

กระบวนการคอนแทกต์สเตบิลิเซชัน ไร้อากาศแบบกวนสมบูรณ์

3.1 แนวความคิดของกระบวนการ

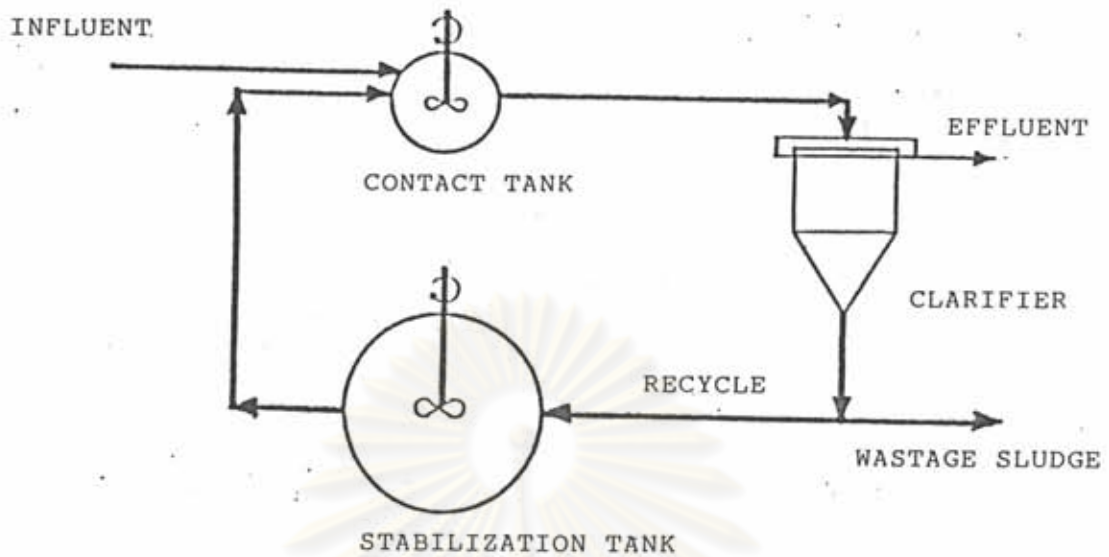
ถึงแม้ว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบ ไร้อากาศจะได้รับการพัฒนาขึ้นมามาก ใน ปัจจุบัน แต่ ยังมีปัญหาบางประการในการออกแบบและควบคุมการทำงาน เช่น ระยะเวลาที่ใช้ยังคงนานกว่าการบำบัดแบบเติมออกซิเจน การแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำออก (Effluent) ยังทำได้ไม่ดีพอ ตลอดจนกระบวนการยังมีเสถียรภาพในการทำงานต่ำ เป็นต้น

จากปัญหาดังกล่าว จึง ได้มีแนวความคิดว่าหากนำข้อดีของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบคอนแทกต์สเตบิลิเซชัน ได้แก่ การที่สามารถใช้เวลาในการบำบัดสั้น สามารถรับน้ำเสียที่ทิ้งมาในช่วง (Shock Load) สามารถบำบัดน้ำเสียที่อยู่ในรูปตะกอนแขวนลอยได้ดี และตะกอนจุลินทรีย์สามารถตกตะกอนได้ดีมาพร้อมกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียซึ่งไม่ต้องมีการเติมออกซิเจน และสามารถเก็บตะกอนจุลินทรีย์ไว้ได้เป็น ปริมาณมาก ผลที่ได้จะเป็นการประยุกต์กระบวนการทั้งสองเพื่อนำมาบำบัดน้ำเสียแบบ ไร้อากาศ ซึ่งน่าจะ ได้ผลดี จึง ได้เรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการคอนแทกต์สเตบิลิเซชัน ไร้อากาศแบบกวนสมบูรณ์

3.2 หลักการทำงานของกระบวนการ

การทำงานของกระบวนการคอนแทกต์สเตบิลิเซชัน ไร้อากาศแบบกวนสมบูรณ์ ประกอบด้วยดัง ปฏิริยาคอนแทกต์ ดังปฏิริยาสเตบิลิเซชัน และดังตกตะกอน และภายในดังปฏิริยาทั้งสองมีระบบกวนผสมซึ่งแสดงการทำงานของกระบวนการแสดงในรูปที่ 3.1

