

รายงานฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบวนการฟรอตโฟลเทชันสำหรับบำบัดน้ำเสีย

**Development of Froth Flotation Process for
Wastewater Treatment**

โดย

นาย สุนทร ชาวเดช

วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

628.3
ศ643 กพ

งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2538

ตุลาคม 2541

รายงานฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบวนการฟรอตโฟลเทชันสำหรับบำบัดน้ำเสีย

**Development of Froth Flotation Process for
Wastewater Treatment**



โดย

นาย สุเมธ ชวเดช

วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2538

ตุลาคม 2541

118563028

20 Oct. 2542

กองส่งเสริมและประชาสัมพันธ์ จุฬาฯ
มอบให้หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

..... 17 / ก.พ. / 42

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๖๓๘.๖

(๗ ๘4๖๓๗)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2538 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงที่ทางวิทยาลัย
ปิโตรเลียมและปิโตรเคมี ได้ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกและสนับสนุนด้านต่างๆด้วยดีมาตลอด งาน
วิจัยนี้สำเร็จด้วยดีด้วยความร่วมมือจากหลายท่าน ได้แก่ คุณพรคพงษ์ วัชรตันโสภณ ที่ได้ดำเนินการงาน
ทดลอง คุณอโนชา เกตุเวชช์ คุณฉวนเนตร แม้นศรีพัฒน์กุล และคุณเพนนี่ รัตน์โรจนธรรม ในการจัดทำราย
งานฉบับนี้ สุดท้ายนี้ใคร่ขอขอบคุณ Prof. J.F.Scamehorn ที่ให้คำปรึกษามาด้วยดีตลอดโครงการ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุเมธ ชวเดช : การพัฒนากระบวนการฟลอตโฟลเทชันสำหรับบำบัดน้ำเสีย (Development of Froth Flotation Process for Wastewater Treatment)

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อหาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว และเกลือแกงที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกสารเทอเชียรีบิวทิลฟีนอล(TBP) โดยใช้กระบวนการทำให้เป็นฟองลอย สารลดแรงตึงผิวสองชนิดที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ เซทิลไพริดีเนียมคลอไรด์(CPC) และโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต(SDS) คอลัมน์ทำให้เป็นฟองลอยทำด้วยพลาสติกใส มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.4 เซนติเมตร และสูง 100 เซนติเมตร ทำการควบคุมระบบทำให้เป็นฟองลอยแบบกะ จากผลการทดลองการแยกสาร TBP มีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวเท่ากับความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์(CMC) การเติมเกลือแกงทำให้ค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองลดต่ำลง การเติมเกลือแกงลงในน้ำทดลองทำให้ประสิทธิภาพของสาร CPC ลดต่ำลงในการแยกสาร TBP ในขณะที่เกลือแกงที่เติมลงไปไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของสาร SDS ในการแยกสาร TBP ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด พบว่าสาร CPC สามารถแยกสาร TBP ได้ดีกว่าการใช้สาร SDS ภายใต้สภาวะไม่มีเกลือแกง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ABSTRACT

The objective of this experimental study was to determine the effects of type and concentration of surfactants and NaCl on the removal efficiency of tertiary butylphenol(TBP) by using froth flotation process. Two surfactants used in this study were cetylpyridinium chloride(CPC) and sodium dodecylsulfate(SDS). A flotation column made of acrylic tube had 5.4 cm inside diameter and 100 cm height. The froth flotation system was operated in batch mode. From the experimental results, the TBP removal was maximized when the surfactant concentration was at the critical micelle concentration(CMC). The addition of NaCl resulted in reducing the CMC values of both surfactant studied. The addition of NaCl to the feed solution resulted in a significant reduction of the ability of CPC to remove TBP while it did not affect the ability of SDS to remove TBP. In comparing the effectiveness of both surfactants, CPC could remove TBP better than SDS under the absence of NaCl.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญเรื่อง.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 วารสารปริทรรศน์	
2.1 สารลดแรงตึงผิว.....	2
2.2 หลักการของกระบวนการทำให้ลอยเป็นฟอง.....	2
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	
3.1 สารเคมีที่ใช้.....	6
3.2 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	6
3.3 วิธีการวิเคราะห์.....	7
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อค่า CMC.....	9
4.2 ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP.....	10
4.3 ประสิทธิภาพการแยกสารลดแรงตึงผิว.....	14
4.4 สัดส่วนความเข้มข้น.....	18
4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพสารลดแรงตึงผิว.....	18
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	21
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	21
รายการอ้างอิง.....	22
ภาคผนวก.....	24

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ ผ.1 ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ CPC เป็นสารลดแรงตึงผิว ในระบบที่ไม่มี NaCl ความเข้มข้นสาร TBP 50 mg/l และเวลาที่ใช้ในการแยก 60 นาที.....	25
ตารางที่ ผ.2 ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ CPC เป็นสารลดแรงตึงผิว และมี NaCl ความเข้มข้น 3.2 mM สาร TBP 50 mg/l และเวลาที่ใช้ในการแยก 60 นาที.....	26
ตารางที่ ผ.3 ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ CPC เป็นสารลดแรงตึงผิว และมี NaCl ความเข้มข้น 10 mM สาร TBP 50 mg/l และเวลาที่ใช้ในการแยก 60 นาที.....	27
ตารางที่ ผ.4 ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ CPC เป็นสารลดแรงตึงผิว และมี NaCl ความเข้มข้น 32 mM สาร TBP 50 mg/l และเวลาที่ใช้ในการแยก 60 นาที.....	28
ตารางที่ ผ.5 ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ SDS เป็นสารลดแรงตึงผิว ในระบบที่ไม่มี NaCl ความเข้มข้นสาร TBP 50 mg/l และเวลาที่ใช้ในการแยก 45 นาที.....	29
ตารางที่ ผ.6 ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ SDS เป็นสารลดแรงตึงผิว และมี NaCl ความเข้มข้น 3.2 mM สาร TBP 50 mg/l และเวลาที่ใช้ในการแยก 45 นาที.....	30
ตารางที่ ผ.7 ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ SDS เป็นสารลดแรงตึงผิว และมี NaCl ความเข้มข้น 10 mM สาร TBP 50 mg/l และเวลาที่ใช้ในการแยก 45 นาที.....	31
ตารางที่ ผ.8 ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ SDS เป็นสารลดแรงตึงผิว และมี NaCl ความเข้มข้น 32 mM สาร TBP 50 mg/l และเวลาที่ใช้ในการแยก 45 นาที.....	32

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ค่า CMC ที่หาได้จากการวัดค่าแรงตึงผิว.....	2
รูปที่ 2.2 ระบบทำให้ลอยเป็นฟอง.....	3
รูปที่ 3.1 รูปอุปกรณ์ทดลองระบบทำให้เป็นฟองลอย.....	7
รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นของ NaCl ที่มีต่อค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิว SDS และ CPC.....	9
รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารลดแรงตึงผิว CPC และที่ ความเข้มข้นต่างๆ ของเกลือแกง.....	11
รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารลดแรงตึงผิว SDS และที่ ความเข้มข้นต่างๆ ของเกลือแกง.....	12
รูปที่ 4.4 ผลของความเข้มข้นเกลือแกงต่อประสิทธิภาพการแยก TBP ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยต่างๆของ สารลดแรงตึงผิว CPC.....	13
รูปที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นเกลือแกงต่อประสิทธิภาพการแยก TBP ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยต่างๆของ สารลดแรงตึงผิว SDS.....	13
รูปที่ 4.6 ผลของความเข้มข้นเกลือแกงต่อประสิทธิภาพการแยก TBP ที่ความเข้มข้นของ สารลดแรงตึงผิว CPC เท่ากับ 1 CMC.....	15
รูปที่ 4.7 ผลของความเข้มข้นเกลือแกงต่อประสิทธิภาพการแยก TBP ที่ความเข้มข้นของ สารลดแรงตึงผิว SDS เท่ากับ 1 CMC.....	15
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการแยกสาร CPC ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร CPC และความเข้มข้น ต่างๆของเกลือแกง.....	16
รูปที่ 4.9 ผลของเกลือแกงต่อประสิทธิภาพการแยกสาร CPC ที่ความเข้มข้น CPC เท่ากับ 1 CMC.....	16
รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการแยกสาร SDS ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร SDS และความเข้มข้น ต่างๆของเกลือแกง.....	17
รูปที่ 4.11 ผลของเกลือแกงต่อประสิทธิภาพการแยกสาร SDS ที่ความเข้มข้น SDS เท่ากับ CMC.....	17
รูปที่ 4.12 สัดส่วนความเข้มข้นของ TBP เมื่อใช้ CPC เป็นสารลดแรงตึงผิว ที่ความเข้มข้นสาร CPC และเกลือแกงต่างๆ.....	19
รูปที่ 4.13 สัดส่วนความเข้มข้นของ TBP เมื่อใช้ SDS เป็นสารลดแรงตึงผิว ที่ความเข้มข้นสาร SDS และเกลือแกงต่างๆ.....	19
รูปที่ 4.14 สัดส่วนความเข้มข้นสาร CPC ที่ความเข้มข้นสาร CPC และเกลือแกงต่างๆ.....	20
รูปที่ 4.15 สัดส่วนความเข้มข้นสาร SDS ที่ความเข้มข้นสาร SDS และเกลือแกงต่างๆ.....	20

บทที่ 1 บทนำ



กระบวนการทำให้ลอย (Flotation Process) มีประโยชน์มากในการประยุกต์ใช้แยกชนิดของสารที่ผสมกันอยู่ โดยสามารถแยกสารในระดับไมโครและโอออน ไปจนถึงจุลินทรีย์และแร่ธาตุต่างๆออกจากสารอีกชนิดหนึ่ง โดยจุดประสงค์ของการแยกสารต่างๆออกทั้งหมดนี้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสีย ประโยชน์อีกอย่างหนึ่งของกระบวนการแยกโดยทำให้ลอยนี้คือ สามารถแยกสารที่ไม่ต้องการมีความเจือจางมากออกได้ในขณะที่กระบวนการอื่นไม่สามารถทำได้ กระบวนการทำให้ลอยนี้ประสบความสำเร็จหรือไม่ขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว บริเวณน้ำและอากาศมาบรรจบกัน (air - water interface) ในทางปฏิบัติจะมีการเพิ่มพื้นที่การบรจบกกันระหว่างน้ำและอากาศ (air - water interface) โดยการเป่าอากาศผ่านไปในสารละลายเพื่อทำให้เกิดฟองอากาศขึ้น กระบวนการทำให้เป็นฟองลอย (Froth flotation) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแยกแร่อย่างกว้างขวาง โดยในระยะหลังมีการวิจัยพัฒนาระบบทำให้ลอยเพื่อบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายการบำบัดต่ำกว่าวิธีการอื่นที่ใช้กันอยู่

กระบวนการทำให้เป็นฟองลอยจำเป็นต้องมีการเติมสารลดแรงตึงผิว ซึ่งสารลดแรงตึงผิวนี้จะมีอยู่มากบริเวณที่อากาศบรจบกกับน้ำหรือบริเวณที่น้ำบรจบกกับน้ำมัน (interface) การเป่าอากาศจะทำให้เกิดฟอง ซึ่งจะทำให้บริเวณฟองมีสารลดแรงตึงผิวสะสมอยู่มาก รวมทั้งสารที่ต้องการแยกออกจากน้ำ จะถูกสะสมในฟองเหล่านี้ สารลดแรงตึงผิวประกอบไปด้วยส่วนที่ชอบน้ำและส่วนที่ไม่ชอบน้ำ ส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะประกอบไปด้วยหมู่ไฮโดรคาร์บอน เช่น กรดไขมัน อัลกอฮอล์ ส่วนที่ชอบน้ำจะประกอบไปด้วยโมเลกุลที่มีประจุ เช่น ซัลโฟเนต คาร์บอกซิลิก ซึ่งส่วนที่ชอบน้ำนี้อาจมีทั้งประจุบวก ประจุลบ และไม่มีประจุ สารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนที่ชอบน้ำเป็นประจุบวก เช่น เซลิเมทิล แอมโมเนียมโบรไมด์ สารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนชอบน้ำเป็นประจุลบ เช่น โซเดียมโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต สารลดแรงตึงผิวส่วนชอบน้ำไม่มีประจุ เช่น ซอยบิเทน โมโนพามีเทต (Lemlich, 1972)

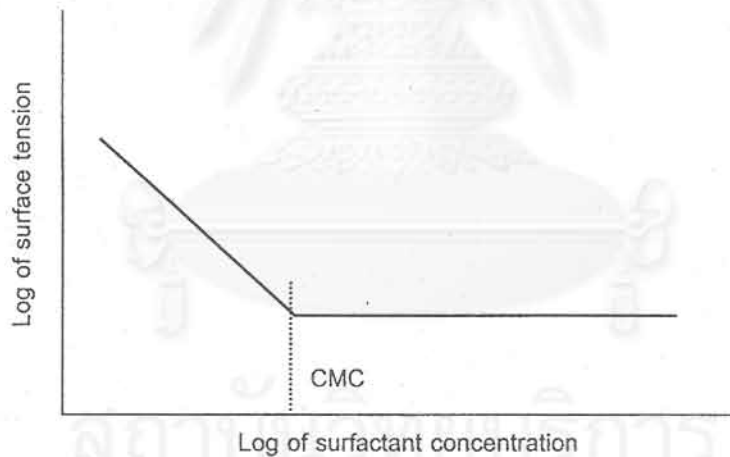
การทดลองในครั้งนี้ เป็นการทดลองหาประสิทธิภาพของกระบวนการทำให้ลอยเป็นฟอง (froth flotation) เพื่อแยกสาร tert-butylphenol (TBP) ออกจากน้ำ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ และศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ต่อประสิทธิภาพการแยกสารอินทรีย์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2 วารสารปริทรรศน์

2.1 สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว(Surfactant) ซึ่งหมายถึงสารที่สามารถลดแรงตึงผิว(surface tension)ของของเหลวให้ลดต่ำลง โดยโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวประกอบด้วยส่วนหัวซึ่งชอบน้ำ(Hydrophilic) และส่วนหางซึ่งไม่ชอบน้ำ(Hydrophobic) โดยเมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวที่ปริมาตรต่ำ สารลดแรงตึงผิวจะกระจายตัวในน้ำเป็นโมเลกุลเดี่ยวๆ และส่วนใหญ่ของโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวจะไปอยู่บริเวณผิวน้ำ(Air-water interface) เมื่อเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิว จะพบว่าจำนวนโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่ผิวน้ำเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าแรงตึงผิวลดต่ำลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาตรสารลดแรงตึงผิวสูงขึ้นไปอีกเรื่อยๆ พบว่าค่าแรงตึงผิวจะลดลงจนถึงที่ ความเข้มข้นที่สารลดแรงตึงผิวที่ค่าแรงตึงผิวต่ำสุด เรียกว่า ความเข้มข้นวิกฤตที่ทำให้เกิดไมเซลล์(Critical Micelle Concentration, CMC) คือ เมื่อความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวสูงกว่าค่าวิกฤตนี้ สารลดแรงตึงผิวจะรวมตัวกัน เรียกว่า ไมเซลล์(Micelle) รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิวกับความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว

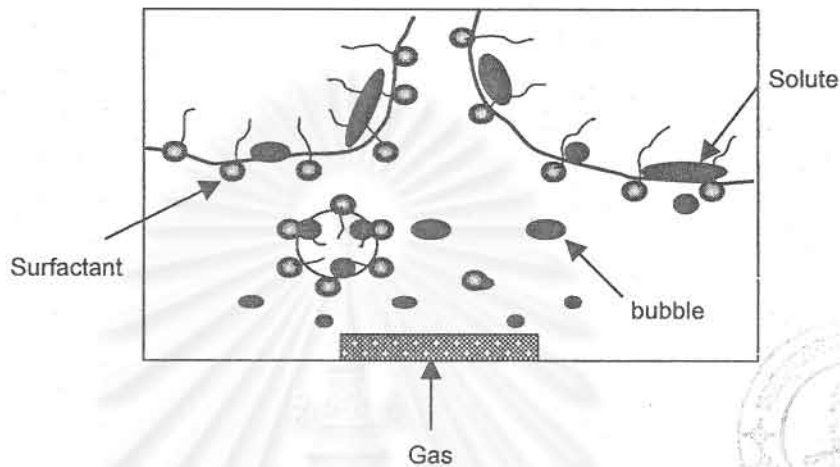


รูปที่ 2.1 ค่า CMC ที่หาได้จากการวัดค่าแรงตึงผิว(Clint, 1992)

2.2 หลักการของกระบวนการทำให้ลอยเป็นฟอง(Froth Flotation)

หลักการทำงานของกระบวนการทำให้ลอยเป็นฟอง ในการแยกสารอินทรีย์(organiics) ออกจากน้ำดังแสดงในรูป 2.2 ในขั้นแรกจะเติมสารลดแรงตึงผิวลงไปในน้ำ จากนั้นจะผ่านอากาศเข้าไปในระบบเป็นฟอง สารลดแรงตึงผิวจะอยู่บริเวณ interface ของน้ำและอากาศ โดยส่วนที่ไม่ชอบน้ำหรือส่วนหางอยู่ในอากาศ และส่วนที่ชอบน้ำหรือส่วนหัวอยู่ในน้ำ ที่มีความเข้มข้นต่ำๆ สารลดแรงตึงผิวจะเรียงตัวกันเพียงชั้นเดียว(close-

packed monolayer) ที่บริเวณผิวของฟองอากาศ (bubbles) โมเลกุลสารอินทรีย์จะติดอยู่กับบริเวณหางของสารลดแรงตึงผิว ทำให้สารอินทรีย์ถูกแยกออกจากน้ำได้ ในกรณีที่เป็นสารโลหะหนักก็สามารถแยกออกได้โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดมีประจุลบ โดยไอออนโลหะหนักซึ่งมีประจุบวกจะไปเกาะที่ส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิว (Lemlich, 1972)



รูปที่ 2.2 ระบบทำให้ลอยเป็นฟอง(Froth flotation)(Dean และ Lemlich, 1965)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการพิสูจน์ว่า ฟรอตโฟลเทชันสามารถใช้ในการแยกสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสียได้ (Kepak และ Driva, 1970 ; Wilson และ Thackston, 1980 ; Huang และคณะ, 1982 ; Grieves และคณะ, 1987 ; Koutleman และคณะ, 1994 และ Leu และคณะ, 1994) โดยจะมีตัวแปรมากมายที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการแยกสารออกโดยกระบวนการฟรอตโฟลเทชัน(Clarke และ Wilson,1983) ตัวแปรดังกล่าว เช่น ความเข้มข้นของสิ่งเจือปน สารลดแรงตึงผิว ค่าความเป็นกรดต่าง อุณหภูมิ พื้นที่บริเวณ interface อัตราการไหลของอากาศและเส้นผ่านศูนย์กลางของฟองอากาศ แต่มีผลงานเพียงไม่กี่ชิ้นที่ทำการศึกษาลักษณะของความเข้มข้นของเกลือแกงที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกสิ่งเจือปน Craig และคณะ(1989)ได้ทำการศึกษาลักษณะของสารอิเล็กโทรไลต์ที่มีต่อการรวมตัวกันของฟองอากาศ และพบว่าอิเล็กโทรไลต์บางตัวสามารถยับยั้งการรวมตัวกันของฟองอากาศได้

Angelidou และคณะ(1977) ได้ทำการศึกษากการแยกหยดน้ำมัน(Emulsion form) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ไมครอน โดยกระบวนการโฟลเทชัน ทำการทดลองแบบกะ ความเข้มข้นของน้ำมันที่ทำการทดลองน้อยกว่า 100 มก/ล สารลดแรงตึงผิวที่ใช้เป็นแบบแคทอไดนิค พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันขึ้นกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว และวิธีการเติมสารลดแรงตึงผิว โดยการเติมแบบต่อเนื่องให้ผลการแยกน้ำมันได้สูงกว่าการเติมแบบครั้งคราว

Sylvester และคณะ(1980) ศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของน้ำมันในน้ำเสีย อัตราการไหลของอากาศ ขนาดของฟองอากาศ ขนาดของหยดน้ำมัน ความเข้มข้นของสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ และอุณหภูมิต่อประ

สิทธิภาพในการแยกน้ำมัน โดยขนาดของหยดน้ำมันและฟองอากาศมีความสำคัญอย่างมากต่อประสิทธิภาพการแยกน้ำมัน ส่วนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำเสียไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกน้ำมัน

Mular และ Bhappu(1980) ได้ศึกษาการพัฒนากระบวนการฟลอตโฟลเทชันมาใช้ในกระบวนการแยกแ้ว เช่น การแยกแ้วสังกะสี ทองแดง โปแตส เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้แยกถ่านหินในน้ำเสีย และทำให้แ้วต่างๆมีความเข้มข้นสูงขึ้น

Van Ham และคณะ(1983) ได้ศึกษาผลกระทบของการกระจายตัวของอากาศในกระบวนการทำให้ลอยในการแยกน้ำมันในน้ำ(อิมัลชัน) ผลการทดลองเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับที่ 1 คือ อัตราการแยกขึ้นกับอัตราเร็วของอากาศ

Ityokumbul และคณะ(1988) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์อัตราการทำให้อลอยของการนำบิพูเมนกลับมาใช้ใหม่จากทรายน้ำมันที่ถูกสกัดน้ำมันแล้ว (Oil sand tailings) ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าอัตราการแยกขึ้นกับชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่เติมลงไป

Kubota และคณะ(1990) ได้ศึกษาการกำจัดอนุภาคออกจากตัวกลางที่เป็นน้ำ โดยใช้การทำให้เป็นฟองลอย และสารลดแรงตึงผิวชนิดแอนไอออนิก โดยนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับสมการแบบจำลองการชนกันทางไฮโดรไดนามิกอย่างง่าย พบว่าผลการทดลองสอดคล้องกับการทำนายจากสมการแบบจำลอง จากการวัดกระแสไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ไปยังฟองอากาศและอนุภาค โดยใช้วิธีอิเล็กโตรฟอรีซิส(Electrophoresis method) และตัวขวางพลังงาน(Energy barrier) ระหว่างอนุภาคและผิวของฟองก๊าซ พบว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างมาก

Pal และ Masliyah(1990) ได้ทำการทดลองแยกน้ำมันออกจากสารละลายอิมัลชันน้ำมันในน้ำ โดยใช้โฟลเทชันแบบคอลลิมน์ ความเข้มข้นของน้ำมันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.25-8.0 โดยปริมาตร การแยกน้ำมันจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันที่ป้อนเข้าเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการแยก การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของก๊าซจะก่อให้เกิดการแยกน้ำมันเพิ่มขึ้น

Watanabe, Yamanouchi และ Nagata(1991) ได้ทำการศึกษาทดลองบำบัดน้ำเสียจากเรือสินค้าซึ่งประกอบด้วยน้ำมันปนเปื้อนในปริมาณค่อนข้างสูง วิธีการหนึ่งที่ได้ทำการทดลอง คือ ระบบฟลอตโฟลเทชันโดยใช้ Nonionic surfactant พบว่าระบบสามารถแยกอนุภาคน้ำมันและของแข็งขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน ได้สูงถึง 90%

Matis และ Mavros(1991) ได้กล่าวถึงประสิทธิภาพของระบบฟลอตโฟลเทชันว่าขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ขนาดของอนุภาคที่ต้องการแยก ขนาดของฟองอากาศ และชนิดของสารลดแรงตึงผิว นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงระบบฟลอตโฟลเทชันแบบคอลลิมน์ว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบฟลอตโฟลเทชันแบบที่ใช้เป็นถังกวนมีใบพัดกวาดฟองออก ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคที่ต้องการแยกสามารถอยู่ในคอลลิมน์ได้ยาวนาน และถูกฟองอากาศยกขึ้นในที่สุด

คณะวิจัยของ BHP และ CSIRO(1992) ประเทศออสเตรเลียได้ทำการวิจัยพัฒนาระบบฟลอตโฟลเทชันเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆ โดยมีการทดลองระดับนําร่องในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแผ่นเหล็กและท่อเหล็ก ซึ่งมีปริมาณน้ำมันสูง พบว่าระบบฟลอตโฟลเทชันสามารถกำจัดน้ำมันได้สูงถึง 98% นอกจากนี้ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

Garcia และ Martinez-Tarazona(1993) ได้ศึกษาการนำระบบฟรอกโฟลเทชันมาใช้ในการกำจัดโลหะชนิดต่างๆออกจากถ่านหิน เช่น As, Cu, Pb, Hg, Cr เป็นต้น ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดโลหะในถ่านหินนั้น ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดต่าง โดยค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 3-7

Bolto และคณะ(1996) ได้ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันในรูปอิมัลชัน โดยระบบฟรอกโฟลเทชัน โดยใช้ Cationic polyelectrolyte พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันสูงกว่า 95% และถ้าใช้ Polyelectrolyte ที่ปรับคุณสมบัติเป็น Hydrophobic พบว่าจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองกับน้ำเสียประเภทอื่น ซึ่งพบว่า Cationic polyelectrolyte นี้เหมาะสมในการช่วยแยกน้ำมันออกจากน้ำเสีย และค่าความเป็นกรดต่างที่สูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการแยกน้ำมันสูงกว่าในกรณีค่าความเป็นกรดต่างต่ำ นอกจากนี้ยังได้พบว่าการใช้สาร Cationic polyelectrolyte ร่วมกับ SDS จะทำให้ประสิทธิภาพการแยกสารแขวนลอย น้ำมัน และสีเพิ่มสูงขึ้นด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้

3.1.1 สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ได้แก่ โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต(Sodium dodecylsulfate, SDS) และซีทิลไพริดีเนียมคลอไรด์(Cetylpyridinium chloride, CPC) โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตได้มาจากบริษัท Henkel ซึ่งมีความบริสุทธิ์ 90% สาร SDS นี้เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดลบ โดยมีซัลเฟตที่มีประจุลบเป็นส่วนหัว และอัลคิลสายยาวซึ่งจะประกอบด้วยคาร์บอนจำนวนสิบสองหน่วยเป็นส่วนหาง ส่วนสารซีทิลไพริดีเนียมคลอไรด์ได้มาจากบริษัท Zealand Chemical สาร CPC เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดบวก วงแหวนของไพริดีเนียมเป็นส่วนหัว และอัลคิลที่ประกอบด้วยคาร์บอนจำนวน 6 หน่วยเป็นส่วนหาง

3.1.2 น้ำ

น้ำที่ใช้เป็นน้ำที่กลั่น 2 ครั้ง และผ่านการแยกไอออนออก น้ำนี้ถูกใช้ในการเตรียมสารละลาย และใช้ชำระล้างเครื่องแก้วและอุปกรณ์ต่างๆ

3.1.3 สารอินทรีย์ที่ใช้เป็นสิ่งเจือปน

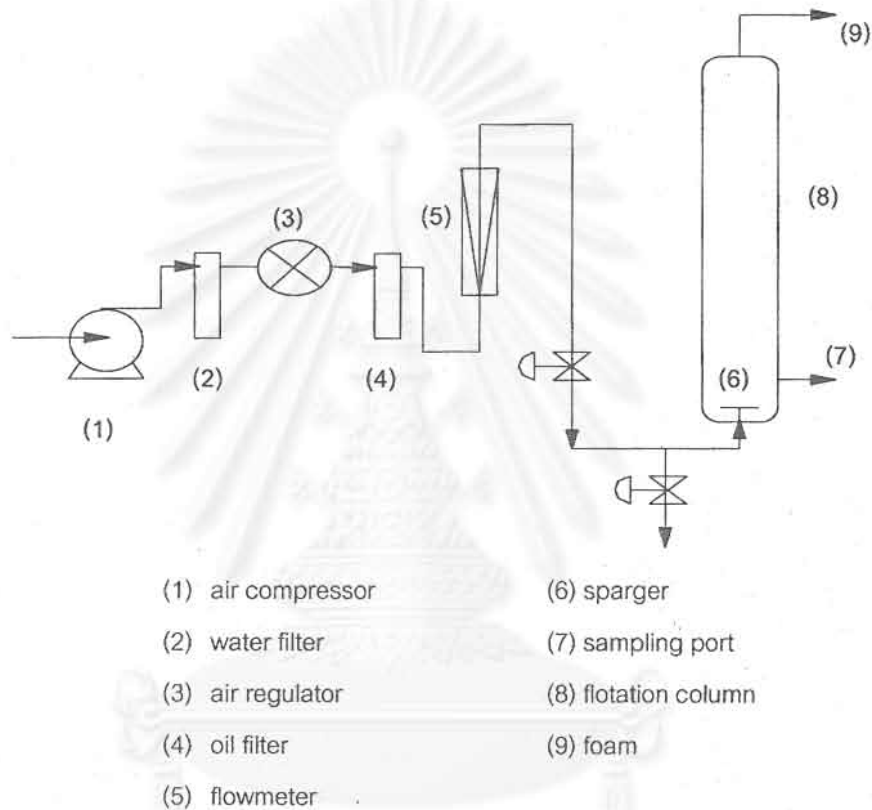
สารเทอเชียรีบิวทิลฟีนอล(Tert-butylphenol, TBP) ใช้เป็นสารอินทรีย์ซึ่งสามารถละลายในน้ำได้ดี และมีความดันไอต่ำ การมีค่าความดันต่ำทำให้แน่ใจว่าจะไม่มีสาร TBP ระเหยออกมาระหว่างทำการผ่านอากาศไปในของเหลว สาร TBP ได้มาจากบริษัท Aldrich Chemical ซึ่งมีความบริสุทธิ์ 99% และจุดเดือดมีค่าประมาณ 236-238°C

3.2 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ทดลองนี้ ซึ่งประกอบด้วยคอลัมน์โพลีเทรนซึ่งทำด้วยท่อพลาสติกใสประเภทอะคริลิก มีรัศมีภายใน 5.4 ซม และสูง 100 ซม ที่ก้นคอลัมน์มีแผ่นซินเทอร์กลาส ซึ่งมีขนาดช่องว่างระหว่างเม็ดแก้วประมาณ 16-40 ไมโครเมตร อากาศที่ใช้เป่ามาจากเครื่องอัดอากาศ โดยผ่านการกรองน้ำและแผ่นกรองน้ำมัน ปริมาณอากาศถูกปรับให้คงที่ตลอดการทดลอง ปริมาณอากาศที่เป่าวัดได้จากเครื่องวัดอัตราการไหล อากาศผ่านแผ่นซินเทอร์กลาสจะได้ฟองเล็กๆขึ้นมาในคอลัมน์ ในการทดลองนี้ได้เตรียมสารละลาย ที่มีความเข้มข้นคงที่ 50 มก/ล ตลอดการทดลอง นำสารละลายที่เตรียมนี้ปริมาตร 1 ลิตร แล้วเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆและที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยสารลดแรงตึงผิวในการทดลองนี้ ได้แก่ CPC และ SDS นอกจากนี้ยังได้เติมเกลือแกงที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อเติมสารละลาย TBP ที่มีสารลดแรงตึงผิวและเกลือแกงความเข้มข้นต่างๆลงในคอลัมน์ สำหรับการทดลองที่ใช้สาร CPC ทำการเก็บตัวอย่างฟองและส่วนของน้ำที่เวลา 60 นาที ส่วนการ

ทดลองที่ใช้สาร SDS ทำการเก็บตัวอย่างฟองและส่วนน้ำที่เวลา 45 นาที โดยส่วนของน้ำเก็บที่จุด 10 ซมเหนือแผ่นซินเทอร์กลาส ส่วน

การเก็บตัวอย่างฟองเป็นฟองที่ล้นออกมาจากคอลัมน์ โดยนำฟองที่ได้มาเก็บไว้ในตู้เย็นเป็นเวลา 20 นาที เพื่อลดอุณหภูมิซึ่งจะทำให้ฟองแตก จากนั้นนำออกมาตั้งทิ้งไว้ 20 นาที เพื่อให้ได้อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวและสาร TBP



รูปที่ 3.1 รูปอุปกรณ์ทดลองระบบทำให้เป็นฟองลอย

3.3 วิธีการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวและสาร TBP ทั้งในของเหลวที่ยังไม่บำบัดและบำบัดแล้ว โดยใช้เครื่องมือ HPLC (High Performance Liquid Chromatography) สาร CPC และสาร TBP มีวงแหวนเบนซีนอยู่ในโมเลกุลซึ่งสามารถดูดซับรังสีอุลตราไวโอเล็ต(UV) ดังนั้นจึงเลือกใช้เครื่องตรวจวัดค่า UV (UV detector) โดยเครื่อง HPLC ที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้ยี่ห้อ Water รุ่น 486 คอลัมน์ที่ใช้เป็น C18 Reverse phase ของ Nova Pak โดยสารทำละลายเป็นเมธานอลเกรด HPLC 85%, น้ำกลั่น 15% และโซเดียมเปอร์คลอเรต (NaClO_4) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยใช้อัตราการไหล 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที ส่วนเครื่องวัดค่า UV ตั้งไว้ที่ความยาวคลื่น 265 นาโนเมตร

สาร SDS ซึ่งอยู่ในรูปอิมัลชันในสารละลายตัวอย่าง สามารถตรวจวัดได้โดยใช้ Refractive index ความเข้มข้นของสาร SDS สามารถคำนวณได้จากความแตกต่างของค่า refractive index ระหว่างตัวทำละลายที่เป็นตัวพาที่มีและไม่มีสาร SDS เครื่อง HPLC ที่ใช้วิเคราะห์นี้ใช้คอลัมน์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์สาร CPC และ TBP ตัวทำละลายที่เป็นตัวพาให้ใช้น้ำกลั่น ที่มีอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที

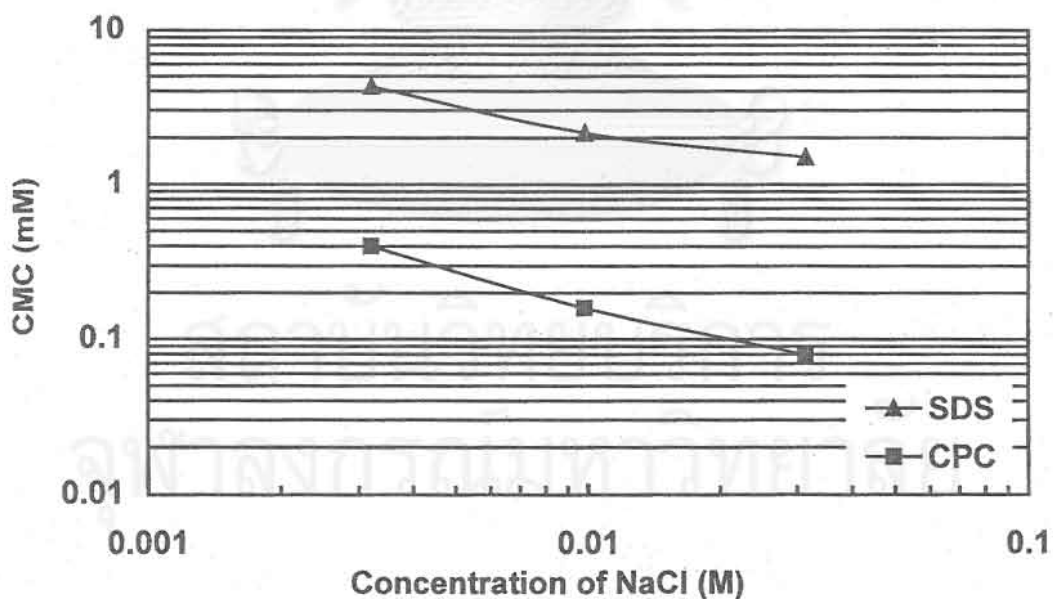


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อค่า CMC

รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเกลือแกง(NaCl) ต่อค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวสองชนิด คือ SDS และ CPC โดยค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิดลดลง เมื่อความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มสูงขึ้น ความสัมพันธ์นี้เป็นเส้นตรงบน Log-Log scale ทั้งนี้เนื่องจาก Counterion Effect โดยในกรณี SDS เป็นสารลดแรงตึงผิวประจุลบ โซเดียมไอออนซึ่งมีประจุบวกจะไปเกาะที่ส่วนหัวของโมเลกุล SDS จึงทำให้จำนวนโมเลกุลที่รวมกันเกิดไมเซลล์ลดลง ดังนั้นค่า CMC จึงลดต่ำลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ เช่นเดียวกันในกรณี CPC ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวประจุบวก คลอไรด์ไอออนจะไปจับกับประจุบวกของสาร CPC ทำให้จำนวนโมเลกุลที่รวมกันเกิดไมเซลล์ลดลง ค่า CMC ของสาร CPC จึงลดต่ำลง เมื่อเพิ่มปริมาตรความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์



รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นของ NaCl ที่มีต่อค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิว SDS และ CPC

4.2 ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP

4.2.1 ผลของการเติมสาร CPC ต่อประสิทธิภาพการแยกสาร TBP

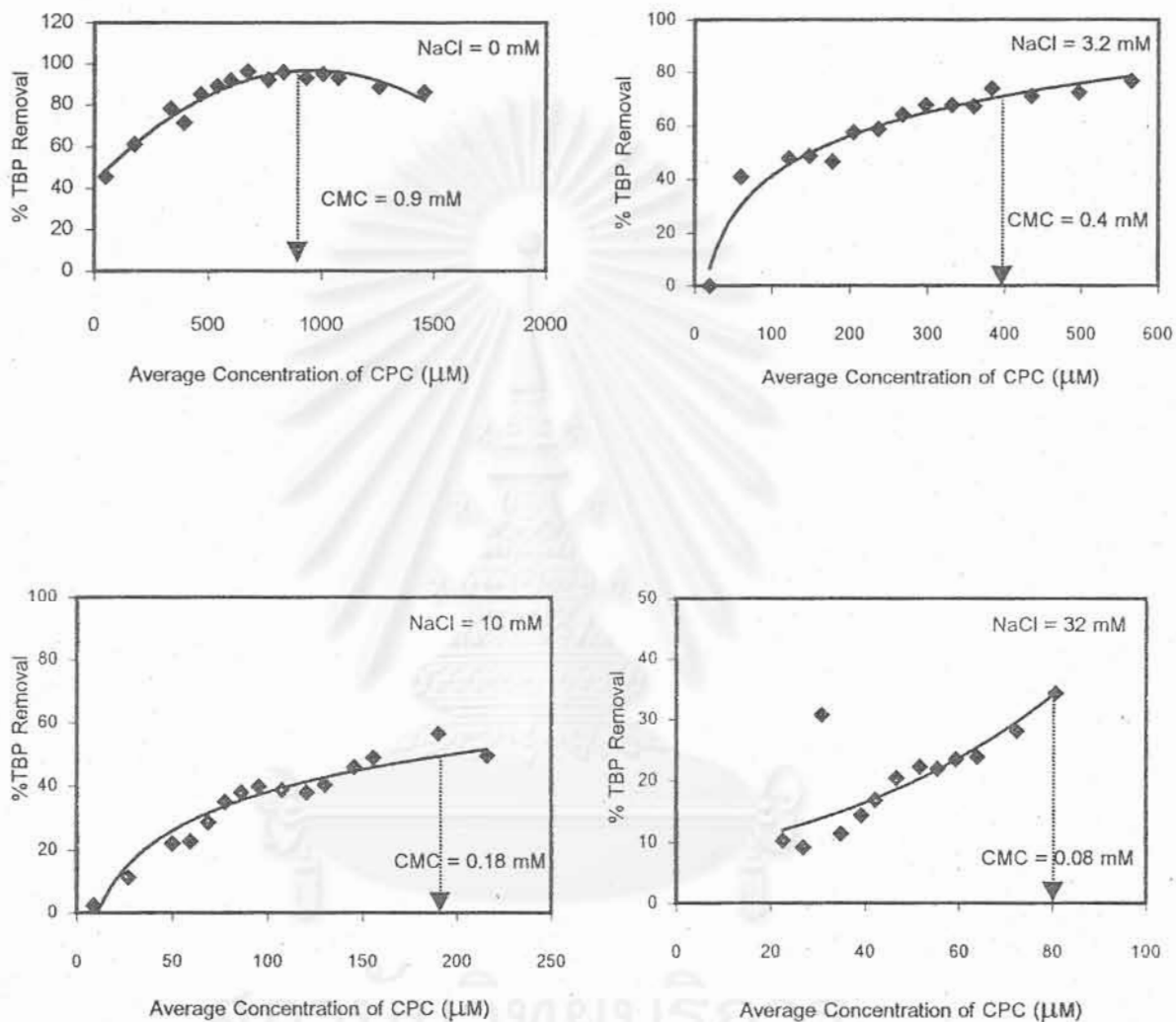
รูปที่ 4.2 แสดงผลของความเข้มข้นสาร CPC ต่อประสิทธิภาพการแยกสาร TBP ที่ความเข้มข้นเกลือแ่งต่างๆ โดยความเข้มข้นสาร CPC เป็นค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเริ่มต้นและสุดท้ายของการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองนี้เป็นแบบกะ จึงทำให้ค่าความเข้มข้นทั้งสาร CPC และ TBP ในคอลัมน์เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาการทดลอง จึงจำเป็นต้องใช้ค่าเฉลี่ยสาร CPC ในกรณีที่ไม่มีเกลือแ่งในระบบ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสาร CPC สูงขึ้น ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP เพิ่มสูงขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ค่า CMC ของสาร CPC เมื่อความเข้มข้นสาร CPC เพิ่มสูงกว่าที่ค่า $CMC = 900 \mu M$ พบว่าประสิทธิภาพการแยกสาร TBP ลดต่ำลง เช่นเดียวกับในกรณีที่มีการเติมเกลือแ่งที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าประสิทธิภาพการแยกสาร TBP มีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นสาร CPC เท่ากับ CMC และมีค่าลดต่ำลงเมื่อความเข้มข้นสาร CPC ต่ำกว่าและสูงกว่าค่า CMC ผลการทดลองนี้สามารถอธิบายได้ คือ เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิว CPC ต่ำกว่าค่า CMC สารลดแรงตึงผิว CPC จะอยู่ในรูปไมโนเมอร์ เมื่อมีการเป่าอากาศ ไมเลกุลสาร CPC จะเคลื่อนย้ายไปอยู่ในฟอง(Foam)เป็นส่วนใหญ่ ทำให้สาร TBP ซึ่งเป็นสารอินทรีย์จะเกาะต่อที่ส่วนหางของไมเลกุล CPC จึงทำให้เมื่อเพิ่มสาร CPC จะทำให้ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP เพิ่มสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นสาร CPC สูงกว่าค่า CMC จะเกิดไมเซลล์ในน้ำ ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสาร CPC จะเกิดไมเซลล์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งไมเซลล์ที่เกิดขึ้นนี้จะไปแข่งขันกับไมเลกุล CPC ที่อยู่ที่ฟองในการจับสาร TBP ดังนั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP ลดต่ำลง เมื่อความเข้มข้นสาร CPC มีค่าสูงกว่าค่า CMC

4.2.2 ผลของการเติมสาร SDS ต่อประสิทธิภาพการแยกสาร TBP

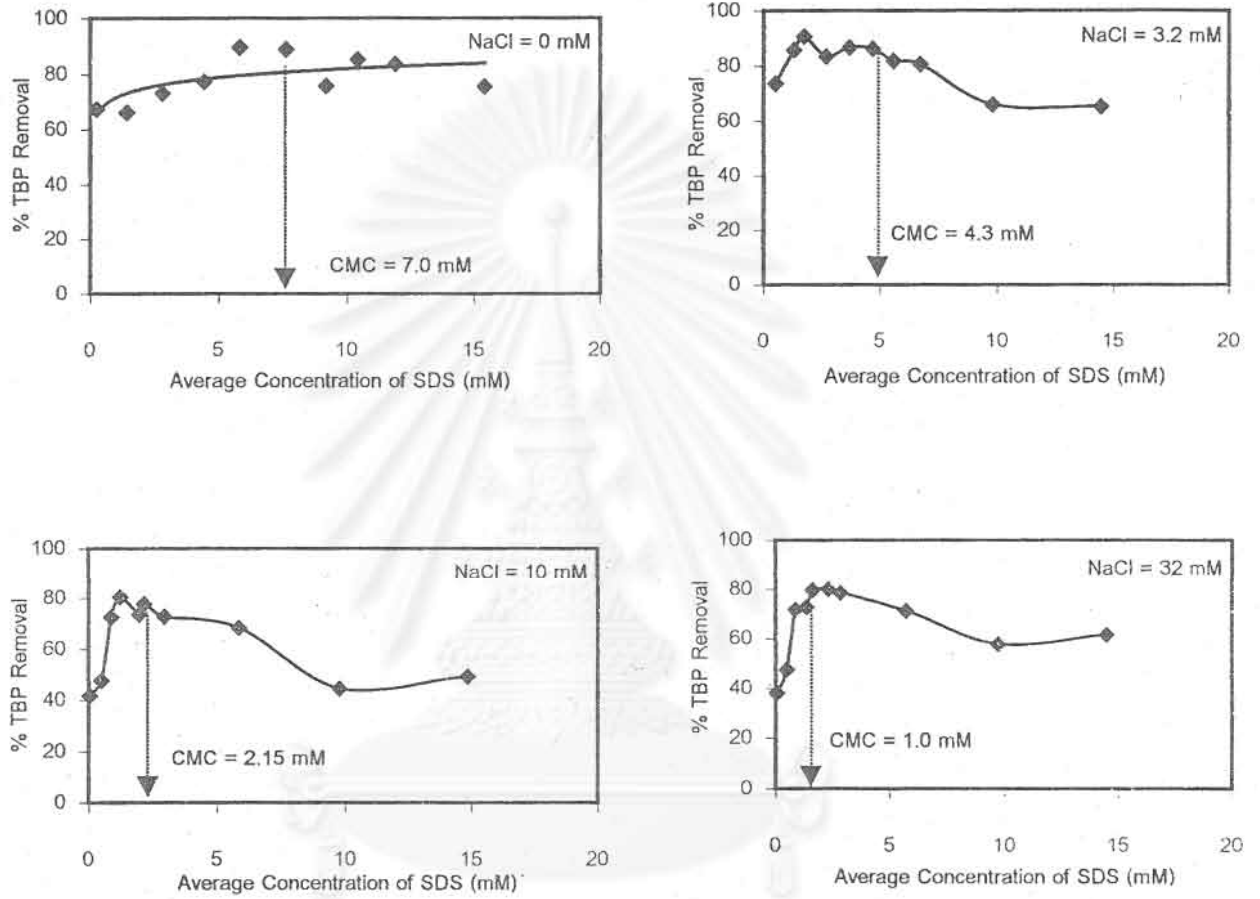
รูปที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพการแยกสาร TBP เมื่อเติมสาร SDS ที่ความเข้มข้นต่างๆ และเมื่อมีและไม่มีเกลือแ่ง การทดลองการเติม SDS ให้ผลเช่นเดียวกับการทดลองเติมสาร CPC กล่าวคือ ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP สูงสุดที่ความเข้มข้นสาร SDS เท่ากับค่า CMC การอธิบายเหตุผลก็เช่นเดียวกับกรณีเติมสาร CPC กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นสาร SDS มีค่าสูงกว่าค่า CMC ไมเซลล์จะไปแข่งขันกับไมเลกุลสาร CPC ที่อยู่ที่ฟอง จึงทำให้ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP ลดต่ำลง เมื่อความเข้มข้นสาร CPC สูงกว่าค่า CMC

4.2.3 ผลของการเติมเกลือแ่งต่อประสิทธิภาพการแยกสาร TBP

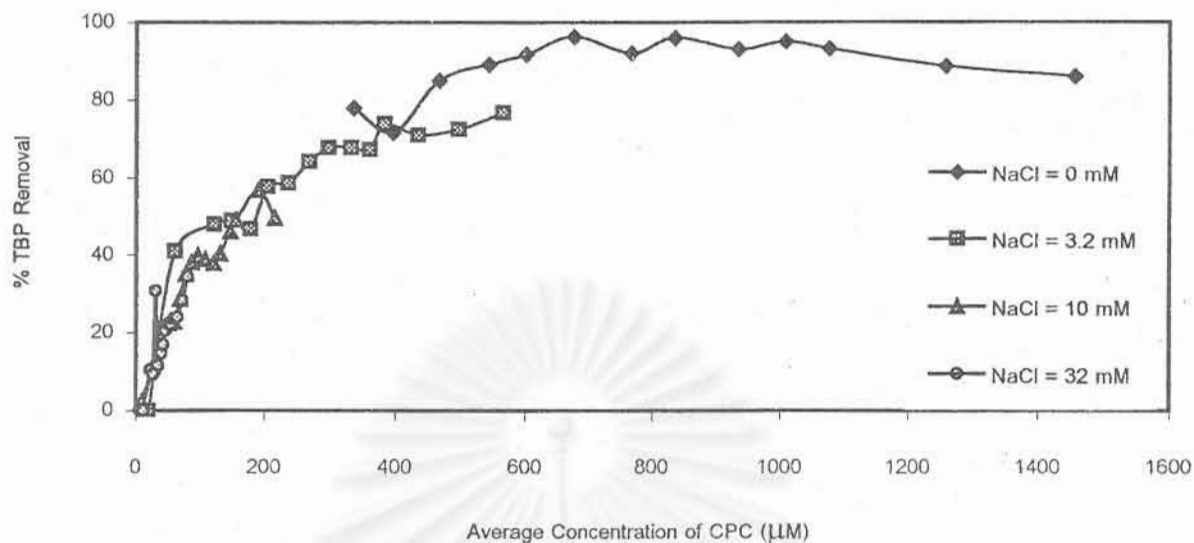
ดังได้กล่าวมาแล้ว เมื่อเติมเกลือแ่งจะช่วยลดค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองประเภทคือ สาร CPC และ SDS ทั้งนี้เนื่องจาก Counterion Effect ซึ่งทำให้การเกิดไมเซลล์ง่ายขึ้น อันเนื่องจากไมเลกุลสารลดแรงตึงผิวเข้ามาอยู่ใกล้กันได้มากขึ้น จึงทำให้ค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวลดต่ำลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเกลือแ่ง รูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงผลของความเข้มข้นเกลือแ่งต่อประสิทธิภาพการแยกสาร TBP เมื่อเติมสาร CPC และ SDS ตามลำดับ ในกรณีที่เติมสาร CPC การเพิ่มความเข้มข้นเกลือแ่งจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP ลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ในกรณีเติมสาร SDS การเพิ่มความเข้มข้นเกลือแ่ง สามารถลดค่า CMC ของสาร SDS ในขณะที่ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP ไม่แตกต่างกันนัก



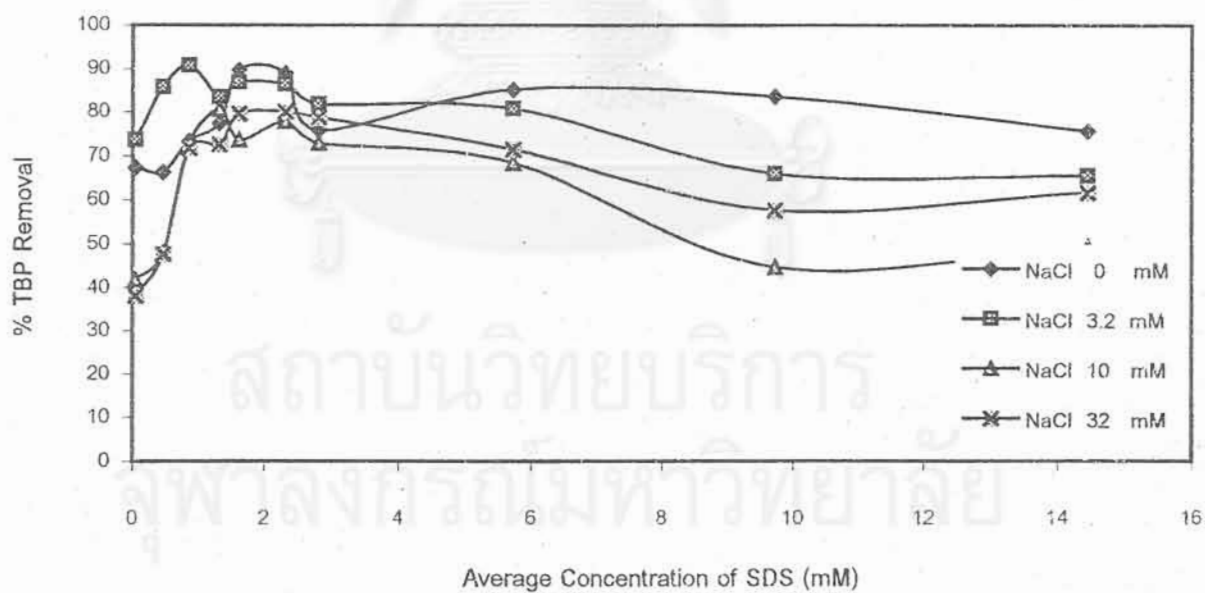
รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยต่างๆของสารลดแรงตึงผิว CPC และที่ความเข้มข้นต่างๆของเกลือแกง



รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยต่างๆของสารลดแรงตึงผิว SDS และความเข้มข้นต่างๆของเกลือแกง



รูปที่ 4.4 ผลของความเข้มข้นเกลือแกงต่อประสิทธิภาพการแยก TBP ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยต่างๆ ของสารลดแรงตึงผิว CPC



รูปที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นเกลือแกงต่อประสิทธิภาพการแยก TBP ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยต่างๆ ของสารลดแรงตึงผิว SDS

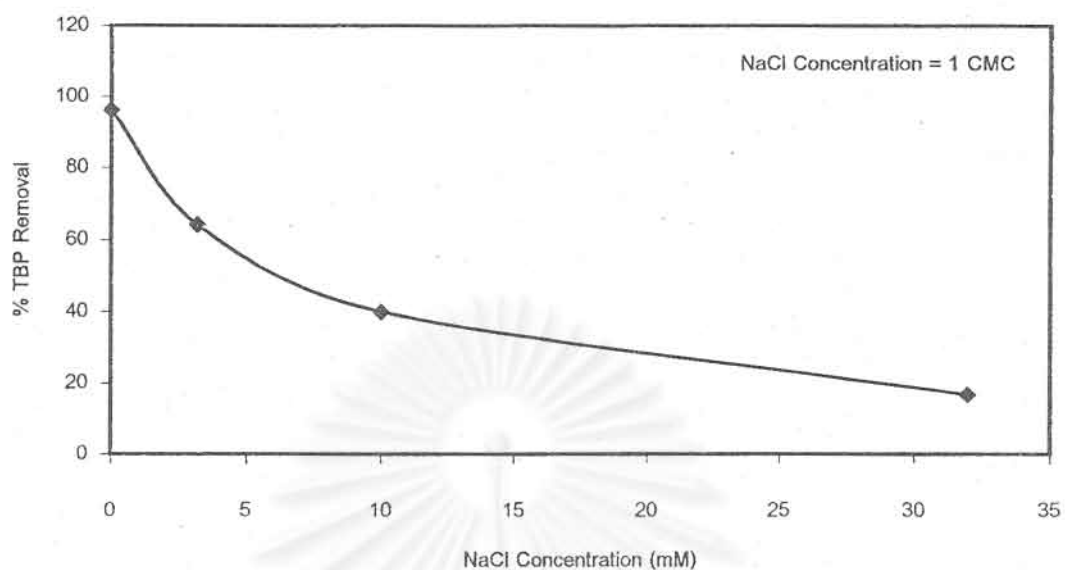
เพื่อให้เห็นผลการเติมเกลือแกงต่อประสิทธิภาพการแยกสาร TBP ให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงนำข้อมูลประสิทธิภาพการแยกสาร TBP สูงสุด คือ ที่ความเข้มข้นที่ค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นเกลือแกงต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 เมื่อใช้สาร CPC และ SDS ตามลำดับ ในกรณีเมื่อใช้สาร CPC พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเกลือแกง ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP ที่ความเข้มข้นของสาร CPC เท่ากับ CMC มีค่าลดต่ำลงอย่างมาก แต่ในกรณีเมื่อใช้สาร SDS พบว่าประสิทธิภาพการแยกสาร TBP ลดลงเล็กน้อยไม่มากนัก เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเกลือแกง จึงสรุปได้ว่าในกรณีที่ใช้สาร CPC จะให้ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP ลดต่ำลงอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สาร SDS เมื่อมีการเติมเกลือแกงสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในกรณีสาร CPC เมื่อเติมเกลือแกง พบว่าปริมาตรน้ำที่เปลี่ยนเป็นฟองมีค่าต่ำมาก เทียบกับกรณีสาร SDS ปริมาตรน้ำที่เปลี่ยนเป็นฟองมีค่าสูงมากและไม่ลดต่ำลง เมื่อเติมเกลือแกงเพิ่มสูงขึ้น

4.3 ประสิทธิภาพการแยกสารลดแรงตึงผิว

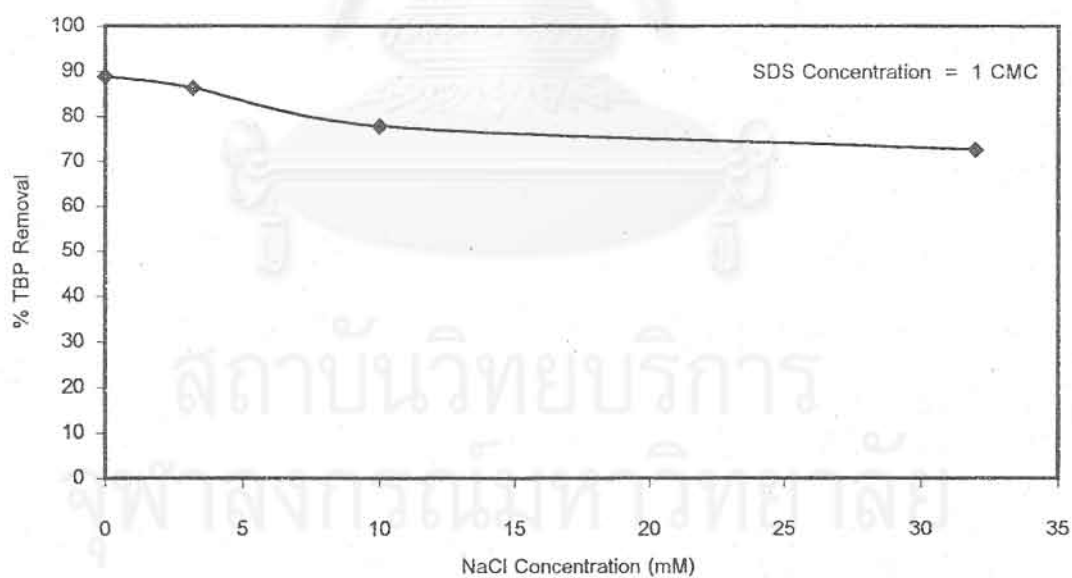
4.3.1 ประสิทธิภาพการแยกสาร CPC

วัตถุประสงค์หลักของการทดลองระบบทำให้เป็นฟองลอย(Froth Flotation) เพื่อแยกสารน้ำมัน ในการทดลองนี้ได้ใช้สาร TBP แทนสารน้ำมัน ในระบบทำให้เป็นฟองลอยนี้จะมีการแยกสารลดแรงตึงผิวเกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวจะเคลื่อนย้ายมาอยู่รวมกันที่ฟองเป็นส่วนใหญ่ ทำให้สารลดแรงตึงผิวจะมากอยู่กับส่วนฟองพร้อมกับสารน้ำมันที่ต้องการแยกด้วย รูปที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพการแยกสาร CPC ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยสาร CPC และที่ความเข้มข้นเกลือแกงต่างๆ โดยในกรณีที่ไม่มีเกลือแกงและมีเกลือแกงที่ความเข้มข้นไม่สูง พบว่าที่ความเข้มข้นเฉลี่ยสาร CPC ต่ำ ประสิทธิภาพการแยกสาร CPC จะสูง แล้วค่อยๆลดต่ำลงเมื่อความเข้มข้นเฉลี่ยสาร CPC เพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพการแยก CPC จะคงที่เมื่อความเข้มข้นเฉลี่ยสาร CPC เพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพการแยก CPC จะคงที่ เมื่อความเข้มข้นเฉลี่ยสาร CPC ใกล้เคียงสูงกว่า CMC แต่ในกรณีความเข้มข้นเกลือแกง 32 mM ประสิทธิภาพการแยกสาร CPC เพิ่มสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นเฉลี่ย CPC เพิ่มสูงขึ้น ที่ค่า CMC ของสาร CPC ให้ประสิทธิภาพการแยกสาร CPC สูงสุด เมื่อนำค่าประสิทธิภาพการแยกสาร CPC ที่ค่า CMC ของสาร CPC มาเขียนกราฟกับค่าความเข้มข้นเกลือแกง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่า ประสิทธิภาพการแยกสาร CPC เพิ่มสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นเกลือแกงเพิ่มสูงขึ้น ผลการทดลองนี้สามารถอธิบายได้ว่า การเติมเกลือแกงนอกจากจะช่วยให้การเกิดไมเซลล์ง่ายขึ้น ซึ่งสังเกตเห็นจากค่า CMC ที่ลดต่ำลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเกลือแกงสูงขึ้น นอกจากนี้ประจุลบของคลอไรด์ยังไปเกาะที่ส่วนหัวของสาร CPC ที่มีประจุบวก จึงทำให้จำนวนโมเลกุลของสาร CPC สามารถไปเรียงใกล้กันในชั้นของฟองได้มากขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพการแยกสาร สูงขึ้น เมื่อปริมาณเกลือแกงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นเกลือแกงสูงกว่า 10 พบว่าประสิทธิภาพการแยกสาร คงที่ ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลสาร เรียงตัวใกล้ที่สุดแล้ว

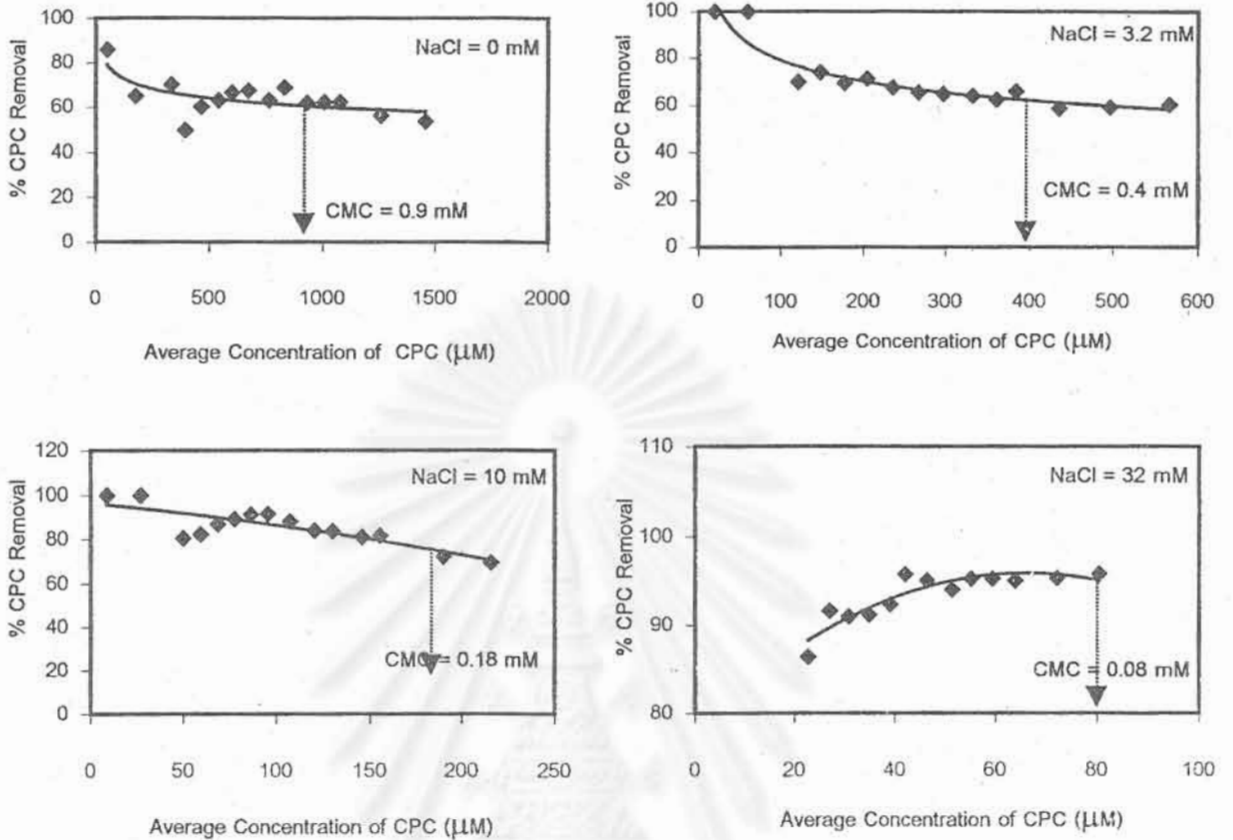
ในกรณีของสาร SDS ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดลบ เมื่อประยุกต์ใช้ในระบบทำให้เป็นฟองลอยในการแยกสาร TBP นั้น พบว่า มีข้อแตกต่างจากการใช้สาร CPC รูปที่ 4.10 แสดงประสิทธิภาพการแยกสาร SDS ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยสาร SDS และที่ความเข้มข้นเกลือแกงต่างๆ ทั้งในกรณีไม่มีและเติมเกลือแกงต่างๆ ประสิทธิภาพการแยกสาร SDS เพิ่มสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นเฉลี่ยสาร SDS เพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพการแยกสาร



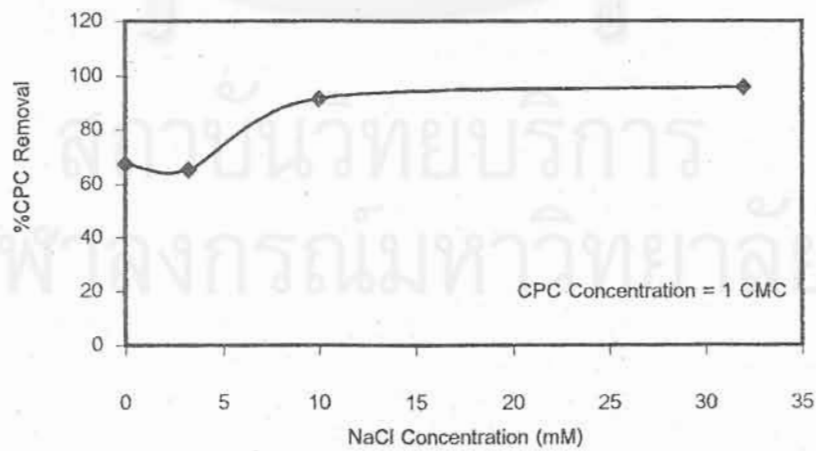
รูปที่ 4.6 ผลของความเข้มข้นเกลือแกงต่อประสิทธิภาพการแยก TBP ที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว CPC เท่ากับ 1 CMC



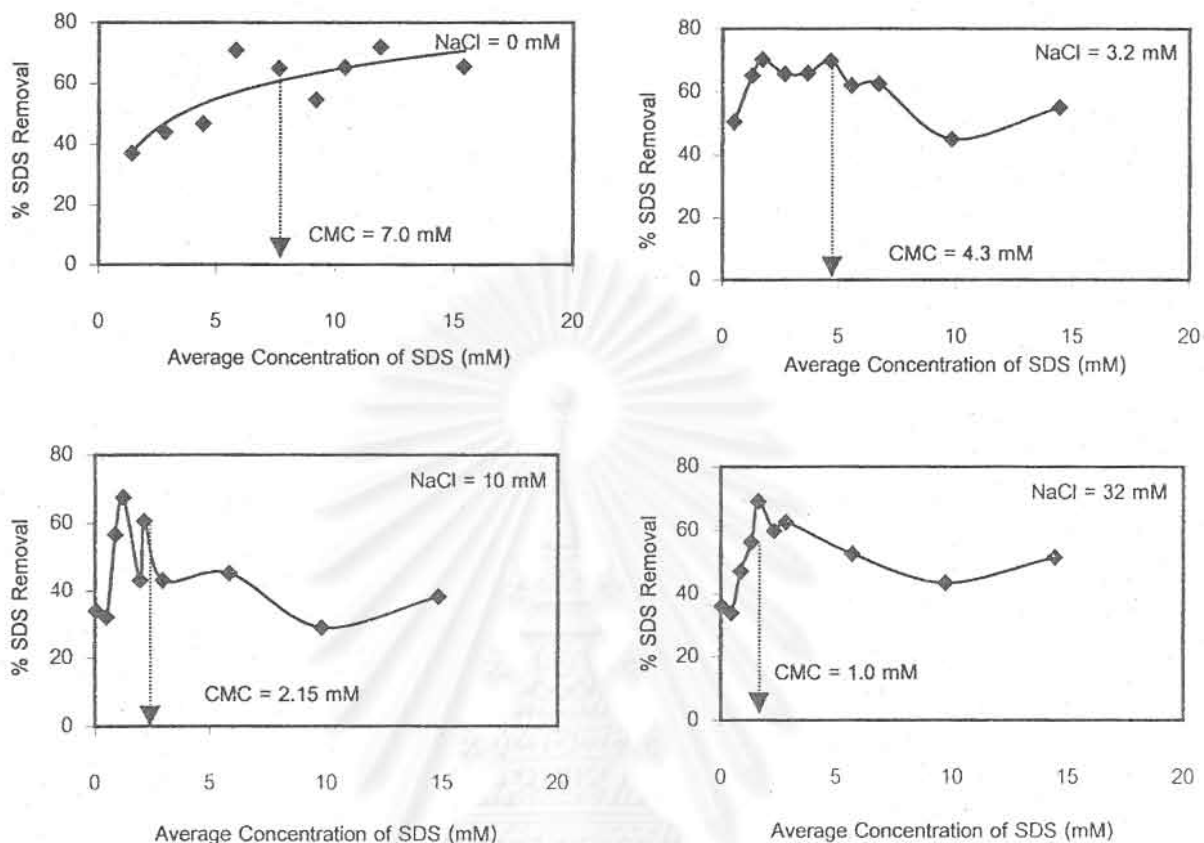
รูปที่ 4.7 ผลของความเข้มข้นเกลือแกงต่อประสิทธิภาพการแยก TBP ที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว SDS เท่ากับ 1 CMC



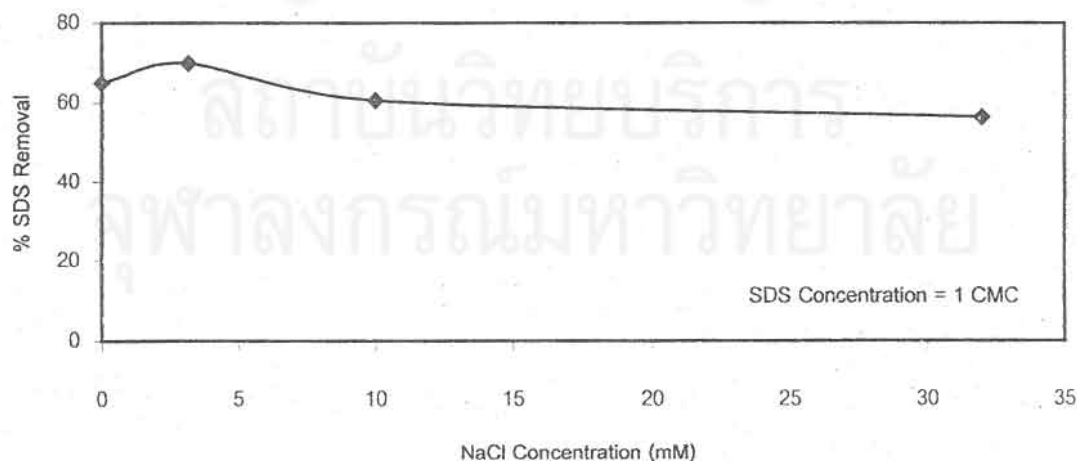
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการแยกสาร CPC ที่ความเข้มข้นเจลลี่ของสาร CPC และความเข้มข้นต่างๆของเกลือแกง



รูปที่ 4.9 ผลของเกลือแกงต่อประสิทธิภาพการแยกสาร CPC ที่ความเข้มข้น CPC เท่ากับ CMC



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการแยกสาร SDS ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร SDS ต่างๆ และความเข้มข้นต่างๆของเกลือแกง



รูปที่ 4.11 ผลของเกลือแกงต่อประสิทธิภาพการแยกสาร SDS ที่ความเข้มข้น SDS เท่ากับ 1 CMC

SDS มีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นเฉลี่ยสาร SDS เท่ากับ CMC แต่ประสิทธิภาพการแยกสาร SDS จะลดลง เมื่อความเข้มข้นเฉลี่ยสาร SDS สูงกว่า CMC ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับประสิทธิภาพการแยกสาร TBP รูปที่ 4.11 แสดงประสิทธิภาพการลดสาร SDS ที่ความเข้มข้นเกลือแ่งต่างๆ เมื่อความเข้มข้นเฉลี่ย SDS เท่ากับ CMC ประสิทธิภาพการแยกสาร SDS ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อความเข้มข้นเกลือแ่งเปลี่ยนแปลง

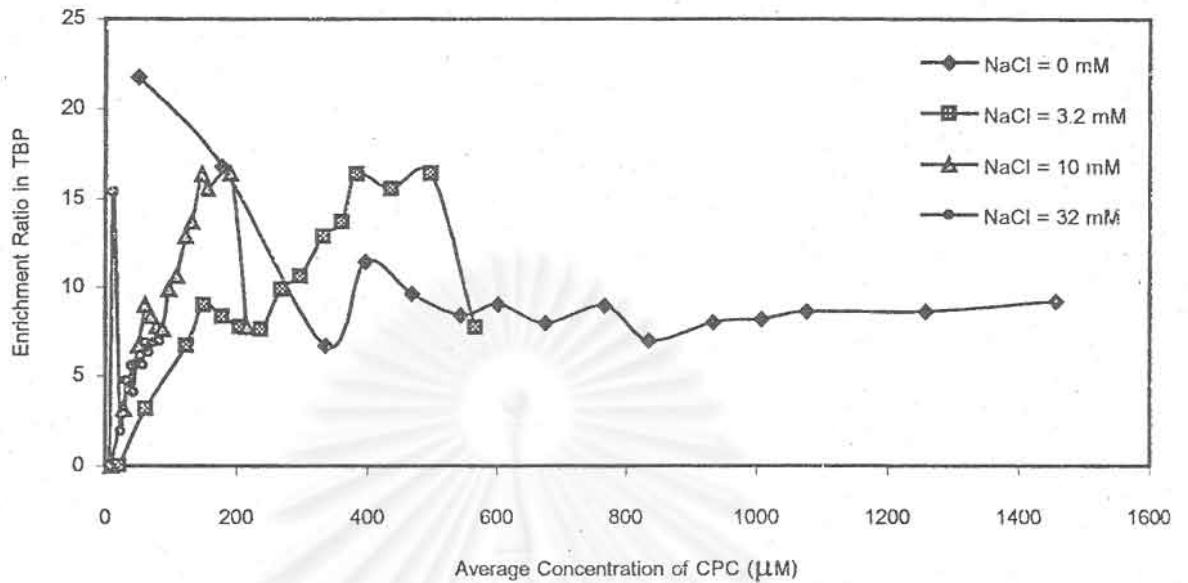
4.4 สัดส่วนความเข้มข้น(Enrichment Ratio)

สัดส่วนความเข้มข้น(Enrichment Ratio) หมายถึง อัตราส่วนความเข้มข้นสารในส่วนของฟองต่อความเข้มข้นสารในส่วนของน้ำ สัดส่วนความเข้มข้นนี้จะเป็นครรชนี่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการแยกสารมากน้อยเพียงใด ถ้าสัดส่วนความเข้มข้นมีค่าสูง แสดงว่ามีประสิทธิภาพการแยกสารสูง รูปที่ 4.12 และ 4.13 แสดงอัตราส่วนความเข้มข้นของสาร TBP เมื่อใช้สาร CPC และ SDS ตามลำดับ ในกรณีที่ใช้สาร CPC พบว่า สัดส่วนความเข้มข้นลดลง เมื่อความเข้มข้นสาร CPC เพิ่มสูงขึ้น การเติมเกลือแ่งจะทำให้สัดส่วนความเข้มข้นสาร TBP ลดต่ำลง ในกรณีที่ใช้สาร SDS พบว่าสัดส่วนความเข้มข้นสาร TBP ลดลง เมื่อความเข้มข้นสาร SDS เพิ่มสูงขึ้น และสัดส่วนความเข้มข้นของสาร TBP มีค่าคงที่ เมื่อความเข้มข้นสาร SDS มีค่าสูงมากๆ ทั้งนี้เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงกว่า CMC ที่ฟองเกิด Liquid-crystalline phase จึงทำให้ฟองอุ้มน้ำได้ดีขึ้น(Clint, 1992) เมื่อมีการเติมเกลือแ่งจะช่วยทำให้สัดส่วนความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบการใช้สาร CPC และ SDS ในการแยกสาร TBP พบว่าอัตราส่วนความเข้มข้นสาร TBP ในกรณีที่ใช้สาร CPC มีค่าสูงกว่ามาก เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้สาร SDS โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อไม่มีการเติมเกลือแ่ง ทั้งนี้เพราะฟองที่เกิดในกรณีใช้สาร CPC มีปริมาณน้อยเนื่องจากฟองแตกง่าย แต่ทางตรงกันข้าม เมื่อใช้สาร SDS ปริมาณฟองที่เกิดขึ้นสูงกว่ามาก ทั้งนี้เนื่องจากฟองมีเสถียรภาพสูงไม่แตกง่าย ดังนั้นจึงทำให้สัดส่วนความเข้มข้นสาร TBP เมื่อใช้สาร SDS มีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้สาร CPC

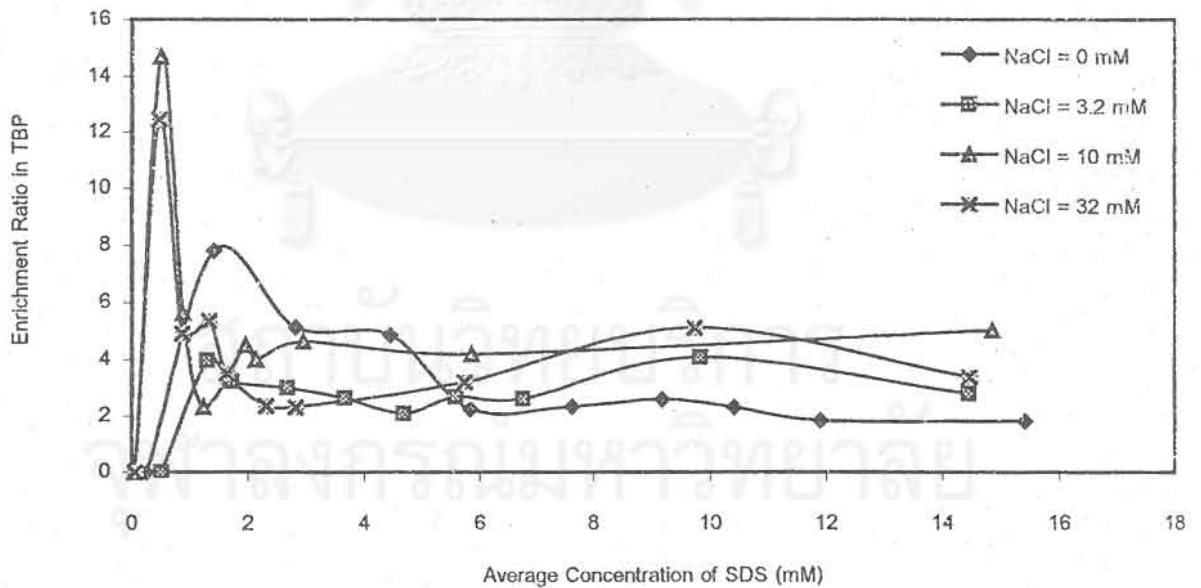
รูปที่ 4.14 และ 4.15 แสดงสัดส่วนความเข้มข้นของสาร CPC และ SDS ที่ความเข้มข้นต่างๆของสารลดแรงตึงผิวและเกลือแ่ง ในกรณีที่ใช้สาร CPC พบว่า สัดส่วนความเข้มข้นสาร CPC ไม่ขึ้นกับปริมาณเกลือแ่ง แต่จะขึ้นกับความเข้มข้นสาร CPC โดยสัดส่วนความเข้มข้นสาร CPC ลดต่ำลงอย่างมาก เมื่อความเข้มข้นสาร CPC เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อความเข้มข้นสาร CPC สูงกว่า 200 μM สัดส่วนความเข้มข้นลดลงอย่างช้าๆ ส่วนในกรณีเมื่อใช้สาร SDS เป็นสารช่วยพาสาร TBP แยกออกจากน้ำ พบว่าสัดส่วนความเข้มข้นสาร SDS มีลักษณะคล้ายคลึงกับผลของสัดส่วนความเข้มข้นสาร CPC กล่าวคือ สัดส่วนความเข้มข้นสาร SDS จะลดต่ำลงอย่างมากในช่วงแรกและมีค่าคงที่ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสาร SDS การเติมเกลือแ่งจะช่วยทำให้ค่าสัดส่วนความเข้มข้นสาร SDS สูงขึ้นเล็กน้อย

4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพสารลดแรงตึงผิว

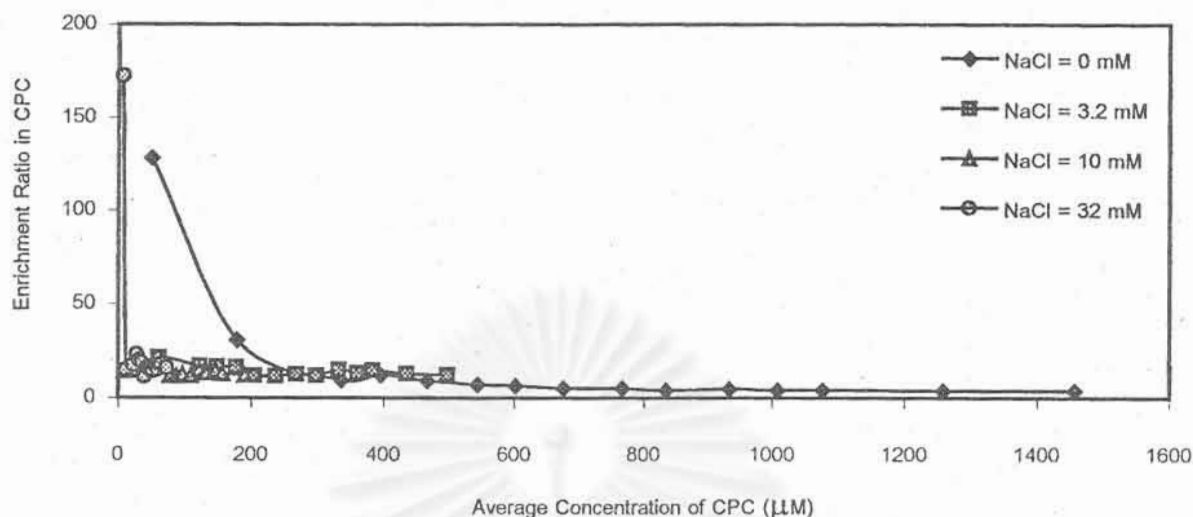
การคัดเลือกสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในระบบทำให้เป็นฟองลอย จำเป็นต้องพิจารณาประสิทธิภาพการแยกสารอินทรีย์จะต้งสูง ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ต้องเติมจะต้องต่ำ และควร



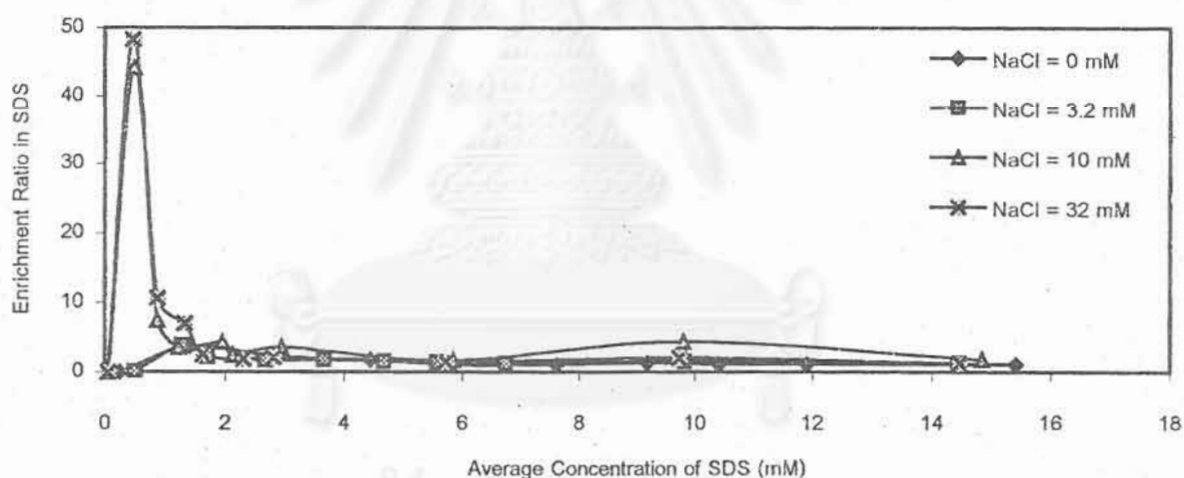
รูปที่ 4.12 สัดส่วนความเข้มข้นของ TBP เมื่อใช้ CPC เป็นสารลดแรงตึงผิว ที่ความเข้มข้นสาร CPC และเกลือแกงต่างๆ



รูปที่ 4.13 สัดส่วนความเข้มข้นของ TBP เมื่อใช้ SDS เป็นสารลดแรงตึงผิว ที่ความเข้มข้นสาร SDS และเกลือแกงต่างๆ



รูปที่ 4.14 สัดส่วนความเข้มข้นสาร CPC ที่ความเข้มข้นสาร CPC และ เกลือแกงต่างๆ



รูปที่ 4.15 สัดส่วนความเข้มข้นสาร SDS ที่ความเข้มข้นสาร SDS และเกลือแกงต่างๆ

พิจารณาสัดส่วนความเข้มข้นสารที่ต้องการแยกและของสารลดแรงตึงผิวควรจะสูงด้วย ในการทดลองนี้ได้ทดลองสารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด ได้แก่ CPC และ SDS ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวมีประจุบวกและประจุลบตามลำดับ จากผลการทดลองอาจสรุปได้ว่า สาร CPC ความเหมาะสมกว่าสาร SDS ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อใช้สาร CPC สามารถให้ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP สูงสุดที่ 96% ที่ค่า CMC และไม่ต้องเติมเกลือแกง ในการที่ถ้าใช้ SDS จะให้ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP สูงสุดที่ 89% นอกจากนี้ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวที่ต้องใช้ในกรณีสาร CPC ต่ำเพียง 0.9 mM ขณะที่ถ้าใช้สาร SDS ต้องสูงถึง 7 mM แต่ถ้าต้องการเลือกใช้สาร SDS แทนสาร CPC ควรเติมเกลือแกงเพื่อลดค่า CMC ถ้าเติมเกลือแกง 32 mM จะทำให้ความเข้มข้นสาร SDS ที่ต้องใช้ในการแยกสาร TBP ลดลงเหลือ 1.0 mM

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองระบบทำให้เป็นฟองลอย(Froth Flotation) โดยใช้ tertiary butylphenol(TBP) เป็นสารน้ำมัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวสองชนิด ได้แก่ Sodium dodecylsulfate(SDS) และ Cetylpyridinium chloride (CPC) ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

- การเติมเกลือแกง(NaCl) สามารถลดค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด
- ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP เพิ่มสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าสูงสุดเมื่อความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวมีค่าเท่ากับ CMC เมื่อความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวมีค่าสูงกว่า CMC ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP ลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากไมเซลล์ที่เกิดขึ้นจะไปดึงสาร TBP ไว้
- ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP ลดต่ำลงอย่างมาก เมื่อเติมเกลือแกง ในกรณีใช้สาร CPC แต่ในกรณีใช้สาร SDS และมีการเติมเกลือแกง ประสิทธิภาพการแยกสาร TBP ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก
- ระบบที่ใช้สาร CPC ให้ฟองที่มีปริมาณน้อยกว่าและฟองมีความเข้มข้นสารTBP และ CPC สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ใช้สาร SDS

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลการทดลองนี้ทำให้มีความเข้าใจเกี่ยวกับระบบทำให้เป็นฟองลอยมากขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้งานการบำบัดน้ำเสียที่มีสารน้ำมันปนอยู่ แต่ควรมีการวิจัยพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ข้อเสนอแนะต่อไปนี้ที่ควรมีการดำเนินการวิจัย

- ควรมีการทดลองกับสารน้ำมันที่ไม่ละลายน้ำ
- ควรศึกษาตัวแปรอื่น ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพระบบทำให้เป็นฟองลอย เช่น ค่าความเป็นกรดต่างขนาดของฟองอากาศ อัตราการไหลของอากาศ และอุณหภูมิ
- ควรมีการทดลองระบบต่อเนื่อง ซึ่งจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้งานจริงกับน้ำเสียอุตสาหกรรม

รายการอ้างอิง

- Angelidou, C.E., Keshavarz, M.J. and Richardson, The removal of emulsified oil particles from water by flotation, Ing.Eng.Chem.Pro.Des.Dev., 16(4), 1977, 436-441.
- Adamson, A. W., Physical Chemistry of Surfaces, Wiley, New York, 1990, Chaps. 5 and 13.
- Ahmad, S. I., Laws of Foam Formation and Foam Fractionation. I. The Effect of Different Operating Parameters on the Foam Fractionation of Albumin from a Solution Containing Organic and Inorganic Materials, Sep. Sci., 10, 6, 1975, pp. 673-688.
- Bolto, B.A., Dixon, D.R., Gray, S.R., Chee, H., Harbour, P.J., Ngoc, L. and Ware, A.J., The Use of Soluble Organic Polymer in Waste Treatment, Water Science Technology, 34(9), 1996, 117-124.
- BHP research, News from BHP, NSW, Australia, 28 dec. 1992.
Inc., 32(13), 1997, 2173-2187.
- Brasch, D. J. and Robilliard, K. R., Rate of Continuous Foam Fractionation of Dilute Kraft, Sep. Sci. Technol., 14, 8, 1979, pp. 699-709.
- Clarke, A. N. and Wilson, D. J., Foam Flotation : Theory and Application, Marcel Dekker, New York., 1983.
- Clint, J. H., Surfactant Aggregation, Blackie & Son, New York, 1992, pp. 1-11, and Chap. 11.
- Craig, V. S. J., Ninham, B. W. and Pashley R. M., Effect of electrolytes on bubble coalescence, Nature, 364, 22, 1993, pp. 317-319.
- Kepak, F. and Kriva, J., The Foam Separation of Radioruthenium, Sep. Sci., 5, 4, 1970.
- Koutlemani, M.M., Mavros, P., Zouboulis, A. I. and Matis, K. I., Recovery of Co^{2+} Ions from Aqueous Solutions by Froth Flotation, Sep. Sci. Technol., 29, 7, 1994, pp. 867-886.
- Lemlich, R., Adsorptive Bubble Separation Techniques, Academic Press, New York, 1972, Chaps. 1, 3, 4, 6, 10, and 11.
- Leu, M.H., Chang, J.E. and Ko, M.S., Removal of Heavy Metals from a Chelated Solution with Electrolytic Foam Separation, Sep. Sci. Technol., 29, 7, 1994, pp. 2245-2261.
- Peng, F. F. and Di, P., Removal of Arsenic from Aqueous Solution by Adsorbing Colloid Flotation, Ind. Eng. Chem. Res., 33, 4, 1994, pp. 922-928.
- Rosen, M. J., Surfactants and Interfacial Phenomena, Wiley, New York, 1989, Chaps. 1 and 3.
- Scamehorn, J. F. and Harwell, J. H., Surfactant-Based Separation Processes, Marcel Dekker, Inc., New York, 1989, Part IV.
- Siy, R. D. and Talbot, F. D., Foam Fractionation of Zinc, Can. J. Chem. Eng., 55, 67, 1977, pp. 67-69.
- Smith, G. A., Christian, S. D., Tucker, E. E. and Scamehorn, J. F., Solubilization of Hydrocarbons by Surfactant Micelles and Mixed Micelles, Langmuir, 3, 1987, pp. 598.

Wilson, D. J., and Thackston, E. L., Foam Flotation Treatment of Industrial Wastewater, U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 1980, Chap. 1.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.1 ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ CPC เป็นสารลดแรงตึงผิว ในระบบที่ไม่มี NaCl ความเข้มข้นสาร TBP 50 mg/l และเวลาที่ใช้ในการแยก 60 นาที

ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว		ส่วนที่เป็นของเหลว					ส่วนที่เป็นฟอง		Enrichment ratio in TBP	Enrichment ratio in CPC
μM	จำนวนเท่าของ CMC	%การแยก TBP	% การแยก สารลดแรงตึงผิว	ปริมาตรของเหลว ใน Column (l)	ความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว (μM)	ความเข้มข้นเฉลี่ย สารลดแรงตึงผิว (μM)	ความเข้มข้นของ TBP (mg/l)	ความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว (μM)		
90	0.10	45.76	85.83	0.98	9.34	49.67	1087.70	11517.00	21.75	127.97
270	0.30	61.19	65.23	0.94	85.84	177.92	841.57	8363.00	16.83	30.97
450	0.50	78.14	70.12	0.85	222.21	336.11	335.20	4273.00	6.70	9.50
540	0.60	71.66	50.00	0.84	252.75	396.38	574.00	6542.50	11.48	12.12
630	0.70	85.20	60.31	0.76	305.15	467.58	481.98	5866.30	9.64	9.31
720	0.80	89.24	63.11	0.73	366.82	543.41	420.89	5142.80	8.42	7.14
810	0.90	91.84	66.65	0.68	393.18	601.59	452.25	5348.60	9.05	6.60
900	1.00	96.33	67.54	0.62	451.81	675.91	400.24	4577.60	8.00	5.09
990	1.10	92.15	63.10	0.64	544.35	767.18	448.55	5223.40	8.97	5.28
1080	1.20	96.04	68.81	0.57	591.08	835.54	349.49	4437.50	6.99	4.11
1170	1.30	93.12	62.03	0.63	698.78	934.39	401.30	5444.00	8.03	4.65
1260	1.40	95.12	62.36	0.61	757.05	1008.53	410.42	5162.60	8.21	4.10
1350	1.50	93.32	62.28	0.61	804.89	1077.35	432.66	5650.70	8.65	4.19
1530	1.70	88.74	56.51	0.62	986.90	1258.45	431.33	5940.10	8.63	3.88
1710	1.90	86.10	53.80	0.64	1204.20	1457.10	460.21	6373.80	9.20	3.73

ตารางที่ ผ.2 ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ CPC เป็นสารลดแรงตึงผิว และมี NaCl ความเข้มข้น 3.2 mM ความเข้มข้นสาร TBP 50 มก/ล และเวลาที่ใช้ในการแยก 60 นาที

ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว		ส่วนที่เป็นของเหลว					ส่วนที่เป็นฟอง		Enrichment ratio in TBP	Enrichment ratio in CPC
μM	จำนวนเท่าของ CMC	%การแยก TBP	% การแยก สารลดแรงตึงผิว	ปริมาตรของเหลว ใน Column (l)	ความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว (μM)	ความเข้มข้นเฉลี่ย สารลดแรงตึงผิว (μM)	ความเข้มข้นของ TBP (mg/l)	ความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว (μM)		
40	0.10	0.00	100.00	1.11	0	20.00	1087.70	11517.00	-	-
120	0.30	40.94	100.00	0.94	0	60.00	841.57	8363.00	3.17	14.35
200	0.50	47.81	69.80	0.92	43.60	121.80	335.20	4273.00	6.70	21.37
240	0.60	48.80	73.86	0.93	56.25	148.12	574.00	6542.50	8.99	16.94
280	0.70	46.69	69.44	0.94	75.22	177.61	481.98	5866.30	8.34	16.73
320	0.80	57.63	71.25	0.93	89.60	204.80	420.89	5142.80	7.80	16.23
360	0.90	58.73	67.48	0.92	113.02	236.51	452.25	5348.60	7.64	11.96
400	1.00	64.28	65.30	0.91	135.32	267.66	400.24	4577.60	9.88	11.55
440	1.10	67.89	64.81	0.89	155.12	297.56	448.55	5223.40	10.65	12.73
480	1.20	67.89	63.92	0.87	184.98	332.49	349.49	4437.50	12.88	12.08
520	1.30	67.37	62.40	0.86	201.47	360.74	401.30	5444.00	13.72	14.86
560	1.40	73.95	65.93	0.85	207.31	383.66	410.42	5162.60	16.39	13.21
600	1.50	71.08	58.59	0.85	271.15	435.58	432.66	5650.70	15.56	14.77
680	1.70	72.52	59.09	0.82	314.36	497.18	431.33	5940.10	16.44	12.80
760	1.90	76.75	60.15	0.80	371.54	565.77	460.21	6373.80	7.76	12.19

ตารางที่ ผ.3 ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ CPC เป็นสารลดแรงตึงผิว และมี NaCl ความเข้มข้น 10 mM ความเข้มข้นสาร TBP 50 mg/l และเวลาที่ใช้ในการแยก 60 นาที

ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว		ส่วนที่เป็นของเหลว					ส่วนที่เป็นฟอง		Enrichment ratio in TBP	Enrichment ratio in CPC
µM	จำนวนเท่าของ CMC	%การแยก TBP	% การแยก สารลดแรงตึงผิว	ปริมาตรของเหลว ใน Column (l)	ความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว µM	ความเข้มข้นเฉลี่ย สารลดแรงตึงผิว µM	ความเข้มข้นของ TBP (mg/l)	ความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว µM		
18	0.10	2.35	100.00	0.99	0	9.00	-	-	-	-
54	0.30	11.27	100.00	0.99	0	27.00	158.40	1722.50	3.17	14.35
90	0.50	22.20	80.78	0.96	9.87	49.94	335.20	4273.00	6.70	21.37
108	0.60	22.70	82.29	0.95	10.79	59.39	449.50	4064.50	8.99	16.94
126	0.70	28.63	87.04	0.95	10.87	68.44	416.90	4684.90	8.34	16.73
144	0.80	35.14	89.43	0.95	10.63	77.32	389.80	5193.10	7.80	16.23
162	0.90	38.02	91.31	0.94	10.48	86.24	382.10	4303.90	7.64	11.96
180	1.00	39.92	91.59	0.92	11.61	95.51	493.90	4618.80	9.88	11.55
198	1.10	38.81	88.20	0.94	17.31	107.66	532.70	5599.60	10.65	12.73
216	1.20	37.99	84.17	0.94	25.33	120.67	643.00	5799.10	12.88	12.08
234	1.30	40.37	84.00	0.95	26.53	130.26	686.20	7726.80	13.72	14.86
252	1.40	46.00	81.33	0.95	39.72	145.86	819.40	7396.90	16.39	13.21
270	1.50	49.04	81.95	0.94	40.95	155.47	828.20	8859.80	15.56	14.77
306	1.70	56.67	72.18	0.94	73.92	189.96	822.10	8706.00	16.44	12.80
342	1.90	49.59	69.55	0.94	89.64	215.82	388.00	9255.00	7.76	12.19

ตารางที่ ๘.4 ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ CPC เป็นสารลดแรงตึงผิว และมี NaCl ความเข้มข้น 3.2 mM ความเข้มข้น TBP 50 mg/l และเวลาที่ใช้ในการแยก 60 นาที

ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว		ส่วนที่เป็นของเหลว					ส่วนที่เป็นฟอง		Enrichment ratio In TBP	Enrichment ratio in CPC
μM	จำนวนเท่าของ CMC	%การแยก TBP	% การแยก สารลดแรงตึงผิว	ปริมาตรของเหลว ใน Column (l)	ความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว (μM)	ความเข้มข้นเฉลี่ย สารลดแรงตึงผิว (μM)	ความเข้มข้นของ TBP (mg/l)	ความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว (μM)		
8	0.10	-	49.32	1.05	5.52	6.76	-	-	-	-
24	0.30	-	-	-	0	12.00	770.20	9307.90	15.40	172.37
40	0.50	10.27	86.45	1.01	5.35	22.67	95.90	1355.50	1.92	15.06
48	0.60	9.19	91.63	1.01	5.93	26.96	144.40	1874.00	2.89	17.35
56	0.70	30.79	91.00	1.00	5.60	30.80	236.80	2906.70	4.74	23.07
64	0.80	11.46	91.21	1.00	5.75	34.88	211.30	2897.60	4.23	20.12
72	0.90	14.48	92.33	0.99	6.29	39.15	278.50	3016.50	5.57	18.62
80	1.00	16.86	95.76	0.99	4.24	42.12	204.80	2023.30	4.10	11.24
88	1.10	20.41	95.08	0.98	5.08	46.54	284.40	3153.60	5.69	15.93
96	1.20	22.23	94.09	0.97	7.03	51.52	286.90	3214.60	5.74	14.88
104	1.30	21.92	95.32	0.97	6.62	55.31	281.10	3269.10	5.62	13.97
112	1.40	23.50	95.26	0.97	6.82	59.41	345.10	4297.20	6.90	17.05
120	1.50	23.91	95.06	0.96	7.77	63.89	316.60	4012.30	6.33	14.86
136	1.70	28.19	95.37	0.95	8.49	72.25	344.10	5573.30	6.88	18.21
152	1.90	34.41	95.87	0.95	9.12	80.56	347.80	5460.60	6.96	15.97

ตารางที่ ผ.5 ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ SDS เป็นสารลดแรงตึงผิว ในระบบไม่มี NaCl ความเข้มข้นสาร TBP 50 มก/ล และเวลาที่ใช้ในการแยก 45 นาที

ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว		ส่วนที่เป็นของเหลว					ส่วนที่เป็นฟอง		Enrichment ratio in TBP	Enrichment ratio in SDS
mM	จำนวนเท่าของ CMC	%การแยก TBP	% การแยก สารลดแรงตึงผิว	ปริมาตรของเหลว ใน Column (l)	ความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว (mM)	ความเข้มข้นเฉลี่ย สารลดแรงตึงผิว (mM)	ความเข้มข้นของ TBP (mg/l)	ความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว (mg/l)		
0.50	0.07	67.38	-	0.59	0.00	0.25	-	-	-	-
1.50	0.21	66.28	37.04	0.75	1.33	1.41	390.61	5,544.90	7.81	3.70
3.00	0.43	73.26	43.99	0.63	2.64	2.82	257.25	6,551.40	5.15	2.18
4.50	0.64	77.39	46.74	0.63	4.40	4.45	243.70	7,796.00	4.87	1.73
6.00	0.86	89.67	70.94	0.31	5.65	5.83	112.80	6,295.90	2.26	1.05
7.50	1.07	88.94	64.98	0.34	7.73	7.62	117.31	7,847.70	2.35	1.05
9.00	1.29	75.80	54.70	0.44	9.36	9.18	129.81	11,790	2.60	1.31
10.50	1.50	85.15	65.33	0.37	10.34	10.42	116.62	11,641	2.33	1.11
12.00	1.71	83.51	72.01	0.31	11.83	11.91	92.87	12,803	1.86	1.07
15.00	2.14	75.62	65.51	0.35	15.83	15.42	91.34	16,055	1.83	1.07

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.6

ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ SDS เป็นสารลดแรงตึงผิว และมี NaCl ความเข้มข้น 3.2 mM ความเข้มข้นสาร TBP 50 mg/l และเวลาที่ใช้ในการแยก 45 นาที

ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว		ส่วนที่เป็นของเหลว					ส่วนที่เป็นฟอง		Enrichment ratio in TBP	Enrichment ratio in SDS
mM	จำนวนเท่าของ CMC	%การแยก TBP	% การแยก สารลดแรงตึงผิว	ปริมาตรของเหลว ใน Column (l)	ความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว (mM)	ความเข้มข้นเฉลี่ย สารลดแรงตึงผิว (mM)	ความเข้มข้นของ TBP (mg/l)	ความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว (mM)		
0.50	0.12	73.68	50.59	0.51	0.49	0.50	-	-	-	-
1.50	0.35	85.74	65.18	0.51	1.05	1.28	198.72	5622.90	3.97	3.75
2.00	0.47	90.66	70.22	0.40	1.42	1.71	161.00	4318.70	3.22	2.16
3.00	0.70	83.40	65.64	0.47	2.37	2.68	150.00	4884.90	3.00	1.63
4.00	0.93	86.74	65.97	0.40	3.34	3.67	132.27	7106.00	2.65	1.78
5.00	1.16	86.30	69.88	0.39	4.35	4.68	104.41	7481.40	2.09	1.50
6.00	1.40	81.76	61.99	0.41	5.16	5.58	134.25	8470.60	2.69	1.41
7.00	1.63	80.78	62.53	0.41	6.50	6.75	130.28	8187.80	2.61	1.17
10.00	2.33	65.94	45.06	0.55	9.65	9.83	204.42	15102.00	4.09	1.51
15.00	3.49	65.41	55.08	0.46	13.91	14.45	139.65	18116.00	2.79	1.21

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๘.7 ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ SDS เป็นสารลดแรงตึงผิว และใช้ NaCl ความเข้มข้น 10 มิลลิโมล ความเข้มข้นสาร TBP 50 มก/ล และเวลาที่ใช้ในการแยก 45 นาที

ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว		ส่วนที่เป็นของเหลว					ส่วนที่เป็นฟอง		Enrichment ratio in TBP	Enrichment ratio in SDS
mM	จำนวนเท่าของ CMC	%การแยก TBP	% การแยก สารลดแรงตึงผิว	ปริมาตรของเหลว ใน Column (l)	ความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว (mM)	ความเข้มข้นเฉลี่ย สารลดแรงตึงผิว (mM)	ความเข้มข้นของ TBP (mg/l)	ความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว (mM)		
0.10	0.05	41.79	34.08	0.78	0	0.05				
0.50	0.23	47.83	32.22	0.93	0.47	0.49	735.1	22.1	14.70	44.20
1.00	0.47	72.74	56.67	0.65	0.73	0.87	282.7	7.37	5.65	7.37
1.50	0.70	80.57	67.61	0.54	0.95	1.22	116.4	5.31	2.33	3.54
2.00	0.93	73.67	43.12	0.59	1.93	1.96	226.2	8.56	4.52	4.28
2.50	1.16	77.82	60.65	0.52	1.77	2.13	199.6	5.93	3.99	2.37
3.00	1.40	72.88	43.17	0.57	2.89	2.95	231.8	10.61	4.64	3.54
6.00	2.79	68.42	45.21	0.59	5.70	5.85	209.7	10.01	4.19	1.67
10.00	4.65	44.54	29.04	0.74	9.60	9.80	545.1	43.82	10.90	4.38
15.00	8.98	49.32	38.29	0.84	14.70	14.85	251.9	26.78	5.04	1.79

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.8 ข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ SDS เป็นสารลดแรงตึงผิว และใช้ NaCl ความเข้มข้น 32 มิลลิโมล ความเข้มข้นสาร TBP 50 มก/ล และเวลาที่ใช้ในการแยก 45 นาที

ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว		ส่วนที่เป็นของเหลว					ส่วนที่เป็นฟอง		Enrichment ratio in TBP	Enrichment ratio in SDS
mM	จำนวนเท่าของ CMC	%การแยก TBP	% การแยก สารลดแรงตึงผิว	ปริมาตรของเหลว ใน Column (l)	ความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว (mM)	ความเข้มข้นเฉลี่ย สารลดแรงตึงผิว (mM)	ความเข้มข้นของ TBP (mg/l)	ความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว (mM)		
0.10	0.07	38.11	36.05	0.81	0.00	0.05	-	-	-	-
0.50	0.33	47.60	33.89	0.89	0.42	0.46	623	24.15	12.45	48.31
1.00	0.67	71.78	47.20	0.60	0.71	0.86	247	10.6	4.93	10.60
1.50	1.00	72.66	56.44	0.59	1.14	1.32	269	10.6	5.38	7.03
2.00	1.33	79.52	69.15	0.48	1.25	1.62	177	5.06	3.53	2.53
2.50	1.67	80.06	59.96	0.44	2.11	2.31	119	4.65	2.37	1.86
3.00	2.00	78.68	62.64	0.45	2.63	2.82	116	6.33	2.33	2.11
6.00	4.00	71.36	52.70	0.48	5.46	5.73	160	9.11	3.20	1.52
10.00	6.67	57.65	43.47	0.59	9.46	9.73	256	20.3	5.13	2.03
15.00	10.00	61.61	51.62	0.50	13.92	14.46	169	19.17	3.38	1.28