

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์หาปริมาณสารลดแรงตึงผิวในผลิตภัณฑ์แชมพู

123



T107709



สง. 03737 2548

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 107709  
วัน,เดือน,ปี..... 10 พ.ค. 2553

b..... 120.11084.  
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

# Determination of Surfactants in Shampoo



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree  
of Bachelor of Science**

**(Industrial Chemistry – Analytical Instrumentation)**

**Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

**Academic Year 2005**

หัวข้อโครงการพิเศษ

การวิเคราะห์หาปริมาณสารลดแรงตึงผิวในผลิตภัณฑ์แชมพู

นักศึกษา

นางสาวอรุณลักษณ์ เคหะวัฒนานนท์ 45050715

นางสาวอัจฉรา อ่อนปาน 45050717

ภาควิชา

เคมี คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา

เคมีอุตสาหกรรม - เครื่องมือวิเคราะห์

ปีการศึกษา

2548

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อ.พรทิพย์ ศัพท์อนันต์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	..... พิมพ์ ๒๖ กุมภาพันธ์ ๒๕๔๘
กรรมการ	รศ.สิริภักดิ์ สาระตันตี	..... พิมพ์
กรรมการ	รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล	..... พิมพ์

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ การวิเคราะห์หาปริมาณสารลดแรงตึงผิวในผลิตภัณฑ์แชมพู

นักศึกษา นางสาวอรลัญช์ เกษะวัฒนกานนท์ 45050715  
นางสาวอัจฉรา อ่อนปาน 45050717

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม - เครื่องมือวิเคราะห์  
ปีการศึกษา 2548  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.พรทิพย์ ศัพท์อนันต์

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์หาปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในแชมพูสระผม โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์สามวิธีคือ วิธีการไทเทรตแบบสองเฟส (two-phase titration) วิธีโพเทนชิอเมตริกไทเทรชัน ASTM D6173-97 และวิธี Application Bulletin No. 268/1e ผลการทดลองพบว่าวิธีการไทเทรตแบบสองเฟสสามารถวิเคราะห์หาปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบได้ (sodium lauryl ether sulfate) เท่ากับ  $8.599 \pm 0.339$  % w/w ส่วนการวิเคราะห์โดยวิธีโพเทนชิอเมตริกไทเทรชัน โดยการใช้เมทานอลกับสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 3 (Application Bulletin No. 268/1e ของบริษัท Metrohm) มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ เท่ากับ  $10.629 \pm 0.155$  %w/w และการวิเคราะห์โดยวิธีโพเทนชิอเมตริกไทเทรชัน โดยการใช้ Triton X-100 กับสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 (ASTM D6173-97) มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ เท่ากับ  $10.479 \pm 0.064$  % w/w และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลวิเคราะห์ทั้งสามวิธีโดย F-test พบว่าวิธีการไทเทรตแบบสองเฟส กับวิธี Application Bulletin No. 268/1e และวิธี Application Bulletin No. 268/1e กับ ASTM D6173-97 ให้ผลการวิเคราะห์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนวิธีการไทเทรตแบบสองเฟส กับ วิธี ASTM D6173-97 ให้ผลการวิเคราะห์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<b>Special Project Title</b>	Determination of surfactant in shampoo	
<b>Name</b>	MissOnwaran Kehawattakanon	45050715
	MissAudchara Onpan	45050717
<b>Department</b>	Chemistry	
<b>Program</b>	Industrial Chemistry – Analytical Instrumentation	
<b>Academic Year</b>	2005	
<b>Special Project Advisor</b>	Assoc.Prof. Arunee Kongsakphaisal	
<b>Co – Advisor</b>	Ajarn Porntip Supanan	

### ABSTRACT

In this project , ionic active matter in hair shampoo with two-phase titration technique and potentiometric titration technique has been studied. The amounts of anionic active matter (sodium lauryl ether sulfate) using the two-phase titration technique was  $8.599 \pm 0.339$  % w/w, potentiometric titration in buffer solution pH 3 (Application Bulletin No. 268/1e ) was  $10.629 \pm 0.155$  % w/w and potentiometric titration technique in buffer solution pH4 (ASTM D6173-97) was  $10.479 \pm 0.064$  % w/w. The significance test for comparing the means of samples of two methods by F-test, the two-phase titration compared to the Application Bulletin No. 268/1e and Application Bulletin No. 268/1e compared to the ASTM D6173-97, there is no significant difference between the two variances at the 5%. The two-phase titration compared to the ASTM D6173-97, there is no significant difference between the two variances at the 5%.

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาและเรียบเรียงปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ และอาจารย์ทุก ๆ ท่านในภาควิชาเคมี ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของโครงการนี้ ตลอดจนให้ความรู้และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงการนี้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ของอาจารย์ทุกท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเคมีที่กรุณาให้ความสะดวกในการทำปัญหาพิเศษนี้ สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณครอบครัวของพวกเรา ที่คอยห่วงใยและให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา



อรวรรณีย์ เตชะวัฒนกันท์  
อัจฉรา อ่อนปาน

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ</b>	4
2.1 ความรู้เกี่ยวกับเส้นผม	4
2.2 แชมพู	10
2.3 คุณลักษณะของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการทดลอง	30
2.4 เทคนิคการไทเทรตสองเฟส (Two-phase titration technique)	31
2.5 เทคนิคโพเทนชิอเมตริกไทเทรชัน (Potentiometric titration technique)	34
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย</b>	39
3.1 สารเคมี	39
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	39
3.3 การดำเนินการทดลอง	40
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	45
4.1 การหาปริมาณ Anionic - active matter ในสารละลายตัวอย่าง ด้วยวิธีมาตรฐานสากล ISO 2271 - 1972 ( E )	45
4.2 การทดสอบสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ	46

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	53
5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
<b>บรรณานุกรม</b>	55
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก การใช้เครื่อง Autotitrator รุ่น 716 DMS Titrino ของบริษัท Metrohm	56
ภาคผนวก ข การทดสอบสารตัวอย่าง	62
ภาคผนวก ค การคำนวณของเทคนิค การไทเทรตสองเฟส และรูปการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย	70
ภาคผนวก ง การคำนวณของวิธี Application Bulletin No.268/1e และรูปแสดงผลการทดลอง	79
ภาคผนวก จ การคำนวณของวิธี ASTM D6173 – 97	93
ภาคผนวก ฉ การทดสอบความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่มีคราหที่ ได้จากเทคนิคทั้ง 3 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%	107

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 วงจรการเจริญเติบโตในระยะต่างๆ ของเส้นขนบริเวณต่างๆ ในร่างกาย	8
2.2 สารกลุ่ม Alkyl sulfate ซึ่งใช้ในแชมพูและคุณสมบัติที่สำคัญ	13
2.3 สารกลุ่ม Alkyl ether sulfate ซึ่งใช้ในแชมพูและคุณสมบัติที่สำคัญ	15
2.4 สูตรหลักของแชมพูสำหรับผมแห้ง ผมธรรมดาและผมมัน	16
2.5 สูตรแชมพูซึ่งใช้สารชำระล้างหลักเป็นประจุลบ และใช้สารช่วยลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ในการปรับคุณภาพของแชมพูให้สามารถสระผมได้บ่อยขึ้น	23
2.6 แสดงถึงความเข้มข้นสูงสุดที่ใช้ได้ของสารลดแรงตึงผิวซึ่งไม่ทำให้นัยนัตระคายเคือง	29
4.1 ผลการไทเทรต Sodium lauryl sulfate กับสารละลายมาตรฐาน NaOH 0.92 M	45
4.2 ผลการเทียบมาตรฐานสารละลายกับสาร Benzethonium chloride กับสารละลายมาตรฐาน Sodium lauryl sulfate	46
4.3 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลาย ตัวอย่างครั้งที่ 1 ที่วิเคราะห์ได้โดยวิธีการไทเทรตแบบสองเฟส	47
4.4 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลาย ตัวอย่างครั้งที่ 2 วิเคราะห์ได้โดยวิธีการไทเทรตแบบสองเฟส	47
4.5 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลาย ตัวอย่างครั้งที่ 3 วิเคราะห์ได้โดยวิธีการไทเทรตแบบสองเฟส	48
4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ โดยวิธีการไทเทรตแบบสองเฟส	48
4.7 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่าง ครั้งที่ 1 ที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e	49
4.8 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างครั้งที่ 2 โดยวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e	49
4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างครั้งที่ 3 โดยวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e	50

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบใน สารละลายตัวอย่างโดยวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e	50
4.11 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบใน สารละลายตัวอย่างครั้งที่ 1 โดยวิธี ASTM D 6173 – 97	51
4.12 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบใน สารละลายตัวอย่างครั้งที่ 2 โดยวิธี ASTM D 6173 – 97	51
4.13 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบใน สารละลายตัวอย่างครั้งที่ 3 โดยวิธี ASTM D 6173 – 97	51
4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบใน สารละลายตัวอย่าง โดยวิธี ASTM D 6173 – 97	52
4.15 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิว โดยการ Hydrolysis	52
5.1 แสดงผลการเปรียบเทียบ การหาปริมาณ Sodium lauryl ether sulfate ของวิธีการวิเคราะห์ วิธีต่างๆ	53

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงส่วนประกอบของเส้นผม ( ภาพตัดขวางและยาว )	5
2.2 แสดงส่วนประกอบของรากผมที่ฝังตัวอยู่ใต้หนังศีรษะ	6
2.3 แสดงวงจรการเจริญเติบโตของเส้นผมในระยะต่างๆ	7
2.4 ผลของความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ต่อความหนืดของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งมีปริมาณของ Free fatty alcohol หรือ ether ที่ต่างกัน	26
2.5 แสดงรูป Ionic sense surfactant electrode	36
ค.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย เมื่อสารละลายถูกเติมอยู่ในขวดเดียวกัน	75
ค.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย เมื่อสารละลายถูกเขย่าวมกันเป็นเนื้อเดียวกัน	75
ค.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย เมื่อสารละลายทิ้งไว้สักพักจะเห็นเป็นชั้นสีชมพู ซึ่งเป็นชั้นของคลอโรฟอร์ม	76
ค.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย เมื่อสารละลายถูกไทเทรตกับ Benzethonium chloride จะเห็นการแยกชั้นของชั้นคลอโรฟอร์มชัดเจนขึ้น	76
ค.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย เมื่อใกล้ถึงจุดยุติ ชั้นสีชมพูจะหายไป	77
ค.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย เมื่อถึงจุดยุติ สีของชั้นคลอโรฟอร์ม จะเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีน้ำเงินคราม	77
ค.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย เมื่อเลยจุดยุติไป	78
จ.1 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 1 ทำครั้งที่ 1	82
จ.2 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 1 ทำครั้งที่ 2	83
จ.3 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 1 ทำครั้งที่ 3	84
จ.4 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 2 ทำครั้งที่ 1	85
จ.5 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 2 ทำครั้งที่ 2	86

## สารบัญรูป ( ต่อ )

รูปที่	หน้า
จ.6 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 2 ทำครั้งที่ 3	87
จ.7 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 3 ทำครั้งที่ 1	88
จ.8 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 3 ทำครั้งที่ 2	89
จ.9 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 3 ทำครั้งที่ 3	90
จ.10 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของ Blank	91
จ.11 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของทำ Hydrolysis โดยวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e	92
ฉ.1 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173 - 97 ของตัวอย่างครั้งที่ 1 ทำครั้งที่ 1	96
ฉ.2 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173 - 97 ของตัวอย่างครั้งที่ 1 ทำครั้งที่ 2	97
ฉ.3 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173 - 97 ของตัวอย่างครั้งที่ 1 ทำครั้งที่ 3	98
ฉ.4 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173 - 97 ของตัวอย่างครั้งที่ 2 ทำครั้งที่ 1	99
ฉ.5 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173 - 97 ของตัวอย่างครั้งที่ 2 ทำครั้งที่ 2	100
ฉ.6 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173 - 97 ของตัวอย่างครั้งที่ 2 ทำครั้งที่ 3	101
ฉ.7 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173 - 97 ของตัวอย่างครั้งที่ 3 ทำครั้งที่ 1	102

## สารบัญรูป ( ต่อ )

รูปที่	หน้า
ฉ.8 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173 – 97 ของตัวอย่างครั้งที่ 3 ทำครั้งที่ 2	103
ฉ.9 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173 – 97 ของตัวอย่างครั้งที่ 3 ทำครั้งที่ 3	104
ฉ.10 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173 – 97 ของ Blank	105
ฉ.11 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของทำ Hydrolysis โดยวิธี ASTM D 6173 – 97	106



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

จุดเริ่มแรกของการไทเทรตในระบบสองเฟสนี้ เริ่มมาจากการทดลองของ Epton ที่ใช้ methylene blue เป็นอินดิเคเตอร์ ซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ที่มีประจุบวก แต่ก็เกิดปัญหาขึ้นเนื่องจากช่วงระหว่างที่ถึงจุดยุตินั้น เกลือที่อยู่ในรูปของประจุลบในชั้นคลอโรฟอร์ม จะกลับขึ้นไปละลายอยู่ในชั้นของสารละลายทำให้อัตราส่วนระหว่างชั้นสารละลายกับคลอโรฟอร์มเป็น 3:1 ณ จุดยุติซึ่งมีผลกับความเข้มข้นของชั้นคลอโรฟอร์ม ต่อมา Lew ได้ใช้ Bromocresol green ในสารละลายเบสเป็นอินดิเคเตอร์ ซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ประจุลบ ทำให้เมื่อการไทเทรตแล้วผลที่ได้จากการคำนวณคลาดเคลื่อนไป อีกทั้งยังเห็นจุดยุติไม่ชัดเจนอีกด้วย และต่อมาได้มีผู้ที่ทดลองอีกหลาย ๆ คน ที่เสนอแนะวิธีการต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงการไทเทรตสองเฟสนี้ให้ดีขึ้น จนกระทั่งได้วิธีมาตรฐาน ISO 2271:1989, ISO 2871-1:1988, ISO 2871-2:1990 ซึ่งแต่ละวิธีก็มีวัตถุประสงค์ที่ต่างกันออกไป

ในสมัยก่อนความเจริญทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียังไม่ก้าวหน้า มนุษย์อาศัยสารที่ได้จากธรรมชาติในการทำความสะอาดเส้นผม เช่น ชาวอินเดียใช้เปลือกและรากของต้น Quillaja saponaria แขน้ำสำหรับสระผม ชาวจีนใช้กากเมล็ดขมิ้น (แต่โคง) นอกจากนี้มีการใช้มะกรูด บวบ ส้มป่อย เป็นต้น ส่วนการนวดผมภายหลังสระผมใช้ Rosemary การเชทผมใช้เมล็ดป่าน (Flax seed) การกำจัดรังแคใช้ตำแยฝรั่ง เปลือกต้นหวี เป็นต้น ต่อมาวิวัฒนาการจึงมาเป็นสบู่ แต่เนื่องจากสบู่มีสภาพที่ขุ่นมีความเป็นด่างสูง ทำให้ผมหยาบ ไม่มีเงา หนังศีรษะแห้ง เกิดสะเก็ดรังแคและยังทำให้เกิดตะกอนของโลหะหนักในน้ำกระด้างเกาะติดเส้นผมด้วย จึงมีการเปลี่ยนมาใช้แชมพูซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ประเภทสารชำระล้าง (Detergent) มีความสามารถในการทำความสะอาดเส้นผมและหนังศีรษะได้ดีและมีฟองมากไม่ทำให้ผมหยาบเช่นเดียวกับสบู่ ปัจจุบันการสังเคราะห์อนุพันธ์ต่าง ๆ ของสารชำระล้างเพื่อใช้สระผมเพื่อปรับปรุงคุณภาพต่อเส้นผมให้ดีขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งสารเหล่านี้มีข้อดีและข้อเสียต่างกัน เหมาะกับสภาพเส้นผมต่างกัน มีราคาต่างกันและให้คุณสมบัติในการเกิดฟองได้ต่างกันด้วย ดังจะเห็นได้ในท้องตลาดมากมาย ตลาดแชมพูเพิ่มขึ้นในอัตราสูงถึงร้อยละ 9 ต่อปี ในสหรัฐอเมริกามีการสำรวจตลาดแชมพู พบว่ายอดจำหน่ายสูงถึงร้อยละ 43 ของผลิตภัณฑ์รักษาผมทั้งหมด เนื่องจากการที่มนุษย์มีมาตรฐานการเป็นอยู่ที่ดีขึ้น สนใจการแต่งตัวและรักษาความ

สภาวะของร่างกาย สำหรับประเทศไทยผลิตภัณฑ์แชมพูมีการแข่งขันกันมาก มีแชมพูจำหน่ายในท้องตลาดมากกว่า 200 ชนิด จาก 75 บริษัท

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเทคนิค การวิเคราะห์ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ โดยวิธีการไทเทรตสองเฟส
2. เพื่อศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ โดยวิธีโพเทนชิอเมตริกไทเทรชัน
3. นำเทคนิคทั้ง 2 วิธีข้างต้นมาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์แชมพู

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการศึกษาหาปริมาณ สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบด้วยวิธีมาตรฐาน ISO 2271-1986 (E) โดยปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบที่วิเคราะห์ได้จากสารตัวอย่าง จะถูกเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน โซเดียมลอริลซัลเฟต
2. การวิเคราะห์หาปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบด้วยวิธีทางโพเทนชิอเมตริก-ไทเทรชันนั้น จะทำการศึกษาโดยอาศัยเครื่อง Autotitrator รุ่น 716 DMS Titrino ของบริษัท Metrohm
3. ศึกษาการหาปริมาณสารลดแรงตึงผิวในแชมพู โดยใช้เทคนิคการไทเทรตสองเฟสและวิธีโพเทนชิอเมตริกไทเทรชัน

## 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวกับสารลดแรงตึงผิว
2. เลือกชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่จะนำมาวิจัย
3. เลือกตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบเป็นองค์ประกอบ เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ต่อไป
4. ศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารตัวอย่างตามวิธีมาตรฐาน ISO 2271-1986 (E) เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับค่าจริง
5. ศึกษาการวิเคราะห์ตัวอย่าง ด้วยวิธีทางโพเทนชิอเมตริกไทเทรชัน
6. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการวิเคราะห์ ด้วยวิธีมาตรฐาน ISO 2271-1986 (E) กับวิธีทางโพเทนชิอเมตริกไทเทรชัน

7. ศึกษาหาปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในแชมพู
8. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำเทคนิคที่เหมาะสมมาใช้ในการหาปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบที่อยู่ในแชมพู
2. สามารถนำวิธีทางโพเทนชิอเมตริกไทเทรชัน ด้วยเครื่อง Autotitrator รุ่น 716 DMS Titrimo ของบริษัท Metrohm นี้ไปประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ได้



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 ความรู้เกี่ยวกับเส้นผม

ผม หมายถึงขนที่งอกปกคลุมหนังศีรษะของมนุษย์ ช่วยเสริมความงามแก่ใบหน้าและเสริมบุคลิกตามความหมายวิทยาศาสตร์ ผมถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ เส้นผม (Hair shaft) ซึ่งเป็นส่วนที่งอกเหนือหนังศีรษะมองเห็นได้ชัดเจน และรากผม (Hair root) ซึ่งเป็นส่วนที่ฝังอยู่ใต้หนังศีรษะ

##### 2.1.1 เส้นผม

เป็นเซลล์ส่วนที่ตายแล้วไม่มีชีวิตและความรู้สึก เป็นส่วนที่งอกเจริญยาวออกมาปกคลุมศีรษะสามารถจัดทรงและตัดแต่งได้ตามใจเจ้าของ มีลักษณะโครงสร้างภายในต่างกันไปตามชนิดต่าง ๆ ทำให้ปรากฏให้เห็นภายในได้ต่างกัน เช่น ผมเหยียดตรง ผมหยักศก ผมสีด้า ผมสีบรอนด์ ถ้านำผมมาตัดตามขวางจะแยกส่วนประกอบได้ 3 ชั้น คือ

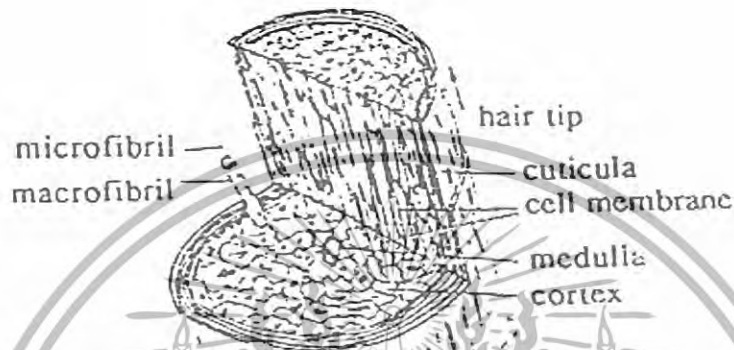
1. **ผิวนอก (Cuticle)** เป็นชั้นนอกสุดหนา 0.5-1 ไมครอน มีลักษณะบางใส ไม่มีสี มีเซลล์ผิว (Epidermal cell) เรียงซ้อนกันคล้ายกับเกล็ดปลาเรียกว่า Keratinized cell ประกอบด้วย คีราตินชนิดแข็ง (Hard keratin) ซึ่งเป็นโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ ทำให้เส้นผมมีความแข็งแรงป้องกันชั้นในเอาไว้ ชั้นนี้มีประมาณ 10 % ของเส้นผม การหวีผมไม่ถูกวิธีทำให้เซลล์ผมถูกทำลายและผมแตกปลายได้

2. **เนื้อชั้นนอก (Cortex)** เป็นชั้นที่มีความหนามากที่สุด ซึ่งประกอบด้วยเซลล์รูปกระสวยคล้ายเส้นใย เส้นผ่าศูนย์กลาง 3-6 ไมครอน ยาว 50-100 ไมครอน เรียงอัดกันแน่นตามความยาว เส้นใยเหล่านี้ประกอบด้วยสายเพปไทด์พันกันเป็นเกลียว ภายในมีเม็ดสี (Pigment) เป็นจำนวนมากซึ่งเป็นตัวกำหนดสีผมและมีช่องอากาศ (Air space) แทรกอยู่ ทำให้ผมมีความนุ่มยืดหยุ่น

3. **เนื้อชั้นใน (Medulla)** เป็นชั้นในสุดของผม ประกอบด้วยเซลล์ลูกเต๋าเรียงกัน 3-4 ชั้นภายในเซลล์มีคีราโตไฮยาลิน (Keratohyalin) ไขมันและช่องว่าง ซึ่งมีอากาศแทรกอยู่ เส้นผมของคนทั่วไปซึ่งเป็นเส้นผมที่แข็งนั้น เกิดจากชั้น ในมีเซลล์ที่มีนิวเคลียสเรียงกันแน่นและค่อย ๆ ร่นมาทางปลายผมซึ่งมีจำนวนเซลล์ลดลง แต่เส้นผมของทารกที่เรียกว่า ผมไฟ (Lanugo) นั้นไม่มีชั้นของเนื้อชั้นในนี้ จึงมีลักษณะอ่อนนุ่มและบางละเอียด

การที่ผมของคนเราต่างเชื้อชาติจะมีลักษณะต่างกัน เช่น เมื่อนำเส้นผมมาตัดขวางและส่องกล้องจุลทรรศน์พบว่า มีลักษณะต่างกัน 3 แบบคือ เส้นผมเหยียดตรงภาพตัดขวางจะเป็นวงกลม ซึ่ง

มักพบในชาวเอเชียและยุโรป โดยที่ผมนคนเอเชียมีเส้นใหญ่กว่า ผมหยักศกภาพตัดขวางจะเป็นวงรี และผมที่หยักศกมาก เช่น ชาวนิโกร ภาพตัดขวางจะมีลักษณะค่อนข้างแบนและมีลักษณะพิเศษทำให้ผมขดกันเป็นขดได้



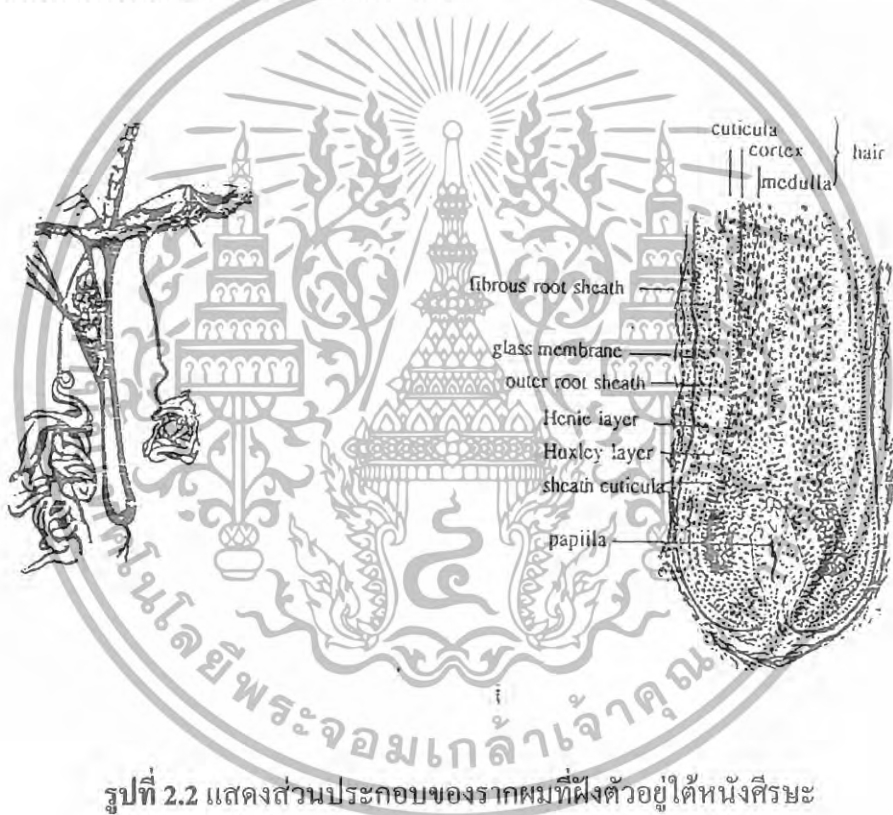
รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของเส้นผม (ภาพตัดขวางและยาว)

2.1.2 รากผม (Hair root)

เป็นส่วนที่ฝังตัวอยู่ในเนื้อเยื่อของหนังศีรษะ ซึ่งมีรูปร่างเหมือนหลอดปากแฉกเรียกว่า ต่อมรากผม (Hair follicle) ตอนล่างสุดของรากผมมีลักษณะ โป่งออกเป็นกระเปาะเปิดเป็น โพรงเว้า เข้าด้านในรูปร่างคล้ายคีม เรียกว่า Hair bulb รากผมตั้งอยู่บนฐานซึ่งเป็นเนื้อยึดต่อ (Connective tissue) ลักษณะคล้ายนิ้วมือยื่นเข้าไปในโพรงของ Hair bulb เรียกว่า ปุ่มปลายแหลม (Papilla) ดังนั้น ต่อมรากผมแต่ละต่อมจะมีปุ่มปลายแหลม 1 อันเสมอ ปุ่มนี้มีความสำคัญมากต่อการเจริญเติบโตของเส้นผม เพราะเป็นส่วนที่มีโลหิตและเส้นประสาทมาเลี้ยงทำให้เซลล์รากผมมีการเจริญแบ่งตัวเกิดเซลล์ใหม่ของเส้นผมขึ้นเรื่อย ๆ คนที่หัวล้านมีสาเหตุมาจากเซลล์ของปุ่มปลายแหลมนี้ตายหรือฝ่อไป ผมจะขาดอาหารและหลุดร่วงไปไม่มีการงอกใหม่ นอกจากนี้ชั้นหนังไกล้ เส้นผมจะมีกล้ามเนื้อขนาดเล็ก ๆ เรียกว่า กล้ามเนื้อขนลุก (Arrectores pilorum) ยึดครอบรากผมอยู่

เมื่อเกิดอาการตกใจ จุกจิก หนาวสั่นหรือโกรธ กล้ามเนื้อนี้จะหดตัวทำให้ผมหรือขนตั้งชันขึ้น ภายในต่อมรากผมจะมีเซลล์แม่ (Parent cells) ทำหน้าที่สร้างเส้นขนใหม่เมื่อถึงเวลาอันควร ทำนองเดียวกับการผลัดเปลี่ยนเซลล์ผิวหนัง (Keratinization) ทำให้เส้นผมงอกยาวขึ้นเรื่อย ๆ โดยมีวงจรการเจริญเติบโตเป็น 3 ระยะ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดต่อไป

คนปกติที่เป็นผู้ใหญ่จะมีต่อมรากผมประมาณ 5 ล้านต่อมและมีปริมาณลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น สำหรับวัยรุ่นจะมีเส้นผมประมาณ 615 เส้นต่อตารางเซนติเมตร และลดลงเหลือ 435 เส้นเมื่ออายุ 80 ปี แต่คนหัวล้านจะมีเส้นผมหรือต่อมรากผมไม่เกิน 306 เส้นต่อตารางเซนติเมตร ถ้าหัวล้านมากจำนวนต่อมรากผมจะยิ่งลดน้อยลง



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของรากผมที่ฝังตัวอยู่ใต้หนังศีรษะ

### 2.1.3 วงจรการเติบโตของเส้นผม (Growth phase of the hair)

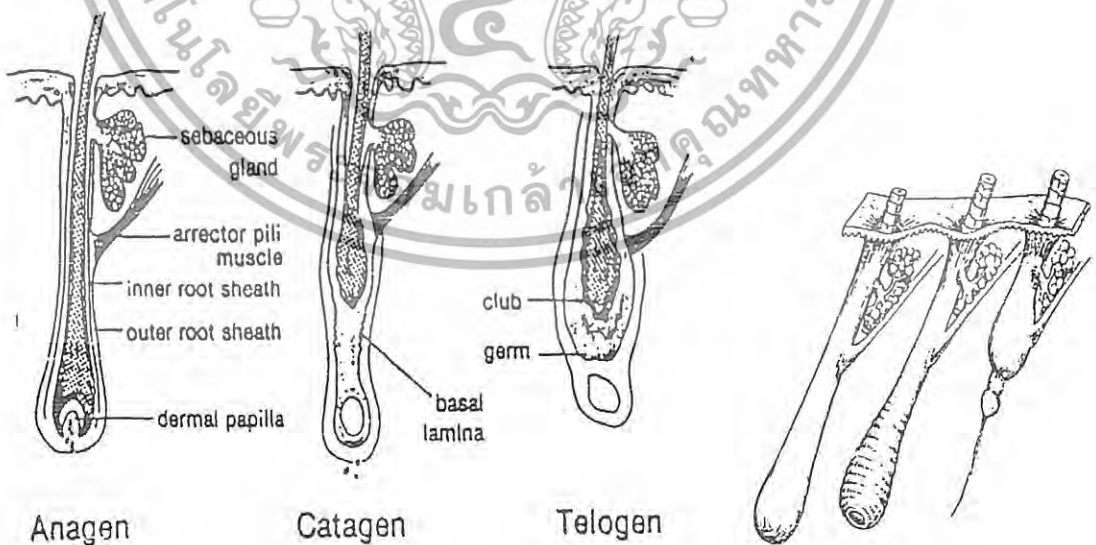
เส้นผมแต่ละเส้นถูกสร้างขึ้นมาจากต่อมรากผมแต่ละต่อมใต้ผิวหนังจะเจริญงอกยาวทางทะลุหนังศีรษะขึ้นมา โดยมีระยะการเจริญเติบโตแบ่งได้ 3 ระยะ คือ

1. ระยะเจริญ (Anagen) เป็นระยะที่เส้นผมมีการงอกเต็มที่และมีโครงสร้างที่สมบูรณ์แบบ เป็นช่วงที่กำหนดความยาวของเส้นผมเพราะเส้นผมประมาณ 85-90 % จะอยู่ในระยะนี้และใช้เวลานาน 2-6 ปี

2. **ระยะหยุด (Catagen)** เป็นระยะที่เส้นผมหยุดการเจริญเติบโตเพื่อเตรียมพร้อมที่จะหลุดออกไป โดยที่รากผมจะเริ่มแยกตัวออกจากปุ่มปลายแหลมแต่ยังมีชีวิตและได้รับอาหารอยู่ เส้นผมระยะนี้มีช่วงอายุสั้นคือประมาณ 2 สัปดาห์ และพบประมาณ 1 % ของเส้นผมทั้งหมด

3. **ระยะพัก (Telogen)** เป็นช่วงที่เส้นผมแก่เต็มที่และพร้อมที่จะร่วงได้โดยง่าย รากผมแยกตัวหลุดจากปุ่มปลายแหลมอย่างเด็ดขาดแต่ยังฝังตัวอยู่ในต่อมรากผมและค่อย ๆ เคลื่อนที่ขึ้นมาบนผิว ขณะเดียวกับปุ่มปลายแหลมก็จะสร้างผมเส้นใหม่ขึ้นมาแทนที่ (ดูรูปที่ 3) ดังนั้นเมื่อเส้นผมแก่ร่วงหลุดไปไม่นานก็จะจะมีผมใหม่งอก โผล่ออกมาแทนที่ เส้นผมในระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 3-4 เดือนจะหลุดร่วงเองและพบประมาณ 9-14 % ของเส้นผมทั้งหมด หากมีการหวีผมหรือแปรงผมอย่างแรงหรือดึงจะสามารถหลุดร่วงได้โดยง่าย คนปกติเส้นผมจะร่วงประมาณวันละ 40-90 เส้น

ผมของคนเราจึงยาวได้เรื่อย ๆ แม้ถูกตัดออกก็จะยาวได้อีก (ประมาณ 2-6 ปี) และไม่มีสภาพการผลัดผม (ซึ่งทำให้เกิดศีรษะล้านชั่วคราว) เพราะผมแต่ละเส้นจะงอกและเจริญไม่พร้อมกันทั้งศีรษะ มีการศึกษาพบว่าผมของหญิงสาวยาวได้ 0.21 มิลลิเมตร ขณะที่ผมของชายหนุ่มยาวได้ 0.38 มิลลิเมตร ภายใน 24 ชั่วโมง และพบว่าการตัดผมที่อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศจะไม่มีผลต่ออัตราการงอกของเส้นผม แต่ถ้ามีสารละลายเคื่องกระตุ้นนาน ๆ จะมีผลต่อต่อมรากผมทำให้ผมร่วงก่อนเวลาอันควร ได้



รูปที่ 2.3 แสดงวงจรการเจริญเติบโตของเส้นผมในระยะต่าง ๆ

เส้นขนบริเวณอื่นของร่างกาย เช่น ขนคิ้ว หนวดเคราหรือบริเวณแขนจะมีระยะเวลาเติบโตเพียง 2 ระยะ คือ Anagen และ Telogen ซึ่งมีช่วงเวลาดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 วงจรการเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ ของเส้นขนบริเวณต่าง ๆ ในร่างกาย

บริเวณ	ระยะการเจริญเติบโต	ช่วงเวลา	หมายเหตุ
เส้นผมบน หนังศีรษะ	Anagen	2-6 ปี	พบ 85-90 %
	Catagen	2 สัปดาห์	1 %
	Telogen	3-4 เดือน	9-14 %
ขนคิ้ว	Anagen	4-8 สัปดาห์	
	Telogen	3 เดือน	
ขนบริเวณแขน	Anagen	10 สัปดาห์	
	Telogen	7 สัปดาห์	
หนวดเครา	Anagen	10 เดือน	
	Telogen	2 เดือน	

#### 2.1.4 สภาพทางเคมีของเส้นผม

เส้นผมส่วนใหญ่ประกอบด้วยคีราตินชนิดแข็งซึ่งเป็น Copolymer ของกรดอะมิโนประมาณ 25 ชนิด และพบประมาณ 20 % เป็นกรดอะมิโนที่มี Sulfur ในโมเลกุล เช่น Cystine ซึ่งมี Disulfide linkage อยู่ เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นกรดอะมิโนจึงทำให้เส้นผมมีประจุลบ นอกจากนี้ยังพบแร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งมีปริมาณพอ ๆ กันโดยไม่ขึ้นกับอายุ เชื้อชาติและเพศ

คีราตินในเส้นผมทนต่อกรด-ด่างที่เจือจางไม่ละลายน้ำหรือสารถละลายอินทรีย์ ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ เช่น Pepsin หรือ Trypsin คีราตินของเส้นผมประกอบด้วยพันธะ 3 ชนิด คือ

1. พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) ซึ่งต่อเชื่อมระหว่าง N-H และ C=O ของกรดอะมิโน เป็นพันธะอ่อน ๆ ซึ่งให้ความแข็งแรงแก่เส้นผม การทำลายพันธะนี้จะทำให้เส้นผมอ่อนตัวลง เช่น น้ำสามารถแทรกตัวอยู่ในพันธะนี้ทำให้เส้นผมพองตัวและอ่อนตัวลงได้

2. พันธะไอออนิก (Ionic linkages) เป็นพันธะระหว่าง Acidic และ Basic group ของ Amino side chain ทำนองเดียวกับ Hydrogen bond

3. พันธะไดซัลไฟด์ (Disulfide linkages) เป็นพันธะเชื่อมระหว่างปลายโมเลกุลของ Cystine 2 โมเลกุล เป็นพันธะที่แข็งแรงมาก แต่สามารถถูกทำลายลงได้ในสภาวะต่างแก่ที่มีสารรีดิวซ์อยู่ด้วย พันธะนี้มีความสำคัญในกระบวนการข้อมผมและตัดผม

การเกิด Crosslink ทำให้คีราตินรวมตัวอยู่ด้วยกันจนเป็น โครงสร้างที่แข็งแรงบนเส้นผม ดังนั้น สภาวะใดก็ตามที่รบกวนพันธะต่าง ๆ จึงมีผลต่อความแข็งแรงของเส้นผม สภาวะของโรคบางโรค เช่น การขาดโปรตีนหรือการขาดแร่ธาตุมีผลต่อสภาพและความแข็งแรงของเส้นผมการใช้ น้ำยาข้อมผมตัดผมแรง ๆ มีผลในการทำลายพันธะนี้ได้ จึงทำให้ผมเสียได้ง่าย

สภาพพีเอชของเส้นผมยังไม่มีผู้รายงาน แต่พบว่าพีเอชของหนังศีรษะอยู่ระหว่าง 4.5–5.5 ซึ่งเป็นกรดอ่อน ๆ จากกรดแลคติกและกรดไขมันที่ระเหยได้

### 2.1.5 สิ่งที่มีอิทธิพลต่อเส้นผม

ปัจจัยที่ทำให้สภาพผมหรือการเจริญเติบโตของเส้นผมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ได้แก่

1. ฮอร์โมน จากรายงานพบว่า ฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์กระตุ้นให้ผมงอกเร็ว ในขณะที่ สเตียรอยด์ฮอร์โมนระงับการงอกของผม

2. อาหาร พบว่าวิตามินบีรวมซึ่งมีมากในยีสต์และ โยเกิร์ต จำเป็นต่อการเจริญตามปกติของเส้นผมและกระบวนการ Keratinization ส่วนวิตามินเอยังั้งการเจริญของเซลล์ผิวทำให้ผมงอกช้า การได้รับวิตามินเอมากเกินไปก็จะเป็นสาเหตุของผมร่วงได้ นอกจากนี้การขาดอาหารโปรตีนทำให้ผมเปราะบางและร่วง เส้นผมไม่มีสี เป็นต้น

3. สภาพแวดล้อม มีรายงานพบว่า สภาพการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิประจำวันไม่มีผลต่ออัตราการงอกของเส้นผม แต่มีผลต่อสภาพเส้นผม เช่น การถูกความร้อนมาก การตากแดดจะทำให้ผมแห้งกรอบและเปราะ เช่นเดียวกับการเข้าอบและการตัดผม ในฤดูหนาวความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำผมจะแห้ง เพราะปล่อยน้ำออกมาทำให้เกิดประจุไฟฟ้า ผมฟูพอง หวีจัดทรงได้ยาก ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมและดีที่สุดสำหรับผมคือ 40–60 %

4. สภาวะของโรค โดยเฉพาะ โรคขาดโปรตีนที่เรียกว่า Kwashiorkor ทำให้ผมเปราะบางและไม่มีสี หรือโรคที่เกิดจากพิษของโลหะหนักบางชนิดหรือการเป็นรังแคเนื่องจากการติดเชื้อมีโอกาสมากทำให้ผมร่วงได้

5. สารเคมี สารเคมีบางชนิด โดยเฉพาะพวกสารลดแรงตึงผิว อาจระคายเคืองต่อหนังศีรษะ และส่งผลทำให้ผมร่วงได้เช่นกันหรือทำให้ผมหยาบกระด้างเพราะสารชำระล้างอย่างแรงจะขจัดไขมันตามธรรมชาติของเส้นผมทำให้ผมแห้ง

### 2.1.6 สภาพของเส้นผม

ทางเครื่องสำอางแบ่งเส้นผมตามสภาพเป็น 3 แบบ คือ

1. **ผมแห้ง (Dry hair)** เส้นผมมีลักษณะกรอบ หยิบกระด้างแห้งคล้ายฟางข้าว ไม่มันวาว ขาดง่ายและเปราะเนื่องจากเส้นผมขาดน้ำมัน และความชุ่มชื้นหรืออาจเกิดจากสภาพที่ชั้นนอกผิว (Cuticle) ถูกทำลายไปจากความเป็นด่างมากเกินไปของแชมพูสระผมหรือเกิดจากการเป่าผมบ่อย ๆ

2. **ผมมัน (Oily hair)** เส้นผมมีลักษณะมันเยิ้ม มองดูคล้ายสกปรก ไม่มีชีวิตชีวา ปวกเปียก ไม่ยืดหยุ่น เกิดจากต่อมไขมันขับน้ำมันมากเกินไป และเป็นสาเหตุหนึ่งของรังแค

3. **ผมธรรมดา (Normal hair)** เป็นเส้นผมที่มีสุขภาพดีแลดูมีน้ำหนัก อ่อนสลวยเงางาม เป็นปรกติ มีสปริง หวีเข้ารูปทรงง่าย ไม่ยุ่งเหยิงหรือฟูฟอง

### 2.1.7 ความชื้นของเส้นผม

ความชื้นของเส้นผมมีความสำคัญต่อสภาพเส้นผมมาก ปกติผมมีความชื้นร้อยละ 5-10 ถ้ามากกว่านี้จะทำให้ผมเปื่อยคลู่ นิ่ม เสียความยืดหยุ่น ไม่อยู่ในรูปทรงที่ต้องการ สังเกตได้จากผมเปื่อยหลังการสระผม ถ้าน้อยกว่านี้จะทำให้ผมกรอบแห้ง เปราะ คุณไม่มีชีวิตชีวา เกิดประจุไฟฟ้าสถิตย์ ทำให้หวีเข้าทรงได้ยาก สภาพภูมิอากาศมีผลต่อความชื้นของเส้นผม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่พอเหมาะและดีที่สุดสำหรับผม คือ ร้อยละ 40-60 ในฤดูหนาวความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (10-20 % RH) ผมจะแห้งและหิวยากเพราะสูญเสียน้ำมันมากเกินไป แต่ถ้าอากาศชื้น (90-100 % RH) เช่น ในฤดูฝนผมจะดูดซับน้ำเอาไว้ ซึ่งโดยปกติเส้นผมจะมีไขมันหนึ่ง กรดอะมิโนและโปรตีนเป็นสารป้องกัน (Protectant) การสูญเสียน้ำมันมากเกินไป แชมพูสระผมบางชนิดมีอำนาจชำระล้างสูงเกินไปจะทำลายสารป้องกันเหล่านี้ทำให้ผมแห้ง บางครั้งการตัดผม ย้อมผม เป่าผมบ่อย ๆ ด้วยไอร้อนจะขจัดสารป้องกันเหล่านี้เช่นกัน ดังนั้นแชมพูที่ดีควรจะมีการเติมสารทดแทนสารป้องกันที่ถูกทำลายไปเพื่อรักษาความชื้นของเส้นผมให้พอเหมาะในการแต่งรูปทรงได้ง่าย

## 2.2 แชมพู

แชมพู หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นในรูปของเหลว ของแข็งหรือลักษณะผงซึ่งเมื่อใช้ตามที่ระบุบนฉลาก สามารถชำระล้างคราบไขมัน ลู่นละออง เหนือโคลและสิ่งสกปรกออกจากเส้นผม และหนังศีรษะได้ โดยไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้

หน้าที่หรือคุณสมบัติของแชมพูที่ดี มีดังนี้

1. สามารถทำความสะอาดเส้นผมและหนังศีรษะได้อย่างหมดจด
2. เมื่อใช้สระผมไม่ทำให้เส้นผมเหนียวหวิyak เส้นผมหลังสระจะต้องลื่น อ่อนนุ่ม เป็นประกายแวววาวและยืดหยุ่นตัวได้ดี
3. ไม่ทำลายไขมันตามธรรมชาติของเส้นผม ไม่ทำให้ผมแห้งกรอบหรือหนังศีรษะแห้งจนเกินไป
4. เกิดปริมาณฟองมากและสม่ำเสมอ ฟองคงทนบนผมแม้ขณะที่มีน้ำมันหรือสกปรกมาก
5. ล้างออกได้ง่ายโดยน้ำธรรมดาและน้ำกระด้าง
6. ไม่ทำให้เกิดการแพ้หรือระคายเคืองหรือผิวหนังอักเสบหรือผมร่วง
7. ไม่ทำให้เสปตาหรือเป็นอันตรายต่อเยื่อตา
8. มีกลิ่นหอมไม่ก่อความระคายเคือง
9. มีความคงตัวดี (Stability) สี กลิ่นและความหนืดไม่เปลี่ยนแปลงแม้เมื่อถูกแสงแดดหรืออุณหภูมิสูง

### 2.2.1 การตั้งสูตรแชมพู

จากคุณสมบัติที่คั้งของแชมพูที่ต้องการข้างต้น จะเป็นแนวทางในการตั้งสูตรแชมพูเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ทัวให้ “เส้นผมสะอาด เป็นเงางาม หวิง่าย ไม่แห้งหยาบ ไม่เหนียวเกาะกัน และไม่เสปตา” ดังนั้นสูตรแชมพูควรประกอบด้วยสารที่ทำหน้าที่หลักอย่างน้อย 3 ประการ คือ

1. สารลดแรงตึงผิวที่ใช้เป็นหลัก (Principle or primary surfactants) ได้แก่ สารชำระล้าง (Detergents) ซึ่งทำหน้าที่ทำความสะอาดเส้นผมและหนังศีรษะ สารชำระล้างอาจเป็นชนิดประจุบวก ชนิดประจุลบ ชนิด ไม่มีประจุและชนิดแอมโฟเทอริกก็ได้ ซึ่งสารชำระล้างแต่ละตัวและแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเหมาะสมในการชำระล้างเส้นผมได้ดีมากน้อยต่างกัน ไป พบว่าไม่มีสารใดที่มีคุณสมบัติสมบูรณ์แบบตามคุณสมบัติแชมพูที่ดีข้างต้นดังนั้นในสูตรแชมพูจึงประกอบด้วยสารลดแรงตึงผิวหลายตัว นิยมใช้สารชำระล้างประจุลบเป็นสารหลักเพราะมีอำนาจการชำระล้างดี เกิดฟองมากและราคาถูก แต่มีข้อเสียบางประการ เช่น ทำให้เส้นผมมีสภาพประจุลบ หวิเข้าทรงได้ยาก บางตัวอาจทำให้ระคายเคืองเป็นต้น จึงมีการใช้สารเพื่อลดแรงตึงผิวเพื่อเป็นสารเสริมคุณสมบัติที่ขาดไปซึ่งจะกล่าวรายละเอียดต่อไป

2. สารลดแรงตึงผิวที่เสริม (Auxillary or secondary surfactants) ได้แก่ สารที่ช่วยเสริมคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวหลักที่ขาดไปบางประการ เช่น ช่วยเพิ่มฟอง ช่วยเพิ่มอำนาจการชำระล้างหรือช่วยปรับสภาพเส้นผมมิให้แห้งหยาบเป็นต้น สารกลุ่มนี้เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ไม่นิยมใช้เดี่ยว ๆ ในสูตรแชมพูเพราะมีคุณสมบัติไม่เต็มที่ตามต้องการ เช่น อำนาจการชำระ

ล้างไม่เพียงพอหรือมีอำนาจชำระล้างดีแต่เกิดฟองน้อยหรือทำให้เกิดความระคายเคือง เป็นต้น จะได้กล่าวรายละเอียดต่อไป

**3. สารเติมแต่งผลิตภัณฑ์แชมพู (shampoo additives)** เป็นสารที่ช่วยเสริมผลิตภัณฑ์แชมพูมีคุณสมบัติตามรูปแบบฟอร์มที่ต้องการหรือช่วยเสริมความคงสภาพ ความสวยงามน่าใช้ของผลิตภัณฑ์ซึ่ง ได้แก่ สารแต่งสี สารแต่งกลิ่น สารทำให้ใส สารช่วยทำให้แชมพูขึ้น (เพิ่มความหนืด) สารช่วยทำให้ทึบแสง สารปรับสภาพเส้นผมโดยการเคลือบมัน สารขจัดรังแค และสารกันเสีย เป็นต้น

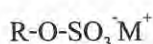
### 2.2.2 สารลดแรงตึงผิวที่ใช้เป็นหลัก

การเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวหลักในแชมพูควรคำนึงถึงอำนาจการชำระล้าง คุณภาพของฟอง ความระคายเคือง ผลต่อเส้นผม การเข้ากัน ได้กับสารอื่นในสูตร สี กลิ่น ความหนืด ความบริสุทธิ์ ตลอดจนไม่ก่อมลภาวะ (สามารถสลายได้ทางชีวภาพ) และคำนึงถึงราคาเป็นอันดับสุดท้าย

**1. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (Anionic surfactants)** สารชนิดนี้มีคุณสมบัติดีกว่าสารชนิดอื่น คือ ทำความสะอาดได้ดี เกิดฟองเร็วและปริมาณมาก ราคาถูก จึงนิยมใช้เป็นสารหลักในแชมพู ที่นิยมใช้แบ่งกลุ่มเป็นดังนี้

**1.1 Fatty acid soap** สบู่เป็นเกลือของกรดไขมันกับด่าง เช่น Sodium, Potassium และ Alkanolamine สบู่ก่อนนิยมมาก แต่ปัจจุบันมีสารสังเคราะห์ที่มีคุณภาพดีเข้ามาแทนที่ เช่น Sulfated fatty alcohol ความนิยมจึงลดลงเพราะสบู่มีความเป็นด่างสูงและมักจะขุ่นเวลาใช้สระผมทำให้ผมเหนียวกระด้าง หัวยาก เกิดรังแคง่าย เพราะ มีตะกอนของเกลือโลหะในน้ำกระด้างมาเกาะเส้นผมต้องแก้ไขโดยเติมสารคีเลตติ้งเอเจนต์ (Sequestering agent) และสารคีเลต (Chelating agent) ลงไป เช่น Polyphosphates และ EDTA สารเหล่านี้รวมตัวกับเกลือโลหะที่เกาะเส้นผมและกลับละลายไป ข้อย่อยยากนี้จึงทำให้ไม่นิยมใช้สบู่ในการเตรียมแชมพู นิยมใช้สบู่ในการอาบน้ำมากกว่า

**1.2 Alkyl sulfate (Fatty alcohol sulfate)** สารกลุ่มนี้ถูกสังเคราะห์ขึ้นใช้แทนพวกสบู่ในการเตรียมแชมพู ในปี ค.ศ. 1933 มีสูตรหลัก คือ



M = Sodium, Potassium, Ammonium, Magnesium หรือ Alkanolamine

R = แขนงที่ไม่ละลายน้ำของ Fatty alcohol มี C 12-18 อะตอม

เกิดจากการรีดิวซ์ (Reduce) กรดไขมันเป็นแอลกอฮอล์ แล้วเติมกลุ่มซัลเฟต (Sulfation) ด้วยซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (Sulfur trioxide) กรดไขมันที่นิยมใช้มี C<sub>12</sub> (Lauryl), C<sub>14</sub> (Myristyl) และ C<sub>16</sub> (Palmityl) ผสมกัน เพราะทำให้เกิดฟองดีแม้ในน้ำกระด้าง ล้างน้ำออกง่ายภายหลังสระผม ผมสั้น อ่อนนุ่มหวีง่าย ไม่นิยมใช้พวกที่มี C 8-10 อะตอม เพราะไม่มีอำนาจชำระล้างและทำให้แพ้ได้ อย่างไรก็ตามสารกลุ่มนี้มีข้อเสียคือ อาจจัดไขผิวหนังออกมากเกินไปทำให้สภาพผมไม่ดีนัก และถ้าใช้ความเข้มข้นมากกว่า 5 % อาจทำอันตรายต่อม่านตาและกระจกตาได้ ควรใช้ร่วมกับสารอื่นเพื่อลดการระคายเคือง เช่น Imidazolines, Betaines หรืออนุพันธ์ Lanolin นอกจากนี้สารละลายของสารกลุ่มนี้ที่พีเอชต่ำ (พีเอชน้อยกว่า 6.5) จะเกิดไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ทำให้แชมพูเริ่มขุ่น จึงไม่เหมาะที่จะนำมาเตรียมแชมพูน้ำใส นิยมใช้เตรียมแชมพูผงแห้ง แชมพูครีมหรือเพสท์เท่านั้น ตัวอย่างสารกลุ่มนี้แสดงในตารางที่ 2.1 การใช้เกลือ Ammonium, Monoethanolamine และ Triethanolamine ทำให้การละลายน้ำเพิ่มขึ้น ตามลำดับ แต่ความหนืดลดลงตามลำดับ จึงควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการของผลิตภัณฑ์ ข้อเสียของสารกลุ่มนี้คือ มีความระคายเคืองสูง (ยกเว้น Magnesium lauryl sulfate) จึงควรใช้ร่วมกับสารกลุ่มอื่น

สารกลุ่มนี้ทุกตัวเมื่อเติมเกลืออนินทรีย์ เช่น เกลือแกง (NaCl) ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเติมมากเกินไปจะทำให้แชมพูขุ่นได้ จึงควรระวังในสูตรแชมพูใส

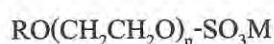
ตารางที่ 2.2 สารกลุ่ม Alkyl sulfate ซึ่งใช้ในแชมพูและคุณสมบัติที่สำคัญ

สาร	คุณสมบัติ	ชื่อการค้า
1. Sodium lauryl sulfate	ละลายน้ำเย็นได้น้อย ใช้ทำแชมพูผงครีม และเพสท์	Duconol C Empicol LZ, Emal O Tezapon K 12, Z Sulfofon WAI, K
2. Alkanolamine lauryl sulfate	ฤทธิ์อ่อนกว่า ขจัดไขมันน้อยกว่า และละลายน้ำมากกว่าข้อ 1 สารกลุ่มนี้จะเสถียรขึ้น เมื่อเก็บนาน โดยเฉพาะเมื่อถูกแสง	
2.1 Monoethanolamine lauryl sulfate (MEA lauryl sulfate)	เป็นของเหลวสีเหลืองอ่อน ความเข้มข้นร้อยละ 33 นิยมใช้ในยุโรป	Empicol LQ 33 Texapon MLS

ตารางที่ 2.2 สารกลุ่ม Alkyl sulfate ซึ่งใช้ในแชมพูและคุณสมบัติที่สำคัญ (ต่อ)

สาร	คุณสมบัติ	ชื่อการค้า
2.2 Diethanolamine lauryl sulfate (DEA lauryl sulfate)	ของเหลวสีฟางข้าว ความเข้มข้นร้อยละ 33-35 เคนนิยมใช้มากในอเมริกา แต่ปัจจุบันพบว่าอาจก่อให้เกิดมะเร็งได้ จึงไม่นิยม	Empicol DLS
2.3 Triethanolamine lauryl sulfate (TEA lauryl sulfate)	ของเหลวสีเหลืองอ่อนละลายน้ำได้ดีกว่าตัวอื่น ความเข้มข้นร้อยละ 42	Empicol TL 40 Tezapon TH Tezapon T 42, T 50, T 35 Texapon A 400
3. Ammonium lauryl sulfate	สารละลายเป็นด่างน้อยกว่าข้อ 1 และ 2 ละลายน้ำได้ดี มีความคงตัวดี แม่อยู่ในพีเอช 4.5 นิยมใช้เตรียมแชมพูที่มีพีเอชต่ำเก็บไว้ในจันทพีเอชสูงขึ้นเพราะสลายตัวให้อะมิโนเนียม ควรปรับพีเอชของตำหรับให้เป็นกรดอ่อน (6-6.5)	
4. Calcium and magnesium lauryl sulfate	นิยมใช้เตรียมแชมพูผง เพราะคุณนําน้อยกว่าเกลือโซเดียม ทำให้ไม่เกิดการจับเป็นก้อนแข็ง (Caking)	

**1.3 Alkyl ether sulfate** (Alkyl polyethylene glycol sulfates) สารกลุ่มนี้สังเคราะห์ขึ้นเพื่อแก้ไขข้อเสียในการละลายของ Alkyl sulfate จึงละลายน้ำได้ดีกว่า ใช้ได้ในน้ำกระด้าง มีฤทธิ์อ่อนกว่าและทนต่อพีเอชได้กว้างกว่า นิยมใช้มากในยุโรป สูตรหลัก คือ



M = Sodium, Potassium, Ammonium, Magnesium หรือ Alkanolamine

R = แขนที่ไม่ละลายน้ำของกรดไขมันที่มี C 16-18 อะตอม

n = 2 หรือ 3

การเพิ่ม Ethylene oxide group ลงในสูตร (ประมาณ 2–3 หมู่) ทำให้คุณสมบัติการละลายน้ำดีขึ้น มีฟองมากแต่ฟองเบาและแตกง่าย มีอำนาจการชำระล้างดีมีความอ่อนโยน (Mildness) เพิ่มขึ้น ลดการระคายเคืองลงและเข้ากับสารอื่นในสูตรแชมพูได้กว้าง แต่มีข้อเสียคือเก็บไว้นานเกิดไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิห้อง จึงต้องเก็บในที่เย็น การเติมเกลือแกงเพื่อเพิ่มความหนืดได้ ในปริมาณที่จำกัด เช่น กัน นอกจากนี้สภาพผมหลังสระจะมีประจุมากทำให้หวิยาก จึงต้องใช้น้ำยา นวดผม (Hair rinse) หรือน้ำยาปรับสภาพเส้นผม (Hair conditioner) ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สารกลุ่ม Alkyl ether sulfate ซึ่งใช้ในแชมพูและคุณสมบัติที่สำคัญ

สาร	คุณสมบัติ	ชื่อการค้า
1. Sodium lauryl ether sulfate (Sodium laureth sulfate)	ละลายน้ำดีมาก กลิ่นอ่อน ความ เพิ่มขึ้นร้อยละ 50 ทนกรด ต่ำ และ แคลเซียม อุณหภูมิที่เริ่มขุ่นคือ -5 °C เก็บไว้นานจะถูกไฮโดรไลส์	Texapon N 25, N 40 (27-28 %) Texapon Q (65 %) Empicol ES B 3 Sipon ES Genapol LR O
2. Ammonium lauryl ether sulfate (Ammonium laureth sulfate)	สารละลายความเข้มข้นร้อยละ 60	Sipon EAY Texapon NA (23-25 %)
3. Triethanolamine lauryl ether sulfate (TEA-laureth sulfate)	-	Empicol ETO Texapon NT (34-36 %)
4. Sodium lauryl myristyl alcohol ether sulfate	-	Texapon K 14 special (29-31 %)
5. Magnesium lauryl ether Sulfate	-	Texapon MG

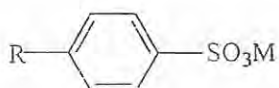
ในยุโรปนิยมใช้ Lauryl ether sulfate (โดยเฉพาะ Sodium salt ของมัน) โดยใส่ในแชมพูที่มีราคาถูกและเป็นแชมพูพื้นฐานทั่วไป Sodium lauryl sulfate เป็นสารที่นิยมใช้ เช่นกันเพราะอำนาจชำระล้างดี ฟองแน่นและมาก แต่นิยมใช้ผสมในแชมพูสำหรับผมก่อนล้างมัน ตารางที่ 2.4 แสดงถึงสูตรหลักในแชมพูสำหรับเส้นผมชนิดต่าง ๆ ซึ่งใช้สารชำระล้างกลุ่มนี้เป็นสารหลัก ควรปรับพีเอชระหว่าง 5–9 เพื่อป้องกันไฮโดรไลซิส

ตารางที่ 2.4 สูตรหลักของแชมพูสำหรับผมแห้ง ผมหงอกและผมมัน

องค์ประกอบ	ผมแห้ง	ผมหงอก	ผมมัน
Sodium lauryl sulfate (SLS), 30 %	-	5	10
Sodium laureth sulphate (SLES), 27 %	27	25	23
Coconut diethanolamide	3	3	3
Preservative	qs	qs	qs
Perfume	qs	qs	qs
Colour	qs	qs	qs
Thickener (usually salt)	qs	qs	qs
Water	to 100	to 100	to 100

จากสูตรในตารางพบว่าหากมีการเติมสารชำระล้างกลุ่ม Betaine เช่น Cocoamidopropyl betaine ลงไปจะช่วยทำให้แชมพูมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นคือ เส้นผมหิวง่าย ไม่ติดหรือพันกันและมีความอ่อนต่อผิวและผม มีฟองดีขึ้น ไม่เบาและแตกง่าย

1.4 Alkyl benzene sulfonate (Alkyl aryl sulfonate) สารกลุ่มนี้เป็นสารกลุ่มแรกที่สังเคราะห์ขึ้นใช้แทนสบู่ สูตรหลักคือ



M = Ammonium, Sodium หรือ Triethanolamine

R = แชน Alkyl ที่มี C 10-14 อะตอม

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สารกลุ่มนี้มีฟองมากแม้ในน้ำกระด้าง แต่ฟองเบา ความหนาแน่นน้อย ขจัดไขมันได้มากจึงทำให้ผมแห้ง กระด้าง ฟุ้งหวียาก อาจทำให้เกิดการแพ้ได้ด้วย จึงไม่ใช่เดี่ยว ๆ มักใช้ร่วมกับสารชำระล้างประจุลบอื่นเพื่อลดต้นทุนการผลิตเพราะราคาถูกมาก นิยมเติมในแชมพูธรรมดาปริมาณร้อยละ 3-5 เพื่อเป็นแชมพูสำหรับผมมัน ที่นิยมใช้มี 2 ตัว คือ Sodium dodecyl benzene sulfonate และ Triethanolamine dodecyl benzene sulfonate ปัจจุบันนิยมใช้ในผงซักฟองมากกว่า

**1.5  $\alpha$ -Olefin sulfonates** นิยมใช้ในอเมริกาและญี่ปุ่น มีความอ่อนกว่า Alkyl sulfate ให้ฟองดีในน้ำเย็นและน้ำกระด้าง มีจุดขุ่นที่ต่ำ สามารถละลาย Super fatting agent ได้ดี คงตัวดีทั้งในกรดและด่าง จึงนิยมใช้ในการเตรียมแชมพูเหลวใสและใช้เตรียมสบู่เหลวได้ดี ตัวอย่าง เช่น Sodium  $C_{14-16}$  olefin sulfonate

**1.6 Alkyl phosphate** สารกลุ่มนี้มีโครงสร้าง  $R-PO_4M_2$  ซึ่งพบว่า Monoalkyl phosphate เป็นสารชำระล้างดี อ่อนต่อผิวและผม นิยมใช้ในญี่ปุ่นสำหรับแชมพูและครีมอาบน้ำ

**2. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cationic surfactants)** สารกลุ่มนี้มีอำนาจชำระล้างและการเกิดฟองน้อยกว่าชนิดประจุลบ มีข้อเสียคือเกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและตา จึงใช้ในความเข้มข้นต่ำมาก (ไม่เกินร้อยละ 5) นอกจากนี้ยังมีสัมพรรคภาพ (Affinity) ที่ดีต่อคราติน อาจทำให้สิ่งสกปรกเกาะอีกในขณะสระ จึงไม่นิยมใช้เป็นสารหลักในแชมพู จะใช้เป็นสารช่วยปรับสภาพเส้นผมให้มีประจุลบมากขึ้นไปทำให้เส้นผมหวีง่าย ไม่ยุ่งเหยิง

**3. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic surfactants)** มีอำนาจการชำระล้างดี เหมาะที่จะเป็นสารหลักในแชมพูได้แต่ให้ฟองไม่มากเท่าที่ควรผู้ใช้จึงไม่ชอบ จึงนิยมใช้เป็นสารเสริมในสูตรเท่านั้น โดยช่วยเพิ่มการละลายและเพิ่มการชำระล้างของแชมพู แต่ปัจจุบันพบว่าในประเทศเยอรมนีมีการสังเคราะห์ Carbohydrate base nonionic surfactant จากน้ำมะพร้าวและข้าวโพด โดยบริษัท Henkel ในปี ค.ศ. 1992 คือ Alkyl polyglucosides (APG<sub>5</sub>) ที่สำคัญได้แก่ Decyl polyglucose เป็น Alkyl chain  $C_{8-16}$  มีคุณสมบัติให้ฟองดี อำนาจชำระล้างดี มีความอ่อนต่อผิว จึงใช้เป็นสารหลักหรือสารช่วยในการผลิตแชมพูและผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดผิวทั้งหลาย Lauryl polyglucose เป็น Alkyl chain  $C_{12-16}$  ใช้เป็นสารช่วยร่วมกับสารประจุลบจะช่วยให้ฟองคงทนและเพิ่มความหนืดและมีความอ่อน (Mildness) สารกลุ่มนี้สามารถสลายตัวทางชีวภาพจึงไม่ก่อมลภาวะ

### 2.2.3 สารลดแรงตึงผิวที่ใช้เสริม

เป็นสารช่วยเพิ่มอำนาจการชำระล้างของแชมพู ช่วยเพิ่มฟอง ช่วยปรับสภาพเส้นผมให้หวีเข้าทรงได้ง่ายนิยมใช้พวกประจุลบและแอมโฟเทอริก ส่วนพวกไม่มีประจุและพวกประจุบวกใช้น้อยมาก สารกลุ่มนี้มีดังนี้

1. **Secondary alkyl sulfate** เป็นสารที่เพิ่มอำนาจทำความสะอาดให้มากขึ้น แต่มีข้อเสียคือทำให้ผมหยาบกระด้าง และเมื่อตั้งทิ้งไว้นานจะเกิดไฮโดรไลซิสจึงไม่นิยมมากนัก นิยมใช้ในการล้างเครื่องแก้วมากกว่า ตัวอย่าง เช่น Teepols® (Sodium secondary dodecyl sulfate) เป็นต้น

2. **Monoglyceride sulfate** ( $\text{RCOOH}_2\text{CHOH-CH}_2\text{OSO}_3\text{M}$ ) เป็นกลุ่มที่นิยมใช้ทำแชมพูมาก เป็นสารชำระล้างที่ดีมาก ให้ฟองดี มีความคงตัวในน้ำกระด้าง ภายหลังสระผมทำให้ผมนุ่มเป็นเงางาม สารพวกนี้ละลายได้ดีกว่า alkyl sulfate แต่มีข้อเสียคือเกิดไฮโดรไลซิส จึงควรทำให้อยู่ในสภาพเป็นกลางหรือกรดอ่อน ๆ ตัวอย่าง เช่น Sodium ammonium lauryl monoglyceride sulfate (Monolaurin) ซึ่งเป็นลิขสิทธิ์ของบริษัทคอลเกต ปาล์ม โอลีฟ สารกลุ่มนี้จะเป็นสารหลักในแชมพูได้

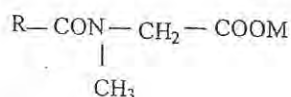
3. **Alkyl sulfonate** ( $\text{R-CH-SO}_3\text{Na}$ ) สารพวกนี้ให้ฟองดี ละลายดี แต่ใช้เดี่ยว ๆ ทำให้ผมและหนังศีรษะแห้ง ต้องใช้ร่วมกับสารชำระล้างชนิดอื่น ตัวอย่างเช่น Sodium alkyl naphthalent sulfonate (Nanza®), Sodium cetane sulfonate เป็นต้น

4. **Alkyl sulfosuccinates** ( $\text{ROCOCHCH}_2\text{COOM}$ ) สารกลุ่มนี้มีอนุพันธ์ที่เป็น Monoalkyl และ Dialkyl ถ้าจำนวน C มาก ๆ จะทำให้ฟองดีมากและไม่เสถียร จึงนิยมใช้ทำแชมพูสำหรับเด็ก ข้อเสียของสารกลุ่มนี้คือเกิดไฮโดรไลซิสง่าย ดังนั้น ควรใช้สูตรคาร์บที่มีพีเอชค่อนข้างเป็นกลางตัวอย่าง เช่น Dioctyl sodium sulfosuccinate (aerosol OT), Sodium lauryl monoethanolamide sulfosuccinate (Condanol SAL), Sodium lauryl polyglycol ether sulfosuccinate (Condanol SB/FA3) เป็นต้น ในยุโรปนิยมใช้ Disodium lauryl ether sulfosuccinate ส่วนในอเมริกันนิยมใช้ Disodium oleamido sulfosuccinate

5. **Fatty acid condensation product** ที่นิยมใช้เป็นตัวเสริมในแชมพู มี 3 ชนิด คือ

5.1 **Methyl taurate** ( $\text{CH}_3\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3\text{H}$ ) ตัวอย่าง เช่น Oleic acid methyl tarurate (Hostapont) มีคุณสมบัติดีมากในการปรับสภาพเส้นผม ละลายน้ำได้ดี จึงใช้กับน้ำกระด้างได้สะดวกไม่ระคายเคืองต่อผิวหนัง แต่เกิดฟองน้อยจึงนิยมใช้ร่วมกับตัวอื่น ๆ และนิยมใช้ในสูตรน้ำยาปรับสภาพผม (Hair conditioner) ด้วย นอกจากนี้มี Sodium "coco" methyl taurate

**5.2 Sarcosides** เป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาของ Methyl glycine กับ Fatty acid chloride มีสูตรโครงสร้าง คือ



M = Sodium หรือ Alkanolamine

R = Alkyl group

สารนี้ละลายน้ำ มีพีเอช 7.5-8.5 มีความคงตัวดีทั้งในกรดและด่าง ไม่ตกตะกอนกับเกลือให้ฟองดีมาก ระบายเคียงต่อผิวหนังและตา น้อยมาก จึงนิยมใช้ร่วมกับสารชำระล้างประจุลบ นอกจากนี้ยังสามารถปรับสภาพเส้นผมได้ดี จึงใช้ในสูตรน้ำยาปรับสภาพผมด้วย ตัวอย่างเช่น Sodium lauryl sarcosinate, N-acyl sarcosides (Medialans, Sarcosyl NL) เป็นต้น

สารกลุ่มนี้สามารถใช้กับสารชำระล้างประจุบวกได้โดยไม่มีผลกระทบต่อสภาพผมหรือการฆ่าเชื้อโรค แต่อาจทำให้ฟองลดลงได้

**5.3 Isethionates** สูตรโครงสร้าง คือ  $\text{RCOOH} \cdot \text{CH}_2\text{SO}_3\text{Na}$  ตัวอย่างเช่น Sodium cocoyl isethionate (Igepon AC 78), Sodium oleyl methyl aminoethyl sulfonate (Igepon T) เป็นต้น นิยมใช้ในสูตรที่มีความอ่อน (Mildness) เพราะเข้ากับผิวและผมได้ดี นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตสบู่ก้อน (Syndet bar) ด้วย

**5.4 Protein fatty acid condensates** เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง Fatty acid chloride ที่มีโมเลกุลใหญ่ ๆ กับ Hydrolysed protein สูตรโครงสร้าง คือ  $\text{RCOONH}$  (Polypeptide)  $\text{COOM}$  ตัวอย่างเช่น Potassium cocoyl hydrolysed animal protein (Maypon 4 C, Lamepon S), Triethanolamine cocoyl hydrolysed animal protein (Lamepon STR, Maypon 4 CT) เป็นต้น

สารกลุ่มนี้ปรับสภาพเส้นผมได้ดี ทำให้ผมมันเป็นแวววาวมีสัมผัสนุ่มคล้ายไหม ตกแต่งทรงง่าย เป็นสบู่อ่อน ๆ ไม่ระคายเคืองต่อผิวหนังและเยื่อตา จึงเหมาะสำหรับสูตรที่เป็น Extra mild แต่มีข้อเสียคือทำให้เกิดฟองน้อย ราคาแพง ต้องใช้ร่วมกับพวก Alkyl sulfate หรือ Alkyl ether sulfate

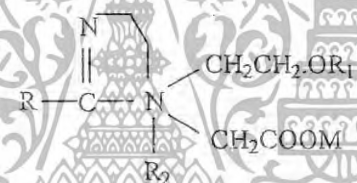
**6. Fatty acid alkanolamide** สารกลุ่มนี้ช่วยในการเกิดฟองได้ดีแต่ไม่ค่อยมีอำนาจชำระล้าง นิยมใช้เพื่อเพิ่มฟองให้กับสารชำระล้างประจุลบและทำให้ฟองคงทน ข้อดีของสารกลุ่มนี้คือเพิ่มอัตราการละลายของเกลือ Lauryl sulfates เพิ่มความหนืดให้แชมพู ปรับสภาพเส้นผม เพิ่มเนื้อให้แชมพูและเสริมสร้างฟองและป้องกันการดูดซึมของเกลือแคลเซียมบนเส้นผม



ข้อดีของสารกลุ่มนี้คือเป็นสารต้านไฟฟ้าสถิตย์ (Antistatic) บนเส้นผม และมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค เกิดฟองมากเมื่อมีพีเอชเป็นด่างอ่อน นอกจากนี้ยังใช้ในสูตรน้ำยาปรับสภาพเส้นผม โดยต้องทำให้พีเอชเป็นกรดซึ่งฟองจะลดลง สารกลุ่มนี้นิยมใช้ในอเมริกา

**7.2 Long chain betaines** สูตรโครงสร้าง คือ  $(\text{CH}_3)_3\text{N}^+\text{CH}_2\text{COO}^-$  เป็นสารพวก Quaternary ammonium compound ที่มี C 12-18 อะตอม สารพวกนี้ในสภาพพีเอชที่เป็นกรดมีประจุบวก ในสภาพพีเอชที่เป็นด่างแสดงตัวเป็นประจุลบ อำนาจการชำระล้างขึ้นกับความยาวของ Alkyl chain แต่ทำให้ฟองลดน้อยลง นิยมใช้ร่วมกับสารชำระล้างประจุลบ ตัวอย่างเช่น Dodecyl betaine, Coconut alkyl dimethyl ammonium betaine (Dehyton AB 30), Sulfobetaine และ Cocamidopropyl betaine เป็นต้น สารกลุ่มนี้นิยมใช้ในยุโรป นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์สำหรับอาบน้ำ เช่นกัน เช่น Shower gel, Bubble bath เป็นต้น

### 7.3 Cycloimidates (Alkyl imidazolines) สูตรโครงสร้าง คือ



สารพวกนี้เป็นอนุพันธ์ของ Imidazole แสดงประจุเป็นกลางที่พีเอช 7 ดังนั้น มีความระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อตาน้อยที่สุด ให้ฟองที่มีความคงตัวดี เข้าได้ดีกับสารที่มีประจุหลายชนิด มีอำนาจทำลายเชื้อราและแบคทีเรียได้ ไม่มีพิษ ตัวอย่างเช่น 1-hydroxyethyl-2-undecylimidazoline (Amine C), Sodium lauroamphoacetate, Cocoamphocarboxyglycinate (Miranol C2M) เป็นต้น สารตัวนี้คงสภาพในพีเอชกว้าง (2-12) นิยมใช้ในแชมพูเด็ก

**8. Cationic surfactants** สารกลุ่มนี้ใช้น้อยเพราะอำนาจในการชำระล้างน้อย แต่ดูดซับได้ที่ผิวของเส้นผม จึงทำให้ผมหวีง่ายไม่พันกันยุ่ง นิยมใช้ในสูตรน้ำยาปรับสภาพเส้นผมเท่านั้น มีข้อเสียคือ ระคายเคืองต่อผิวหนังและเนื้อเยื่อตา ราคาแพงและเข้าไม่ได้กับแชมพูที่มีประจุลบ จึงใช้เดี่ยว ๆ เพื่อนวดผมหลังสระหรือเติมลงในแชมพูที่เตรียมจากสารแอมโฟเทอริก โดยใช้ความเข้มข้นไม่เกิน 5 % ตัวอย่างเช่น

Cetyl trimethyl ammonium chloride (Dehyquart A)

Dicetyldimethyl ammonium chloride (Quaternium 31)

Distearyldimethyl ammonium chloride (Quaternium 5)

Dimethyl di (Hydrogenated tallow) ammonium chloride (Quaternium 18)

Steryl dimethyl benzyl ammonium chloride (Stearalkanium chloride) นิยมใช้ในครีมนวดผม ความเข้มข้น 1.0 %

เมื่อปี 1975 Schoenberg ได้รายงานว่ามีสารชำระล้างประจุบวกที่สามารถใช้ได้กับสารชำระล้างประจุลบโดยไม่ลดการเกิดฟอง คือ

Quaternized lanolin fatty acid amide (Lanoquat ES 50)

Quaternized isostearic acid amide (Schercoquat IAS)

PEG-15-tallow polyamine (Polyquart H)

N-lauryl colamino formyl methyl pyridinium chloride (Emcol E607)

ดังนั้นจึงนิยมใส่สารเหล่านี้ในสูตรแชมพูปรับสภาพเส้นผม ทำให้ผมนุ่ม ลดการเกิดประจุ และมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรคด้วย

**9. Nonionic surfactants** สารกลุ่มนี้มีคุณสมบัติในการเกิดฟองน้อยกว่าสารแอมโฟเทอริกแต่มีอำนาจการชำระล้างสูง จึงใช้ร่วมกับสารอื่นเพื่อเพิ่มอำนาจการทำความสะอาดและเพิ่มการละลายของสารอื่น เช่น น้ำหอม สารกลุ่มนี้ใช้ได้ทั้งในน้ำกระด้างและน้ำทะเลเพราะประสิทธิภาพไม่ขึ้นกับพีเอช ตัวอย่าง เช่น Alkyl polyglucosides (Lauryl polyglucose และ Decyl polyglucose), Polyoxyethylene sorbitan monolaurate (Tween 20), Polyoxyethylene sorbitan monostearate (Tween 80), Poloxamer (Pluronic L 44) เป็นต้น

สารกลุ่ม Ethoxylated sorbitol ester นิยมใช้ในแชมพูเด็ก เพราะไม่ระคายเคือง

**10. Amine oxides** สารพวกนี้เป็น Polar nonionic detergent หน้าที่ในแชมพูคือช่วยทำให้ฟองคงสภาพและเพิ่มฟอง ลดต้นทุนการผลิต ลดการเกิดประจุไฟฟ้าบนผม ไม่ระคายเคืองต่อผิว ใช้ในความเข้มข้น 2 % การเติมลงไปมากกว่านี้ไม่ให้เกิดผลอาจทำให้แชมพูขุ่นได้ นอกจากนี้ควรเติมในตำรับที่มีพีเอชค่อนข้างต่ำ (7-8) พีเอชมากกว่า 9 ไม่มีผลในการลดประจุบนผม พีเอชต่ำกว่า 6.5 ทำให้สารชำระล้างประจุลบตกตะกอน อาจใช้ร่วมกับสารแอมโฟเทอริกในอัตราส่วน 1:2 ข้อเสียของสารกลุ่มนี้ คือ ราคาแพง

ตัวอย่างเช่น N, N-dimethyl dodecylamine oxide เป็นต้น สารตัวนี้ช่วยเพิ่มฟองได้ดีกว่า Alkanolamides และต้านไฟฟ้าสถิตบนผมได้เมื่อมีพีเอชต่ำ นอกจากนี้มีผู้แนะนำให้ใช้ Dimethyl lauryl amine oxide ร่วมกับ Lauryl ether sulfate ในความเข้มข้นร้อยละ 7.5 % แล้วปรับพีเอชให้ได้ 8.0 ด้วยกรดซัลฟริกจะได้แชมพูที่ดีมาก นอกจากนี้นิยมใช้ผลิตภัณฑ์นวดเส้นผมซึ่งทำหน้าที่ปรับสภาพผมได้ดี

การใช้สารช่วยลดแรงตึงผิว (Secondary surfactant) จะช่วยปรับคุณภาพของแชมพูให้มีความระคายเคืองต่ำและฟองดีขึ้น ทำให้ใช้สระผมได้บ่อยขึ้นโดยไม่ทำลายเส้นผม ดังตัวอย่างสูตรในตารางที่ 2.5

**ตารางที่ 2.5** สูตรแชมพูซึ่งใช้สารชำระล้างหลักเป็นประจุลบ และใช้สารช่วยลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ในการปรับคุณภาพของแชมพูให้สามารถสระผมได้บ่อยขึ้น

องค์ประกอบ	A	B	C	D	E
Sodium lauryl sulfate, 30%	7	-	-	-	-
Sodium laueath sulphate, 27%	21	-	-	24	20
Ammonium lauryl sulphate, 30%	-	30	-	-	-
Monoethanolamine lauryl sulphate, 33%	-	-	35	-	-
Cocoamidopropyl betaine, 30%	4	3	-	-	-
Cocodimethylamine oxide, 35%	2	-	-	-	-
Sodium lauroyl sarcosinate, 30%	-	-	-	-	6
Cocoamphocarboxy glycinate, 30%	-	-	5	6	-
Sodium carboxymethyl tallow polypropylamine, 27%	-	-	-	3	-
TEA coco-hydrolysed animal protein 30%	-	3	-	-	-
Alkanolamide (usually coconut dialkanolamide)	2.5	2.5	3	2.5	4
Preservative	qs	qs	qs	qs	qs
Perfume	qs	qs	qs	qs	qs
Color	qs	qs	qs	qs	qs
Thickener	qs	qs	qs	qs	qs
Deionised water	To 100%	To 100%	To 100%	To 100%	To 100%

#### 2.2.4 สารเติมแต่งผลิตภัณฑ์แชมพู

เป็นสารที่ใส่เพิ่มในสูตรเพื่อให้แชมพูมีลักษณะสวยงาม น่าใช้และมีคุณสมบัติพิเศษออกไป สารเหล่านี้คือ

1. สารปรับสภาพเส้นผม (Conditioners) เป็นสารปรับสภาพเส้นผมให้นุ่มเป็นเงางาม ไม่หยาบแห้ง เพราะการใช้สารชำระล้างที่แรงทำให้เส้นผมขาดไขมัน เปราะและหวิเข้า

ทรงยาก หน้าทีของสารพวกนี้ คือ เคลือบเงาแก่เส้นผมและทำให้นุ่มมือไม่หยาบแห้ง ตัวอย่างเช่น อนุพันธ์ของลาโนลิน เลซิทีนซึ่งเป็นลิพิดทำให้ผมมองดูสวยงามเพราะเป็น Emulsifier สารอิมอลเลี่ยนท์หลายตัวทำหน้าที่เป็นสารปรับสภาพเส้นผม ได้แก่ Isopropyl myristate, PEG-7-glyceryl cocoate (cetiol HE), Butyl palmitate เป็นต้น นอกจากนี้สารจากธรรมชาติ เช่น ไข่แดงหรือผงไข่แห้งและน้ำผึ้งก็นิยมใช้เพราะทำหน้าที่เคลือบเงาเส้นผมได้ดีทำให้ผมนุ่ม มีน้ำหนัก สารปรับสภาพผมยังหมายความรวมไปถึงการใช้สารลดแรงตึงผิวประจุบวก เช่น Stearyl dimethyl benzyl ammonium chloride (Triton X-400) ซึ่งทำหน้าที่ลดประจุบนเส้นผม ทำให้ผมหวีง่าย ไม่พันกันยุ่ง โดยใช้ความเข้มข้น 1-2 %

ปัจจุบันมีการสังเคราะห์สารใหม่ ๆ มากมายซึ่งใช้ปรับสภาพเส้นผมได้ดี ตัวอย่างเช่น Dimethyl aminoethyl methacrylate (Gafquat 755 resin or quaternium 23) Polyquaternary ammonium (Polyquaternium 5, 7, 10, 11 และ 24) Aminoethylacrylate phosphate/acrylate copolymer (Catrex) Guar hydroxypropyl trimonium chloride (Jaquar C-135) PEG/PEG alkylethers (Ucon fluid) นอกจากนี้มี Silicone surfactant (Dimethicone copolyol block copolymers), amodimethicone, protein hydrolysate และ cationic polymer เป็นต้น

**2. สารเพิ่มฟอง (Foam booster or foam stabilizer)** เติมลงไปเพื่อเพิ่มปริมาณความหนาแน่นและความคงทนของฟองและช่วยเพิ่มเนื้อให้กับแชมพู นิยมใช้สารพวก Fatty acid alkanolamides, Amine oxides หรือสารแอมโฟเทอริกดังได้กล่าวรายละเอียดแล้ว กตโทษการเพิ่มฟองของสารเหล่านี้มีผู้นิยามว่าทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารลดแรงตึงผิวหลักที่ผิวสัมผัสของน้ำกับอากาศ ทำให้เกิดฟองมากขึ้น

การเตรียมแชมพูที่ดีควรหลีกเลี่ยงการใช้สารที่มีคุณสมบัติกดฟอง เช่น น้ำมันแร่ ซิลิโคน น้ำมันหอมระเหยที่มีความเข้มข้นสูง Glycerol stearate ประจุของแคลเซียมและแมกนีเซียม ไขมัน ถ้าจำเป็นต้องใช้สารเหล่านี้เพื่อคุณสมบัติอื่น ควรเติมในปริมาณน้อย ๆ นอกจากนี้สภาวะบางอย่างเช่น พีเอชที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดการกดฟองได้

**3. สารช่วยให้ทึบแสงและสารประกายมุก (Opacifier and pearlisers)** เป็นส่วนสำคัญในแชมพูประเภทครีมหรือ โลชั่นเพื่อเพิ่มเนื้อให้เกิดความสวยงามน่าใช้ เช่น Stearyl alcohol, cetyl alcohol, Glycerol monostearate, Glycol distearate (Cutina AGS), Spermaceti, Metallic stearate (Ca, Mg, Zn) หรือพวก Alkanolamides ของ Higher fatty acids ทำหน้าที่เพิ่มความคงสภาพแก่ครีมในทุกอุณหภูมิ เช่น Stearic monoethanolamide และ 1, 3-propylene glycol stearate

เป็นต้น สารช่วยเพิ่มประกายมุก ได้แก่ Styrene/acrylate copolymer, Diethylene glycol menostearate เป็นต้น

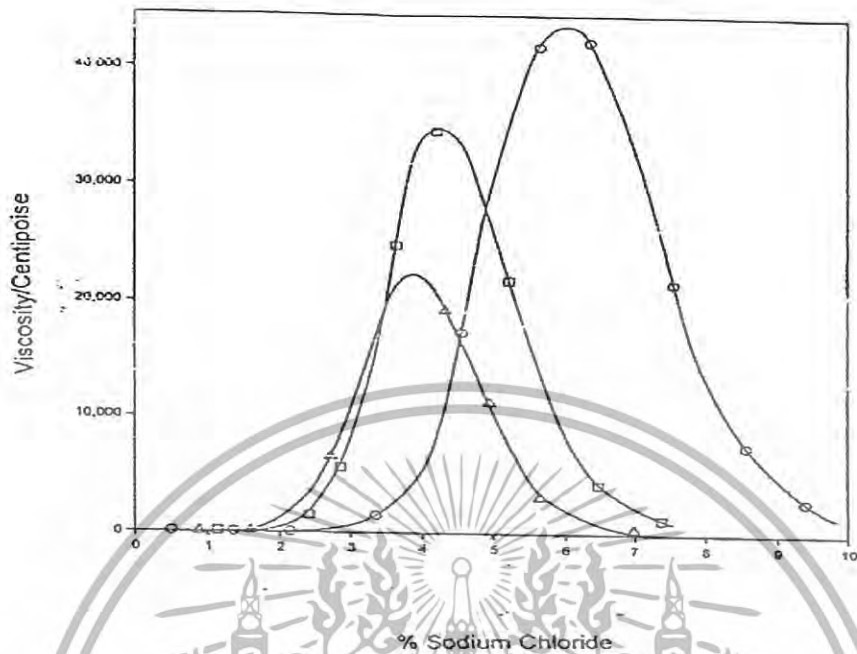
การเติมสารทึบแสงหรือสารประกายมุกเหล่านี้อาจเติมในลักษณะของเหลวหรือกึ่งแข็งก็ได้ แล้วแต่อุณหภูมิในขณะเติม

**4. สารช่วยทำให้ใส (Clarifying agents)** ใช้ในแชมพูเหลวแบบใสโดยเพิ่มการละลายของสารต่าง ๆ ในตัวรับแชมพูทำให้แชมพูใสได้นานในอุณหภูมิกว้าง สารพวกนี้มักเป็นสารซีเลเวสเตอร์หรือตัวทำละลายบางตัว เช่น Butyl alcohol, Isopropyl alcohol, Propylene glycol, Diethylene glycol, Hexylene glycol สารพวกนี้มักเพิ่มฟองแก่แชมพูแต่ละชนิดเดียวกันทำให้ความหนืดลดลง

**5. สารซีเลเวสเตอร์ (Sequestering agent)** ช่วยป้องกันมิให้เกิดเกลือที่ไม่ละลายของ Polyvalent metal ions ที่เกิดจากการใช้แชมพูในน้ำกระด้าง ซึ่งเกลือเหล่านี้จับบนเส้นผมทำให้ผมหยาบกระด้าง ไม่เงางาม นิยมใช้ EDTA หรือ Polyphosphates ความเข้มข้น 1 % หรือบางครั้งอาจใช้สารพวก Calcium salt dispersing agent เช่น Fatty acid alkanolamine

**6. สารช่วยทำให้หนืดขึ้น (Thickening agent)** เพื่อเพิ่มความหนืดให้แชมพูพอเหมาะตามต้องการ เช่น Natural gums (Guar, Karaya, Carraghenen, Tragacanth), Synthetic gums (MC, CMC, Carbopol, HEC, HPMC), Polyvinylpyrrolidone, Alkanolamide, Glycerol stearate หรือกรณีของแชมพูสบู่ อาจเพิ่มความหนืดของแชมพู โดยเพิ่มจำนวนของ Long chain fatty acid หรือ Fatty alcohol หรือ Amides ก็ได้ สาร Electrolyte (Sodium หรือ Ammonium chloride หรือ Sulfate) ในความเข้มข้นต่ำ ๆ จะช่วยเพิ่มความหนืดแก่แชมพูที่มีประจุลบได้

การเติมสารอิเล็กโทรไลต์ลงในสารชำระล้างประจุลบจะเพิ่มความหนืดเพิ่มขึ้นได้โดยไปเพิ่มความหนาแน่นของไอออน (Ionic density) ซึ่งมีผลต่อขนาดและรูปร่างของ Micell นิยมใช้สารอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวกชนิดเดียวกับประจุลบของสารชำระล้างหลัก เช่น เติม Ammonium chloride ลงใน Ammonium lauryl sulfate หรือเติม Sodium chloride ลงใน Sodium lauryl ether sulfate เป็นต้น ปริมาณของอิเล็กโทรไลต์ที่เติมลงไปมีผลต่อความหนืดที่เพิ่มขึ้น โดยมีขีดจำกัด หากเติมลงไปมากเกินไปจะทำให้ความหนืดลดลง นอกจากนี้การมี Alkanolamide หรือปริมาณของ Free fatty alcohol หรือ Ether ในสารลดแรงตึงผิว ยังมีผลต่อความหนืดที่เพิ่มขึ้นได้ต่างกันด้วย ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4



รูปที่ 2.4 ผลของความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ต่อความหนืดของสารลดแรงตึงผิวซึ่งมีปริมาณของ Free fatty alcohol หรือ Ether ที่ต่างกัน

△ Sodium lauryl ether sulfate 11% active

□ Sodium lauryl ether sulfate 11% & 1% laureth-3

○ Sodium lauryl ether sulfate 11% & 3% cocamide DEA

การเติมสารอิเล็กโทรไลต์ ควรเติมในลักษณะสารละลาย เช่น 25% w/w NaCl เพื่อหลีกเลี่ยงความเข้มข้นที่มากเกินไปเฉพาะแห่งซึ่งจะทำให้เกิดเจลแข็งในสารบางแห่งได้

7. สารขจัดรังแคและโรคผิวหนังศีรษะ (Antidandruff agent) สารเหล่านี้ใช้ในปริมาณน้อยมาก เช่น Sulfur, Salicylic acid, Selenium sulfide, Zinc pyrithione (ZPT), Zinc odamine (ZO) และ Piroctone olamine (PO)

8. สารช่วยให้คงสภาพ (Stabilizer) ช่วยทำให้แชมพูคงตัวดีขึ้น เช่น สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant) และป้องกันการหืนของน้ำมันพืช เช่น Ascorbic acid, Tocopherol หรือ Butylhydroxyanisol (BHA) เป็นต้น หรือสารควบคุมพีเอช เช่น Citrate, Lactate และ Phosphate buffer ซึ่งอาจเป็นกรดหรือด่าง ป้องกันมิให้แชมพูเปลี่ยนสีหรือกลิ่น

9. สารแต่งสี (Colorant) สีที่ใช้ในแชมพูควรเป็นสีที่ละลายน้ำได้ และเป็นสีที่ปลอดภัย ได้แก่ FD&C, D&C และ ext. D&C ซึ่งทนต่อกรด ด่าง แสง สารออกซิไดซ์และสารรีดิวซ์ เช่น FD&C Red#4 และ FD&C Red#2 สำหรับการตกแต่งสีแดง FD&C yellow#5 และ FD&C

yellow#6 สำหรับการแต่งสีเหลือง D&C green#5 และ FD&C green#3 สำหรับการแต่งสีเขียว FD&C blue #1 และ D&C blue#4 สำหรับการแต่งสีฟ้า เป็นต้น การแต่งสีจะต้องพิจารณาว่าเข้ากับสารอื่นในแชมพูได้หรือไม่ สีทนต่อแสงหรือไม่ ซึ่งทดสอบง่าย ๆ กับเครื่อง Fadeometer ซึ่งฉายรังสีอัลตราไวโอเลตมายังแชมพูภายใต้การควบคุมนาน 6 ชั่วโมง ถ้าสีไม่มีการเปลี่ยนแปลงแสดงว่าผ่านการทดสอบ เพื่อป้องกันการจางลงของสีเนื่องจากแสงอาจมีการเติมสารดูดรังสี UV ซึ่งละลายน้ำได้ลงไปในส่วนคาร์บ เช่น Benzophenone-4 และ Benzophenone-2 ในความเข้มข้น 0.05–0.1 % นอกจากนี้สีควรสอดคล้องกับกลิ่น เช่น กลิ่นพฤษชาติควรแต่งสีเขียว เป็นต้น

**10. สารแต่งกลิ่น (Perfumes)** การแต่งกลิ่นแชมพูควรเลือกน้ำมันหอมระเหยที่สามารถกลบกลิ่นของสารชำระล้างบางชนิดซึ่งมีกลิ่นปิโตรเลียมหรือกลิ่นกำมะถันได้ ควรเลือกกลิ่นที่ประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย (Volatile oil) เอกซ์เทนเดอร์ (Extender) และฟิกเซทิฟ (Fixatives) เพื่อให้กลิ่นติดทนนานบนเส้นผม และควรเป็นกลิ่นหอมอ่อน ๆ ให้ความรู้สึกสะอาด และกลิ่นไม่เปลี่ยนแม้ภายหลังการสระผม ตัวอย่างเช่น Cineol, Linalyl acetate, Phenylethyl acetate, Acetophenone, Methyl ionone, Musk ketone, Diphenyl oxide, Cyclamen aldehyde เป็นต้น หากมีปัญหาเรื่องการละลายของน้ำหอมอาจใช้สารช่วยละลาย เช่น Polysorbate หรือ PEG-40 hydrogenated castor oil เป็นต้น

**11. สารกันเสีย (Preservatives)** สารชำระล้างที่ใช้เป็นสารหลักในแชมพูเป็นอาหารที่ดีต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ มีการตรวจพบเชื้อแบคทีเรีย โดยเฉพาะพวกแกรมลบในผลิตภัณฑ์แชมพูที่กำหนดอายุในท้องตลาดสูงถึง  $10^6$  เชื้อต่อแกรม ซึ่งถือว่าไม่ปลอดภัยตามข้อกำหนดของ CTPA (Cosmetic toiletry and perfumery association) ของประเทศอังกฤษ ดังนั้น การใช้สารกันเสียจึงจำเป็นมาก ผู้ผลิตจะต้องศึกษาถึงอิทธิพลที่มีต่อฤทธิ์ของสารกันเสียเป็นอย่างดีเพื่อให้แน่ใจว่าสารกันเสียที่เลือกใช้สามารถป้องกันผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ให้ปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์เพราะพบว่ามีเชื้อหลายชนิดที่ต่อต้านสารกันเสียบางชนิดและสารโมเลกุลใหญ่ในสูตรอาจทำลายฤทธิ์ของสารกันเสีย สภาวะพีเอชมีผลต่อความคงตัวของสารกันเสียบางชนิด ภาชนะพลาสติกที่ใช้บรรจุแชมพูอาจเกิดปฏิกิริยากับสารกันเสีย เป็นต้น มีผู้ศึกษาถึงอิทธิพลเหล่านี้มากมาย ปัจจุบันพบว่าสารกันเสียกลุ่มที่เหมาะสมในแชมพูควรเป็นสารที่ฆ่าเชื้อ *Pseudomonas aeruginosae* ได้ดีโดยที่มีพิษน้อย ไม่ทำให้ระคายเคือง ตัวอย่างเช่น 2-bromo-2-nitropropane-1, 3 diol (Bronopol), 5-bromo-5-nitro-1, 3-dioxane (Bronidox) 0.2-0.3 %, 6-acetoxy-2, 4-dimethyl-m-dioxane 0.2 %, Quaternium 15 (Dowicil 200) 2 %, Imidazolidinyl urea, Phenoxyethanol และ Dimethyl dimethylol (DMDM) hydantoin เป็นต้น

นอกจากนี้การใช้สารกันเสียหลายตัวร่วมกันก็เป็นที่ยอมรับ เพราะออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อได้กว้าง ลดความเป็นพิษจากการใช้สารกันเสียเดี่ยว ๆ เพราะลดปริมาณลง ป้องกันการดื้อของเชื้อ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น Phenoxyethanol ร่วมกับ Parabens (Phenonip) Bronopol หรือ Dowicil 200 ร่วมกับ Parabens เป็นต้น

### 2.2.5 ความปลอดภัยในแชมพู

การใช้ผลิตภัณฑ์แชมพูนั้นประการสำคัญที่ควรคำนึงถึง คือ ความปลอดภัยต่อผิวหนังและ ใช้นัยน์ตาและไม่เป็นพิษ เพราะในขณะที่ใช้แชมพูสระผมมักมีแชมพูบางส่วนไหลเข้าสู่ใช้นัยน์ตา ซึ่งถ้าแชมพูมีการเจือจางก็ไม่น่าเป็นอันตรายแต่ถ้าแชมพูนั้นมีฤทธิ์แรงหรือไม่ถูกเจือจางก็อาจทำให้ระคายเคืองได้ ความรุนแรงแล้วแต่ชนิดของ Shampoo base ที่ใช้ ความเข้มข้นและสารอื่นในสูตร กรณีที่รุนแรงมากอาจทำให้กระจกตาเกิดแผลหรือการบวมขาวได้

จากการทดสอบความระคายเคืองของตา (Eye irritation test) ในกระต่ายโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดต่าง ๆ พบว่าความแรงของการระคายเคืองต่อนัยน์ตาระคายเรียงลำดับคือชนิดประจุบวก > ชนิดประจุลบ > ชนิดไม่มีประจุ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการใช้แชมพู ผู้ผลิตจำเป็นต้องมีการทดสอบผลิตภัณฑ์ก่อนนำออกจำหน่าย วิธีของ Draize (Draize test) เป็นที่ยอมรับกันว่าเป็นมาตรฐานสำหรับการทดสอบความระคายเคืองของเครื่องสำอางได้ โดยการทดสอบดังนี้ คือ ใช้ผลิตภัณฑ์แชมพู 0.1 มิลลิลิตร หยดเข้า Conjunctive sac ของนัยน์ตาขาวของกระต่ายสีขาว ส่วนตาซ้ายใช้เป็นตัวควบคุม (Control) โดยไม่ต้องหยดอะไร หลังจากนั้น 4 วินาที ล้างตาทั้ง 2 ข้างด้วย Physiological saline จำนวน 25-30 มิลลิลิตร จากนั้นทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง สังเกตและบันทึกผลต่อหลังจากนั้น 2 ชั่วโมง และทุก ๆ วันจนครบ 35 วัน ถ้านัยน์ตาของกระต่ายไม่มีอาการผิดปกติแสดงว่าผ่านการทดสอบ ตารางที่ 2.5 แสดงถึงสารลดแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดการระคายเคืองของตา โดยแสดงถึงความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อกระจกตาภายใน 7 วัน

ตารางที่ 2.6 แสดงถึงความเข้มข้นสูงสุดที่ใช้ได้ของสารลดแรงตึงผิวซึ่งไม่ทำให้นัยน้ดาระคายเคือง

ชื่อการค้า ของสารลดแรงตึงผิว	ชื่อทางเคมี	ความเข้มข้นสูงสุดที่ตาทนได้ โดยไม่เกิดการผิปกติ (%)
ก. ชนิดประจุบวก		
BTC®	Lauryldimethylbenzylammonium chloride	0.5
Hyamine 1622®	p-Diisobutylphenoxyethoxyethyl-di-methylbenzylammonium chloride	0.5
Roccal®	Alkyldimethylbenzylammonium	0.5
Isothan Q-15®	Laurylisoquionlinium bromide	0.8
Etyl Cetab®	Cetyledimethylammonium bromide	1.0
Triton X-400®	Stearyldimethylbenzylammonium chloride	1.0
ข. ชนิดประจุลบ		
Nacconol NRSP®	Alkylaryl sulphonate	5.0
Miranol SM®	Capryl imidazoline derivative	10.0
Aerosol OT®	Dioctylester of sodium sulphosuccinic acid	15.0
Duponol WA®	Sodium lauryl sulfate	20.0
Orvus WA®	Sodium lauryl sulfate	20.0
Triton X-200®	Sodium salt of alkylated aryl polyether sulphate	28.0
ค. ชนิดไม่มีประจุ		
Triton X-100®	Alkylated aryl polyether alcohol	5.0
Nonic 218®	Polyethylene glycol tertdodecyl thioether	10.0
Alrosol®	Fatty acid amide condensate	10.0
Neutronyz 600®	Aromatic polyglycol ether consate	15.0
Detergent 1011®	Secondary amide of lauric acid	15.0
Ninol 2012®	Fatty acid alkanolamine condensate	20.0
Span 20®	Sorbitan monolaurate	100.0
Tween 20®	Sorbitan monolaurate polyoxyethylene Derivative	100.0
Span 80®	Sorbitan mono-oleate	100.0
Tween 80®	Sorbitan mono-oleate polyoxyethylene Derivative	100.0
Arlacel A®	Mannide mono-oleate	100.0

มีรายงานจากการศึกษาวิจัยพบว่าการใช้ Polyethylene oxide alkyl phenol ether ร่วมกับ Quaternary ammonium salt ทำให้กระจกตาขุ่นและมองไม่เห็น นอกจากนี้ยังพบว่า Polyoxyethylene condensate และ Fatty acid amine condensate มีพิษต่อตา จากการทำ Draize test พบว่าสารลดแรงตึงผิวพวก Imidazoline ชนิด “Miranol” type ถ้าใช้ในความเข้มข้นสูง เกิดการระคายเคืองอย่างรุนแรง แต่ถ้าใช้โดยการสะเทิน (Neutralize) ก่อน และทำให้เจือจางที่ความเข้มข้น 20 % w/w จะแสดงคุณสมบัติที่เป็นสารต้านความระคายเคืองและมีความอ่อนเป็นพิเศษ (Super mildness) ได้

ระดับอันตรายของสารต่างๆ ในผลิตภัณฑ์แชมพูที่มีผลต่อตา มีดังนี้

1. สารลดแรงตึงผิวประจุบวกมีอันตรายมากที่สุด
2. Span, Tween และสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ มีอันตรายต่อตาน้อยที่สุด
3. ระดับความระคายเคืองต่อตาไม่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติอื่น เช่น พิษ การเกิดฟองและการทำให้เปียก
4. ผลิตภัณฑ์แชมพูที่ใช้สารลดแรงตึงผิวหรือสารชำระล้างชนิดใหม่จะต้องมีการทดสอบการระคายเคืองทุกครั้ง

ไม่กี่ปีมานี้ได้มีการพบว่าสาร 1, 3-dioxane ซึ่งปนเปื้อนมากับสารกลุ่ม Ethoxylated surfactant และสาร Nitrosamine โดยเฉพาะ Nitrosodiethanolamine (ซึ่งเกิดจาก Diethanolamine) เป็นสารก่อมะเร็งซึ่งมีอันตรายกับร่างกาย จึงควรระวังในการเลือกเกรดของวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตแชมพูเพื่อหลีกเลี่ยงสารปนเปื้อนเหล่านี้

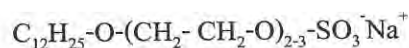
นอกจากนี้สารลดแรงตึงผิวบางชนิดอาจเป็นพิษถึงตายได้ เมื่อพลอรับประทานเข้าไป ดังนั้น เพื่อความปลอดภัย ผลิตภัณฑ์แชมพูจึงต้องมีการทดสอบความเป็นพิษเมื่อรับประทาน (Oral toxicity test) เพื่อหาค่า LD<sub>50</sub> ซึ่งคือค่าของสารเป็นมิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกรัม ที่ทำให้สัตว์ทดลองตายได้ครึ่งหนึ่งของจำนวนที่ทดสอบ ปกติแล้วค่า LD<sub>50</sub> ไม่ควรมากกว่า 5 จึงจะถือว่ามีพิษต่ำ

## 2.3 คุณลักษณะของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการทดลอง

สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการทดลอง คือ สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (Anionic) ซึ่งเป็นกลุ่มของสารลดแรงตึงผิวที่ใหญ่ที่สุด และมีจำนวนการใช้มากที่สุด ส่วนชนิดของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบที่นำมาศึกษา คือ Sodium lauryl ether sulfate

### 1. Sodium lauryl ether sulfate

สูตรโครงสร้าง



น้ำหนักโมเลกุล	376.507
<b>คุณสมบัติทางกายภาพ</b>	
จุดเดือด (°F)	200
ความสามารถในการละลายน้ำ	ละลายได้สมบูรณ์
ความถ่วงจำเพาะ	1.01
pH (ที่ความเข้มข้นเริ่มแรก)	5.5–6
<b>สมบัติการติดไฟหรือระเบิด</b>	
จุดวาบไฟ (°F)	ไม่มี
ขีดจำกัดล่างที่สามารถติดไฟได้ (LEL)	ไม่สามารถวิเคราะห์ได้
ขีดจำกัดบนที่สามารถติดไฟได้	ไม่สามารถวิเคราะห์ได้
<b>คุณสมบัติในการเกิดปฏิกิริยา</b>	
ความคงตัว	เสถียร
สิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง	Oxidizing agent
<b>ความอันตรายต่อร่างกาย</b>	
ผิวหนัง	ไม่สามารถวิเคราะห์ได้
ตา	อาจเกิดการระคายเคืองถ้าไปสัมผัส
ระบบทางเดินหายใจ	ไม่สามารถวิเคราะห์ได้
ระบบทางเดินอาหาร	อาจทำให้เกิดการกลืนไส้ได้
ผลกระทบเรื้อรัง	ไม่เกิด
การก่อมะเร็ง	ไม่เป็นสารก่อมะเร็ง ทั้งมาตรฐานของ NTP, IARC และ OSHA
อวัยวะเป้าหมาย	ไม่มีอวัยวะเป้าหมาย
LD <sub>50</sub> (Oral-Rat) (mg/kg)	1288
LD <sub>50</sub> (IPR-Rat) (mg/kg)	210
LD <sub>50</sub> (IV-Rat) (mg/kg)	118

## 2.4 เทคนิคการไทเทรตสองเฟส (Two-phase titration technique)

เป็นการไทเทรตที่อาศัยหลักการทำปฏิกิริยากันระหว่างประจุลบ และประจุบวกเกิดเป็นสารประกอบในรูปของเกลือขึ้นมา ส่วนการไทเทรตสองเฟส (Two-phase titration) ของสารลดแรงดึงผิวที่มีประจุ นั้น ต้องอาศัยไทแทรนต์ที่เป็นสารลดแรงดึงผิวที่มีประจุตรงข้ามกัน ซึ่งถ้าทำการ

ไทเทรตในสารละลายที่เป็นน้ำทั้งหมดนั้น จะทำให้ส่วนที่เป็นเกลือละลายได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น จากพื้นฐานของความสามารถในการละลาย จึงมีการนำเอาคลอโรฟอร์มมาใช้ร่วมด้วย เพื่อสกัดเอาส่วนที่เป็นเกลือละลายแยกออกมา

ดังนั้น จุดยุติจึงขึ้นอยู่กับความจริงที่ว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบจะทำปฏิกิริยากับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก เกิดเป็นสารประกอบเกลือและสารประกอบของเกลือนี้จะไม่ละลายในน้ำ แต่จะถูกสกัดออกมาในชั้นคลอโรฟอร์ม

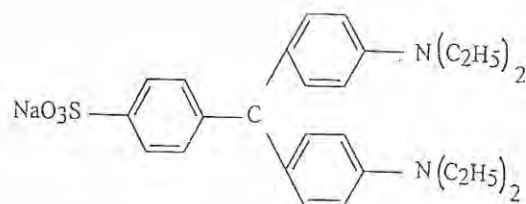
#### หลักการของวิธีมาตรฐาน ISO 2271

ไทเทรนต์ที่ใช้ คือ Benzethonium chloride หรือ Benzyl dimethyl-2- [2-p (1, 1, 3, 3-tetramethyl-butyl)] phenoxy-ether ammonium chloride, Mono-hydrate มีชื่อทางการค้าว่า Hyamine 1622 ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก

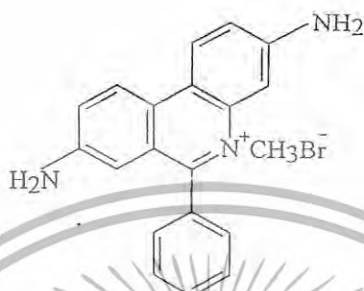


อินดิเคเตอร์ที่ใช้ คือ อินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง

1. Acid blue หรือ Di-sodium 4, 4'-diaminodiphenylmethane-2, 4'-disulphonate ซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ประจุลบและมีชื่อทางการค้าว่า Disulphine Blue VN 150 และ Erioglucine (Acid blue) เป็นกรด-เบส อินดิเคเตอร์ ซึ่งจะเป็นสีเหลืองเมื่อสารละลายเป็นกรดและเป็นสีฟ้าเมื่อสารละลายเป็นเบส



2. Dimidium bromide หรือ 3, 8-diamino-5-methyl-6-phenyl-phenanthridinium bromide  
ซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ชนิดประจุบวก

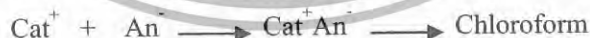


เมื่อทำการผสมสารละลายตัวอย่าง อินดิเคเตอร์ผสมคลอโรฟอร์มและน้ำกลั่นเรียบร้อยแล้ว นำไปเขย่าอย่างแรง จะเห็นสารละลายในชั้นคลอโรฟอร์มเป็นสีชมพู เนื่องจาก ส่วนของประจุบวกของอินดิเคเตอร์ Dimidium bromide (DM<sup>+</sup>Br<sup>-</sup>) นั้นทนปฏิกิริยากับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (An<sup>-</sup>)



ส่วนชั้นน้ำจะเป็นสีเหลือง เนื่องจาก Acid Blue I ซึ่งเป็นหนึ่งในอินดิเคเตอร์ผสมนั้น และเป็นกรด-เบส อินดิเคเตอร์ซึ่งจะเป็นสีเหลืองเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด และเป็นสีฟ้าเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นเบส จากนั้นทำการไทเทรตด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cat<sup>+</sup>) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ตามขั้นตอน ดังนี้

1. Benzethonium chloride ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ ที่ยังหลงเหลืออยู่ในชั้นน้ำ เกิดเป็นสารประกอบในรูปของเกลือ ในชั้นของคลอโรฟอร์ม



2. เมื่อสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบที่อยู่ในชั้นน้ำถูกไทเทรตไปเกือบหมดแล้ว ก็ทำการเติมไทเทรนต์ลงไปอีกและเติมให้มากเกินพอ ในชั้นนี้ประจุบวกของอินดิเคเตอร์ที่อยู่ในรูปเกลือในชั้นของคลอโรฟอร์ม จะถูกแทนที่ด้วยประจุบวกจากสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Titrant) จึงทำให้สีชมพูในตอนแรกหายไป



3. เมื่อประจุบวกของอินดิเคเตอร์ถูกแทนที่จนหมดแล้ว ในชั้นคลอโรฟอร์มก็จะกลับมาไม่มีสีหรือมีสีเทาน้ำเงิน ซึ่ง ณ จุดนี้ก็คือ จุดยุติ

## 2.5 เทคนิคโพเทนชิโอเมตริกไทเทรชัน (Potentiometric titration technique)

โพเทนชิโอเมตริก (Potentiometry) เป็นวิธีวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้า โดยใช้หลักการวัดค่าความต่างศักย์ ระหว่างขั้วไฟฟ้าสองขั้วที่จุ่มอยู่ในสารละลายตัวอย่าง ณ สถานะสมดุลของการดำเนินปฏิกิริยา โดยขั้วไฟฟ้าหรืออิเล็กโทรดที่ใช้ในการวัดความต่างศักย์นี้ แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference electrode) ซึ่งค่าศักย์ไฟฟ้าของมันจะต้องมีค่าที่แน่นอนและต้องไม่มีผลต่อความเข้มข้นของสารละลายที่สนใจ

2. ขั้วไฟฟ้าชี้บอก (Indicator electrode) ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน ซึ่งต้องสามารถตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว และสม่ำเสมอ ต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอออน โดยค่าศักย์ไฟฟ้าของมันจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย โดยขั้วทั้ง 2 ชนิดจะต้องถูกต่อเข้ากับเครื่องวัดความต่างศักย์ (Potentiometer)

### 2.5.1 เทคนิควิธีวิเคราะห์โพเทนชิโอเมตริก

การทำปริมาณวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโพเทนชิโอเมตริก ทำได้ 2 ลักษณะ คือ

1. การวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าโดยตรง (Direct potentiometric measurement)
2. การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าโดยอาศัยการไทเทรต (Potentiometric titration)

เนื่องจากการวิจัยนี้ไม่ได้ใช้การวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าโดยตรง จึงขอก้าวแต่เพียงการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าโดยอาศัยการไทเทรตเท่านั้น

### 2.5.2 การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าโดยอาศัยการไทเทรต

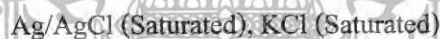
การทำปริมาณวิเคราะห์ด้วยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้า โดยอาศัยการไทเทรตเป็นการวิเคราะห์ศักย์เซลล์ที่แต่ละปริมาตรของไทเทรนต์ที่ไทเทรตลงในสารละลายตัวอย่าง ค่าศักย์ที่วัดได้จากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารตัวอย่างกับไทเทรนต์ ไม่ได้มีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับความเข้มข้นของสารตัวอย่าง จึงถือว่า การวิเคราะห์หาปริมาณสารด้วยเทคนิคโพเทนชิโอเมตริกแบบนี้ เป็นการวัดศักย์ทางอ้อม (Indirect potentiometric) ในการวัดศักย์ของการไทเทรตการเปลี่ยนแปลงของศักย์บ่งบอกถึงการดำเนินไปของปฏิกิริยา โดยศักย์เกิดการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดที่บริเวณจุดสมมูลของการเกิดปฏิกิริยา และมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเกินจุดสมมูลหรือสารตัวอย่างทำปฏิกิริยาจนหมด ดังนั้นค่าศักย์เปรียบเสมือนเป็นอินดิเคเตอร์ของการวัดศักย์ไฟฟ้าโดยอาศัยการไทเทรตวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณสารตัวอย่างโดยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าโดยอาศัยการไทเทรตสารละลายไทเทรนต์จากบิวเรตลงสู่สารละลายตัวอย่าง ที่ถูกกวนตลอดเวลาด้วยแท่งแม่เหล็ก เพื่อให้ไทเทรนต์ได้สัมผัสและเกิดปฏิกิริยากับไอออนของสารตัวอย่างได้ทันทีที่หยดลงในสารละลายตัวอย่าง การไทเทรตไม่

สามารถทำได้อย่างต่อเนื่อง จนถึงจุดยุติเหมือนการใช้ อินดิเคเตอร์เพราะถึงแม้ไทเทรนต์ทำปฏิกิริยากับไอออนสารตัวอย่างได้ทันที แต่การเกิดสมมูลของการตอบสนองของขั้วไฟฟ้าต้องใช้เวลา เพราะฉะนั้นการไทเทรตจึงต้องหยุดเป็นช่วง ๆ เพื่อรอให้เกิดสมมูลขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า จึงอ่านค่าศักย์ได้ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการไทเทรต คือ ช่วงปริมาตรไทเทรนต์ที่ไขจากบิวเรตกับค่าศักย์ไฟฟ้า ณ สมมูลของแต่ละช่วงไทเทรตนั้น

การไทเทรตดังกล่าวข้างต้น เป็นการทำการไทเทรตด้วยผู้วิเคราะห์ ถ้าเป็นการใช้อุปกรณ์อัตโนมัติที่สามารถตั้งโปรแกรมการไทเทรตตามต้องการได้ ซึ่งสะดวกรวดเร็วขึ้นมาก บ่อยครั้งในการทำการวิเคราะห์มักเป็นการลองทำก่อนหนึ่งตัวอย่าง โดยทำการไทเทรตอย่างรวดเร็ว จนถึงสมมูลของปฏิกิริยา เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงศักย์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการไทเทรต นำข้อมูลนี้มากำหนดช่วงของการไทเทรตในการวิเคราะห์จริงเป็นการช่วยให้การวิเคราะห์จริงทำได้สะดวกขึ้น

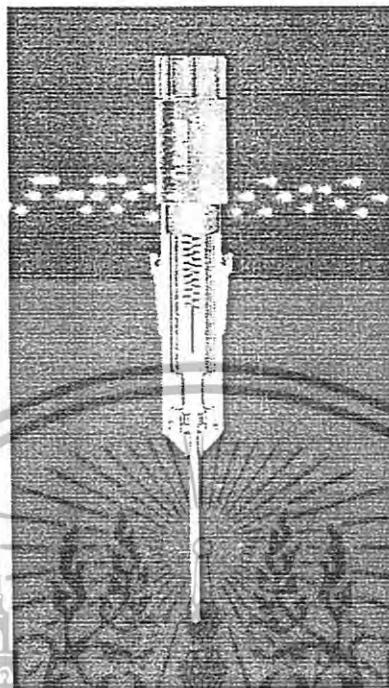
### 2.5.3 ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

1. ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่ใช้ คือ Ag/AgCl อิเล็กโทรดซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด ซึ่งสามารถเขียนแทนส่วนประกอบของขั้วไฟฟ้าอ้างอิงได้ดังนี้



ในการวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้าจำเป็นต้องมีขั้วไฟฟ้าอ้างอิง เพื่อช่วยให้ครบวงจรของเซลล์เคมีไฟฟ้า ปกติค่าศักย์ของวงจรที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดสัญญาณไฟฟ้า เป็นค่าที่เกิดจากผลต่างของศักย์จากขั้วไฟฟ้าทั้งสองของวงจร อาจเรียกค่าศักย์ของวงจรที่วัดได้นี้ว่าค่าศักย์สัมพัทธ์ (Relative potentials) ถ้าขั้วไฟฟ้าตัวหนึ่งของวงจรเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่รู้ค่าศักย์แน่นอนย่อมทำให้สามารถหาค่าศักย์ของอีกขั้วไฟฟ้าที่ต่อในวงจร ซึ่งเป็นขั้วไฟฟ้าใช้งาน นั่นคือการมีขั้วไฟฟ้าอ้างอิงต่ออยู่ในวงจรเซลล์ไฟฟ้าเคมีหนึ่ง ๆ ทำให้สามารถรู้ผลการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับขั้วไฟฟ้าที่ใช้งาน อันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารตัวอย่าง ทำให้วิเคราะห์หาปริมาณสารตัวอย่างได้

2. ขั้วไฟฟ้าทำงานที่ใช้ในการทดลอง คือ Ionic surfactant electrode บริษัท Metrohm (ดังแสดงในรูปที่ 5)



รูปที่ 2.5 แสดงรูป Ionic surfactant electrode

Ionic surfactant electrode เป็น PVC membrane electrode ที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีประจุได้โดยกระบวนการทางโพเทนชิออสแตติกไทเทรชัน โดยช่วงของพีเอชที่อิเล็กโทรดสามารถทำงานได้คือพีเอช 1 – 13 และอุณหภูมิในช่วง 0 – 40 °C

#### การเก็บและดูแลรักษา surfactant electrode

1. ควรเก็บในที่แห้ง
2. อายุการใช้งานประมาณ 1 ปีแต่หลังจาก 1 ปีไปแล้วยังใช้งานได้อยู่
3. เนื่องจากอิเล็กโทรด มีส่วนประกอบเป็น PVC membrane ดังนั้นจึงไม่ทนทานต่อ

Organic solvents เช่น Acetone, Tetrahydrofuran, Chloroform หรือสารที่มีสัดส่วนของ Methanol 30–40 % หรือ Ethanol 20 % ใน Solvent โดยจะไปมีผลทำให้ PVC membrane หรือส่วนประกอบบางส่วนถูกละลายออกมาได้

#### 2.5.4 ข้อดีของการวิเคราะห์ด้วยวิธีโพเทนชิออสแตติกไทเทรชัน

1. ลดการใช้คลอโรฟอร์มที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์และเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม
2. เครื่องสามารถอ่านค่าที่จุดยุติได้ทันทีและรวดเร็ว

### 2.5.5 การวิเคราะห์หาปริมาณ Anionic-active matter โดยวิธี Acid-hydrolysis

เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้ในปัจจุบันมักเกิดจากการผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดต่าง ๆ ลงไป ทั้งนี้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น เช่น สารผสมระหว่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบด้วยตัวเอง หรือสารผสมระหว่างสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์ปริมาณของสารแต่ละชนิดออกมาและวิธีที่นิยมใช้วิธีหนึ่ง คือ Acid-hydrolysis ซึ่งวิธีนี้มักจะทำโดยการรีฟลักซ์สารลดแรงตึงผิว ในสารละลายกรด เช่น กรดไฮโดรคลอริก หรือ กรดซัลฟูริก เป็นต้น ซึ่งจะทำให้การรีฟลักซ์เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง ซึ่งสารลดแรงตึงผิวที่สามารถถูก Hydrolysed ได้มักเป็นกลุ่มของ Alkyl sulphates, Alkylether sulphates, Sulphated alkylphenol ethoxylates เป็นต้น เมื่อสารพวกนี้ถูก Hydrolysed ด้วยกรดจะเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังสมการ



ส่วนพวกที่ไม่ถูก Hydrolysed ได้แก่พวก Sulfonated hydrocarbons, Alkyl phosphates และ Alkylether phosphates เป็นต้น ซึ่งสารกลุ่มนี้จะไม่ถูก Hydrolysed ทั้งสถานะที่เป็นกรดและเบส

### 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Rajmani Patel and Khageshwar Singh Patel [1998] ได้ทำการศึกษาเทคนิค Flow injection analysis (FIA) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็วและมีลักษณะเฉพาะ เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ Cationic surfactants (CS) เช่น Dodecyltrimethylammonium bromide (DTAB), Tetradecyltryl-ammonium bromide (TTAB), Cetyltrimethylammonium bromide (CTAB), Cetylpyridinium chloride (CPC) ในสิ่งแวดล้อมและดินน้ำตัวอย่าง การวิเคราะห์ที่อยู่บนพื้นฐานความเข้มของสีของสารประกอบเชิงซ้อน Fe(III)-SCN<sup>-</sup> ซึ่งค่าของ Molar absorptivity ของสารประกอบเชิงซ้อน Fe(III)-SCN<sup>-</sup>-CS<sup>-</sup> ในเทอมของ Cationic surfactants (CS) อยู่ในช่วง  $(2.10-4.30) \times 10^3 \text{ l mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  ที่ความดูดกลืนแสงสูงสุด 475 nm ซึ่ง Surfactants มีสภาพไวมาก Cetylpyridinium chloride (CPC) มี Detection limit (absorbance > 3 s) ของ 250 ppb CPC มีช่วงทำงานมากกว่า 0.5–30.0 ppm CPC กับ Slope, intercept, Correlation coefficient และ Sample throughput ของ 0.67, 0.02, +0.99 และ 100 ตัวอย่างต่อชั่วโมง ผลกระทบของการวิเคราะห์และตัวแปรการวิเคราะห์ FIA ของ Surfactants และสารประกอบเชิงซ้อน เป็นวิธีอิสระจากสารรบกวนของจำนวนไอออนทั้งหมดซึ่งปกติจะเกี่ยวข้องกับ Surfactants ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม ความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์ เช่น สภาพไว, ค่าความเป็นเส้นตรง, แม่นยำและสถานะการวิเคราะห์ของ FIA ระบบ Manual สำหรับการวิเคราะห์ของ

Surfactants ซึ่งสามารถประยุกต์สำหรับการวิเคราะห์ CS ในสิ่งแวดล้อมที่หลากหลาย เช่น ดิน, น้ำ ทิ้ง และผลิตภัณฑ์ เช่น ดีเทอร์เจนต์, สบู่, แชมพู

Shahab A. Shamsi, Neil D. Danielson และ Isiah M. Warner [1998] ได้ทำการศึกษา Flavin mononucleotide (FMN) นั้นสามารถรู้ Riboflavin-5-phosphate ได้ซึ่งมีลักษณะคล้ายกันกับ Laser-induced fluorescence (LIF) ซึ่งใช้ในการตรวจวัด Inorganic anions, Organic acids, Anionic surfactants และ Polyphosphates ซึ่งต้องมีการแยกด้วยวิธี Capillary electrophoresis (CE) ก่อนแล้ว จึงจะเอา FMN มาวิเคราะห์ได้

การวิเคราะห์ด้วย FMN นั้นถือว่าเป็นวิธีที่ดีเนื่องจากใช้ความยาวคลื่นเดียวกับที่ใช้กระตุ้น Laser คือ 488 nm FMN สามารถละลายได้ง่ายทั้งตัวทำละลายและตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ ซึ่งมีความแตกต่างจาก Fluorescein ที่ให้ Fluorescence ทั้งกรดและเบสเข้มข้น

จากการศึกษา Peak ของ FMN นั้นจะพบส่วนที่หายไปซึ่งเกิดจาก Fluorescence ทำให้เกิด เบสอ่อน แต่สามารถควบคุมไม่ให้ Peak หายไปได้ด้วยการควบคุม pH ให้อยู่ที่ 8.6 หรือ 9 ในการ แยก Inorganic anions และ Organic acids ทั้ง 21 ตัวจะใช้เวลา 20 นาที เมื่อใช้ LIF ที่ FMN 10  $\mu\text{m}$  ร่วมกับ Diethylene triamine 2  $\mu\text{m}$  โดยจะใช้ระบบ Electroosmotic ในการควบคุมการไหลและการ วิเคราะห์นี้จะมีขอบเขตอยู่ในช่วง 10-20  $\mu\text{g/L}$  ซึ่งจะใช้ความเข้มข้นในช่วงนี้ในการเตรียมการ วิเคราะห์

สำหรับการใช้ Methanol นั้นจะช่วยให้การละลายดีขึ้นและสามารถแยกได้ทั้ง Aliphatic และ Aromatic ที่เดิมลงไปเป็น Surfactants ออกมาได้พร้อมๆ กัน วิธีดังกล่าวนี้มีประโยชน์สำหรับ การวิเคราะห์แชมพูเนื่องจากใช้เวลาไม่ถึง 20 นาทีในการวิเคราะห์แต่ละครั้ง

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมี

1. โซเดียมลอริลซัลเฟต (Sodium lauryl sulfate),  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3\text{Na}$ , fw 288.49  
บริษัท CARLO ERBA
2. เบนซีโทเนียมคลอไรด์ (Benzethonium chloride),  $\text{C}_{27}\text{H}_{42}\text{NO}_2\text{Cl}$ , fw 448.10  
บริษัท SIGMA
3. คลอโรฟอร์ม (Chloroform),  $\text{CHCl}_3$ , 99 % (w/w), fw 119.37  
บริษัท BDH AnalaR
4. กรดซัลฟิวริก (Sulphuric Acid),  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , fw 96.372 บริษัท CARLO ERBA
5. Patent Blue Indicator Grade,  $\text{C}_{27}\text{H}_{31}\text{N}_2\text{NaO}_6\text{S}_2$ , fw 566.68 บริษัท ALDRICH
6. Daimidium Bromide Indicator Grade,  $\text{C}_{20}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{Br}$ , fw 380.3 บริษัท SIGMA
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide),  $\text{NaOH}$ , fw 40.00 บริษัท AKZO NOBEL
8. เอทานอล (Ethanol),  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ , 95 % (w/w), fw 46.07 บริษัท CARLO ERBA
9. โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium Hydrogen Phthalate, KHP),  
 $\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{COOK}$ , 99.5 % (w/w), fw 204.23 บริษัท CARLO ERBA
10. ฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphthalein),  $\text{C}_6\text{H}_4\text{COOC}(\text{C}_6\text{H}_4\text{-4-OH})_2$ , fw 318.328  
บริษัท CARLO ERBA
11. Tritron X-100,  $\text{C}_8\text{H}_{17}\text{C}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OH}$ , fw 602.806
12. กรดไฮโดรคลอริก,  $\text{HCl}$ , 37 % (w/w), fw 36.5
13. เมทานอล (Methanol),  $\text{CH}_3\text{OH}$ , fw 32.042  
บริษัท CARLO ERBA
14. น้ำปราศจากไอออน

#### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ชุดรีฟลักซ์
2. ขวดวัดปริมาตร
3. บีกเกอร์

4. กระบอกตวง
5. ปิเปต
6. บิวเรต
7. ขวดรูปกรวยขนาด 250 ml
8. ขวดขนาด 200 ml มีฝาปิด
9. เครื่อง Autotitrator รุ่น 716 DMS Titrino ของบริษัท Metrohm
10. Magnetic bars
11. Surfactant electrode (Anion)
12. Reference electrode (Ag/AgCl)

### 3.3 การดำเนินการทดลอง

#### 3.3.1 การหาปริมาณ Anionic active matter ในสารตัวอย่างโดยวิธีมาตรฐานสากล (Internation Standard (ISO 2271-1989))

##### 1. หาความเข้มข้นที่แน่นอนของ 1 N NaOH ด้วยสารมาตรฐาน KHP

1.1. นำ KHP ไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 120 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์

1.2. ชั่ง KHP อย่างละเอียด 10.00 g (ละเอียด 4 ตำแหน่ง) ละลายในน้ำกลั่นและใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรให้ขีดบอกริมาตร

1.3. ปิเปตสารละลาย KHP มา 10 ml หยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด

1.4. ไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH จนสารละลายเป็นสีชมพูอ่อน

##### 2. หาความบริสุทธิ์ของโซเดียมลอริลซัลเฟต

2.1. ชั่งน้ำหนัก Sodium lauryl sulfate  $5 \pm 0.0002$  g (ละเอียด 4 ตำแหน่ง) ใส่ขวดก้นกลม

2.2. เติม 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ลงไป 25 ml และใส่เศษกระเบื้อง 2-3 ชิ้น

2.3. นำไปรีฟลักซ์ประมาณ 100 นาที โดยระหว่าง 5-10 นาทีแรก สารละลายมีความหนืดและมีฟองมากควบคุมได้โดยการเอาความร้อนออก และแกว่งสารละลายภายในขวดก้นกลมหรืออาจสารละลายในน้ำเดือดเป็นเวลา 60 นาที แทนการรีฟลักซ์ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดฟอง หลังจากให้ความร้อน แล้ว 10 นาที สารละลายจะใส ให้รีฟลักซ์ต่อไปอีก 90 นาที

2.4. หลังจากทำการรีฟลักซ์แล้ว นำขวดก้นกลมมาทำให้เย็น หลังจากนั้นก็ล้างภายในคอนเดนเซอร์ด้วยเอทานอล 30 ml และตามด้วยน้ำกลั่น 30 ml

2.5. เติมฟีนอล์ฟทาไลน์ 2-3 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน NaOH

1.0 M

2.6. ทดสอบแบลนด์ตามขั้นตอน 2.2-2.5 โดยใช้  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1.0 M 25 ml แทนแล้วไทเทรตด้วยด้วยสารมาตรฐาน NaOH 1.0 M

### 3. เตรียมสารละลายมาตรฐาน 0.004 M Sodium lauryl sulfate

ชั่งน้ำหนัก Sodium lauryl sulfate 1.14 - 1.16 g (ละเอียด 4 ตำแหน่ง) ละลายในน้ำกลั่น 200 ml แล้วถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วปรับปริมาตร ด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกรปริมาตร

### 4. เตรียมสารละลายมาตรฐาน 0.004 M Benzethonium chloride

อบ Benzethonium chloride ที่  $105^\circ\text{C}$  ประมาณ 2-3 ชั่วโมง แล้วชั่งละเอียด 1.792 g ละลายในน้ำกลั่นและเจือจางให้ครบ 1 ลิตร

### 5. เตรียมสารละลายสต็อก อินดิเคเตอร์ผสม

ชั่ง Dimidium Bromide อย่างละเอียด  $0.5 \pm 0.0005$  g (ละเอียด 4 ตำแหน่ง) ใส่ในบีกเกอร์ และชั่ง Acid Blue อย่างละเอียด  $0.25 \pm 0.0005$  g (ละเอียด 4 ตำแหน่ง) ใส่บีกเกอร์อีกใบหนึ่ง เติม 10% v/v เอทานอลที่ร้อน ประมาณ 20-30 ml ลงบีกเกอร์แต่ละใบ คนจนกระทั่งละลายและถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 ml ฉีดบีกเกอร์ด้วยเอทานอล แล้วถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรเจือจางด้วย 10% v/v เอทานอลจนครบ 250 ml

### 6. เตรียมสารละลายผสม Mixed Acid Indicator

ปีเปตสารละลายในข้อ 5 มา 20 ml เติมน้ำกลั่น 200 ml จากนั้นเติม 5 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  20 ml ลงไป ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนครบ 500 ml แล้วเก็บในที่ไม่มีแสง

#### วิธีการทดลอง

##### 1. การเทียบมาตรฐานสารละลาย Benzethonium chloride

1.1. ปีเปตสารละลาย 0.004 M Sodium lauryl sulfate ปริมาตร 25 ml ใส่ขวดที่มีฝาปิดสนิท แล้วเติมน้ำกลั่น 10 ml

1.2. เติมคลอโรฟอร์ม 15 ml และอินดิเคเตอร์ผสม 10 ml

1.3. นำไปไทเทรตกับสารละลาย 0.004 M Benzethonium chloride ปิดฝาขวดภายหลังจากการเติมสารละลาย และเขย่าอย่างแรง เพื่อให้สารละลายเข้ากันดี จะเห็นสารละลายชั้นล่างเป็นสีชมพู ทำการไทเทรตต่อไปพร้อมกับเขย่าอย่างแรง เมื่อใกล้ถึงจุดยุติชั้นอิมัลชันที่เกิดขึ้นระหว่างเขย่าจะแยกจากกันได้ง่าย

1.4. ทำการไทเทรตต่อทีละหยด พร้อมกับเขย่า หลังจากเติมไทเทรนต์แต่ละครั้งเมื่อถึงจุดยุติสีชมพูจะหายไปจากชั้นคลอโรฟอร์ม และเกิดสีฟ้าครามอ่อน

2. ทำการทดสอบหาปริมาณสารที่เหมาะสมในการวิเคราะห์  
ซึ่งนำน้ำหนักสารลดแรงดึงผิวชนิดประจุลบโดยใช้ตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 แสดงมวลของสารลดแรงดึงผิวชนิดประจุลบที่ใช้ทดสอบโดยประมาณ

ปริมาณ Active Matter ในตัวอย่าง (% w/w)	มวลที่ใช้ทดสอบ (g)
15	10.00
30	5.00
45	3.20
60	2.40
80	1.80
100	1.40

หมายเหตุ ตารางนี้ได้คำนวณจากมวลโมลาร์สัมพัทธ์ = 360 เป็นน้ำหนักคร่าวๆที่ใช้

- 2.1. ชั่งน้ำหนักสารละลายตัวอย่าง อย่างละเอียดย 4 ตำแหน่ง ละลายสารตัวอย่างในน้ำกลั่น เติมฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด สะเทินด้วยสารละลาย 1.0 M NaOH จนเกิดเป็นสีชมพูอ่อน
- 2.2. ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตร 1 ลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร
- 2.3. ปิเปิดสารละลายมา 25 ml จากข้อ 2.2 ถ่ายใส่ขวดที่มีฝาปิดสนิท เติมน้ำกลั่น 10 ml คลอโรฟอร์ม 15 ml และอินดิเคเตอร์ผสม 10 ml
- 2.4. ไทเทรตด้วยสารละลาย 0.004 M Benzethonium chloride ตามวิธีการเทียบมาตรฐานสารละลาย Benzethonium chloride

3.3.2. การวิเคราะห์สารลดแรงดึงผิวชนิดประจุลบแบบแยกวิเคราะห์ โดย Hydrolysis โดยวิธี ISO 2870-1986 (E)

1. การเตรียมสารตัวอย่าง

ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 10 g (ละเอียด 4 ตำแหน่ง) ละลายในน้ำกลั่น 100 ml จากนั้นเจือจางให้ครบปริมาตร 1000 ml

## 2. การวิเคราะห์สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ แบบรวม

- 2.1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1 มา 25.00 ml
- 2.2. จากนั้นทำการทดสอบ เช่นเดียวกับวิธีมาตรฐาน ISO 2271-1972 (E)

## 3. การวิเคราะห์สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบที่ถูก Hydrolyse (Sodium lauryl ether sulfate)

- 3.1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากข้อ 1 มา 25 ml ใส่ขวดก้นกลม
- 3.2. เติม 5 M  $H_2SO_4$  ลงไป 5 ml และเติมเศษกระเบื้องลงในขวดก้นกลม 3-5 ชิ้น
- 3.3. นำไปรีฟลักซ์เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และระวังการให้ความร้อน เนื่องจาก

สารละลายจะเกิดฟองอย่างมาก

3.4. เมื่อครบ 3 ชั่วโมง นำขวดก้นกลมออกจากที่ให้ความร้อน จากนั้นนำไปทำให้เย็น

- 3.5. ล้างคอนเดนเซอร์ด้วยน้ำอย่างน้อย 5 ml
- 3.6. เติมฟีนอล์ฟทาเลอิน 1 หยด แล้วนำไปสะเทินด้วย 0.1 M NaOH จนเป็นกลาง
- 3.7. เติมกลอโรฟอร์ม 15 ml และอินดิเคเตอร์ผสม 10 ml ปิดฝาและเขย่าอย่างแรง
- 3.8. นำไปไทเทรตกับ Benzethonium chloride ตามวิธี ISO 2271-1972 (E)

### 3.3.3. การวิเคราะห์ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ ด้วยวิธี Potentiometric titration ด้วยเครื่อง Autotitrator 716 DMS Titrino

#### 3.3.3.1. การวิเคราะห์หาปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบด้วยวิธีของ Application Bulletin No.269/2e ของบริษัท Metrohm

1. การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 3

ปิเปตสารละลาย 0.1 M KHP มา 50 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด

100 ml

#### วิธีการทดลอง

1. ปิเปตสารละลายมา 25.0 ml เติมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 3 จำนวน 10 ml และเมทานอล 5 ml

2. เติมน้ำกลั่น 75 ml ตั้งโปรแกรมของเครื่อง Autotitrator ตาม

Bulletin No.269/2 e

3. เปิดเครื่องปั่นกวนและให้ขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 จุ่ม อยู่ในสารละลาย

4. กดปุ่มเริ่ม เพื่อทำการไทเทรตกับสารละลาย Benzethonium chloride

5. เมื่อถึงจุดยุติ และเครื่องหยุดทำงานสั่ง Print ผลการทดลองออกมา
6. ทำแบลงค์โดยใช้ น้ำกลั่น แทนสารละลายตัวอย่างและทำการทดสอบซ้ำ

### 3.3.3.2. การวิเคราะห์หาปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบด้วยวิธีของ

#### ASTM Designation: D 6173 – 97

1. การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 4

เปิด 0.1 M KHP มาจำนวน 50.0 ml ใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 ml เติม 0.1 M HCl จำนวน 0.1 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วเขย่าให้เข้ากัน

2. การเตรียม 1 % Tritron X-100

ชั่ง Tritron X-100 มา 1.0299 g อย่างละเอียด เติมน้ำปราศจากไอออน จนมีปริมาตรครบ 100 ml

#### วิธีการทดลอง

1. เปิดสารละลายตัวอย่าง มา 25.0 ml
2. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 4 จำนวน 1 ml และเติมน้ำปราศจากไอออน 70 ml
3. ตั้งโปรแกรมของเครื่อง Autotitrator ตามเดิม (Bulletin 269/2 e)
4. เปิดเครื่องปั่นสวน และให้หัวอิเล็กโทรดทั้ง 2 จุ่ม อยู่ในสารละลาย
5. เปิดสารละลาย Tritron X-100 1 % ลงไป 1.0 ml ขณะทำการปั่นสวน
6. กดปุ่มเริ่มเพื่อเริ่มทำการไทเทรตกับสารละลาย Benzethonium chloride
7. เมื่อถึงจุดยุติ และเครื่องหยุดทำงาน สั่ง Print ผลการทดลองออกมา
8. ทำแบลงค์โดยการใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายตัวอย่าง แล้วทำการ

ทดลองซ้ำ

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1. การหาปริมาณ Anionic-active matter ในสารละลายตัวอย่าง ด้วยวิธีมาตรฐานสากล ISO 2271 – 1972 (E)

##### 4.1.1 การหาความบริสุทธิ์ของ Sodium lauryl sulfate

ครั้งที่ 1 น้ำหนักของ Sodium lauryl sulfate 5.0233 g

ครั้งที่ 2 น้ำหนักของ Sodium lauryl sulfate 5.0098 g

ครั้งที่ 3 น้ำหนักของ Sodium lauryl sulfate 5.0125 g

ตารางที่ 4.1 ผลการไทเทรต Sodium lauryl sulfate กับสารละลายมาตรฐาน NaOH 0.92 M (ภาคผนวก ค)

ครั้งที่	ปริมาตรของ NaOH ( ml )			ความบริสุทธิ์ของ Sodium lauryl sulfate ( % w/w )
	เริ่มต้น	จุดยุติ	ใช้ไป	
1	0.00	68.6	68.6	89.26
2	0.00	68.9	68.9	91.09
3	0.00	68.7	68.7	89.99
Blank	0.00	51.70	51.70	-

จากการไทเทรต Sodium lauryl sulfate กับสารละลายมาตรฐาน NaOH พบว่า Sodium lauryl sulfate มีความบริสุทธิ์เฉลี่ย  $90.11 \pm 0.92$  % w/w

##### 4.1.2. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Sodium lauryl sulfate

ชั่ง Sodium lauryl sulfate 1.1424 g

$$T_2 = \frac{[m_2 \times \text{purity} (\%)]}{288.4 \times 100}$$

$$= \frac{[1.1424 \times 90.11]}{288.4 \times 100}$$

ความเข้มข้นของสารละลาย Sodium lauryl sulfate = 0.0036 M

#### 4.1.3. การเทียบมาตรฐานสารละลาย Benzethonium chloride

จากการนำสารละลาย Benzethonium chloride มาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน Sodium lauryl sulfate ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการเทียบมาตรฐานสารละลายกับสาร Benzethonium chloride กับสารละลายมาตรฐาน Sodium lauryl sulfate

ครั้งที่	ปริมาณ Benzethonium chloride (ml)			ความเข้มข้นที่แน่นอนของ Benzethonium chloride (ml)
	เริ่มต้น	จุดยุติ	ใช้ไป	
1	0.00	22.30	22.30	0.0040
2	23.00	45.30	22.30	0.0040
3	0.00	22.40	22.40	0.0040

จากการเทียบมาตรฐานสารละลาย Benzethonium chloride กับสารละลายมาตรฐาน Sodium lauryl sulfate พบว่าความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย Benzethonium chloride = 0.0040 M

#### 4.2 การทดสอบสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ

สารตัวอย่างเชมพู Oriental มีส่วนประกอบดังนี้

1. Sodium lauryl ether sulfate
2. Concamidopropyl betaine
3. Sunflower seed extract
4. Moringa pterygosperma
5. Glycerin

น้ำหนักของสารตัวอย่างครั้งที่ 1 10.0017g

น้ำหนักของสารตัวอย่างครั้งที่ 2 10.0310 g

น้ำหนักของสารตัวอย่างครั้งที่ 3 10.0203 g

#### 4.2.1. การทดสอบสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบโดยวิธี Two-phase titration (ISO 2271-1989 (E))

จากการทดสอบสารละลายตัวอย่างครั้งที่ 1, 2, 3 โดยวิธี Two-phase titration ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3-4.6

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างครั้งที่ 1 ที่วิเคราะห์ได้โดยวิธีการไทเทรตแบบสองเฟส

ครั้งที่	ปริมาตร Benzethonium chloride (ml)		
	เริ่มต้น	จุดยุติ	ใช้ไป
1	0.00	15.00	15.00
2	16.00	30.70	14.70
3	0.00	15.00	15.00

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างครั้งที่ 2 ที่วิเคราะห์ได้โดยวิธีการไทเทรตแบบสองเฟส

ครั้งที่	ปริมาตร Benzethonium chloride (ml)		
	เริ่มต้น	จุดยุติ	ใช้ไป
1	15.00	29.20	14.20
2	0.00	14.20	14.20
3	15.00	29.10	14.10

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างครั้งที่ 3 วิเคราะห์ได้  
โดยวิธีการไทเทรตแบบสองเฟส

ครั้งที่	ปริมาณ Benzethonium chloride (ml)		
	เริ่มต้น	จุดยุติ	ใช้ไป
1	0.00	13.90	13.90
2	15.00	28.80	13.80
3	0.00	13.80	13.80

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ โดยวิธีการไทเทรตแบบ  
สองเฟส

ตัวอย่าง	ปริมาณสาร(% w/w) Sodium lauryl ether sulfate
1	8.975
2	8.508
3	8.316
เฉลี่ย	$8.599 \pm 0.339$

จากการทดสอบปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้  
โดยวิธีการไทเทรตแบบสองเฟสพบว่ามีปริมาณสาร Sodium lauryl ether sulfate อยู่  
 $8.599 \pm 0.339$  % w/w

4.2.2. การหาปริมาณ Anionic-active matter ในสารละลายตัวอย่าง โดยวิธี  
โพเทนซีโอเมตริกไทเทรชัน ด้วยเครื่อง Autotitrator 716 DMS Titrino

4.2.2.1 การทดสอบสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างโดยวิธี

Application Bulletin No. 268/1 e (ภาคผนวก ง)

จากการทดสอบสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างครั้งที่  
1, 2, โดยวิธี Application Bulletin No. 268/1 e ได้ผลดังตารางที่ 4.7–4.10

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างครั้งที่ 1 ที่วิเคราะห์  
ได้โดยวิธี Application Bulletin No. 268/1 e

ครั้งที่	ปริมาตร Benzethonium chloride (ml)		
	เริ่มต้น	จุดยุติ	ใช้ไป
1	0.000	17.700	17.700
2	0.000	17.234	17.234
3	0.000	17.132	17.132

ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างครั้งที่ 2 โดยวิธี  
Application Bulletin No. 268/1 e

ครั้งที่	ปริมาตร Benzethonium chloride (ml)		
	เริ่มต้น	จุดยุติ	ใช้ไป
1	0.000	17.752	17.752
2	0.000	17.637	17.637
3	0.000	17.994	17.994

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างครั้งที่ 3 โดยวิธี Application Bulletin No. 268/1 e

ครั้งที่	ปริมาตร Benzethonium chloride (ml)		
	เริ่มต้น	จุดยุติ	ใช้ไป
1	0.000	17.769	17.769
2	0.000	17.942	17.942
3	0.000	17.915	17.915

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่าง โดยวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e

ตัวอย่าง	ปริมาณสาร (% w/w) Sodium lauryl ether sulfate
1	10.453
2	10.686
3	10.747
เฉลี่ย	$10.629 \pm 0.155$

จากการทดสอบปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้ โดยวิธี Application bulletin No. 268/1 e พบว่ามีปริมาณสาร Sodium lauryl ether sulfate อยู่  $10.629 \pm 0.155$  % w/w

#### 4.2.2.2. การทดสอบสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างโดยวิธี

##### ASTM D 6173–97 (ภาคผนวก จ)

จากผลการทดสอบสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างที่ 1, 2, 3 โดยวิธี ASTM D 6173–97 ได้ผลดังตารางที่ 4.11–4.14

ตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างครั้งที่ 1 โดยวิธี  
ASTM D 6173-97

ครั้งที่	ปริมาณ Benzethonium chloride (ml)		
	เริ่มต้น	จุดยุติ	ใช้ไป
1	0.000	17.268	17.268
2	0.000	17.555	17.555
3	0.000	17.270	17.270

ตารางที่ 4.12 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างครั้งที่ 2 โดยวิธี  
ASTM D 6173-97

ครั้งที่	ปริมาณ Benzethonium chloride (ml)		
	เริ่มต้น	จุดยุติ	ใช้ไป
1	0.000	17.369	17.369
2	0.000	17.398	17.398
3	0.000	17.324	17.324

ตารางที่ 4.13 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างครั้งที่ 3 โดยวิธี  
ASTM D 6173-97

ครั้งที่	ปริมาณ Benzethonium chloride (ml)		
	เริ่มต้น	จุดยุติ	ใช้ไป
1	0.000	17.505	17.505
2	0.000	17.597	17.597
3	0.000	17.547	17.547

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่าง โดยวิธี ASTM D 6173-97

ตัวอย่าง	ปริมาณสาร (% w/w) Sodium lauryl ether sulfate
1	10.458
2	10.428
3	10.551
เฉลี่ย	$10.479 \pm 0.064$

จากการทดสอบปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบในสารละลายตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้ โดยวิธี ASTM D 6173-97 พบว่ามีปริมาณสาร/Sodium lauryl ether sulfate อยู่  $10.479 \pm 0.064$  % w/w

#### 4.2.3. การวิเคราะห์สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบแยกวิเคราะห์ โดย Hydrolysis โดยวิธี ISO 2870-1986 (E)

ตารางที่ 4.15 แสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิว โดยการ Hydrolysis

ครั้งที่	ปริมาตร Benzethonium chloride (ml)		
	เริ่มต้น	จุดยุติ	ใช้ไป
1	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์หาปริมาณสารลดแรงตึงผิวในแชมพู โดยทำการเปรียบเทียบของวิธีการวิเคราะห์สองวิธี คือ เทคนิคการไทเทรตแบบสองเฟส (Two-phase titration) กับเทคนิคโพเทนชิอเมตริกไทเทรชัน โดยการใช้เมทานอลกับสารละลายบัฟเฟอร์ 3 (Application bulletin No. 268/1e ของบริษัท Metrohm) และการวิเคราะห์โดยวิธีโพเทนชิอเมตริกไทเทรชัน โดยการใช้ Triton X-100 กับสารละลายบัฟเฟอร์ 4 (ASTM D6173-97) จากการทดลองพบว่าเทคนิคแต่ละเทคนิคมีความสามารถในการวิเคราะห์สารได้แตกต่างกัน ซึ่งผลการทดลอง เป็นดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการเปรียบเทียบ การหาปริมาณ Sodium lauryl ether sulfate ของวิธีการวิเคราะห์ วิธีต่างๆ

วิธีการวิเคราะห์	ปริมาณสาร(% w/w) Sodium lauryl ether sulphate
Two-phase titration	8.599 ± 0.339
Application bulletin No. 268/1e	10.629 ± 0.155
ASTM D6173-97	10.479 ± 0.064

จากการทดลองจะเห็นว่าเทคนิคการไทเทรตแบบสองเฟส มีปริมาณ Sodium lauryl ether sulfate ที่แตกต่างกับวิธีของ Application bulletin No. 268/1e และ ASTM D 6173-97 ซึ่งทั้งสองวิธีนี้มีค่าใกล้เคียงกัน

ดังนั้น จึงได้ทำการทดสอบแตกต่างระหว่างข้อมูลที่วิเคราะห์ โดยใช้ F-test พบว่าทั้งสามวิธีมีความแตกต่างกันโดยที่วิธีไทเทรตแบบสองเฟส (Two-phase titration) กับวิธีของ Application bulletin No. 268/1e และวิธี Application bulletin No. 268/1e กับวิธีของ ASTM D6173-97 ให้ผลการวิเคราะห์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ผลการวิเคราะห์โดย

วิธีไทเทรตแบบสองเฟส (Two-phase titration) และวิธี ASTM D6173-97 ให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการปรับเทียบเครื่องมือ Autotitrator ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 และ 7 ทุกครั้งก่อนทำการทดลอง เพื่อลดข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากเครื่องที่ใช้
2. ควรทำการทดสอบค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3 และ 4 ก่อนทำการทดลองทุกครั้ง
3. เวลาทำเทคนิคโพเทนชิอเมตริกเครื่องแก้วอุปกรณ์ควรล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน ก่อนทุกครั้งเนื่องจากขี้ที่ใส่ทดลองมีความไวต่อไอออน ซึ่งจะทำการทดลองผิดพลาดได้
4. ควรมีการติดตั้งฉลากสารเคมีที่บรรจุอยู่ใน Exchange unit ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนสารเคมี เนื่องจากป้องกันการใช้สารเคมีที่ผิดพลาด
5. ในขณะที่ทำการไทเทรตจะสังเกตสีของสารละลายได้ยาก ควรเขย่าแรง ๆ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ แล้วจะทำให้สังเกตสีได้ง่าย

## บรรณานุกรม

- คณิตา ตั้งคณานุกรณ์. (2542) *เคมีไฟฟ้าวิเคราะห์*. โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เพ็ญศรี ทองนพเนื่อ. (2542) *เคมีวิเคราะห์ไฟฟ้า*. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย.
- อรุณี คงศักดิ์ไพศาล. (2536) *ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 1*. พิมพ์ครั้งที่ 4. คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อรัญญา มโนสร้อย. (2527) *เครื่องสำอาง I*. ภาควิชาเภสัชอุตสาหกรรม คณะเภสัชศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พิมพ์ร ลีลาพรพิสิฐ. (2543) *เครื่องสำอางเพื่อทำความสะอาด*. ภาควิชาเภสัชอุตสาหกรรม  
คณะเทคโนโลยีเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง: แชมพู*. มอก 162-2528.
- M.S. Balsam and Edward Sagarin. *Cosmetics science and technology*. Vol. 2, pp.79-93.
- Wilfried Umbach. *Cosmetics and Toiletries Development, Production and Use*. West  
Germany. pp. 24-31.
- ASTM Designational: D 1681-92(Reapproved 1997). Standard test Method for Active Matter  
in Anionic-active Ingradient in Detergents by Cationic Titration Procedure.
- ASTM Designational: D 4251-89(Reapproved 1997). Standard test Method for Active Matter  
in Anionic-active Surfactant by Potentiometetric Titration.
- ASTM Designational: D 6173-97(Reapproved 1997). Standard test Method for Various  
Anionic Surfactant Active by Potentiometetric Titration.
- International Standard ISO 2271-1972(E) .Surface active agent-Detergent-Determinational of  
anionic-active matter (direct two-phase titration procedure).
- International Standard ISO 2870-1986(E) .Surface active agent-Detergent-Determinational of  
anionic-active matter hydrolysable and non- hydrolysable under acid conditions.
- Metrohm Application Bulletin No. 233/2 e.
- Metrohm Application Bulletin No. 269/2 e.



## การใช้โพเทนชิโอเมตริกไทเทรชัน ด้วยเครื่อง Autotitrator 716 DMS Titrino บริษัท Metrohm

- นำสารเคมีที่เป็นตัวไทเทรตใส่ลงในส่วนที่เรียกว่า Exchange Unit นำส่วนที่เป็น Exchange Unit ไปวางไว้บนเครื่อง 716 ให้ใบพัดที่อยู่บน Exchange Unit พัดกลับไปกลับมา
- กดปุ่ม DOS ค้างไว้จนกว่าหน้าจอขึ้น cylinder empty กดปุ่ม stop/fill สารเคมีที่อยู่ในขวดก็จะไหลลงกระบอกสูบ (ช่วงนี้อาจปรับปุ่ม  $dv/dt$  ให้อยู่ที่เลขน้อยๆ ก็ได้เพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศ) ทำซ้ำจนกว่าสารเคมีเต็มกระบอกสูบ
- Mode ที่ใช้งาน
  - DET (Dynamic Endpoint Titration) ไทเทรตโดยหาจุดยุติด้วยวิธีไดนามิกส์ คือ การไทเทรตจะช้าลงอย่างอัตโนมัติเมื่อใกล้จุดยุติ
  - MET (Monotonic Endpoint Titration) ไทเทรตด้วยปริมาณการเติมที่คงที่ในการหาจุดยุติตลอดการไทเทรต
  - SET (Set Endpoint Titration) ไทเทรตโดยกำหนดจุดยุติไว้
  - MEAS จะทำหน้าที่เป็น Meter สำหรับการวัด pH / mv / Temperature
  - CAL ใช้สำหรับการ Calibrate ค่า pH
- เลือก Mode ที่จะใช้งานให้เหมาะสมโดยการกดปุ่ม mode หน้าจอตรงบรรทัดล่างจะขึ้น mode ที่จะทำการไทเทรต ถ้าไม่ต้องการให้กด mode ซ้ำ mode ใหม่ก็ขึ้นมา ถ้าพบ Mode ที่จะทำการไทเทรตตามที่ต้องการกด enter จากนั้นให้เลือก Function ในการวัดของเครื่องโดยกด select เพื่อเลือกว่าจะเป็น pH หรือ U กด enter ↵ เพื่อให้เครื่องรับ Mode ที่เรากำหนด
- การตั้ง Parameter สำหรับ Mode DET กับ MET
 

กดปุ่ม Parameters หน้าจอขึ้น > titration parameter กด enter ↵

  - หน้าจอขึ้น meas pt. Density เป็นช่วงความหนาแน่นที่ใช้ในการวัดให้ป้อน 4 enter ↵
  - หน้าจอขึ้น min. incr เป็น ml ต่ำสุดที่ใช้ในการไทเทรต ป้อนตัวเลข  $\mu$  enter ↵
  - หน้าจอขึ้น titr. Rate เป็น rate ที่ใช้ในการไทเทรตป้อนตัวเลขหรือ max enter ↵
  - หน้าจอขึ้น signal drift กระแสคงที่ที่  $mv$  ก่อนที่จะไทเทรตต่อป้อน 50 mv enter ↵
  - หน้าจอขึ้น equilibr. Time เวลาที่จะให้แต่ละหยดห่างกันกี่วินาที ป้อนตัวเลขตามต้องการ (โดยทั่วไปจะตั้งไว้ 26 S) enter ↵

- หน้าจอขึ้น start V OFF ในกรณีที่ไม add volume (ถ้าต้องการที่จะ add ml ก่อนทำการไทเทรต กด select) หน้าจอขึ้น absolute กด enter↵
- หน้าจอขึ้น start V ป้อน ml ที่จะ add ก่อนการไทเทรต กด enter↵
- หน้าจอขึ้น dos rate rate ที่จะ start V เป็น max กด enter↵
- หน้าจอขึ้น pause เป็นเวลาที่รอให้ stirrer ทำงานก่อนทำการไทเทรต ป้อนตัวเลข .. S เป็นวินาที enter↵
- หน้าจอขึ้น meas input เป็น input ที่เลือก electrode กด select เพื่อเลือก 1, 2, diff กด enter↵
- หน้าจอขึ้น temperature 25°C กด enter↵
- หน้าจอขึ้น > stop conditions enter↵
  - หน้าจอขึ้น stop V abs กด enter↵
  - หน้าจอขึ้น stop V ป้อนค่า ml กด enter↵
  - หน้าจอขึ้น stop pH ถ้าต้องการตั้งจุด end point ที่ pH ป้อนค่า pH ถ้าไม่ต้องการให้เลือก off กด enter↵
  - หน้าจอขึ้น stop EP ป้อนจุด end point ที่จะสั่งให้เครื่องหยุดเมื่อเจอ end point (ตั้งค่าได้ 1 ถึง 9) กด enter↵
- หน้าจอขึ้น > statistics กด enter↵
  - หน้าจอขึ้น status ถ้าต้องการหาค่าเฉลี่ย กด select เลือก on ถ้าไม่ต้องการหาค่าเฉลี่ยเลือก off ถ้าเลือก on กด enter↵
  - หน้าจอขึ้น mean n= ป้อนตัวเลขที่จะทำซ้ำ กด enter↵
  - หน้าจอขึ้น res. Tab เลือก original ต้องการให้หาค่าเฉลี่ยทุกค่าที่ทำซ้ำ กด enter↵
- หน้าจอขึ้น > evaluation กด enter↵
  - หน้าจอขึ้น EPC ค่ามาตรฐานของจุดยุติ อยู่ในช่วง 5...30 ให้ป้อนตัวเลข กด enter↵
  - หน้าจอขึ้น EP recognition การสั่ง print กราฟ จะมีกราฟให้เลือก all, greatest last, window, OFF โดยการกด select เมื่อเลือก กด enter↵
  - หน้าจอขึ้น fix EP, at ... กด enter↵
  - หน้าจอขึ้น pK / HNP กด enter↵
- หน้าจอขึ้น > preselections กด enter↵

- หน้าจอขึ้น req. Ident การตั้งชื่อของ Sample โดยการเลือก id, id1& 2 all, OFF กด enter↵
- หน้าจอขึ้น req. Smpl size เป็นการป้อนน้ำหนักและหน่วยของ sample หลังจากที่เกิด start แล้ว โดยการกด select เพื่อเลือก value, unit, all off กด enter↵
- หน้าจอขึ้น activate pulse OFF กด enter↵

#### 6. การตั้ง parameter สำหรับ Mode Set

กด parameter หน้าจอขึ้น > SET 1 กด enter↵

- หน้าจอขึ้น EP at pH ป้อนค่า pH ที่ต้องการให้เป็นจุดยุติ กด enter↵
- หน้าจอขึ้น dynamics OFF กด enter↵
- หน้าจอขึ้น max rate อัตราสูงสุดที่ใช้ในการไทเทรต max กด enter↵
- หน้าจอขึ้น min rate อัตราสูงสุดที่ใช้ในการไทเทรต  $\mu\text{V}/\text{min}$  กด enter↵
- หน้าจอขึ้น Stop crit กด select เพื่อเลือกมาตรฐานในการ stop มี drift, time กด enter↵

หน้าจอขึ้น > SET 2 กด enter↵

- หน้าจอขึ้น EP at pH ถ้าต้องการกำหนดจุดยุติ 2 จุดก็ให้ป้อนค่าของ endpoint ที่ 2 กด enter↵ (parameter จะเหมือนกับข้างบน)

หมายเหตุ parameter ที่เหลือจะเหมือนกับ mode DET

#### 7. การตั้ง parameter สำหรับ Mode CAL

กด parameter หน้าจอขึ้น > Calibration parameter กด enter↵

- หน้าจอขึ้น meas. input 1 electrode เลือกอยู่ที่ input อะไร (1, 2, diff) กด enter↵
- หน้าจอขึ้น cal. Tamp  $25^{\circ}\text{C}$  ทำการ Calibration ที่อุณหภูมิเท่าไร ป้อนตัวเลข กด enter↵
- หน้าจอขึ้น buffer 1 pH ... ให้ป้อนค่าของบัฟเฟอร์ที่จะทำการ Cal ในจุดแรก กด enter↵
- หน้าจอขึ้น buffer 2 pH ... ให้ป้อนค่าของบัฟเฟอร์ที่จะทำการ Cal ในจุดที่สอง กด enter↵
- หน้าจอขึ้น buffer 3 pH non กด enter↵
- หน้าจอขึ้น Signal drift  $2 \text{ mV}/\text{min}$  กด enter↵
- หน้าจอขึ้น equilibr time 110S กด enter↵
- หน้าจอขึ้น electr id ชนิดของอิเล็กโทรด กด enter↵

- หน้าจอขึ้น Sample changecal : OFF กด enter↵
- หน้าจอขึ้น activate pulse : OFF กด enter↵
- หน้าจอขึ้น > statistics OFF กด enter↵

## 8. การสร้างสูตร

กด  หน้าจอขึ้น > formula กด enter↵

- หน้าจอขึ้น RS? Result ที่เท่าไรให้ป้อนตัวเลข 1...9 กด enter↵
- หน้าจอขึ้น RS 1= ให้ป้อนสูตรโดยกำหนดให้

$EP_1 = m1$  ที่ใช้ไปจนถึง endpoint ที่ 1

CO1...CO2 = ค่าคงที่ต่างๆ

CO0 = น้ำหนักของสารตั้งอย่าง

\* = เครื่องหมายคูณ

/ = เครื่องหมายหาร

เมื่อสร้างสูตรเสร็จเรียบร้อยแล้ว กด enter↵

- หน้าจอขึ้น RS 1 text RS 1 ให้ป้อนชื่อของสูตร โดยกด  หรือ  ค้างไว้ตัวหนึ่งสัปดาห์

ถ้าต้องการตัวอักษรใด ให้กด enter↵ และถ้าต้องการตัวอักษรตัวต่อไป กด  ตัวอักษรที่จะเลือก

ถ้าต้องการ กด enter↵ ทำซ้ำแบบนี้จนครบตามจำนวนตัวอักษรที่ต้องการ กด QUIT เพื่อให้เหลือแต่ชื่อที่ต้องการ กด enter↵

- หน้าจอขึ้น RS 1 decimal places ให้ป้อนตัวเลขที่ต้องการเป็นจุดทศนิยม กด enter↵
- หน้าจอขึ้น RS 1 Unit กด Select เพื่อเลือกหน่วย กด enter↵
- หน้าจอขึ้น RS? หมายถึงถ้าต้องการสร้างสูตรที่ใช้ในการคำนวณสูตรที่ 2 ให้ป้อนหมายเลข (ทำตามขั้นตอนเดียวกับการสร้างสูตรที่ 1) กด Quit 2 ครั้ง

9. กด  ซ้ำ 3 ครั้ง หน้าจอขึ้น > report กด enter↵ หน้าจอขึ้น report : กด select เพื่อเลือก def report ถ้าต้องการ report 2 อย่างให้กด Select เลือกอย่างที่ 1 ตามด้วยเครื่องหมาย ; และกด select เลือกตัวที่ 2 ตามต้องการ กด enter↵ กด Quit ซ้ำ 3 ครั้ง

## 10. การป้อนค่าคงที่ (CO1...CO9)

กด 1 หน้าจอขึ้น CO1 ให้ป้อนตัวเลข กด enter↵ ป้อนค่าคงที่จนครบ กด enter↵

C-fmla

#### 11. การเก็บ Method

3

กด user meth หน้าจอขึ้น > store method กด enter↵ < ;

- หน้าจอขึ้น method name : ให้ป้อนชื่อของ method โดยกด reports หรือ -7 ตัว

Mode

อักษรขึ้นที่หน้าจอจะวิ่งเลือกตัวอักษร กด enter↵ ทำซ้ำแบบนี้จนเลือกตัวอักษรครบ

ตามต้องการ กด enter↵

- หน้าจอขึ้น Mode ที่เลือก และชื่อของ method

#### 12. การใช้งาน

3

กด user meth หน้าจอขึ้น > store method กด enter↵

- หน้าจอขึ้น method name : กด select จนกว่าจะพบชื่อของ method ที่ต้องการ กด enter↵

13. เตรียม sample ให้พร้อมก่อนจะทำการไทเทรต เลือก electrode ให้เหมาะสมกับงานที่จะไทเทรต

กด start

.....



ภาคผนวก ข

### การทดสอบสารตัวอย่าง

ตัวอย่างที่นำมาทดสอบ คือ แชมพู ซึ่งมีสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ คือ Sodium lauryl ether sulfate 15–30 %

การแปรค่ามวลของสารตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

จากตารางแสดงมวลของสารตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ โดยปริมาณ

ปริมาณ Active Matter ในตัวอย่าง (% w/w)	มวลที่ใช้ทดสอบ
15	10.00
30	5.00
45	3.20
60	2.40
80	1.80
100	1.40

จะเห็นว่าปริมาณ Active matter ในสารตัวอย่างที่นำมาทดสอบอยู่ระหว่าง 15 – 30 % นั้นตกอยู่ในช่วงน้ำหนัก 5–10 g ดังนั้นจึงแปรค่ามวลของสารตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบเป็น 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 g ตามลำดับดังนี้

ก. มวลที่ใช้ทดสอบ 5.0619 g

ครั้งที่	ปริมาตรที่จุดเริ่มต้น (ml)	ปริมาตรที่จุดยุติ (ml)	ปริมาตรไทเทรนต์ที่ใช้ไป (ml)
1	0.00	8.80	8.80
2	9.00	17.70	8.70
3	18.00	26.80	8.80
		เฉลี่ย	8.77

ข. มวลที่ใช้ทดสอบ 6.0553 g

ครั้งที่	ปริมาตรที่จุดเริ่มต้น (ml)	ปริมาตรที่จุดยุติ (ml)	ปริมาตรไทเทรนต์ที่ใช้ไป (ml)
1	0.00	8.90	8.90
2	9.00	17.90	8.90
3	18.00	26.80	8.80
		เฉลี่ย	8.87

## ค. มวลที่ใช้ทดสอบ 7.0014 g

ครั้งที่	ปริมาตรที่จุดเริ่มต้น (ml)	ปริมาตรที่จุดยุติ (ml)	ปริมาตรไทเทรนต์ที่ใช้ไป (ml)
1	18.00	28.50	10.50
2	28.50	39.00	10.50
3	39.00	49.60	10.60
		เฉลี่ย	10.53

## ง. มวลที่ใช้ทดสอบ 8.0073 g

ครั้งที่	ปริมาตรที่จุดเริ่มต้น (ml)	ปริมาตรที่จุดยุติ (ml)	ปริมาตรไทเทรนต์ที่ใช้ไป (ml)
1	0.00	11.60	11.60
2	12.00	23.60	11.60
3	24.00	35.50	11.50
		เฉลี่ย	11.57

## จ. มวลที่ใช้ทดสอบ 9.0041 g

ครั้งที่	ปริมาตรที่จุดเริ่มต้น (ml)	ปริมาตรที่จุดยุติ (ml)	ปริมาตรไทเทรนต์ที่ใช้ไป (ml)
1	0.00	13.60	13.60
2	14.00	27.50	13.50
3	28.00	41.50	13.50
		เฉลี่ย	13.53

## ฉ. มวลที่ใช้ทดสอบ 10.0061 g

ครั้งที่	ปริมาตรที่จุดเริ่มต้น (ml)	ปริมาตรที่จุดยุติ (ml)	ปริมาตรไทเทรนต์ที่ใช้ไป (ml)
1	27.50	42.50	15.00
2	0.00	15.00	15.00
3	15.00	30.00	15.00
		เฉลี่ย	15.00

คำนวณปริมาณสาร Anionic-matter ในหน่วย % โดยน้ำหนัก

$$\% w/w = \frac{V_3 \times T_1 \times 1000 \times M \times 100}{25 \times 1000 \times m_0}$$

- เมื่อ  $m_0$  = มวลของสารตัวอย่างในหน่วย g  
 $T_1$  = โมลาริตีของสารละลาย Benzethonium chloride  
 $V_3$  = ปริมาตร (ml) ของสารละลาย Benzethonium chloride ที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายตัวอย่าง 25 ml  
 $M$  = มวลโมลสัมพัทธ์ (Relative molar mass) ของ Anionic active matter ในสารตัวอย่างประกอบด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุลบ คือ Sodium lauryl sulfate

มีมวลโมเลกุล = 376.507

จากมวลที่ใช้ในการทดสอบ 5.0619 g

$$\% w/w = \frac{4 \times 8.77 \times 0.0040 \times 376.507}{5.0619} = 10.4371$$

ทำการคำนวณ เช่น เดียวกันจะได้ว่า

มวลที่ใช้ในการทดสอบ 5.0619 g คำนวณ % w/w =  $10.44 \pm 0.1085$

มวลที่ใช้ในการทดสอบ 6.0553 g คำนวณ % w/w =  $8.82 \pm 0.0918$

มวลที่ใช้ในการทดสอบ 7.0014 g คำนวณ % w/w =  $9.03 \pm 0.0800$

มวลที่ใช้ในการทดสอบ 8.0073 g คำนวณ % w/w =  $8.70 \pm 0.0692$

มวลที่ใช้ในการทดสอบ 9.0041 g คำนวณ % w/w =  $9.05 \pm 0.0597$

มวลที่ใช้ในการทดสอบ 10.0061 g คำนวณ % w/w =  $9.03 \pm 0.0000$

### การวัดการกระจายของข้อมูลและการวิเคราะห์ความแปรปรวน

การกระจายของข้อมูล

ก. มวลที่ใช้ทดสอบ 5.0619 g

ครั้งที่	ปริมาตรไทเทรนต์ที่ใช้ไป (ml)	% w/w ของสารลดแรงตึงผิวที่คำนวณได้
1	8.80	10.4728
2	8.70	10.3538
3	8.80	10.4728
	เฉลี่ย	10.4331

จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D)  $= \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$

$$= \sqrt{0.0264 + 0.0557 + 0.264}$$

$$= 0.1085$$

ข. มวลที่ใช้ทดสอบ 6.0553 g

คำนวณ เช่นเดียวกับข้อ ก. คำนวณค่า S.D = 0.0918

ค. มวลที่ใช้ทดสอบ 7.0014 g

คำนวณ เช่นเดียวกับข้อ ก. คำนวณค่า S.D = 0.0800

ง. มวลที่ใช้ทดสอบ 8.0073 g

คำนวณ เช่นเดียวกับข้อ ก. คำนวณค่า S.D = 0.0692

จ. มวลที่ใช้ทดสอบ 9.0041 g

คำนวณ เช่นเดียวกับข้อ ก. คำนวณค่า S.D = 0.0597

ฉ. มวลที่ใช้ทดสอบ 10.0061 g

คำนวณ เช่นเดียวกับข้อ ก. คำนวณค่า S.D = 0.0000

## การวิเคราะห์ความแปรปรวน

Ho = น้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ ให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกันเลย

Hi = มีน้ำหนักที่ใช้ทดสอบอย่างน้อย 1 คู่ ที่ให้ผลการทดลองแตกต่างกัน

ทดสอบสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

น้ำหนักที่ใช้ทดสอบ (g)	% w/w ที่คำนวณได้			Total
	1	2	3	
5.0619	10.4728	10.3538	10.4728	31.2994
6.0553	8.8542	8.8542	8.7547	26.4631
7.0014	9.0344	9.0344	9.1204	27.1892
8.0073	8.7270	8.7270	8.6518	26.1058
9.0041	9.0989	9.0320	9.0320	27.1629
10.0061	9.0306	9.0306	9.0306	27.0918
				165.3122

$$\begin{aligned}
 SST &= \sum_i \sum_j x_{ij}^2 - x^2 \dots / t_r \\
 &= [10.4728^2 + 10.3538^2 + 10.4728^2 + 8.8542^2 + 8.8542^2 + 8.7547^2 + \\
 &\quad 9.0344^2 + 9.0344^2 + 9.1204^2 + 8.7270^2 + 8.7270^2 + 8.6518^2 + 9.0989^2 \\
 &\quad + 9.0320^2 + 9.0320^2 + 9.0306^2 + 9.0306^2 + 9.0306^2] - 165.3122^2 / 18 \\
 &= 1524.1949 - 165.3122^2 / 18 \\
 &= 5.9659
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SST_r &= \sum_i x_i^2 / r - x^2 \dots / t_r \\
 &= 31.2994^2 + 26.4631^2 + 27.1892^2 + 26.1058^2 + 27.1629^2 + 27.0918^2 / 3 \\
 &\quad - 165.3122^2 / 18 \\
 &= 5.9384
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SSE &= SST - SST_r \\
 &= 5.9659 - 5.9384 \\
 &= 0.0275
 \end{aligned}$$

## ANOVA: ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

SOV	SS	df	MS	F
Treatments	5.9384	6-1 = 5	1.1877	516.3913
Error	0.0275	6(3-1) = 12	0.0023	
Total	5.9659	17		

$$\begin{aligned} \text{ค่า } F \text{ จากตารางคือ } F_{(t-1), t(r-1)} &= F_{5, 12} (0.01) \\ &= 5.04 \end{aligned}$$

$\therefore F_{\text{cal}} > F_{\text{table}}$  จึงปฏิเสธ  $H_0$  สรุปได้ว่ามีน้ำหนักที่ใช้ทดสอบอย่างน้อย 1 คู่ที่ให้ผลการทดลองแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า น้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบมีผลต่อการทดลอง ดังนั้น จึงต้องทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อน (Multiple comparison) ต่อไปว่า น้ำหนักที่ใช้ทดสอบใดบ้างที่ให้ผลการทดลองแตกต่างกับน้ำหนักอื่น โดยจะใช้วิธี LSD (Least significant difference) เป็นตัวทดสอบ

การเปรียบเทียบเชิงซ้อน ด้วยวิธี LSD (Least significant difference)

จากตาราง ANOVA

SOV	SS	df	MS	F
Treatments	5.9384	6-1 = 5	1.1877	516.3913
Error	0.0275	6(3-1) = 12	0.0023	
Total	5.9659	17		

$$LSD = t_{2/2} S_d = t_{2/2} \sqrt{2S^2 / r}$$

$$S^2 = \text{MS ของ Error} = 0.0275$$

$$LSD = t_{0.025/12} \sqrt{2(0.0275)^2 / 5}$$

$$= 2.18 (0.0174)$$

$$= 0.0379$$

เรียงอันดับค่าเฉลี่ยของ % w/w ที่คำนวณได้ จากน้อยไปมาก โดยกำหนดให้น้ำหนักที่ใช้ทดสอบ 5.0619–10.0061 g เป็น  $t_1$ – $t_6$  ตามลำดับ

$t_4$	$t_2$	$t_3$	$t_6$	$t_5$	$t_1$
8.70	8.82	9.03	9.03	9.05	10.4371

ทำการเปรียบเทียบ โดยใช้  $t_6$  เป็นตัวเปรียบเทียบ

ถ้า  $X_i - X_j > 0.0379$

$t_6 - t_4$	=	9.03 - 8.70	=	0.33	>	0.0379
$t_6 - t_2$	=	9.03 - 8.82	=	0.21	>	0.0379
$t_6 - t_3$	=	9.03 - 9.03	=	0.00	<	0.0379
$t_6 - t_5$	=	9.03 - 9.05	=	0.02	<	0.0379
$t_6 - t_1$	=	9.03 - 10.44	=	1.41	>	0.0379

สรุปได้ว่าน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ 5.0649, 6.0553 และ 8.0073 g ให้ผลการทดลองที่แตกต่างออกไปอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนน้ำหนักที่ 7.0014, 9.0041 และ 10.0061 g ให้ผลการทดลองที่แตกต่างออกไปอย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %



## 1. การคำนวณของเทคนิคการไทเทรตแบบสองเฟส (ISO 2271-1989 (E))

### 1.1. การคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของ NaOH

ชั่ง KHP มา 10.2157 g

$$M = \frac{10.2157 \times 1000}{204.23 \times 100}$$

ความเข้มข้นของ KHP = 0.5000 M

นำสารละลาย NaOH ไปไทเทรตกับสารละลาย KHP ได้ผลการทดลองดังตาราง

ตาราง ค.1 แสดงผลการไทเทรตสารละลาย NaOH กับสารละลายมาตรฐาน KHP

ครั้งที่	ปริมาตรของสารละลาย KHP (ml)		
	เริ่มต้น	จุดยุติ	ใช้ไป
1	2.00	7.40	5.40
2	8.00	13.40	5.40
3	14.00	19.40	5.40

จากการไทเทรต คำนวณความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ได้ดังนี้

$$M = \frac{0.50 \times 10}{5.40}$$

ความเข้มข้นของ NaOH = 0.92 M

ครั้งที่ 1 = 0.92

ครั้งที่ 2 = 0.92

ครั้งที่ 3 = 0.92

เฉลี่ย = 0.92 M

## 1.2. การคำนวณหาความบริสุทธิ์ของ Sodium lauryl sulfate ในหน่วย % w/w

$$\% \text{ w/w} = \frac{28.84 (v_1 - v_0) T_0}{m_1}$$

$v_0$  = ปริมาตร (ml) ของสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำแบลนด์

$v_1$  = ปริมาตร (ml) ของสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตสารตัวอย่าง

$m_1$  = มวล (g) ของ Sodium lauryl sulfate ที่ใช้ทดสอบ

$T_0$  = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

$$\% \text{ w/w} = \frac{28.84 (68.60 - 51.70) 0.92}{5.0233}$$

$$= 89.26$$

$$\text{ครั้งที่ 1} = 89.26$$

$$\text{ครั้งที่ 2} = 91.09$$

$$\text{ครั้งที่ 3} = 89.99$$

$$\text{เฉลี่ย} = \frac{89.26 + 91.09 + 89.99}{3}$$

$$= 90.11 \text{ M}$$

$$\text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D)} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{(89.26 - 90.11)^2 + (91.09 - 90.11)^2 + (89.99 - 90.11)^2}{3-1}}$$

$$= 0.92$$

### 1.3. คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Sodium lauryl sulfate

ซึ่ง Sodium lauryl sulfate มี 1.1424 g

$$T_2 = \frac{m_2 \times \text{purity} (\%)}{288.4 \times 100}$$

$m_2$  = มวลในหน่วย g ของ Sodium lauryl sulfate ที่ใช้

$$\begin{aligned} T_2 &= \frac{1.1424 \times 90.11}{288.4 \times 100} \\ &= 0.0036 \text{ M} \end{aligned}$$

### 1.4. คำนวณ Molarity $T_1$ ของสารละลาย Benzethonium chloride

$$T_1 = \frac{T_2 \times 25.0}{V_2}$$

$T_2$  = โมลาริตีของสารละลาย Sodium lauryl sulfate

$V_2$  = ปริมาตร (ml) ของ Benzethonium chloride ที่ใช้ไป

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{0.0036 \times 25.0}{22.33} \\ &= 0.0040 \text{ M} \end{aligned}$$

### 1.5. การคำนวณของวิธีการไทเทรตแบบสองเฟส [ISO2271-1989]

$$\% \text{ w/w} = \frac{(v_0 - v_1) \times C \times Mr_1 \times 4}{m}$$

เมื่อ  $v_0$  = ปริมาตร Titrant ที่ใช้ในการหา Total

$v_1$  = ปริมาตร Titrant ที่ใช้เมื่อสารละลาย reflux เรียบร้อยแล้ว

$C$  = ความเข้มข้นที่แน่นอนของ Titrant

$Mr_1$  = มวลโมเลกุล

$m$  = น้ำหนักของสาร

ซึ่งสารละลายตัวอย่างครั้งที่ 1 10.0017 g มาเจือจางเป็น 1 ลิตร

$$\% \text{ w/w} = \frac{[(15.00 - 0.00) \times 0.0040 \times 376.507 \times 4]}{10.0071}$$

$$= 9.035$$

$$\text{ครั้งที่ 1} = 9.035$$

$$\text{ครั้งที่ 2} = 8.854$$

$$\text{ครั้งที่ 3} = 9.035$$

$$\text{เฉลี่ย} = 8.975$$

ตัวอย่างครั้งที่ 2 น้ำหนัก 10.0310 g

$$\text{ครั้งที่ 1} = 8.528$$

$$\text{ครั้งที่ 2} = 8.528$$

$$\text{ครั้งที่ 3} = 8.468$$

$$\text{เฉลี่ย} = 8.508$$

ตัวอย่างครั้งที่ 3 น้ำหนัก 10.0203 g

$$\text{ครั้งที่ 1} = 8.356$$

$$\text{ครั้งที่ 2} = 8.296$$

$$\text{ครั้งที่ 3} = 8.296$$

$$\text{เฉลี่ย} = 8.316$$

$$\bar{X}_{\text{ตัวอย่าง}} = \frac{8.975 + 8.508 + 8.316}{3} = 8.599$$

$$\text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D)} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{(8.975 - 8.599)^2 + (8.508 - 8.599)^2 + (8.316 - 8.599)^2}{3-1}}$$

$$= 0.339$$

### รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย ขณะทำการไทเทรต



รูปที่ ค.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย เมื่อสารละลายถูกเติมอยู่ในขวดเดียวกัน

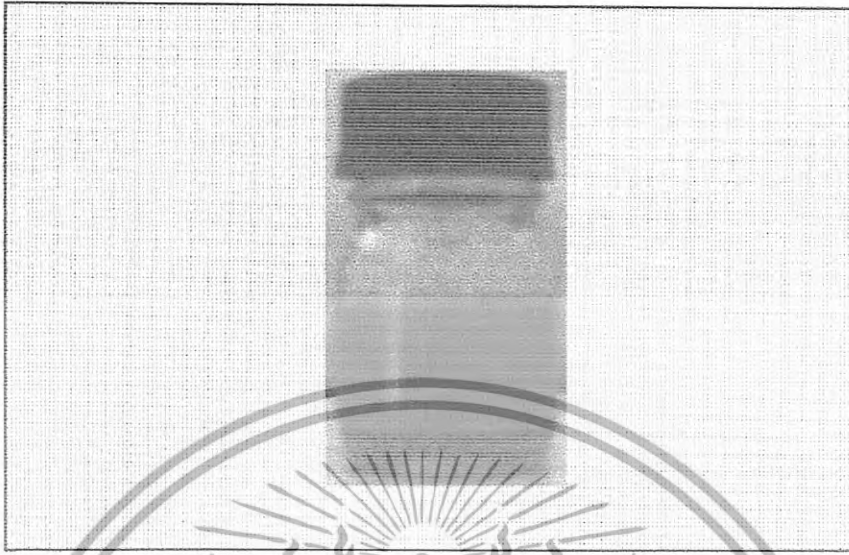
รูปที่ ค.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย เมื่อสารละลายถูกเขย่ารวมกันเป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ ค.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย เมื่อสารละลายทิ้งไว้สักพักจะเห็นเป็นชั้นสีชมพู ซึ่งเป็นชั้นของคลอโรฟอร์ม



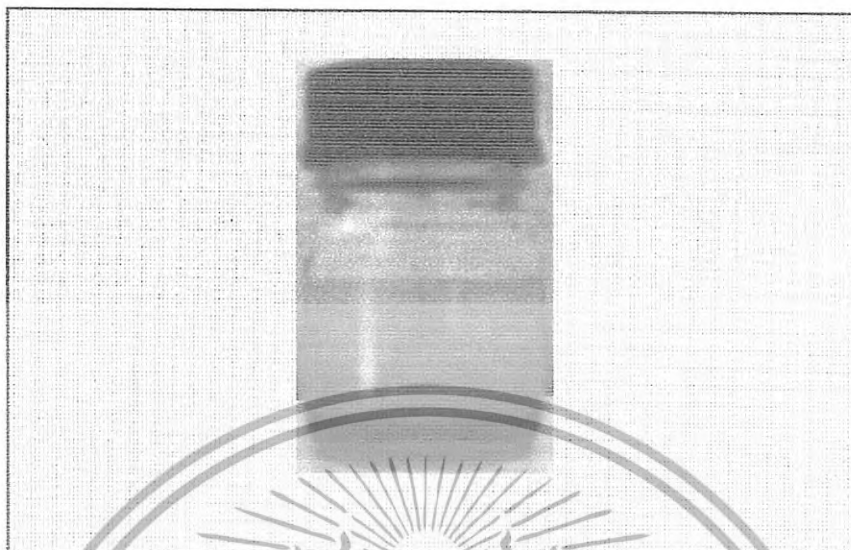
รูปที่ ค.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย เมื่อสารละลายถูกไทเทรตกับ Benzethonium chloride จะเห็นการแยกชั้นของชั้นคลอโรฟอร์มชัดเจนขึ้น



รูปที่ ค.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย เมื่อโคถึงจุดยุติ ชั้นสีชมพูจะหายไป



รูปที่ ค.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย เมื่อถึงจุดยุติ สีของชั้นคลอโรฟอร์มจะเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีน้ำเงินคราม



รูปที่ ค.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของดาวหลาย เมื่อเลยจุดยุติไป





การคำนวณของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e (ของบริษัท Metrohm)

$$\% \text{ w/w} = \frac{[(v_0 - v_1) \times C \times Mr_1 \times 4]}{m}$$

- เมื่อ  $v_0$  = ปริมาตร Titrant ที่ใช้ในการหา Total  
 $v_1$  = ปริมาตร Titrant ที่ใช้เมื่อสารละลาย Reflux เรียบร้อยแล้ว  
 $C$  = ความเข้มข้นที่แน่นอนของ Titrant  
 $Mr_1$  = มวลโมเลกุล  
 $m$  = น้ำหนักของสาร

ซึ่งสารละลายตัวอย่างที่ 10.0017 g มาเจือจางเป็น 1 ลิตร

$$\% \text{ w/w} = \frac{[(17.700 - 0) \times 0.0040 \times 376.507 \times 4]}{10.0017}$$

$$= 10.661$$

ครั้งที่ 1 = 10.661

ครั้งที่ 2 = 10.380

ครั้งที่ 3 = 10.319

เฉลี่ย 10.453

ตัวอย่างที่ 2 น้ำหนัก 10.0310 g

ครั้งที่ 1 = 10.661

ครั้งที่ 2 = 10.592

ครั้งที่ 3 = 10.806

เฉลี่ย 10.686

ตัวอย่างที่ 3 น้ำหนัก 10.0203g

ครั้งที่ 1 = 10.683

ครั้งที่ 2 = 10.787

ครั้งที่ 3 = 10.770

เฉลี่ย 10.747

$$\bar{X}_{\text{ตัวอย่าง}} = \frac{10.453+10.686+10.747}{3} = 10.629$$

$$\text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D)} = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{(10.453-10.629)^2 + (10.686-10.629)^2 + (10.747-10.629)^2}{3-1}}$$

$$= 0.155$$



```

'fr
* 716 DMS Titrimo 716.0020
date 7F-3F-7E time E5:56 39
U(init) 12 mV DET U BASS1
* EP1 17.700 ml 207 mV
manual stop
stop EP reached
-----

```

```

'cb
716 DMS Titrimo 716.0020
date 7F-3F-7E time E5:57 39
start V 0.0000 ml DET U BASS1
2.0 ml/div dU=50.0 mV/div

```



รูปที่ ง.1 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 1 ทำครั้งที่ 1

```

fr
716 DMS Titrimo 716.0020
date 7F-3F-7E time AB:45 4
U(init) -3 mV DET U BASS1
EP1 17.234 ml 210 mV
manual stop
stop EP reached

```

```

cb
716 DMS Titrimo 716.0020
date 7F-3F-7E time AB:45 4
start V 0.0000 ml DET U BASS1
2.0 ml/div dU=50.0 mV/div

```



รูปที่ ง.2 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 1 ทำครั้งที่ 2

```

fr
716 DMS Titrimo           716.0020
date 7F-3F-7E           time B4:13      18
U(init)                -115 mV  DET U      BASS1
EP1                    17.132 ml      198 mV
stop EP reached
-----

```

```

cb
716 DMS Titrimo           716.0020
date 7F-3F-7E           time B4:13      18
start V                0.0000 ml  DET U      BASS1
2.0 ml/div             dU=50.0 mV/div

```



รูปที่ ง.3 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 1 ทำครั้งที่ 3

716 DMS Titrimo 716.0020  
date 7F-3F-7E time F3:26 58  
U(init) -50 mV DET U BASE1  
EP1 17.732 ml 109 mV  
stop EP reached

716 DMS Titrimo 716.0020  
date 7F-3F-7E time F3:26 58  
start V 0.0000 ml DET U BASE1  
2.0 ml/div dU=50.0 mV/div



รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 2 ทำครั้งที่ 1

```

fr
716 DMS Titrimo 716.0020
date 7F-3F-7E time FO:44 53
U(init) 26 mV DET U BASS1
EP1 17.637 ml 198 mV
stop EP reached

```

```

cb
716 DMS Titrimo 716.0020
date 7F-3F-7E time FO:44 53
start V 0.0000 ml DET U BASS1
2.0 ml/div dU=50.0 mV/div

```



รูปที่ ๓.5 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 2 ทำครั้งที่ 2

ifr  
716 DMS Titrino 716.0020  
date 7F-3F-7E time E9:38 51  
U(init) -258 mV DET U BASS1  
EP1 17.994 ml 199 mV  
stop EP reached

cb  
716 DMS Titrino 716.0020  
date 7F-3F-7E time E9:38 51  
start V 0.0000 ml DET U BASS1  
2.0 ml/div dU=50.0 mV/div



รูปที่ ง.6 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 2 ทำครั้งที่ 3

fr  
716 DMS Titrimo 716.0020  
date 7F-3F-7E time D5:39 3  
U(init) -853 mV DET U BASI  
EPI 17.769 ml 192 mV  
stop EP reached

cb  
716 DMS Titrimo 716.0020  
date 7F-3F-7E time D5:39 3  
start V 0.0000 ml DET U BASI  
2.0 ml/div dU=50.0 mV/div



รูปที่ ง.7 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 3 ทำครั้งที่ 1

```

rr
716 DMS Titrino 716.0020
date 7F-3F-7E time D3:37 13
U(init) 29 mV DET U BASS1
EP1 17.942 ml 206 mV
manual stop
stop EP reached

```

```

'cb
716 DMS Titrino 716.0020
date 7F-3F-7E time D3:37 13
start V 0.0000 ml DET U BASS1
2.0 ml/div dU=50.0 mV/div

```



รูปที่ ง.8 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 3 ทำครั้งที่ 2

```

fr
716 DMS Titrimo           716.0020
date 7F-3F-7E           time D1:49      9
U(init)                 30 mV DET U      BASS1
;EP1                    17.915 ml      209 mV
stop EP reached

```

```

cb
716 DMS Titrimo           716.0020
date 7F-3F-7E           time D1:49      9
start V                 0.0000 ml DET U      BASS1
2.0 ml/div              dU=50.0 mV/div

```



รูปที่ ง.9 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของตัวอย่างครั้งที่ 3 ทำครั้งที่ 3

'fr  
716 DMS Titrino 716.0020  
date 7F-3F-7E time 09:52 2  
U(init) 120 mV DET U BASS1  
stop V reached

'cb  
716 DMS Titrino 716.0020  
date 7F-3F-7E time 09:52 2  
start V 0.0000 ml DET U BASS1  
2.0 ml/div dU=50.0 mV/div



รูปที่ ง.10 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี Application Bulletin No. 268 / 1 e ของ Blank

```

716 DMS Titrimo
date 7F-3F-7E time E4:56 716.0020
U(init) -564 mV DET U 16
stop V reached BAS1
    
```

```

cb
716 DMS Titrimo
date 7F-3F-7E time E4:56 716.0020
start V 0.0000 ml DET U 16
2.0 ml/div dU=50.0 mV/div BAS1
    
```



รูปที่ ง.11 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของทำ Hydrolysis โดยวิธี Application Bulletin No.268 /1 e



ภาคผนวก จ

## การคำนวณของวิธี ASTM D 6173 – 97

$$\% w/w = \frac{[(v_0 - v_1) \times C \times Mr_1 \times 4]}{m}$$

- เมื่อ  $v_0$  = ปริมาตร Titrant ที่ใช้ในการหา Total  
 $v_1$  = ปริมาตร Titrant ที่ใช้เมื่อสารละลาย Reflux เรียบร้อยแล้ว  
 $C$  = ความเข้มข้นที่แน่นอนของ Titrant  
 $Mr_1$  = มวลโมเลกุล  
 $m$  = น้ำหนักของสาร

ซังสารละลายตัวอย่างที่ 1 10.0017 g มาเจือจางเป็น 1 ลิตร

$$\% w/w = \frac{[(17.268 - 0.00) \times 0.0040 \times 376.507 \times 4]}{10.0017}$$

$$= 10.401$$

$$\text{ครั้งที่ 1} = 10.401$$

$$\text{ครั้งที่ 2} = 10.571$$

$$\text{ครั้งที่ 3} = 10.402$$

$$\text{เฉลี่ย} = 10.458$$

ตัวอย่างที่ 2 น้ำหนัก 10.0310 g

$$\text{ครั้งที่ 1} = 10.431$$

$$\text{ครั้งที่ 2} = 10.448$$

$$\text{ครั้งที่ 3} = 10.404$$

$$\text{เฉลี่ย} = 10.428$$

ตัวอย่างที่ 3 น้ำหนัก 10.0203 g

$$\text{ครั้งที่ 1} = 10.524$$

$$\text{ครั้งที่ 2} = 10.579$$

$$\text{ครั้งที่ 3} = 10.549$$

$$\text{เฉลี่ย} = 10.551$$

$$\bar{X}_{\text{ตัวอย่าง}} = \frac{10.458+10.428+10.551}{3} = 10.479$$

$$\text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D)} = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{(10.458-10.479)^2 + (10.428-10.479)^2 + (10.551-10.479)^2}{3-1}}$$

$$= 0.064$$



```

fr
716 DMS Titrimo 716.0020
date 7F-3F-7E time EB:01 46
U(init) 45 mV DET U BASS1
EPI 17.268 ml 212 mV
manual stop
stop EP reached

```

```

cb
716 DMS Titrimo 716.0020
date 7F-3F-7E time EB:01 46
start V 0.0000 ml DET U BASS1
2.0 ml/div dU=50.0 mV/div

```



รูปที่ จ.1 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173-97 ของตัวอย่างครั้งที่ 1 ทำครั้งที่ 1

ifp  
716 DMS Titrimo 716.0020  
date 7F-3F-7E time E8:30 45  
U(init) -115 mV DET U BASS1  
EPI 17.555 ml 218 mV  
manual stop  
stop EP reached

icb  
716 DMS Titrimo 716.0020  
date 7F-3F-7E time E8:30 48  
start V 0.0000 ml DET U BASS1  
2.0 ml/div dU=50.0 mV/div



รูปที่ จ.2 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 617-97 ของตัวอย่างครั้งที่ 1 ทำครั้งที่ 2

```

716 DMS Titrimo 716.0020
date 7F-3F-7E time E9:00 49
U(init) 15 mV DET U BASS1
EP1 17.270 ml 206 mV
stop EP reached

```

```

716 DMS Titrimo 716.0020
date 7F-3F-7E time E9:00 49
start V 0.0000 ml DET U BASS1
2.0 ml/div dU=50.0 mV/div

```



รูปที่ จ.3 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173-97 ของตัวอย่างครั้งที่ 1 ทำครั้งที่ 3

'fr  
716 DMS Titrino 716.0020  
date 7F-3F-7E time B0:13 9  
U(init) -32 mV DET U BASS1  
EP1 17.369 ml 207 mV  
manual stop  
stop EP reached

'cb  
716 DMS Titrino 716.0020  
date 7F-3F-7E time B0:13 9  
start V 0.0000 ml DET U BASS1  
2.0 ml/div dU=50.0 mV/div



รูปที่จ.4 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173 -97 ของตัวอย่างครั้งที่ 2 ทำครั้งที่ 1

7F  
716 DMS Titrimo 716.0020  
date 7F-3F-7E time 80:50 16  
U(init) -16 mV DET U BASSI  
EPl 17.378 ml 286 mV  
manual stop  
stop EP reached

cd  
716 DMS Titrimo 716.0020  
date 7F-3F-7E time 80:50 16  
start V 0.000 ml DET U BASSI  
2.0 ml/div DU=50.0 mV/div



รูปที่ จ.5 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173-97 ของตัวอย่างครั้งที่ 2 ทำครั้งที่ 2

fr  
716 DMS Titrino  
date 7F-3F-7E time B1:53 716.0020  
U(init) -24 mV DET U 28  
EP1 17.324 ml BASS1  
manual stop 202 mV  
stop EP reached

cb  
716 DMS Titrino  
date 7F-3F-7E time B1:53 716.0020  
start V 0.0000 ml DET U 28  
2.0 ml/div dB=50.0 mV/div BASS1



รูปที่ จ.6 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173-97 ของตัวอย่างครั้งที่ 2 ทำครั้งที่ 3

```

'fr
716 DMS Titrino 716.0020
date 7F-3F-7E time D4:14 18
U(init) -50 mV DET U BASS1
EP1 17.505 ml 206 mV
stop EP reached

```

```

'cb
716 DMS Titrino 716.0020
date 7F-3F-7E time D4:14 18
start V 0.0000 ml DET U BASS1
2.0 ml/div dU=50.0 mV/div

```



รูปที่ จ.7 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173-97 ของตัวอย่างครั้งที่ 3 ทำครั้งที่ 1

```

'fr
716 DMS Titrimo 716.0020
date 7F-3F-7E time D6:17 44
U(init) -716 mV DET U BASS1
^EPI 17.597 ml 222 mV
stop EP reached

```

```

'cb
716 DMS Titrimo 716.0020
date 7F-3F-7E time D6:17 44
start V 0.0000 ml DET U BASS1
2.0 ml/div dU=50.0 mV/div

```



รูปที่ จ.8 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173-97 ของตัวอย่างครั้งที่ 3 ทำครั้งที่ 2

```

716 DMS Titrino 716.0020
date 7F-3F-7E time D6:53 45
U(init) -802 mV DET U BASS1
EP1 17.547 ml 219 mV
manual stop
stop EP reached
-----

```

```

cb
716 DMS Titrino 716.0020
date 7F-3F-7E time D6:53 45
start V 0.0000 ml DET U BASS1
2.0 ml/div dD-50.0 mV/div

```



รูปที่ จ.9 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173-97 ของตัวอย่างครั้งที่ 3 ทำครั้งที่ 3

```

fr
716 DMS Titrimo           716.0020
date 7F-3F-7E           time D7:21    47
U(init)                -425 mV  DET U    BASS1
manual stop

```

```

cb
716 DMS Titrimo           716.0020
date 7F-3F-7E           time D7:21    47
start V                0.0000 ml  DET U    BASS1
2.0 ml/div             dU=50.0 mV/div

```



24

รูปที่ จ.10 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของวิธี ASTM D 6173-97 ของ Blank

```

fr
716 DMS Titrimo           716.0020
date 7F-3F-7E           time 00:11      2
U(init) 122 mV DET U      BAS1
stop V reached

```

```

cb
716 DMS Titrimo           716.0020
date 7F-3F-7E           time 00:11      2
start V 0.0000 ml DET U   BAS1
2.0 ml/div             dU=20.0 mV/div

```



รูปที่ จ.11 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของทำ Hydrolysis โดยวิธี ASTM D 6173-97



ภาคผนวก ก

การทดสอบ F-test สำหรับการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์สองวิธี ว่าแตกต่างกันหรือไม่

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

$S_1^2$  เป็นค่าแวนเรียนซ์ ของผลการทดลอง โดยวิธีวิเคราะห์วิธีที่ 1

$S_2^2$  เป็นค่าแวนเรียนซ์ ของผลการทดลอง โดยวิธีวิเคราะห์วิธีที่ 2

1. การวิเคราะห์หาปริมาณ Sodium lauryl ether sulfate ด้วยวิธีไทเทรตแบบสองเฟส (Two-phase titration) และ Application bulletin No. 268/1e ให้ผลการวิเคราะห์แตกต่างกันหรือไม่

วิธีวิเคราะห์	ปริมาณ Sodium lauryl ether sulfate (% w/w)	เฉลี่ย
1. Two-phase titration	8.975, 8.508, 8.316	8.599
2. Application bulletin	10.453, 10.686, 10.747	10.6288

$$S_1^2 = \frac{\sum [(x_i)_1 - \bar{x}_1]^2}{n_1 - 1}$$

$$= \frac{0.230}{2}$$

$$= 0.115$$

$$S_2^2 = \frac{\sum [(x_i)_2 - \bar{x}_2]^2}{n_2 - 1}$$

$$= \frac{0.048}{2}$$

$$= 0.024$$

$$F = \frac{0.115}{0.024}$$

$$= 4.792$$

จะเห็นว่าค่า F ที่คำนวณได้เท่ากับ 4.792 มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการเปิดตาราง เมื่อวิธีวิเคราะห์ที่ 1 ( $V_1$ )=2 และวิธีวิเคราะห์ที่ 2 ( $V_2$ )=2 ในตารางมีค่าเท่ากับ 19.0 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สรุปได้ว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

2. การวิเคราะห์หาปริมาณ Sodium lauryl ether sulfate ด้วยวิธีไทเทรตแบบสองเฟส (Two-phase titration) และ ASTM D6173-97 ให้ผลการวิเคราะห์แตกต่างกันหรือไม่

วิธีวิเคราะห์	ปริมาณ Sodium lauryl ether sulfate (% w/w)	เฉลี่ย
1. Two-phase titration	8.975, 8.508, 8.316	8.599
2. ASTM D6173-97	10.458, 10.428, 10.551	10.479

$$S_1^2 = \frac{\sum [(x_i)_1 - \bar{x}_1]^2}{n_1 - 1} = \frac{0.230}{2} = 0.115$$

$$S_2^2 = \frac{\sum [(x_i)_2 - \bar{x}_2]^2}{n_2 - 1} = \frac{0.008}{2} = 0.004$$

$$F = \frac{0.115}{0.004} = 28.750$$

จะเห็นว่าค่า F ที่คำนวณได้เท่ากับ 28.750 มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการเปิดตาราง เมื่อวิธีวิเคราะห์ที่ 1 ( $V_1$ )=2 และวิธีวิเคราะห์ที่ 2 ( $V_2$ )=2 ในตารางมีค่าเท่ากับ 19.0 ที่ระดับ ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สรุปได้ว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

3. การวิเคราะห์หาปริมาณ Sodium lauryl ether sulfate ด้วยวิธี Application bulletin No. 268/1e และ ASTM D6173-97 ให้ผลการวิเคราะห์แตกต่างกันหรือไม่

วิธีวิเคราะห์	ปริมาณ Sodium lauryl ether sulfate (% w/w)	เฉลี่ย
1. Application bulletin	10.453, 10.686, 10.747	10.629
2. ASTM D6173-97	10.458, 10.428, 10.551	10.479

$$S_1^2 = \frac{\sum [(x_i)_1 - \bar{x}_1]^2}{n_1 - 1} = \frac{0.048}{2}$$

$$S_2^2 = \frac{\sum [(x_i)_2 - \bar{x}_2]^2}{n_2 - 1} = \frac{0.008}{2}$$

$$= 0.024$$

$$= 0.004$$

$$F = \frac{0.024}{0.004}$$

$$= 6.000$$

จะเห็นว่าค่า  $F$  ที่คำนวณได้เท่ากับ 6.000 มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการเปิดตาราง เมื่อวิธีวิเคราะห์ที่ 1 ( $V_1$ )=2 และวิธีวิเคราะห์ที่ 2 ( $V_2$ )=2 ในตารางมีค่าเท่ากับ 19.0 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สรุปได้ว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