น้ำเสียที่ต้องการบำบัดจะ ไหลเข้าดังปฏิริยาคอนแทกต์ จุลินทรีย์ที่อยู่ในดังปฏิริยาคอนแทกต์ ซึ่งเจริญเติบโตลอยอยู่ในน้ำ (suspended-growth) จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียทำให้ สารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลง จากนั้นน้ำที่ได้รับการบำบัดแล้วและตะกอนจุลินทรีย์จะ ไหล ไปยังดังตกตะกอน เพื่อแยกน้ำใสที่ออกจากระบบ ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่จมตัวอยู่ที่ก้นดังตกตะกอนจะถูกสูบกลับไป เข้าดังปฏิริยาคอนแทกต์ เพื่อให้สามารถสร้างสภาวะตะกอนให้พร้อมที่จะมาย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ตะกอนจุลินทรีย์ที่มาจากดังปฏิริยาสเตบิลิเซชัน ในสภาวะที่ได้ใช้อาหารไปจนหมดแล้ว เมื่อมาสัมผัสกับน้ำเสีย ในดังปฏิริยาคอนแทกต์จึงมีผล ให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียลดลงอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังการทำงานของกระบวนการคอนแทกต์สเตบิไลเซชัน ไร้อากาศแบบกวนสมบูรณ์

### 3.3 พารามิเตอร์ที่สำคัญ

พารามิเตอร์ที่สำคัญ ที่มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ ๆ คือ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมและความต้องการของจุลินทรีย์ เช่น ค่าพี เอช อุณหภูมิ อาหารเสริม การกวน เป็นต้น และพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงาน เช่น ปริมาณสารอินทรีย์ อัตราการไหล อัตราการสูบตะกอนกลับ อายุของตะกอน เป็นต้น

สำหรับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อม และความต้องการของจุลินทรีย์สามารถควบคุมให้อยู่ในช่วงที่พอเหมาะได้ โดยอาศัยความรู้ทางจุลชีววิทยาและชีวเคมีขั้นพื้นฐานดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ส่วนพารามิเตอร์ ที่ใช้ควบคุมการทำงานของกระบวนการในแต่ละกระบวนการจะไม่เหมือนกันดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาเฉพาะในแต่ละกรณีไป เพราะมีความเกี่ยวเนื่องกับคุณลักษณะของน้ำเสีย และกลไกในการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการนั้น ๆ

กระบวนการคอนแทกต์สเตบิไลเซชัน ไร้อากาศ แบบกวนสมบูรณ์มีพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานอยู่ 4 ตัว คือ

1) ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading) คือน้ำหนักของมลสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ถังปฏิกิริยาต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของถังปฏิกิริยามีหน่วยเป็น ก.ก. ซีไอดี ต่อ ลบ.เมตร-วัน กระบวนการนี้แบ่งออกเป็น 3 อย่าง คือ

- 1.1) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์รวมของระบบ
- 1.2) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ของถังคอนแทกต์
- 1.3) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ของถังสเตบิไลเซชัน

2) ภาวะบรรทุกการไหล (Hydraulic Loading) คือ อัตราการไหลที่เข้าถังปฏิกิริยาต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของถังปฏิกิริยาแบ่งออกเป็น 3 อย่าง คือ

- 2.1) ภาวะบรรทุกการไหลรวมของระบบ
- 2.2) ภาวะบรรทุกการไหลของถังคอนแทกต์
- 2.3) ภาวะบรรทุกการไหลของถังสเตบิไลเซชัน

3) อัตราการสลับตะกอนกลับ (Recycle Ratio) คือ อัตราการสลับตะกอนจากกันถังตกตะกอนมาเข้าถังสเตบิไลเซชัน โดยคิดเป็นร้อยละของอัตราการสูบน้ำเสียเข้าระบบ

4) อายุของตะกอน (Sludge Age) คือ ระยะเวลาเก็บกักของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบมีหน่วยเป็นวัน

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานทั้ง 4 ตัว ที่ได้กล่าวมาแล้ว ค่าอายุตะกอน ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ และอัตราการสลับตะกอนกลับนับได้ว่าสำคัญที่สุด ส่วนภาวะบรรทุกการไหลจะมีผลต่อระยะเวลาในการบำบัดของจุลินทรีย์ ซึ่งหากไม่สิ้นจนเกินไป ก็จะมีผลต่อประสิทธิภาพน้อยกว่าพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ

### 3.4 การศึกษาที่ผ่านมา

เนื่องจากกระบวนการนี้อยู่ในระหว่างการพัฒนาและวิจัย การศึกษาที่ผ่านมา จึงประกอบไปด้วยความคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะจากงานวิจัยอื่น ที่มีแนวโน้มแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนากระบวนการนี้ขึ้นรวมทั้งงานวิจัยที่ผ่านมาของกระบวนการนี้เองด้วย

W.V. Alexander et. al. (33,34) ได้วิจัยกระบวนการคอนแทกต์สเตบิไลเซชันแบบใช้อากาศ โดยใช้น้ำเสียจากบ้านเรือนเป็นน้ำทดลองและอธิบายผลของการกำจัด ซีโอซีที่เกิดขึ้นที่ถังคอนแทกต์ว่าเป็นกลไกของการดูดซึมเข้าสู่เซลล์และดูดติดผิวเซลล์ (adsorbed และ enmeshment)

G.I. Schroepfer et. al. (24) ในปี ค.ศ. 1955 ได้อธิบายผลของการกำจัดสารอินทรีย์ ในกระบวนการตะกอนเร่งแบบไร้อากาศเมื่อใช้น้ำเสียจาก Packinghouse ว่ามีการดูดซึมสารอินทรีย์ โดยเป็นกลไกทางค่านึงลิคส์ เมื่อตะกอนจุลินทรีย์สัมผัสกับน้ำเสีย

Ullrich และ Smith ในปี ค.ศ. 1957 (35) คัดแปลงกระบวนการตะกอนเร่งแบบใช้อากาศ (Activated sludge) เป็นกระบวนการ Biosorption ซึ่งเป็นแม่แบบของกระบวนการคอนแทกต์สเตบิไลเซชันในเวลาต่อมา พบว่า กระบวนการนี้สามารถรับภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ได้เพิ่มขึ้นถึง 3 เท่า และอธิบายว่าในช่วงที่จุลินทรีย์สัมผัสกับน้ำเสีย จุลินทรีย์จะดูดซึมสารอินทรีย์ไปเก็บไว้ในตัวก่อน

หลังจากนั้นจึงย่อยสลาย

G.T. Schroepfer และ N.R. Ziemke (36) ในปี ค.ศ. 1959 ได้ใช้กระบวนการตะกอนเร่งแบบไร้อากาศ (Anaerobic Contact) ในการบำบัดน้ำเสียหลายชนิดและสรุปว่าในการกำจัดซีโอคืออย่างมีประสิทธิภาพ จะต้องรักษาความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังคอนแทกต์ให้อยู่ในระดับ 15,000 มก./ล. จะดีที่สุด และเมื่อมีความเข้มข้นของ ตะกอนจุลินทรีย์สูงถึง 30,000 มก./ล. ไม่พบว่าประสิทธิภาพของระบบดีขึ้นแต่อย่างใด

James B. Coulter และ M.B. Ettinger (9) ในปี ค.ศ. 1961 ได้ใช้กระบวนการตะกอนเร่งแบบไร้อากาศบำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือนพบว่า ที่ถังคอนแทกต์มีการกำจัดซีโอดีสูงมาก แต่ไม่มีก๊าซมีเทนเกิดขึ้น และไม่พบว่าปริมาณตะกอนจุลินทรีย์สูงขึ้นด้วย

T.T. McGhee ในปี ค.ศ. 1971 (37) ได้ทดลองหาอัตราการทำลายกรดโวล่าไทล์ของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศแบบเท (Batch Type) พบว่าในช่วง 0.50 ชั่วโมงแรกปริมาณของกรดโวล่าไทล์จะหายไปทันที และกลับปรากฏภายหลัง จึงให้ข้อสังเกตว่าลักษณะการที่เกิดขึ้นเช่นนี้อาจเกิดจากการดูดซึมเข้าสู่เซลล์ก่อนแล้วจึงย่อยสลาย

Willi Gujer และ David Jenkins (38) ในปี ค.ศ. 1971 ได้ทดลองหาอัตราการสับตะกอนกลับ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการคอนแทกต์สเตปีโลเซชัน แบบไร้อากาศ พบว่าอัตราการสับตะกอนกลับมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ และเมื่ออัตราการสับตะกอนกลับสูงถึง 400% แล้วกระบวนการจะปรับตัวเป็นกระบวนการตะกอนเร่งแบบกวนสมบูรณ์แทน (Completely mixed)

J.E. Goodard ในปี ค.ศ. 1974 (39) ได้สรุปและอธิบายถึงกลไกการกำจัดซีโอดีของกระบวนการคอนแทกต์สเตปีโลเซชันว่า ในช่วง 10-30 นาทีแรก ที่จุลินทรีย์สัมผัสกับน้ำเสียจุลินทรีย์จะดูดซึมสารอินทรีย์ (adsorb) ในถังคอนแทกต์แล้วนำไปย่อยสลายต่อที่ถังสเตปีโลเซชัน

E.J. Nyns et. al. (40) ในปี ค.ศ. 1979 ได้สรุปงานวิจัยของ Bryant และคณะว่า แบคทีเรียที่สร้างมีเทนส่วนใหญ่ไม่สามารถใช้กรดโวล่าไทล์โดยตรง แต่จะสร้างสารประกอบระหว่างกรดโวล่าไทล์และไฮโดรเจนขึ้นก่อน แล้วจึงใช้สารประกอบนี้เป็นแหล่งอาหารและพลังงาน พร้อมทั้งได้คัดค้านแนวความคิดของ Ghosh ที่จะแบ่งแยกกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศออกเป็น 2 ถึง ตามลักษณะของแบคทีเรียด้วย

นอกจากที่กล่าวมาเบื้องต้น ยังมีงานวิจัยอีกหลายชิ้นที่สนับสนุนและคัดค้านแนวความคิดของการเกิดการดูดซึม ก่อนทำการย่อยสลายภายหลังของเซลล์อีกหลายชิ้น แต่ไม่ได้อธิบายเหตุผลไว้ จึง ไม่ได้นำมากล่าวในที่นี้

สำหรับกระบวนการตะกอนเร่งคอนแทกต์สเตปีโลเซชัน แบบแอนแอโรบิกนั้น มีงานวิจัยที่ผ่านมาดังนี้

สุรพล สาขพานิช (7) ในปี ค.ศ. 1984 ได้วิจัยกระบวนการนี้และได้แสดงไว้ว่า เมื่อให้มีตัวกลางอยู่กับที่ภายในถังปฏิกริยาทั้งสอง โดยให้น้ำไหลในถังปฏิกริยาเป็นแบบไหลตามยาว ที่ค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์ 0.65-2.6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่า ประสิทธิภาพของระบบประมาณร้อยละ 70-85

แต่มีตะกอนแขวนลอยในน้ำที่สูงถึง 1,100 มก./ล. และในงานวิจัยเดียวกัน แต่ให้รับค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.6-10.4 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน โดยให้น้ำไหลในถังปฏิกิริยาเป็นแบบกวนสมบูรณ์ที่ถังปฏิกิริยาขนาดเดียวกันพบว่า ระบบมีประสิทธิภาพร้อยละ 54-83 และยังคงมีตะกอนแขวนลอยในน้ำที่สูง

สุรพล สายพานิช ในปี ค.ศ. 1986 (41) ได้วิจัยเกี่ยวกับกระบวนการนี้ต่อไป โดยใช้ น้ำเสียรวมจากโรงงานผลิตเบ็งมันสำหรับหลัง โดยใช้ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 5.8 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และให้น้ำไหลในระบบเป็นแบบไหลขึ้น (upflow) โดยให้จุลินทรีย์เติบโตในสภาพแขวนลอย (suspended growth) พบว่าระบบมีประสิทธิภาพลดซีไอดีได้ร้อยละ 74 มีค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำที่ลดลงกล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย 834 มก./ล.

สุรพล สายพานิช ในปี ค.ศ. 1987 (32) ได้ทำการวิจัยกระบวนการนี้ต่อไป โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ ถังปฏิกิริยาแบบไหลขึ้นที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.59-16.79 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าประสิทธิภาพของระบบประมาณ 37.16-87.3 ตะกอนแขวนลอยประมาณ 507 มก./ล.

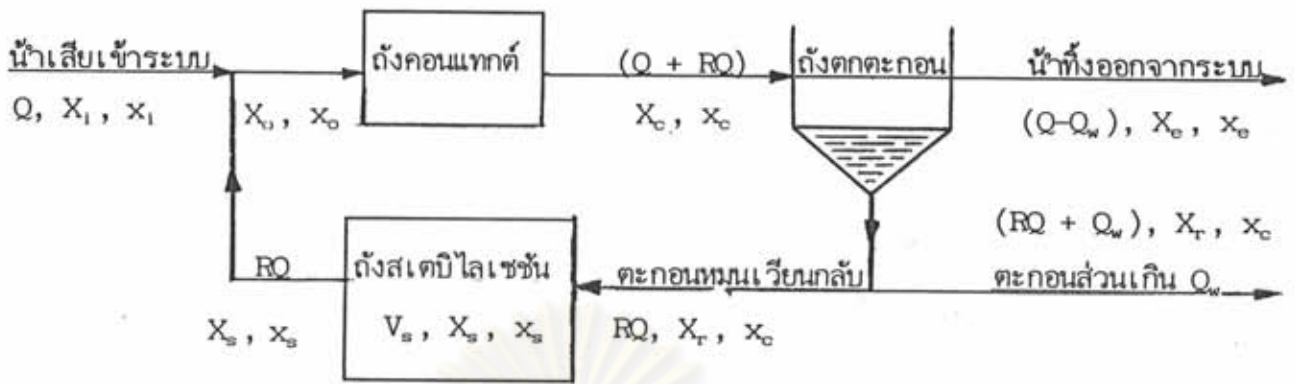
อภิสิทธิ์ ศรีสุรินทร์ ในปี ค.ศ. 1988 (46) ได้ทำการวิจัยกระบวนการนี้ โดยทำการทดลอง เป็นแบบกวนสมบูรณ์ โดยเปลี่ยนแปลงค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 5.05, 4.08, 1.955, 0.5 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าระบบสามารถกำจัดซีไอดีได้ ประมาณร้อยละ 42, 55, 78.9 และ 80 ตามลำดับ

### 3.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการคอนแทกต์สเตปีไลเซชัน

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ นอกจากจะจำเป็นสำหรับการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว ยังสามารถใช้ในการอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า กำหนดต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมระบบ ดัง ได้กล่าวมาแล้วว่าทฤษฎีและวิธีการออกแบบระบบคอนแทกต์สเตปีไลเซชัน ยังไม่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปนอกจากจะทำการศึกษหาประสิทธิภาพและข้อกำหนดในการออกแบบจากเครื่องทดลองต้นแบบเสียก่อน ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ โดยกระบวนการคอนแทกต์สเตปีไลเซชัน ในห้องปฏิบัติการเป็นแนวทางอ้างอิงสำหรับการ วิจัยในครั้งนี้

#### 1. สมการคุณภาพทางมวลของระบบคอนแทกต์สเตปีไลเซชัน

แผนภูมิแสดงคุณภาพทางมวลของระบบคอนแทกต์สเตปีไลเซชัน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.2 ซึ่งแผนภูมินี้จะ ใช้ในการแสดงวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในรูป ของปริมาณน้ำเสีย ความเข้มข้นของมลสารอินทรีย์ และความเข้มข้นของจุลินทรีย์ของระบบ



รูปที่ 3.2 แผนภูมิแสดงคุณภาพทางมวลของระบบคอนแทกต์สแตบิไลเซชัน

1.1 คุณภาพของมวลจุลินทรีย์ในถังคอนแทกต์

ถ้าเรานิยามว่า  $(\frac{dX}{dt})_F$  คือ "อัตราการเปลี่ยนแปลงสุทธิของจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนไปภายในเวลา F" สมการคุณภาพของมวลจุลินทรีย์ในถังคอนแทกต์ สามารถเขียนได้เป็น

$$V_c \left(\frac{dX}{dt}\right)_F = RQX_s + QX_i + k_c X_c V_c - (Q + RQ)X_c \dots\dots\dots(3.1)$$

เมื่อไม่คิดปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำเสียบ้เข้าระบบสมการที่ (3.1) จะเขียนได้เป็น

$$V_c \left(\frac{dX}{dt}\right)_F = RQX_s + k_c X_c V_c - (Q + RQ)X_c \dots\dots\dots(3.2)$$

เมื่อระบบอยู่ในสภาวะสม่ำเสมอ (steady state) จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ หรือ  $(\frac{dX}{dt})_F = 0$  เมื่อกำหนดให้  $t_c = \frac{V_c}{Q}$  สมการที่ (3.2) จะเขียนได้เป็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$k_c = \frac{(1 + R)X_c - RX_s}{X_c t_c} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$X_c = \frac{RX_s}{(1 + R) - k_c t_c} \dots\dots\dots(3.4)$$

1.2 ดุลยภาพของมวลจุลินทรีย์ในถังสเตบิลไลเซชัน

สมการดุลยภาพของมวลจุลินทรีย์ในถังสเตบิลไลเซชัน เขียนได้ดังนี้

$$V_s \left(\frac{dX}{dt}\right)_F = RQX_r + k_s X_s V_s - RQX_s$$

หรือ 
$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_F = \frac{RQX_r}{V_s} + k_s X_s - \frac{RQX_s}{V_s} \dots\dots\dots(3.5)$$

ที่สภาวะสม่ำเสมอจะได้  $\left(\frac{dX}{dt}\right)_F = 0$  และเมื่อกำหนดค่าให้  $D_s = \frac{RQ}{V_s} = \frac{1}{t_{sr}}$

เราสามารถหาค่าของ  $K_s$  หรือ  $X_s$  จากสมการที่ (3.5) คือ

$$k_s = D_s \left(1 - \frac{X_r}{X_s}\right) \dots\dots\dots(3.6)$$

หรือ 
$$X_s = \frac{X_r}{1 - k_s t_{sr}} \dots\dots\dots(3.7)$$

1.3 ดุลยภาพของมวลจุลินทรีย์ในถังตกตะกอน

สมการดุลยภาพของมวลจุลินทรีย์ในถังตกตะกอนเขียนได้เป็น

$$(Q + RQ)X_c = (RQ + Q_w)X_r + (Q - Q_w)X_e$$

ค่าของ  $Q_w$  และ  $X_c$  จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าอื่น ๆ ดังนั้นถ้าไม่คิดค่าของ  $Q_w$  และ  $X_c$  สมการข้างบนสามารถเขียนเป็น

$$X_r = \left(\frac{1 + R}{R}\right)X_c \dots\dots\dots(3.8)$$

1.4 ดุลยภาพของมวลสารอินทรีย์ในถังคอนแทกต์

ถ้าเรานิยาม  $\left(\frac{dx}{dt}\right)_F$  เป็น " อัตราการเปลี่ยนแปลงสุทธิ ของมวลสารอินทรีย์ที่เปลี่ยน

ไปภายในเวลา F" สมการดุลยภาพของมวลสารอินทรีย์ในถังคอนแทกต์ สามารถเขียนเป็น

$$V_c \left(\frac{dx}{dt}\right)_F = Qx_i + RQx_s - (1 + R)Qx_c - \frac{k_c}{a_c} X_c V_c$$

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_F = \frac{Q}{V_c} x_i + \frac{RQ}{V_c} x_s - \left(\frac{1 + R}{V_c}\right) Qx_c - \frac{k_c}{a_c} X_c \dots\dots\dots(3.9)$$

ภายใต้สภาวะสม่ำเสมอ  $(\frac{dx}{dt})_F = 0$  ดังนั้นจะหาค่า  $x_c$  ได้จากสมการ

$$x_c = \frac{x_i + R x_s - k_c X_c t_c / a_c}{(1 + R)} \dots \dots \dots (3.10)$$

### 1.5 คุลยภาพของมลสารอินทรีย์ในถังสเติมไลเซชัน

สมการคุลยภาพของมลสารอินทรีย์ในถังสเติมไลเซชัน สามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้

$$V_s (\frac{dx}{dt})_F = R Q x_c - R Q x_s - \frac{k_s}{a_s} X_s V_s$$

หรือ  $(\frac{dx}{dt})_F = D_s x_c - D_s x_s - \frac{k_s}{a_s} X_s \dots \dots \dots (3.11)$

ภายใต้สภาวะสม่ำเสมอ  $(\frac{dx}{dt})_F = 0$  ดังนั้นค่า  $x_s$  สามารถหาได้จากสมการ

$$x_s = x_c - \frac{k_s X_s t_{sr}}{a_s} \dots \dots \dots (3.12)$$

เมื่อแทนค่า  $X_s$  จากสมการ (3.12) ในสมการ (3.10) จะได้

$$x_c = x_i - \frac{k_c}{a_c} X_c t_c - \frac{k_s}{a_s} X_s t_s \dots \dots \dots (3.13)$$

ซึ่งสามารถเขียนในรูปของสมการทั่วไปได้เป็น

$$x_c = x_i - t_c (\frac{dx}{dt})_c - t_s (\frac{dx}{dt})_s \dots \dots \dots (3.14)$$

ในที่นี้  $t_c = \frac{V_c}{Q}$  และ  $t_s = \frac{V_s}{Q}$

## 2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

### 2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผลิตผลมวลจุลินทรีย์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผลิตผลมวลจุลินทรีย์ จะ เป็นไปตามสมการของ Lawrence และ Mc. Carty คือ

$$\frac{dx}{dt} = Y \frac{dx}{dt} - k_d \dots \dots \dots (3.15)$$



เมื่อหารสมการ (3.15) ด้วย X จะได้

$$k = \frac{1}{\theta_c} = \frac{1}{X} \frac{dX}{dt} = \frac{a}{X} \frac{dx}{dt} - k_d \dots \dots \dots (3.16)$$

หรือ 
$$\frac{1}{\theta_c} = YU - k_d \dots \dots \dots (3.17)$$

ในที่นี้ :

k	=	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์ (net specific growth rate of microorganisms)	(T <sup>-1</sup> )
θ <sub>c</sub>	=	อายุตะกอน (sludge age) = $\frac{\text{มวลของจุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบ}}{\text{มวลของจุลินทรีย์ที่ระบายทิ้งในแต่ละวัน}}$	( T )
U	=	อัตราการใช้สารอาหารจำเพาะ (specific substrate utilization rate) = $\frac{\text{อัตราการใช้มวลสารอินทรีย์}}{\text{มวลของจุลินทรีย์ในระบบ}}$	(T <sup>-1</sup> )  $\frac{dx/dt}{x}$
Y	=	สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต (growth yield coefficient)	
k <sub>d</sub>	=	สัมประสิทธิ์การตาย (microorganisms decay coefficient)	(T <sup>-1</sup> )

## 2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการบำบัดมลสารอินทรีย์

สมการของแบบจำลองคือ 
$$\frac{dx}{dt} = \frac{K_0 x X}{K_s + x} \dots \dots \dots (3.18)$$

หรือ 
$$U = \frac{1}{X} \frac{dx}{dt} = \frac{K_0 x}{K_s + x} \dots \dots \dots (3.19)$$

ในที่นี้ :

K <sub>0</sub>	=	อัตราการใช้สารอาหารสูงสุด (maximum rate of substrate utilization)	(T <sup>-1</sup> )
K <sub>s</sub>	=	สัมประสิทธิ์การใช้มวลสารอินทรีย์ (substrate utilization coefficient)	(ML <sup>-3</sup> )

เนื่องจาก 
$$U = \frac{Q(x_i - x_e)}{M} \dots \dots \dots (3.20)$$

ดังนั้นสมการที่ (3.19) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$U = \frac{K_0 x_e}{K_s + x_e} \cdot \frac{Q/M}{Q/M} \dots \dots \dots (3.21)$$

ประสิทธิภาพของระบบหาได้จากสมการ

$$n = \frac{x_i - x_e}{x_i} \dots \dots \dots (3.22)$$

หรือ

$$x_e = (1 - n)x_i \dots \dots \dots (3.23)$$

แทนค่า  $x_e$  ในสมการที่ (3.21) จะได้

$$U = \frac{K_0 \frac{Qx_i}{M}}{\frac{K_s Q}{(1-n)M} + \frac{Qx_i}{M}}$$

หรือ

$$U = \frac{K_0 \cdot C}{r + C} \dots \dots \dots (3.24)$$

ในที่นี้  $C = \frac{Qx_i}{M} =$  น้ำหนักมลสารอินทรีย์ต่อมวลจุลินทรีย์  $\dots \dots \dots (3.25)$

และ

$$r = \frac{K_s Q}{(1-n)M} \dots \dots \dots (3.26)$$

### 2.3 มวลจุลินทรีย์ในกระบวนการคอนแทกต์สแตบิไลเซชัน

มวลจุลินทรีย์รวมของระบบ ( $M_T$ ) สามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} M_T &= V_c X_c + V_s X_s + V_{st} X_{st} \dots \dots \dots (3.27) \\ &= M_c + M_s + M_{st} \end{aligned}$$

ถ้ากำหนดให้

$$\alpha = \frac{V_c X_c}{M_T} = \frac{M_c}{M_T} \dots \dots \dots (3.28)$$

$$\beta = \frac{V_s X_s}{M_T} = \frac{M_s}{M_T} \dots \dots \dots (3.29)$$

$$\phi = \frac{V_{st} X_{st}}{M_T} = \frac{M_{st}}{M_T} \dots \dots \dots (3.30)$$

เราจะ ได้  $\alpha + \beta + \phi = \frac{V_c X_c + V_s X_s + V_{st} X_{st}}{M_T} = 1 \dots \dots \dots (3.31)$

เมื่อค่า  $\phi$  มีค่าน้อยเมื่อคิดเทียบกับค่าของ  $\alpha$  และ  $\beta$  สมการที่ (3.31) จะเขียนได้เป็น

$$\alpha + \beta = 1 \dots \dots \dots (3.32)$$

เมื่อใช้สมการที่ (3.17) และ (3.20) กับระบบจะได้  $\frac{1}{\theta_c} = \frac{Y Q (x_i - x_e)}{M_T} - k_d$

หรือ  $M_T = \frac{Y Q \theta_c (x_i - x_e)}{1 + k_d \theta_c} \dots \dots \dots (3.33)$

ถ้าไม่มีปฏิกิริยาชีวเคมีในถังตกตะกอน ( $x_c = x_e$ ) สมการที่ (3.33) สามารถเขียนเป็น

$$M_T = \frac{Y Q \theta_c (x_i - x_c)}{1 + k_d \theta_c} \dots \dots \dots (3.34)$$

จากสมการที่ (3.20), (3.22) และ (3.25) หาค่า  $U_T$  จะได้

$$U_T = n_T C_T \dots \dots \dots (3.35)$$

สำหรับถังคอนแทกต์ สมการที่ (3.35) จะเป็น

$$U_c = n_c C_c \dots \dots \dots (3.36)$$

ในที่นี้  $U_c = \frac{Q[x_i + R x_s - (1 + R)x_c]}{M_c} \dots \dots \dots (3.37)$

$$C_c = \frac{Q(x_i + R x_s)}{M_c} \dots \dots \dots (3.38)$$

$$n_c = 1 - \frac{(1 + R)x_c}{x_i + Rx_s} \dots\dots\dots(3.39)$$

จากสมการที่ (3.24) สำหรับขบวนการคอนแทกต์สเตบิลไอเซชัน จะได้

$$U_T = \frac{(K_0)_T \cdot C_T}{r_T + C_T} \dots\dots\dots(3.40)$$

และ

$$U_c = \frac{(K_0)_c \cdot C_c}{r_c + C_c} \dots\dots\dots(3.41)$$

จากสมการ (3.35) และ (3.40) จะได้

$$n_T = \frac{(K_0)_T}{r_T + C_T} \dots\dots\dots(3.42)$$

ในทำนองเดียวกันจากสมการ (3.36) และ (3.41) จะได้

$$n_c = \frac{(K_0)_c}{r_c + C_c} \dots\dots\dots(3.43)$$

จากสมการ (3.19) และ (3.40) จะได้

$$U_T = \frac{(K_0)_T x_e}{(K_s)_T + x_e} = \frac{(K_0)_T C_T}{r_T + C_T}$$

หรือ

$$(K_s)_T = r_T \cdot \frac{1}{C_T} \cdot x_e \dots\dots\dots(3.44)$$

ในทำนองเดียวกันจะได้

$$(K_s)_c = r_c \cdot \frac{1}{C_c} \cdot x_c \dots\dots\dots(3.45)$$

หารสมการที่ (3.45) ด้วยสมการที่ (3.44) จะได้

$$\frac{(K_s)_c}{(K_s)_T} = \frac{r_c C_T x_c}{r_T C_c x_e}$$

ถ้าไม่มีปฏิกริยาชีวเคมีในถังตกตะกอนหรือ  $x_c = x_e$  สมการข้างบนจะเป็น

$$\frac{(K_s)_c}{(K_s)_T} = \frac{r_c C_T}{r_T C_c} \dots\dots\dots(3.46)$$

จากสมการ (3.26) หาค่า  $(K_s)$  ของระบบและถังคอนแทกต์จะได้

สำหรับระบบ  $(K_s)_T = \frac{r_T (1-n) M_T}{Q} \dots\dots\dots(3.47)$

สำหรับถังคอนแทกต์  $(K_s)_c = \frac{r_c (1-n_c) M_c}{(1+R) Q} \dots\dots\dots(3.48)$

หารสมการที่ (3.48) ด้วยสมการที่ (3.47)

$$\frac{(K_s)_c}{(K_s)_T} = \frac{r_c (1-n_c)}{r_T (1-n_T)} \cdot \frac{M_c}{M_T} \cdot \frac{1}{(1+R)} \dots\dots\dots(3.49)$$

สมการที่ (3.48) = (3.49) ดังนั้น

$$\frac{r_c C_T}{r_T C_c} = \frac{r_c (1-n_c)}{r_T (1-n_T)} \cdot \frac{\alpha}{(1+R)}$$

หรือ  $n_c = 1 - \frac{C_T (1-n_T)(1+R)}{C_c} \dots\dots\dots(3.50)$

หาค่า  $x_e$  ของระบบโดยแทนค่าสมการ (3.19) ลงในสมการ (3.17) จะได้

$$x_e = \frac{(K_s)_T (1 + k_d \theta_c)}{\theta_c [Y(K_0)_T - k_d] - 1} \dots\dots\dots(3.51)$$

แทนค่าสมการที่ (3.44) ในสมการที่ (3.51) จะได้

$$C_T = \frac{r_T (1 + k_d \theta_c)}{\theta_c [Y(K_0)_T - k_d] - 1} \dots\dots\dots(3.52)$$

เวลาในการเก็บกักของถังคอนแทกต์ และถังสเตบิไลเซชัน หาได้โดย

$$t_c = \frac{V_c}{Q} \dots\dots\dots(3.53)$$

$$t_{cr} = \frac{V_{cr}}{(1+R)Q} \dots\dots\dots(3.54)$$

$$t_s = \frac{V_s}{Q} \dots\dots\dots(3.55)$$

$$t_{sr} = \frac{V_s}{RQ} \dots\dots\dots(3.56)$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย