

### บทที่ 3

### ทฤษฎี

#### ทฤษฎีอิมัลชัน

อิมัลชัน (Emulsion) เป็นระบบอนุภาคกระจายตัวที่ประกอบด้วยของเหลว 2 ชนิด ซึ่งไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยของเหลวชนิดหนึ่งจะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเข้าไปในของเหลวชนิดหนึ่ง ในรูปของอนุภาคเล็กๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 การกระจายตัวในระบบดังกล่าวมีความคงตัวของอนุภาค ในระยะเวลาานานพอสมควรเท่านั้น จึงเรียกระบวนการกระจายตัวนั้นว่า “อิมัลชัน” โดยระยะเวลาการคงตัวอาจเริ่มตั้งแต่ 2-3 นาทีจนถึงเวลานานหลายปีก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการนำระบบดังกล่าวไปใช้

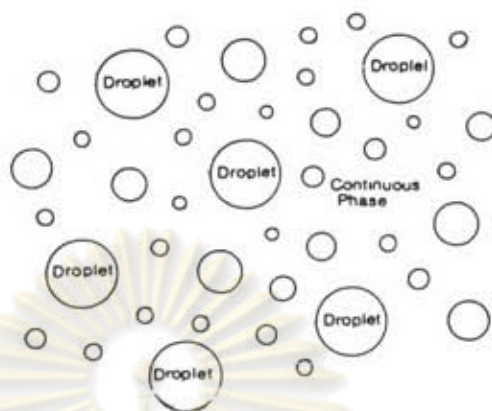
อิมัลชัน (Emulsion) โดยทั่วไปจัดแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

1. การกระจายของอนุภาคน้ำมันในของเหลวตัวกลางคือน้ำ (Oil-in-Water Emulsion ; O/W Emulsion) น้ำมันเป็นของเหลวซึ่งกระจายตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ เรียกว่า “ของเหลวชั้นภายใน” (internal phase หรือ disperse phase) ส่วนน้ำเป็นของเหลวที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่ทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคเล็กๆ เรียกว่า “ของเหลวชั้นภายนอก” (external phase หรือ continuous phase)
2. การกระจายตัวของอนุภาคน้ำในของเหลวตัวกลางคือน้ำมัน (Water-in-Oil Emulsion ; W/O Emulsion) มีคุณสมบัติตรงข้ามกับ O/W อิมัลชันคือ น้ำเป็นของเหลวชั้นภายใน และน้ำมันเป็นของเหลวชั้นภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 3.2

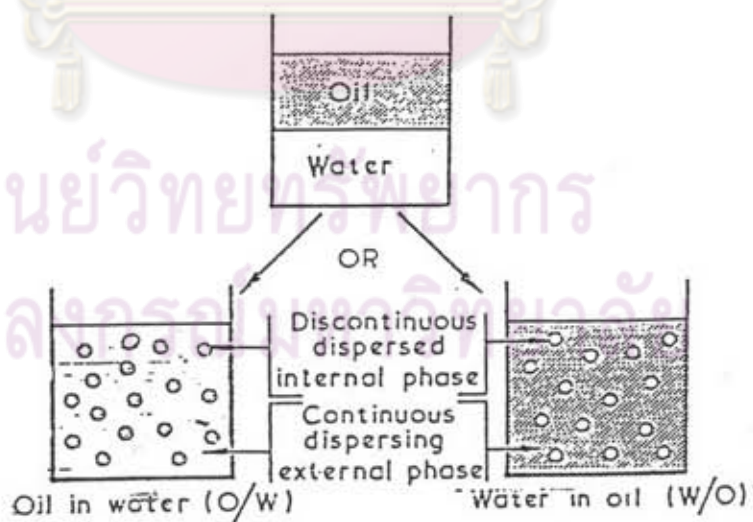
ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีระบบอิมัลชันได้ก้าวไกลไปถึงอิมัลชันหลายชั้น (multiple emulsion) ตัวอย่างได้แก่ W/O/W อิมัลชัน หมายถึง การกระจายตัวของอนุภาคน้ำในของเหลวตัวกลางคือน้ำมัน โดยน้ำมันซึ่งอยู่ล้อมรอบอนุภาคน้ำก็อยู่ในลักษณะของอนุภาคเช่นกัน และอนุภาคน้ำมันก็จะกระจายตัวอยู่ในของเหลวตัวกลางชั้นนอกสุดคือน้ำมันนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 3.3

Lissant KJ (22) จัดแบ่งอิมัลชันออกเป็นกลุ่มๆ โดยจัดแบ่งตามเปอร์เซ็นต์ปริมาตรของ “ของเหลวในชั้นภายใน” (internal phase ratio , IPR) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งหมายถึงเปอร์เซ็นต์อัตราส่วนระหว่าง “ของเหลวชั้นภายใน” และ “ของเหลวชั้นภายนอก” ดังนี้

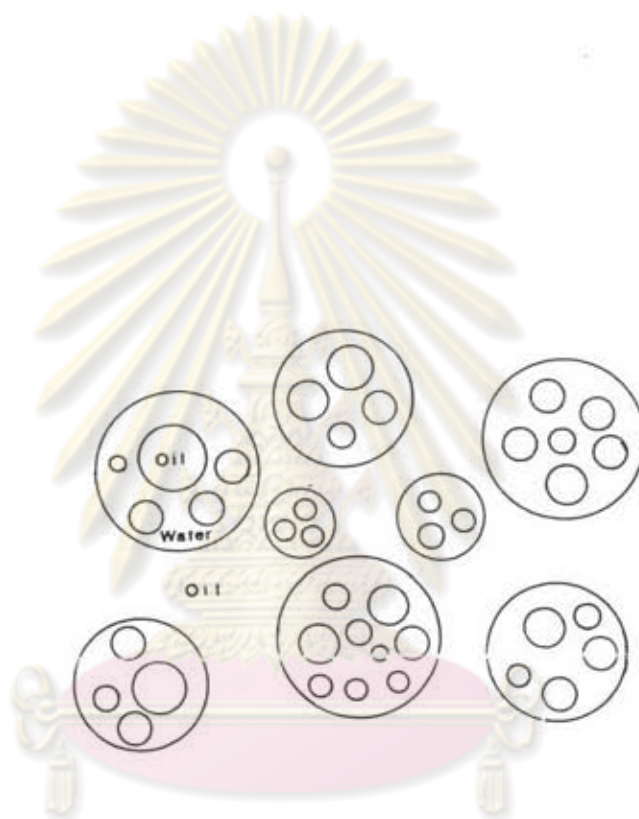
1. IPR น้อยกว่า 30%
2. IPR ระหว่าง 30-74%
3. IPR มากกว่า 74%



รูปที่ 3.1 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคของเหลวชนิดหนึ่งในของเหลวอีกชนิดหนึ่งของระบบอิมัลชัน



รูปที่ 3.2 แสดงประเภทของอิมัลชัน



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของอิมัลชันหลายชั้น O/W/O อิมัลชัน

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1

แสดงกลุ่มต่างๆของระบบอิมัลชัน ซึ่งจัดแบ่งตามเปอร์เซ็นต์ปริมาตรของ“ของเหลวในชั้นภายใน”

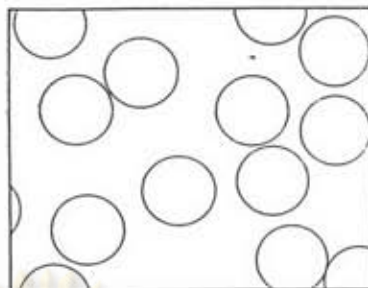
Group	Internal-phase-ratio (IPR)		
	< 30%	30 to 74%	> 74%
Water-in-oil	Low-IPR W/O	Medium-IPR W/O	High-IPR W/O
Oil-in-water	Low-IPR O/W	Medium-IPR O/W	High-IPR O/W

เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ของ“ของเหลวชั้นภายใน”มีผลต่อคุณสมบัติของอิมัลชันมาก ดังนั้นจึงแบ่งอิมัลชันทั้งหมดออกเป็น 6 กลุ่ม โดยพิจารณาจากการผสมของเหลว 2 ชนิดคือ น้ำมันกับน้ำเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้เป็น O/W อิมัลชัน โดยชั้นของน้ำมันประกอบด้วยสารทำอิมัลชันเพื่อช่วยความคงตัวของอนุภาค ถ้าค่า IPR มีค่าน้อยกว่า 30% แต่ละอนุภาคของน้ำมันที่กระจายตัวอยู่ในน้ำจะกระจายกันอยู่ไม่รบกวนซึ่งกันและกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของอิมัลชันจะขึ้นอยู่กับ “ของเหลวชั้นภายนอก”

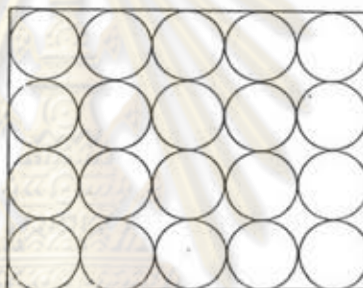
ถ้าจำนวนอนุภาคในระบบมากขึ้น โดย IPR เพิ่มมากกว่า 30% อนุภาคจะมีโอกาสมาชนกันมากขึ้นและรบกวนซึ่งกันและกันทำให้ความหนืดของระบบทั้งหมดเพิ่มขึ้น ความหนืดของอิมัลชันจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนค่า IPR สูงขึ้นถึง 50-52% ค่า IPR ที่จุดนี้หมายถึงอนุภาคที่มีขนาดสม่ำเสมอและเรียงตัวกันในลักษณะเป็นแถวต่อกันเป็นรูปสี่เหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ความหนืดของอิมัลชันจะสูงมาก และมีลักษณะการไหลเป็นแบบนอนนิวโตเนียน (non-Newtonian behavior)

เมื่อ IPR เพิ่มขึ้นจนเข้าใกล้ 74% โดยปริมาตรอนุภาคทุกอนุภาคจะถูกอัดหรือถูกบังคับให้เรียงตัวกันอย่างหนาแน่นจนไม่มีช่องว่างที่จะแยกตัว (creaming) ดังแสดงในรูปที่ 3.6

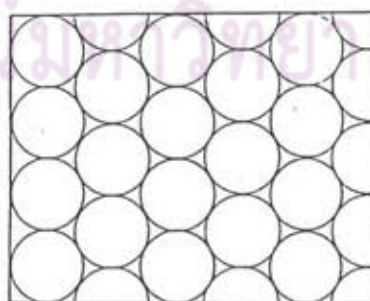
ค่า IPR เพิ่มมากขึ้นมากกว่า 75% อนุภาคจะไม่สามารถอยู่ในรูปทรงกลมได้ นอกจากนี้อนุภาคมีขนาดไม่สม่ำเสมอและมีการกระจายขนาดค่อนข้างกว้าง (polydisperse system) ดังแสดงในรูปที่ 3.7 อนุภาคเล็กสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคใหญ่ได้ง่าย ความหนืดของอิมัลชันจะเพิ่มสูงขึ้นมากอย่างรวดเร็วเมื่อ  $IPR > 75%$  และคุณสมบัติการไหลจะเป็นนอนนิวโตเนียนอย่างชัดเจน โดยอิมัลชันดังกล่าวจะสามารถคงตัวอยู่ได้ถ้าประกอบด้วยสารทำอิมัลชันที่เหมาะสม



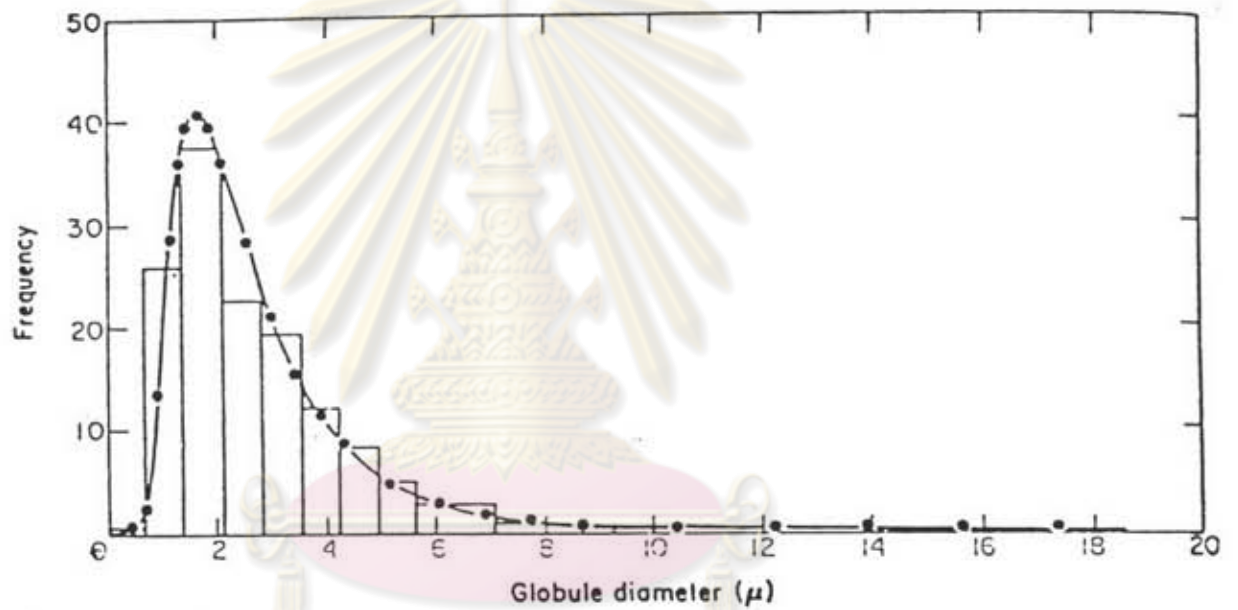
รูปที่ 3.4 แสดงการกระจายอนุภาคอิมัลชันอย่างอิสระเมื่อ IPR น้อยกว่า 30 %



รูปที่ 3.5 แสดงการกระจายอนุภาคอิมัลชันในลักษณะเป็นแนวรูปสี่เหลี่ยม  
เมื่อค่า IPR ประมาณ 50-52 %



รูปที่ 3.6 แสดงการกระจายอนุภาคอิมัลชันในลักษณะอัดกันแน่นเป็นรูปหกเหลี่ยม  
เมื่อค่า IPR ประมาณ 75 %



รูปที่ 3.7 แสดงการกระจายขนาดของอนุภาคในระบบอิมัลชันทั่วไป

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารทำอิมัลชัน (Emulsifying agent) ก็คือ สารลดแรงตึงผิว (surfactant) ชนิดหนึ่งซึ่งช่วยให้การกระจายตัวของน้ำในน้ำมัน หรือน้ำมันในน้ำมีความคงตัวได้นานขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของสารประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีขั้วสูงจะละลายได้ดีในน้ำเรียกว่า ไฮโดรฟิลิก(hydrophilic part) และส่วนที่มีขั้วต่ำจะละลายได้ดีในน้ำมันเรียกว่า ลิโปฟิลิก(lipophilic part) ดังแสดงในรูปที่ 3.8

คุณสมบัติพิเศษของโมเลกุลเหล่านี้คือจะไปดูดซับที่ผิวประจันระหว่างผิวน้ำกับชั้นอากาศ หรือที่ผิวประจันระหว่างชั้นน้ำกับชั้นน้ำมันและเมื่อโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวไปดูดซับที่ผิวประจันระหว่างชั้นน้ำกับชั้นน้ำมันของระบบอิมัลชัน จะช่วยให้แรงตึงผิวของของเหลวทั้งสองชนิดลดลง ดังแสดงในรูปที่ 3.9

ขนาดของแรงตึงผิวจะลดลงมากหรือน้อยเพียงใด จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ถ้าขนาดของแรงตึงผิวที่ผิวประจันระหว่างชั้นน้ำกับชั้นน้ำมันยิ่งต่ำเท่าไร ก็จะช่วยให้การปั่นอิมัลชันง่ายขึ้น และอนุภาคที่ได้จะมีขนาดเล็กซึ่งช่วยให้อิมัลชันทั้งระบบมีความคงตัวดีขึ้น

สารลดแรงตึงผิวซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารทำอิมัลชันอาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

1. สารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติ

สารที่ได้จากธรรมชาติบางชนิดเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการเป็นสารทำอิมัลชัน โดยการไปดูดซับที่ผิวนอก และสามารถสร้างเป็นฟิล์มที่มีความหนาและเหนียว เช่น เจลาติน(gelatin) , ลาโนลิน(lanolin) , ขี้ผึ้ง(beewaxes) และเลซิธิน(lecithin) เป็นต้น

2. สารลดแรงตึงผิวที่ได้จากการสังเคราะห์

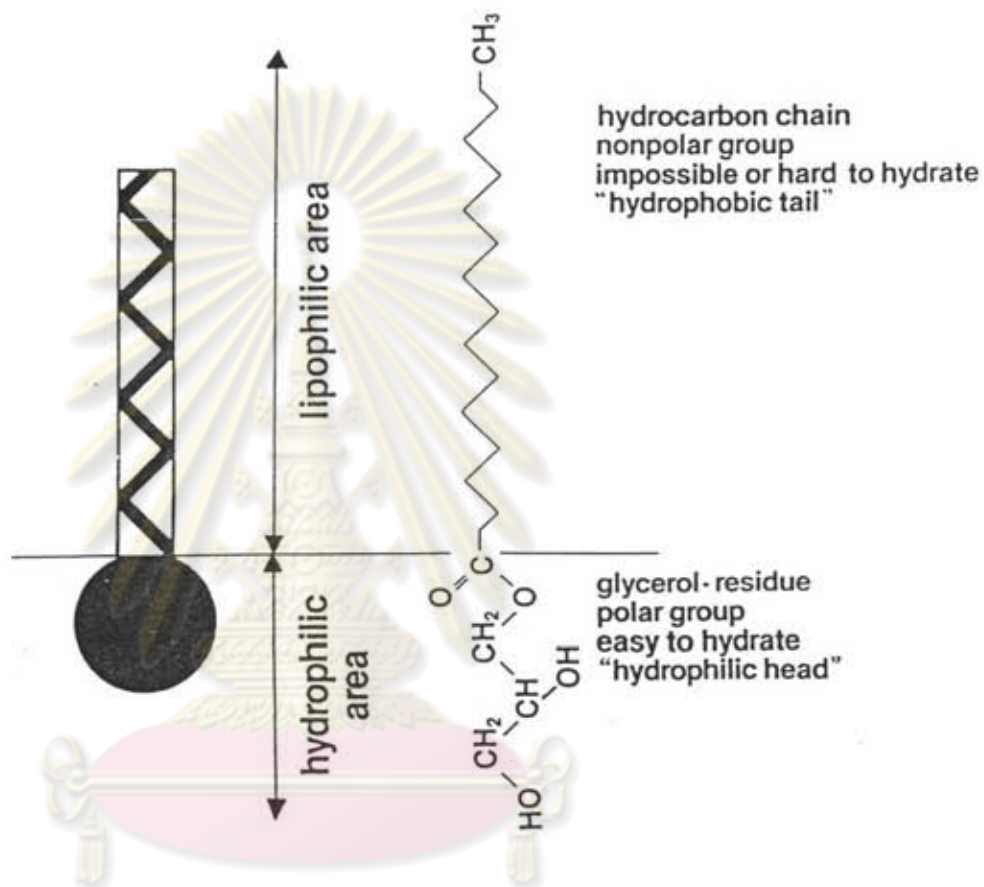
สารลดแรงตึงผิวที่ได้จากการสังเคราะห์ แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ตามโครงสร้างของโมเลกุล และคุณสมบัติโดยทั่วไปดังนี้

2.1 แอนไอออนิก (Anionic Surfactant) : โครงสร้างโมเลกุลจะมีประจุลบ

เป็นพวกเกลืออินทรีย์(organic salts)สามารถแตกตัวได้ในน้ำ ส่วนมากใช้ใน O/W อิมัลชัน โดยจะต้องอยู่ในรูปที่มีการแตกตัว (ionized form) จึงจะมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงและจะทำให้ อิมัลชันมีความคงตัวที่ pH สูงกว่า 7 ถึง 8

2.2 แคทไอออนิก (Cationic Surfactant) : โครงสร้างโมเลกุลจะมีประจุบวก

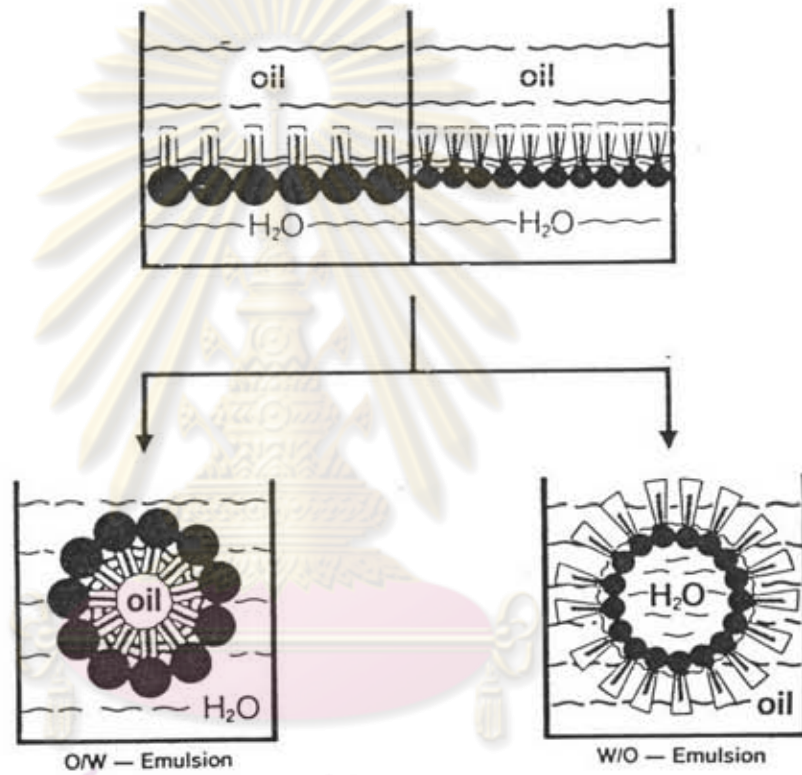
สามารถแตกตัวได้ในน้ำ มีคุณสมบัติเหมือนพวกแอนไอออนิก คือจะต้องอยู่ในรูปที่มีการแตกตัว(ionized form) จึงจะมีประสิทธิภาพสูง โดยจะทำให้ อิมัลชันมีความคงตัวอยู่ที่ pH 3-7 สารทำอิมัลชันชนิดนี้ส่วนมากใช้ใน O/W อิมัลชันและยังมีคุณสมบัติเป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์โดยเฉพาะพวกแบคทีเรียแกรมบวก (gram-positive bacteria)



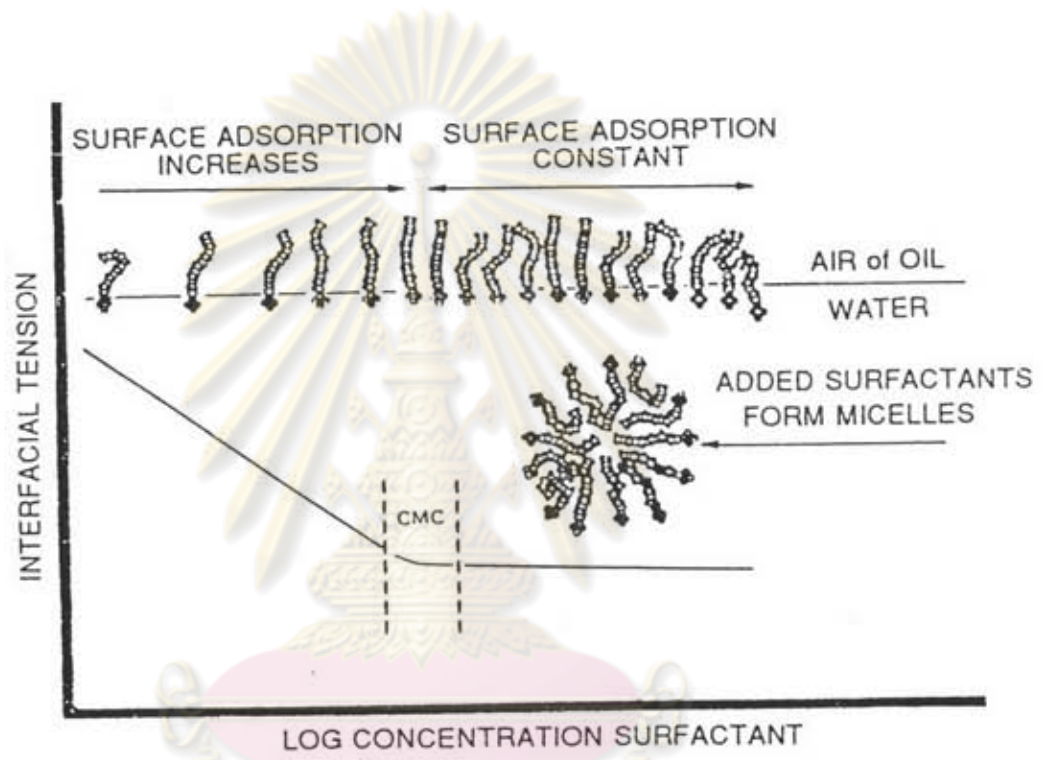
รูปที่ 3.8 แสดงโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
รูปที่ 3.9 แสดงการจัดเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวในของเหลวตัวกลาง



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
รูปที่ 3.10 แสดงการลดแรงตึงผิวของน้ำหรือแรงตึงผิวระหว่างชั้นน้ำกับไขมัน  
เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 แอมโฟเทอริก (Amphoteric Surfactant) : โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยประจุบวก-ประจุลบ

คุณสมบัติในการแสดงความเป็นไอออนิก (ionic) ขึ้นอยู่กับ pH ของอิมัลชัน เป็นสารทำอิมัลชันในช่วง pH กว้างๆ

2.4 นอนไอออนิก (Nonionic Surfactant) : โครงสร้างโมเลกุลไม่มีประจุ

ใช้กันอย่างกว้างขวางโดยใช้ได้ทั้ง O/W และ W/O อิมัลชัน ไม่เกิดการแตกตัวในสารละลายที่เป็นน้ำ ชนิดของอิมัลชันที่ได้ขึ้นอยู่กับความสมดุลระหว่างกลุ่มที่มีขั้วสูง(hydrophilic) และ กลุ่มที่มีขั้วต่ำ(lipophilic) ซึ่งเรียกว่า เฮลลเบินัมเบอร์ (HLB number)

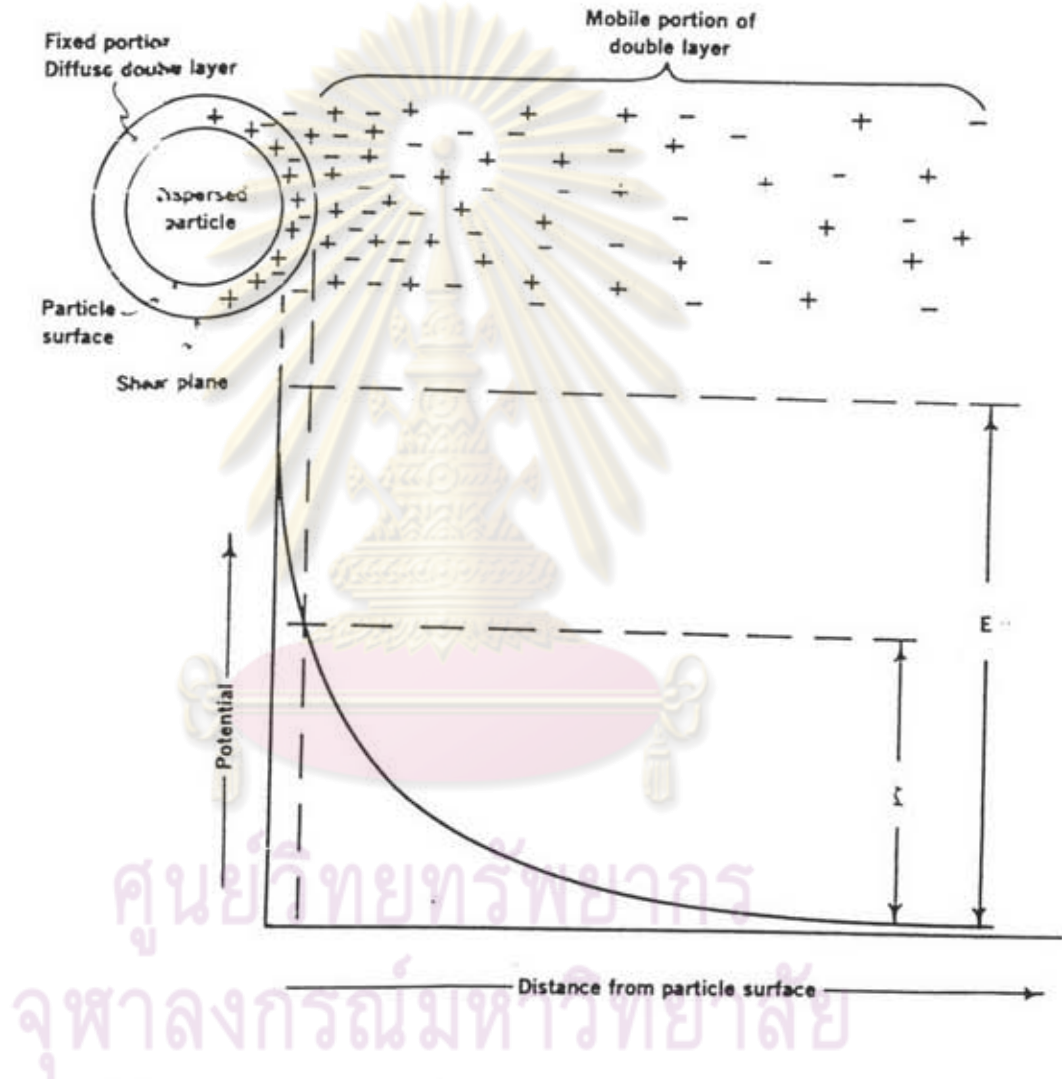
สารทำอิมัลชันประเภทนี้จะให้อิมัลชันมีความคงตัวที่ pH 4-9 ข้อดีของสารกลุ่มนี้คือ ไม่เป็นพิษ

สารลดแรงตึงผิวทั้ง 4 กลุ่มจะมีคุณสมบัติในการทำน้ำที่เป็นสารอิมัลชันที่แตกต่างกัน ถ้าใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีประจุเป็นสารทำอิมัลชัน โมเลกุลของสารเหล่านี้เมื่อไปดูดซับอยู่บนผิวของอนุภาค จะก่อให้เกิดประจุไฟฟ้าโดยมีลักษณะเป็นชั้นประจุไฟฟ้า 2 ชั้นที่ล้อมรอบอนุภาค (electrical double layer) ดังแสดงในรูปที่ 3.11 เมื่ออนุภาคเกิดชนกันภายใต้การเคลื่อนที่อย่างอิสระ (Brownian motion) แรงผลักระหว่างประจุไฟฟ้าที่ล้อมรอบอนุภาค (electrical repulsion) จะช่วยให้อนุภาคมีความคงตัว เนื่องจากอนุภาคจะไม่เกาะติดกัน(coagulation)

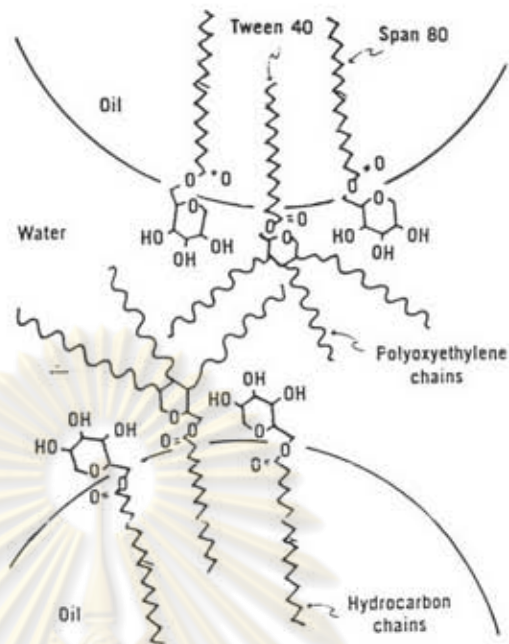
สำหรับสารลดแรงตึงผิวประเภทนอนไอออนิก โมเลกุลของสารกลุ่มนี้มักประกอบด้วยสายโซ่ออกซิเอทิลีน (oxyethylene chain) ซึ่งมีคุณสมบัติพองตัวในน้ำได้ดี ดังนั้นฟิล์มที่ได้มักจะมี ความหนาเนื่องจากหางของสายโซ่ออกซิเอทิลีนซึ่งกระจายอยู่บนผิวรอบอนุภาคสามารถพองน้ำได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.12 , 3.13 ดังนั้นเมื่ออนุภาคเกิดการชนกันอย่างหนาแน่นเนื่องจากการเคลื่อนที่อย่างอิสระ(brownian motion) หรือจากการที่อนุภาคอยู่กันอย่างหนาแน่นเนื่องจากมีค่า IPR สูง อนุภาคที่มาชนกันมักจะมี ความคงตัวพอสมควรเนื่องจากความหนาของฟิล์มที่อยู่ล้อมรอบนั่นเอง

#### ปัจจัยทางฟิสิกส์ - เคมีที่มีผลต่อการเตรียมอิมัลชัน

1. ชนิดของสารอิมัลชันที่เลือกใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร
  - 1.1 สารอิมัลชันควรจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้
    - 1.1.1 ต้องสามารถลดแรงตึงผิวที่ผิวประจันระหว่างชั้นน้ำกับชั้นน้ำมันให้เหลือต่ำที่สุด
    - 1.1.2 ต้องมีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับที่ผิวประจันล้อมรอบอนุภาคเป็นฟิล์มที่มีความแข็งแรง สามารถทนต่อแรงกระทบกระแทกเมื่ออนุภาคเกิดการชนกัน โดยไม่ทำให้อนุภาคแตก



รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะของชั้นประจุไฟฟ้า 2 ชั้นที่ล้อมรอบอนุภาค (electrical double layer)



รูปที่ 3.12 แสดงการเรียงตัวของโมเลกุลของสารทำอิมัลชันประเภทนอนไอออนิก  
ที่ผิวอนุภาคใน O/W อิมัลชัน



รูปที่ 3.13 รูปถ่ายแสดงความหนาฟิล์มของสารทำอิมัลชันประเภทนอนไอออนิก  
ที่ล้อมรอบอนุภาค O/W อิมัลชัน

- 1.3 โมเลกุลของสารทำอิมัลชันควรประกอบไปด้วยสัดส่วนของส่วนที่มีขั้วสูง (hydrophilic part) และส่วนที่มีขั้วต่ำ (lipophilic part) ที่เหมาะสมเพื่อ โมเลกุล จะได้มีประสิทธิภาพสูงในการคูดซับที่ผิวประจัน
- 1.4 โมเลกุลของสารทำอิมัลชันควรละลายได้ดีในของเหลวชั้นภายนอก (external phase) มากกว่าชั้นของอนุภาค (internal phase)
- 1.5 ฟิล์มของสารทำอิมัลชันซึ่งอยู่ล้อมรอบอนุภาคควรมีพลังงานอิเล็กโตรคิเนติก โพอเทนเชียล (electrokinetic potential) พอสมควร
- 1.6 ควรจะมีประสิทธิภาพสูงในการเตรียมอิมัลชันในความเข้มข้นต่ำ
- 1.7 ควรจะมีราคาไม่แพง หาง่าย
- 1.8 ต้องไม่เป็นพิษ ไม่มีกลิ่น และปลอดภัยต่อผู้บริโภค
- 1.9 ไม่ทำปฏิกิริยาใดๆ กับอาหาร และไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ โดยตัวมันเอง

Schulman และ Cockbain (23) พบว่า การใช้ส่วนผสมของสารทำอิมัลชันมากกว่า 1 ชนิด ขึ้นไปมาเตรียมอิมัลชันทำให้ได้ฟิล์มล้อมรอบอนุภาคที่แข็งแรงกว่าสารเพียงชนิดเดียว

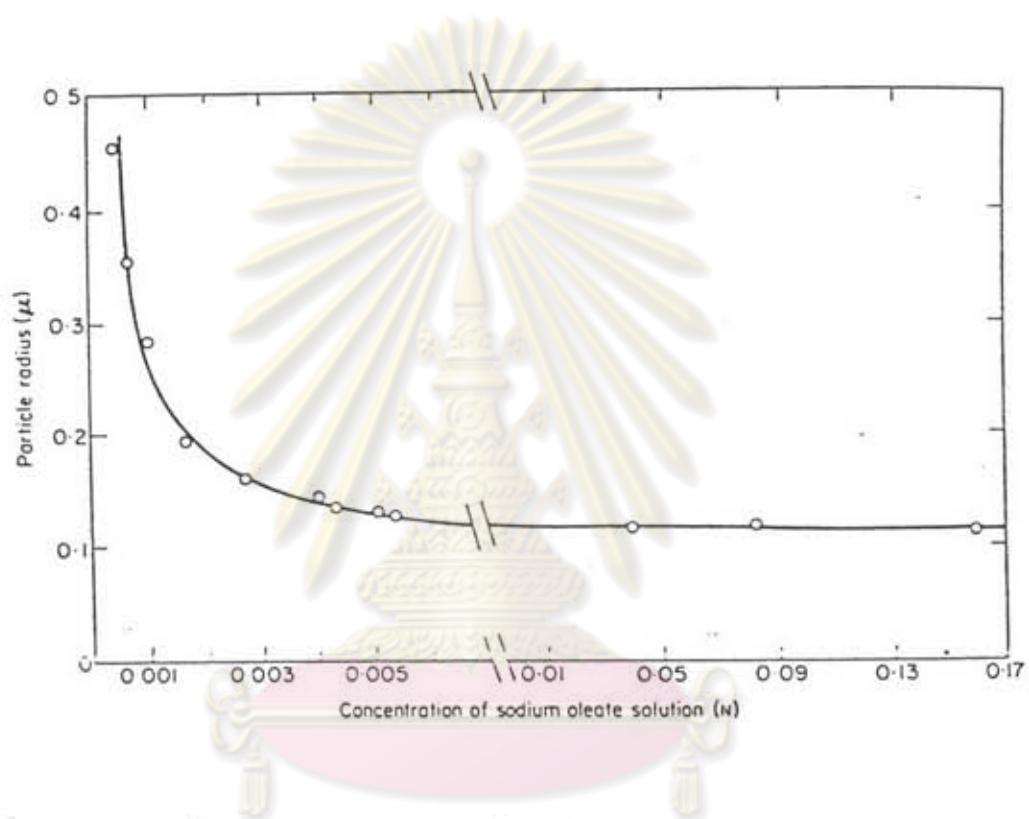
สารทำอิมัลชันที่สกัดจากธรรมชาติมักจะให้ผลไม่แน่นอน ดังนั้นจึงควรใช้สารทำอิมัลชัน ที่ได้จากการสังเคราะห์ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้สารทำอิมัลชันประเภทนอนไอออนิก (nonionic emulsifier) เนื่องจากไม่เกิดการแตกตัว (ไม่ทำปฏิกิริยากับสารตัวอื่น)

ความเข้มข้นของสารทำอิมัลชันมีผลต่อความยากง่ายในการเตรียมอิมัลชัน ซึ่งมีผลโดยตรง ต่อการลดแรงตึงผิวของของเหลวทั้งชั้นน้ำและชั้นน้ำมันคือ เมื่อความเข้มข้นของสารทำอิมัลชันเพิ่มขึ้นจากศูนย์ ค่าแรงตึงผิวที่ผิวประจันของชั้นน้ำและชั้นน้ำมันจะลดลง และจะลดลงถึงค่าจำกัดค่าหนึ่ง ค่าของแรงตึงผิวที่ต่ำที่สุดนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.14 มีประโยชน์ช่วยให้การเตรียมอิมัลชันง่ายขึ้นและ ได้อนุภาคขนาดเล็ก ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสารทำอิมัลชันให้สูงขึ้นอีกก็จะไม่ทำให้แรงตึงผิวที่ผิว ประจันลดลงไปได้อีกหรืออาจลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งทำให้ขนาดของอนุภาคอาจจะมีขนาดลดลงอีกเพียงเล็กน้อยหรืออาจจะไม่ลดขนาดลงอีกเลย

## 2. วิธีการเติมสารทำอิมัลชัน

โดยทั่วไปการเติมสารทำอิมัลชันลงไปในระบบมี 4 วิธีคือ

- 2.1 วิธีเอเจนต์-วอเตอร์ (agent - water method)
- 2.2 วิธีเอเจนต์-ออย (agent - oil method)
- 2.3 วิธีนาเซนท์ โซฟ (nascent soap method)
- 2.4 วิธีออลเทอร์เนทีฟ แอดดิชัน (alternative addition method)



รูปที่ 3.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของขนาดอนุภาคในอิมัลชัน  
กับความเข้มข้นของสารทำอิมัลชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีเอเจนท์-วอเตอร์ : สารทำอิมัลชันจะถูกนำไปละลายในชั้นน้ำ เติมน้ำมันลงไปชั้นน้ำพร้อมกับการคนหรือการปั่นด้วยแรงพอสสมควรวีธีนี้จะให้ O/W อิมัลชัน แต่ถ้าต้องการ W/O อิมัลชันทำได้โดยเติมน้ำมันลงในน้ำเรื่อยๆจนเกิดการสลับชั้นเป็น W/O หรืออาจเตรียมโดยการค่อยๆเทชั้นน้ำที่มีสารทำอิมัลชันละลายอยู่ลงในชั้นน้ำมัน

วิธีเอเจนท์-ออย : สารทำอิมัลชันจะถูกละลายในชั้นน้ำมัน เติมน้ำลงไปชั้นน้ำมัน วิธีนี้โดยทั่วไปจะเตรียม W/O อิมัลชัน

วิธีนาเซนท์ โซฟ : วิธีนี้เหมาะสมกับอิมัลชันที่มีสารทำอิมัลชันเป็นสารประเภทสบู่

วิธีออเตอร์เนทีฟ แอคดิชั่น : เติมน้ำและชั้นน้ำมันลงไปสารทำอิมัลชันทีละน้อยสลับกันไป วิธีนี้มีประโยชน์ในการเตรียมอิมัลชันประเภทเครื่องสำอาง

### 3. วิธีการเติมน้ำมันและชั้นน้ำ

การเติมน้ำและชั้นน้ำมันเพื่อเตรียมทำอิมัลชัน อาจทำได้หลายวิธีคือ เติมน้ำมันลงในชั้นน้ำ , เติมน้ำลงในชั้นน้ำมัน , เติมน้ำมันทีละน้อยสลับกันไปหรืออาจเติมทั้ง 2 ชั้นพร้อมกัน โดยทั่วไปแล้วในการเตรียม O/W อิมัลชัน มักจะนิยมเติมน้ำมันลงในชั้นน้ำซึ่งเตรียมได้ง่าย และในการเตรียม W/O อิมัลชันนิยมเติมน้ำลงในชั้นน้ำมัน

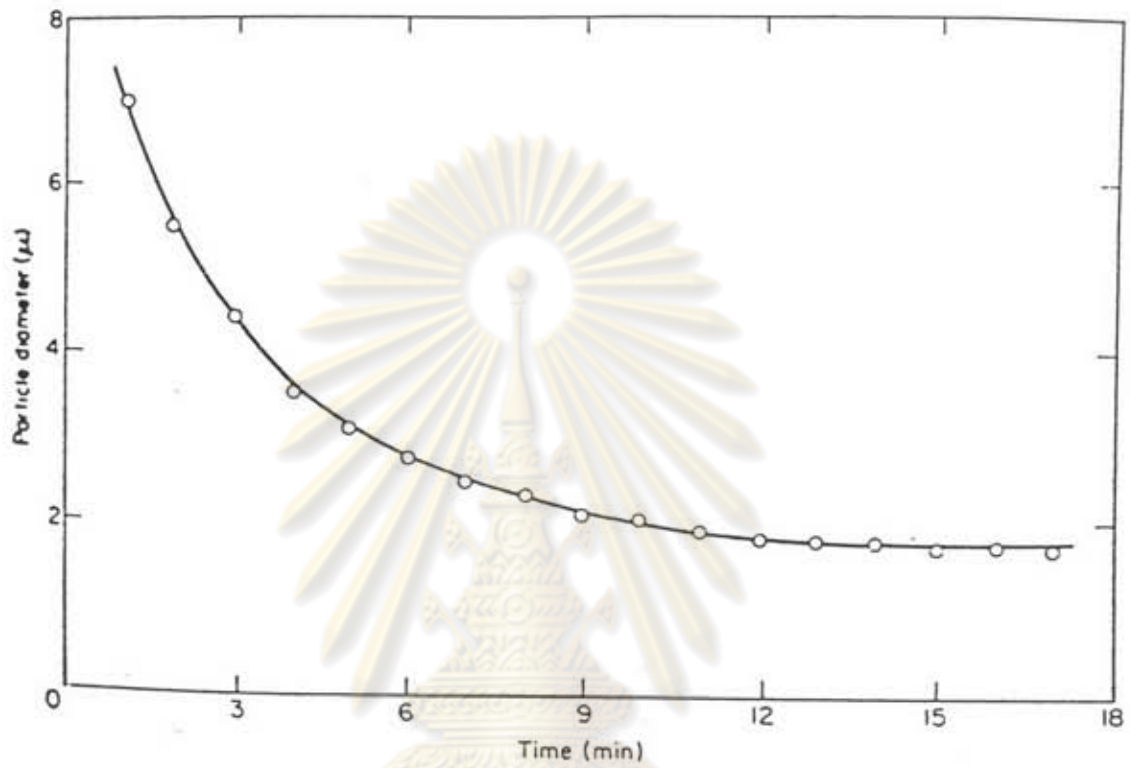
### 4. ระยะเวลาการคน

ภายใต้สภาวะปกติของการปั่นอิมัลชัน ค่าเฉลี่ยของอนุภาคอิมัลชันจะลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 2-3 วินาทีแรกและจะค่อยๆลดลงอีกจนถึงค่าหนึ่งในระยะเวลา 1-5 นาที หลังจากนั้นขนาดของอนุภาคจะไม่ลดลงอีก แม้ว่าจะปั่นต่อไปหรือไม่ก็ตาม ดังแสดงในรูปที่ 3.15

### 5. อุณหภูมิ

ในกระบวนการเตรียมอิมัลชัน ปกติการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะมีผลต่อแรงตึงผิวของของเหลวที่ผิวประจัน, การดูดซับของสารทำอิมัลชันที่ผิวประจันและความหนืดของอิมัลชัน โดยทางอ้อม ทั้งแรงตึงผิวและความหนืดของของเหลวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น





รูปที่ 3.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของขนาดอนุภาค  
กับระยะเวลาในการคนหรือการปั่นอิมัลชัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### วิธีเฮลเบิร์ก (HLB-method)

Griffin (24) ได้เป็นผู้เริ่มต้นการพิจารณาเลือกสารทำอิมัลชันโดยใช้หลักการพิจารณาคุณสมบัติของคุณสมบัติความเป็นขั้วสูง-ต่ำของโมเลกุล (Hydrophilic-Lipophilic) ซึ่งเรียกว่าเฮลเบิร์ก นัมเบอร์ (HLB number) และเรียกวิธีการนี้ว่าวิธีเฮลเบิร์ก (HLB-method) เนื่องจากโมเลกุลของสารทำอิมัลชันประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่มีคุณสมบัติความเป็นขั้วต่ำ(ละลายได้ดีในน้ำมัน) และส่วนที่มีคุณสมบัติความเป็นขั้วสูง(ละลายได้ดีในน้ำ) ทำให้โมเลกุลมีขอบเขตจำกัดในการละลายทั้งในชั้นน้ำและชั้นน้ำมัน และสามารถเรียงตัวอยู่บริเวณผิวประจัน (interface) ระหว่างชั้นน้ำและชั้นน้ำมัน คุณสมบัติระหว่างส่วนที่ละลายได้ในชั้นน้ำมันและส่วนที่ละลายได้ในชั้นน้ำ จะเป็นตัวกำหนดว่าโมเลกุลของสารทำอิมัลชันแต่ละชนิดจะสามารถละลายได้ในชั้นน้ำมันหรือชั้นน้ำ และสามารถรักษาความคงตัวของสารทำอิมัลชันชนิด O/W หรือ W/O

วิธีเฮลเบิร์กมีประโยชน์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเลือกสารทำอิมัลชันประเภทนอนไอออนิก (nonionic emulsifiers) และยังใช้เป็นหลักในการคัดเลือกสารทำอิมัลชันอย่างกว้างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

### ทฤษฎีความคงตัวของอิมัลชัน

จากคำจำกัดความ อิมัลชันเป็นระบบที่ไม่มี ความคงตัวทางเทอร์โมไดนามิก เนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคของเหลวชนิดหนึ่งในตัวกลางของเหลวอีกชนิดหนึ่งซึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็กมากและมีพื้นที่ผิวมากซึ่งเป็นผลให้มีพลังงานอิสระที่ผิวประจัน (interfacial free energy)

พลังงานอิสระที่ผิวประจัน (Gibbs energy; G) สัมพันธ์กับพื้นที่ผิว ดังสมการ

$$dG = (\gamma_{ow}) (S) \quad (3.1)$$

$\gamma_{ow}$  คือ แรงแดึงผิวที่ผิวประจัน

S คือ พื้นที่ผิว

ระบบกระจายตัวของอิมัลชันสามารถเพิ่มความคงตัวโดยการลดพลังงานอิสระที่ผิวอนุภาคซึ่งทำได้โดยวิธีต่างๆ ดังนี้

1. การเกาะกลุ่ม (Flocculation) เป็นขบวนการที่อนุภาคของอิมัลชันมารวมกันหรือเกาะกลุ่มกันอย่างหลวมๆ เนื่องจากแรงดึงดูดที่ผิวระหว่างอนุภาค อนุภาคที่เกาะกลุ่มกันจะไม่เกิดการรวมกัน (coalesce) แต่จะสามารถกระจายแยกจากกันได้โดยการเขย่า

ตารางที่ 3.2 แสดงค่า HLB ของสารทำอิมัลชันประเภทนอนไอออนิก

TABLE IV  
Hydrophilic-Lipophilic Balance (HLB) Values<sup>a</sup> of Nonionic Emulsifiers and General Properties of Such Emulsifiers in Relation to HLB Value<sup>b</sup>

Percentage of		HLB Value	Behavior of Emulsifier in Water	Field of Application		
Hydrophilic Groups	Lipophilic Groups					
0	100	0	Not dispersed	1	} Antifoaming agents	
10	90	2	} Poor dispersion	3		
20	80	4		6	} Water/oil emulsifiers	
30	70	6		7		
40	60	8	Milky dispersion	9	} Wetting agents	
50	50	10	Stable milky dispersion	8		
60	40	12	Transparent clear dispersion	13	} Oil/ water emulsifiers	
70	30	14	} Clear colloidal solution			15
80	20	16		18		} Washing agents
90	10	18		} Solubilizers		
100	0	20				

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราเร็วในการเกิดการเกาะกลุ่มสามารถคำนวณได้ โดยอาศัยทฤษฎี Smoluchowski (25) ซึ่งตั้งอยู่บนสมมติฐานว่า กระบวนการเกิดการเกาะกลุ่มจะถูกควบคุมโดยการแพร่ (diffusion) และการชนกันแต่ละครั้งของอนุภาคทำให้เกิดการเกาะติดกันของอนุภาคทั้งสองอย่างถาวร กรณีที่ระบบไม่มีพลังงานระหว่างอนุภาค (energy barrier)

$$n_1 = \frac{n_0}{1 + (t_1 / t_{1/2})} \quad (3.2)$$

$$t_{1/2} = \frac{3\eta}{4k T n_0} \quad (3.3)$$

$n_0$  คือ จำนวนอนุภาคเริ่มต้น

$n_1$  คือ จำนวนอนุภาคเมื่อเวลาผ่านไป  $t$

$t_{1/2}$  คือ ระยะเวลาที่มีผลทำให้จำนวนอนุภาคลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของจำนวนเริ่มต้น

$\eta$  คือ ความหนืดของของเหลวตัวกลาง

$k$  คือ ค่าคงที่ (Boltzmann constant)

$T$  คือ อุณหภูมิ (absolute temperature)

กรณีที่ระบบมีพลังงานระหว่างอนุภาค (energy barrier) โอกาสในการชนกันของอนุภาคจะลดลง และค่า  $t_{1/2}$  จะเพิ่มขึ้น โดยแฟกเตอร์  $1/F$  ดังสมการ

$$t_{1/2} / F = \frac{1}{8 \pi D a n_0} \int_0^\infty \exp.(V/kT) \frac{dH_0}{H_0^2} \quad (3.4)$$

$F$  คือ สัดส่วนของจำนวนครั้งในการชนของอนุภาคซึ่งทำให้เกิดการเกาะติดกันอย่างถาวรของอนุภาค

$D$  คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของอนุภาคซึ่งรัศมี  $a$

$H_0$  คือ ระยะที่อนุภาคทั้งสองอยู่ห่างกัน

$V$  คือ พลังงานระหว่างอนุภาค (energy barrier)

2. การแยกตัว (Creaming) เกิดจากอนุภาคของของเหลวที่รวมตัวกันแยกตัวออกจากของเหลวตัวกลางตามความถ่วงจำเพาะของของเหลวโดยอนุภาคจะไม่แตกตัว และสามารถกระจายได้อย่างสม่ำเสมออีกครั้ง โดยการเขย่า

อิมัลชันที่มีค่า IPR ต่ำๆจะถูกควบคุมโดยกฎของสโตค (Stokes law) อัตราเร็วในการเกิดการแยกตัว (creaming ;  $dx/dt$ ) คำนวณได้จาก

$$\frac{dx}{dt} = \frac{2a^2 (d_2 - d_1) g}{9\eta} \quad (3.5)$$

X คือ ระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ในระยะเวลา t

a คือ รัศมีของอนุภาคทรงกลม

d คือ ความหนาแน่นของของเหลวที่อนุภาคเคลื่อนที่อยู่ที่

$\eta$  คือ ความหนืดของของเหลวที่อนุภาคเคลื่อนที่อยู่ที่

3. การแยกชั้น (Breaking) เป็นกระบวนการที่เกิดการรวมตัว (coalesce) ของอนุภาค ทำให้ค่าเฉลี่ยของการกระจายขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเปลี่ยนไปและในที่สุดเกิดการแยกชั้นของชั้นน้ำมันและชั้นน้ำ

กลไกการเกิดการแยกชั้นมีผู้ทำการศึกษามากมายแต่ยังไม่อาจสรุปได้แน่นอน

Van den Temple (26) ได้ศึกษากระบวนการแยกชั้นของอิมัลชัน โดยกล่าวว่าเป็นไปตามกฎข้อที่หนึ่งของคิเนติกส์ (first-order kinetics) ดังสมการ

$$n_t = K_1 n_0^2 (1 + K_1 n_0 t)^{-2} \{ (K_1 n_0 / K_2) [1 - \exp(-K_2 t)] \} \quad (3.6)$$

$n_t$  คือ จำนวนอนุภาคทั้งหมดหลังจากเวลา t

$n_0$  คือ จำนวนอนุภาคเมื่อ  $t = 0$

$K_1$  คือ อัตราการเกิดการเกาะตัวของอนุภาค (rate of flocculation)

$K_2$  คือ อัตราการเกิดการรวมตัวของอนุภาค (rate of coalescence)

ถ้า อัตราการเกิดการเกาะตัวของอนุภาค (rate of flocculation) เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วสมการที่ 3.6 จะเขียนใหม่ได้เป็น

$$n_t = [n_0/K_2t][1-\exp(-K_2t)] \quad (3.7)$$

4. การหลอมของอนุภาค (Oswald Ripening) เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นจากการที่อนุภาคขนาดเล็กหายไปโดยการแพร่ผ่านเข้าสู่ของเหลวตัวกลางที่อนุภาคใหญ่กว่าและหลอมเป็นอนุภาคเดียวกัน โอกาสในการเกิดจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติความเข้ากันได้เล็กน้อยเพียงใดของชั้นน้ำและชั้นน้ำมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติของความเป็นขั้ว(polarity)ของของเหลวทั้งสองวัตถุ โดยทั่วไปแล้วจะเกิดขึ้นน้อยมากหรือแทบจะไม่เกิดเลยในระบบอิมัลชันทั่วไป

5. การกลับวัตถุภาค (Phase Inversion)เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นค่อนข้างรวดเร็วโดยการกลับวัตถุภาคเกิดจากการที่ IPR เพิ่มขึ้นเกินค่ากำหนดหรืออาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ทำให้เกิดการกลับวัตถุภาคของของเหลวโดยทำให้ O/W อิมัลชันเป็น W/O อิมัลชันหรือในทางกลับกัน W/O อิมัลชันกลายเป็น O/W อิมัลชัน

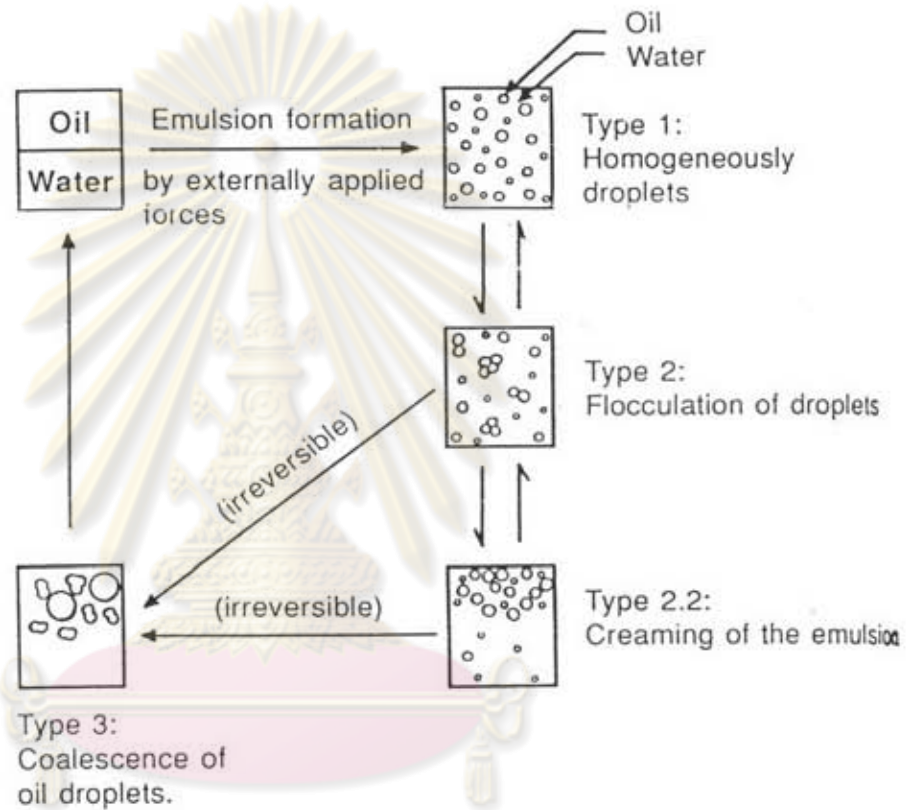
จากทฤษฎีความคงตัวของระบบอิมัลชัน อาจแบ่งระบบอิมัลชันออกเป็น 3 ชนิด ตามคุณสมบัติความคงตัวตามกายภาพดังนี้

1. อิมัลชันสมบูรณ์แบบ : หมายถึงระบบอิมัลชันที่มีความคงตัวทางกายภาพอย่างสมบูรณ์ ไม่เกิดการเกาะกัน(flocculation) , ไม่เกิดการแยกตัว(creaming) และไม่มีการรวมตัว (coalesce) ของอนุภาคที่กระจายอยู่ในอิมัลชันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

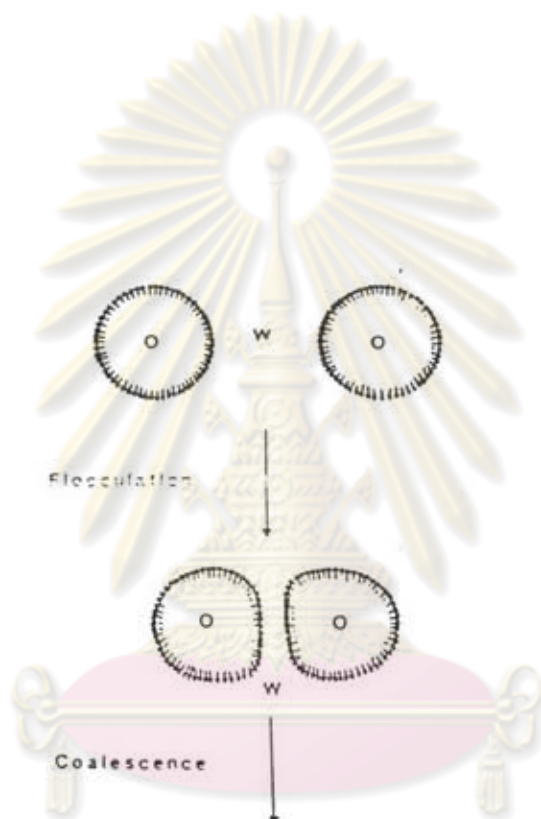
2. อิมัลชันสมบูรณ์แบบปานกลาง : หมายถึงระบบอิมัลชันที่มีความคงตัวทางกายภาพปานกลาง กล่าวคืออาจเกิดการเกาะกัน(flocculation) และการแยกตัว(creaming) แต่อนุภาคไม่มีการรวมตัว (coalesce)และอิมัลชันสามารถเปลี่ยนความคงตัวเป็นชนิดสมบูรณ์แบบได้ง่ายและรวดเร็วโดยการเขย่า ซึ่งจะช่วยให้การเกาะกัน(flocculation)และการแยกตัว(creaming)หายไป

3. อิมัลชันไม่สมบูรณ์แบบ : หมายถึง ระบบอิมัลชันที่ไม่มีความคงตัวทางกายภาพเลย โดยระบบเกิดการเกาะกัน(flocculation) และการแยกตัว(creaming) / จากนั้นจะเกิดการรวมตัว (coalesce) ของอนุภาค อิมัลชันอย่างรวดเร็วจนในที่สุดเกิดการแยกชั้นของชั้นน้ำมันและชั้นน้ำอย่างเห็นได้ชัด

แผนภูมิแสดงให้เข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงความคงตัวทางกายภาพของระบบอิมัลชันทั้ง 3 ชนิด ได้แสดงในรูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
รูปที่ 3.16 แสดงแผนภูมิของการเปลี่ยนแปลงความคงตัวทางกายภาพของระบบอิมัลชัน  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยพัทยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.17 แสดงกลไกการเกิดการเกาะตัว(Flocculation) และการรวมกัน(Coalescence)ของอนุภาคในอิมัลชัน



.อิมัลชันจะมีความคงตัวที่ดีโดยการเติมสารรักษาความคงตัว (stabilizer) ทฤษฎีความคงตัวมากมายถูกเสนอขึ้น เพื่ออธิบายกลไกการทำงานของสารรักษาความคงตัว ทฤษฎีต่างๆพอสรุปและรวบรวมได้ดังนี้

1. การลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันและน้ำ (The lowering of interfacial tension between oil and water)

โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วนที่มีขั้วสูง(hydrophilic) และส่วนที่มีขั้วต่ำ(hydrophobic) โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะเรียงตัวอยู่บริเวณผิวประจัน โดยส่วนที่มีขั้วสูงหันออกทางชั้นน้ำและส่วนที่มีขั้วต่ำหันเข้าหาชั้นน้ำมัน การเรียงตัวในลักษณะดังกล่าวมีผลทำให้แรงตึงผิวที่ผิวประจัน ( $\gamma_{ow}$ ) ลดลง

$$-d\gamma = \Gamma RT \ln C \quad (3.8)$$

$\Gamma$  คือ จำนวนสารลดแรงตึงผิวที่ดูดซับอยู่บริเวณผิวประจันต่อหน่วยพื้นที่

$C$  คือ ความเข้มข้นในของเหลวตัวกลาง(bulk phase)

$R$  คือ ค่าคงที่ของกาซ

$T$  คือ อุณหภูมิ(absolute temperature)

Lynch MJ และคณะวิจัย (18) ได้เสนอว่า การลดลงของแรงตึงผิวที่ผิวประจันส่งผลให้ความคงตัวของระบบอิมัลชันเพิ่มขึ้นแต่ไม่ถาวร

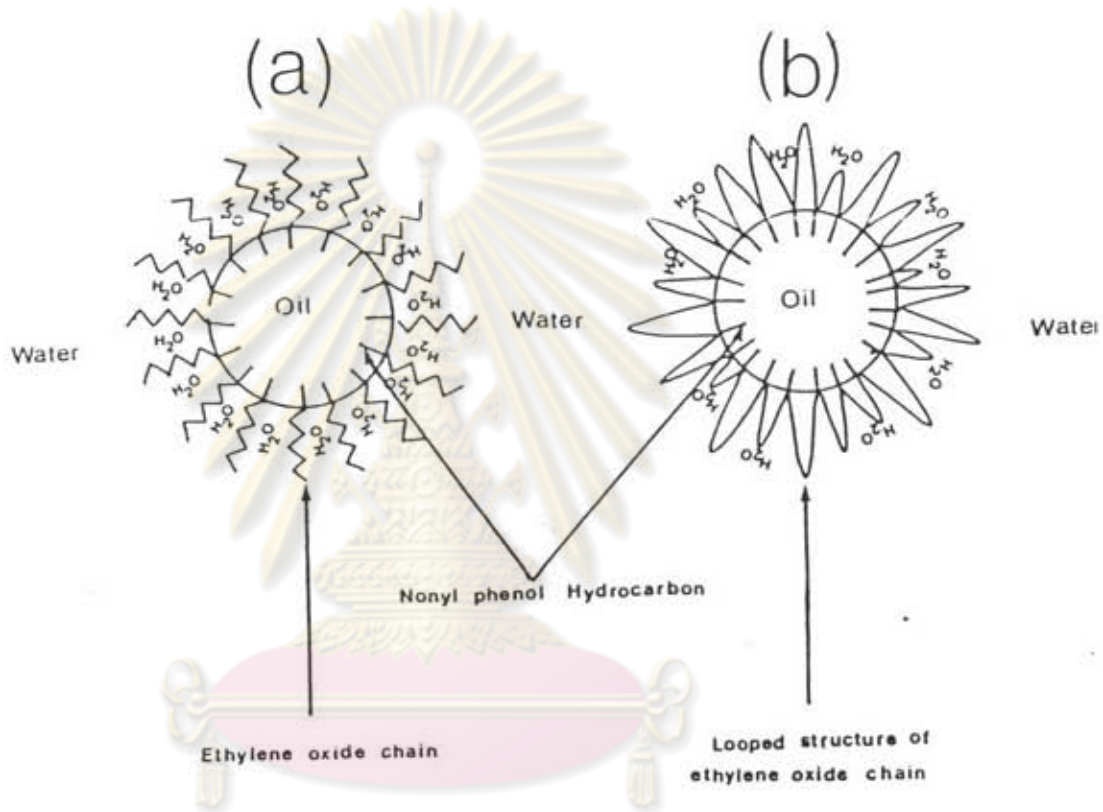
2. ทฤษฎีความคงตัวทางสเตอริก (The Steric Stabilization Theory)

ความคงตัวทางสเตอริก หมายถึง ความคงตัวของระบบอิมัลชัน ซึ่งมีสารทำอิมัลชันประเภทนอนไอออนิกเป็นสารรักษาความคงตัว

โดยทั่วไปโมเลกุลของสารทำอิมัลชันประเภทไอออนิกจะเรียงตัวอยู่ที่ผิวประจันระหว่างชั้นน้ำมันและชั้นน้ำ ส่วนที่มีขั้วต่ำจะหันเข้าสู่อนุภาคซึ่งเป็นชั้นน้ำมัน และส่วนที่มีขั้วสูงคือสายโซ่เอทิลีนออกไซด์(ethylene oxide chains)จะหันออกสู่ชั้นน้ำโดยการเรียงตัวของสารโซ่เอทิลีนออกไซด์อาจอยู่ได้ 2 ลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.18

ก) หางของสายโซ่เอทิลีนออกไซด์(ethylene oxide chains)ยึดตัวลงสู่ชั้นน้ำ

ข) หางของสายโซ่เอทิลีนออกไซด์(ethylene oxide chains)จัดเรียงกันเป็นวง(loop)บนผิวของอนุภาค โดยมีโมเลกุลของน้ำแทรกซึมเข้าสู่ช่องว่างระหว่างโครงสร้างของวง(looped structure)



รูปที่ 3.18 แสดงลักษณะชั้นของสารลดแรงตึงผิวที่ถูกดูดซับรอบอนุภาค (adsorbed surfactant layer) เมื่อมีสารทำอิมัลชันประเภทนอนไอออนิก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นสารรักษาความคงตัว

เมื่ออนุภาคทั้ง 2 ลักษณะ (a หรือ b) เกิดการชนกันเนื่องจากการเคลื่อนที่อย่างอิสระ (brownian motion) จะทำให้เกิดแรงผลัก(steric repulsion)ระหว่างอนุภาคที่มาชนกัน และเกิดปรากฏการณ์ขึ้น 2 อย่างคือ

2.1. ออสโมติก (osmotic) ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่ความหนาของชั้นของสารลดแรงตึงผิวที่ถูกดูดซับบนอนุภาค(adsorbed surfactant layer) < ระยะทางระหว่างอนุภาคทั้งสอง( $H_0$ ) < สองเท่าของความหนาของชั้นของสารลดแรงตึงผิวที่ถูกดูดซับบนอนุภาค(adsorbed surfactant layer;  $2\delta$ ) เมื่ออนุภาคเกิดการชนกันชั้นของสารลดแรงตึงผิวจะเกิดการซ้อนทับกัน(overlap)ดังแสดงในรูปที่ 3.19 โมเลกุลของน้ำจะถูกขจัดออกในบริเวณที่เกิดการซ้อนทับกัน(overlap)พร้อมกับการเปลี่ยนแปลงของพลังงานอิสระบริเวณดังกล่าว( $\Delta G_{R1}$ )

$$\Delta G_{R1} = 2\pi_B \left\{ \frac{2\pi}{3} [\delta - H_0]^2 [3a + 2\delta + \frac{H_0}{2}] \right\} \quad (3.9)$$

$\pi_B$  คือ ค่าความดันออสโมติก(excess osmotic pressure)ที่เกิดขึ้นระหว่างที่อนุภาคชนกัน

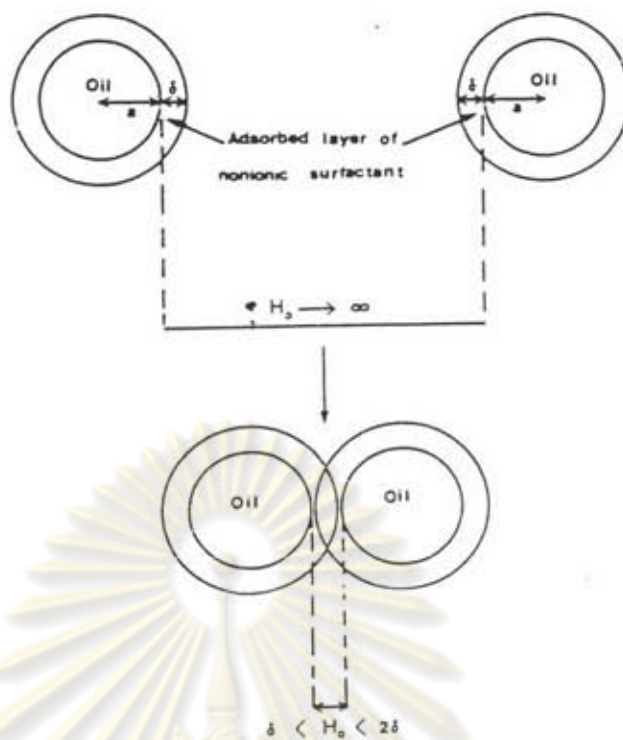
$\Delta G_{R1}$  คือ พลังงานที่เกิดจากแรงผลัก(steric repulsion)ระหว่างการชนกันของอนุภาคเมื่อมีสารอิมัลชันประเภทนอนไอออนิกเป็นสารรักษาความคงตัว

a คือ รัศมีของอนุภาค

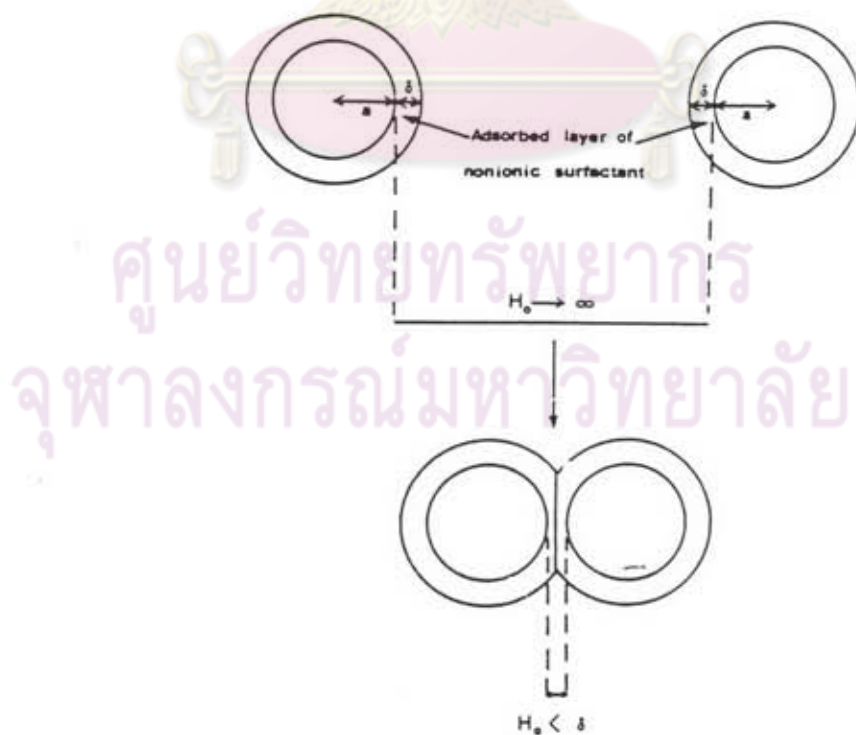
$\delta$  คือ ความหนาของสารลดแรงตึงผิวประเภทนอนไอออนิกที่ถูกดูดซับบนอนุภาค(adsorbed layer of nonionic surfactant)

แรงผลักจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความยาวของมากขึ้นและยังขึ้นอยู่กับจำนวนสายโซ่เอทิลีนออกไซด์ต่อหน่วยพื้นที่ผิวอนุภาคอีกด้วย

2.2. โวลุ่มรีสติกชัน(Volume restriction) เกิดขึ้นเมื่อระยะทางระหว่างอนุภาคทั้งสอง ( $H_0$ ) < ความหนาของชั้นของสารลดแรงตึงผิวที่ถูกดูดซับบนอนุภาค (adsorbed surfactant layer ;  $\delta$ ) เมื่ออนุภาคมาชนกันจะเกิดการอัดกัน (compression) ของสายโซ่เอทิลีนออกไซด์ที่ผิวของอนุภาคทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 3.20 พลังงานอิสระที่เกิดจากการอัดกัน(compression; $\Delta G_R^{com}$ )ระหว่างอนุภาคคำนวณได้จาก



รูปที่ 3.19 แสดงผลการชนกันของอนุภาคและเกิดออสโมติก(osmotic)



รูปที่ 3.20 แสดงผลของโวลูมรีสติก(volume restriction) เมื่ออนุภาคเกิดการชนกัน

$$\Delta G_R^{com} = \frac{G_e (\delta - H_0)^{5/2} (a + \delta)^{1/2}}{1.325 \cdot 2} \quad (3.10)$$

$G_e$  คือ อีลาสติกโมดูลัส(elastic modulus)ของชั้นของสารลดแรงตึงผิวที่ดูดซับบนผิวอนุภาค(adsorbed surfactant layer)

พลังงานอิสระรวม ( $\Delta G_{R2}$ ) ซึ่งเกิดจากโวลูมรีสติก(volume restriction)สามารถแสดงได้ด้วยสมการ Napper DH ; 1977 ดังนี้

$$\Delta G_{R2} = \Delta G_{R1} + \Delta G_{R1}^{intra} + \Delta G_R^{com} \quad (3.11)$$

$\Delta G_{R1}^{intra}$  คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดจากผลของระหว่างโมเลกุลของสารโซ่เอทิลีนออกไซด์

ระบบอิมัลชันที่มีสารทำอิมัลชันประเภทนอนไอออนิกเป็นสารรักษาความคงตัว จะมีพลังงานรวมที่ผิวอนุภาค( $V_{tot}$ )ซึ่งแสดงได้ด้วยสมการ ดังนี้

$$V_{tot} = V_A + V_R + G_R \quad (3.12)$$

เมื่อ  $G_R$  อาจได้มาจาก  $G_{R1}$  หรือ  $G_{R2}$  ก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของความคงตัวทางสเตอริค(steric stabilization) พลังงานรวม  $G_R$  น่าจะมีค่ามากกว่าผลรวมของพลังงานที่เกิดจากแรงผลักที่เกิดจากประจุไฟฟ้า(electrostatic repulsion;  $V_R$ ) และมากกว่าพลังงานที่เกิดจากแรงวานเดอวาลส์(Van der Waals force;  $V_A$ ) เมื่ออนุภาคของอิมัลชันห่างจากกันในระยะทางสองเท่าของความหนาของชั้นของสารลดแรงตึงผิวที่ถูกดูดซับบนอนุภาค(adsorbed surfactant layer; 2 $\delta$ )

### 3. ทฤษฎีการเกิดโมเลกุลที่ซับซ้อน(The Theory of Molecular Complex formation)

วิทยาศาสตร์ได้ทำการศึกษาความคงตัวของอนุภาคในระบบอิมัลชันและสนับสนุนว่าอนุภาคอิมัลชันจะมีความคงตัวดีเมื่อใช้สารทำอิมัลชันผสม(mixed surfactants) โดยที่สารตัวแรกมีคุณสมบัติละลายได้ดีในชั้นน้ำ สารตัวที่สองสามารถละลายได้ดีในชั้นน้ำมัน ส่วนผสมของสารทั้งสองมีประสิทธิภาพในการรวมตัวกันซับซ้อน (complex) ในรูปของฟิล์มโมเลกุลเดี่ยว (mono-molecular film) ที่ล้อมรอบอนุภาค

4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความหนืดของอิมัลชันเมื่อเกิดแรงเฉือนที่ผิวร่วม ความยืดหยุ่นที่เกิดจากผิวร่วม และความยืดหยุ่นจิปส์ (Theory of Interfacial Shear Viscosity  $\eta_s$ , Interfacial shear Elasticity  $G_s$ , Gibbs' elasticity)

คุณสมบัติการไหลของฟิล์มรอบอนุภาค มีส่วนสำคัญในการควบคุมไม่ให้อนุภาคแตกตัวเมื่ออนุภาคชนกันภายใต้การเคลื่อนที่อย่างอิสระ (brownian motion) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อฟิล์มที่ล้อมรอบอนุภาคมีความหนืดสูง ความยืดหยุ่นสูงจะมีผลช่วยสนับสนุนความคงตัวของอนุภาคอิมัลชันได้ดียิ่งขึ้น Pithayanukl, P และ Pilpel, N (19) ได้ศึกษารายละเอียดถึงความหนืดและความยืดหยุ่นของฟิล์มรอบอนุภาคและพบว่าคุณสมบัติของฟิล์มที่มีทั้งความหนืดสูงและความยืดหยุ่นสูงจะเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มความคงตัวของอิมัลชัน

สารประเภท โพรตีนและกัม (gum) มีคุณสมบัติที่สามารถให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติทั้งเหนียว ยืดหยุ่นสูงและมีความหนาเพราะพองตัวได้ดีในน้ำ ดังนั้นสารกลุ่มนี้จึงสามารถใช้รักษาความคงตัวของระบบอิมัลชันได้ดี นอกจากสารในกลุ่ม โพรตีนและกัม (gum) แล้ว สารทำอิมัลชันประเภทอีนอนิกซึ่งประกอบด้วยหางของสายโซ่โพลีเอทิลีนออกไซด์ (polyoxyethylene oxide chain) ยาวสามารถให้ฟิล์มที่อยู่ล้อมรอบอนุภาคมีความหนา ความหนืด และความยืดหยุ่นสูงได้ดีเช่นกัน ในทางตรงกันข้ามสารที่ทำให้เกิดฟิล์มที่มีความหนืดต่ำ ความยืดหยุ่นต่ำ จะไม่สามารถใช้เตรียมอิมัลชันที่มีความคงตัวได้

5. ทฤษฎีผลึกของของเหลวและการเกิดชั้นหลายชั้น (Theory of Liquid Crystals and Multilayer formation)

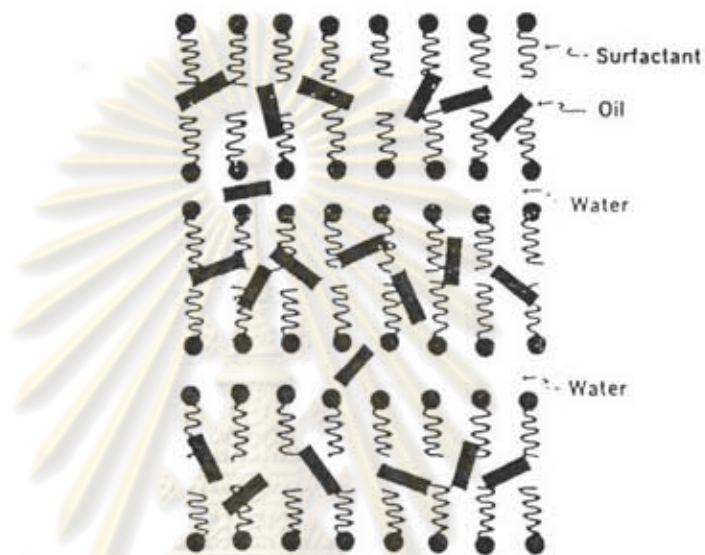
โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวสามารถเกิดฟิล์มชั้นเดียวที่ล้อมรอบอนุภาค (monolayer film) และยังมีโอกาสเกิดฟิล์มหลายชั้นที่ล้อมรอบอนุภาค (multilayer film) เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวสูงเพียงพอในระบบอิมัลชันที่เตรียมขึ้น

Pithayanukl, P และ Pilpel, N (19) ได้ศึกษาความหนาของฟิล์มรอบอนุภาค และสามารถคำนวณฟิล์มรอบอนุภาคที่ประกอบด้วยสารลดแรงตึงผิวเรียงตัวกันมากกว่า 1 ชั้นขึ้นไปและในปี 1989 ได้ศึกษาศักยภาพละเอียดมากขึ้นจนสามารถถ่ายภาพอนุภาคอิมัลชันด้วยกล้องอิเล็กโตรไมโครสโคป (electromicroscope) พบว่า ฟิล์มรอบอนุภาคอิมัลชันเรียงตัวกันเป็นระเบียบโดยประกอบด้วยฟิล์มหลายชั้น

ภายในฟิล์มที่ล้อมรอบอนุภาคหลายชั้น(multilayer film) ดังแสดงในรูปที่ 3.21 โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวสามารถจัดเรียงตัวกันในลักษณะต่างๆกัน ได้หลายลักษณะ และยังมีปฏิกิริยาแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง โมเลกุลของฟิล์ม(multilayer film)กับชั้นน้ำมันกับชั้นน้ำอีกด้วย ซึ่งอาจก่อให้เกิดการรวมตัวเป็นฟิล์มที่มีความหนืดสูงและความยืดหยุ่นสูง ซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้อนุภาคอีมีลชันแตกตัวเมื่อเกิดการชนกัน ดังนั้นอีมีลชันจึงมีความคงตัวสูง



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.21 แสดงการจัดเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวในฟิล์ม  
ที่ล้อมรอบอนุภาคหลายชั้น(multilayer)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย