

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส

2.1.1 บทนำ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส (Activated Sludge Process) เป็นหนึ่งในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพประเภทเดิมอากาศ ซึ่งได้รับความนิยมมาช้านาน โดยอาศัยจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียต่างๆ ในการกิน ทำลาย ย่อยสลาย ดูดซับหรือเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ให้มีค่าความสกปรกลดน้อยลง จุลชีพในระบบจะขยายพันธุ์เพิ่มปริมาณมากขึ้น ในลักษณะที่เรียกว่า การเจริญเติบโตแบบแขวนลอย (Suspended Growth) โดยหลักแล้วระบบนี้จะประกอบไปด้วย ถังปฏิกรณ์หรือถังเดิมอากาศ ถังตกตะกอน และระบบหมุนเวียนตะกอน

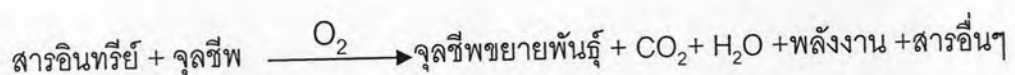
กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสมีลักษณะสำคัญที่แตกต่างจากระบบอื่นๆ คือ

- (1) ใช้จุลินทรีย์ซึ่งจับตัวกันเป็นฟล็อก กำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย
- (2) ใช้การตกตะกอนแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยน้ำทิ้ง
- (3) มีการเวียนตะกอนจุลินทรีย์เข้มข้นออกจากถังตกตะกอน กลับไปยังถังเดิมอากาศ
- (4) การทำงานของกระบวนการขึ้นอยู่กับอายุเฉลี่ยของจุลินทรีย์ในระบบ

2.1.2 กลไกการทำงาน

2.1.2.1 หลักการเบื้องต้นของกระบวนการเอเอส

ในกระบวนการเอเอส น้ำเสียจะประกอบไปด้วยจุลินทรีย์หลากหลายชนิด จุลชีพจำพวกแบคทีเรียจัดเป็นหลักสำคัญในปฏิริยาของการบำบัดน้ำเสียกระบวนการนี้ โดยปฏิริยาที่เกิดขึ้นจะเขียนได้เป็น



สมการดังกล่าวสรุปได้ว่า จุลชีพจะนำสารอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดน้ำเสียมาเผาผลาญด้วยก๊าซออกซิเจน และนำสารอินทรีย์ไปเป็นอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ ในปฏิกิริยาจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พลังงาน และน้ำ โดยส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลอยขึ้นไปในอากาศ พลังงานจะถูกจุลชีพนำไปใช้ในการดำเนินชีวิต ส่วนของน้ำจะกลายเป็นน้ำใสแล้วปล่อยออกไปจากระบบได้ และอีกสิ่งหนึ่งที่สรุปได้จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก็คือสารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นจุลชีพที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งจุลชีพนั้นมีน้ำหนักมากกว่าน้ำ ดังนั้นจึงสามารถแยกจุลชีพออกจากน้ำได้ง่ายด้วยการตกตะกอนในถังตกตะกอนต่อไป

2.1.2.2 การเกิดกระบวนการเอเอส

กลไกของกระบวนการเอเอส (Activated Sludge) เกิดต่อเนื่องกัน 3 ขั้นตอนในถึงปฏิกิริยา คือ

- (1) ขั้นส่งถ่าย (Transfer Step)
- (2) ขั้นเปลี่ยนรูป (Conversion Step)
- (3) ขั้นรวมตะกอน (Flocculation Step)

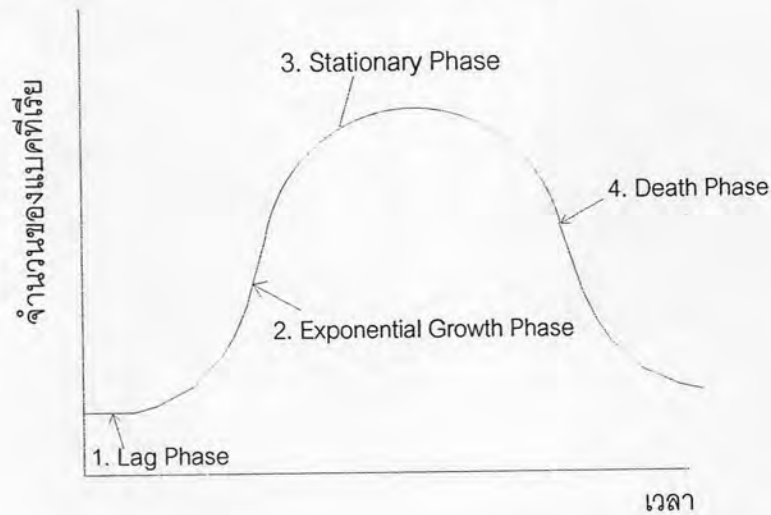
ในขั้นที่สาม ขั้นรวมตะกอน จุลชีพจะถูกกวนผสมรวมกันในถึงปฏิกิริยาโดยจับตัวกันในลักษณะของคอลลอยด์ จนมีขนาดใหญ่ขึ้นเรียกลักษณะตะกอนนี้ว่า ฟล็อก (Floc) หรือ Activated Sludge ซึ่งจะมีน้ำหนักมากกว่าเซลล์เดี่ยว สามารถตกตะกอนแยกออกจากน้ำเสียได้ง่าย และเมื่อฟล็อกไปสัมผัสกับสารแขวนลอย (Suspended Material) หรือสารคอลลอยด์ ก็จะจับมวลสารเหล่านี้เอาไว้และทำการย่อยสลายเป็นอาหาร งานวิจัยชิ้นนี้มุ่งเน้นการทำให้เกิดกระบวนการสร้างฟล็อกที่มีความหนาและแข็งแรง มีประสิทธิภาพในการแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้สูงขึ้น

2.1.3 จุลินทรีย์ในระบบ

2.1.3.1 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

การเจริญเติบโต (Growth) ในทางแบคทีเรียวิทยา หมายถึง การเพิ่มจำนวนของแบคทีเรีย ซึ่งมีความหมายตรงกับการสืบพันธุ์ของแบคทีเรียมากกว่าที่จะหมายถึงการเพิ่มขนาดหรือมวลของแต่ละเซลล์ ทั้งนี้เพราะเป็นการยากที่จะวิเคราะห์มวลแต่ละเซลล์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากขนาดที่เล็กมากของแบคทีเรีนั่นเอง

จากการนำแบคทีเรียมาเลี้ยงในอาหารเหลวในที่จำกัด (Batch Culture) และนับจำนวนแบคทีเรียที่มีอยู่เป็นระยะตามเวลาที่ผ่านไป แล้วนำจำนวนของแบคทีเรียมาเขียนกราฟในกราฟ log จะได้เส้นโค้ง เรียกว่า Population Growth Curve ใช้สำหรับแบ่งช่วงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งแบ่งได้ออกเป็น 4 ระยะ (Phase) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กราฟการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเทียบกับเวลา (Qasim, 1999)

ช่วงที่ 1 Lag Phase

เป็นช่วงที่จำนวนแบคทีเรียยังไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากยังไม่มี การแบ่งเซลล์ แม้เวลาจะผ่านไปช่วงหนึ่งก็ตาม แต่เซลล์ในระยะนี้จะมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีมวลเพิ่มขึ้น เพราะแต่ละเซลล์จะใช้สารอาหารนำมาสร้างเป็น protoplasm และสารประกอบอื่นๆ เช่น DNA, RNA และ enzyme เป็นต้น หรืออีกนัยหนึ่งเป็นช่วงเวลาที่แบคทีเรียใช้ไปในการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่เพื่อให้พร้อมที่จะแบ่งเซลล์ต่อไป ช่วงเวลา lag phase จะสั้นยาวแตกต่างกันไปตามชนิดของแบคทีเรีย อาหารเพาะเลี้ยง และสภาพแวดล้อม ตลอดจนระยะการเจริญของแบคทีเรียที่นำมาเพาะเลี้ยง เช่น ถ้านำเอาแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงในอาหารชนิดหนึ่งไปเพาะเลี้ยงใหม่ในอาหารชนิดเดิม ช่วงระยะ lag phase จะสั้นลง เนื่องจากแบคทีเรียไม่จำเป็นต้องสร้าง enzyme อีกครั้ง ซึ่งเหมือนกับการหมุนเวียนเซลล์แบคทีเรีย ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียเอเอส ก็เป็นวิธีหนึ่งที่นำเอาแบคทีเรียที่ผ่านพ้นระยะ lag phase ไปแล้วกลับในถังปฏิกรณ์ใหม่ ทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายสารประกอบต่างๆ ในน้ำทิ้งได้ทันที แบคทีเรียในช่วงนี้จะมีอัตราการเกิด และการตายต่ำ

ช่วงที่ 2 Log Phase หรือ Exponential Growth Phase

เป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด มีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็วในอัตราที่สม่ำเสมอ เซลล์แต่ละเซลล์ในระยะนี้จะมีกิจกรรมของกระบวนการเมตาบอลิซึมเกิดขึ้น สารอาหารและออกซิเจนถูกใช้เป็นจำนวนมากและรวดเร็ว ซึ่งการเติบโตในระยะนี้จะให้ผลดีกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยจะทำให้ลดสารประกอบอินทรีย์ไปได้มาก ระยะของ log phase ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมต่างๆ คือ ปริมาณสารอาหาร อุณหภูมิ พีเอช รวมทั้งสารพิษที่อาจเกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมเอง จำนวนประชากรในช่วงนี้ มีอัตราการเกิดสูงมากกว่าการตายของแบคทีเรีย ซึ่งการตายของของแบคทีเรียจะเกิดขึ้นในทุกๆ ช่วง เพียงแต่ในแต่ละช่วงจะมีอัตราการตายไม่เท่ากัน

ช่วงที่ 3 Stationary Phase

ระยะนี้อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะช้าลง มีประชากรสูงขึ้นสูงสุดและคงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง เนื่องจากสารอาหารถูกใช้จนเกือบหมดและสารพิษที่ขับออกมาจากจุลินทรีย์มีมากขึ้น ซึ่งช่วงนี้จะมีจำนวนประชากรสมดุลกันคือการเกิดใกล้เคียงกับการตาย

ช่วงที่ 4 Death Phase

ช่วงก่อนนี้จะมีการตายอย่างช้าๆ และเข้าระยะนี้การตายจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จนเหลืออยู่บางเซลล์ในเวลาอันสั้น เซลล์ของแบคทีเรียที่ตายแล้วจะถูกย่อยสลายด้วยแบคทีเรียด้วยกันเอง ทำให้มวลลดลง ส่วนที่ย่อยไม่หมดก็จะกลายเป็นตะกอนตกอยู่ที่ก้นถังปฏิกรณ์

2.1.3.2 การจำแนกชนิดของจุลินทรีย์

โดยทั่วไประบบเอเอส จะจำแนกจุลินทรีย์ในระบบได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. จุลินทรีย์สร้างฟล็อก (Floc forming organisms) เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญมากในระบบเอเอส เพราะทำให้เราสามารถแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำได้ดีด้วยวิธีตกตะกอนตามธรรมชาติ เดิมเชื่อว่าแบคทีเรีย Zooglea ramigera เป็นแบคทีเรียชนิดเดียวที่ทำการสร้างฟล็อก แต่ปัจจุบันพบว่าจุลินทรีย์หลายชนิด เช่น Protozoa และ Fungi ก็ทำให้เกิดฟล็อกได้เช่นกัน กรรมวิธีสร้างฟล็อกของ Activated Sludge เรียกว่า Bioflocculation (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2525)
2. แซฟโพรไฟท์ (Saprophytes) เป็นจุลินทรีย์ที่รับผิดชอบต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรีย ซึ่งมักเป็นพวกสร้างฟล็อกด้วย แบคทีเรียที่ไม่สร้างฟล็อกก็อาจอยู่ในประเภทนี้แต่ถูกจับอยู่ในฟล็อก แซฟโพรไฟท์แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ แบบที่รับผิดชอบในการย่อย

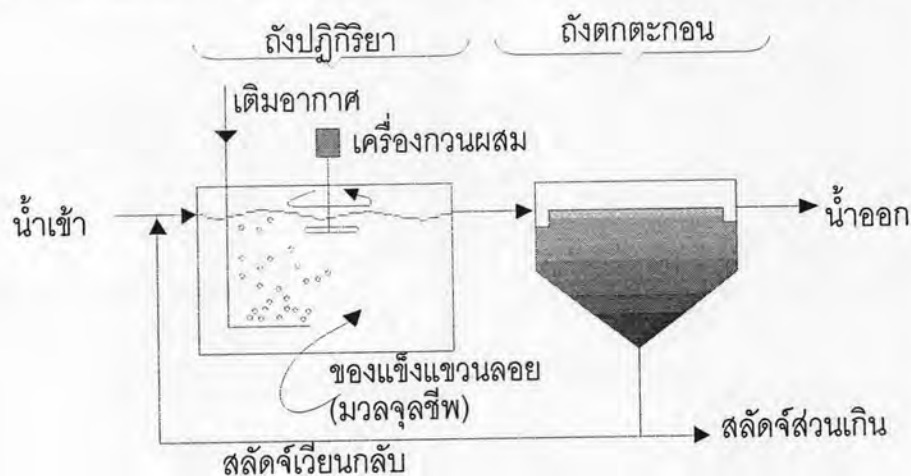
สารอาหารหรือซบสเตรท (Substrate) ให้เป็นซบสเตรทที่มีโมเลกุลเล็ก และแบบสลายของซบสเตรทโมเลกุลเล็กจนได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

3. จุลินทรีย์ทำลาย (Predator) ชนิดที่สำคัญของระบบเอเอสคือ โปรโตซัวซึ่งจับแบคทีเรียกินเป็นอาหาร กลุ่มที่สำคัญคือพวกซีเลียต (Ciliates) ซึ่งระบบที่มีจุลินทรีย์จำพวกนี้อาศัยอยู่ในระบบจำนวนมากมักจะเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง เชื่อว่าโปรโตซัวมีบทบาทสำคัญในการตกตะกอนจุลินทรีย์ให้ได้น้ำใส

4. จุลินทรีย์ก่อกวน (Nuisance Organism) เป็นจุลินทรีย์ที่ก่อกวนการทำงานของระบบเอเอส ปัญหาส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นกับการตกตะกอนของฟล็อก เช่น แบคทีเรียที่มีรูปร่างคล้ายเส้นใย จัดเป็นจุลินทรีย์ประเภทก่อกวนทำให้เกิดการจมไม่ลงของตะกอนหรือเรียกว่า Bulking มาจากแบคทีเรียพวก Sphaerotilus และ Filamentous Bacteria (มันลิน ตันซูลเวคม์, 2525)

2.1.4 ส่วนประกอบของระบบ

ระบบการบำบัดน้ำเสียเอเอสมีส่วนประกอบสำคัญ ที่สามารถนำไปใช้ตัดสินใจได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียใดเป็นระบบเอเอสหรือไม่ ส่วนประกอบสำคัญดังกล่าวมีด้วยกัน 3 ส่วน คือ ถังปฏิกรณ์ ถังตกตะกอน และ ส่วนหมุนเวียนตะกอน ส่วนประกอบต่างๆ ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของระบบเอเอส (มันลิน ตันซูลเวคม์, 2525)

ส่วนที่หนึ่ง ถังปฏิกรณ์ หรือโดยทั่วไปเรียกว่าถังเติมอากาศ มีด้วยกันหลายลักษณะตามแต่ละชนิดของระบบเอเอส หน้าที่สำคัญของถังปฏิกรณ์คือการเติมอากาศ หรือก๊าซออกซิเจนให้กับระบบเพื่อให้จุลินทรีย์นำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และทำหน้าที่กวนผสมจุลินทรีย์ในน้ำเสียให้มีโอกาสสัมผัสสารอินทรีย์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาได้ทั่วถึงแล้วทำให้เกิดฟล็อก

ของจุลินทรีย์ขึ้นมาซึ่งมีน้ำหนักและตกตะกอนได้ง่าย ตลอดจนมีหน้าที่อื่นๆ เช่นในการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสีย ถึงปฏิกริยานี้จะทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรทเพื่อทำการบำบัดต่อไป เป็นต้น

ส่วนที่สอง ถึงตกตะกอน มีหน้าที่คือทำการแยกของของแข็ง ซึ่งในที่นี้คือมวลของจุลินทรีย์ออกจากของเหลวหรือน้ำด้วยแรงโน้มถ่วง โดยจุลินทรีย์ที่กินสารอินทรีย์เข้าไปก็จะเกิดการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนของเซลล์จุลินทรีย์ และจับตัวกันเป็นฟล็อก ซึ่งฟล็อกนี้จะตกตะกอนได้ดีในถังตกตะกอน และน้ำที่แยกออกมาจะเป็นน้ำใสสามารถปล่อยออกทิ้งได้ ส่วนตะกอนจุลินทรีย์หรือเรียกว่าสลัดจ์ จะถูกปล่อยทิ้งออกจากถังเพื่อนำไปบำบัดหรือเข้าสู่ระบบหมุนเวียนตะกอนกลับไปยังส่วนแรกต่อไป

ส่วนที่สาม ส่วนหมุนเวียนตะกอน เป็นส่วนที่สำคัญ และเป็นส่วนที่บ่งบอกความเป็นระบบเอเอส การหมุนเวียนตะกอนเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการควบคุมระบบกล่าวคือ ในการควบคุมระบบให้ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบเกิดความสมดุลกับสารอินทรีย์เป็นสิ่งที่สำคัญมาก เช่น ถ้าในระบบมีจุลินทรีย์ในระบบน้อยแต่มีสารอินทรีย์ในระบบมาก เกิดความไม่สมดุล ก็ต้องทำการเพิ่มตะกอน จุลินทรีย์ให้มากขึ้นเพื่อให้ระบบสมดุล เป็นต้น ดังนั้นถ้าไม่มีส่วนหมุนเวียนตะกอนการควบคุมระบบก็ต้องเปลี่ยนไปปรับส่วนอื่นๆ แทนซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากกว่ามาก

2.1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ

ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายชนิด ถ้าการควบคุมดูแลไม่ดีในสิ่งหนึ่งสิ่งใด ก็จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบเป็นไปได้ไม่ตรงตามที่ต้องการ ออกแบบไว้ ซึ่งปัจจัยที่ต้องควบคุมให้ดีและมีผลต่อระบบคือ

2.1.5.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

ในระบบเอเอสจุลินทรีย์ใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหาร ดังนั้นหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ โดยอาจทำให้อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์สูงคือมีอาหารมาก ทำให้จุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกระจัดกระจายไม่รวมกันเป็นฟล็อก ทำให้ตกตะกอนไม่ดี น้ำออกมีความขุ่นสูง และยังคงมีบีโอดีสูง หรือในทางตรงข้าม อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำคือมีอาหารน้อย จุลินทรีย์มีการเติบโตน้อย ตกตะกอนได้เร็วแต่ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆ ลงมาๆ ได้หมด ทำให้น้ำทิ้งมีความขุ่น ซึ่งสรุปได้ว่าต้องควบคุมให้

ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีความสมดุลพอเหมาะ จึงจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีตามที่ต้องการ และถ้าหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียเข้ามามากเกินความสามารถที่ระบบจะรับได้ (Shock load) ก็จะทำให้เกิดอันตรายต่อระบบ เนื่องจากจุลินทรีย์ปรับตัวเพื่อรับสารอินทรีย์ไม่ทันทำให้จุลินทรีย์ตาย ระบบก็จะไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้

2.1.5.2 ธาตุอาหาร

จุลินทรีย์ต้องการธาตุอาหาร (Nutrient) ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก โดยปกติแล้วธาตุเหล่านี้มีอยู่ครบในน้ำเสียชุมชน แต่อาจมีไม่พอในน้ำเสียอุตสาหกรรม การขาดธาตุอาหารทำให้จุลินทรีย์สร้างฟล็อก (Floc forming organisms) เติบโตได้ไม่ดี ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานในระบบต่ำลงไป โดยปกติจะควบคุมอัตราส่วนบีโอดีต่อธาตุอาหารคือ BOD : N : P : Fe เท่ากับ 100 : 5 : 1 : 0.5 การเติมไนโตรเจนมักใส่ในรูปแอมโมเนีย หรือยูเรีย สำหรับฟอสฟอรัส มักจะใส่ในรูปกรดฟอสฟอริก ส่วนเหล็กมักจะใส่ในรูปของเฟอร์ริกคลอไรด์

2.1.5.3 ออกซิเจนละลาย

ในถังเติมอากาศต้องมีค่าออกซิเจนละลาย (DO) อยู่ในน้ำระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อให้ระบบดำเนินไปได้อย่างเป็นปกติ โดยทั่วไปการเติมออกซิเจนละลายจะใช้การเติมอากาศ (aeration) ด้วยเครื่องเติมอากาศ หรือ areator

2.1.5.4 ระยะเวลาในการบำบัด

ระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียในถังปฏิริยาจะต้องมีมากเพียงพอที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ หากมีเวลาน้อยเกินไปสารที่ย่อยยากๆ จะถูกย่อยได้ไม่ถึงขั้นสุดท้ายทำให้มีค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก และในถังตกตะกอนก็เช่นกัน ถ้าเวลาในการตกตะกอนมีน้อยเกินไปจะทำให้สลัดจ์ตกไม่ได้ดี แต่ถ้ามีเวลามากเกินไปเกิดการสะสมของสลัดจ์ก็จะทำให้สลัดจ์ขาดออกซิเจนและเกิดการเน่าเสียได้

2.1.5.5 ค่าพีเอช

พีเอช (pH) เป็นค่าแสดงความเป็นกรด-ด่าง จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าพีเอชเหมาะสม ที่อยู่ในช่วง 6.5-8.5 จึงควรควบคุมระบบให้มีพีเอชอยู่ในช่วงดังกล่าว ถ้าต่ำกว่า 6.5 ว่าจะเจริญเติบโตได้ดีกว่า ทำให้ประสิทธิภาพของระบบจะลดลง และการตกตะกอนก็จะไม่ดี ถ้าพีเอชสูงกว่า 8.5 ฟอสฟอรัสจะแยกตัวออกมาจากน้ำ และจุลินทรีย์ก็ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ถ้าพีเอชมีค่าต่ำมากๆ หรือสูงมากๆ จุลินทรีย์ก็จะตายหมดไม่สามารถดำรงชีวิตได้

2.1.5.6 สารพิษ

สารพิษแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ พิษเฉียบพลัน ซึ่งจุลินทรีย์จะตายกันหมดภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมง และแบบพิษออกฤทธิ์ช้า ซึ่งจะใช้เวลาและค่อยๆ ตายลงไป สารพิษเฉียบพลันสังเกตง่ายเนื่องจากมีผลเกิดขึ้นเร็ว เช่น ไซยาไนต์ อาร์ซินิค เป็นต้น ส่วนพวกออกฤทธิ์ช้า เช่น โลหะหนักต่างๆ นอกจากนั้นสารพิษก็เกิดจากสารอินทรีย์เอง ได้แก่ แอมโมเนียที่มีความเข้มข้นสูงเกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้น

2.1.5.7 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปการเพิ่มอุณหภูมิทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์เติบโตเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว จนถึงอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นการเจริญเติบโตก็จะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินไป แต่ในประเทศไทยอุณหภูมิในฤดูร้อนและฤดูหนาวไม่มีความแตกต่างกันมากนักทำให้อุณหภูมิไม่มีผลกับระบบมาก นอกจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีน้ำเสียมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมาก และพบว่าอุณหภูมิมิมีผลต่อการตกตะกอนคือ ถ้าอุณหภูมิต่ำการตกตะกอนจะดีกว่าอุณหภูมิสูง แต่ถ้ามีความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแตกต่างกันเกิน 2 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการไหลวนของน้ำเนื่องจากความหนาแน่นที่แตกต่างกันได้ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์, 2538)

2.1.5.8 การกวน

ภายในถังปฏิกริยาต้องมีการกวนอย่างทั่วถึงเพื่อป้องกันมิให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอน และเพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์ได้สัมผัสกับสารอินทรีย์ในน้ำเสียจนกระทั่งจับตัวกันเป็นฟล็อกที่ดี การกวนที่ถูกต้องป้องกันน้ำเสียมิให้ไหลลัดวงจรและทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูง ลักษณะการกวนนั้นต้องมีความพอดีไม่น้อยเกินไปจนจุลินทรีย์ไม่จับตัวกัน และไม่มากเกินไป จนทำให้ฟลอคจุลินทรีย์แตกเสียหาย

2.1.5.9 อัตราการไหลของน้ำเสีย

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียที่ส่งเข้ามาในระบบ มีผลโดยตรงต่อการทำงานของกระบวนการทางชีววิทยาและกระบวนการตกตะกอน เช่น หากน้ำเสียมีอัตราการไหลมากขึ้น จนทำให้เวลาในการบำบัดน้อยลง จุลินทรีย์ก็ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียไม่ทัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลงไปด้วย ดังนั้นต้องมีการควบคุมให้มีอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้ามาบำบัดมีความสม่ำเสมอในอัตราใกล้เคียงกับที่ทำการออกแบบไว้

2.1.6 หลักการออกแบบและควบคุมระบบ

2.1.6.1 ปัจจัยในการดำเนินการออกแบบและควบคุมระบบ

ในการออกแบบและควบคุมระบบต้องมีความรู้ในหลักการพื้นฐาน และปัจจัยต่างๆ ดังที่จะอธิบายต่อไปนี้

1. ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน

(Mixed liquor suspended solid, MLSS)

ความเข้มข้นของของแข็งในถังเติมอากาศทั้ง MLSS และ MLVSS (Mixed liquor volatile suspended solid) เป็นค่าที่ใช้ประมาณมวลจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบเอเอส โดย MLVSS คือปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ละลายได้ ซึ่งแสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำเสีย แต่ MLSS หมายถึงของแข็งแขวนลอยทั้งหมดซึ่งรวมถึงสารอินทรีย์เข้าไปด้วยโดยในทางทฤษฎี ยิ่งค่า MLSS ในถังปฏิกริยาสูง ประสิทธิภาพในการบำบัดก็จะสูง แต่ถ้า MLSS สูงมากจะถูกจำกัด

โดยปริมาณออกซิเจนในถังปฏิกิริยาซึ่งออกซิเจนที่เติมเข้าไปจะไม่เพียงพอ และเมื่อ MLSS ในระบบสูงมากเกินไปตะกอนจุลินทรีย์จะตกตะกอนได้ไม่ดีในถังตกตะกอน

2. อายุสลัดจ์ (Sludge age หรือ Solid retention time, SRT)

อายุของสลัดจ์ จะมีผลต่อลักษณะสมบัติและสภาพของสลัดจ์ในถังเติมอากาศ สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนน้ำหนักของของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศต่อน้ำหนักของแข็งแขวนลอยที่ระบายออกจากระบบในแต่ละวัน ซึ่งเขียนได้เป็นสมการ

$$\theta_c = \frac{MLSS}{MLSS_{out}} \quad (2.1)$$

เมื่อ θ_c คือ อายุสลัดจ์มีหน่วยเป็น วัน

MLSS คือ น้ำหนักของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกิริยามีหน่วยเป็น กก./ลบ.ม.

MLSS_{out} คือ น้ำหนักของแข็งแขวนลอยที่ออกจากระบบต่อวันมีหน่วยเป็น กก./ลบ.ม.

3. ภาระบรรทุก (Plant loading)

ภาระบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบระบบเอเอเอส มีด้วยกัน 3 ค่าคือ ภาระบรรทุกเชิงปริมาตร (volumetric loading) คือปริมาณการไหลของน้ำเสียที่สัมพันธ์กับปริมาณของถังปฏิกิริยา ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (organic loading) คือค่าบีโอดี ที่สัมพันธ์กับปริมาตรของถังปฏิกิริยา และ ภาระบรรทุกสลัดจ์ (sludge loading) คือค่าบีโอดี ที่สัมพันธ์กับปริมาณมวลจุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบเอเอเอส

1) ภาระบรรทุกเชิงปริมาตร (volumetric loading)

คือเวลาเก็บกักน้ำเสียในถังปฏิกิริยา เรียกว่า เวลาเก็บกักน้ำ (hydraulic retention time, HRT) คำนวณจาก

$$HRT = \frac{V}{Q} \quad (2.2)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของของเหลวในถังเติมอากาศหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร

Q คือ อัตราการไหลของน้ำเสียสู่ถังเติมอากาศ เวลาเก็บกักน้ำมีหน่วยเป็น ชั่วโมง

2) ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (organic loading)

ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เป็นอัตราส่วนค่าภาระบีโอดีที่เข้าสู่ระบบต่อปริมาตรถังปฏิกิริยา แสดงค่าภาระบรรทุกในรูปของกิโกรัมบีโอดี ต่อปริมาตรของถังต่อวัน ดังสมการ

$$\text{organic loading} = \frac{Q \times BOD_5}{V \times 1000} \quad (2.3)$$

3) ภาวะบรรทุกสลัดจ์ (sludge loading)

ภาวะบรรทุกของบีโอดี สัมพันธ์กับปริมาณของสลัดจ์ในถังปฏิกรณ์ ภาวะบรรทุกตะกอน หมายถึงอัตราส่วนของอาหาร (F=food) ต่อจุลชีพ (M=micro-organism) คำนวณได้จาก

$$\frac{F}{M} = \frac{Q \times BOD_5}{V \times MLSS} \quad (2.4)$$

เมื่อ F คือ น้ำหนักของสารอินทรีย์ที่เข้าระบบต่อวันมีหน่วยเป็น กก./วัน
M คือ น้ำหนักของจุลชีพในถังเดิมอากาศมีหน่วยเป็น กก.

4. ดัชนีปริมาตรสลัดจ์ (Sludge volume index, SVI)

เป็นค่าที่ใช้วัดลักษณะการตกตะกอนในระบบเอเอส ว่ามีคุณภาพการตกตะกอนดีหรือไม่ โดยคำนวณจากค่าปริมาตรของตะกอนจุลินทรีย์ที่ทิ้งให้ตกตะกอนในกระบอกตวงเป็นเวลา 30 นาที (SV_{30}) หารด้วยความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอย โดยมีหน่วยเป็น มล./ก. ดังเขียนได้เป็นสมการได้ดังนี้

$$SVI = \frac{(SV_{30}) \times 100}{MLSS} \quad (2.5)$$

เมื่อ SVI คือ ดัชนีปริมาตรตะกอนมีหน่วยเป็น มล./ก.

ในระบบเอเอสพบว่าการตกตะกอนจะเกิดได้ดี ถ้า $SVI < 100$ มล./ก. ถ้า $SVI > 150$ มล./ก. แสดงว่าการตกตะกอนเริ่มมีปัญหา อาจมีสลัดจ์อัด และถ้ามากกว่า 250 มล./ก. แสดงว่า ตกตะกอนไม่ดี ต้องแก้ไข

2.1.6.2 หลักการออกแบบระบบเอเอส

หลักในการออกแบบและควบคุมระบบเอเอส ที่นำมาใช้ในการดำเนินการวิจัยแบ่งได้เป็น 2 วิธีการ คือ วิธีคำนวณอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ (F/M) และ วิธีทางจลนพลศาสตร์

1. การออกแบบระบบเอเอสโดยใช้อัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ (F/M)

ค่าอาหาร (F) คือปริมาณ (มวล) ของสารอินทรีย์ที่วัดได้ในรูปบีโอดีมีน้ำหนักเป็นกิโลกรัมต่อวัน ที่เข้าสู่ระบบ โดยคำนวณจาก

$$\begin{aligned} \text{ค่าอาหาร} \quad F &= \text{น้ำหนักของสารอินทรีย์ (กก./วัน)} \\ &= \text{ค่าบีโอดีที่เข้าระบบ (กก./วัน)} \\ &= \text{บีโอดี (มก./ล.)} \times \text{อัตราการไหล (ลบ.ม./วัน)} \end{aligned}$$

ค่าน้ำหนักของจุลชีพ (M) คือปริมาณ (มวล) ของจุลชีพที่วัดอยู่ในรูป ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ในสลัดจ์ (MLVSS) หรือของแข็งแขวนลอย (MLSS) ซึ่งเป็นตัวแทนของมวลของจุลชีพที่มีอยู่ในถังเติมอากาศ (V) มีหน่วยเป็นกิโลกรัม โดยคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \text{ค่าน้ำหนักจุลชีพ} \quad M &= \text{น้ำหนักของ MLVSS ในถังเติมอากาศ} \\ &= \text{MLVSS (มก./ล.)} \times V \text{ (ลบ.ม.)} \div 1000 \end{aligned}$$

ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ คืออัตราส่วนของสารอินทรีย์ หรือ BOD (F) ต่อน้ำหนักของจุลชีพ (M) ในถังเติมอากาศ โดยปกติค่า F/M ของระบบเอเอสแบบธรรมดา ควรควบคุมเป็น 0.2-0.4 กก.BOD/กก.MLVSS-วัน ค่า F/M สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{F}{M} = \frac{\text{BOD} \times Q}{\text{MLVSS} \times V} \quad (2.6)$$

โดยที่ BOD คือ ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์วัดอยู่ในรูป BOD (มก./ล.)

Q คือ อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบ (ลบ.ม./วัน)

MLVSS คือ ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (มก./ล.)

V คือ ปริมาตรถังเติมอากาศ (ลบ.ม.)

ในการออกแบบด้วยวิธีนี้ ค่า F/M จะถูกกำหนดจากการเลือกประเภทของระบบเอเอส เช่น ระบบเอเอสแบบธรรมดา (Conventional Activated Sludge, CAS) จะมีค่า F/M เท่ากับ 0.2-0.4 ในการเลือกประเภทของเอเอสควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ เช่น ความยาก-ง่ายในการควบคุมระบบ พื้นที่ในการก่อสร้าง เป็นต้น และนำข้อมูลจากค่าบีโอดี และอัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย และ ค่าเอ็มแอลวีเอสเอส จากถังปฏิบัติการที่ทำการตรวจวัด หรือจากการประมาณการณโดยขึ้นอยู่กับชนิดของระบบเอเอส มาคำนวณในสมการ ก็จะสามารถประมาณขนาดของถังปฏิบัติการได้

จากการศึกษาพบว่า การออกแบบโดยใช้อัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ (F/M) สามารถคำนวณออกแบบได้ง่าย ใช้เวลาไม่นาน และมีความถูกต้องแม่นยำพอประมาณ เหมาะที่จะนำมาใช้คำนวณออกแบบถึงปฏิบัติการในงานวิจัยชิ้นนี้เป็นอันมาก

2. การออกแบบระบบเอเอสโดยใช้วิธีทางจลนพลศาสตร์

หลังจากทำการศึกษาทฤษฎีจลนพลศาสตร์แล้ว จะสามารถคำนวณออกแบบถึงปฏิกิริยาเอเอสได้ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญจะสามารถเปิดหาได้จากตารางโดยเป็นค่ามาตรฐานที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

$$\text{จากสมการ} \quad X = \frac{\theta_c Y (S_0 - S)}{\theta (1 + k_d \theta_c)} \quad (2.7)$$

2.1) ทำการกำหนดเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากตาราง เช่น Y จะอยู่ในช่วง 0.4-0.8 และ k_d จะอยู่ในช่วง 0.06-0.15 เป็นต้น

2.2) คำนวณค่า θ หรือเวลาเก็บกักน้ำ โดย $\theta = \frac{V}{Q}$ ซึ่งจะประมาณขนาดของถังปฏิกิริยา (V) ได้

2.3) คำนวณอัตราการใช้สารอาหารจำเพาะสุทธิ u ซึ่ง $u = E \frac{F}{M} = \left(\frac{S_0 - S}{\theta X} \right)$ กำหนดให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ (E) เป็น 100%

2.4) คำนวณหาค่า θ_c จริงในระบบ จากสมการ $\frac{1}{\theta_c} = Y u - k_d$ เพื่อใช้ในการควบคุมระบบต่อไป

จากการศึกษาพบว่า การออกแบบโดยใช้วิธีทางจลนพลศาสตร์ สามารถคำนวณออกแบบได้ยากกว่าวิธีโดยใช้อัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ โดยความถูกต้องนั้นขึ้นอยู่กับ การกำหนดค่าทางจลนพลศาสตร์ซึ่งกำหนดอยู่ในช่วงกว้าง ต้องอาศัยประสบการณ์จากผู้ออกแบบโดยตรงในการเลือกค่าพารามิเตอร์ การออกแบบด้วยวิธีนี้จึงควรคำนวณควบคู่กันไปกับวิธีการออกแบบโดยใช้อัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ จึงจะได้งานออกมาถูกต้องที่สุด

2.1.6.3 การควบคุมการทำงานระบบบำบัดแบบเอเอส

1. การควบคุมค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ (F/M)

การควบคุมการทำงานที่ดีของระบบเอเอส ขึ้นอยู่กับ การควบคุมอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพที่เหมาะสม ถ้าอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพมีค่าสูงเกินไป จุลชีพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไม่รวมตัวกันเป็นฟล็อก เป็นผลให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำทิ้งขุ่นเนื่องจากสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารจุลชีพตกค้างมาก ถ้าอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพมีค่าต่ำเกินไป จุลชีพเจริญเติบโตน้อยลง จุลชีพจะ

ตกตะกอนเร็วไม่สามารถจับกันให้ได้ทั่วถึง ทำให้น้ำออกจากถังตกตะกอนขุ่นเนื่องจากการที่มวลของจุลชีพ (ในรูปของเอ็มแอลเอสเอส) หลุดไปกับน้ำทิ้ง

การกำหนดค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพจะขึ้นอยู่กับชนิดหรือรูปแบบของระบบเอเอสเอสที่เลือกใช้ เช่น เอเอสเอสแบบธรรมดา F/M อยู่ในช่วง 0.2-0.4 เอเอสเอสแบบยัดการสัมผัส F/M จะอยู่ในช่วง 0.05-0.15 เป็นต้น

2. การควบคุมอัตราส่วนภาระอินทรีย์ต่อปริมาตรถังปฏิกรณ์

การควบคุมการทำงานของระบบเอเอสเอสอีกประการหนึ่งคือ การควบคุมอัตราภาระอินทรีย์ต่อปริมาตรถังปฏิกรณ์ การคำนวณค่าอัตราภาระอินทรีย์ต่อปริมาตรถังปฏิกรณ์ ทำได้ 2 ลักษณะคือ

(ก) ค่าภาระอินทรีย์ คือค่าภาระบีโอดี (BOD Loading) คือน้ำหนักของสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีที่เข้าระบบมีหน่วยเป็น กก./วัน โดยคำนวณได้จาก

$$\text{BOD Loading} = \frac{\text{BOD} \times Q}{1000} \quad (2.8)$$

เมื่อ BOD คือ ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์วัดอยู่ในรูปบีโอดี (มก./ล.)

Q คือ อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบ (ลบ.ม./วัน)

(ข) ค่าอัตราภาระอินทรีย์ คืออัตราส่วนค่าภาระบีโอดีต่อปริมาตรถังเติมอากาศ หรือเป็นค่า Organic Loading (OL) ซึ่งมีหน่วยเป็น กก.บีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยคำนวณได้จาก

$$\text{Organic Loading (OL)} = \frac{\text{BOD} \times Q}{V \times 1000} \quad (2.9)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรถังเติมอากาศ (ลบ.ม.)

ค่าอัตราภาระอินทรีย์ขึ้นอยู่กับรูปแบบของระบบเอเอสเอสที่เลือกใช้ เช่น เอเอสเอสแบบธรรมดา จะอยู่ในช่วง 0.3-0.7 กก.บีโอดี/ลบ.ม.-วัน เป็นต้น

3. การควบคุมอายุสลัดจ์

อายุสลัดจ์ในระบบเอเอสเอส หมายถึง ระยะเวลาเฉลี่ยที่จุลินทรีย์อยู่ในถังปฏิกรณ์ (Mean Cell Residence Time) สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนน้ำหนักของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกรณ์ต่อน้ำหนักของแข็งแขวนลอยที่ระบายออกจากระบบในแต่ละวัน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{อายุสลัดจ์} = \frac{\text{MLSS}}{\text{MLSS}_{\text{out}}} \quad (2.10)$$

เมื่อ MLSS คือ น้ำหนักของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกรณ์มีหน่วยเป็น กก./ลบ.ม.

MLSS_{out} คือ น้ำหนักของแข็งแขวนลอยที่ออกจากระบบต่อวันมีหน่วยเป็น กก./ลบ.ม.

4. เวลาพักกักน้ำ (Hydraulic Retention Time, HRT)

ขนาดของถังเติมอากาศจะมีผลต่อระยะเวลาพักกักน้ำที่ใช้บำบัด ระยะเวลาพักกักน้ำที่เหมาะสมจะช่วยให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้จนถึงที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารอินทรีย์ที่ย่อยยาก ถ้ามีระยะเวลาพักกักน้ำสั้นเกินไป จะทำให้ค่าบีโอดีในน้ำปล่อยออกมีค่าสูง แต่ถ้ามีระยะเวลาพักกักน้ำนานเกินไป ก็จะทำให้เกิดปัญหาในการตกตะกอน และสิ้นเปลืองพลังงานในการเติมอากาศ

การกำหนดค่าระยะเวลาพักกักน้ำขึ้นอยู่กับชนิดหรือรูปแบบของระบบบำบัดน้ำเสีย เช่น ระบบเอเอสธรรมดา ระยะเวลาพักกักน้ำที่เหมาะสมเป็น 6 – 12 ชม. เป็นต้น การคำนวณหาระยะเวลาที่น้ำถูกพักกักในถังที่มีการไหลต่อเนื่องเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาพักกักน้ำ} = \frac{V}{Q} \quad (2.11)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรถังเติมอากาศ (ลบ.ม.)
 Q คือ อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบ (ลบ.ม./วัน)

5. การควบคุมอัตราการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน

ก) คำนวณจากอัตราอาหารต่อจุลชีพ

เมื่อกำหนดอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ (F/M) จากการเลือกใช้ประเภทของระบบเอเอสแล้ว และทราบปริมาณอาหาร (F) จากการนำอัตราการไหลของน้ำเสียต่อวัน คูณกับค่าความเข้มข้นของบีโอดี ก็จะสามารถคำนวณหาค่าปริมาณจุลชีพ (M) ได้ เมื่อหารค่า M ด้วยปริมาตรของถังเติมอากาศ ก็จะได้ค่าเอ็มแอลเอสเอส หรือเอ็มแอลวีเอสเอส ในถังเติมอากาศที่ต้องการ

ถ้าพบว่าค่าเอ็มแอลเอสเอส ที่ต้องการจากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่าเอ็มแอลเอสเอส ที่มีอยู่ในถังเติมอากาศ จากการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง แสดงว่ายังไม่ต้องนำสลัดจ์ไปทิ้ง ให้คอยจนกว่าจะมีค่าเอ็มแอลเอสเอส เพิ่มมากขึ้นกว่าที่ต้องการ

ถ้าพบว่าค่าเอ็มแอลเอสเอส จากการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างมีค่ามากกว่าค่า MLSS ที่ต้องการจากการคำนวณ แสดงว่าต้องนำสลัดจ์ไปทิ้ง โดยคำนวณได้ดังนี้

$$\text{น้ำหนักตะกอนจุลชีพที่ต้องนำไปทิ้ง (กก.)} = \frac{(MLSS_s - MLSS_m) \times V}{1000} \quad (2.12)$$

เมื่อ $MLSS_s$ คือ น้ำหนักของแข็งแขวนลอยจากตัวอย่าง (มก./ล.)
 $MLSS_m$ คือ น้ำหนักของแข็งแขวนลอยจากการคำนวณ (มก./ล.)
 V คือ ปริมาตรถังเติมอากาศ (ลบ.ม.)

ถ้านำตะกอนจุลชีพส่วนเกินไปทิ้งโดยสูบจากท่อส่งตะกอนกลับจากใต้ถังตกตะกอน ไปเข้าถังเติมอากาศ จะสามารถคำนวณปริมาตรที่ต้องนำไปทิ้งได้จาก

$$\text{ปริมาตรสลัดจ์ที่ต้องทิ้งจากท่อส่งตะกอนกลับ (ลบ.ม.)} = \frac{W \times 1000}{MLSS_R} \quad (2.13)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของสลัดจ์ที่ต้องนำไปทิ้งจากท่อส่งตะกอนกลับ (กก.)

$MLSS_R$ คือ ความเข้มข้นของตะกอนในเส้นท่อสูบกลับ (มก./ล.)

ข) คำนวณจากค่าอายุตะกอน

เมื่อกำหนดค่าอายุตะกอนได้แล้ว สามารถคำนวณหาอัตราการสูบตะกอนจุลชีพส่วนเกินไปทิ้งได้ ดังนี้

$$\text{น้ำหนักของจุลชีพที่ออกจากระบบต่อวัน} = \frac{MLSS \times V}{\theta_c} \quad (2.14)$$

เมื่อ $MLSS$ คือ ความเข้มข้นของตะกอนในถังปฏิกรณ์ (มก./ล.)

θ_c คือ ค่าอายุสลัดจ์ (วัน)

ถ้านำตะกอนจุลชีพส่วนเกินไปทิ้ง โดยสูบจากท่อส่งตะกอนกลับจากใต้ถังตกตะกอนไปเข้าถังเติมอากาศ จะได้

ปริมาตรน้ำตะกอนจุลชีพส่วนเกินที่ต้องทิ้งจากท่อส่งตะกอนกลับ (ลบ.ม./วัน)

$$= \frac{[(MLSS \times V) / 1000] - [MLSS_E \times Q]}{MLSS_R / 1000} \quad (2.15)$$

เมื่อ $MLSS_E$ คือ ความเข้มข้นของตะกอนในน้ำออก (มก./ล.)

Q คือ อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบ (ลบ.ม./วัน)

จากการควบคุมอัตราการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินที่สามารถทำได้ 2 วิธีดังกล่าวนั้น การคำนวณจากค่าอายุตะกอนเป็นที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากเพียงแค่ว่าหาความเข้มข้นของจุลชีพในรูปของเอ็มแอลเอสเอส ในถังปฏิกรณ์ และกำหนดค่าอายุสลัดจ์ไว้ ก็จะสามารถคำนวณน้ำหนักของจุลชีพที่ออกจากระบบต่อวันได้ตามต้องการ



2.1.7 ประเภทของระบบเอเอส

โดยปกติระบบเอเอสประกอบไปด้วยถังปฏิกริยา ถังตกตะกอนและส่วนหมุนเวียนตะกอน ประเภทของระบบเอเอสขึ้นอยู่กับการจัดวางรูปแบบของถังปฏิกริยา ซึ่งเกิดจากการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ในแต่ละรูปแบบของถังปฏิกริยาจะมีลักษณะการเติมอากาศที่ต่างกัน ทำให้การเกิดปฏิกริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ก็จะต่างกัน และลักษณะตะกอนจุลินทรีย์หรือสลัดจ์ก็จะมี ความแตกต่างกัน ซึ่งล้วนแล้วแต่จะทำให้มีประสิทธิภาพของระบบแตกต่างกันออกไป

การออกแบบและการควบคุมระบบ เมื่อได้ทำการเลือกรูปแบบของระบบเอเอสแล้ว การนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มาใช้ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างอาหารกับปริมาณจุลชีพ และค่าอายุ สลัดจ์ เป็นต้น ต้องทราบชนิดของรูปแบบถังปฏิกริยาเพื่อนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มาใช้ในการ ควบคุมการทำงาน และการออกแบบระบบเอเอส ให้ได้ประสิทธิภาพตามที่กำหนดไว้ ประเภทของ ระบบเอเอส ได้แก่

2.1.7.1 ระบบเอเอสแบบธรรมดา

(Conventional Activated Sludge, CAS)

เป็นระบบเอเอสแบบแรกที่ใช้กันทั่วไป มีลักษณะเป็นถังปฏิกริยารูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาวๆ มี กระแสน้ำเข้าและกระแสน้ำเวียนกลับที่ปลายด้านหนึ่ง และมีกระแสน้ำออกอีกปลายด้านหนึ่ง ถัง ปฏิกริยาเป็นแบบไหลผ่าน (Plug flow) โดยปกติจะใช้ตัวกระจายอากาศวางห่างกันสม่ำเสมอ ตลอดความยาวด้านหนึ่งของผนังให้อากาศเท่ากัน พบว่าการเวียนสลัดจ์กลับที่ด้านหนึ่งของถัง ปฏิกริยานั้นทำให้สภาวะแวดล้อมของจุลชีพเปลี่ยนไปตามจุดต่างๆ ความต้องการออกซิเจนมีมาก ที่สุดที่จุดเข้าและมีลดลงไปตามลำดับจนถึงจุดออก จึงทำให้ส่วนแรกของถังเติมอากาศมีออกซิเจน ไม่เพียงพอ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของกระบวนการลดลง ระบบนี้มีความอ่อนไหวกับปริมาณ สารอินทรีย์ที่เข้ามามากอย่างกะทันหัน (Shock loads) และไม่สามารถรับสารพิษได้มากนัก

2.1.7.2 ระบบเอเอสแบบที่มีการเติมอากาศแบบเรียว

(Tapered Aeration Activated Sludge, TAAS)

เนื่องจากการใช้ออกซิเจนใน CAS จะแปรไปตามความยาวของถังปฏิกริยา จึงมีการเติม ออกซิเจนตามจุดต่างๆ ในถังเติมอากาศให้เท่ากับความต้องการออกซิเจนในแต่ละจุด ออกซิเจน ส่วนใหญ่ต้องเติมทางด้านเข้าซึ่งสารอาหารถูกใช้อย่างรวดเร็ว ขณะที่ทางด้านออกมีความต้องการ

ออกซิเจนจำนวนน้อย เนื่องจากการเติมออกซิเจนลดลงตามความยาวของถัง จึงเรียกว่าการเติมอากาศแบบเรียว

2.1.7.3 ระบบเอเอสแบบมีการเติมน้ำเสียเป็นขั้น (Step-feed Aeration Activated Sludge, SAAS)

ระบบนี้ได้พัฒนามาจากระบบเอเอสธรรมดา CAS ให้การทำงานมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ระบบจะแบ่งน้ำเสียเข้าระบบเป็นหลายๆ ส่วนป้อนเข้าป้อนเข้าถังปฏิบัติการที่จุดต่างๆ ทำให้ความต้องการออกซิเจน กระจายไปตามส่วนต่างๆ ของถังอย่างสม่ำเสมอ สลัดจ์จะถูกหมุนเวียนกลับมาผสมกับน้ำเสียทันที SAAS เป็นรูปแบบที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูง ในขณะที่ระยะเวลาเติมอากาศสั้น มีความคล่องตัวในการทำงาน และใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน

2.1.7.4 ระบบเอเอสแบบผสมอย่างสมบูรณ์ (Completely Mixed Activated Sludge, CMAS)

เป็นระบบเอเอสที่มีการกวนรุนแรง ทำให้มีการผสมอย่างสมบูรณ์ โดยความเข้มข้นในถังจะมีค่าเท่ากันเสมอทั่วถังปฏิบัติการ ปริมาณบีโอดีและความต้องการออกซิเจนเท่ากันสม่ำเสมอช่วยป้องกันเมื่อมีปริมาณบีโอดีเข้ามามากเกินไป(Shock load) หรือมีสารพิษเข้ามาในระบบ

2.1.7.5 ระบบเอเอสแบบดัดแปลง (Modified Aeration System)

เป็นระบบเอเอสที่มีการดัดแปลงให้น้ำเสียได้มากขึ้นมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอยู่ในระดับกลาง มีระยะเวลาเก็บกักสั้น และรูปแบบการไหลเป็นแบบ Plug flow มีค่า F/M ค่อนข้างสูง ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีลดลงไปด้วย

2.1.7.6 ระบบเอเอสแบบอัตราการบำบัดเร็ว (High-rate Activated Sludge)

เป็นระบบเอเอสที่มีภาระบรรทุกสูงกว่าธรรมดาหลายเท่า ทำให้มีการกำจัดบีโอดีเกิดขึ้นได้เร็ว แต่สามารถบำบัดได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ควบคุมค่าอายุตะกอนไว้สั้น และมีปริมาณอาหารไม่

จำกัด ทำให้อัตราการเติบโตของจุลินทรีย์เร็วมาก และมีปริมาณตะกอนสูง จุลินทรีย์ที่กระจายอยู่เติบโตได้ดีกว่าพวกที่สร้างฟล็อกทำให้มีปัญหาในการตกตะกอน

2.1.7.7 ระบบเอเอสแบบยืดเวลา

(Extended Aeration Activated Sludge, EAAS)

เป็นระบบเอเอสที่มีการเติมอากาศนานกว่าธรรมดา เพื่อให้มีการย่อยสลายสลัดจ์และสารอินทรีย์จนได้สลัดจ์ที่เหมาะสมในการกำจัดขั้นสุดท้าย จุลินทรีย์ในระบบจะอยู่ในช่วง Endogenous Phase มีปริมาณอาหารและจุลินทรีย์น้อย เป็นรูปแบบที่ใช้เวลาเก็บกักพักนานกว่า 12 ชั่วโมง และอายุสลัดจ์มากกว่ารูปแบบอื่น แต่มีข้อดีคือควบคุมง่ายได้ประสิทธิภาพสูง และสลัดจ์ที่เหลือจะมีปริมาณต่ำกว่าเอเอสทั่วไปเพราะมีเวลาย่อยสลายนาน และมีความคงตัวมากกว่าสลัดจ์ธรรมดา

2.1.7.8 ระบบเอเอสแบบเติมและถ่ายออก

(Fill and Draw Activated Sludge)

เป็นระบบเอเอสที่มีการทำงานต่างจากรูปแบบอื่น การทำงานของถังปฏิบัติการเป็นแบบทีละเท (Batch) การเติมอากาศและการตกตะกอนทำในถังปฏิบัติการเดียวกัน ต้องมีการปรับอัตราการไหลให้เท่า (flow equalization) หรือใช้ถังปฏิบัติการหลายถังเพื่อที่จะสามารถรับอัตราการไหลอย่างต่อเนื่องของน้ำเสียได้

2.1.7.9 ระบบเอเอสแบบคอนแทกต์สเตบิไลเซชัน

(Contact Stabilization System)

เป็นระบบเอเอสที่น้ำเสียที่ยังไม่ได้ผ่านการบำบัดจะได้รับการเติมอากาศ โดยรวมตัวกับตะกอนจุลชีพที่มีที่มีความเข้มข้นสูงเป็นเวลาสั้นๆ โดยแบ่งถังเติมอากาศออกเป็น 2 ถังออกจากกัน โดยตะกอนที่สูบมาจากถังตกตะกอนชั้นที่สอง จะถูกส่งมาเติมอากาศใหม่ในถังย่อยสลาย (Stabilization Tank) จากนั้นสลัดจ์ที่ย่อยสารอินทรีย์แล้วจะถูกส่งมาสัมผัสกับน้ำเสียในถังสัมผัส (Contact Tank) เพื่อลดค่ามลสารอินทรีย์ ในถังนี้ความเข้มข้นของสลัดจ์จะลดลงตามปริมาณน้ำเสียที่เข้ามาใหม่ ระบบนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง เนื่องจากในถังย่อยสลายนี้อาจมีความเข้มข้นของปริมาณจุลชีพสูงมาก และสามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้สูง

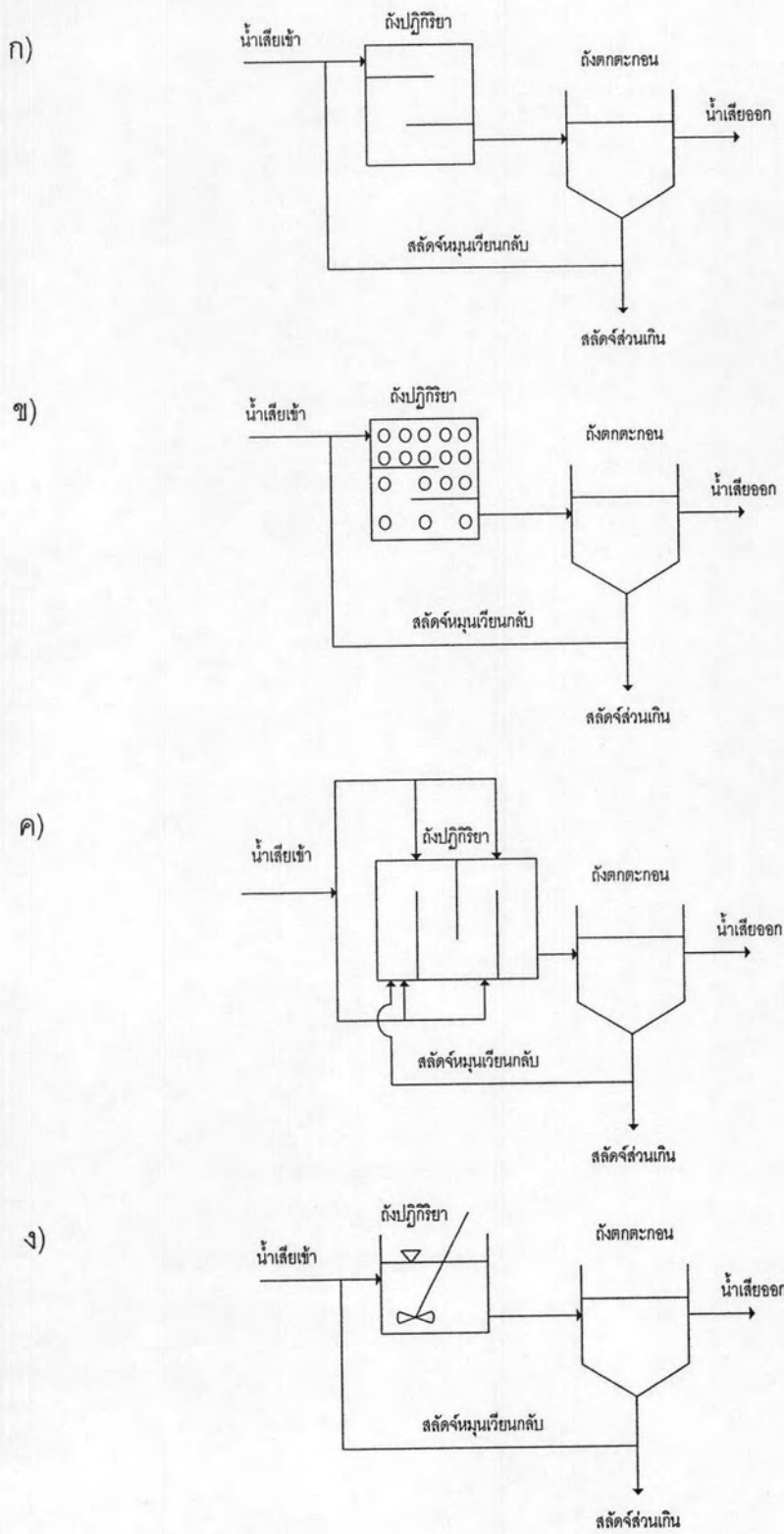
2.1.7.10 ระบบเอเอสแบบเคราส์ (Kraus Process)

เป็นระบบเอเอสที่ถูกพัฒนาโดยการนำของเหลวจากชั้นน้ำใสในถังย่อยไร้อากาศ (Anaerobic Digester) มาผสมในถังเติมอากาศ โดยชั้นน้ำใสของถังย่อยไร้อากาศประกอบไปด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ คือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เป็นการช่วยเพิ่มธาตุอาหารในกรณีที่ขาดแคลน โดยมีการผสมลงในถังเติมอากาศอีกถังเพื่อผสมระหว่างของเหลวจากถังย่อยไร้อากาศกับสลัดจ์ที่มาจากก้นถังตกตะกอน

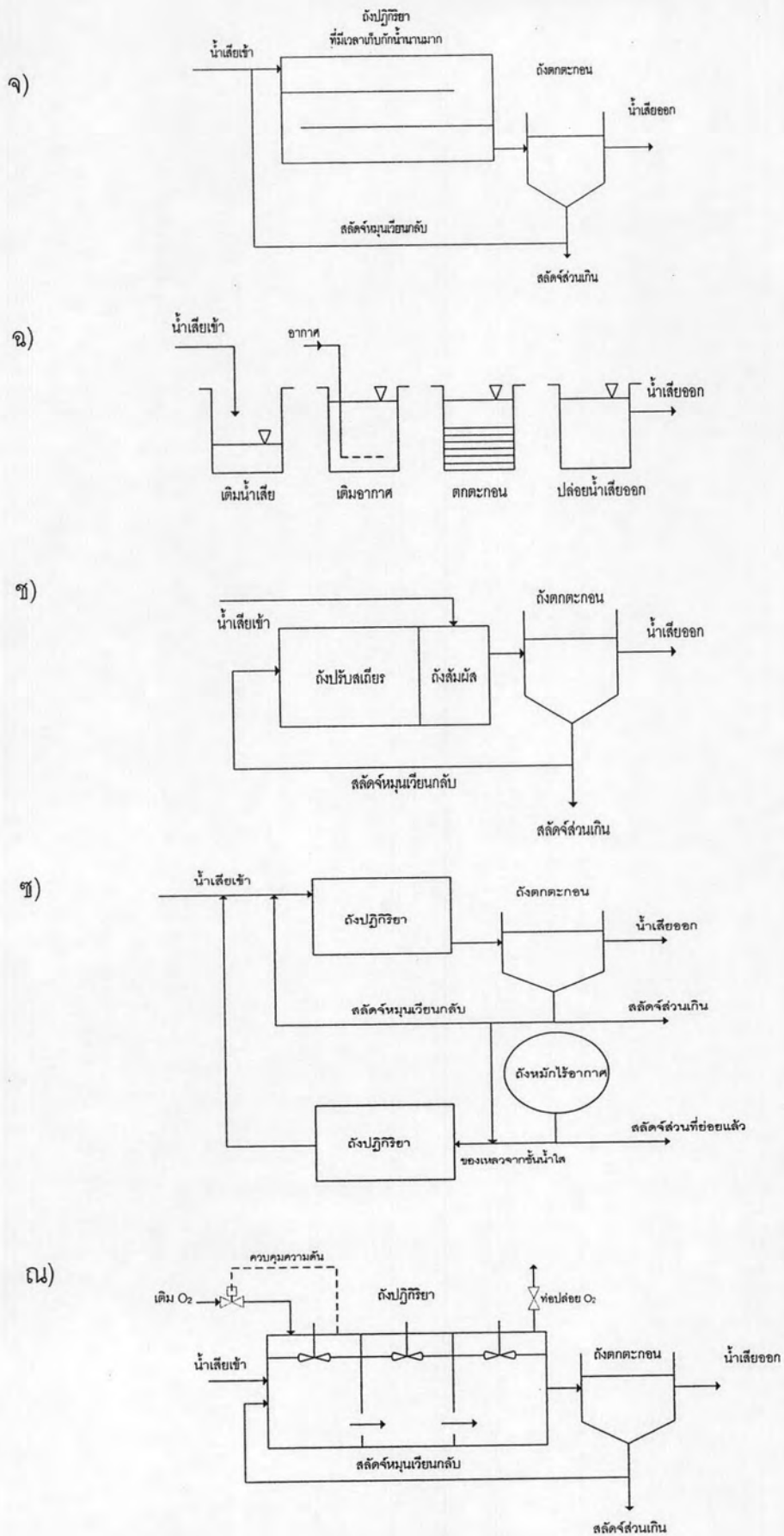
2.1.7.11 ระบบเอเอสแบบใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ (High-Purity Oxygen Process)

ระบบนี้เป็นเอเอสที่ใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์แทนการใช้อากาศในการเติมลงในถังปฏิกรณ์ ทำให้จุลินทรีย์สามารถนำออกซิเจนไปใช้ได้อย่างเต็มความสามารถ รับน้ำเสียที่เข้ามาเกินกว่าปกติอย่างกะทันหัน (Shock loads) ได้ ระบบนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือแบบปิด และแบบเปิด จากการศึกษาพบว่าการใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ จะมีความสามารถในการถ่ายเทออกซิเจนสูง ความสามารถในการที่จุลินทรีย์จะนำออกซิเจนไปใช้จึงมีมาก ทำให้สามารถรับความเข้มข้นของตะกอนได้สูง ใช้เวลาเก็บกักน้ำเสีย ตลอดจนสลัดจ์ที่ออกจากระบบจะมีความเข้มข้นสูง โดยประโยชน์หลักของระบบเอเอสแบบใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ คือ ใช้กับระบบที่ต้องการควบคุมกลิ่น ควบคุมสารอินทรีย์คาร์บอนละลายได้ (VOC) และต้องการพื้นที่สำหรับถังปฏิกรณ์น้อยกว่าระบบเอเอสแบบธรรมดา

แผนภาพของระบบเอเอสทั้ง 11 ชนิด แสดงอยู่ในรูปที่ 2.3 และ ค่าพารามิเตอร์ของระบบเอเอส แต่ละประเภทแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.3 ชนิดของระบบเอเอส: ก) CAS, ข) TAAS, ค) SAAS, ง) CMAS (Qasim, 1999)



รูปที่ 2.3 (ต่อ) ชนิดของระบบเอเอส: จ) EAAS, ฉ) Fill and Draw AS, ช) Contact-Stabilization, ซ) Kraus Process, ด) High-Purity Oxygen Process (Qasim, 1999)

ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบเอเอสแต่ละประเภท

| รูปแบบของระบบเอเอส | รูปแบบการไหล | อายุสลัดจ์ (d) | F/M (d-1) | Aerator loading (kg/m ³ d) | MLSS (mg/L) | เวลาเก็บกักน้ำ (h) | อัตราการหมุนเวียน |
|--------------------|--------------|----------------|-----------|---------------------------------------|-------------|--------------------|-------------------|
| Conventional | ไหลต่อเนื่อง | 5-15 | 0.2-0.4 | 0.3-0.6 | 1500 - 3000 | 4-8 | 0.25-0.5 |
| Tapered aeration | ไหลต่อเนื่อง | 5-15 | 0.2-0.4 | 0.3-0.6 | 1500 - 3000 | 4-8 | 0.25-0.5 |
| Step-feed aeration | ไหลต่อเนื่อง | 5-15 | 0.2-0.4 | 0.6-1.0 | 2000 - 3500 | 3-5 | 0.25-0.75 |
| Complete-mix | กวนสมบูรณ์ | 5-15 | 0.2-0.6 | 0.8-0.2 | 3000 - 6000 | 3-5 | 0.25-1.0 |
| Modified aeration | ไหลต่อเนื่อง | 0.2-0.5 | 1.5-5.0 | 1.2-2.4 | 200 - 1000 | 1.5-3 | 0.05-0.25 |
| High-rate aeration | ไหลต่อเนื่อง | 3-10 | 0.4-1.5 | 2.0-15 | 3000 - 6000 | 2-4 | 0.5-2.0 |
| Extended aeration | กวนสมบูรณ์ | 20-30 | 0.05-0.15 | 0.1-0.4 | 3000 - 6000 | 18-36 | 0.5-2.0 |

ที่มา: Qasim, 1999

ตารางที่ 2.1(ต่อ) ค่าพารามิเตอร์ของระบบเอเอสแต่ละประเภท

| รูปแบบของระบบเอเอส | รูปแบบการไหล | อายุสลัดจ์ (d) | F/M (d-1) | Aerator loading (kg/m ³ d) | MLSS (mg/L) | เวลาเก็บกักน้ำ (h) | อัตราการหมุนเวียนสลัดจ์ |
|--------------------------|--------------|----------------|-----------|---------------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|
| Sequencing batch reactor | กวนผสมบวม | ไม่ใช่ | 0.05-0.3 | 0.2-0.7 | 1500-5000 | 4-9 | ไม่ใช่ |
| Contact stabilization | ไหลต่อเนื่อง | 5-15 | 0.2-0.6 | 1.0-1.2 | 1000-4000-4000-10000 | 0.5-1.0 3.0-6.0 | 0.5-1.0 |
| Kraus process | ไหลต่อเนื่อง | 5-15 | 0.3-0.1 | 0.5-1.5 | 2000-3000 | 4-8 | 0.5-1.0 |
| High-purity oxygen | กวนผสมบวม | 8-20 | 0.25-1.0 | 1.6-3.3 | 6000-8000 | 2-5 | 0.25-0.5 |

ที่มา: Qasim, 1999

2.2 กระบวนการตกตะกอน

การตกตะกอน เป็นวิธีแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวด้วยแรงดึงดูดของโลก ผลจากการตกตะกอน ทำให้ได้ส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ น้ำใส และ ตะกอน หรือสลัดจ์ (Sludge) ถ้าจุดมุ่งหมายของการตกตะกอนเป็นไปเพื่อให้ได้น้ำใส การตกตะกอนจะเป็นแบบที่เรียกว่า Clarification แต่ถ้าจุดมุ่งหมายเป็นไปเพื่อให้ได้สลัดจ์ที่มีความเข้มข้นมากที่สุด การตกตะกอนจะเป็นแบบที่เรียกว่า Thickening โดยการบำบัดน้ำเสียจะมีความมุ่งหมายเพื่อให้ได้น้ำใสมากกว่า เพื่อให้สลัดจ์เข้มข้น

การตกตะกอนอาจจำแนกได้เป็น 4 ประเภท ตามแต่ระดับความเข้มข้น และลักษณะของสมบัติของแข็งที่อยู่ในน้ำ ดังนี้

1. การตกตะกอนแบบโดด (Discrete Settling)
2. การตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม (Flocculent Settling)
3. การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (Zone Settling)
4. การตกตะกอนแบบอัดตัว (Compression Settling)

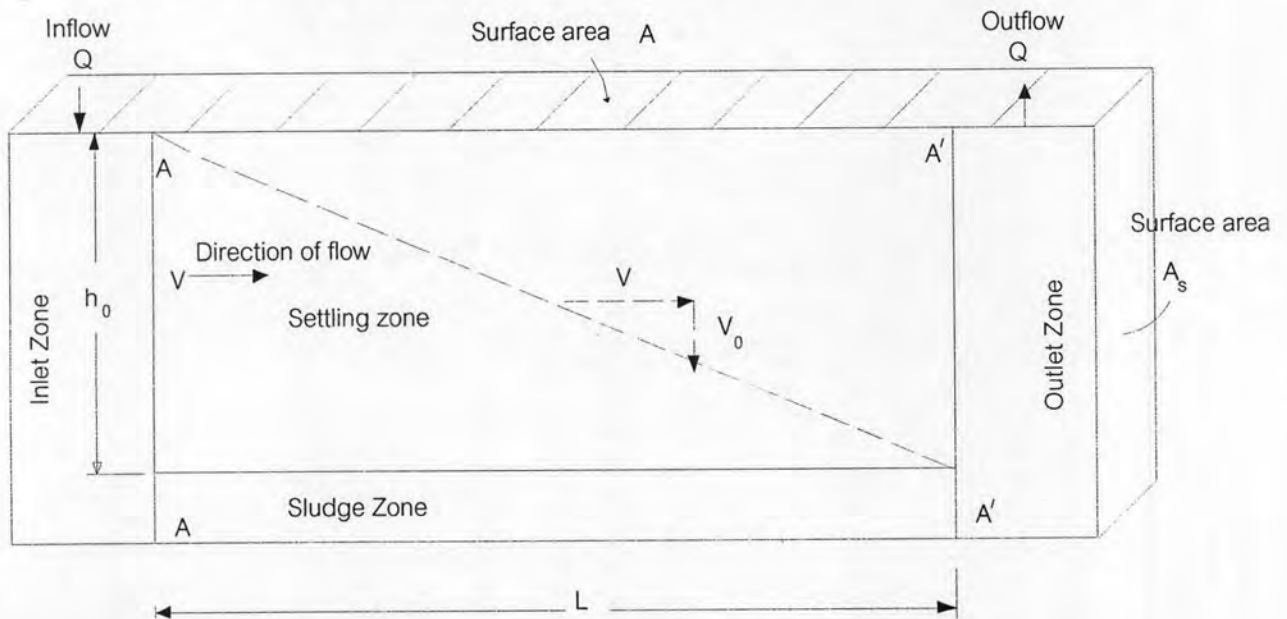
น้ำที่มีความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยต่ำ อาจตกตะกอนเป็นแบบโดด หรือ รวมกลุ่มก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของตะกอนหรืออนุภาค ถ้าตะกอนแขวนลอย ไม่สามารถจับตัวกันเป็นกลุ่ม การตกตะกอนจะเป็นแบบโดด ตัวอย่างของการตกตะกอนแบบนี้ได้แก่ การตกตะกอนของเม็ดกรวดหรือทรายขนาดต่างๆ ถ้าตะกอนแขวนลอยมีแนวโน้มในการจับกันเป็นกลุ่มหรือเป็นก้อน การตกตะกอนจะเป็นแบบรวมกลุ่ม ตัวอย่าง ได้แก่ การตกตะกอนของน้ำเสียหรือของฟล็อกสารส้ม หรือฟล็อกที่เกิดจากสารโคแอกกูแลนต์ (Coagulant) ชนิดอื่นๆ เป็นต้น น้ำที่มีตะกอนแขวนลอยอยู่ในระดับปานกลางหรือสูง (เช่น มีความเข้มข้นสูงกว่า 1,000–2,000 มก./ล.) มักมีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคแต่ละอนุภาคอยู่ติดกัน และเคลื่อนที่ลงด้วยอัตราเร็วเดียวกัน ทำให้เห็นเป็นชั้นแยกกันระหว่างน้ำใสและอนุภาค ซึ่งการตกตะกอนของระบบเอเอส (Activated sludge) เป็นตัวอย่างของการตกตะกอนที่เป็นชั้นที่เห็นได้ชัดกว่าตัวอย่างอื่น สำหรับการตกตะกอนแบบอัดตัว เกิดขึ้นเมื่อน้ำมีตะกอนแขวนลอยอยู่ในระดับสูงมาก และมักเกิดขึ้นที่ก้นถังตกตะกอน การตกตะกอนแบบอัดตัวอาจถือได้ว่า เกิดขึ้นหลังจากที่การตกตะกอนแบบอื่นๆ ได้เกิดขึ้นแล้ว การอัดตัวเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคต่างๆ วางซ้อนกัน ในลักษณะที่มีการถ่ายเทน้ำหนักให้กับอนุภาคที่อยู่ข้างล่าง

2.2.1 ทฤษฎีในการตกตะกอน

ทฤษฎีสำหรับอธิบายกลไกในการตกตะกอน ทั้ง 4 แบบ สามารถแสดงได้ดังนี้

1) ทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนแบบโดด

จากรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงการตกตะกอนแบบอุดมคติ กรณีของถังแบบอุดมคตินี้ ถือว่าแต่ละอนุภาคน้ำเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณตกตะกอนในลักษณะที่เป็นระนาบแนวตั้ง (ระนาบ A-A) โดยมีความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยขนาดต่างๆ คงที่ตลอดทั้งระนาบ อนุภาคน้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ และสม่ำเสมอด้วยอัตราเร็วเท่ากับ V และไปถึงระนาบ A'-A' โดยไม่เปลี่ยนรูปร่าง ซึ่งเท่ากับอัตราไหลของน้ำ (Q) ทหารด้วยพื้นที่หน้าตัด (A_s) ในแนวตั้งของถัง (มีค่าเท่ากับ $h_0 \times W$ เมื่อ h_0 และ W เป็นความลึกและความกว้างของถัง ตามลำดับ)



รูปที่ 2.4 การวิเคราะห์ถังตกตะกอนแบบอุดมคติ (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2537)

จากรูป เมื่อ
$$V = \frac{Q}{A_s} = \frac{Q}{h_0 W} \quad (2.16)$$

เมื่อพิจารณาการตกตะกอนบนเส้นประ ซึ่งอนุภาคน้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ สม่ำเสมอ กำหนดให้ t เป็นเวลาที่ใช้ในการตกตะกอน และเมื่อเวลาเท่ากับระยะทางในการตกตะกอนหารด้วยความเร็วของการตกตะกอน

ดังนั้น
$$t = \frac{L}{V} = \frac{h_0}{V_0} \quad (2.17)$$

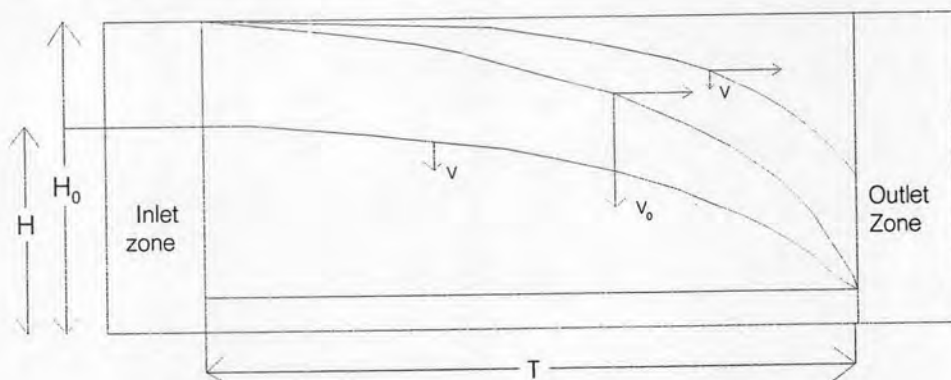
เพราะฉะนั้น
$$V_0 = \frac{h_0}{t} = \frac{h_0 V}{L} \quad (2.18)$$

ดังนั้น
$$V_0 = \frac{Q}{WL} = \frac{Q}{A} \quad (2.19)$$

โดยเทอม Q/A มีบทบาทสำคัญมากในการออกแบบ และควบคุมถังตกตะกอน สำหรับถังตกตะกอนแบบอุดมคติที่มีขนาดพื้นที่ผิวหน้า เท่ากับ A และอัตราน้ำไหลเข้าถัง เท่ากับ Q จะสามารถกำจัดอนุภาค (ด้วยวิธีตกตะกอน) ได้ๆ ก็ตาม ที่ตกตะกอนด้วยความเร็วสูงกว่าหรือเท่ากับ Q/A ได้ทั้งหมด ซึ่งเทอม Q/A มีชื่อเรียกได้หลายอย่าง เช่น Surface Loading Rate, Surface Overflow Rate ฯลฯ หรือเรียกเป็นภาษาไทยว่า “อัตราน้ำล้นผิว”

2) ทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม

ในกรณีที่มีการตกตะกอนของอนุภาคต่างๆ มีโอกาสสามารถรวมกันเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมากขึ้น ความเร็วในการตกตะกอนจะเพิ่มขึ้น ทำให้วิถีของการตกตะกอนเป็นเส้นโค้งดังแสดงในรูปที่ 2.5 การตกตะกอนของสารส้ม หรือตะกอนที่เกิดจากกระบวนการโคแอกกูเลชัน จัดว่าเป็นการตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม อนึ่งแม้ว่าประสิทธิภาพในการตกตะกอนแบบโดด จะขึ้นอยู่กับอัตราน้ำล้นผิวเพียงอย่างเดียว แต่ประสิทธิภาพในการตกตะกอนแบบรวมกลุ่มจะขึ้นอยู่กับอัตราน้ำล้นผิวและเวลากักน้ำ

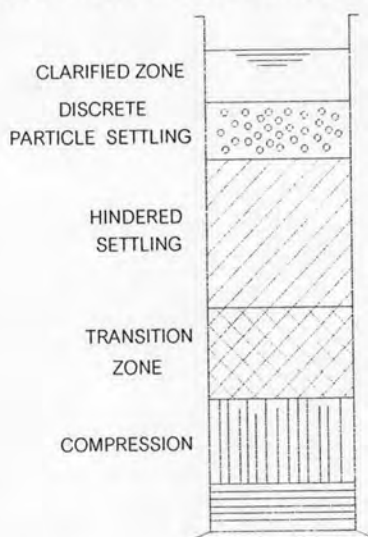


รูปที่ 2.5 การตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2537)

เนื่องจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ไม่อาจกระทำได้ในกรณีของการตกตะกอนแบบรวมกลุ่มการหาพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่างๆ จึงต้องกระทำโดยการวิเคราะห์ด้วยผลการทดลองตกตะกอนในถังทรงกระบอก

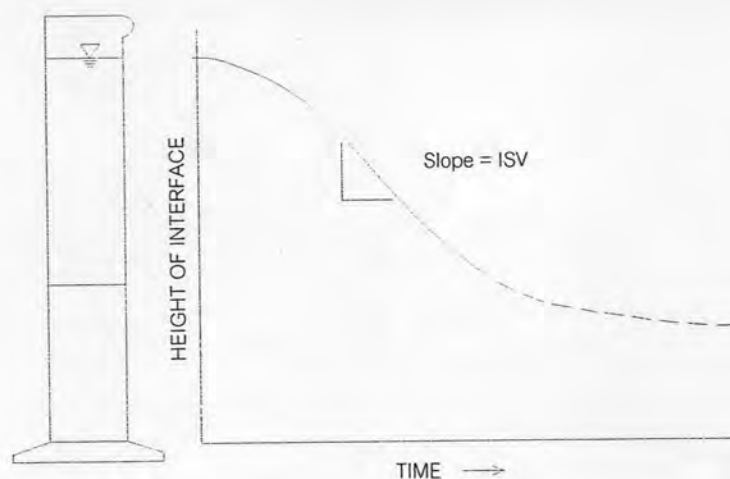
3) ทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นหรือแบบมีอุปสรรค

การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคต่างๆ จับตัวกันเป็นกลุ่มใหญ่จนเสมือนเป็นวัตถุก้อนเดียวที่ตกตะกอนด้วยอัตราเดียวกัน เมื่อมีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นจะเห็นการแยกตัวระหว่างชั้นสลัดจ์และน้ำอย่างเด่นชัด (ดูรูปที่ 2.6) การตกตะกอนเช่นนี้ เกิดขึ้นได้เฉพาะกับน้ำที่มีตะกอนแขวนลอยเข้มข้นสูงมาก ตัวอย่างของการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นได้แก่การตกตะกอนของระบบเอเอสในกระบอกตวง หรือการตกตะกอนของผลึกแคลเซียมและแมกนีเซียม



รูปที่ 2.6 การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2537)

เมื่อปล่อยให้มีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นในกระบอกตวงหรือกระบอกใส และวัดระดับของชั้นสลัดจ์ที่ระยะเวลาต่างๆ เมื่อนำความสูงของชั้นสลัดจ์มาเขียนความสัมพันธ์เทียบกับเวลา จะได้กราฟที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.6 ชั้นสลัดจ์จะตกตะกอนด้วยอัตราคงที่และสูงสุดในระยะแรก จากนั้นจะตกตะกอนช้าลงเรื่อยๆ จนในที่สุดเกือบไม่มีการตกตะกอนเกิดขึ้นเลย การเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วในการตกตะกอนจะเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของชั้นสลัดจ์ที่เกิดขึ้น ระยะแรกอนุภาคต่างๆ แขนงลอยอยู่ในน้ำอย่างหลวม ดังนั้นถึงแม้ว่าการตกตะกอนจะเป็นแบบมีอุปสรรค (Hindered Settling) แต่ก็ยังมีช่องว่างในการตกตะกอนได้อีกบ้าง



รูปที่ 2.7 วิธีหากราฟของการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2537)

การตกตะกอนในช่วงแรกจะมีค่าความเร็วในการตกตะกอนคงที่ และเรียกว่า Initial Settling Velocity หรือ ISV (ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน) สำหรับการตกตะกอนชนิดนี้ ความเร็วเริ่มต้นซึ่งมีค่าคงที่นี้ มีความหมายมาก และใช้เป็นดัชนีที่บอกถึงความสามารถในการตกตะกอนของสลัดจ์ สลัดจ์ที่ตกตะกอนได้ดีย่อมมี ISV สูง และสลัดจ์ที่ตกตะกอนได้เลวจะมี ISV ต่ำ เมื่อการตกตะกอนผ่านไป ช่องว่างในน้ำจะเหลือน้อยลงเรื่อยๆ เมื่อถึงจุดหนึ่งความเร็วเริ่มต้น (ISV) จะมีค่าลดลง กล่าวได้ว่าสลัดจ์ได้เริ่มเข้าไปอยู่ในระยะเปลี่ยนแปลง (Transition Zone) ซึ่งเป็นระยะที่อนุภาคบางส่วน เคลื่อนที่เข้ามาใกล้จนสัมผัสกันพอดี อัตราการตกตะกอนจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งอนุภาคทั้งหมดสัมผัสกันพอดี ต่อจากนี้สลัดจ์จะอยู่ในระยะอัดตัว (Compression Zone) ซึ่งมีการทับถม เพื่อบีบน้ำออกจากชั้นสลัดจ์เป็นครั้งสุดท้าย ระยะอัดตัวนี้ มีการเคลื่อนที่ช้ามาก

4) ทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนแบบอัดตัว

การตกตะกอนแบบอัดตัวเป็นลักษณะการตกตะกอนที่เกิดขึ้นจากการทับถมอัดตัวของชั้นสลัดจ์ ณ ก้นถังตกตะกอน หลังจากที่เกิดการตกตะกอนในรูปแบบอื่นๆ แล้วเป็นระยะเวลาหนึ่ง โดยสามารถอธิบายความสูงของชั้นสลัดจ์ภายหลังการทับถมอัดตัว (Metcalf and Eddy, 2003) ด้วยสมการ

$$H_1 - H_\infty = (H_2 - H_\infty) e^{-i(t-t_2)} \quad (2.20)$$

เมื่อ H_1 คือ ความสูงของสลัดจ์ที่เวลา t

H_∞ คือ ความสูงของสลัดจ์หลังเกิดการตกตะกอนในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

โดยกำหนดให้เป็น 24 ชั่วโมง

H_2 คือ ความสูงของสลัดจ์ที่เวลา t_2
 i คือ ค่าคงที่ของการแขวนลอย

2.2.2 การหาอัตราเร็วของการตกตะกอนในระบบเอเอส

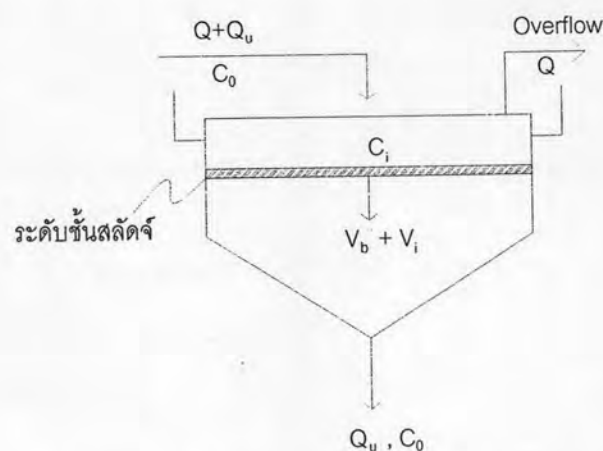
การตกตะกอนในระบบเอเอส เป็นการตกตะกอนแบบที่ 3 หรือ การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น การวิเคราะห์ผลการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น หรือแบบมีอุปสรรคทำได้โดยการวิเคราะห์การตกตะกอนโดยใช้ทฤษฎีฟลักซ์ของแข็ง (Solids Flux) ทฤษฎีดังกล่าวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ทฤษฎีฟลักซ์ของแข็ง (Solids Flux Theory)

เมื่อพิจารณาจากถังตกตะกอน ซึ่งได้รับน้ำที่มีตะกอนแขวนลอยเข้มข้น จนมีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นเกิดขึ้น ในกรณีเช่นนี้ จำเป็นต้องมีการระบายสลัดจ์ออกจากถังถึงตกตะกอน (ดูรูปที่ 2.8) การเคลื่อนที่ของชั้นสลัดจ์ในถังจึงเกิดขึ้นเนื่องจากแรง 2 อย่างคือ แรงดึงดูดของโลก และแรงที่เกิดจากการระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอน (จากการดูดสลัดจ์ออก)

ให้ v_i คือ ความเร็วในการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ C_i

และ v_b คือ ความเร็วของสลัดจ์ที่เคลื่อนที่ลงเนื่องจากมีการระบายสลัดจ์ออกจากถังถึงตกตะกอน



รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของตะกอนสลัดจ์ในถังตกตะกอน

(Water Pollution Control Federation, 1985)

การเคลื่อนที่ของชั้นสลัดจ์ ผ่านถังตกตะกอน วัดในเทอมของมวลน้ำหนักรวมที่ตกตะกอนต่อเวลาต่อพื้นที่ของถัง เรียกว่า โซลิดซ์ฟลักซ์ (Solid Flux) หรือ G มีหน่วย กก./ชม.-ตร.ม. หรือ

ปอนด์/ชม.-ตร.ฟุต สลัดจ์ที่มีความเข้มข้น C และ มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v_i จะมีโซลิดซ์ฟลัก หรือ G ซึ่งคำนวณได้ ดังนี้

$$G = C_i v_i \quad (2.21)$$

เนื่องจากความเร็วการเคลื่อนที่ของชั้นสลัดจ์ในถังตกตะกอน เกิดขึ้นด้วยสาเหตุ 2 อย่าง คือ ความเร็วของแรงโน้มถ่วงของโลก v_i และ ความเร็วของการดูดสลัดจ์ออก v_b โซลิดซ์ฟลัก ทั้งหมดของถังตกตะกอน (G_T) จึงมีค่าดังนี้

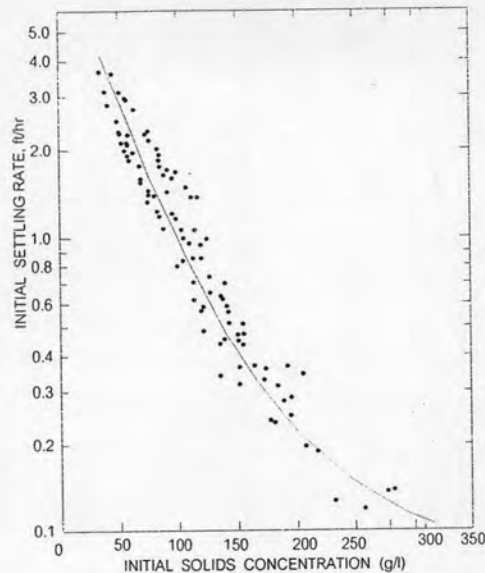
$$G_T = G_b + G_s \quad (2.22)$$

$$= C_i v_b + C_i v_i \quad (2.23)$$

G_b และ G_s เรียกว่า Bulk Flux และ Settling Flux ตามลำดับ G_b เป็นฟลักที่เกิดจากการระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอนส่วน G_s เป็นฟลักที่เกิดจากการเคลื่อนที่ด้วยน้ำหนักตัวของชั้นสลัดจ์ (เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก)

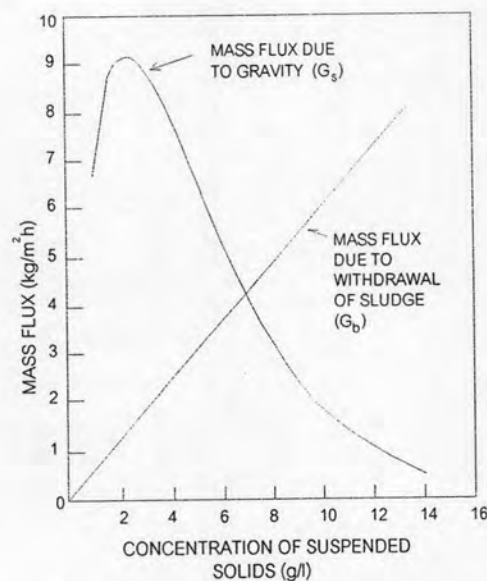
Settling Flux หรือ G_s สามารถหาได้ โดยการทดลองตกตะกอนสลัดจ์ ที่มีความเข้มข้นต่างๆ ในกระบอกใส วัดความสูงของชั้นสลัดจ์ที่เวลาต่างๆ และนำมาเขียนกราฟ ระหว่างความสูงและเวลา (แสดงดังรูปที่ 2.7) ความชันของกราฟส่วนที่เป็นเส้นตรง จะเท่ากับความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Settling Velocity, ISV) ของสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นระดับหนึ่ง สลัดจ์จากแหล่งเดียวกัน แต่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน จะมีความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนไม่เท่ากัน

สลัดจ์ที่มีความเข้มข้นสูงจะตกตะกอนช้า ทั้งนี้เพราะความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยเป็นอุปสรรคต่อการตกตะกอน รูปที่ 2.9 เป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึง ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสลัดจ์ และอัตราเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอน แต่ละจุดของกราฟที่ได้เป็นผลซึ่งได้จากการทดลองตกตะกอนสลัดจ์ในกระบอกใส การเปลี่ยนแปลงของ G_s ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ อาจดูได้จากกราฟที่เขียนดังแสดงในรูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นในระยะแรกทำให้สลัดจ์เคลื่อนที่ผ่านถังตกตะกอนได้รวดเร็วขึ้น แต่เมื่อถึงความเข้มข้นระดับหนึ่งแล้ว การเพิ่มความเข้มข้นทำให้สลัดจ์เคลื่อนที่ช้าลง



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสลัดจ์ (C) และอัตราเร็วเริ่มต้น ในการตกตะกอนของชั้นสลัดจ์ (มันสัน ดัณฑุลเวศม์, 2537)

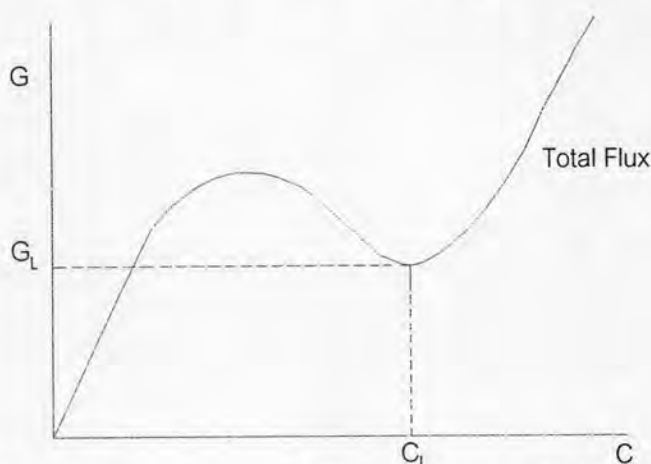
Bulk Flux (G_b) สามารถหาได้ง่ายกว่า G_s เพราะไม่ต้องทำการทดลองใดๆ เลย G_b ที่ระดับความเข้มข้นใดๆ คำนวณได้โดยตรง จากผลคูณระหว่างความเข้มข้นนั้นๆ กับความเร็วของการไหลในการระบายสลัดจ์ (รูปที่ 2.10) การเปลี่ยนอัตราเร็วในการระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอน (v_b) ทำให้กราฟ G_b มีความแตกต่างกัน



รูปที่ 2.10 ไชลิตซ์พลัก G_s และ G_b ของถังตกตะกอน ที่ระดับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (มันสัน ดัณฑุลเวศม์, 2537)

กราฟของ Total Flux (G_T) ได้มาจากผลบวกระหว่าง G_s และ G_b และสามารถเขียนกราฟได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ภาพนี้แสดงว่า สลัดจ์ที่มีความเข้มข้น C_L จะมีค่าพลักน้อยที่สุด

(Limiting Flux หรือ G_L) หมายความว่าถึงตกตะกอนแต่ละใบซึ่งมีอัตราการระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอนคงที่ (v_b) จะมีความสามารถจำกัดในการรับตะกอนแขวนลอย นั่นคือสลัดจ์จะเคลื่อนที่ผ่านถังตกตะกอนได้มีเกินค่า G_L ถ้าน้ำพาตะกอนแขวนลอยเข้าถังตกตะกอนในอัตราสูงกว่า G_L การระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอนด้วยอัตรา v_b ซึ่งใช้คำนวณ G_L จะไม่เพียงพอเพียงพอ ทำให้สลัดจ์สะสมในถังตกตะกอน การเพิ่ม v_b จะทำให้ G_L เพิ่มขึ้นด้วย แต่มีข้อเสียคือทำให้สลัดจ์ที่ระบายออกมีความเข้มข้นต่ำและมักทำให้ต้องเปลืองพลังงานในการสูบสลัดจ์เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่ม v_b จึงมีขีดจำกัด เพื่อให้ได้รับประโยชน์ในทางปฏิบัติอย่างเหมาะสม



รูปที่ 2.11 เส้นโค้ง Total flux และการหาค่า G_L แบบธรรมดา (มันสิน ตันทุลเวศม์, 2537)

การวิเคราะห์ผลการตกตะกอนในห้องปฏิบัติการ

ในน้ำเสียมักมีอนุภาคต่างๆ ปะปนอยู่ทั่วไป ทำให้การคำนวณหาอัตราเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคทั้งหลายได้ยาก ดังนั้นการหาประสิทธิภาพของการกำจัดอนุภาคความขุ่นของถังตกตะกอนโดยวิธีคำนวณก็เป็นเรื่องที่ยากเช่นกัน ในทางปฏิบัติ การประมาณความสามารถในการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอน จึงมักกระทำได้โดยวิธีทดลองตกตะกอนในถังทรงกระบอกใส วิธีทำให้สามารถทำนายผลการกำจัดความขุ่น ที่อัตราน้ำล้นผิวใดๆ ก็ได้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการตกตะกอน ประกอบด้วยถังทรงกระบอกใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 15-20 ซม. (ไม่ควรเล็กกว่า 10 ซม.) สูงประมาณ 2-3 เมตร มีท่อเก็บตัวอย่างน้ำฝังอยู่ที่ทุกระดับ 60 ซม. การทดลองเริ่มด้วยการเติมตัวอย่างน้ำที่ต้องการทดสอบ ลงไปในถังให้เต็มถึงระดับที่กำหนด ขณะเริ่มต้นต้องให้น้ำมีความเข้มข้นสม่ำเสมอตลอดทั้งถัง ในระหว่างการทดลอง น้ำจะถูกปล่อยให้ตกตะกอนเองตลอดเวลา และจะมีการเก็บตัวอย่างน้ำจากท่อเก็บตัวอย่างที่ระดับต่างๆ ในช่วงเวลาต่างๆ กัน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความขุ่นหรือตะกอนแขวนลอย อนุภาคใดๆ ที่พบในระดับระหว่างผิวน้ำจนถึงความลึก h ที่เวลา t จะเป็นอนุภาคที่มี

ความเร็วของการตกตะกอนน้อยกว่าหรือเท่ากับ h/t โดยที่ t เป็นเวลาในขณะที่ทำการเก็บตัวอย่าง ผลจากการทดลองการตกตะกอน สามารถนำไปเขียนเป็นกราฟที่มีลักษณะเดียวกับรูปที่ 3.7 เพื่อหาค่า ISV ได้

2.2.3 หน้าที่ของถังตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส

ระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส(Activated Sludge) ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น ส่วนของถังตกตะกอนเป็นส่วนสำคัญไม่ใช่เป็นเพียงแต่มีหน้าที่แยกของแข็งออกจากของเหลวเท่านั้น ถังตกตะกอนยังมีหน้าที่เป็นที่พักตะกอนสลัดจ์ชั่วคราว และยังมีหน้าที่ควบคุมอัตราการทิ้งและหมุนเวียนตะกอนกลับสู่ถังปฏิบัติการอีกด้วย ถังตกตะกอนจัดว่าเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำทิ้ง ซึ่งจะบ่งบอกได้ถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้โดยตรง

2.2.4 หลักการออกแบบถังตกตะกอนในระบบเอเอส

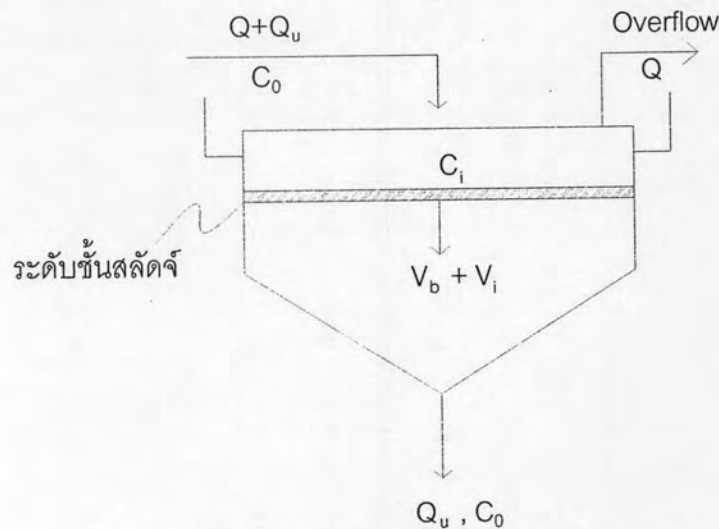
หลังจากได้ทำการศึกษาทฤษฎีกลไกของการตกตะกอนทั้ง 4 ชนิดและ ทฤษฎีในเรื่องต่างๆ ของระบบเอเอสแล้ว ถังตกตะกอนในระบบเอเอสจะประกอบด้วยฟลอคชีวภาพเป็นจำนวนมาก กลไกหลักของการตกตะกอนน้ำเสียก็ คือเกิดการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (Zone Settling) ก่อน และ ตามมาด้วยการตกตะกอนแบบอัดตัว (Compression Settling) ซึ่งเกิดหลังจากที่ตะกอนตกลงมาทับถมกันแล้ว

ถังตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อแบ่งตามหน้าที่ในการแยกสลัดจ์ออกจากน้ำเสียจะมีด้วยกัน 2 ประเภท คือแบ่งเป็น ถังตกตะกอนขั้นต้น (Primary Clarifier) และ ถังตกตะกอนขั้นที่สอง (Secondary Clarifier) ซึ่งมีหน้าที่ต่างกัน ในระบบเอเอสจะใช้ถังตกตะกอนขั้นที่สอง ในการแยกสลัดจ์กับน้ำใส

โดยถังตกตะกอนขั้นที่สอง มีหน้าที่ ทำน้ำให้ใส กำจัดความขุ่นจากสารแขวนลอยขนาดเล็ก ตกตะกอนสลัดจ์ การออกแบบจึงใช้กลไกการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (Zone Settling) ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสในการดำเนินการ ในงานวิจัยนี้จะพูดถึงเฉพาะถังตกตะกอนขั้นที่สองเป็นหลักการออกแบบถังตกตะกอนในระบบเอเอสเท่านั้น

2.2.4.1 การออกแบบถังตกตะกอนชั้นที่สองด้วยวิธีฟลักซ์ของแข็ง (Solids Flux)

ดังที่กล่าวมาข้างต้น ทฤษฎีเกี่ยวกับการหาความเร็วของการตกตะกอนแบบมีอุปสรรค ซึ่งทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีฟลักซ์ของแข็ง (Solid flux) ในหัวข้อนี้จะนำเอาทฤษฎีนี้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบถังตกตะกอน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.12 การเคลื่อนที่ของตะกอนสลัดจ์ในถังตกตะกอน

(Water Pollution Control Federation, 1985)

จากรูปที่ 2.12 จะสามารถหาค่าต่างๆ ได้ดังดังนี้

Settling Flux หรือ Gravity Flux ; G_g

$$G_g = \frac{C_i v_i}{1000} ; \quad \text{kg/m}^2 \cdot \text{hr} \quad (2.24)$$

Bulk Flux ; G_b

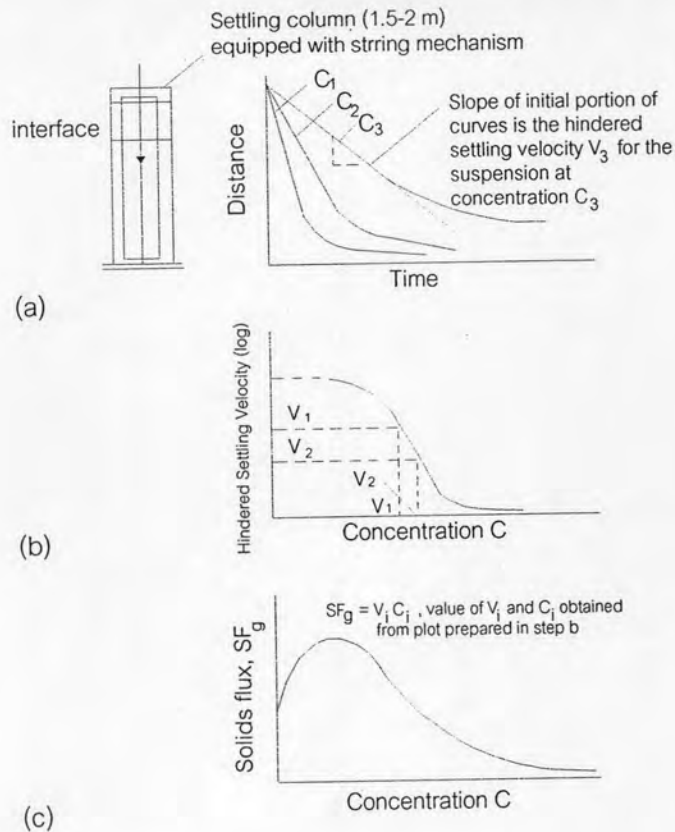
$$G_b = \frac{C_i v_b}{1000} ; \quad \text{kg/m}^2 \cdot \text{hr} \quad (2.25)$$

Total Flux ; G_T

$$G_T = G_g + G_b \quad (2.26)$$

1) Settling flux, G_g

ทำการหาค่า G_g จากการทดลองหาความเร็วจากการตกตะกอนดังแสดงในภาพที่ 2.15



รูปที่ 2.13 การหา Settling Flux (Metcalf และ Eddy, 2003)

จากรูป a) การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน หรือ Initial Settling Velocity (ISV) จากการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความสูงของระดับชั้นน้ำใสเทียบกับเวลาที่เกิดการตกตะกอนขึ้น ดังนั้นจะสามารถหาความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนได้จากความชันของเส้นโค้งบนช่วงของเส้นกราฟที่มีความโค้งน้อยที่สุด หรือ พูดได้ว่าช่วงที่เส้นกราฟโค้งมีลักษณะใกล้เคียงกับเส้นตรงมากที่สุด เนื่องจากความเร็วของการตกตะกอนมีค่าคงที่ เรียกว่า ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ISV) ซึ่งความชันของกราฟ คำนวณได้จาก $v = \frac{S}{t}$

โดยที่ S คือ ระยะทางที่เกิดการตกตะกอน
t คือ เวลาที่เกิดการตกตะกอน

b) เมื่อได้ค่า ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนแล้ว จึงนำค่าความเร็วที่ได้มาเขียนกราฟเทียบกับความเข้มข้นค่าต่างๆ ด้วยกราฟ log-scale เพื่อนำมาหาค่า Settling Flux,

$$G_g = \frac{C_i v_i}{1000} \quad (2.27)$$

c) นำค่า Settling Flux จากการคำนวณในกราฟรูป b) มาเขียนกราฟเทียบกับความเข้มข้น จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 2.13 (c)

2) Bulk Flux, G_b

การเขียนกราฟ Bulk Flux เป็นสมการของฟังก์ชันเชิงเส้นซึ่งทำได้ง่ายกว่าการเขียนกราฟจาก Settling Flux มาก การเขียนเส้นกราฟทำได้โดยใช้ ความเร็วของการสูบสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอน โดยคำนวณจากสมการ

$$v_b = \frac{Q_u}{A} \quad (2.28)$$

โดยที่ Q_u คือ อัตราการสูบตะกอนออก

A คือ หน้าตัดท่อดูดสลัดจ์หมุนเวียน

$$\text{จาก } G_b = \frac{C_i v_b}{1000} \longrightarrow v_b = \frac{G_b \times 1000}{C_i} \quad (2.29)$$

เขียนกราฟจากสมการข้างต้น เป็น G_b ในแกน Y เทียบกับความเข้มข้นในแกน X จะได้เส้น Bulk Flux

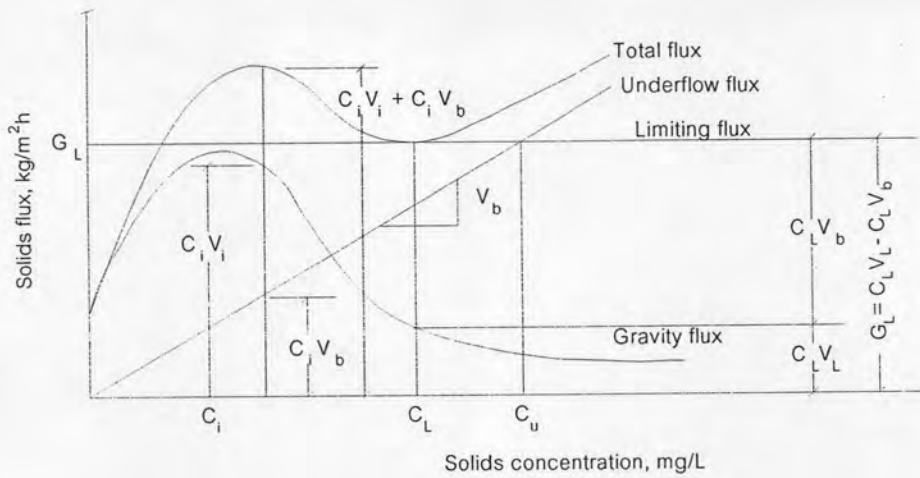
3) Total Flux, G_T

การเขียนกราฟ Total Flux ทำได้โดยนำค่าที่ได้จากกราฟ Settling Flux และ Bulk Flux มาเขียนรวมกันดังสมการ $G_T = G_o + G_b$ เขียนกราฟและทำการหา Limiting Flux, G_L จากจุดที่กราฟ Total Flux โค้งตกลงต่ำที่สุด ซึ่งนำไปใช้เป็นค่าในการออกแบบหน้าตัดของถังตกตะกอน ซึ่งสามารถคำนวณขนาดของถังตกตะกอนได้จากสมการ ดังนี้

$$A = \frac{(Q + Q_u) \times C_o}{G_L \times 1000} \quad ; m^2 \quad (2.30)$$

ให้ อัตราการหมุนเวียนสลัดจ์ $\frac{Q_u}{Q} = \alpha$ ดังนั้น

$$A = \frac{(1 + \alpha)Q \times C_o}{G_L \times 1000} \quad ; m^2 \quad (2.31)$$



รูปที่ 2.14 กราฟ Solid flux (Metcalf และ Eddy, 2003)

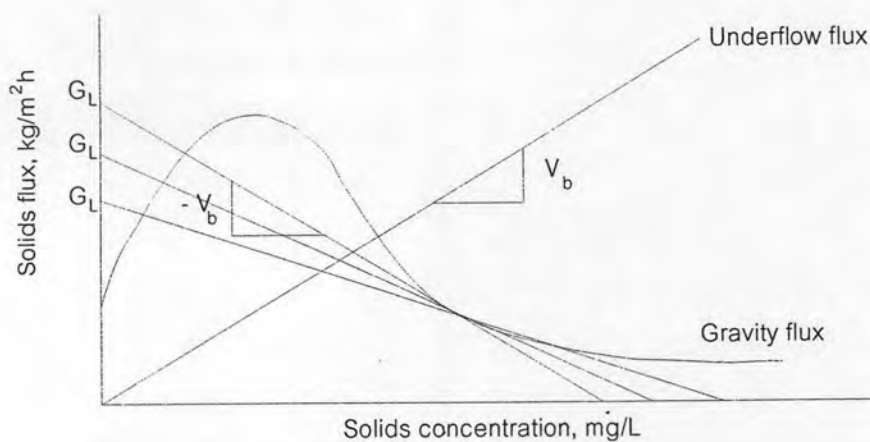
2.2.4.2 การออกแบบด้วยวิธีฟลักซ์ของแข็งประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีของโยซิโอะกะ

การนำเอาวิธีการคิด Solid Flux ของโยซิโอะกะมาคำนวณ จะทำให้การคำนวณง่ายกว่าวิธีธรรมดา ซึ่งมีวิธีการดังนี้

คำนวณและลากเส้นกราฟ G_u จากนั้นลากเส้นตรงที่มีความชัน $-v_b$ สัมผัสกับกราฟ G_u จุดตัดของเส้นตรงบนแกน G จะเท่ากับ G_L ส่วนจุดตัดบนแกน C ของกราฟเส้นตรงจะแทนค่า C_u ซึ่งเป็นความเข้มข้นของสลัดจ์ที่ระบายออกจากกันถึงตกตะกอนด้วยอัตราเร็ว v_b

ด้วยเหตุนี้ข้อดีก็คือ นอกจากจะหา G_L ได้แล้วยังสามารถหาค่า C_u หรือความเข้มข้นของสลัดจ์ที่กันถึงตกตะกอน ที่เหมาะสมได้โดยการเปลี่ยนค่า G_u หรือความเร็วในการสูบสลัดจ์หมุนเวียนได้อีกด้วย

การหาขนาดของถังตกตะกอนก็จะคำนวณได้จากสมการดังหัวข้อ 2.2.4.1



รูปที่ 2.15 กราฟการหาค่า G_L โดยการลากเส้นตรงที่มีความชัน $-v_b$ ต่างๆ กัน

(Water Pollution Control Federation, 1985)

2.2.4.3 ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบถังตกตะกอนชั้นที่สอง

ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบถังตกตะกอนชั้นที่สองจะแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ โดยอ้างอิงมาจากหนังสือ Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Metcalf and Eddy, International Edition 2003. ซึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการนำไปใช้เพื่อการออกแบบถังตกตะกอนในระบบเอเอส

โดยค่าอัตราน้ำล้นผิวในตารางที่ 2.2 มีความสำคัญในการออกแบบถังตกตะกอน กล่าวคือ สามารถบ่งบอกได้ถึงความสามารถของถังตกตะกอนในการแยกอนุภาคของแข็ง คือเมื่อกำหนดค่าอัตราน้ำล้นผิวแล้ว กำหนดให้มีค่าต่ำๆ ขนาดอนุภาคของของแข็งที่ถังตกตะกอนจะสามารถแยกออกจากน้ำได้ ก็จะมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับค่าอัตราน้ำล้นผิวที่มีค่าสูง และถ้าอัตราน้ำล้นผิวที่กำหนดมีค่าสูงๆ จากเทอมของ Q/A จะทำให้พื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนมีขนาดเล็กลงด้วย

ตาราง 2.2 ค่าอัตราน้ำล้นผิว, ภาระบรรทุกของแข็งและความลึกที่ใช้ในการออกแบบถังตกตะกอน
ชั้นที่สอง

| รูปแบบของ กระบวนการบำบัด | อัตราน้ำล้นผิว | | | | ภาระบรรทุกของแข็ง | | | | ความ ลึก m |
|---|------------------------|-----------------|-----------------------------------|-------|-----------------------|------|----------------------|------|------------------|
| | gal/ft ² -d | | m ³ /m ² -d | | lb/ft ² -h | | kg/m ² -h | | |
| | Avg | Peak | Avg | Peak | Avg | Peak | Avg | Peak | |
| ถังตกตะกอนตามหลัง ถังเติมอากาศในระบบ เอเอสทุกประเภท (ไม่รวมระบบเอเอสแบบ เติมอากาศยัดเวลา) | 400- 700 | 1,000- 1,600 | 16-28 | 40-64 | 0.8-1.2 | 1.6 | 4-6 | 8 | 3.5-6 |
| ถังตกตะกอนตามหลัง ถังคัดพันธุ์ และระบบ กำจัดธาตุอาหาร | 400- 700 | 1,000- 1,600 | 16-28 | 40-64 | 1.0-1.5 | 1.8 | 5-8 | 9 | 3.5-6 |
| ถังตกตะกอนตามหลัง ถังเติมอากาศในระบบ เอเอสแบบใช้ออกซิเจน บริสุทธิ์ | 400- 700 | 1,000- 1,600 | 16-28 | 40-64 | 1.0-1.5 | 1.8 | 5-7 | 9 | 3.5-6 |
| ถังตกตะกอนตามหลัง ถังเติมอากาศในระบบ เอเอสแบบเติมอากาศ ยัดเวลา | 200- 400 | 600- 800 | 8-16 | 24-32 | 0.2-1.0 | 1.4 | 1.0-5 | 7 | 3.5-6 |

ที่มา: Metcalf และ Eddy, 2003

ตาราง 2.3 ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการเลือกขนาดถังตกตะกอนชั้นที่สอง

| รูปร่างถังตกตะกอน | หน่วยมาตรฐานอเมริกา | | | หน่วยมาตรฐาน SI | | |
|------------------------|---------------------|------------|---------|-----------------|------------|---------|
| | หน่วย | ช่วงค่า | นิยมใช้ | หน่วย | ช่วงค่า | นิยมใช้ |
| หน้าตัดสี่เหลี่ยม : | | | | | | |
| ความลึก | ft | 10-16 | 14 | m | 3-4.9 | 4.3 |
| ความยาว | ft | 50-300 | 80-130 | m | 15-90 | 24-40 |
| ความกว้าง | ft | 29-49.5 | 16-32 | m | 3-24 | 4.9-9.8 |
| ความเร็วของใบกวาดตะกอน | ft/min | 2-4 | 3 | m/min | 0.6-1.2 | 0.9 |
| หน้าตัดวงกลม : | | | | | | |
| ความลึก | ft | 10-16 | 14 | m | 3-4.9 | 4.3 |
| ความชันก้นถัง | ft | 10-200 | 40-150 | m | 3-60 | 12-45 |
| ความกว้าง | in/ft | 3/4 - 2/ft | 1.0/ft | mm/mm | 1/16 - 1/6 | 1/12 |
| ความเร็วของใบกวาดตะกอน | r/min | 0.02-0.05 | 0.03 | r/min | 0.02-0.05 | 0.03 |

ที่มา: Metcalf และ Eddy, 2003

2.3 งานวิจัยที่ผ่านมา

จากการค้นคว้างานวิจัยที่ผ่านมา ทาล (Talc) จัดเป็นสารช่วยตกตะกอนที่มีการใช้กับงานวิจัยมากที่สุด ในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวได้แก่

Bidault และคณะ (1997) ศึกษาการจับตัวเป็นก้อน และโครงสร้างของฟล็อกชีวภาพด้วยการเติมสารทาล (Floc agglomeration and structuration by a specific talc mineral composition)

ในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาประสิทธิภาพในการสร้างฟล็อก โดยการเติมทาล ลงในถังเติมอากาศ เพื่อเป็นการปรับปรุงการรวมตัวกัน และเพิ่มความหนาแน่นของฟล็อกที่เกิดขึ้นในระบบเอเอส แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นแรกการทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยการทำ jar-test วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดจนสังเกตลักษณะฟล็อกจากกล้องจุลทรรศน์ และขั้นที่ 2 นำไปประยุกต์ใช้จริงในโรงบำบัดน้ำเสีย 2 แห่งในเมือง Brittany ประเทศฝรั่งเศส โดยการเติมทาลในการทดลองนี้จะเติมโดยเทียบกับความเข้มข้นของมวลจุลชีพ ที่ความเข้มข้นต่างกันคือ 0, 40, 60, 80, 100% (W/W) ขนาดของฟล็อกที่ได้จะเป็น 230, 260, 380, 420 และ 450 ไมครอน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ทาลสามารถช่วยในการก่อตัวของฟล็อกให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนการนำไปใช้ในโรงบำบัดน้ำเสียจริงนั้นพบว่าน้ำเสียที่ใช้ทาล จะมีเอสวีไอ ลดลงทั้ง 2 แห่ง จะเห็นได้ว่าการเติมทาล จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนในระบบเอเอสจริงได้ โดยงานวิจัยชิ้นนี้ได้บอกถึงข้อดีของทาลไว้คือ เป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำเสีย กัดกร่อนได้ยาก เป็นแร่ที่มีความกระด้างต่ำที่สุดในโลก ไม่ละลายน้ำ เข้ากันได้ดีกับจุลชีพ

Rasmussen และคณะ (1996) ศึกษาการปรับปรุงลักษณะการตกตะกอน ของระบบเอเอสโดยการเติมผงทาล (Improving settling dynamic of activated sludge by adding fine talc powder)

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาผลของการเติมผงทาล และ Chlorite ในการปรับปรุง ลักษณะของการตกตะกอน โดยมีเป้าหมายจะปรับปรุงความเร็วของการตกตะกอนของสลัดจ์ ด้วยการเพิ่มความถ่วงจำเพาะในการสร้างฟล็อกของจุลชีพ ซึ่งความเร็วของการตกตะกอน ถูกวัดด้วย Settling Column โดยแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของทาล และระดับของความปั่นป่วน ซึ่งผลที่ได้จากการทดลอง คือ ในแง่การเปรียบเทียบความเร็วในการตกตะกอน การเติมผงทาล ที่ความเข้มข้น 80% (W/W) จะช่วยเพิ่มความเร็วในการตกตะกอนได้ดี ส่วนในแง่ของความปั่นป่วน ยิ่งมีความปั่นป่วน

มากความเร็วของการตกตะกอนก็จะยิ่งน้อยลง จากการทดลองพบว่าการผสมทาลลงในน้ำเสียที่ความเข้มข้นต่ำๆ และความปั่นป่วนต่ำๆ จะมีความเร็วในการตกตะกอนสูงที่สุด

Cantet และคณะ (1996) ศึกษาการยกระดับความสามารถในการบำบัดของระบบเอเอสด้วยการเติมผงทาล (Upgrading performance of an activated sludge through addition of talqueous powder)

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบเอเอสด้วยการผสมผงทาลในถังเติมอากาศ ด้วยสมมุติฐาน คือ ปรับปรุงโครงสร้างของฟล็อก และช่วยในการเพิ่มความสามารถในการตกตะกอน ทดลองในห้องปฏิบัติการ ใช้น้ำเสียจริงจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนเมือง Toulouse ประเทศฝรั่งเศส โดยทำการเดินระบบเอเอสในห้องปฏิบัติการเป็นเวลาประมาณ 1 ปี เติมผงทาลเมื่อระบบเข้าสู่สมดุล ซึ่งลักษณะของผงทาลจะมีขนาดไม่เกิน 300 ไมครอน มีความหนาแน่น 2.8 ความเข้มข้น 80 - 120 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลที่ได้รับพบว่า การเติมผงทาลจะช่วยปรับปรุงความสามารถในการตกตะกอน และเพิ่มการเกิดไนตริฟิเคชัน ให้กับระบบ ซึ่งผลที่ได้นำไปสู่ การลดของแข็งแขวนลอยในถังตกตะกอน สลัดจ์ที่ได้มีลักษณะเป็นสลัดจ์ที่ดี ตลอดจนสลัดจ์สามารถรีดน้ำได้ดีขึ้น

Vanderhasselt และ Verstraete (1999) ศึกษาผลกระทบระยะสั้นของลักษณะการตกตะกอนสลัดจ์ที่มีการเติมสารเพิ่มประสิทธิภาพ (Short-term effects of additive on sludge sedimentation)

ทำการทดลองระยะสั้น ทดสอบลักษณะของการตกตะกอนสลัดจ์ในระบบบำบัดแบบเอเอส ในน้ำเสีย 2 ชนิด คือน้ำเสียจากอุตสาหกรรมยา และน้ำเสียชุมชน ด้วยอุปกรณ์วัดความเร็วในการตกตะกอน Settlimeter เติมสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำเสียคือ ทาล (talc) และโพลิเมอร์ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลอง เห็นได้ว่าผลจากการเติมสารทั้งสองชนิดทำให้เกิดการเพิ่มความเร็วของการตกตะกอน ซึ่งเป็นการเพิ่มความหนาแน่นของฟล็อก ซึ่งทาลเป็นสารที่ให้ผลการทดลองไปในทางที่ดีคือสามารถยึดเกาะฟล็อกได้นานมากกว่า 14 ชม. ส่วนโพลิเมอร์สามารถเพิ่มความเร็วในการตกตะกอนได้แต่หลังจากเวลาผ่านไป 3 ชม. การเกาะตัวก็จะยุติลง ซึ่งถือว่าไม่มีผลดีใดๆ ต่อการสร้างฟล็อก

Piirtola และคณะ (1999) ศึกษาการควบคุมการเดินระบบเอเอสด้วยวัสดุช่วยตกตะกอน (Activated sludge Ballasting in pilot plant operation)

ศึกษาการใช้วัสดุช่วยตกตะกอน คือ CaCO_3 , Apatite และทาลในการควบคุมการเดินระบบเอเอส ที่มีซีไอดี 300 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการวิเคราะห์ลักษณะผิวของสาร ความเร็วในการตกตะกอน และความสามารถในการกรอง ซึ่งความสามารถในการกรองในที่นี้บ่งบอกได้ถึงความแข็งแรงของฟล็อก โดยวัสดุที่ใช้ทั้งหมดนั้น ทาลมีความสามารถช่วยปรับปรุงลักษณะการตกตะกอนในแง่ของการเพิ่มความเร็วในการตกตะกอน และความสามารถในการกรอง ส่วน CaCO_3 มีส่วนช่วยในการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว และ Apatite ไม่มีส่วนช่วยเพิ่มทั้งความเร็วของการตกตะกอนในการทดลอง และความสามารถในการกรองใดๆ ทั้งสิ้น การทดลองนี้ทำการใส่ทาลด้วยอัตราส่วน 120% (W/W) หลังจากเติม สามารถปรับปรุงเอสไวโอจาก 800 มิลลิลิตรต่อกรัม เป็น 200 มิลลิลิตรต่อกรัมได้ทันที แต่ถ้าทำการเดินระบบเป็นเวลานาน การเติมทาลเพียง 10% (W/W) ก็เพียงพอที่จะช่วยเลี้ยงให้ตะกอนจุลชีพให้เอสไวโอต่ำๆ ได้

Eikelboom และ Grovenstein (1998) ศึกษาการควบคุมสลัดจ์อืดโดยการเติมทาลชนิด PE 8418 (Control of bulking in a full scale plant by addition of talc (PE 8481))

ทำการศึกษาการใช้ ทาล (PE 8418) มาช่วยควบคุมการอืดของสลัดจ์ในโรงบำบัดน้ำเสียระบบเอเอส ลักษณะน้ำเสียเป็นน้ำเสียจากอุตสาหกรรม แชมพู ผงซักฟอก น้ำผลไม้ และโรงฆ่าสัตว์ ในประเทศเนเธอร์แลนด์ สาเหตุหลักของสลัดจ์อืดจากโรงบำบัดน้ำเสียนี้คือ การเกิด จุลชีพในกลุ่ม Filamentous ทำการทดลองโดยเติมทาลด้วยอัตราส่วน 100% (W/W) ซึ่งผลจากการเติมทาลลงในถังเติมอากาศเป็นเวลาเพียง 1 วัน เอสไวโอลดลงจาก 850 มิลลิลิตรต่อกรัม เป็น 230 มิลลิลิตรต่อกรัม และเมื่อเติมต่อไปเป็นเวลา 15 วันพบว่าทำให้ลดลงเรื่อยๆ ถึง 125 มิลลิลิตรต่อกรัม และค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของการทดลองนี้มีค่า 0.8-0.9 เมตรต่อชั่วโมง หลังจากเติมทาลก็เพิ่มขึ้นเป็น 1.5 เมตรต่อชั่วโมง โดยสามารถลดปัญหาการเกิดสลัดจ์อืดได้เป็นอย่างดี หนึ่งปัญหาอย่างหนึ่งของการเติมทาล คือการเกิด scum แต่ในการทดลองนี้กล่าวว่าการเกิด scum ในถังเติมอากาศไม่มีปัญหาใดๆ ต่อการดำเนินการทั้งสิ้น

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัย จะเห็นได้ว่า ทาล (Talc) เป็นสารที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอน โดยผลการวิจัยได้ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ ทั้งในด้านการดำเนินการทดลองซึ่งไม่เกิดปัญหายุ่งยากใดๆ และด้านผลการวิจัย โดยเฉพาะในเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนในแง่ของความเร็วในการตกตะกอน ทาลสามารถให้ผลของการทดลองออกมาได้เป็นที่น่าพอใจ

ส่วนของ Activated Carbon หรือ ผงถ่านกัมมันต์ มีงานวิจัยมากมาย ซึ่งด้วยคุณสมบัติของตัวมันเองก็เป็นตัวดูดซับที่ดี งานวิจัยส่วนมากจึงเกี่ยวข้องกับความสามารถในการดูดซับโดยงานน้ำเสียในระบบเอเอส ไม่พบว่าม้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในงานบำบัดน้ำเสียระบบเอเอส ดังเช่น

Lee และคณะ (1989) ศึกษาการใช้ Activated Carbon แบบผงดูดซับโครเมียม(VI) ในน้ำเสียของกระบวนการบำบัดน้ำเสียเอเอส (Treatment of Cr(VI)-containing wastewater by addition of powdered activated carbon to the activate sludge process)

ผลจากการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงแบบผง(PAC) เพื่อกำจัด Cr(VI) ในระบบเอเอส ในงานวิจัยพบว่า อัตราการดูดซับของ PAC จะสูงกว่าการดูดซับ Cr(VI) ด้วยฟล็อกของจุลชีพในระบบ เมื่อแสดงผลของการเติม PAC จะสามารถกำจัดซีโอดี และ Cr(VI) ได้ถึง 96 และ 41% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเอเอสแบบธรรมดาจะสามารถกำจัดได้ 85 และ 9% ตามลำดับ และในงานวิจัยยังกล่าวว่า การเติม PAC จะช่วยในการเพิ่มอัตราการเติมโตของจุลชีพด้วย

ด้งงานวิจัยทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า ทาล (Talc) ที่สามารถเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนซึ่งให้ผลของการทดลองเป็นที่พอใจ ตลอดจนม้งานวิจัยที่ประสบผลสำเร็จอยู่เป็นจำนวนมาก ส่วนผงถ่านกัมมันต์ หรือ Activated Carbon ที่มีความสามารถของการดูดซับอยู่ในตัว น่าสนใจที่จะนำมาใช้เพื่อเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน อันเป็นแนวความคิดใหม่สำหรับงานวิจัยลักษณะนี้ โดยงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นแนวทางให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำสารทั้ง 2 ชนิดมาใช้กับการทดลองในงานวิจัยขึ้นนี้