

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ระบบคอลลอยด์ (มันลิน ตันซูลเวศน์, 2542)

ระบบคอลลอยด์ หมายถึง ระบบที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไปในสารตัวกลางซึ่งมีสถานะเป็นเนื้อเดียว ลักษณะที่สำคัญที่สุดของระบบคอลลอยด์ คือ บทบาทของผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคกับสารตัวกลาง เนื่องจากขนาดที่เล็กมากของอนุภาค ทำให้น้ำหนักไม่มีความสำคัญเท่ากับพื้นที่ผิวของสาร ระบบคอลลอยด์อาจจำแนกตามแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคกับสารตัวกลาง ถ้าสารตัวกลางเป็นน้ำและแรงยึดเหนี่ยวมีกำลังอ่อน ระบบเรียกว่า ไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวมีกำลังแรง ระบบเรียกว่า ไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) ตัวอย่างของอนุภาคแบบไฮโดรโฟบิก ได้แก่ ดินเหนียว ทองและโลหะอื่น ๆ ส่วนตัวอย่างของอนุภาคแบบไฮโดรฟิลิก ได้แก่ โปรตีน สบู่ และผงซักฟอก คอลลอยด์แบบไฮโดรโฟบิกสามารถแยกออกจากน้ำได้ง่ายกว่าคอลลอยด์แบบไฮโดรฟิลิก เนื่องจากคอลลอยด์แบบไฮโดรฟิลิกมีโมเลกุลของน้ำที่ห่อหุ้มอยู่จึงต้องใช้แรงมากในการบังคับให้อนุภาคต่าง ๆ เกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนเพราะโมเลกุลของน้ำเป็นเสมือนสิ่งกีดขวางที่ป้องกันมิให้อนุภาคต่าง ๆ เข้าใกล้และจับตัวกัน

#### 2.2 กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation)

กระบวนการโคแอกกูเลชัน เป็นกระบวนการทั้งหมดในการทำให้อนุภาคคอลลอยด์มารวมกันเป็นฟลอค การทำให้อนุภาคต่าง ๆ รวมตัวและจับตัวกันเป็นฟลอค มี 2 ขั้นตอน ดังนี้

##### 2.2.1 การทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของคอลลอยด์

เสถียรภาพของคอลลอยด์ขึ้นอยู่กับแรงผลักและแรงดูดระหว่างอนุภาค แรงผลักระหว่างอนุภาคเป็นผลมาจากประจุไฟฟ้าของอนุภาคหรือซีตาโพเทนเชียล ส่วนแรงดูดระหว่างอนุภาคเรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นแรงที่มีอำนาจเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กัน ถ้าแรงดูดสูงกว่าแรงผลั้อนุภาคคอลลอยด์จะไม่มีเสถียรภาพ การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์สามารถกระทำได้โดยอาศัยกลไก 4 แบบคือ

ก) การลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer) เป็นการเพิ่มจำนวนของอิออนที่มีประจุตรงกันข้ามกับประจุของอนุภาค ทำให้ชั้นกระจายมีความหนาลดลงและทำให้ซีตาโพเทนเชียลลดลงตามไปด้วย เนื่องจากมีประจุเข้าไปออกันอยู่ใกล้ผิวของอนุภาคคอลลอยด์เพิ่มขึ้นทำให้อำนาจประจุของอนุภาคไม่สามารถส่งออกไปไกลเท่าเดิม

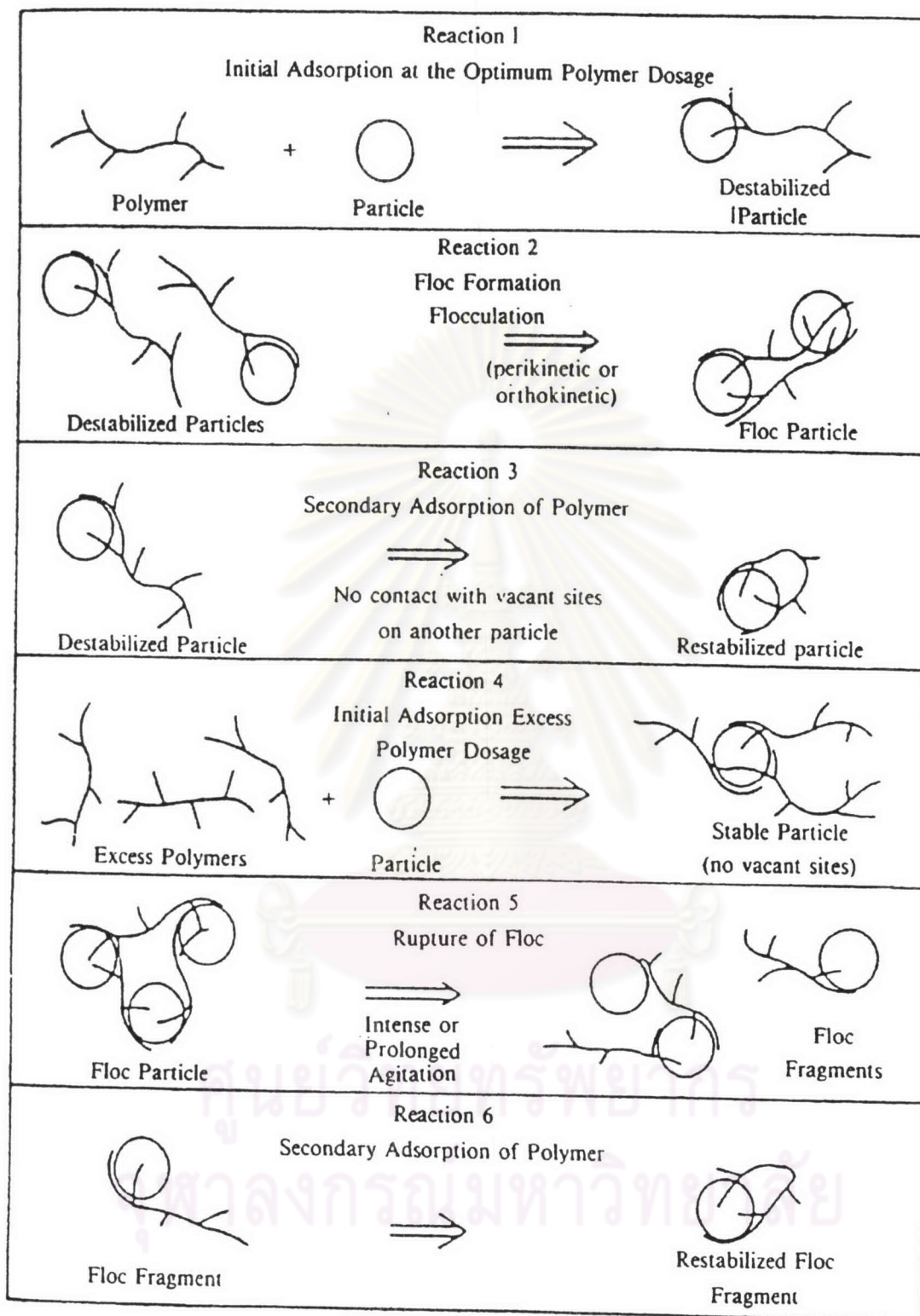
ข) การทำลายอำนาจประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption and Charge Neutralization) โดยการเติมสารเคมีที่มีประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามกับประจุอนุภาคคอลลอยด์ และสามารถดูดติดผิวของอนุภาคคอลลอยด์ การดูดติดผิวจะมีผลในทางลดอำนาจศักย์ไฟฟ้าและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์เนื่องจากอิออนต่างประจุสามารถเข้าถึงผิวอนุภาคได้ การทำลายศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์จึงได้ผลดีกว่าอิออนต่างประจุที่ไม่สามารถเข้าถึงผิวอนุภาคได้

ค) การใช้ผลึกสารอินทรีย์เพิ่มน้ำหนักและขนาดของอนุภาคคอลลอยด์ (ห่อหุ้มอนุภาค) โดยการเติมสารประกอบเกลือของโลหะบางชนิดลงไปในน้ำในปริมาณที่พอเพียง จะมีการตกผลึกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อนุภาคคอลลอยด์อาจเป็นแกนในของผลึกดังกล่าว เพื่อให้ผลึกมีขนาดใหญ่หรืออาจจับตัวรวมกับผลึกเป็นผลให้คอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพ

ง) การใช้สารอินทรีย์โพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer Bridging) อธิบายได้ด้วยโมเดลที่เรียกว่า Polymer Bridging Model (รูปที่ 2.1) โมเลกุลของสารโพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง การเกาะติดอาจเป็นผลเนื่องมาจากประจุที่ต่างกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ หรืออาจเป็นแรงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างประจุที่เหมือนกันของโพลีเมอร์และคอลลอยด์ อนุภาคที่มีโพลีเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว ส่วนอนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกสารโพลีเมอร์ยึดเกาะหลายตำแหน่งจนไม่มีปลายอิสระและไม่มีที่ว่างเรียกว่า อนุภาคที่มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่

## 2.2.2 การสร้างสัมผัสระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ (Transport of Colloidal Particles)

ขั้นตอนแรกของการทำโคแอกกูเลชันคือ การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ส่วนขั้นตอนต่อไปคือ การทำฟลอคคูเลชัน เป็นการทำให้อนุภาคต่าง ๆ เคลื่อนที่มาสัมผัสหรือกระทบกัน อนุภาคที่สัมผัสกันแล้วจะต้องเกาะติดกันจนเป็นกลุ่มก้อนหรือฟลอคจึงจะถือว่าเกิดฟลอคคูเลชัน ถ้ามีการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคแต่ไม่จับตัวกันไม่ถือว่าเกิด ฟลอคคูเลชัน วิธีสร้างสัมผัสให้กับอนุภาคต่าง ๆ มีหลายวิธี ดังนี้



รูปที่ 2.1 กลไกของการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์แบบต่อเชื่อมด้วยสารโพลีเมอร์  
 (มันสิน ตันทุลเวศน์, 2542)

ก) การทำให้อนุภาคคอลลอยด์ต่าง ๆ เคลื่อนที่ไปมาในน้ำจนกว่าจะมีการสัมผัสเกิดขึ้น การกวนน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่าง ๆ ของน้ำมีอัตราเร็วในการไหลแตกต่างกัน เป็นเหตุให้อนุภาคต่าง ๆ มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันจึงมีการสัมผัสเกิดขึ้น วิธีสร้างสัมผัสแบบนี้มีชื่อทางเทคนิคว่า ฟลอคคูเลชันแบบออร์โธไคเนติก (Orthokinetic Flocculation) อนุภาคคอลลอยด์ที่มีฟลอคคูเลชันแบบออร์โธไคเนติกควรมีขนาดใหญ่กว่า 0.1 - 1 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มก./ล.

ข) การสัมผัสของอนุภาคคอลลอยด์ อาจเกิดขึ้นได้เองโดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์กระทบกันเองหรือถูกชนโดยโมเลกุลของน้ำ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ จึงอาจกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนเป็นการเคลื่อนที่แบบอาศัยความร้อน การสัมผัสระหว่างอนุภาคต่าง ๆ ที่เกิดจากการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนหรืออาศัยความร้อนนี้เรียกว่า ฟลอคคูเลชันแบบเพริไคเนติก (Perikinetic Flocculation) การเคลื่อนที่ในระดับโมเลกุลดังกล่าว สามารถสร้างสัมผัสให้กับคอลลอยด์ขนาดเล็กกว่า 0.1 - 1 ไมครอนเท่านั้น

ค) การสัมผัสระหว่างอนุภาคเนื่องจากการตกตะกอน เกิดขึ้นจากการตกตะกอนที่มีอัตราความเร็วในการตกตะกอนไม่เท่ากันของอนุภาคขนาดต่าง ๆ ฟลอคคูเลชันด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการตกตะกอน ทำให้สามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ออกจากน้ำได้เลย อนุภาคที่สามารถสร้างฟลอคคูเลชันแบบนี้ต้องมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 50 มก./ล.

ง) ในกรณีที่อนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 0.1 - 1 ไมครอน แต่เล็กกว่า 5 ไมครอน และมีความเข้มข้นน้อยกว่า 50 มก./ล. ฟลอคคูเลชันอาจเกิดขึ้นโดยการสร้างสัมผัสแบบออร์โธไคเนติก แต่อาจเกิดช้าเนื่องจากโอกาสสัมผัสมีน้อย การใช้เครื่องกรองจะช่วยเพิ่มอัตราสัมผัสและบังคับให้อนุภาคต่าง ๆ เคลื่อนที่เข้ามาชิดกัน แต่เนื่องจากช่องว่างในชั้นกรองมีจำกัด วิธีนี้จึงใช้ได้กับอนุภาคที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 50 มก./ล.

จ) ในกรณีที่คอลลอยด์มีขนาดใหญ่กว่า 3 ไมครอน แต่มีความเข้มข้นต่ำ การสร้างสัมผัสอาจใช้วิธีการกรองได้เช่นกัน แต่สารกรองควรมีขนาดใหญ่กว่าทราย

### 2.2.3 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชัน

สารเคมีหลักที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันเรียกว่า โคแอกกูแลนต์ (Coagulant) หรืออาจเรียกว่า ฟลอคคูแลนต์ (Flocculant) สารเคมีซึ่งช่วยทำให้โคแอกกูแลนต์มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นเรียกว่า โคแอกกูแลนต์เอ็ด (Coagulant Aid) หรือฟลอคคูแลนต์เอ็ด (Flocculant Aid) สารโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ สารส้มและสารประกอบเหล็ก เมื่อเติมสารโคแอกกูแลนต์ลงไปใต้น้ำจะแตกตัวกลายเป็นอิออนบวกสามารถทำปฏิกิริยากับ  $\text{OH}^-$  ทำให้เกิดคอลลอยด์ของสารประกอบโลหะไฮดรอกไซด์ซึ่งมีประจุบวก สารไฮดรอกไซด์นี้สามารถจับตัวกับอนุภาคที่มีประจุลบทำให้อนุภาคกลายเป็นกลางซึ่งเท่ากับเป็นการทำลายเสถียรภาพนั่นเอง

สารเคมีที่นำมาใช้เป็นสารฟลอคคูแลนต์เอ็ด ได้แก่ สารอินทรีย์ธรรมชาติหรือสังเคราะห์ ในปัจจุบันฟลอคคูแลนต์เอ็ดที่นิยมใช้กันมากที่สุดเป็นสารอินทรีย์สังเคราะห์แบบต่าง ๆ เรียกว่า โพลีเมอร์ (Polymer) หรือ โพลีอิเล็กโตรไลต์ (Polyelectrolyte) สารโพลีเมอร์เป็นลูกโซ่ของสารโมโนเมอร์หลาย ๆ ตัวเรียงกันอย่างเป็นระเบียบ โพลีเมอร์อาจมีขนาดใหญ่หรือเล็กก็ได้ เช่น อาจมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่เพียงไม่กี่ร้อย ไปจนถึงระดับที่สูงกว่า 10 ล้าน เป็นต้น โพลีเมอร์อาจมีประจุบวก ลบหรือ อาจไม่มีประจุ ทำให้มีการจำแนกประเภทของโพลีเมอร์ตามประจุประจำตัว ดังนี้

- ก. โพลีเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer)
- ข. โพลีเมอร์ประจุลบ (Anionic Polymer)
- ค. โพลีเมอร์ไม่มีประจุ (Non-Ionic Polymer)
- ง. โพลีเมอร์ที่มีทั้งประจุบวกและลบ (Polyampholytes)

### 2.2.4 กลไกโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มและสารประกอบเหล็ก

สารส้มหรือสารประกอบเหล็ก สามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ได้ด้วยกลไกหลัก 2 ประการ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์และพีเอชของน้ำ กลไกดังกล่าวคือ กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ และกลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ด้วยผลึกหรือ Sweep Coagulation

ก) กลไกโคแอกกูเลชันแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ

สารส้มสร้างกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ โดยการแตกตัวเป็นอิออนคอมเพล็กซ์ชนิดต่าง ๆ เช่น  $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$ ,  $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{+4}$  ซึ่งสามารถดูดติดบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์และทำลายประจุลบของคอลลอยด์ ทำให้คอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและพร้อมที่จะรวมตัวกับอนุภาคอื่น ๆ จนกลายเป็นฟล็อก กลไกนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อปริมาณของสารส้มมีน้อยจนกระทั่งผลคูณของ  $(\text{Al}^{+3})$  และ  $(\text{OH})_3$  ต่ำกว่า  $K_{sp}$  และพีเอชต้องไม่สูงหรือต่ำเกินไป นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต้องเสร็จสิ้นภายใน  $10^{-4}$  - 1 วินาที ซึ่งยากที่จะทำให้เกิดขึ้นได้

ข) กลไกโคแอกกูเลชันแบบห่อหุ้มอนุภาคด้วยผลึก

สารส้มสร้างกลไกแบบห่อหุ้มอนุภาคด้วยผลึก โดยการสร้างผลึก  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ซึ่งมีลักษณะคล้ายเป็นปุย เมื่ออนุภาคคอลลอยด์สัมผัสกับผลึกก็จะเกาะจับตัวอยู่บนผลึกนั้น เมื่อเกิดขึ้นในปริมาณมากจะได้ฟล็อกขนาดใหญ่ที่ตกตะกอนง่าย สารส้มที่ใช้ต้องมีปริมาณสูงพอจนทำให้ผลคูณของ  $(\text{Al}^{+3})$  และ  $(\text{OH})_3$  มีค่าเกินกว่า  $K_{sp}$  นอกจากนี้พีเอชของน้ำควรอยู่ในช่วง 6 - 7.5 จึงจะได้ผลดีที่สุด

## 2.2.5 กลไกโคแอกกูเลชันที่เกิดจากการใช้โพลีเมอร์และโคแอกกูเลชันเอตอื่น ๆ

โคแอกกูเลชันเอตช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับโคแอกกูแลนที่ได้หลายทาง เช่น ถ้าเติมแอ็คติเวตเตตซิลิกาซึ่งเป็นโพลีเมอร์ประจุลบก่อนการเติมสารส้ม จะทำให้โคแอกกูเลชันน้ำที่มีความขุ่นน้อยเกิดขึ้นได้ดีเพราะ แอ็คติเวตเตตซิลิกาจะเป็นเป้าสัมผัสเพิ่มเติมให้กับน้ำซึ่งมีเป้าสัมผัสไม่เพียงพอ ถ้าเติมแอ็คติเวตเตตซิลิกาหลังจากการเกิดโคแอกกูเลชันของสารส้ม ก็จะช่วยให้ฟล็อกมีขนาดใหญ่ขึ้น ลำดับของการเติมสารเคมีมีความสำคัญ เช่น สารที่เป็นเป้าควรเติมก่อนการเติมสารส้ม ส่วนโพลีเมอร์ที่ใช้ทำลายเสถียรภาพของฟล็อกสารส้มควรจะเติมภายหลังการเติมสารส้ม

โพลีเมอร์สร้างโคแอกกูเลชันให้กับน้ำขุ่นได้ 2 วิธี ซึ่งอาศัยคุณสมบัติการเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์ วิธีแรกเป็นการทำลายประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยโพลีเมอร์ที่มีประจุบวก ทำให้เสถียรภาพของคอลลอยด์หมดสิ้นไป กรณีเช่นนี้อาจใช้โพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำก็ได้ เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลไม่ได้เป็นปัจจัยที่สำคัญในการสร้างโคแอกกูเลชัน วิธีที่สองเป็นการสร้างโคแอกกูเลชันโดยมีโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคคอลลอยด์หลาย ๆ ตัว ประจุของโพลีเมอร์ในกรณีนี้ไม่ใช่เรื่องสำคัญเพราะไม่จำเป็นต้องทำให้คอลลอยด์เป็นกลาง แต่สิ่งสำคัญคือ โพลีเมอร์ต้องมีขนาด

ใหญ่เพื่อให้สามารถใช้เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคความขุ่นต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งมักเป็นโพลีเมอร์ชนิดลบหรือไม่มีประจุ

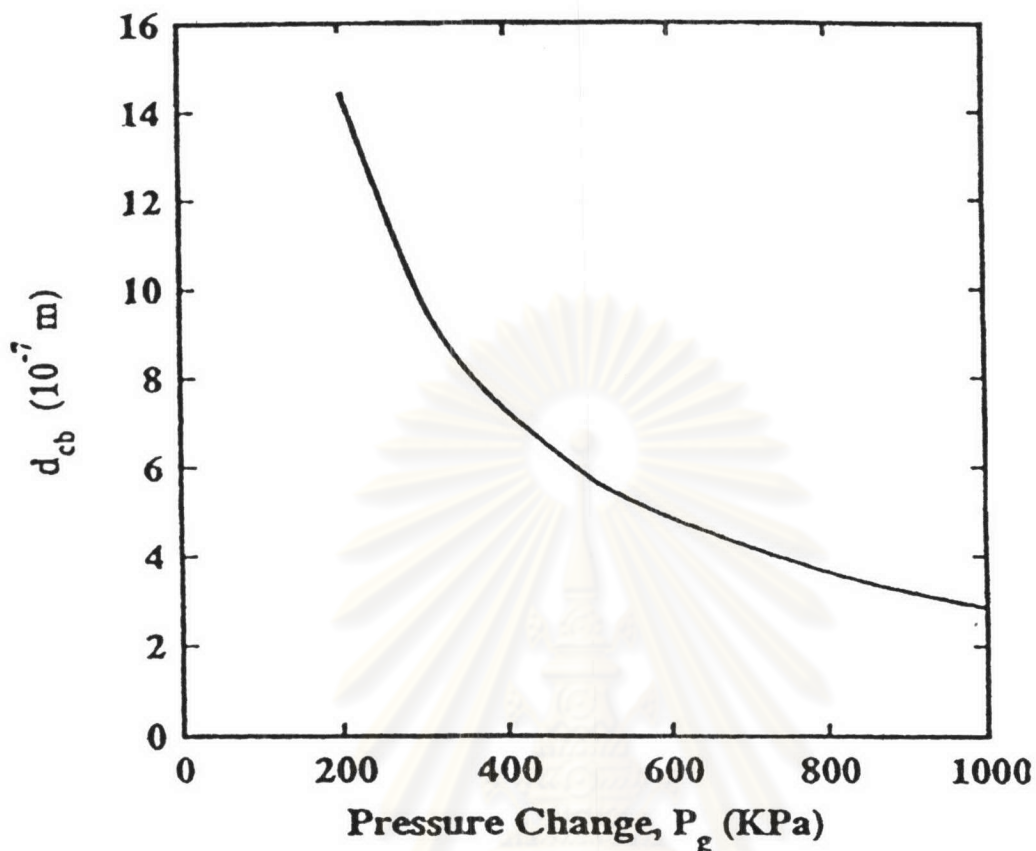
### 2.3 การทำให้ลอยตัวด้วยอากาศละลาย (Dissolved Air Flotation, DAF)

การทำให้ลอยตัวด้วยอากาศละลาย ใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้นที่ใช้ในการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลว หรือแยกของเหลวชนิดหนึ่งออกจากชั้นของเหลวอีกชนิดหนึ่ง หลักการของระบบ DAF คือ การสร้างฟองอากาศโดยการทำให้อากาศที่ละลายน้ำแยกตัวออกมาเกิดเป็นฟองอากาศขนาดเล็กแล้วเกิดการชนกันและติดกันระหว่างอนุภาคกับฟองอากาศ และลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ การสร้างฟองอากาศด้วยอากาศละลายน้ำมีอยู่หลายวิธี วิธีการหนึ่งที่ยอมรับในปัจจุบันคือ การสร้างฟองอากาศด้วยความดัน (Pressure Method) ระบบนี้จะทำการอัดอากาศลงในน้ำเสียภายใต้ความดันที่สูงกว่าความดันบรรยากาศเพื่อให้อากาศละลายน้ำได้มากขึ้น จากนั้นจึงลดความดันให้เข้าสู่สภาวะความดันบรรยากาศ ทำให้อากาศที่ละลายอยู่ในน้ำแยกตัวออกมาเกิดเป็นฟองอากาศ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ DAF หมายถึงการทำให้ลอยตัวด้วยอากาศละลายโดยใช้ความดัน (Pressurized Dissolved Air Flotation)

กระบวนการทำให้ลอยตัวด้วยอากาศละลาย นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในงานบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ เช่น แยกน้ำมันจากน้ำเสียโรงกลั่น แยกเศษเยื่อกระดาษหรือเส้นใยจากน้ำเสียของโรงงานผลิตกระดาษ แยกตะกอนและสิ่งสกปรกในกระบวนการผลิตน้ำประปา เพิ่มความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง เป็นต้น

#### 2.3.1 ฟองอากาศ

ความเข้มข้นของมวลอากาศและขนาดของฟองอากาศ มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดด้วยกระบวนการ DAF ตัวแปรทั้งสองสามารถควบคุมโดยการเปลี่ยนแปลงอัตราการเวียนกลับน้ำที่ใช้อัดอากาศหรือความดันในถังอัดอากาศ จากการศึกษาวัดขนาดฟองอากาศโดย Heinanen และคณะ (1992), De Rijk และคณะ (1994) อ้างถึงใน Edzwald (1995) พบว่าเมื่อใช้ความดันในการอัดอากาศมากกว่า 500 กิโลปาสคาล ความดันมีผลต่อการลดลงขนาดของฟองอากาศเล็กน้อยดังแสดงในรูปที่ 2.2 ขนาดของฟองอากาศที่ใช้ในกระบวนการ DAF มีขนาดประมาณ 10 - 100 ไมครอน โดยเฉลี่ยฟองอากาศจะมีขนาดประมาณ 40 ไมครอน การคำนวณปริมาณของอากาศสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.1 และ 2.2



รูปที่ 2.2 ผลของความดันที่มีต่อขนาดของฟองอากาศในน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (Edzward, 1995)

ก) อัตราส่วนการเวียนกลับ ( $R_r$ )

อัตราส่วนการเวียนกลับเป็นตัวชี้ถึงปริมาณอากาศที่ปล่อยออกมาว่าจะเพิ่มขึ้น

หรือลดลง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$R_r = Q_r/Q_0 \quad (2.1)$$

$Q_r$  = ปริมาณน้ำที่เวียนกลับ (ลบ.ม./ชม.)

$Q_0$  = ปริมาณน้ำเข้า (ลบ.ม./ชม.)



ข) ความเข้มข้นของมวลอากาศ ( $C_r$ )

จากกฎของเฮนรี มวลของอากาศที่ละลายน้ำจะแปรผันโดยตรงกับความดันและอุณหภูมิ มีความสัมพันธ์ดังแสดงในตารางที่ 2.1 การคำนวณหาความเข้มข้นของอากาศที่ปล่อยออกมา สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.2

$$C_r = \{S_a(fP/P_a - 1)R_r\} / (1 + R_r) \quad (2.2)$$

โดย

$$C_r = \text{ความเข้มข้นของมวลอากาศ (มก./ล.)}$$

$$S_a = \text{ปริมาณอากาศที่ละลายในน้ำที่ความดันบรรยากาศ (มก./ล.-บรรยากาศ)}$$

$$P_a = \text{ความดันบรรยากาศ (บรรยากาศ)}$$

$$P = \text{ความดันสัมบูรณ์ (บรรยากาศ)}$$

$$f = \text{ค่าคงที่การละลายน้ำของอากาศซึ่งขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการอัดอากาศ โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 0.7 - 0.9}$$

ค) ความเข้มข้นของปริมาตรฟองอากาศ ( $\phi_b$ ) หรืออัตราส่วนปริมาตรฟองอากาศต่อปริมาตรน้ำ

ปริมาตรของฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีผลต่อการชนระหว่างฟองอากาศกับอนุภาค สามารถคำนวณจาก

$$\phi_b = C_r / \rho_{\text{sat}} \quad (2.3)$$

$$\phi_b = \text{ความเข้มข้นของปริมาตรฟองอากาศที่เกิดขึ้น (ล./ลบ.ม.)}$$

$$C_r = \text{ความเข้มข้นของมวลอากาศ (มก./ล.)}$$

$$\rho_{\text{sat}} = \text{ความหนาแน่นของอากาศอิ่มตัว (ก./ล.)}$$

ง) ความเข้มข้นของจำนวนฟองอากาศ ( $N_b$ )

ความเข้มข้นของจำนวนฟองอากาศคำนวณได้จาก

$$N_b = 6\phi_b / \pi d_b^3 \quad (2.4)$$

โดย

$$d_b = \text{ขนาดของฟองอากาศ}$$

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติและปริมาณการละลายของอากาศในน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ ณ ความดันบรรยากาศ

Temperature		Volume solubility		Weight solubility		Density	
°C	°F	ml/l	ft <sup>3</sup> /thousandgal	mg/l	lb/thousandgal	g/l	lb/ft <sup>3</sup>
0	32	28.8	3.86	37.2	0.311	1.293	0.0808
10	50	23.5	3.15	29.3	0.245	1.249	0.0779
20	68	20.1	2.70	24.3	0.203	1.206	0.0752
30	86	17.9	2.40	20.9	0.175	1.066	0.0727
40	104	16.4	2.20	18.5	0.155	1.030	0.0704
50	122	15.6	2.09	17.0	0.142	1.093	0.0682
60	140	15.0	2.01	15.9	0.133	1.061	0.0662
40	158	14.9	2.00	15.3	0.128	1.030	0.0643
80	176	15.0	2.01	15.0	0.125	1.000	0.0625
90	194	15.3	2.05	14.9	0.124	0.974	0.0607
100	212	15.9	2.13	15.0	0.125	0.949	0.0591

### 2.3.2 โมเดลการลอยตัว (Flotation Model)

การศึกษากลไกการลอยตัวนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเรียกว่า ส่วนสัมผัสหรือส่วนปฏิกิริยา (Contact Zone or Reaction Zone) เป็นส่วนที่เกิดการชนและติดกันของฟองอากาศกับอนุภาค ส่วนที่สองเรียกว่า ส่วนแยก (Separation Zone) เป็นส่วนที่อนุภาคกับฟองอากาศที่รวมตัวกันแล้ว (Particle-bubbles agglomerates) ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ

#### 2.3.2.1 ส่วนสัมผัสหรือส่วนปฏิกิริยา

Malley และ Edzwald (1991) อ้างถึงใน Baeyens และคณะ (1995) ได้อธิบายทฤษฎีการเคลื่อนที่มากระทบกันของอนุภาคกับฟองอากาศ (รูปที่ 2.3) ซึ่งประสิทธิภาพการชนกันระหว่างอนุภาคกับฟองอากาศสามารถอธิบายโดยใช้สมการ Single Collector Collision Efficiency (SCCE) ประกอบด้วย

ก) การแพร่ (Diffusion,  $\eta_D$ )

เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคโดยการแพร่แบบสุ่มของอนุภาคเข้าหาฟองอากาศ

ข) การดัก (Interception,  $\eta_I$ )

เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ไปตาม streamline และเคลื่อนที่เข้ามาใกล้จนเกิดการชนกันของอนุภาคและฟองอากาศ

- ค) การตกตะกอนโดยแรงโน้มถ่วง (Gravity Settling,  $\eta_g$ )  
เกิดการตกของอนุภาคลงมาบนฟองอากาศเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาค
- ง) แรงเฉื่อย (Inertia,  $\eta_{TA}$ )  
เกิดการชนกันเนื่องมาจากแรงเฉื่อยของอนุภาคซึ่งไม่สามารถที่จะเคลื่อนไปตาม streamline ได้เนื่องจากน้ำหนักของอนุภาคเอง

SCCE จะขึ้นอยู่กับกลไกหลักทั้ง 4 แบบนี้ ซึ่งถูกกำหนดโดย

$$\text{โดย } \eta_T = \eta_D + \eta_i + \eta_s + \eta_{TA} \quad (2.5)$$

= Total SCCE

$$\eta_D = 6.18(k_b T / g \rho_w)^{2/3} (1/d_p)^{2/3} (1/d_b)^2 \quad (2.6)$$

$$\eta_i = 3/2 (d_p/d_b)^2 \quad (2.7)$$

$$\eta_s = (\rho_p - \rho_w) / \rho_w (d_p/d_b)^2 \quad (2.8)$$

$$\eta_{TA} = \frac{g \rho_p d_b d_p^2}{324 v^2 \rho_w} \quad (2.9)$$

$$\text{โดย } k_b = \text{ค่าคงที่โบล์ชมัน (1.38 \times 10^{-23} \text{ จูล/องศาเคลวิน})}$$

$$T = \text{อุณหภูมิสัมบูรณ์ของน้ำ (องศาเคลวิน)}$$

$$g = \text{ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (9.81 \text{ ม./วินาที}^2)$$

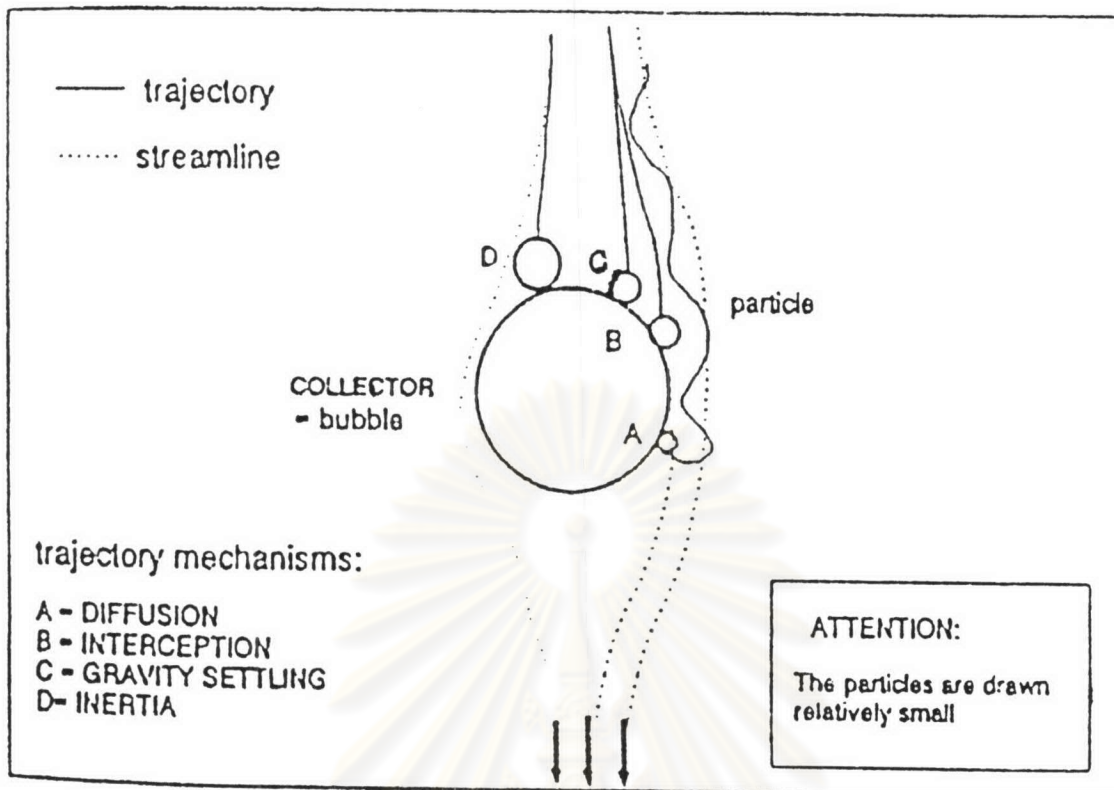
$$\rho_w = \text{ความหนาแน่นของน้ำ (ก./ลบ.ม.)}$$

$$d_p = \text{ขนาดของอนุภาค (ม.)}$$

$$d_b = \text{ขนาดของฟองอากาศ (ม.)}$$

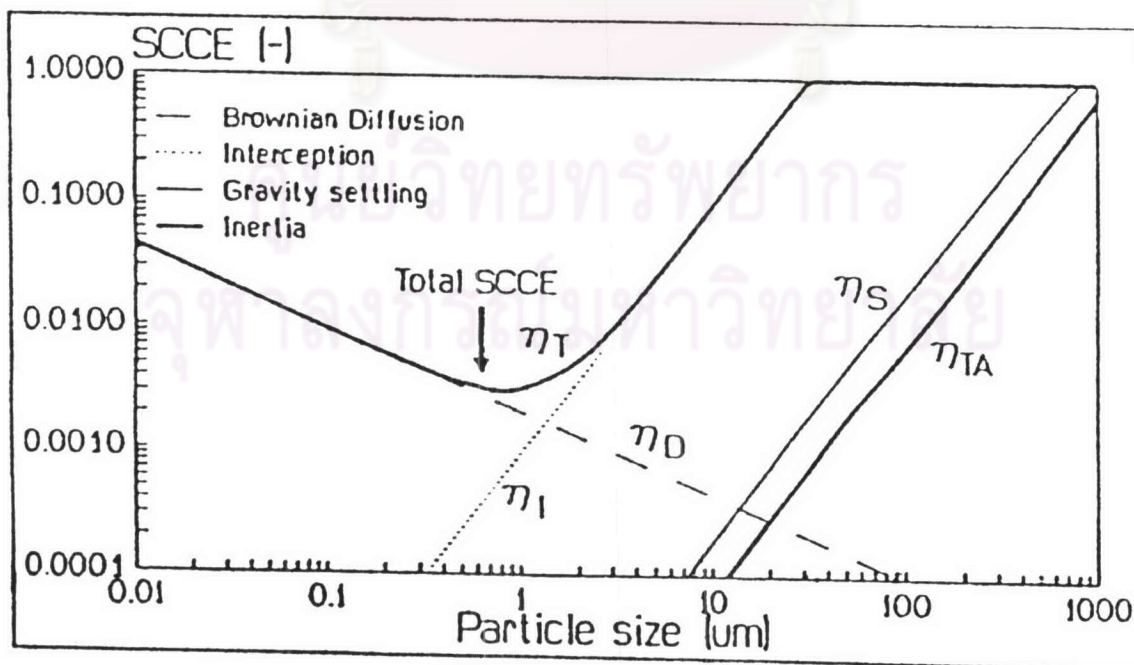
$$\rho_p = \text{ความหนาแน่นของอนุภาค (ก./ลบ.ม.)}$$

$$v = \text{ความหนืดของน้ำ (ตร.ม./วินาที)}$$



รูปที่ 2.3 กลไกการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Schers และ Dijk, 1992)

จากสมการที่ 2.5 2.6 2.7 2.8 และ 2.9 เมื่อใช้ค่าความหนาแน่นของอนุภาค 1.01 ก./ลบ.ซม. ขนาดของฟองอากาศ 40 ไมครอนและ อุณหภูมิของน้ำ 25 องศาเซลเซียส ขนาดของอนุภาคมีผลต่อสมการ SCCE แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ผลของขนาดของอนุภาคที่มีต่อ SCCE (Edzwald, 1995)

จากรูปที่ 2.4  $\eta_T$  มีค่าต่ำสุดเมื่ออนุภาคมีขนาดประมาณ 1 ไมครอน และ  $\eta_T$  มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กกว่าหรือใหญ่กว่า 1 ไมครอน โดยที่อนุภาคขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน  $\eta_T$  ขึ้นอยู่กับการชนกันเนื่องจากการแพร่ ( $\eta_D$ ) และขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 1 ไมครอน  $\eta_T$  จะขึ้นอยู่กับการชนกันเนื่องจากการตก ( $\eta_s$ ) ซึ่งประสิทธิภาพการชนกันระหว่างอนุภาคกับฟองอากาศมีค่าสูงสุดที่ขนาดของอนุภาคใหญ่กว่า 40 ไมครอน

Baeyens และคณะ (1995) ใช้สมมติฐาน ส่วนปฏิกริยามีสภาพ Ideal Plugflow สัดส่วนของอนุภาคที่ติดกับฟองอากาศสามารถคำนวณได้จาก

$$X = \frac{N_{pi} - N_{pe}}{N_{pi}} = 1 - \exp\left(-1 \frac{\alpha_{pb} \eta_T d_b \tau \phi_b}{12 v}\right) \quad (2.10)$$

โดย

$X$  = สัดส่วนของอนุภาคที่ติดกับฟองอากาศ

$\alpha_{pb}$  = ประสิทธิภาพการติดกันของอนุภาคกับฟองอากาศ

$\phi_b$  = ความเข้มข้นปริมาตรฟองอากาศ (ลบ.ม./ลบ.ม.)

$N_{pi}$  = ความเข้มข้นฟลอคเข้า (อนุภาค/ลบ.ม.)

$N_{pe}$  = ความเข้มข้นฟลอคออก (อนุภาค/ลบ.ม.)

$\tau$  = เวลาที่กักเก็บเฉลี่ย (วินาที)

### 2.3.2.2 ส่วนแยก

ในส่วนแยกนี้จะใช้สมมติฐานเดียวกับส่วนปฏิกริยา คือ เกิดสภาพ Ideal Plugflow ซึ่งอนุภาค-ฟองอากาศจะถูกกำจัดออกจากน้ำในส่วนแยกนี้ก็ต่อเมื่อ

$$\tau_s > \tau_r \quad (2.11)$$

โดย

$\tau_s$  = เวลาที่อนุภาค-ฟองอากาศอยู่ในส่วนแยก

$\tau_r$  = เวลาที่อนุภาค-ฟองอากาศขึ้นมาถึงผิวน้ำ

สภาพ Ideal Plugflow รูปทรงแบบคอลัมน์สามารถแทนด้วยสมการ

$$\frac{Vs(1-m)}{Q} = \frac{AsHs(1-m)}{Q} > \frac{Hs}{V_{pb}} \quad (2.12)$$

$$V_{pb} > V/(1-m) \quad (2.13)$$

โดย	$V_s$	=	ปริมาตรของส่วนแยก (ลบ.ม.)
	$Q$	=	อัตราการไหลของน้ำ (ลบ.ม./วินาที)
	$m$	=	Dead Volume Fraction
	$V_{pb}$	=	ความเร็วการลอยขึ้นของอนุภาค-ฟองอากาศ (ม./วินาที)
	$V$	=	ความเร็วของน้ำ (ม./วินาที)
	$A_s$	=	พื้นที่หน้าตัดของส่วนแยก (ตร.ม.)
	$H_s$	=	ความสูงของส่วนแยก (ม.)

สภาพการไหลที่อนุภาคของไหลเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบนั้นเรียกว่า การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ในทางตรงกันข้ามถ้าหากอนุภาคของไหลเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบจะเรียกว่า การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) สิ่งที่ใช้บ่งชี้วัดว่าการไหลเป็นแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วน คือ Reynolds number (Re) สามารถคำนวณได้จาก

ก) รัศมีชลศาสตร์ (Rh)

$$Rh = A/P \quad (2.14)$$

โดย	$Rh$	=	รัศมีชลศาสตร์ (ม.)
	$A$	=	พื้นที่หน้าตัดของการไหล (ตร.ม.)
	$P$	=	เส้นขอบเปียก (ม.)

ข) Reynolds number (Re)

- สำหรับการไหลกรณีท่อกลมหรือวัตถุทรงกลม

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (2.15)$$

- สำหรับการไหลกรณีท่อไม่กลม

$$Re = \frac{4vRh}{\nu} \quad (2.16)$$

โดย	$Re$	=	Reynolds number
	$D$	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ม.)
	$v$	=	ความเร็วการไหล (ม./วินาที)
	$\nu$	=	ความหนืดจลน์ (ตร.ม./วินาที)

ความเร็วในการลอยขึ้นของอนุภาค-ฟองอากาศ (Schers และ Dijk, 1992 อ้างถึงใน Edzwald, 1995)

- สำหรับการไหลแบบ Laminar ( $Re < 1$ )

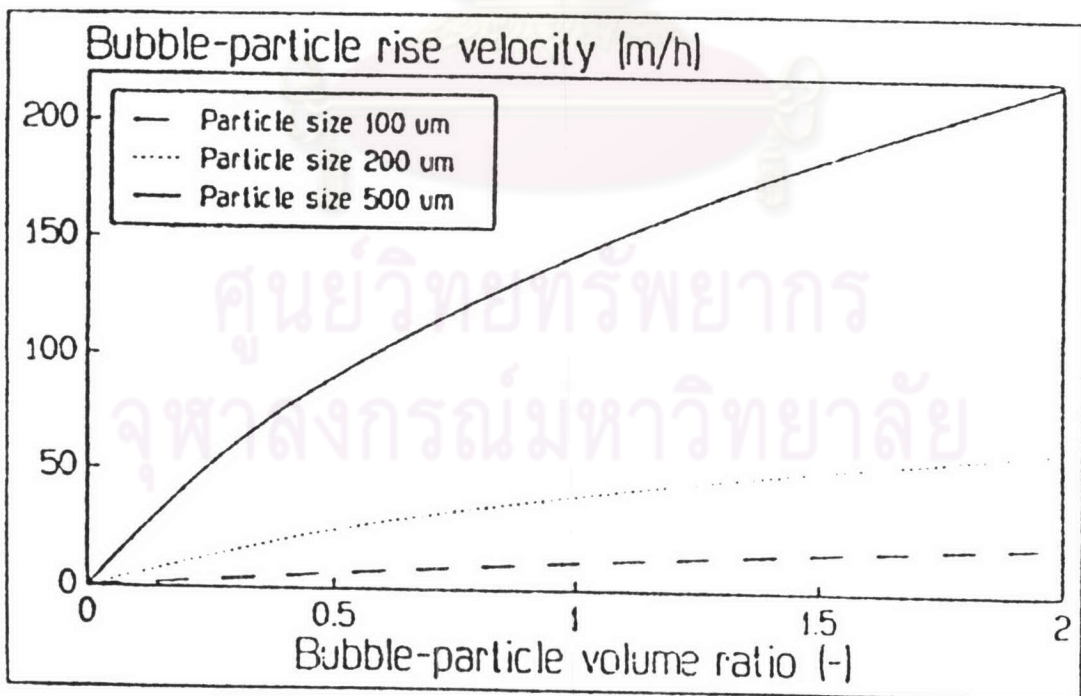
$$V_{pb} = \frac{g(\rho_w - \rho_{pb})d_{pb}^2}{18\mu} \quad (2.17)$$

- สำหรับการไหลแบบ Transition ( $1 < Re < 50$ )

$$V_{pb} = \frac{g^{0.8}(\rho_w - \rho_{pb})^{0.8}d_{pb}^{1.4}}{10\rho_w^{0.8}\nu^{0.6}} \quad (2.18)$$

โดย  $\rho_{pb}$  = ความหนาแน่นของอนุภาค-ฟองอากาศ (ก/ลบ.ม.)  
 $d_{pb}$  = ขนาดของอนุภาค-ฟองอากาศ (ม.)  
 $\mu$  = ความหนืด (นิวตัน.วินาที/ตร.ม.)

ขนาดของอนุภาคและจำนวนของฟองอากาศที่ติดกับอนุภาคมีผลต่อความเร็วในการลอยขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เมื่ออัตราส่วนของปริมาตรฟองอากาศต่อปริมาตรอนุภาคมากขึ้น ทำให้ความเร็วการลอยขึ้นเร็วขึ้น แต่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้อนุภาค-ฟองอากาศลอยขึ้นช้าลง



รูปที่ 2.5 ผลของขนาดของอนุภาคที่มีต่อความเร็วลอยขึ้นของอนุภาค-ฟองอากาศ

(Schers และ Dijk, 1992)

## 2.4 น้ำมันและไขมัน

น้ำมันและไขมันมักเป็นสารอินทรีย์ที่ค่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก และเป็นปัจจัยรบกวนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียทุกชนิด สารอินทรีย์เคมีที่เป็นพิษจำนวนมากที่ละลายในน้ำมันและไขมัน น้ำมันหรือไขมันอาจลอยหรือจมน้ำก็ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น วิธีใช้ วิธีผลิต คุณภาพของน้ำเสีย เป็นต้น

### 2.4.1 ประเภทของน้ำมันและไขมัน

น้ำมันและไขมันสามารถจำแนกได้ดังนี้

- 1) ไฮโดรคาร์บอนชนิดเบา น้ำมันและไขมันประเภทนี้ ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเบา เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด และ น้ำมันเครื่องบิน รวมทั้งสารละลายต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เช่น เฮกเซน คลอโรฟอร์ม เป็นต้น ไฮโดรคาร์บอนชนิดเบาในน้ำเสียอาจทำให้การกำจัดไฮโดรคาร์บอนชนิดหนักทำได้ยากขึ้น
- 2) ไฮโดรคาร์บอนชนิดหนัก น้ำมันและไขมันชนิดนี้ประกอบด้วยน้ำมันดิบ น้ำมันดีเซล slop oil รวมทั้งน้ำมันแอสฟัลท์ที่ใช้ลาดถนน
- 3) น้ำมันหล่อลื่น และ Cutting Fluid น้ำมันและไขมันชนิดนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ น้ำมันอิสระ เช่น น้ำมันและไขมันหล่อลื่นต่าง ๆ และน้ำมันที่กลายเป็นอิมัลชันได้ เช่น Cutting Oil Rolling Oil รวมทั้ง สบู่และไขมันต่าง ๆ
- 4) น้ำมันและไขมันจากพืชและสัตว์ น้ำมันและไขมันชนิดนี้มักได้จากกระบวนการผลิตอาหารและวัสดุธรรมชาติ

### 2.4.2 ลักษณะของน้ำมันในน้ำเสีย

น้ำเสียที่มีน้ำมันปนสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ



1) น้ำมันละลายน้ำ น้ำมันสามารถละลายน้ำได้เล็กน้อย ความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติประจำตัวของน้ำมันแต่ละชนิด เช่น

- ความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้นตามการมีตัวของโมเลกุล
- โมเลกุลที่ไม่อ้อมตัวจะละลายได้ดีกว่าที่อ้อมตัว โดยเฉพาะพวกสารประกอบที่มีวงแหวน เช่น เบนซีนมีความสามารถในการละลายได้มากถึง 1650 มก./ล.
- ความสามารถในการละลายลดลงเมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้น
- น้ำมันที่ระเหยส่วนใหญ่จะมีความสามารถในการละลายได้ดี

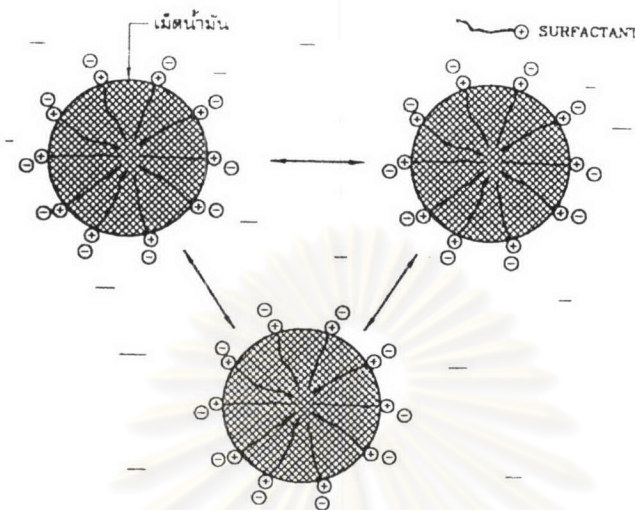
น้ำมันที่ละลายน้ำพบว่าตรวจสอบได้ยาก เนื่องจากมีลักษณะใสละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ การทดสอบทำได้จากรสชาติหรือกลิ่นเท่านั้น น้ำมันที่ละลายน้ำส่วนใหญ่เป็นพวกอโรมาติก ซึ่งมีความเป็นพิษสามารถก่อให้เกิดมะเร็งได้

2) น้ำมันอิมัลชันที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิว น้ำมันอิมัลชันชนิดนี้เกิดจากเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความปั่นป่วน เช่น เครื่องสูบน้ำ วาล์ว ไบพาส จุดเปลี่ยนขนาดท่อ เป็นต้น ทำให้เกิดการกระจายของเม็ดน้ำมันลงในน้ำ จนเกิดเป็นอิมัลชันที่มีเม็ดน้ำมันขนาดเล็กมากและมีเสถียรภาพ ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดเม็ดน้ำมันในอิมัลชัน ได้แก่ พลังงานที่ทำให้เกิดความปั่นป่วนและแรงตึงผิวระหว่างน้ำกับน้ำมัน โดยทั่วไปจะแบ่งอิมัลชันประเภทนี้ออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

- อิมัลชันชั้นแรก คืออิมัลชันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดน้ำมันโดยเฉลี่ยใหญ่กว่า 100 ไมครอน อิมัลชันชนิดนี้มีลักษณะใส สามารถมองเห็นหยดน้ำมันได้ด้วยตาเปล่า
- อิมัลชันชั้นสอง คืออิมัลชันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดน้ำมันโดยเฉลี่ยเล็กกว่า 20 ไมครอน อิมัลชันชนิดนี้มีลักษณะขุ่น และมีเสถียรภาพสูง

3) น้ำมันอิมัลชันที่มีสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวประกอบด้วยโมเลกุลที่ไม่สมดุลง โดยมีส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกหรือส่วนที่ละลายได้ในน้ำมัน กับส่วนที่เป็นไฮโดรฟิลิกหรือส่วนที่ละลายในน้ำ (รูปที่ 2.6) จากลักษณะที่ไม่สมดุลงนี้ ทำให้โมเลกุลสามารถเกาะอยู่ที่ผิวสัมผัสของน้ำมันกับน้ำได้ หากมีสารลดแรงตึงผิวผสมอยู่ในอิมัลชัน จะทำให้แรงตึงผิวระหว่างน้ำมันกับน้ำลดลงอย่างมาก ดังนั้นหากใช้พลังงานที่เท่ากันเมื่อเทียบกับสภาวะที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิวแล้ว จะพบว่าพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำมันกับน้ำเพิ่มมากขึ้น ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดน้ำมันมีขนาดเล็กลงมาก ขนาดของเม็ดน้ำมันอิมัลชันชนิดนี้ส่วนใหญ่จะต่ำกว่า 5 ไมครอน และการแตกตัวในส่วนที่เป็นไฮโดรฟิลิกของสารลดแรงตึงผิวทำให้มีประจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่ผิวของเม็ดน้ำมัน ผลจากประจุที่ผิวของเม็ด

น้ำมันทำให้การชนกันเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนไม่มีผลให้เกิดการรวมตัวของเม็ดน้ำมัน เป็นผลให้อิมัลชันมีเสถียรภาพเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.6 ความคงตัวของเม็ดน้ำมันที่เกิดจากสารซักฟอก (มันสิน ตันฑุลเวศน์, 2542)

4) น้ำมันที่เป็นฟิล์มลอยอยู่ที่ผิวหน้า น้ำมันโดยทั่วไปมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ทำให้น้ำมันเหล่านี้ไปสะสมตัวอยู่บนผิวหน้าเกิดเป็นแผ่นฟิล์มขึ้น จึงไปขัดขวางการถ่ายเทออกซิเจนและแสงอาทิตย์ลงสู่น้ำ ก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสียขึ้น แผ่นฟิล์มนี้มักเกิดจากน้ำมันโมเลกุลเดี่ยวที่มีความหนืดต่ำ ฟิล์มน้ำมันที่ผิวน้ำนี้สามารถมองเห็นได้ง่ายเนื่องจากจะสะท้อนแสงสีรุ้งให้เห็น

## 2.5 การกำจัดน้ำมันในน้ำเสียโรงกลั่นน้ำมัน

การกำจัดน้ำมันในน้ำเสียโรงกลั่นน้ำมันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชั้น

1) การกำจัดน้ำมันเบื้องต้น เป็นการกำจัดน้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำและน้ำมันอิมัลชันที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิวหรือน้ำมันที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 ไมครอน รวมถึงสารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ เช่น ททราย กรวด เป็นต้น

2) การกำจัดน้ำมันโดยกระบวนการทางเคมีร่วมกับกระบวนการทางกายภาพ เป็นการกำจัดน้ำมันอิมัลชันที่มีสารลดแรงตึงผิวและน้ำมันอิมัลชันที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิว รวมถึงสารมลพิษคอลลอยด์อื่น ๆ

### 2.5.1 การกำจัดน้ำมันเบื้องต้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี

1) วิธีแรกใช้ความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างน้ำ-น้ำมัน โดยเมื่อน้ำมันจะลอยตัวขึ้นไปยังผิวสัมผัสระหว่างน้ำ-น้ำมัน ซึ่งความเร็วในการลอยตัวเป็นไปตามกฎของสโตก (Stokes' Law) ในอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ชนิด

- ถังตกตะกอนอย่างง่าย API Settling Tanks (American Petroleum Institute) ถังตกตะกอนแบบนี้ น้ำมันจะถูกแยกไว้บนผิวด้านบน ส่วนสารแขวนลอยจะตกตะกอนอยู่ก้นถัง โดยทั่วไปจะใช้แยกเมื่อน้ำมันที่มีขนาดใหญ่กว่า 150 ไมครอน
- ถังตกตะกอนแบบแผ่น Laminated Settling Tanks ถังตกตะกอนแบบนี้ น้ำมันจะถูกแยกโดยแผ่นที่ไต่ผิวน้ำและน้ำมันลอยขึ้นสู่ผิวด้านบน แผ่นทำหน้าที่ 2 อย่างคือลดระยะของเมื่อน้ำมันที่ลอยขึ้นสู่ผิวด้านบนให้สั้นลง และทำให้เมื่อน้ำมันรวมตัวมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งถังตกตะกอนชนิดนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าและขนาดเล็กกว่าถังตกตะกอนอย่างง่าย โดยสามารถแยกเมื่อน้ำมันที่มีขนาดใหญ่กว่า 60 - 90 ไมครอน

2) วิธีที่สองเพิ่มอัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกโดยใช้แรงเหวี่ยง (Artificial Gravity) มี 2 แบบ

- Hydrocyclone นิยมใช้ในการแยกของแข็งแขวนลอยออกจากของเหลว แต่สามารถแยกของเหลวเฟสออกจากกันได้ด้วย โดยน้ำมันอิมัลชันจะเข้าสู่ไซโคลนในแนวสัมผัสและเกิดการหมุนขึ้นภายในไซโคลน แรงจากการหมุนนี้ทำให้เกิดกระแสวนขึ้น ส่วนของน้ำมันที่เบากว่าจะออกมาทางด้านบน และน้ำจะออกมาทางด้านล่าง
- Centrifugal Separators โดยการนำน้ำมันอิมัลชัน เข้าสู่ภาชนะที่หมุนด้วยความเร็วสูง แรงหนีศูนย์กลางที่กระทำกับน้ำจะมีขนาดมากกว่าที่กระทำกับน้ำมัน เนื่องจากผลของความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของทั้ง 2 เฟส จึงทำให้สามารถแยกเฟสทั้ง 2 ออกจากกันได้อย่างรวดเร็ว วิธีการบำบัดด้วยวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนและปฏิบัติการสูงจึงไม่เป็นที่นิยม

## 2.5.2 การกำจัดน้ำมันโดยกระบวนการทางเคมีร่วมกับกระบวนการทางกายภาพ

การกำจัดน้ำมันในขั้นตอนนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

1) กระบวนการทางเคมี ใช้ทำลายเสถียรภาพของน้ำมัน สามารถทำได้ดังนี้

- การทำลายเสถียรภาพโดยใช้เกลือของโลหะ เช่น  $Al_2(SO_4)_3$   $FeCl_3$   $NaCl$  เป็นต้น การเติมเกลือซึ่งแตกตัวในน้ำลงไป ทำให้น้ำมันนำไฟฟ้าและเป็นการลดค่าซีตาโพเทนเชียลของหยดน้ำมัน ปริมาณเกลือที่เติมขึ้นกับความเข้มข้นของน้ำมันและสารลดแรงตึงผิวในน้ำ

- การทำลายเสถียรภาพโดยใช้กรด กรดแก่สามารถทำลายเสถียรภาพของน้ำมันอิมัลชัน ซึ่งน้ำมันอิมัลชันส่วนใหญ่เสถียรด้วย anionic surfactants เช่น  $RCOO^-Na^+$  Surfactants ชนิดนี้เกิดจากเกลืออ่อนที่เป็นผลจากปฏิกิริยาระหว่าง กรดอินทรีย์อ่อน  $RCOOH$  และ เบสแก่ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อกรดแก่ทำปฏิกิริยากับเกลืออ่อนประจุ  $RCOO^-$  ของ surfactants จะถูกแทนที่โดยกรดอ่อน  $RCOOH$  ซึ่งไม่มีความว่องไวที่ผิวเมื่อไม่มี  $RCOO^-$  น้ำมันอิมัลชันก็จะไม่เสถียร

- การทำลายเสถียรภาพโดยใช้โพลีอิเล็กโทรไลต์ โพลีอิเล็กโทรไลต์เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยประจุหลายด้าน คุณสมบัติของมันขึ้นอยู่กับมวลโมเลกุลและชนิดของกลุ่มประจุ โพลีอิเล็กโทรไลต์สามารถทำลายเสถียรภาพของน้ำมันอิมัลชันได้โดยการเติมโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุตรงกันข้ามกับ Surfactants ที่เป็นตัวทำให้อิมัลชันนั้นเสถียร นอกจากนี้โพลีอิเล็กโทรไลต์ยังสามารถใช้ร่วมกับเกลือของโลหะ ทำให้ฟลอคมีขนาดใหญ่สามารถแยกออกจากน้ำได้ง่าย

2) กระบวนการทางกายภาพ เป็นการแยกน้ำมันที่สูญเสียเสถียรภาพแล้วออกจากน้ำ สามารถทำได้ดังนี้

- การตกตะกอน (Settling-Sedimentation) วิธีการนี้มีใช้น้อย เนื่องจากต้องใช้เวลาให้น้ำล้นผิวต่ำประมาณ 0.4 - 1 ลบ.ม./ชม.-ตร.ม. ทำให้ต้องใช้พื้นที่มาก และ

บางครั้งอาจต้องใช้ปูนขาว ( $\text{CaCO}_3$ ) ช่วยในการตกตะกอน ทำให้ปริมาณสลัดจ์ที่ต้องกำจัดมีมาก

- การโคเอเลสเซนซ์ (Coalescence) มีหลักการคือการทำให้น้ำมันรวมตัวกันจนใหญ่พอที่จะแยกโดยถังตกตะกอน ซึ่งใช้ถังปฏิกิริยาเรียกว่าโคเอเลสเซอร์ (Coalescer) มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก โดยน้ำมันอิมัลชันจะถูกฉีดเข้าไปในทางเข้าทางด้านล่างของ ถังปฏิกิริยา (Coalescing Bed) ซึ่งประกอบด้วยวัสดุกรอง ซึ่งเป็นชนิดเม็ดหรือเส้นใย ทำให้น้ำมันรวมตัวกันเป็นหยดใหญ่ลอยขึ้นสู่ผิวบนสุด และมีน้ำอยู่ส่วนล่างลงมา
- การลอยตัวด้วยอากาศละลาย ในอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันวิธีนี้เป็นที่นิยมมากที่สุด โดยการอัดอากาศลงไปในน้ำภายใต้ความดัน เพื่อให้อากาศสามารถละลายลงไปในน้ำได้สูงขึ้น เมื่อลดความดันลงมาที่ความดันบรรยากาศอากาศที่ละลายน้ำจะเกิดเป็นฟองอากาศขนาดเล็กไปพองให้น้ำมันเกิดการลอยตัว
- การลอยตัวโดยการเหนี่ยวนำอากาศ (Induced Air Flotation) โดยการดูดอากาศลงไปตีผสมกับน้ำด้วยเครื่องมือกล สามารถแยกน้ำมันโดยอาศัยความปั่นป่วนจากการกวน ทำให้ฟองอากาศชนและเข้าไปอยู่ในเม็ดน้ำมันลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ

## 2.6 ระบบบำบัดน้ำเสียโรงกลั่นน้ำมันบางจาก

น้ำเสียของโรงกลั่นน้ำมันบางจาก สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

1) น้ำเสียที่ไม่มีน้ำมันปน เป็นน้ำเสียจากหอหล่อเย็น Power Plant Boiler Blowdown และ Demineralizer (หลังจากปรับสภาพให้เป็นกลาง) ตามปกติ น้ำเสียมีคุณภาพได้มาตรฐานจะถูกระบายลงสู่บ่อพักน้ำ

2) น้ำเสียที่มีน้ำมันปน เป็นน้ำเสียจากกระบวนการผลิต ห้องปฏิบัติการ น้ำทิ้งจากถังน้ำมันต่าง ๆ ที่ใช้แล้วและน้ำทิ้งจากห้องน้ำจะผ่านขั้นตอนการบำบัดทางกายภาพแล้วผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดทางชีวภาพและระบายสู่บ่อพักน้ำต่อไป ลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียน้ำมันแสดงในตารางที่ 2.2

การบำบัดน้ำเสียของโรงกลั่นน้ำมันบางจาก (รูปที่ 2.7) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กระบวนการดังนี้

### 2.6.1 การบำบัดน้ำทิ้งโดยกระบวนการทางกายภาพ

1) น้ำทิ้งจาก Flare Seal Drum ห้องปฏิบัติการ กันถั่งน้ำมันและบ่อเกรอะ จะไหลเข้าสู่บ่อเก็บน้ำเสียปนน้ำมันเพื่อแยกน้ำมันที่ลอยอยู่ผิวน้ำออก โดยมีแผ่นบัพเฟิลเวียร์และอุปกรณ์ดักเก็บน้ำมันที่ผิวน้ำที่ปรับระดับได้ จากนั้นน้ำทิ้งจะถูกสูบเข้าหน่วยแยกน้ำมัน (Tiled Plate Interceptor, TPI) โดยน้ำทิ้งจะไหลผ่านแผ่นโลหะเรียบที่วางเอียงอยู่ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้น้ำมันเกาะรวมตัวกัน ทำให้เม็ดน้ำมันมีขนาดใหญ่ขึ้น จากนั้นจะใช้ DAF ทำให้ฟองอากาศพาน้ำมันลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกน้ำมัน น้ำมันที่แยกออกมาจาก TPI/DAF จะส่งเข้าเก็บใน Recovery Oil Pit และ Slop Oil Tank เพื่อนำไปกลั่นใหม่ น้ำทิ้งที่แยกน้ำมันออกแล้วจะเข้าสู่บ่อเก็บน้ำเสียที่ไม่มีน้ำมัน

2) น้ำทิ้งปนน้ำมันจากกระบวนการผลิตที่ผ่านหน่วยแยกก๊าซออกจากน้ำเสีย (Sour Water Stripper) และจากหน่วยบำบัดต่าง ๆ ที่ใช้แล้ว (Spent Caustic Treating Unit) จะถูกปรับสภาพในบ่อปรับสภาพน้ำทิ้ง (Equalizing Tank) แล้วส่งเข้าสู่บ่อเก็บน้ำเสียที่ไม่มีน้ำมันต่อไป

3) กรณีที่ฝนตกหนักปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่บ่อเก็บน้ำเสียมีน้ำมันปนมีมาก น้ำเสียบางส่วนจะถูกสูบเข้าไปเก็บในบ่อพักน้ำเสียที่ไม่มีน้ำมันปน เมื่อระดับน้ำในบ่อเก็บน้ำเสียมีน้ำมันปนลดลง น้ำเสียในบ่อพักน้ำเสียที่มีไม่น้ำมันปนจะถูกทยอยสูบมายังบ่อเก็บน้ำเสียที่มีน้ำมันปนเพื่อบำบัดต่อไป

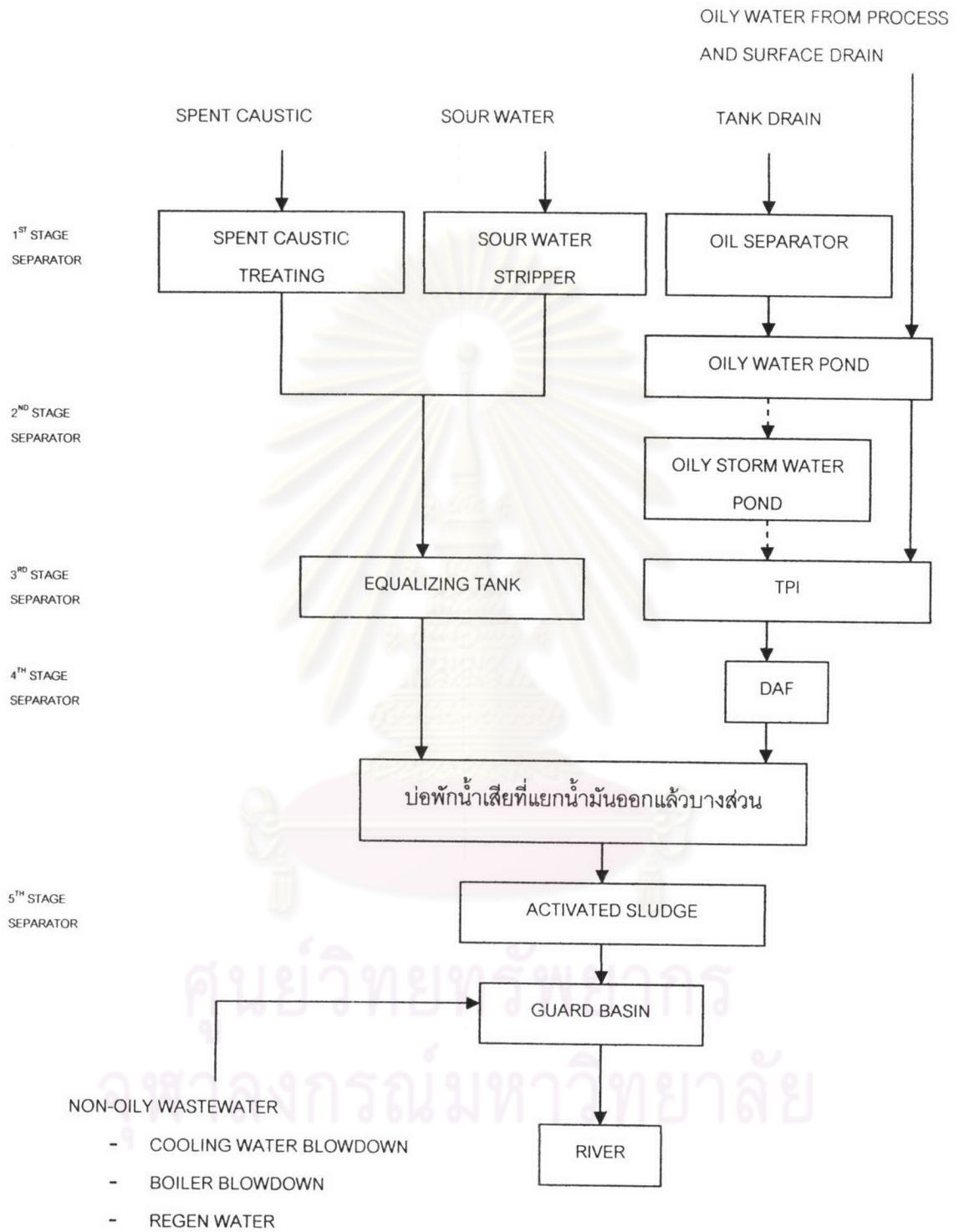
### 2.6.2 การบำบัดน้ำทิ้งโดยกระบวนการทางชีววิทยา

น้ำทิ้งจากบ่อเก็บน้ำเสียที่ไม่มีน้ำมันปนจะถูกส่งเข้าบำบัดในระบบทางชีวภาพ ชนิดแอกติเวเตดสลัดจ์ ซึ่งประกอบด้วยบ่อเติมอากาศและบ่อตกตะกอน เพื่อลดค่าความสกปรก บีโอดี และค่าสารแขวนลอยให้มีคุณภาพได้ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะเก็บในบ่อพักก่อนที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำต่อไป

ตารางที่ 2.2 ลักษณะน้ำเสียในตัวอย่างน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียน้ำมันของโรงกลั่นน้ำมัน บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2545-กันยายน 2546

วันเดือนปี	ลักษณะน้ำเสีย											
	อุณหภูมิ °C	pH	น้ำมันและไขมัน มก./ล.	ของแข็งแขวนลอย มก./ล.	ของแข็งตกตาย มก./ล.	ตะกั่ว มก./ล.	BOD มก./ล.	ซีลไฟด์ มก./ล.	ไซยาไนด์ มก./ล.	ฟีนอล มก./ล.	ปรอท มก./ล.	COD มก./ล.
25 ต.ค. 45	39.5	7.7	183	37	788	0.08	245	6.1	0.0019	2.64	0.016	357
22 พ.ย. 45	35.5	8.7	239	31	1131	0.09	258	21.0	-	-	-	786
20 ธ.ค. 45	36.5	9.1	665	252	491	0.12	>355	35.0	0.0081	5.50	0.009	688
24 ม.ค. 46	39.0	9.3	119	33	10942	0.09	202	5.5	-	-	-	401
28 ก.พ. 46	37.0	8.5	145	22	1107	0.13	168	10.0	0.0015	4.90	0.010	293
28 มี.ค. 46	37.0	7.2	80	20	689	0.43	70	nil	-	-	-	245
30 เม.ย. 46	38.0	7.2	113	31	1184	0.30	90	nil	0.0233	21.00	0.007	330
23 พ.ค. 46	40.5	7.2	34.5	14	618	0.10	75	1.6	-	-	-	308
25 มิ.ย. 46	38.0	9.2	89	12	1685	0.10	180	0.8	0.0005	1.40	0.120	406
23 ก.ค. 46	35.0	7.8	24	35	906	0.02	120	10.0	-	-	-	351
27 ส.ค. 46	39.0	9.1	70	1	533	0.08	119	26.0	0.0120	2.30	0.010	310
26 ก.ย. 46	37.0	7.8	169	72	726	0.12	382	19.0	-	-	-	635
ช่วงค่า	35-40.5	7.2-9.3	24-665	1-252	491-10942	0.02-0.43	70->355	nil-35	0.0005-0.0223	1.4-21	0.007-0.12	245-786
เฉลี่ย	37.7	8.2	160.9	47	1733	0.14	174	13.5	0.0079	6.29	0.029	426

ที่มา : บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)

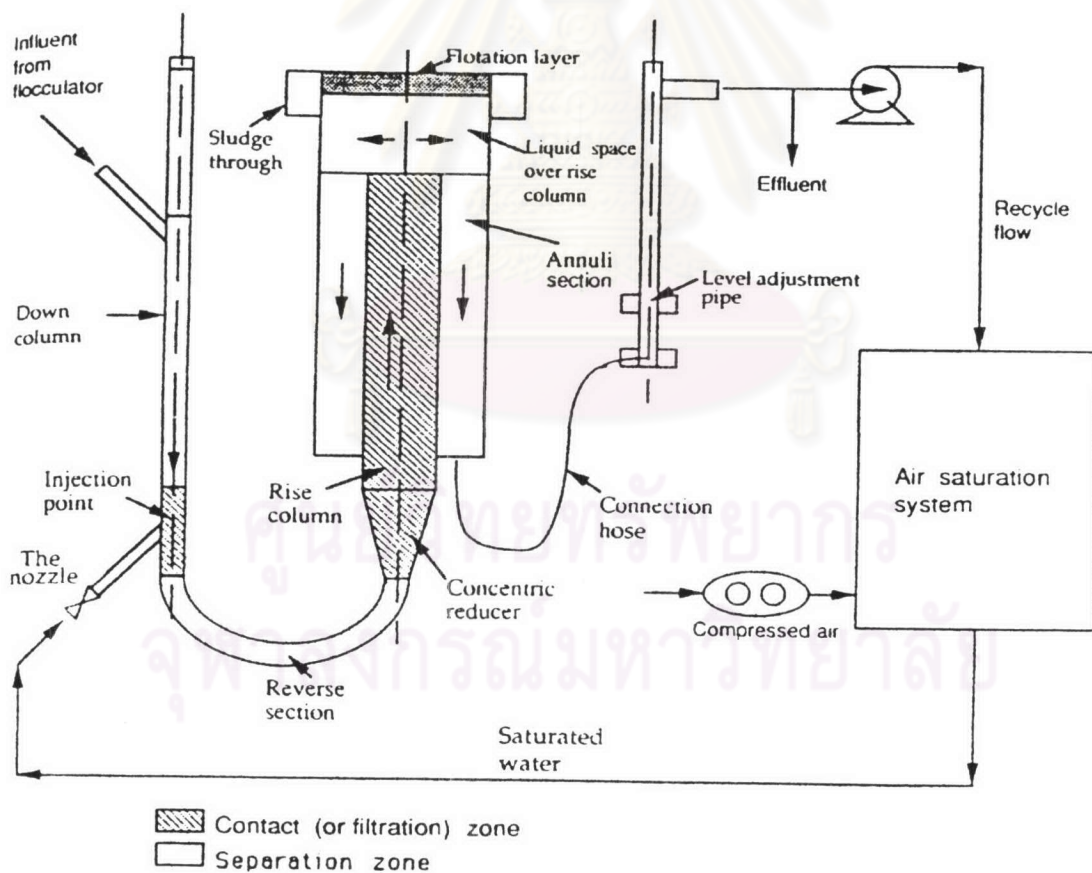


รูปที่ 2.7 แผนผังการบำบัดน้ำเสียโรงกลั่นน้ำมันบางจาก  
ที่มา: บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) พ.ศ.2546



## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bayens และคณะ (1995) ได้ทำการศึกษารอยตัวด้วยอากาศละลายแบบ Plugflow ทำการทดลองในระดับ Pilot-Scale โดยใช้ Coaxial Cylinder-type Flotation Column (รูปที่ 2.8) ซึ่งได้ใช้เกณฑ์ในการออกแบบดังนี้ ขนาดของคอลัมน์ในหรือส่วนสัมผัสมีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 ระยะเวลาที่เก็บในส่วนสัมผัส 1.5 นาที ความเร็วไหลขึ้นอยู่ในช่วง 30 - 70 ม./ชม. ระยะผิวหน้าเหนือคอลัมน์ในเท่ากับ 30 ซม. ส่วนคอลัมน์นอกหรือส่วนแยก ให้มีเวลาเก็บไม่น้อยกว่า 5 นาที ความเร็วไหลลงสูงได้ถึง 30 ม./ชม. จากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ค่าภาระทางชลศาสตร์เท่ากับ 30 ม./ชม. ความเข้มข้นฟองอากาศเท่ากับ  $7 \cdot 10^{-3}$  ม.<sup>3</sup>/ม.<sup>3</sup> และใช้ภาระทางชลศาสตร์เท่ากับ 15 ม./ชม. ความเข้มข้นฟองอากาศเท่ากับ  $4 \cdot 10^{-3}$  ม.<sup>3</sup>/ม.<sup>3</sup> ประสิทธิภาพในการบำบัดมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ภาระทางชลศาสตร์ 5 - 30 ม./ชม. เกิดสภาพใกล้เคียง Ideal Plugflow และเมื่อใช้ภาระทางชลศาสตร์ 2 - 50 ม./ชม. Dead Volume Fraction มีค่าน้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.8 ชุดเครื่องมือทดสอบ Coaxial Cylinder-type Flotation Column

(Baeyens และคณะ, 1995)

Berne และ Cordonier (1995) ได้ทำการเปรียบเทียบการเดินระบบระหว่างการตกตะกอนกับ DAF ในการแยกน้ำมัน โดยใช้น้ำเสียโรงกลั่นน้ำมันที่อัตราการไหล 500 ลบ.ม./ชม. ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งใช้สภาวะการเดินระบบของ DAF ดังนี้

- ภาระทางชลศาสตร์ 4 - 6 ลบ.ม./ชม. (การแยกน้ำมัน)
- อัตราการหมุนเวียนน้ำอัดอากาศ
  - สำหรับการแยกน้ำมัน 15 - 30 เปอร์เซ็นต์
  - สำหรับการทำให้ขึ้น 30 - 60 เปอร์เซ็นต์
- อัตราส่วนของปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำในการแยกน้ำมัน 25 - 30 ล./ลบ.ม.
- อัตราส่วนของปริมาณอากาศต่อปริมาณของแข็งในการทำให้ขึ้น 0.01 - 0.02 กก./กก.

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบการแยกฟลักซ์น้ำมันด้วยวิธีการตกตะกอนกับ DAF

Separation process		Sedimentation	DAF	
			with FeCl <sub>3</sub>	with organic coagulant
Separator area (m <sup>2</sup> )		660	150	100
Consumption in kg.h <sup>-1</sup>	Lime	20-50	-	-
	50% FeCl <sub>3</sub>	20-60	10-50	-
	Organic coagulant			
	AM (active matter)	-	-	0.5-1
	Anionic flocculant	0.25-0.4	0.3-0.5	0.1-0.5
Power (kW)		5-8	25-30	20-30
Sludge volume (m <sup>3</sup> /day)		36-48	24-36	5-10

Liers และคณะ (1996) ได้ทำการศึกษาโมเดลการลอยตัวด้วยอากาศละลายโดยใช้ Coaxial DAF Column ในการทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากดินเหนียวเบนโทไนท์ กระบวนการโคแอกกูเลชันใช้เฟอริกคลอไรด์เป็นสารโคแอกกูแลนต์และโพลีอิเล็กโตรไลต์ (Zetag 88, Allied Collids) เป็นสารฟลักคูแลนต์ กวนเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที กวนช้า 20 นาทีที่ความเร็วเกรเดียนท์ประมาณ 40 วินาที<sup>-1</sup> จากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ภาระทางชลศาสตร์ 15 ม./ชม. และ 10 ม./ชม. ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งเท่ากับ 90% และ 95% ตามลำดับ

Galil และ Wolf (2001) ได้ทำการศึกษาการกำจัดไฮโดรคาร์บอนจากน้ำเสียปิโตรเคมีคอลโดยการลอยตัวด้วยอากาศละลาย โดยมีวัตถุประสงค์ของการศึกษาคือ ประเมินประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย สารอินทรีย์ ไฮโดรคาร์บอน และฟีนอล โดยวิธี DAF ร่วมกับสารโคแอกกูแลนต์ ได้แก่ อลูมินัมซัลเฟตหรือ Cationic Polyelectrolyte (Cyanamide, C-577) เป็นการทดลองแบบแบตช์ สำหรับการทดลองกระบวนการโคแอกกูแลชั่น ทำการกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที กวนช้า 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 25 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที ปริมาณการใช้สารโคแอกกูแลนต์ สำหรับอลูมินัมซัลเฟตในช่วง 30 - 40 มก./ล. และ Cationic Polyelectrolyte ในช่วง 7 - 14 มก./ล. สำหรับ DAF ใช้ความดันในการอัดอากาศเท่ากับ 3 บรรยากาศและใช้อัตราส่วนปริมาณอากาศในช่วง 0.08 - 0.10 ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโดยใช้อลูมินัมซัลเฟตและโพลีอิเล็กโตรไลต์

พารามิเตอร์	อลูมินัมซัลเฟต				โพลีอิเล็กโตรไลต์			
	น้ำดิบ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)		เหลือ (มก./ล.)	น้ำดิบ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)		เหลือ (มก./ล.)
		ช่วงค่า	เฉลี่ย			ช่วงค่า	เฉลี่ย	
ของแข็งแขวนลอย	17-50	4-93	76	5-10	17-36	8-95	67	5-10
ซีไอดีทั้งหมด	409-790	16-39	27	300-560	351-609	8-42	21	250-450
ซีไอดีละลาย	312-666	0-20	10	290-540	282-488	0-46	10	210-440
น้ำมันทั้งหมด	36-77	53-86	73	10-20	20-74	22-96	61	10-20
น้ำมันละลาย	11-23	0-85	15	10-17	7-27	0-100	38	4-18
ฟีนอล	19-62	2-33	9	17-50	18-80	0-15	2	18-70

Zouboulis และ Avranas (2000) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำมันอิมัลชันโดยใช้กระบวนการโคแอกกูแลชั่นร่วมกับกระบวนการลอยตัวด้วยอากาศละลาย การทดลองได้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ไฮโดรคาร์บอนชนิด n-octane เป็นน้ำเสียอิมัลชันความเข้มข้น 500 มก./ล. สารโคแอกกูแลนต์ 3 ชนิด ได้แก่ เฟอริกคลอไรด์ โพลีอิเล็กโตรไลต์ ชนิด Anionic Polyacrylamide และโพลีอิเล็กโตรไลต์ ชนิด Cationic K-1384 สารฟลอคคูแลนต์เฮด ได้แก่ Sodium Oleate จากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้โพลีอิเล็กโตรไลต์เป็นสารโคแอกกูแลนต์ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันต่ำ ขณะที่เมื่อใช้เฟอริกคลอไรด์เป็นสารโคแอกกูแลนต์พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันสูง โดยที่ประสิทธิภาพสูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์เมื่อใช้สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด ได้แก่

- ใช้  $[Fe^{3+}]$  ปริมาณเท่ากับ 100 มก./ล. กับ [Sodium Oleate] ปริมาณเท่ากับ 50 มก./ล.
- pH เท่ากับ 6
- อัตราการเวียนน้ำอัดอากาศ 30 เปอร์เซ็นต์

Al-Shamrani และคณะ (2002) ได้ทำการศึกษาการทำลายเสถียรภาพน้ำมันอิมัลชันและการแยกโดยการลอยตัวด้วยอากาศละลาย การทดลองได้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ออลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Catenex 11, Shell, UK) ความเข้มข้น 1630 มก./ล. สารโคแอกกูแลนต์ได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟต

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของสารโคแอกกูแลนต์ โดยใช้สภาวะในการทดลองคือ กวนเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที กวนช้า 20 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ความดันที่ใช้อัดอากาศ 80 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อัตราการเวียนกลับน้ำอัดอากาศ 10 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาการลอยตัว 7 นาที จากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้อลูมิเนียมซัลเฟตปริมาณเท่ากับ 100 มก./ล. ที่ค่า pH 8 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันสูงสุดเท่ากับ 99.3 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อใช้เฟอร์ริกซัลเฟตปริมาณเท่ากับ 120 มก./ล. ที่ค่า pH 7 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันสูงสุดเท่ากับ 99.94 เปอร์เซ็นต์

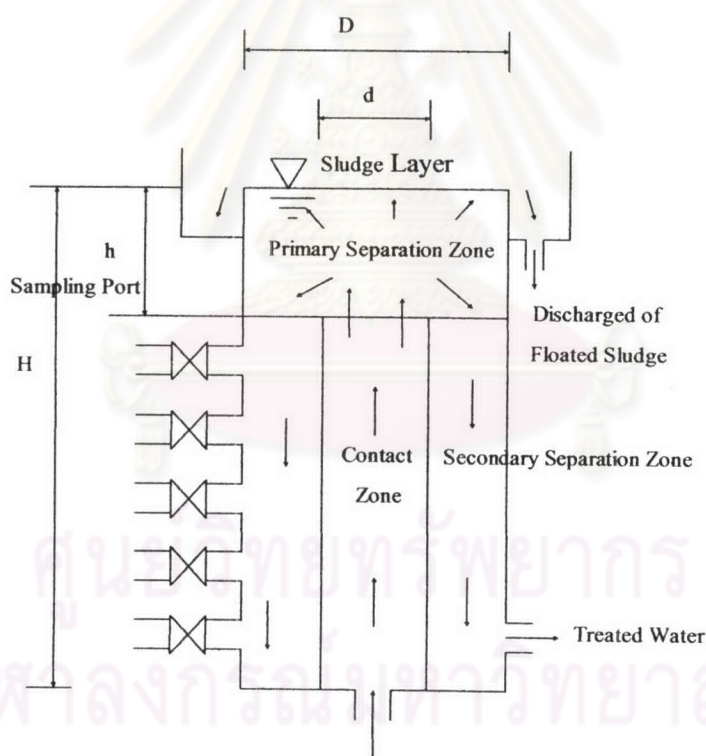
การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของความเร็วเกเรเดียนท์และระยะเวลาที่ใช้ในการกวน จากการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกวนเร็วคือ ใช้ความเร็วเกเรเดียนท์เท่ากับ 110 ต่อวินาทีและระยะเวลาในการกวนเท่ากับ 120 วินาที สำหรับการกวนช้าเมื่อใช้ความเร็วเกเรเดียนท์มากกว่า 12 ต่อวินาที ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง และระยะเวลาในการกวน 15 - 20 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง

Park และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความเร็วการไหลขึ้นและความเร็วการไหลลงของ Coaxial Cylinder-type Flotation Column (รูปที่ 2.9) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็ง ทำการทดลองในระดับ Pilot-Scale

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลกระทบของความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็ง โดยใช้ขนาดของคอลัมน์ในเท่ากับ 10 ซม. เวลาสัมผัสในส่วนสัมผัสไม่น้อยกว่า 1 นาที ความเร็วไหลขึ้น 57 - 139 ซม./นาที ขนาดของคอลัมน์นอกเท่ากับ 18 - 45 ซม. ความสูง 180 ซม. ความเร็วไหลลงน้อยกว่า 7.2 ซม./นาที ความเข้มข้นของของแข็ง 1,000 และ 2,000 มก./ล. อัตราการรับภาระของแข็งน้อยกว่า 98 กก./ตร.ม./วัน อัตราส่วนการเวียนกลับน้ำอัดอากาศเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ความดันที่ใช้

อัตราอากาศเท่ากับ 4.3 กก./ตร.ซม. พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วน  $h/d$  เท่ากับ 3  $D/d$  เท่ากับ 4.5 ความเร็วไหลขึ้นน้อยกว่า 110 ซม./นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ และ เมื่อใช้ความเร็วไหลขึ้น 139 ซม./นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งน้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลกระทบเนื่องจากขนาดของส่วนแยกต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็ง โดยใช้ความเร็วไหลขึ้น 51 74 และ 102 ซม./นาที ขนาดของคอลัมน์นอกเท่ากับ 18 - 26 ซม. ความเข้มข้นของของแข็ง 1,000 มก./ล. อัตราส่วนการเวียนกลับน้ำอัตราอากาศเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ความดันที่ใช้อัตราอากาศเท่ากับ 4.3 กก./ตร.ซม. พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วน  $h/d$  เท่ากับ 3  $D/d$  มากกว่า 2 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อใช้ความเร็วไหลลงน้อยกว่า 30 ซม./นาที ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งค่อนข้างคงที่ เมื่อใช้อัตราการรับภาระของแข็งมากกว่า 350 กก./ตร.ม./วัน พบว่าประสิทธิภาพการแยกของแข็งลดลง



รูปที่ 2.9 Coaxial DAF Colmn (Park และคณะ, 2001)

Al-Shamrani และคณะ (2002) ได้ทำการศึกษาการแยกน้ำมันจากน้ำโดยการลอยตัวด้วยอากาศละลาย การทดลองได้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ออลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Catenex 11, Shell, UK) จากการศึกษาพบว่า

- การเพิ่มความดันในถังอัดความดันมีประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันน้อยกว่าการเพิ่มอัตราความเร็วลมที่ใช้อัดอากาศ
- สภาวะที่เหมาะสมในการแยกน้ำมันคือ อัตราส่วนของอากาศต่อน้ำมันเท่ากับ 0.0075 โดยใช้อัตราการเวียนกลับน้ำ 10 เปอร์เซ็นต์
- ค่าซีตาโพเทนเชียลของหยดน้ำมันมีค่าเป็นลบ เมื่อค่า pH อยู่ในระหว่าง 5 ถึง 10
- การใช้โพลีโอเลคโตรไลต์เป็นสารโคแอกกูแลนต์พบว่า ไม่มีประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกจากน้ำ เนื่องจากการใช้โพลีโอเลคโตรไลต์เพียงเล็กน้อย ทำให้ค่าซีตาโพเทนเชียลของหยดน้ำมันมีค่าเป็นบวก เป็นผลให้เสถียรภาพของหยดน้ำมันกลับคืนมา เมื่อใช้อลูมินัมซัลเฟตเป็นสารโคแอกกูแลนต์ ทำให้ค่าซีตาโพเทนเชียลของหยดน้ำมันลดลงเป็นผลให้ค่าอิลคโตรสแตติกฟิลชันลดลงทำให้หยดน้ำมันไม่มีเสถียรภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย