บทที่ 3

ทฤษฎีกระบวนการโคเอเลสเซนซ์

3.1 หลักการแยกสารอิมัลชั่นด้วยกระบวนการโคเอเลสเซนซ์

กระบวนการโคเอเลสเซนซ์ เป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคสารกระจายขนาดเล็กเกิดการรวมตัวจนมีขนาดใหญ่ขึ้นโดยผ่านโคเอเลสเซอร์ ทำให้ความเร็วในการลอยตัวของอนุภาคสูงขึ้น และสามารถลดพื้นที่ของถังตกตะกอนได้มาก ความเร็วในการลอยตัวสามารถหาได้จากสมการของ Stoke's Law ดังนี้

$$W = \Delta\rho g . d_e^2 / 18\mu \qquad 3.1$$

เมื่อ W = ความเร็วในการลอยตัวของหยดน้ำมัน

$\Delta\rho$ = ผลต่างของความหนาแน่นของสารกระจาย และสารต่อเนื่อง

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

d_e = เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคสารกระจาย

μ = ค่าความหนืดของสารต่อเนื่อง

จากสมการที่ 3.1 จะพบว่า ถ้าเราเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค ความเร็วในการลอยตัวขึ้นของอนุภาค ก็จะเพิ่มขึ้นเป็นกำลังสองของเส้นผ่าศูนย์กลาง ซึ่งเป็นการเพิ่มที่มีผลอย่างยิ่ง

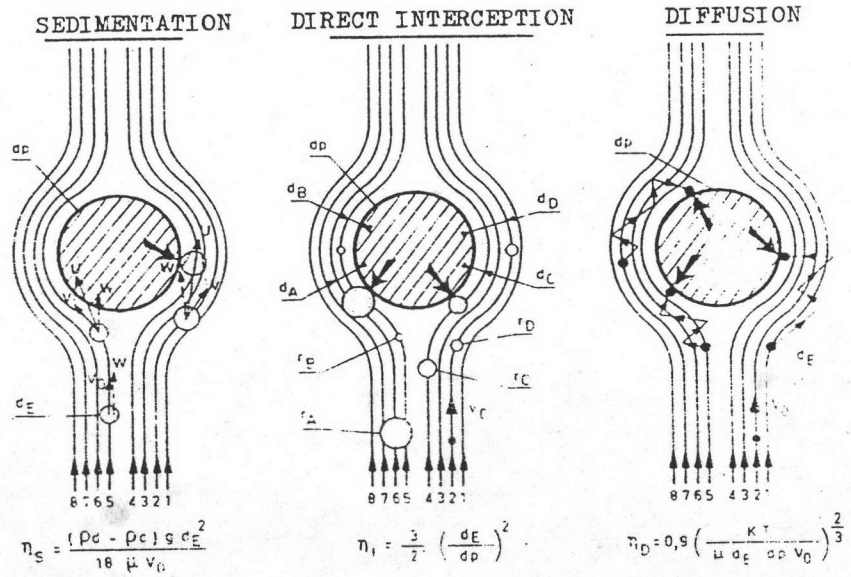
3.2 ทฤษฎีและการทำงานของกระบวนการโคเอเลสเซนซ์

ในอิมัลชั่น อนุภาคสารกระจายจะเป็นอนุภาคขนาดเล็ก ๆ แขวนลอยอยู่ในสารต่อเนื่อง เมื่ออิมัลชั่นผ่านเข้าสู่โคเอเลสเซอร์สารกระจายจะเกิดการปะทะกับสารชั้นตัวกลางภายในโคเอเลสเซอร์ ทำให้มีโอกาสสัมผัสและรวมตัวซึ่งกันและกัน โดยมีขั้นตอนดังนี้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.1 การส่งผ่านสารกระจายเข้าสู่ชั้นตัวกลาง

ขั้นตอนนี้สารชั้นตัวกลางของกระบวนการโคเอเลสเซอร์ ทำหน้าที่เป็นสารชั้นตัวกลางโดยจะเป็นตัวดักจับอนุภาคของสารกระจายที่เข้าสู่ชั้นตัวกลาง ลักษณะของการดักจับอนุภาคของสารกระจายสามารถแสดงเป็นแบบจำลองได้ 3 ลักษณะ ดังนี้.-



รูป ก รูป ข รูป ค

รูปที่ 3.1 แสดงแบบจำลองทั้ง 3 แบบ ของการส่งผ่านสารกระจายเข้าสู่ชั้นตัวกลาง

3.2.1.1 <u>แบบจำลองที่ 1 การส่งผ่านแบบตกตะกอน</u> (Transportation by Sedimentation) การส่งผ่านลักษณะนี้เป็นดังในรูปที่ 3.1 รูป ก จากการพิจารณาอนุภาคน้ำมันในเส้นทางไหลที่ 5 พบว่าอนุภาคน้ำมันจะเคลื่อนที่ด้วยแรงที่กระทำ 2 แรง คือ

- แรงจากแรงลอยตัวของสารกระจาย (W)
- แรงจากความเร็วของสารต่อเนื่องที่ส่งผ่านเข้า (V_0) ชั้นตัวกลาง

ในขณะที่หยดน้ำมันเคลื่อนเข้าใกล้สารชั้นตัวกลาง แรง W ยังคงมีทิศทางขึ้นเช่นเดิม ในขณะที่แรง V_o เปลี่ยนทิศทางไปตามเส้นทางการไหลของสารต่อเนื่อง ทำให้เกิดแรงรวมดึงอนุภาคสารกระจายเข้าหาสารตัวกลาง ซึ่งจะจับยึดอนุภาคของสารกระจายได้ ประสิทธิภาพของการจับยึดตามแบบจำลองนี้หาได้จากสมการที่ 3.2 (16)

$$\eta_s = \frac{W}{V_o} = \frac{\Delta\rho \, g \cdot d_e^2}{18 \mu V_o} \qquad 3.2$$

เมื่อ η_s = ประสิทธิภาพการจับยึดของแบบจำลองที่ 1

3.2.1.2 <u>แบบจำลองที่ 2 การส่งผ่านแบบปะทะ</u> (Transportation by direct interception) การส่งผ่านแบบนี้ จะเกิดขึ้นเมื่อไม่มีผลต่างของความหนาแน่นระหว่างสารกระจาย และสารต่อเนื่อง หรือมีค่าน้อยมาก ดังในรูปที่ 3.1 ข สำหรับแบบจำลองนี้สารชั้นตัวกลางจะจับยึดสารกระจายโดยขึ้นกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคสารกระจายชั้นตัวกลางนั้น ๆ

จากรูปที่ 3.1 ข พิจารณาหยดน้ำมันที่มีรัศมี r_A ในเส้นทางการไหลที่6 อนุภาคของสารกระจายจะถูกจับยึดกับสารชั้นตัวกลางเมื่อเคลื่อนที่เข้าใกล้ในระยะ d_A ซึ่งจะทำให้เกิดการจับยึดโดยตรง ประสิทธิภาพการจับยึดตามแบบจำลองนี้หาได้จาก

$$\eta_I = \frac{3}{2}\left(\frac{d_e}{d_p}\right)^2 \qquad 3.3$$

เมื่อ η_I = ประสิทธิภาพการจับยึด

d_e = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอนุภาคสารกระจาย

d_p = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคสารชั้นตัวกลาง

3.2.1.3 <u>แบบจำลองที่ 3 การส่งผ่านแบบแพร่กระจาย</u> (Transportation by diffusion) แบบจำลองแบบนี้ใช้กับอนุภาคสารกระจายที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 5 ไมครอน ซึ่งจะเกิดการจับยึดแบบ diffusion

ประสิทธิภาพของแบบจำลองแบบนี้หาได้จาก

$$\eta_d = 0.9 \frac{K.T}{c\, d_e\, d_p\, V_\infty}^{2/3} \qquad 3.4$$

เมื่อ η_d = ประสิทธิภาพการจับยึดตามแบบจำลองที่ 3

K = ค่าคงที่ของโบลท์ซแมน

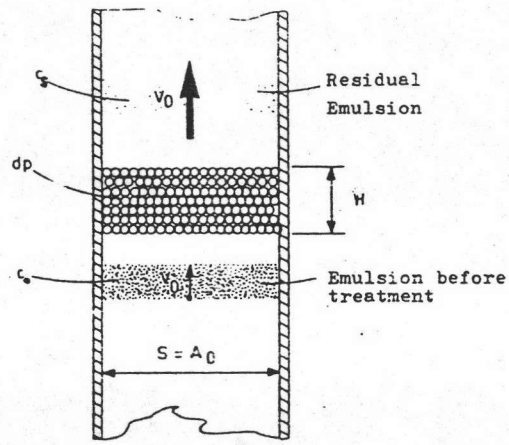
T = อุณหภูมิ องศาสัมบูรณ์

ดังนั้นประสิทธิภาพการจับยึดสารกระจายรวมทั้ง 3 แบบจำลอง มีค่าดังนี้

$$\eta_T = \eta_s + \eta_I + \eta_d \qquad 3.5$$

เมื่อพิจารณาสารชั้นตัวกลางที่มีความสูง H ดังในรูปที่ 3.2 สามารถหาประสิทธิภาพ

- การจับยึดของสารชั้นตัวกลางทั้งชั้นได้ดังนี้



รูปที่ 3.2 แสดงชั้นตัวกลางของกระบวนการโคเอลเซนซ์ที่สารกระจายเคลื่อนผ่าน

$$\frac{1 - C_s}{C_o} = 1 - e^{-3/2\,(1-\varepsilon)\,\alpha\,\eta_T\,H/d_p} \qquad 3.4$$

เมื่อ C_s = ความเข้มข้นของสารกระจายหลังออกจากระบบ

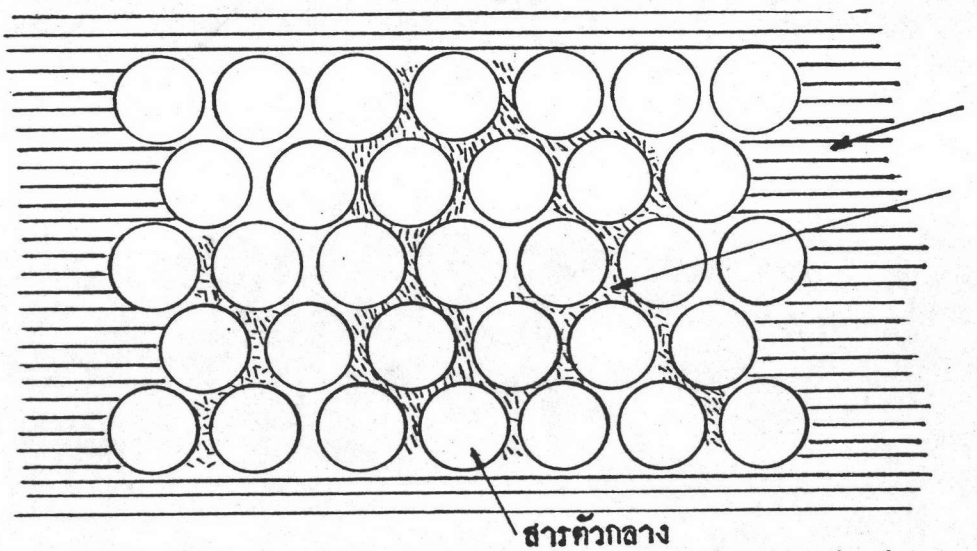
C_o = ความเข้มข้นของสารกระจายก่อนเข้าระบบ

ε = ค่าความพรุนของสารชั้นตัวกลาง

α = อัตราส่วนการสะท้อนกลับของสารกระจายเมื่อปะทะกับสารชั้นตัวกลาง โดยทั่วไปมีค่าน้อยกว่า 1

3.2.2 การรวมตัวของสารกระจายภายในสารชั้นตัวกลาง

ขั้นตอนนี้เกิดหลังจากสารกระจายถูกส่งผ่านเข้าสู่สารชั้นตัวกลาง และเกิดการปะทะติดอยู่ภายในสารชั้นตัวกลางแล้ว อนุภาคสารกระจายจะรวมตัวกันเป็นฟิล์มจนมีขนาดใหญ่ เคลื่อนผ่านช่องว่างของสารชั้นตัวกลางนั้น ๆ ชนิดของสารชั้นตัวกลางในขั้นตอนนี้มีอิทธิพลมาก จากสมการที่ 2.7 จะพบว่าสารที่เหมาะสมกับการใช้เป็นสารชั้นตัวกลาง ควรมีค่ามุมสัมผัสระหว่างสารกระจายกับผิวของสารน้อยกว่า 90 องศา เพื่อให้ค่างานแอดฮีชั่นที่ได้มีค่ามากที่สุด ฟิล์มที่เกิดขึ้นจะได้มีลักษณะฉาบรา ดังรูปที่ 3.3



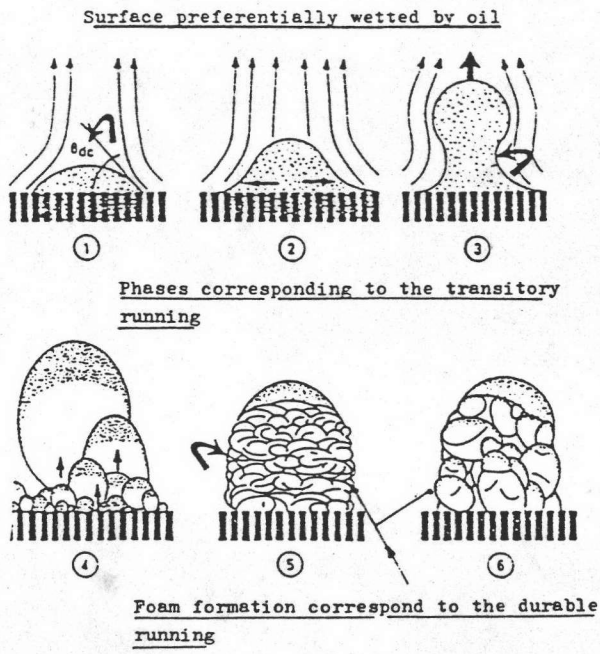
รูปที่ 3.3 แสดงการรวมตัวของสารกระจายที่เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างภายในสารชั้นตัวกลาง

3.2.3 การหลุดออกจากผิว

ขั้นตอนนี้เกิดจากสารกระจายที่รวมตัวกันเคลื่อนผ่านช่องว่างภายในสารชั้นตัวกลาง แล้วเคลื่อนสู่ผิวหน้าบนของสารชั้นตัวกลางหลุดลอยสู่ถังตกตะกอน การหลุดลอยของสารกระจายนี้ จะมีขนาดใหญ่หรือเล็กขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

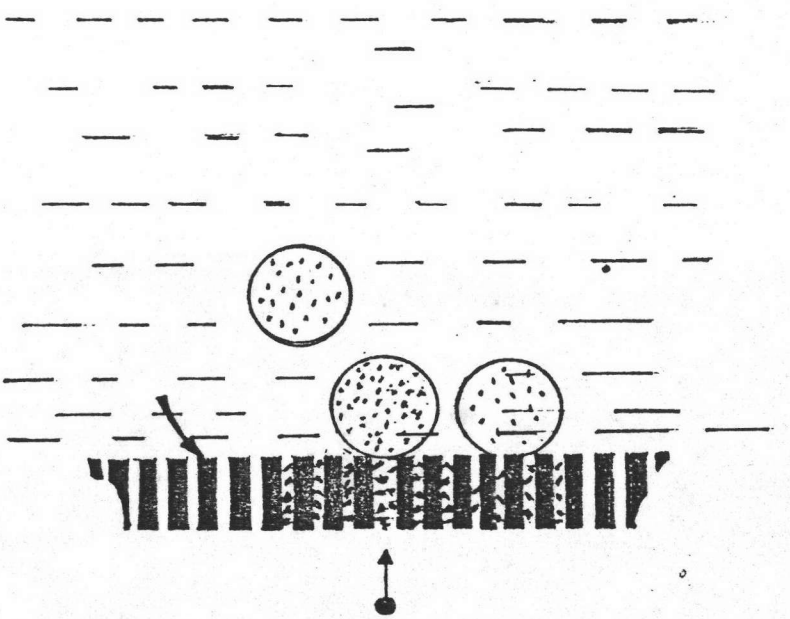
3.2.2.1 คุณสมบัติของสารผิวหน้าชั้นตัวกลาง เมื่อสารผิวหน้าชั้นตัวกลางเป็นสารที่น้ำมันจับยึดได้ การหลุดลอยของหยดน้ำมันจะยากขึ้นเนื่องจากถูกจับยึดไว้ ทำให้เกิดลักษณะเป็นโฟมขึ้นที่ผิวหน้า ดังรูปที่ 3.4 ก

ส่วนในสารผิวหน้าชั้นตัวกลางที่เป็นสารที่น้ำจับยึดได้ การหลุดลอยของหยดน้ำมันจะง่ายขึ้น ลักษณะการหลุดจะเป็นเม็ดกลม ดังรูปที่ 3.4 ข



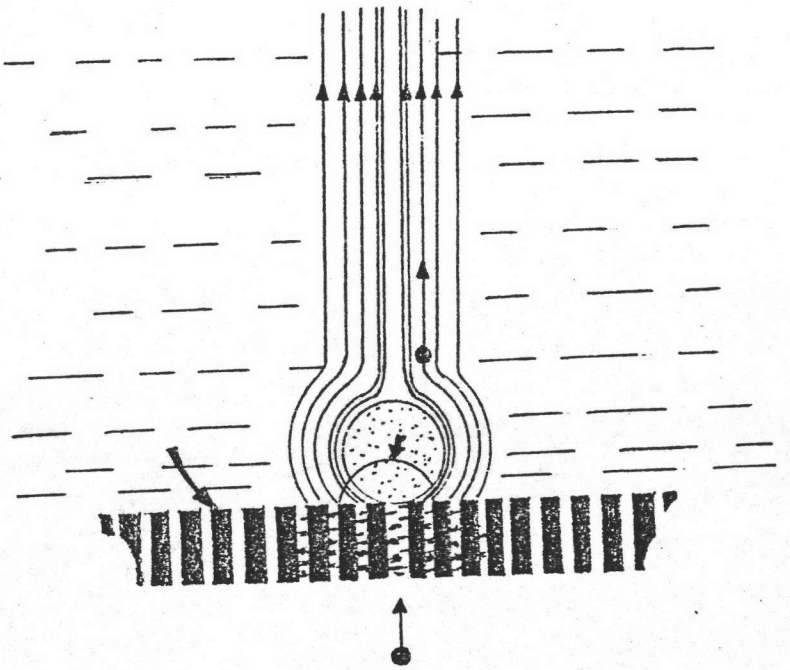
รูปที่ 3.4 ก แสดงการก่อตัวเป็นโฟมของสารกระจายที่ผิวหน้าสารชั้นตัวกลางที่น้ำมันจับยึดได้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



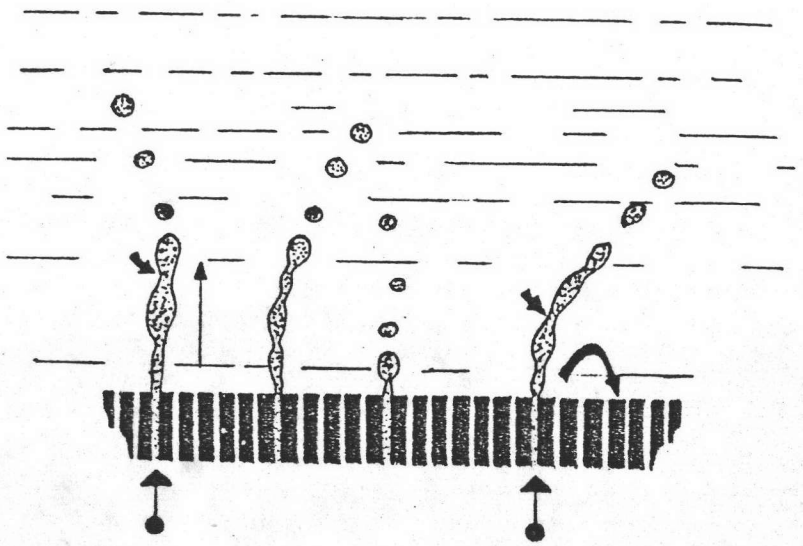
รูปที่ 3.4 ข แสดงการก่อตัวของสารกระจายที่ผิวหน้าสาร
ชั้นตัวกลางที่น้ำจับยึดได้

3.2.3.2 <u>แรงดึงผิวระหว่างน้ำกับน้ำมัน และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องที่ออก</u> ในขณะที่สารกระจายจะหลุดออกจากผิวหน้าสารชั้นตัวกลาง สารกระจายจะก่อตัวมีลักษณะทรงกลม โดยขนาดของทรงกลมนี้จะแปรผันตามแรงดึงผิวระหว่างน้ำกับน้ำมันและขนาดของช่องออกที่ใหญ่พอเหมาะ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการก่อตัวของสารกระจายที่ผิวหน้าสารชั้นตัวกลาง

3.2.3.3 <u>อัตราความเร็วของการบำบัด</u> ในกรณีที่อัตราความเร็วของการบำบัดสูง การหลุดออกของสารกระจายจะมีลักษณะเป็นสาย และมีขนาดของการรวมตัวจะมีขนาดเล็ก อัตราความเร็วที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 0.5 เมตรต่อวินาที ดังในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะการหลุดออกของสารกระจายที่อัตราความเร็วของการบำบัดสูง

3.2.3.4 <u>อัตราส่วนระหว่างสารกระจายกับสารต่อเนื่อง</u> ในกรณีที่อัตราส่วนระหว่างสารกระจายกับสารต่อเนื่องมีค่าสูง การหลุดออกของสารกระจายจะมีลักษณะเป็นสาย และความหนาของชั้นสารกระจายในถังตกตะกอนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว