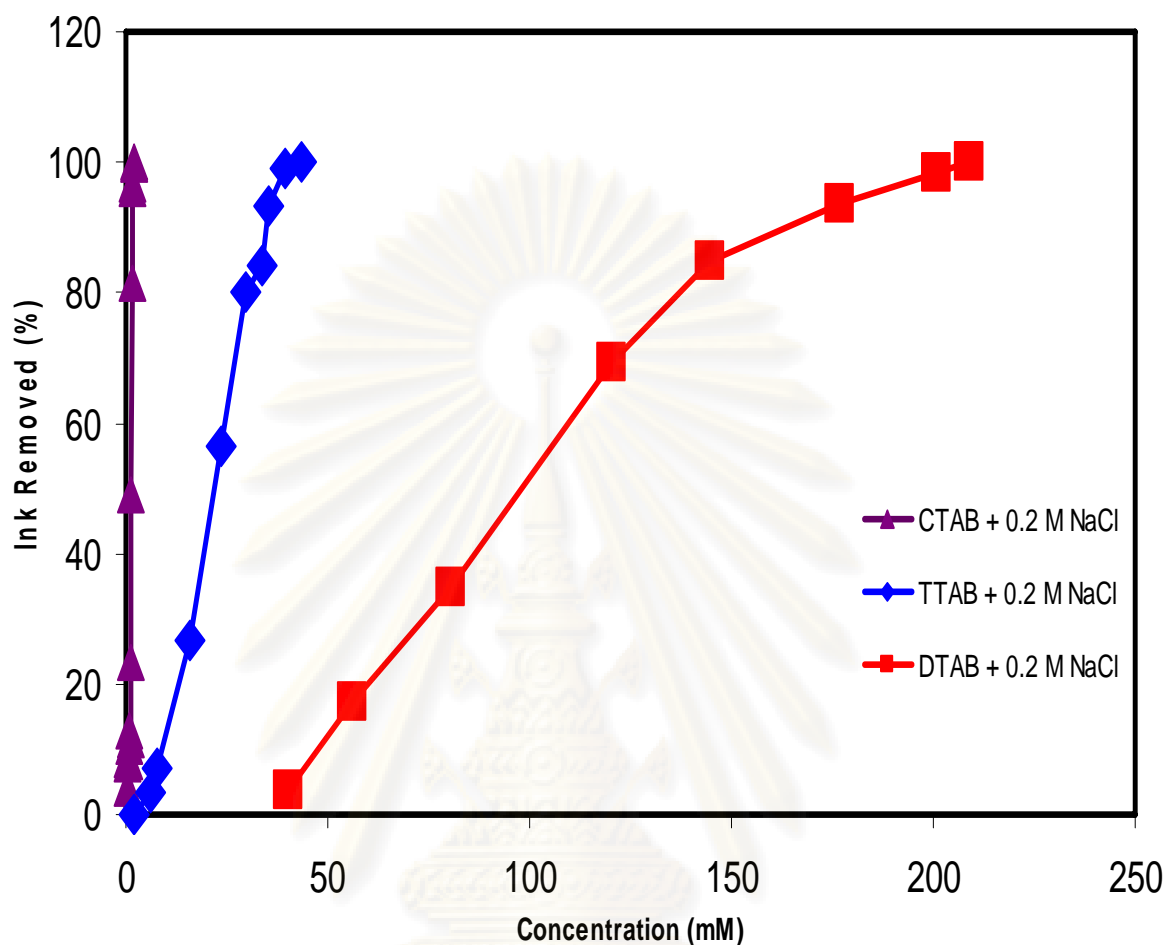
จากผลการทดลองจะพบว่าที่ความเข้มข้นของเกลือ โซเดียมคลอไรด์ในทุกความเข้มข้นจะมีแนวโน้มในการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกมีประสิทธิภาพมากกว่าภาวะที่ไม่มีการเติมโซเดียมคลอไรด์ ในสารลดแรงตึงผิวทุกชนิด โดยที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีประสิทธิภาพจากสูงสุดไปต่ำที่สุดสามารถกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกได้อย่างสมบูรณ์ (100%)เรียงตามลำดับได้แก่ที่ 0.2 ,0.1,0.5,1.0 และ 0.0 โมลในสารลดแรงตึงผิวทุกชนิด ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ลงในสารละลายลดแรงตึงผิวจะเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัด

หมึกและมีความเหมาะสมที่ค่าของความเข้มข้นของเกลือ โซเดียมคลอไรด์ค่าหนึ่งเท่านั้นไม่ได้แปรผันไปตามค่าความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะได้อธิบายเหตุผลในหัวข้อที่ 4.4

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของสารละลายลดแรงตึงผิวในแต่ละชนิดที่กำจัดหมึกได้อย่างสมบูรณ์ เรียงตามลำดับความเข้มข้นของเกลือที่มีประสิทธิภาพการกำจัดหมึกสูงที่สุดไปต่ำที่สุด คือ ใช้สารลดแรงตึงผิว DTAB ความเข้มข้น 208.79,236.91,267.44,291.30,319.29 มิลลิโมล ใช้สารลดแรงตึงผิว TTAB ความเข้มข้น 43.41,48.27,56.71,60.80,67.53 มิลลิโมล และสารลดแรงตึงผิว CTAB ความเข้มข้น 2.05,2.85,3.15,4.06,7.68 มิลลิโมล

#### 4.1.2.การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกของสารลดแรงตึงผิว DTAB TTAB และ CTAB

เมื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิดดังแสดงในภาพที่ 4.4 โดยเลือกใช้กราฟที่ค่าความเข้มข้นของเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของทุกสารลดแรงตึงผิวมาแสดง นั่นคือที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ โซเดียมคลอไรด์ 0.2 โมล ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนอะตอมของหมู่ฮัลคิดเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกจะเพิ่มขึ้นด้วย กล่าวคือสารลดแรงตึงผิว CTAB จะกำจัดหมึกออกได้ดีที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่าสารลดแรงตึงผิว TTAB และ DTAB จากการที่โมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิวในส่วนไฮโดรโฟบิกมีความยาวเพิ่มมากขึ้น แรงแวนเดอร์วาลส์ที่บริเวณนี้ย่อมมีค่าเพิ่มมากขึ้นทำให้โมโนเมอร์เรียงชิดกันมากขึ้น สามารถเกิดการยึดเกาะ โดยการหันหางเข้าหาพื้นผิวพลาสติกซึ่งไม่มีขั้วเหมือนกันได้ดี ในขณะที่ส่วนไฮโดรโฟบิกสั้นจะมีความไม่มีขั้วอยู่น้อย ความเป็นขั้วที่ส่วนหัวมีอยู่มาก จึงเกิดแรงผลักระหว่างกันทำให้ยึดเกาะพื้นผิวพลาสติกได้ไม่ดี (โมโนเมอร์อยู่ห่างกัน) จึงเกิดแรงทางไฟฟ้าระหว่างโมโนเมอร์ที่ผิวพลาสติกกับโมโนเมอร์ที่ผิวหมึกได้ไม่มีประสิทธิภาพ (อธิบายในหัวข้อ 4.4)

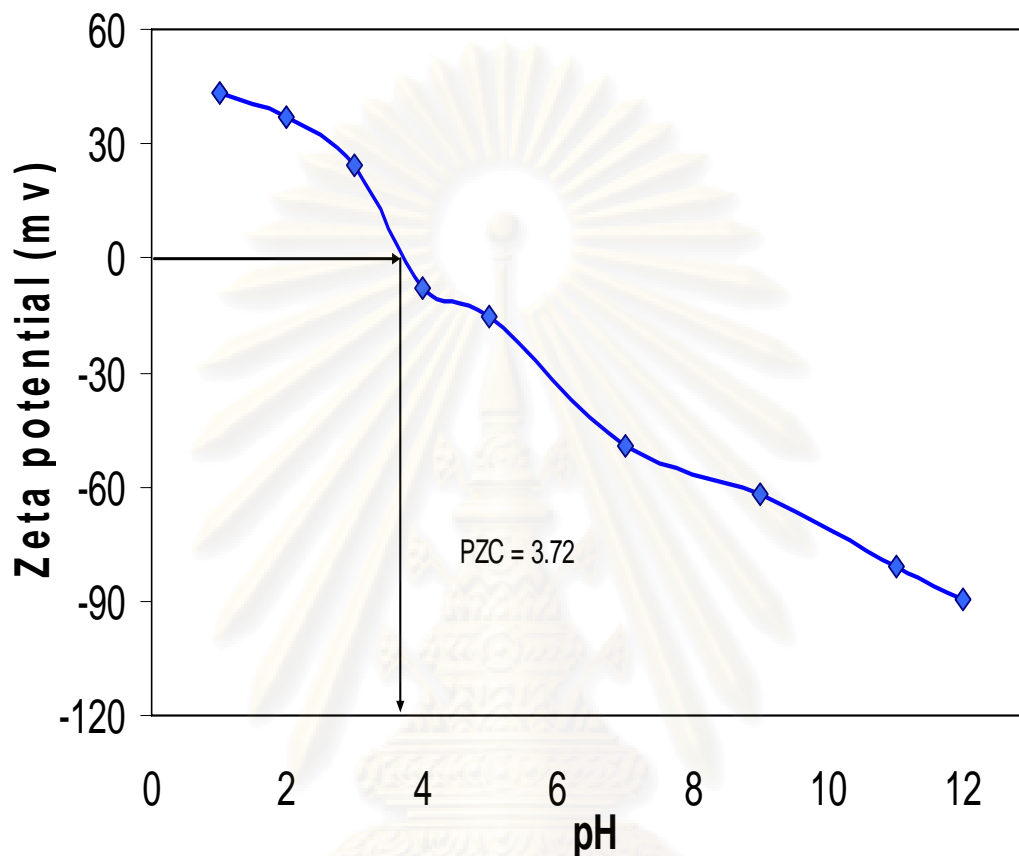


ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนโดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว [CnTAB] ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.2 โมล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12

#### 4.2 ซีตาโพเทนเชียลของอนุภาคหมึก (Zeta Potential of Ink)

การศึกษาค่าศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคหมึก แสดงในเชิงของค่าซีตาโพเทนเชียล เพื่อศึกษาคุณลักษณะของหมึกเมื่ออยู่ในภาวะของความเป็นกรด-ด่างที่ระดับต่างๆ โดยแสดงผลการทดลองศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคหมึกเมื่อไม่มีสารลดแรงตึงผิวมาผสม ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งจะสามารถหาค่าศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคหมึกที่เป็นศูนย์ได้หรือค่า Point of Zero Charge (PZC)

#### 4.2.1 ผลของศักย์ไฟฟ้าของอนุภาคหมึกที่เป็นศูนย์ หรือ Point of Zero Charge (PZC)



ภาพที่ 4.5 ค่าซีตาโพเทนเชียลของอนุภาคหมึกในน้ำที่ระดับความเป็นกรด-ด่างระดับ 1 ถึง 12 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 4.5 ค่า PZC ของอนุภาคหมึกมีค่าที่ระดับความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.72 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคของหมึกจะมีประจุบวกเมื่อมีระดับความเป็นกรด-ด่างที่ระดับน้อยกว่า 3.72 ในขณะที่ถ้าความเป็นกรด-ด่างที่ระดับมากกว่า 3.72 อนุภาคของหมึกจะแสดงประจุลบ เมื่อพิจารณาความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 ที่เป็นสถานะของการทดลองในงานวิจัยนี้ มีค่าซีตาโพเทนเชียล -89.72 มิลลิโวลต์ ซึ่งมีความเป็นประจุลบอยู่สูงมาก ทำให้ทราบได้ว่าเมื่ออนุภาคหมึกนี้อยู่ในสารละลายที่มีความเป็นกรด-ด่างสูง อนุภาคจะแสดงประจุลบ

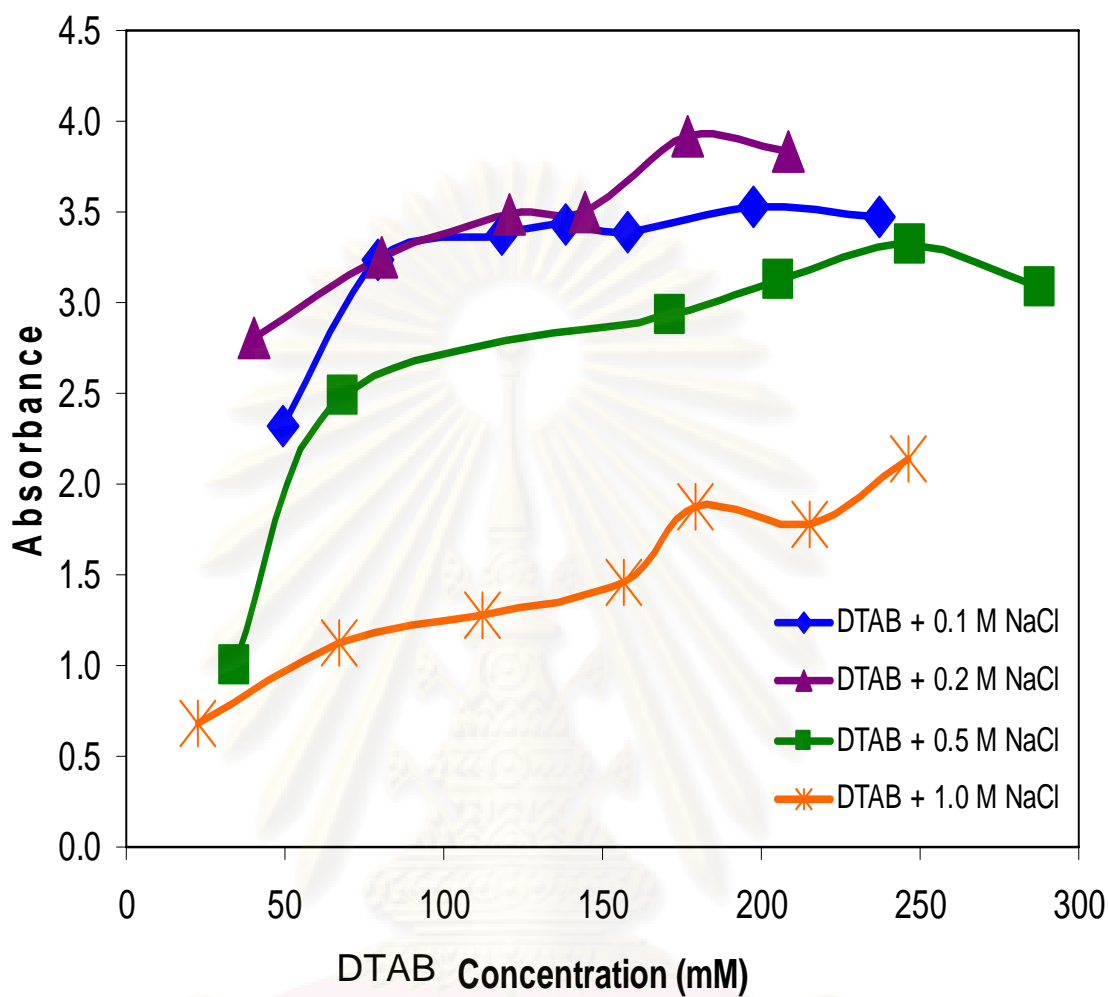
### 4.3 สภาพการละลายของหมึก (Solubilization )

การละลายของผงหมึกเป็นกระบวนการสำคัญที่จะอธิบายถึงการกำจัดหมึกได้ งานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงสภาพการละลายของผงหมึกที่ขูดมาจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เพื่อควบคุมภาวะให้เหมือนกับกระบวนการกำจัดหมึก โดยใช้สารลดแรงตึงผิวประจุบวกทั้ง 3 ชนิด คือ DTAB TTAB และ CTAB ที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1,0.2,0.5,1.0 โมล โดยการละลายจะอธิบายด้วยค่า absorbance ของระบบ

#### 4.3.1 ผลของการละลายของหมึกจากการใช้สารลดแรงตึงผิว DTAB TTAB และ CTAB เมื่อมีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์

ผลการละลายของหมึกในสารละลาย DTAB TTAB และ CTAB ตามการแปรผันของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ แสดงในภาพที่ 4.6,4.7 และ 4.8

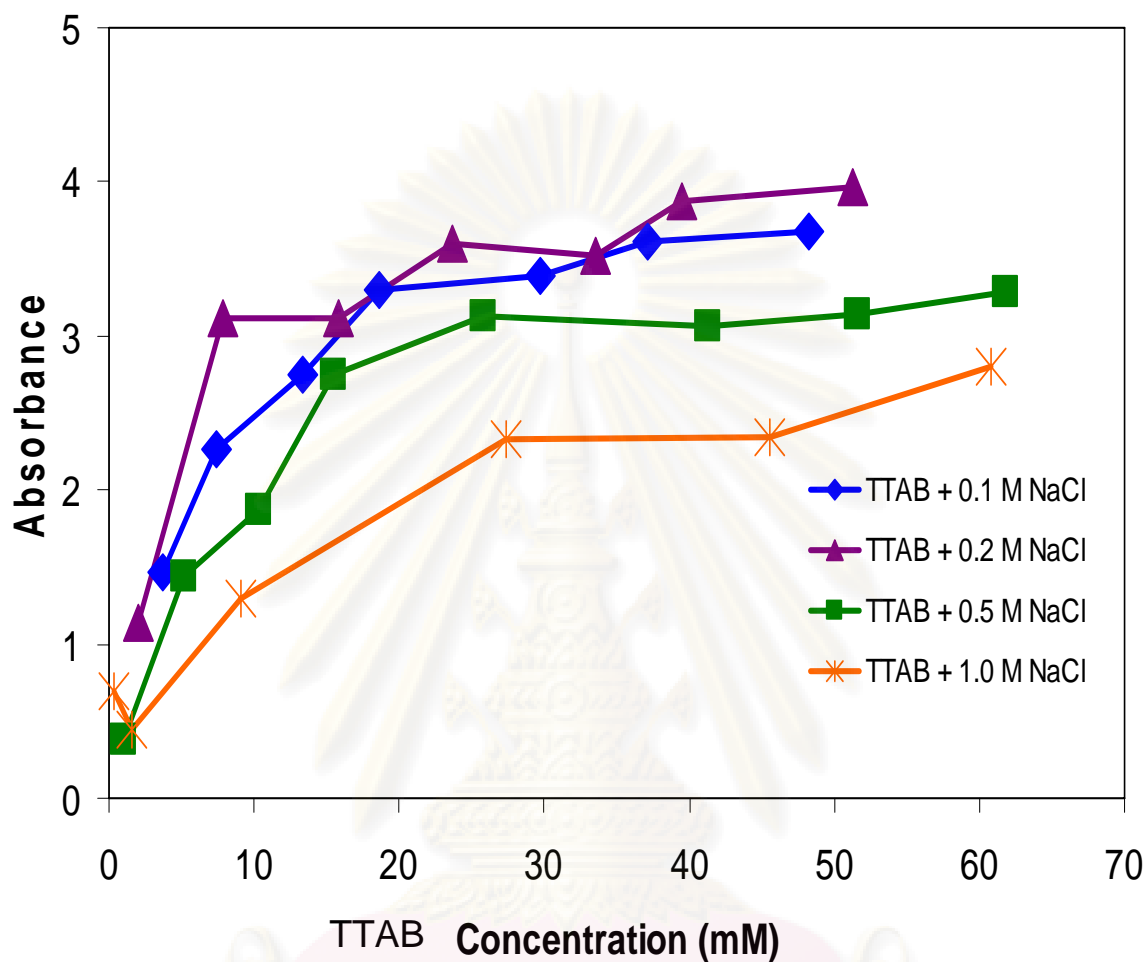
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.6 การละลายของหมึกโดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว DTAB ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.1,0.2,0.5 และ 1.0 โมล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ

12

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

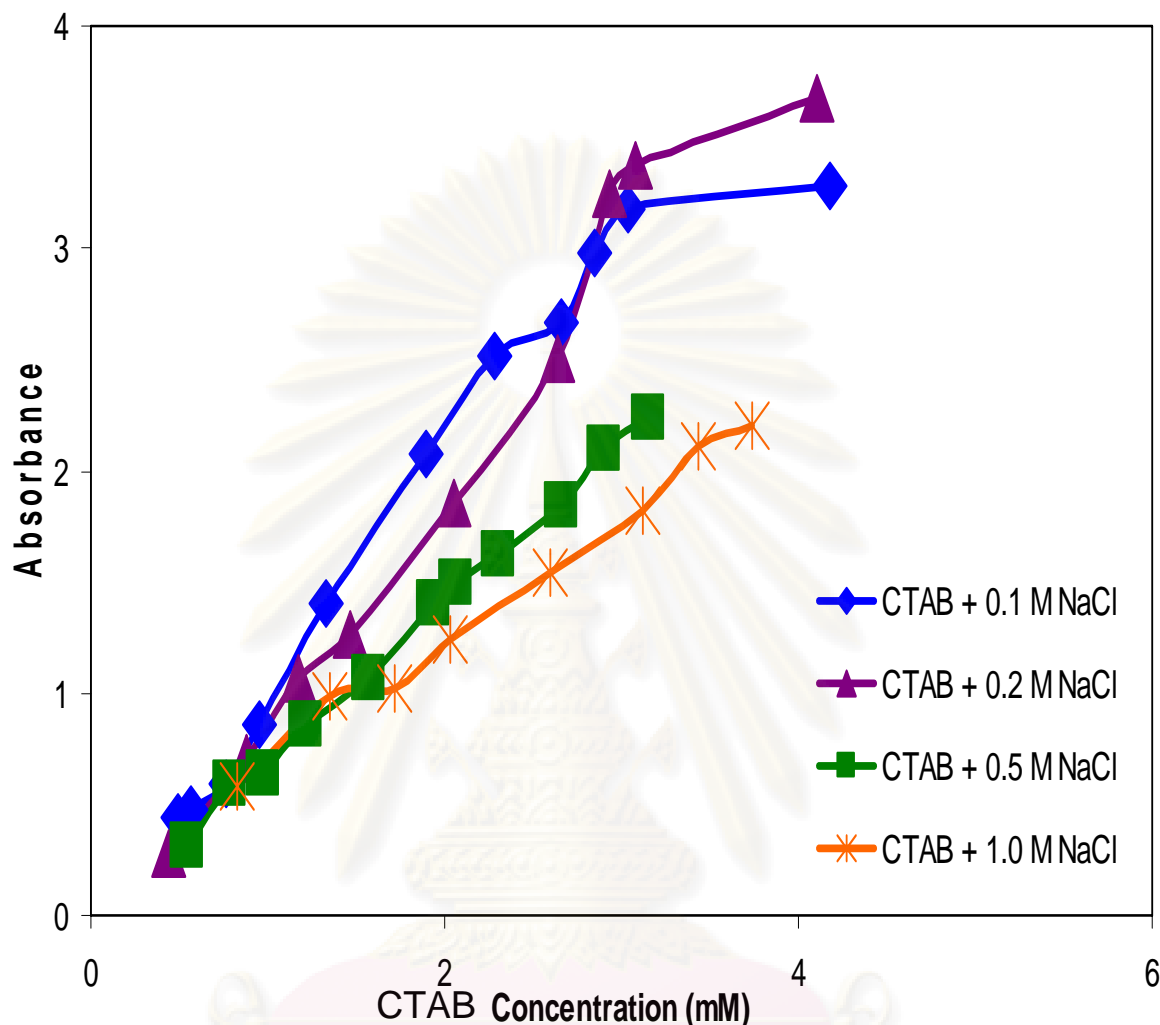


ภาพที่ 4.7 การละลายของหมึกโดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว TTAB ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.1,0.2,0.5 และ 1.0 โมล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ

12

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





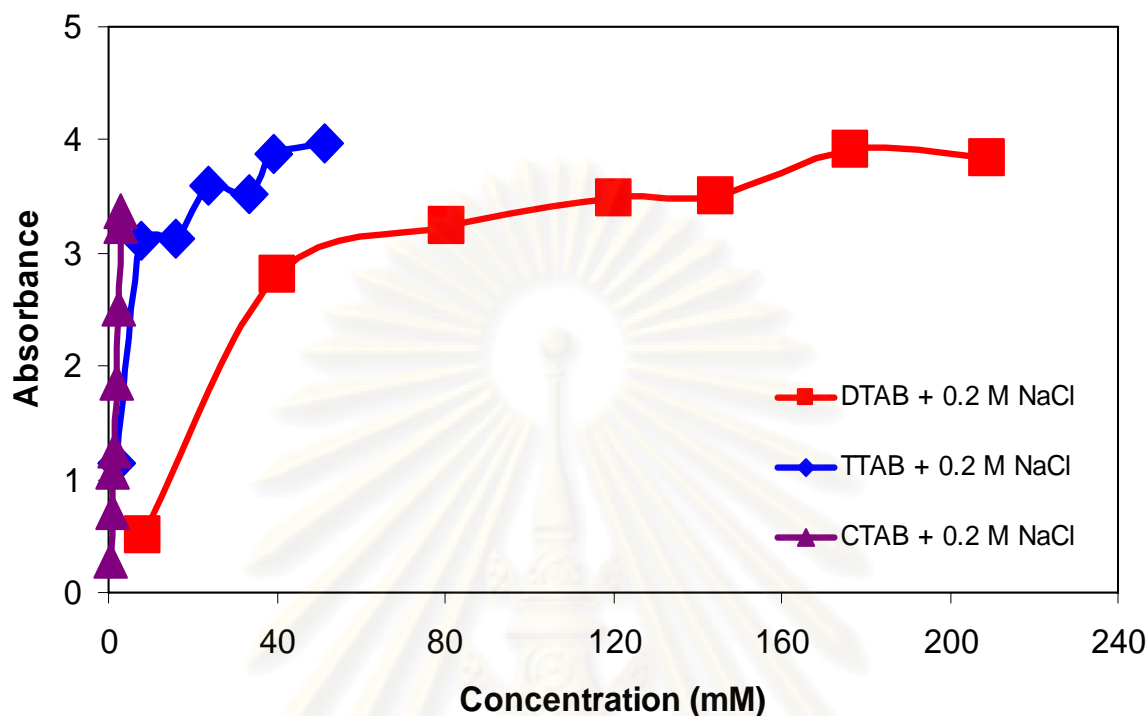
ภาพที่ 4.8 การละลายของหมึกโดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว CTAB ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ในสารละลายลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด หมึกจะละลายได้ดีเมื่อมีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มมากขึ้นและการละลายของหมึกที่ละลายอยู่ในสารละลายทั้ง 3 ชนิดมีค่าความเข้มข้นเหนือค่า CMC ทั้งสิ้น แสดงให้เห็นว่าหมึกจะเกิดการละลายได้ดีหลังเกิดการสร้างไมเซลล์ไปแล้ว ซึ่งจะเป็นส่วนสนับสนุนที่จะทำให้ทราบลักษณะของกลไกการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนในช่วงที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวสูงกว่า CMC โดยที่มีแนวโน้มของการละลายในทุกความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์สอดคล้องกันกับประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติก โดยที่การละลายของหมึกที่ค่าความ

เข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.2 โมลจะละลายได้ดีที่สุดในสารละลาย DTAB และ TTAB ส่วนสารละลาย CTAB การละลายของหมึกที่ค่าความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.2 โมลจะละลายได้ดีที่สุดเช่นกันแต่จะเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นสูง ในขณะที่การละลายจะลดลงที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.1, 0.5 และ 1.0 โมล ตามลำดับ ซึ่งที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.5 และ 1.0 โมล มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือสภาพการละลายของหมึกจะละลายได้ดีเมื่อมีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับหนึ่งเท่านั้น เนื่องมาจากไอออนของเกลือจะทำให้เกิดการสร้างไมเซลล์ได้เร็วขึ้นและมีความเหมาะสมกับโครงสร้างของหมึก ทำให้การละลายของหมึกเพิ่มมากขึ้น ถ้าความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์สูงเกินไปจะทำให้การละลายมีค่าลดลง เพราะเมื่อมีประจุของเกลือที่แตกตัวเป็นไอออนลงไปในระบบ การสร้างไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวจะมีจำนวนโมโนเมอร์เพิ่มมากขึ้น โครงสร้างของหมึกที่มีความเกาะกันจึงละลายในไมเซลล์ได้ยาก การละลายจึงมีค่าลดลง ซึ่งจากที่กล่าวมานี้จะได้อธิบายถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในหัวข้อที่ 4.4

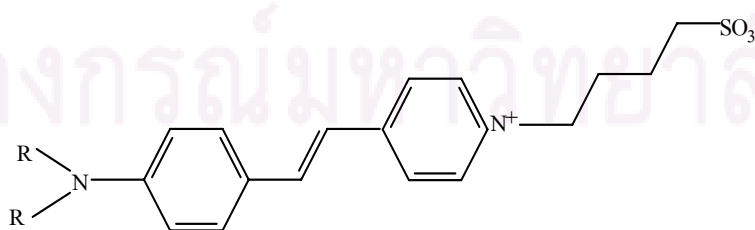
เมื่อนำค่าการละลายของหมึกในสารลดแรงตึงผิว ทั้ง 3 ชนิดมาเปรียบเทียบกัน คือ DTAB TTAB และ CTAB ในภาพที่ 4.9 จะพบว่า การละลายมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อจำนวนอะตอมในหมู่ฮัลคิลของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะการเพิ่มขึ้นของจำนวนอะตอมของหมู่ฮัลคิลจะทำให้ความไม่มีขั้วเพิ่มขึ้นการรวมกันของโมโนเมอร์จึงเกิดได้ง่ายขึ้น ซึ่งค่า CMC จึงเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นต่ำ การละลายจึงเกิดได้ที่ความเข้มข้นต่ำ ประกอบกับปริมาตรในช่องว่างของไมเซลล์จะมีความจุเพิ่มมากขึ้น สารละลาย CTAB จึงมีประสิทธิภาพการละลายได้ดีกว่า TTAB และ DTAB ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

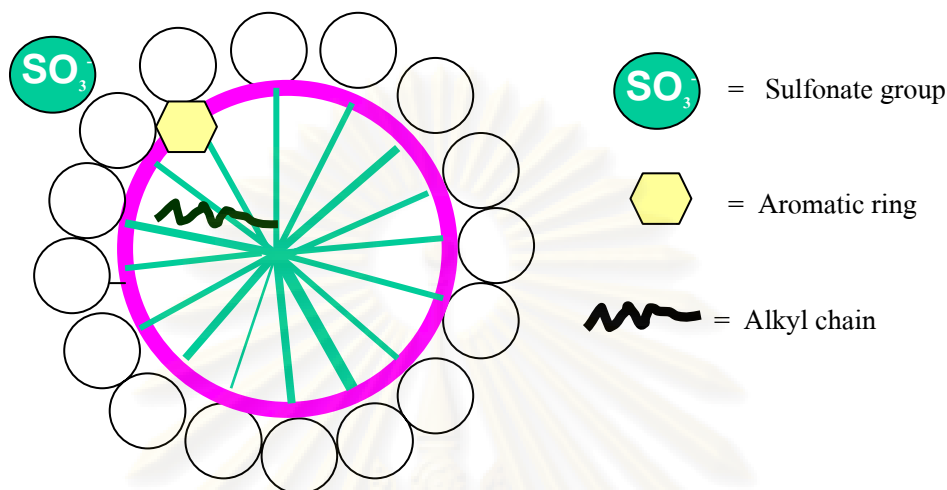


ภาพที่ 4.9 เปรียบเทียบการละลายของหมึกโดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว [CnTAB] ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.2 โมล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12

ลักษณะของการละลายของหมึกหรือ solubilizate ในสารละลายลดแรงตึงผิว ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาการละลายของสีย้อมแอมฟิฟิลิก เฮมิไซยานิน (amphiphilic hemicyanine dye) ในสารละลายลดแรงตึงผิว CTAB ซึ่งสีย้อมมีโครงสร้างดังภาพที่ 4.10 ซึ่งมีองค์ประกอบของหมู่ฟังก์ชัน ของวงแอโรมาติก กลุ่มซัลโฟเนตที่มีประจุลบ หมู่ของสายอัลคิล พบว่าการละลายจะเกิดขึ้นตามภาพที่ 4.11 คือ หมู่ซัลโฟเนตซึ่งถือประจุลบจะเกิดแรงทางไฟฟ้ากับประจุบวกของสารลดแรงตึงผิวด้านนอกไมเซลล์ วงแอโรมาติกจะละลายในส่วนไฮโดรโฟบิกของไมเซลล์ และหมู่อัลคิลจะละลายอยู่ชั้นในส่วนไฮโดรโฟบิกของไมเซลล์ (Shan et al., 1997)



ภาพที่ 4.10 โครงสร้างทางเคมีของแอมฟิฟิลิก เฮมิไซยานิน (Shan et al., 1997)

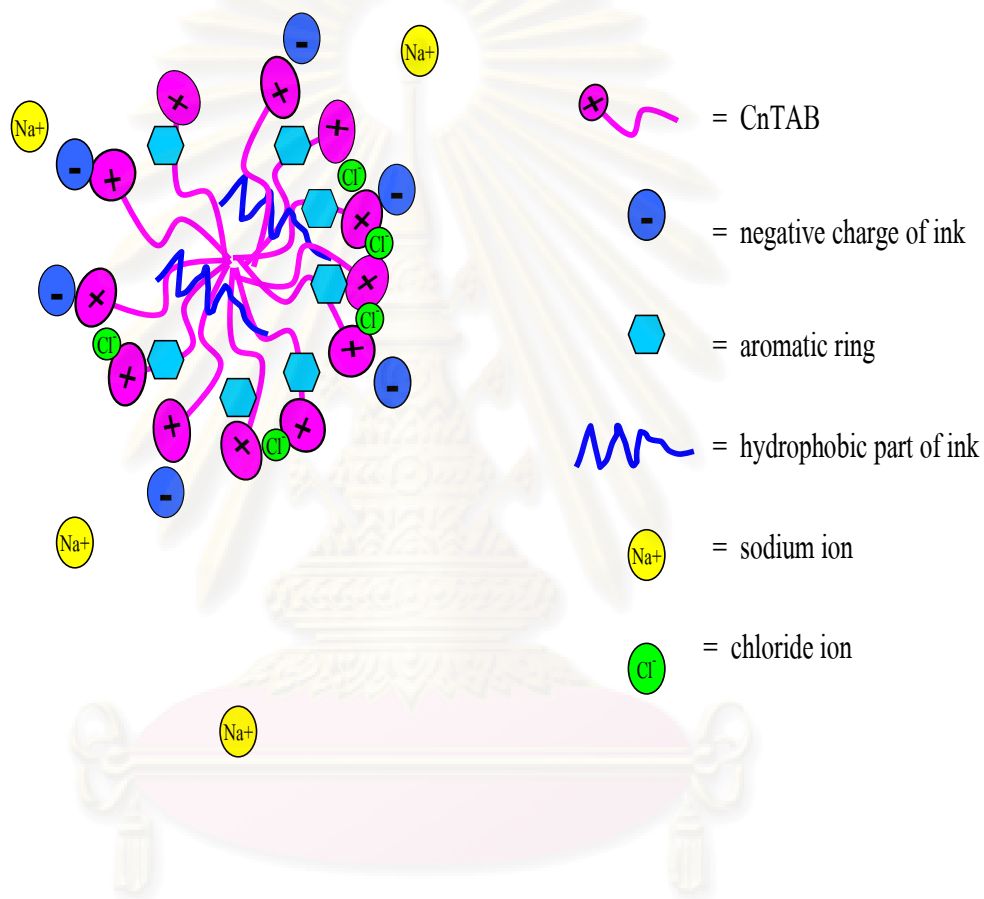


ภาพที่ 4.11 การละลายองค์ประกอบของแอมฟิฟิลิก เฮมิไซยานิน ในไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว CTAB (Shan et al., 1997)

เมื่อพิจารณาโครงสร้างของหมึกที่มีอีพอกซีเรซินเป็นองค์ประกอบ จะมีลักษณะขององค์ประกอบคล้ายคลึงกัน คือมีวงแหวนอะโรมาติก หมู่ที่แสดงประจุลบเมื่ออยู่ในสภาวะต่างของอีพอกซีไฮด์ไอออน หมู่ของสายอัลคิล ดังนั้นความเป็นไปได้ของการละลายของอีพอกซีเรซิน ในไมเซลล์ของสารละลายลดแรงตึงผิว คือส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกจะละลายอยู่ในชั้นใจกลางของไมเซลล์ เนื่องจากเป็นส่วนที่ไม่มีขั้วเหมือนกัน ส่วนที่เป็นขั้วลบของอีพอกซีไฮด์ไอออนจะเกิดแรงทางไฟฟ้าดึงดูดกับประจุบวกส่วนหัวไฮโดรฟิลิกของสารลดแรงตึงผิวที่บริเวณด้านนอกของไมเซลล์ ในขณะที่เกิดแรงไดโพลระหว่างส่วนหัวไฮโดรฟิลิกของสารลดแรงตึงผิวกับ  $\pi$ -electron ของวงแหวนอะโรมาติกในอีพอกซีเรซินซึ่งเกิดขึ้นในชั้นในของไมเซลล์ติดกับส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิว (Shan et al., 1997) ซึ่งการละลาย solubilizate จะเกิดขึ้นได้อย่างเพิ่มขึ้นเมื่อความกว้างของไมเซลล์เพิ่มขึ้น ดังนั้นการที่สายอัลคิลยาวขึ้นจะเป็นการเพิ่มค่าอะกรีเกชันและปริมาตรของการสร้างไมเซลล์ ความจุในการละลายก็จะเพิ่มมากขึ้น (Rosen, 2004) และเมื่อพิจารณาภาวะที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ การที่เติมเกลือในความเข้มข้นที่เหมาะสมจะไปเพิ่มความสามารถในการละลายของหมึก ทั้งนี้เนื่องมาจากความเป็นขั้วของโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออน ไอออนเหล่านี้จะไปเร่งการสร้างไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว เพราะความไม่ชอบความเป็นขั้วในส่วนไฮโดรโฟบิกจึงหันทางเข้าหากันและในส่วนของคลอไรด์ไอออนที่ถูกดึงดูดด้วยส่วนหัวของโมโนเมอร์ CTAB ซึ่งไปช่วยลดแรง

ผลระหว่างโมโนเมอร์ด้วยกันเอง การสร้างไมเซลล์จึงเกิดได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ aggregation number มีค่าสูงขึ้นที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวต่ำ ส่งผลให้ไปเพิ่มปริมาณของไมเซลล์ ประกอบกับไมเซลล์มีช่องว่างระหว่างโมโนเมอร์แต่ละโมโนเมอร์ที่มีระยะห่างที่มีความเหมาะสมที่จะทำให้โครงสร้างของหมึกซึ่งมีความเกาะเกาะของโมเลกุลอยู่มากละลายได้พอดีกับโครงสร้างของไมเซลล์ ทำให้การละลาย solubilize เป็นไปได้มากขึ้นแสดงในภาพที่ 4.12

ส่วนในกรณีที่มีความเข้มข้นของเกลือ โซเดียมคลอไรด์สูงเกินไปแล้วส่งผลให้การละลายของหมึกลดลงนั้นเนื่องมาจากการที่ระบบมีไอออนที่มีความเป็นขั้วสูงอยู่จำนวนมากเกินไป การสร้างไมเซลล์จึงเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวต่ำกว่าในภาวะที่มีการเติมโซเดียมคลอไรด์อย่างเหมาะสม ส่งผลให้ aggregation number มีค่ามาก การที่มีโมโนเมอร์มารวมตัวกันในไมเซลล์เป็นจำนวนมากนี้จึงส่งผลให้เกิดความแออัดในไมเซลล์ ช่องว่างระหว่างโมโนเมอร์แต่ละโมโนเมอร์จึงแคบลง ทำให้หมึกซึ่งมีความเกาะเกาะอยู่มากไม่สามารถละลายเข้าไปในไมเซลล์ได้ หรือที่เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า steric effect ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากความแออัดของโมเลกุลทำให้ปฏิกิริยาของระบบเป็นไปไม่ได้ซ้ำ ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้การละลายของหมึกหรือ solubilize เป็นไปได้อย่างขึ้น และเห็นได้ว่าผลการทดลองนี้มีความแตกต่างจากผลการทดลองที่ใช้หมึกพิมพ์บนพื้นผิวพลาสติกโพลีเอทิลีนที่ใช้ความเข้มข้นของเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่ระดับเดียวกัน (Chotipong, In press) ซึ่งพบว่าจะมีค่าการละลายได้มากที่สุดที่ความเข้มข้นของเกลือ โซเดียมคลอไรด์ 1.0, 0.5, 0.2, 0.1 โมลตามลำดับ ซึ่งอธิบายได้โดยโครงสร้างของหมึกที่นำมาพิมพ์พลาสติกทั้งสองชนิดอาจมีความแตกต่างกัน ซึ่งมีโครงสร้างส่วนประกอบอยู่หลายรูปแบบ (อธิบายในหัวข้อ 4.4) จึงมีความเกาะเกาะของโมเลกุลแตกต่างกันไป จึงคาดการณ์ได้ว่าการที่การละลายของหมึกที่พิมพ์ลงบนพลาสติกโพลีโพรพิลีนมีการละลายได้ไม่ดี ที่การเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นสูงนั้น เป็นผลมาจากโครงสร้างของหมึกที่พิมพ์ลงบนพลาสติกโพลีโพรพิลีนที่มีความเกาะเกาะมากกว่าหมึกที่พิมพ์บนพลาสติกโพลีเอทิลีน หรือเกิด steric effect มากกว่านั่นเอง การละลายจึงละลายได้ไม่เป็นไปในทำนองเดียวกัน



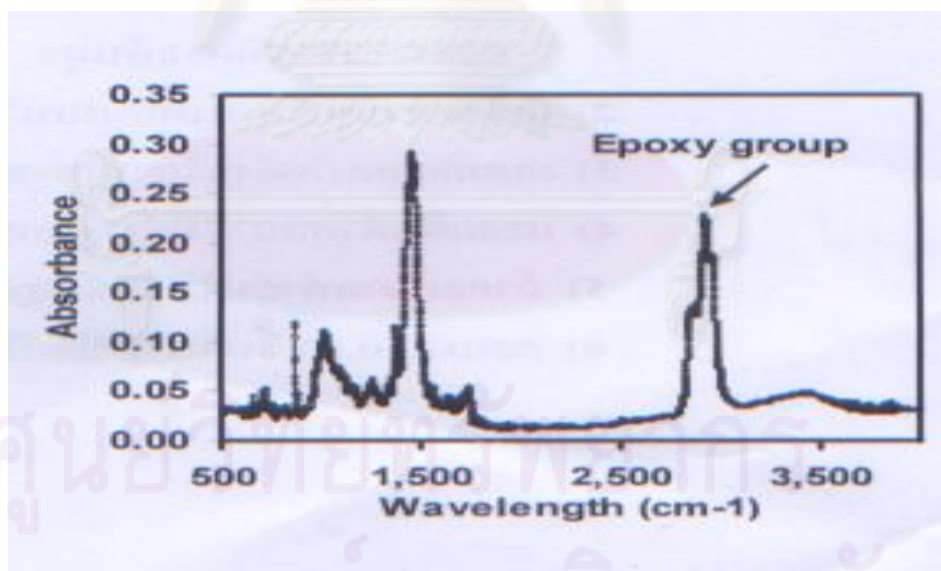
ภาพที่ 4.12 การละลายของหมึกในไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก [CnTAB]

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.4 กลไกการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน

##### 4.4.1. กลไกการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก เมื่อไม่มีการเติมโซเดียมคลอไรด์

การกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน เมื่อพิจารณาโครงสร้างของหมึกที่ใช้เทคนิคการพิมพ์แบบ corona treatment บนผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีการศึกษาโครงสร้างของหมึกด้วย Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (Chotipong , 2007) ดังภาพที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของหมึกมีองค์ประกอบของกลุ่มอีพอกซีเหมือนกับหมึกที่พิมพ์บนพื้นผิวพลาสติกโพลีเอทิลีน ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก DTAB TTAB และ CTAB ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ด้วยภาวะที่เหมือนกัน ส่งผลให้กลไกการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนจึงมีลักษณะเช่นเดียวกับกลไกการกำจัดหมึกบนผิวพลาสติกโพลีเอทิลีนซึ่งอธิบายในหัวข้อที่ 2.9



ภาพที่ 4.13 Fourier Transform Infrared Spectrophotometer ของหมึกบนพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน(Chotipong, 2007)

#### 4.4.2 กลไกการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก เมื่อมีการเติมโซเดียมคลอไรด์

เมื่อเกิดการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นสารประกอบไอออนิกเมื่อละลายน้ำแล้วจะนำไฟฟ้า มีโซเดียมไอออนแสดงอำนาจประจุบวก ส่วนคลอไรด์ไอออนแสดงอำนาจประจุลบ จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการหาค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวทั้งสามชนิดคือ DTAB TTAB และ CTAB โดยการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นต่างๆกันดังต่อไปนี้ คือ 0.1, 0.2, 0.5, และ 1.0 โมลที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้การเขียนกราฟระหว่างค่าแรงตึงผิวกับค่าความเข้มข้นของสารละลายลดแรงตึงผิว ได้ผลการหาค่า CMC ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า CMC ของสารละลายลดแรงตึงผิวเมื่อเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ค่าความเข้มข้นต่างๆกัน (Chotipong , In press)

NaCl (M)	CMC (mM)		
	CTAB	TTAB	DTAB
0	0.9600	3.752	12.7714
0.1	0.0380	0.7426	9.8712
0.2	0.0293	0.3946	8.0305
0.5	0.0121	0.1031	6.857
1.0	0.0104	0.0304	4.4816

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า เมื่อพิจารณาค่าของ CMC ในระบบของสารละลายลดแรงตึงผิว จะมีค่าลดลงเมื่อมีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มมากขึ้น ในสารลดแรงตึงผิวทุกชนิด ทั้ง DTAB TTAB และ CTAB ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อมีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ ลงในระบบของสารลดแรงตึงผิว โซเดียมคลอไรด์ก็จะแตกตัวเป็นไอออน ซึ่งจะมีอำนาจทางไฟฟ้าหรือมีความเป็นขั้วอยู่สูง ทำให้โมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิวที่



บริเวณส่วนของไฮโดรฟิลิกที่มีความเป็นขั้วซึ่งโดยปกติจะเกิดแรงทางไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดแรงผลักดันเองของโมโนเมอร์ประจุบวก ไอออนลบของคลอไรด์ ไอออนเหล่านี้จะไปลดแรงผลักดันของแต่ละโมโนเมอร์ กล่าวคือเมื่อไอออนลบของคลอไรด์ ไปพบกับโมโนเมอร์จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างกัน ทำให้สภาพขั้วของโมโนเมอร์มีค่าลดลง การสร้างไมเซลล์จึงเกิดได้ง่ายขึ้น โดยในแต่ละไมเซลล์ค่าอะกรีเกชันจะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นจากการที่โมโนเมอร์มารวมตัวกัน

จากความสัมพันธ์ของค่า CMC ที่เกิดขึ้นจึงนำมาอธิบาย กลไกการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติก จากการทดลองจะเห็นได้ว่าภาวะที่มีการเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ลงในระบบจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดหมึกได้สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ในสารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด การเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นที่เหมาะสมเป็นการเติมอิเล็กโทรไลต์ลงไปในระบบทำให้ระบบมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ในงานวิจัยนี้พิจารณาที่ความเข้มข้นของเกลือ โซเดียมคลอไรด์ 0.2 โมล เมื่อเกลือ โซเดียมคลอไรด์ละลายในระบบจะเกิดการแตกตัวเป็นไอออน โซเดียมไอออนจะแสดงอำนาจประจุบวก คลอไรด์ไอออนจะแสดงอำนาจประจุลบ เมื่อหมึก(อีพอกซีเรซิน)ที่พื้นผิวพลาสติกแสดงอำนาจประจุลบจากการเติมไฮดรอกไซด์ ไอออน การดูดซับของโมโนเมอร์ในขั้นตอนนี้อธิบายทำนองเดียวกับกับการดูดซับของโมโนเมอร์ของ CnTAB ในการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติก โพลีเอธิลีน(Chotipong et al., 2006) นั่นคือโมโนเมอร์กลุ่มแรกของสารลดแรงตึงผิวจะเกิดที่บริเวณพื้นผิวพลาสติกที่ไม่มีหมึกเคลือบอยู่จะหันทางเข้าหาพื้นผิวพลาสติกเรียงชิดกันมากขึ้นจากการที่คลอไรด์ไอออน ไปช่วยลดแรงผลักดันระหว่างโมโนเมอร์ ในขณะที่โมโนเมอร์อีกกลุ่มหนึ่งจะเกิดแรงดึงดูดกับประจุลบของหมึก โมโนเมอร์สองกลุ่มนี้จะเกิดแรงทางไฟฟ้าแก่กัน ทำให้หมึกหลุดจากพื้นผิวไปได้ เมื่ออธิบายด้วยผลการทดลองจากสภาพการละลายของหมึกในไมเซลล์ที่มีความเข้มข้นสูงกว่า CMC ที่ให้ค่าการละลายของหมึกสอดคล้องกับกลไกการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิว คือ เมื่อมีการเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์การละลายจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยการละลายได้สูงที่สุดที่ความเข้มข้นของเกลือ โซเดียมคลอไรด์ 0.2 โมลเช่นเดียวกันซึ่งอธิบายไปแล้วในหัวข้อ 4.3.1 เมื่อหมึกหลุดจากพื้นผิวพลาสติกแล้วจะเข้าไปละลายในไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวและจะไม่กลับมาเกาะที่พื้นผิวอีกเนื่องจากเกิดการดูดซับสารลดแรงตึงผิวโดยรอบทำให้เกิดการ Stabilization และ dispersion ของหมึกที่หลุดออกจากพื้นผิวพลาสติกแล้ว

เมื่อพิจารณาจากการทดลองการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติก โพลีโพรพิลีนในภาพที่ 4.1,4.2,4.3 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิดไม่ได้แปรผันตามค่าความเข้มข้นของเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความเข้มข้นของเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 0.2,0.1,0.5,1.0 โมล ตามลำดับ แสดงว่าการเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดหมึกที่ระดับความเข้มข้นหนึ่งเท่านั้น ถ้า

มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์มากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกลดลง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ที่ศึกษาผลจากการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์เช่นเดียวกัน แต่เป็นพลาสติกคนละชนิด คือ พลาสติกโพลีเอธิลีน มีประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์เรียงจากสูงไปต่ำที่ 1.0, 0.5, 0.2, 0.1 โมลตามลำดับ (Chotipong, In press) จะเห็นได้ว่าที่สภาวะในการทดลองที่เหมือนกัน แต่สภาพการละลายและการกำจัดหมึกได้ให้ผลต่างกัน ทั้งนี้ความแตกต่างประการเดียวที่น่าจะเกิดขึ้นก็คือ โครงสร้างของหมึกพิมพ์ที่แตกต่างกัน ถึงแม้จะเป็นหมึกประเภทอีนอกซ์เหมือนกันแต่เนื่องจากอีนอกซ์มีโครงสร้างที่มีหลายรูปแบบ การที่สภาพการละลายมีค่าสูงสุดที่ 0.2 โมลของการเติมโซเดียมคลอไรด์น่าจะมาจากโครงสร้างของหมึกที่มีความซับซ้อน มีโซ่กิ่ง (branch) ในโครงสร้าง จึงทำให้เกิดความเกะกะ (Steric effect) ในการละลายเข้าไปในไมเซลล์ที่มีจำนวน aggregation number สูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเกลือมากขึ้น จึงทำให้ค่าการกำจัดหมึกเกิดได้ดีที่สุดที่ 0.2 โมลของการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ในผลการวิจัยนี้

#### 4.5 ระบบสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ

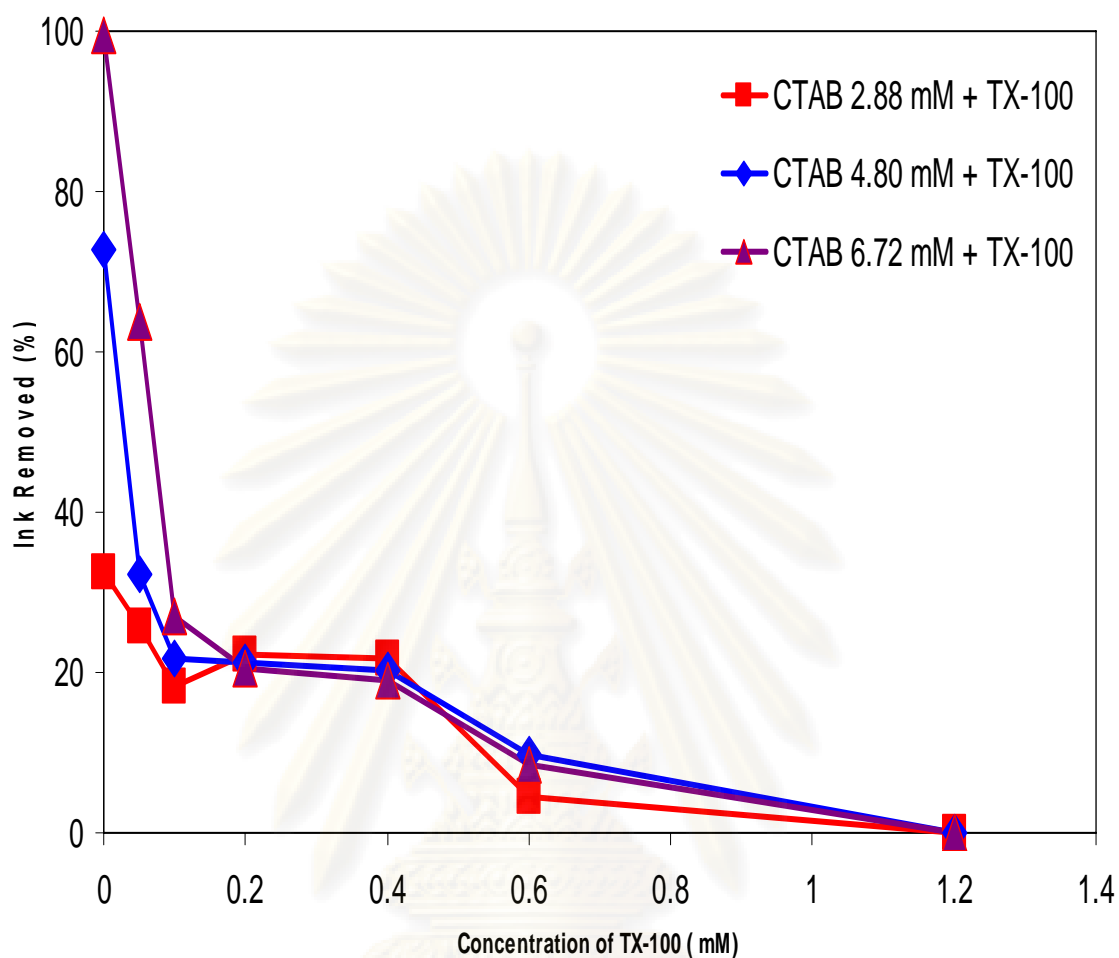
ในงานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาถึงระบบของสารลดแรงตึงผิวที่นำมาผสมกัน โดยเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกและสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ จากการวิจัยในหัวข้อที่ 4.1 จึงเลือกที่จะใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ซึ่งก็คือ CTAB มาผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ไตรตอนเอกซ์-100 (Triton X-100) เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของการผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุลงไปในระบบของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส และความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 เพื่อให้มีสิ่งแวดล้อมของระบบเหมือนกับการกำจัดหมึกที่ใช้ CTAB เพียงชนิดเดียว แบ่งการทดลองเพื่อศึกษาคูณลักษณะ 3 ด้าน ได้แก่ การกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติก ค่าซีตาโพเทนเชียลของหมึกในระบบสารละลายลดแรงตึงผิวผสม และสภาพการละลายของหมึกในระบบสารละลายลดแรงตึงผิวผสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.5.1 การกำจัดหมึกชนิดที่ใช้ตัวทำละลายออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ

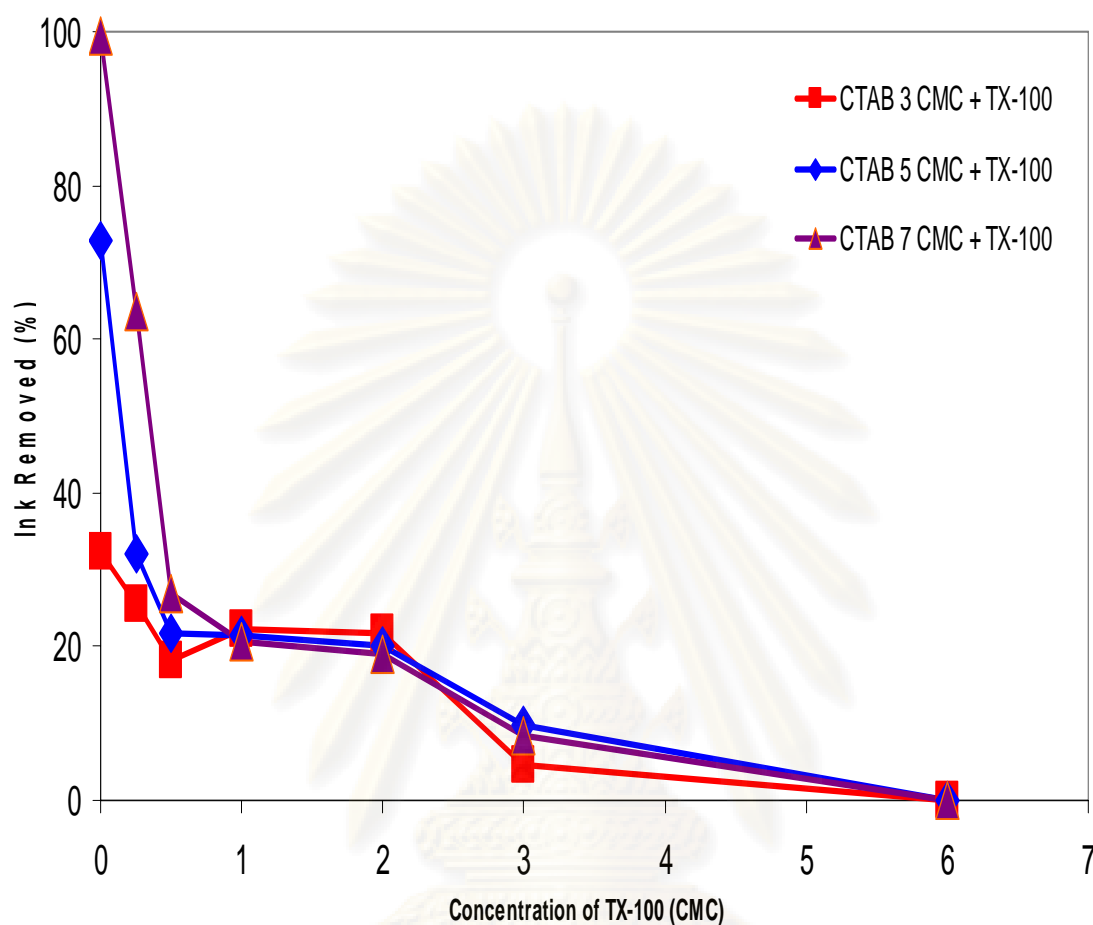
การกำจัดหมึกชนิดที่ใช้ตัวทำละลายออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนโดยใช้สารลดแรงตึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 อาศัยพื้นฐานจากการทดลองในหัวข้อที่ 4.1 ที่ใช้ CTAB ที่ไม่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ มีค่า CMC เท่ากับ 0.96 มิลลิโมล ซึ่งการกำจัดหมึกออกได้อย่างสมบูรณ์ที่ความเข้มข้น 6.72 มิลลิโมล หรือ 7 CMC เพื่อศึกษาอิทธิพลของการผสมสารละลาย Triton X-100 จึงเลือกใช้ความเข้มข้นของ CTAB ที่ความเข้มข้นนี้ และใช้การแปรผันของสารละลาย Triton X-100 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งมีค่า CMC เท่ากับ 2 มิลลิโมล นอกจากนี้ยังเลือกใช้ความเข้มข้นของ CTAB ที่ 4.80 มิลลิโมลหรือ 5 CMC และที่ 2.88 มิลลิโมลหรือ 3 CMC เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองที่เกิดขึ้น

ผลการทดลองการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนโดยใช้สารลดแรงตึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 แสดงในภาพที่ 4.14 เห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกจะมีค่าลดลงเมื่อมีความเข้มข้นของ Triton X-100 ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีทิศทางของผลการทดลองเหมือนกันในทุกความเข้มข้นของ CTAB โดยที่การกำจัดหมึกจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อมีความเข้มข้นของ CTAB อยู่มากกว่า แสดงว่าปริมาณของสารลดแรงตึงผิว CTAB มีความสำคัญต่อการกำจัดหมึกเป็นอย่างยิ่ง เมื่อพิจารณาที่กราฟในช่วงต้นที่มีปริมาณของ Triton X-100 ต่ำหรือ CMC ต่ำ จะมีการกำจัดหมึกได้ดี ทั้งนี้จากการที่มีโมโนเมอร์ของ Triton X-100 ยังมีอยู่น้อย การกำจัดหมึกจึงเกิดขึ้นได้ดี ในขณะที่ช่วงปลายการกำจัดหมึกออกได้น้อยและมีค่าใกล้เคียงกัน จากการที่มีโมโนเมอร์ของ Triton X-100 อยู่จำนวนมาก ซึ่งสาเหตุที่เกิดขึ้นจะอธิบายในหัวข้อ 4.5.4 สำหรับภาพที่ 4.15 แสดงการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนโดยใช้สารลดแรงตึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 แสดงความเข้มข้นในรูปแบบ CMC ซึ่งเมื่อพิจารณาลักษณะของกราฟก็มีลักษณะสอดคล้องเป็นไปในทำนองเดียวกันกับภาพที่ 4.14 คือ เมื่อค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดหมึกจะลดลงในทุกความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว CTAB ซึ่งการกำจัดหมึกจะเป็นไปได้ดีเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 ที่ต่ำกว่า CMC และ ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว CTAB ที่มากกว่าค่า CMC



ภาพที่ 4.14 การกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน โดยใช้สารลดแรงตึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

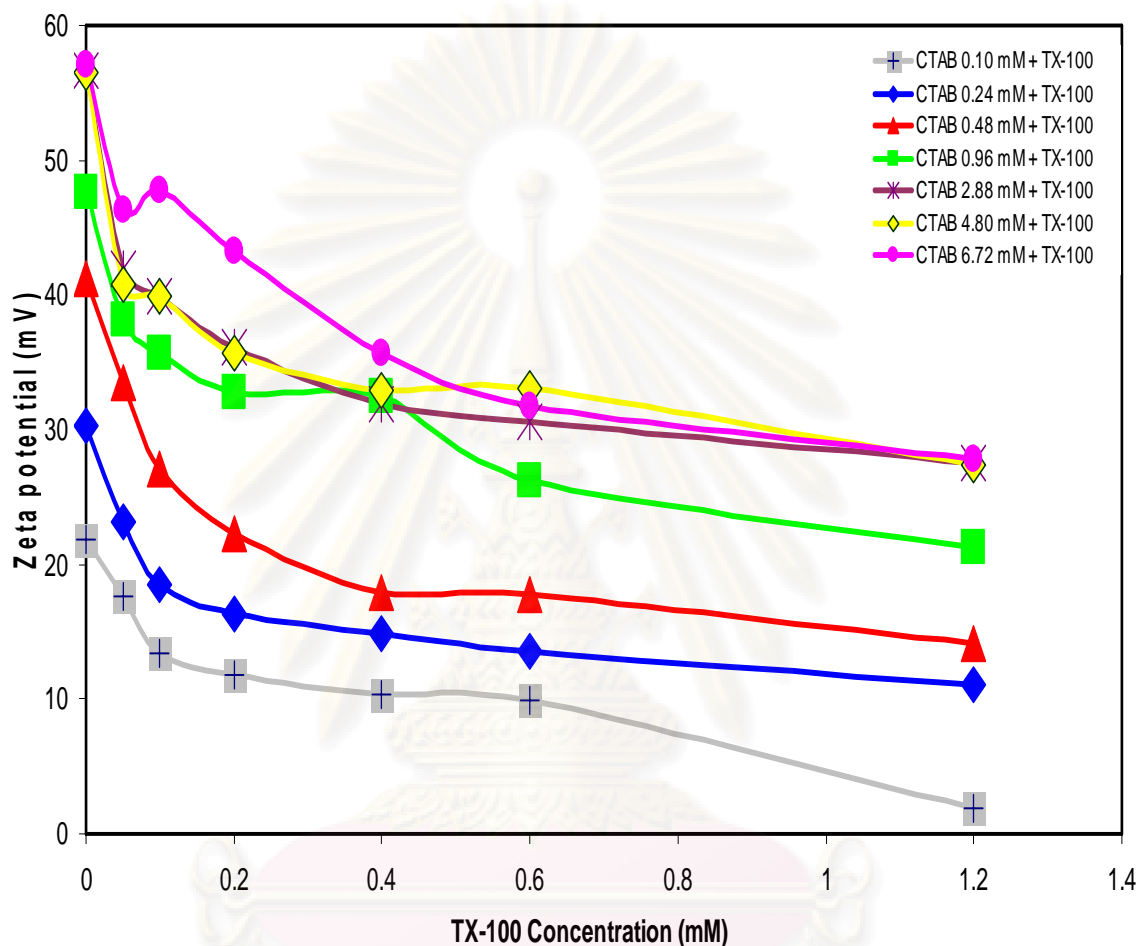


ภาพที่ 4.15 การกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนโดยใช้สารลดแรงตึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 แสดงความเข้มข้นในรูปแบบ CMC

#### 4.5.2 ซีตาโพเทนเชียลของหมึกในระบบของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ

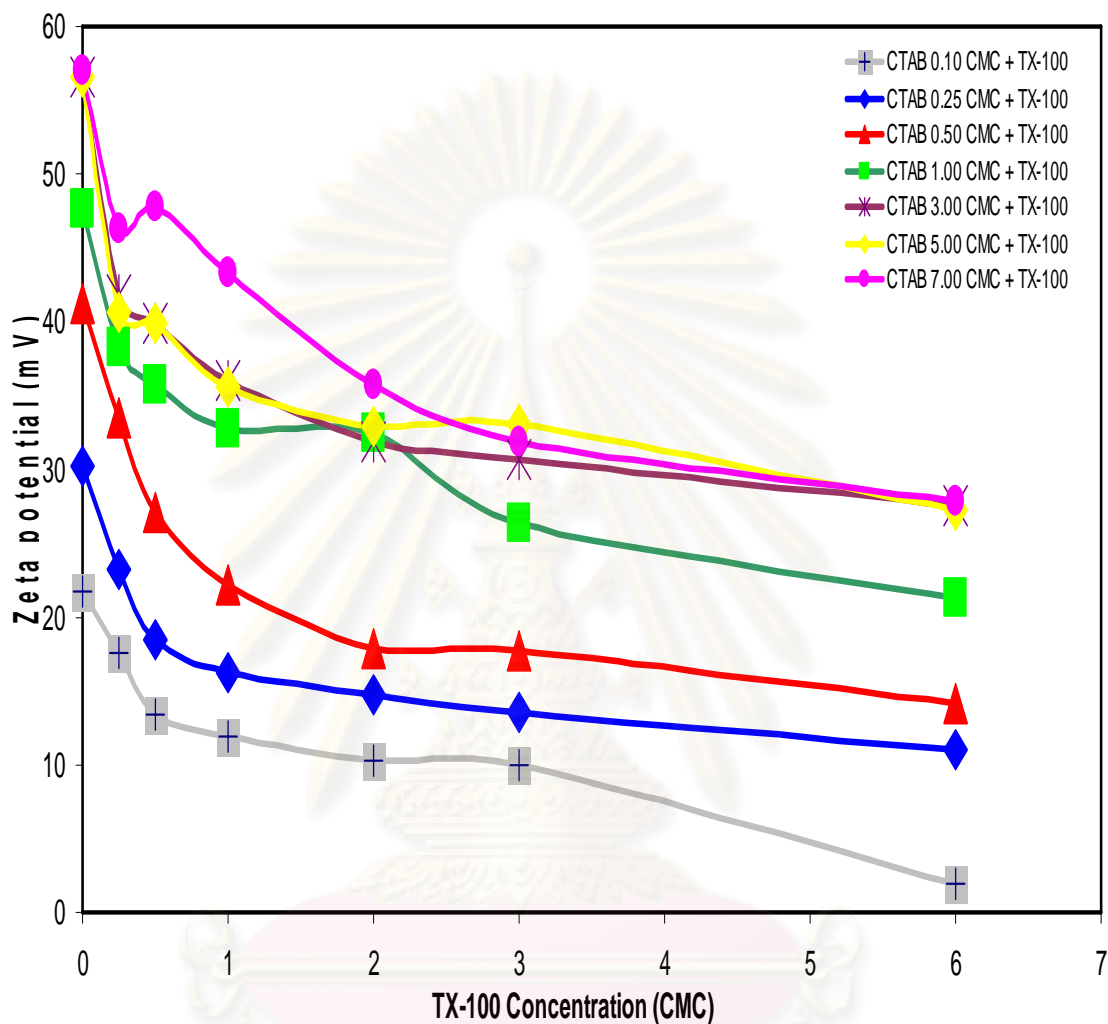
การศึกษาค่าซีตาโพเทนเชียลของหมึกในระบบของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ Triton X-100 โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส และความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 การทดลองเลือกใช้ที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว CTAB ทั้งที่ต่ำและสูงกว่า CMC ได้แก่ ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.24, 0.48, 0.96, 2.88, 4.80, 6.72 มิลลิโมล หรือที่

0.1,0.25,0.50,1.0,3.0,5.0,7.0 CMC ตามลำดับแปรผันตามค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 แสดงผลการทดลองในภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 ค่าซีตาโพเทนเชียลของหมึกในระบบของสารลดแรงตึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.17 ค่าซีตาโพเทนเชียลของหมึกในระบบของสารลดแรงตึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 แสดงความเข้มข้นในรูปแบบ CMC

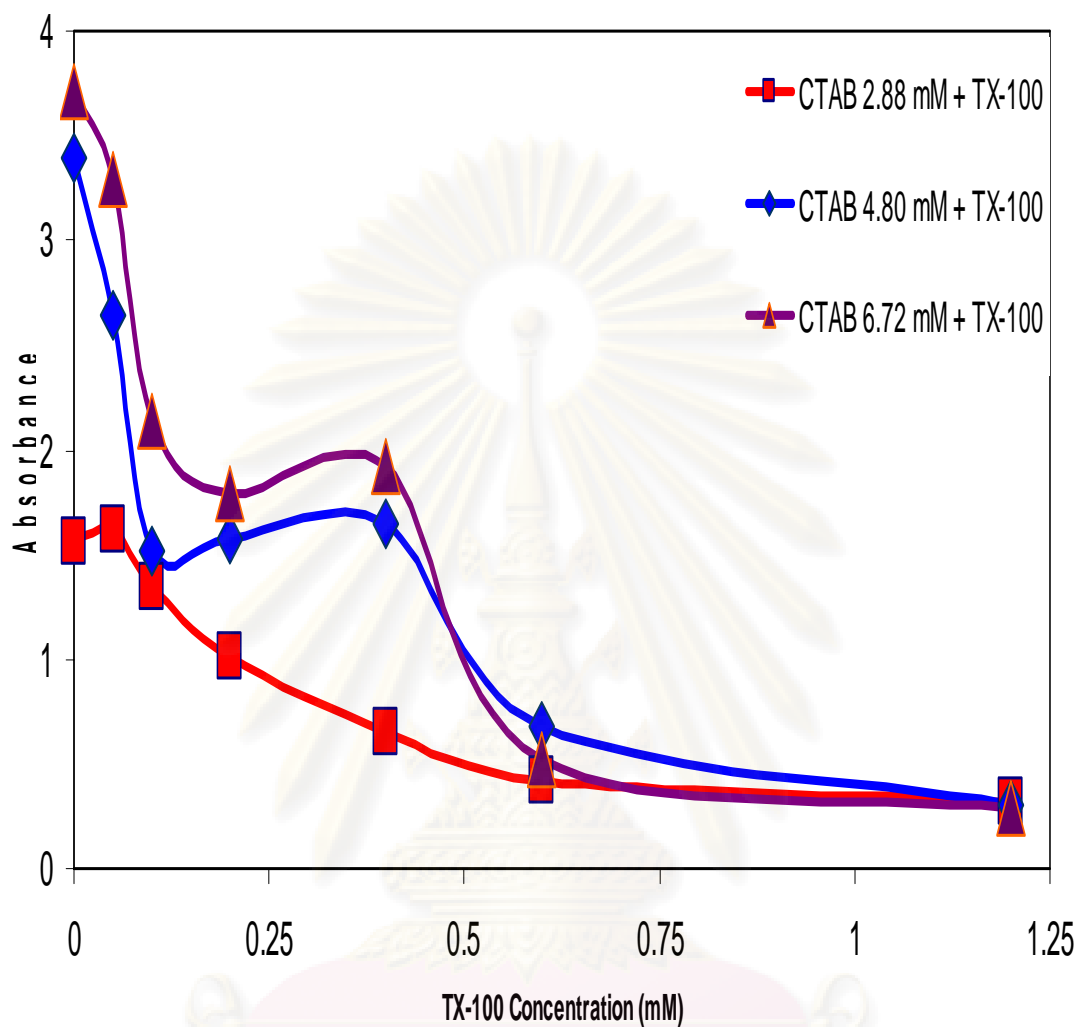
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 เพิ่มขึ้น ค่าซีตาโพเทนเชียลของหมึกจะมีค่าลดลง ในทุกความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว CTAB และซีตาโพเทนเชียลของหมึกจะมีค่าเป็นบวกมากขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของลดแรงตึงผิว CTAB ที่เพิ่มขึ้น โดยในการทดลองนี้ ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว CTAB 6.72 มิลลิโมลที่ผสมกับ Triton X-100 ที่ความเข้มข้นต่างๆมีค่าซีตาโพเทนเชียลของหมึกเป็นบวกสูงสุด เมื่อพิจารณาค่า

ความเข้มข้นในรูป CMC แสดงในภาพที่ 4.17 จะเห็นว่ามีลักษณะเช่นเดียวกันกับการศึกษาในเชิงความเข้มข้น โดยที่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าซีตาโพเทนเชียลของ CTAB ในระบบเดี่ยวที่ไม่มี Triton X-100 มาผสม(ความเข้มข้นของ Triton X-100 0.0 mM และ 0.0 CMC ) ค่าซีตาโพเทนเชียลจะมีค่ามากกว่าในระบบที่มี Triton X-100 มาผสม ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าซีตาโพเทนเชียลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีความเข้มข้นของ Triton X-100 ต่ำกว่าค่า CMC เห็นได้ว่าผลการทดลองซีตาโพเทนเชียลที่ได้จึงมีความสอดคล้องเป็นไปในทำนองเดียวกันกับกระบวนการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกที่ใช้สารลดแรงตึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 อธิบายด้วยการดูดซับโมโนเมอร์ที่ผิวหมึก เมื่อมีโมโนเมอร์ Triton X-100 ที่ไม่แสดงประจุ ผสมอยู่ในระบบของโมโนเมอร์ CTAB ที่แสดงประจุบวกซึ่งจะเป็นส่วนที่แสดงศักย์ไฟฟ้าไปทางบวก โดยโมโนเมอร์ของ Triton X-100 จะไปดูดซับกับอนุภาคหมึกร่วมกับโมโนเมอร์ของ CTAB ทำให้การดูดซับโมโนเมอร์ CTAB ลดลง ค่าซีตาโพเทนเชียลจึงมีค่าลดลง ค่าซีตาโพเทนเชียลของระบบสารลดแรงตึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 จึงมีส่วนสนับสนุนในการอธิบายกลไกการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนได้เป็นอย่างดี

#### 4.5.3 สภาพการละลายของหมึกในระบบของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ

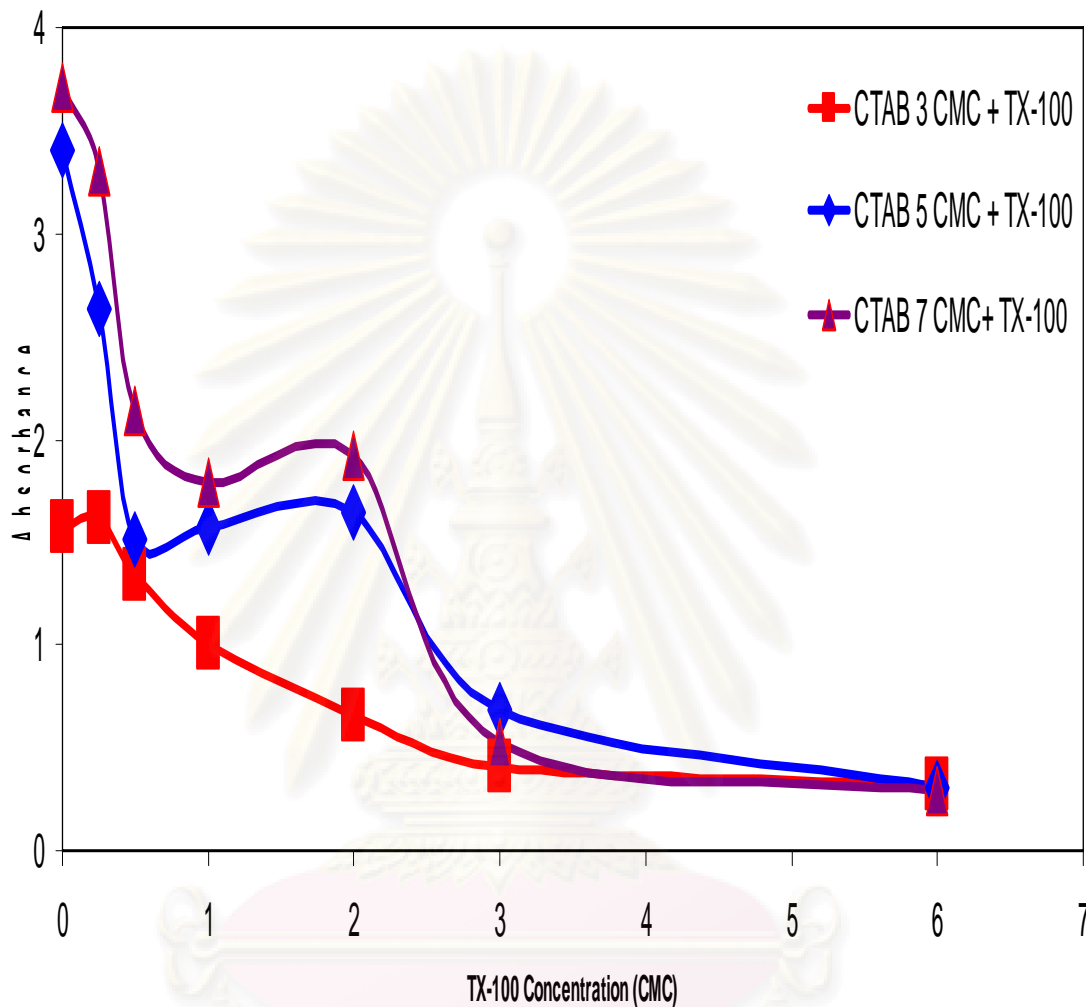
เมื่อศึกษาถึงการละลายของหมึกในระบบของสารลดแรงตึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 โดยใช้ภาวะค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว CTAB เช่นเดียวกับกระบวนการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกในหัวข้อ 4.5.1 ผลการทดลองการละลายของหมึกในระบบของสารลดแรงตึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 แสดงในภาพที่ 4.18 และ 4.19 แสดงความเข้มข้นในรูป CMC





ภาพที่ 4.18 การละลายของหมึกในระบบของสารลดแรงตึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.19 การละลายของหมึกในระบบของสารลดแรงตึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 แสดงความเข้มข้นในรูปแบบ CMC

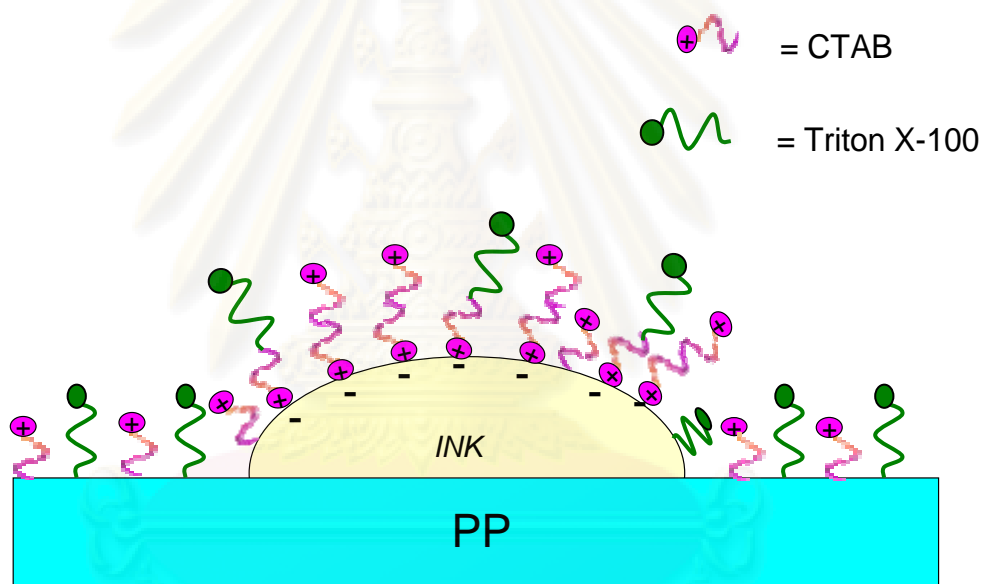
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการละลายของหมึก (solubilize) มีความสอดคล้องเป็นไปในทำนองเดียวกันกับกระบวนการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกที่ใช้สารลดแรงตึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 คือค่าการละลายลดลงเมื่อมีความเข้มข้นของ Triton X-100 เพิ่มมากขึ้นหรือละลายได้มากเมื่อมีปริมาณของสารลดแรงตึงผิว CTAB มาก แสดงว่าโครงสร้างของโมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 ไปมีผลทำให้การละลาย solubilize ในไมเซลล์ลดลง จากรูป 4.18 และ ภาพที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าในช่วงต้นของกราฟที่ความเข้มข้นของ Triton X-

100 เท่า หรือต่ำกว่า CMC จะมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นอย่างรวดเร็วในทุกความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว CTAB การละลายที่ลดลงอย่างรวดเร็วนี้เกิดมาจากในไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวผสมมีโมโนเมอร์ของ CTAB และ Triton X-100 อยู่ร่วมกันโดยที่โมโนเมอร์ของ Triton x-100 ซึ่งไม่มีประจุจะแทรกอยู่ระหว่างส่วนหัวของโมโนเมอร์ CTAB ส่งผลให้แรงทางไฟฟ้าในไมเซลล์ลดลง โอกาสที่ไอพอกซีที่แสดงประจุลบละลายเข้ามาในไมเซลล์ได้น้อยลง ซึ่งกลไกการละลายจะอธิบายในหัวข้อ 4.5.4 ในขณะที่ช่วงปลายของกราฟที่ความเข้มข้นของ Triton X-100 สูงหรือสูงกว่า CMC ความชันของกราฟเกือบที่จะคงที่ในทุกความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว CTAB ค่าการละลายที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยจนไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เมื่อมีความเข้มข้นของ Triton X-100 สูง การสร้างไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวผสมจะมีโมโนเมอร์ของ Triton X-100 มาแทรกในไมเซลล์อยู่จำนวนมาก จึงไม่มีแรงทางไฟฟ้าในการดึงดูดประจุต่างๆ การละลายจึงละลายได้ลดลงมากจนมีความคงที่

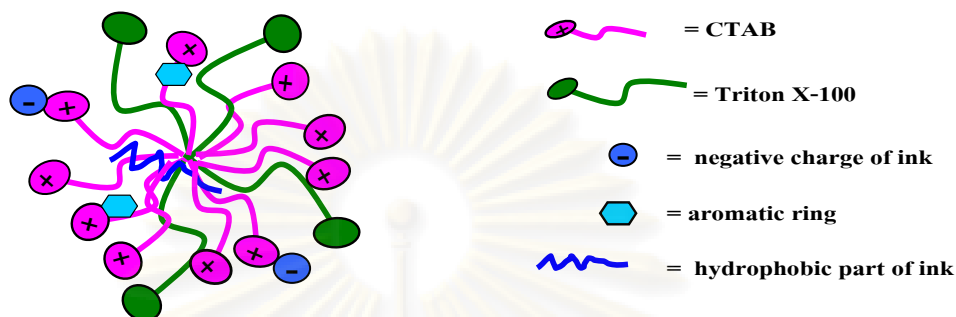
#### 4.5.4 กลไกการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก ผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ

จากผลการทดลองจึงเห็นได้ว่า สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ Triton X-100 จะไปลดประสิทธิภาพกระบวนการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก CTAB ทั้งนี้มาจากการที่โมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 ไม่มีประจุที่ส่วนหัว ซึ่งไม่เกิดแรงทางไฟฟ้ากับสารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีประจุ แต่มีส่วนหางที่มีลักษณะเดียวกันกับสารลดแรงตึงผิว CTAB คือ เป็นส่วนของสายคาร์บอนอะตอมเช่นเดียวกัน ทั้งสองส่วนนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้แรงทางไฟฟ้าและแรงดึงดูดของโมโนเมอร์ CTAB เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ จากการศึกษาค่าซีตาโพเทนเชียลของหมึกที่บ่งบอกอย่างชัดเจนว่ามีค่าซีตาโพเทนเชียลที่ลดลง เมื่อมีปริมาณของ Triton X-100 เพิ่มขึ้น โดยที่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าซีตาโพเทนเชียลของ CTAB ในระบบเดี่ยวที่ไม่มี Triton X-100 มาผสม (ภาพที่ 4.16 ความเข้มข้นของ Triton X-100 0.0 mM) ค่าซีตาโพเทนเชียลก็มีค่ามากกว่าในระบบที่มี Triton X-100 มาผสม แสดงว่าการรวมตัวกันของโมโนเมอร์ที่ผิวหมึกเกิดขึ้นจากโมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด ซึ่งเมื่อมีปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุเพิ่มขึ้นศักย์ไฟฟ้าที่ผิวหมึกจึงลดลง จึงสามารถคาดการณ์ลักษณะการดูดซับสารลดแรงตึงผิวผสมที่บริเวณผิวหมึกแสดงในภาพที่ 4.20 จะเห็นว่าที่บริเวณพื้นผิวพลาสติกที่ไม่มีหมึกเคลือบอยู่โดยทั่วไปถ้ามีสารละลาย CTAB เพียงชนิดเดียวเกิดการดูดซับที่พื้นผิวพลาสติก โดยหันส่วน

ไฮโดรโฟบิกเข้าหาผิวพลาสติก แต่ถ้ามีสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุมาผสมในระบบ พื้นที่ผิวพลาสติกก็จะไม่มีโมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุมาผสม ซึ่งมีส่วนทำให้ไปลดแรงผลักระหว่างกันของโมโนเมอร์ของสารลดแรงตึงผิว CTAB ที่อยู่บนผิวหมึกกับผิวพลาสติก ที่จะผลักรันด้วยแรงทางไฟฟ้าทำให้หมึกหลุดออกไปได้ ในขณะที่ผิวหมึกบริเวณที่เป็นประจุลบจากการเติมต่างลงไปจะเกิดแรงทางไฟฟ้ากับสารลดแรงตึงผิว CTAB และบางส่วนของผิวหมึกที่ไม่มีขั้วจะเกิดแรงดึงดูดกับส่วนที่ไม่มีขั้วของสารลดแรงตึงผิวทั้ง CTAB และ Triton X-100 โมโนเมอร์ของ Triton X-100 จึงไปลดพื้นที่การดูดซับของโมโนเมอร์ CTAB แรงทางไฟฟ้าที่จะทำให้เกิดการชะล้างจึงลดลง หมึกจึงหลุดออกจากพื้นผิวพลาสติกได้ยากขึ้น



ภาพที่ 4.20 ลักษณะการดูดซับสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่าง CTAB กับ Triton X-100 ที่บริเวณพื้นผิวหมึกบนพลาสติกโพลีโพรพิลีน



ภาพที่ 4.21 สภาพการละลายของหมึกในสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิว ชนิดไม่มีประจุ Triton X-100

การละลายจะเกิดขึ้นเมื่อมีการรวมตัวเป็น ไมเซลล์ ดังแสดงในภาพที่ 4.21 ซึ่งจากการทดลอง ผลของการละลายของหมึกในสารลดแรงตึงผิว CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 จะมีค่าลดลงเมื่อมีปริมาณของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุเพิ่มมากขึ้น กล่าวคือ การละลายจะเกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมีค่าสูงกว่า CMC เมื่อระบบของสารลดแรงตึงผิวผสมเกิดการสร้างไมเซลล์ ในหนึ่งไมเซลล์จะมีทั้งโมโนเมอร์ของ CTAB และ Triton X-100 ซึ่งหมึกที่อยู่ในระบบจะมีความเป็นลบจากการเติมค่าลงไป solubilize ของหมึกในส่วนที่แสดงอำนาจลบก็จะไม่ดึงดูดกับโมโนเมอร์ที่ไม่มีประจุ ไมเซลล์ของระบบสารลดแรงตึงผิวผสมก็จะดึงดูด solubilize ของหมึกได้น้อยลง ส่งผลต่อการละลายทำให้มีค่าที่ลดลง การละลายของหมึกในสารลดแรงตึงผิวผสมจึงสนับสนุนผลของประสิทธิภาพการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติกได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามการกำจัดหมึกโดยใช้สารลดแรงตึงผิวผสม ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งระบบของสารลดแรงตึงผิวผสมมีความซับซ้อนอยู่มาก

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1. การกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนโดยใช้สารลดแรงตึงผิว

การศึกษากำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก 3 ชนิดซึ่งมีความยาวของสายอัลคิลจากน้อยไปมาก คือ DTAB TTAB และ CTAB ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 โดยศึกษาภาวะที่มีการเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆเปรียบเทียบกับภาวะที่ไม่มีการเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ เมื่อเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมล จะเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดหมึกได้มากกว่าภาวะที่ไม่มีการเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ในทุกความเข้มข้น ทั้งนี้เกิดจากการที่ระบบมีแรงทางไฟฟ้าเกิดที่ผิวหมึกได้เพิ่มขึ้น การชะล้างหมึกจากพื้นผิวพลาสติกจึงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยในงานวิจัยนี้ภาวะที่มีการเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่มีประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกสูงที่สุดคือที่ความเข้มข้น 0.2 โมลในสารลดแรงตึงผิวทุกชนิด การเติมเกลือจึงมีอิทธิพลต่อระบบของสารลดแรงตึงผิวซึ่งไม่ได้เป็นไปตามแนวโน้มของความเข้มข้นเกลือที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาการเพิ่มความเข้มข้นและจำนวนอะตอมในหมู่อัลคิลของสารลดแรงตึงผิวมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดหมึก ทั้งในภาวะที่มีการเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ และภาวะที่ไม่มีการเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ นั่นคือ CTAB จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดหมึกสูงสุด ตามมาด้วย TTAB และ DTAB ตามลำดับ

#### 5.2 คุณลักษณะของอนุภาคหมึกแสดงในเชิงของค่าซีตาโพเทนเชียล

อนุภาคหมึกในความแปรผันความเป็นกรด-ด่างที่ระดับต่างๆค่าซีตาโพเทนเชียลเป็นศูนย์ (PZC) เมื่อมีความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 3.72 แสดงให้เห็นว่าเมื่อหมึกนี้อยู่ในภาวะความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 3.72 อนุภาคหมึกจะแสดงอำนาจประจุลบ

### 5.3 สภาพการละลายของหมึก

การศึกษาการละลายของหมึกโดยใช้ปัจจัยการศึกษาเช่นเดียวกับการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติก การละลายของหมึกมีแนวโน้มสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดหมึก คือการละลายของหมึกจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนอะตอมของหมู่ฮัลโลเจนและความเข้มข้นในสารลดแรงตึงผิวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งให้เห็นว่าการละลายเป็นกระบวนการที่สำคัญของการกำจัดหมึกเมื่อสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นสูงกว่า CMC เมื่อศึกษาการละลายในภาวะที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.5 และ 1.0 โมล พบว่าที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.2 โมลมีการละลายได้ดีที่สุด การเติมเกลือจึงไปกระตุ้นให้เกิดการสร้างไมเซลล์ได้เร็วขึ้น การละลายจึงเกิดได้ดีขึ้น ในขณะเดียวกัน โครงสร้างของอิมัลชันซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในหมึกพิมพ์ก็เป็นข้อจำกัดสำคัญในการละลายเข้าสู่ไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว

### 5.4 ระบบสารลดแรงตึงผิวผสม

เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก CTAB ผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ Triton X-100 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระดับ 12 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารลดแรงตึงผิว CTAB เพียงชนิดเดียว การผสม Triton X-100 ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติกลดลง และเมื่อพิจารณาค่าซีตาโพเทนเชียลและการละลายของหมึกมีผลสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดหมึก คือทั้งค่าซีตาโพเทนเชียลและการละลายของหมึกมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารลดแรงตึงผิว CTAB เพียงชนิดเดียว นั่นคือสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุไปมีผลต่อการดูดซับและการสร้างไมเซลล์ของระบบ ซึ่งมีส่วนทำให้ค่าความเป็นขั้วของแต่ละไมเซลล์ในการดึงดูดหรือผลักประจุมีค่าลดลง การกำจัดหมึกบนพื้นผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีนจึงมีประสิทธิภาพที่ลดลง

### 5.5 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาการใช้สารลดแรงตึงผิวผสมในการกำจัดหมึกออกจากพื้นผิวพลาสติกนั้นในการศึกษาขั้นต่อไปควรศึกษาถึงผลของการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงไปในระบบสารลดแรงตึงผิวที่ผสมกัน โดยเลือกสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก CTAB ที่มีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.2 โมล ซึ่งเป็นภาวะที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดหมึกมากที่สุด ผสมกับ สารลดแรง

ตั้งผิวชนิดไม่มีประจุ Triton X-100 เพื่อเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นกับระบบสารลดแรงตึงผิวชนิดเดียว นอกจากนี้ควรศึกษา ความแปรผันของ ชนิดของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด อัตราส่วนของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง เป็นต้น เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการกำจัดหมึกบนผิวพลาสติกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- ควบคุมมลพิษ, กรม. 2549. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2549. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. 2542. พลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 15. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สัมพันธ์พาณิชย์.
- วราภรณ์ สุวกุล. 2532. ปรากฏการณ์พื้นผิวและระหว่างผิว. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเกสซ์ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

### ภาษาอังกฤษ

- Alain, P. G., Jean, L., and Schechter, R. S. 1993. The thermodynamics of mixed micelle formation. In K. Ogino; and M. Abe (ed), Mixed surfactant system, pp. 63-98. New York: Marcel Dekker.
- Attwood, D., and Florence, A. T. 1983. Surfactant Systems Their Chemistry, Pharmacy and Biology. 1<sup>st</sup> ed. New York: Chapman and Hall.
- Barler, W. E. 1998. Pure nature. Dusseldorf: Henkel KgaA.
- Borchardt, J. K. 1994. Mechanistic insights into deinking. Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects. 88: 13-25.
- Chotipong, A., Scamehorn, J. F., Risksomboon, T., and Chavadej, S. 2006. Removal of solvent-based ink from printed surface of HDPE bottles by alkyltrimethylammonium bromides: effects of surfactant concentration and alkyl chain length. Colloid Polymer Science. 284: 980-989.
- Chotipong, A. 2007. Effects of Concentration, pH, and Temperature on Ink Removal form Printed Polypropylene (PP) Sheets by Alkyltrimethylammonium Bromides. The proceeding of 9th International Symposium on polymers for Advanced Technologies. October 21-25, 2007, Shanghai Everbright Convention & Exhibition Centre International Hotel, Shanghai, China.

- Chotipong, A., Scamehorn, J. F., Risksomboon, T., and Chavadej, S. 2007. Removal of solvent-based ink from printed surface of HDPE bottles by alkyltrimethylammonium bromides: effects of pH temperature and salinity. Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects. 297: 163-171.
- Chotipong, A. (In Press). Ink Removal from Polyethylene Sheets by Alkyltrimethylammonium Bromides: Effect of Sodium Chloride Concentration on Ink Removal.
- Clint, J. H. 1992. Surfactant aggregation. New York: Chapman and Hall.
- Fang, X. W., Zhao, S., Mao, S. Z., Yu, J. Y., and Du, Y. R. 2003. Mixed micelles of cationic-nonionic surfactant: NMR self-diffusion studies of Triton X-100 and cetyltrimethylammonium bromide in aqueous solution. Colloid and Polymer Science. 281: 455-460.
- Fujimoto, T. 1985. New Introduction to Surface Active Agent. Kyoto: Sanyo Chemical Industries.
- Gecol, H., Scamehorn, J. F., Christian, S. D., and Riddell, F. E. 2001. Use of surfactants to remove water-based inks from plastic films. Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects. 189: 55-64.
- Gecol, H., Scamehorn, J. F., Christian, S. D., and Riddell, F. E. 2003. Use of surfactants to remove solvent-based inks from plastic films. Colloid and Polymer Science. 281: 1172-1177.
- Kessadayurat, P. 2004. Influence of surfactant structure on adsolubilization behavior of mixed cationic-nonionic surfactant admicelles. Master's Thesis. The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University.
- Lim, E., and Teeters, D. C. 1997. The deinking of polyethylene packaging film for enhanced recycling. Proceedings of the ACS Division of Polymeric Materials Science and Engineering. 76: 583-584.
- Min, S. S., Scamehorn, J. F., Osuwan, S., and Ellis, J. W. 1999. Proceedings of the regional symposium on chemical engineering 1999 conference, and the ninth national chemical engineering and applied chemistry conference. Songkla, Thailand.
- Odian, G. 1991. Principles of Polymerization. 3<sup>rd</sup> ed. New York: Wiley.

- Pandit, N., Trygstad, T., Craig, S., Boharquez, M., and Koch, C. 2000. Effect of salts on the micellization, clouding and solubilization behavior of pluronic F127 solutions. Colloid Interface Sci. 222: 213-220.
- Porter, M. R. 1994. Handbook of Surfactant. 2<sup>nd</sup> ed. Glassgow: Chapman and Hall.
- Ray, A., and Nemethy, G. 1971. Effect of ionic protein denaturants on micelle formation by nonionic detergents. Am. Chem. Soc. 93: 6787-6790.
- Rosen, M. J. 1989. Surfactants and Interfacial Phenomena. 1<sup>st</sup> ed. New York: Wiley.
- Rosen, M. J. 2004. Surfactants and Interfacial Phenomena. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Wiley.
- Satas, D. 1986. Plastics finishing and decoration. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Scamehorn, J. F., Schechter, R. S., and Wade, W. H. 1981. Adsorption of Surfactants on mineral oxide surfaces from aqueous solution I : isomerically pure anionic surfactant. Colloid and Surface Science A. 85: 463-477.
- Schick, M. J. 1962. Surfactant films of nonionic detergents : surface tension study. Colloid sci. 17: 801-813.
- Selke, E. M. 1997. Understanding Plastic Packaging Technology. Cincinnati: Hanser/Gardner Publications.
- Shan, S. S., Khan, M. S., Ullah, H., and Awan, M. A. 1997. Solubilization of amphiphilic dyes by a cationic surfactant, cetyltrimethylammonium bromide. Colloids and surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects. 186: 382-386.
- Songsiri, D., Min, S. S., Scamehorn, J. F., Osuwan, S., and Ellis, J. W. 2002. Use of cationic surfactant to remove solvent-based inks from rigid high density polyethylene surfaces. Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects. 204: 261-269.
- Stellner, K. L., and Scamehorn, J. F. 1986. Surfactant precipitation in aqueous solutions containing mixtures of anionic and nonionic surfactants. Am. Oil Chem. Soc. 63: 566-574.
- The Polymer Science Learning Center. 1999. The Macrogalleria[Online]. The University of Southern Mississippi: Department of Polymer Science (Producer). Available from: <http://pslc.ws/macrogcss/maindir.html>[2008,November 28]
- Zhang, D., Sun, Q., and Wadsworth, L. C. 1998. Mechanism of corona treatment on polyolefin films. Polymer Engineering a Science. 38: 965-970.

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเทิดศักดิ์ คำสุริวร เกิดเมื่อวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช 2524 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนนครพนมวิทยาลัย์ อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย