

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 หลักการทําานทั่วไปของระบบบ่อเติมอากาศ

การบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนมีหลายวิธี เริ่มตั้งแต่ระบบ Oxidation Ponds ที่ง่ายที่สุด อาศัยธรรมชาติมากที่สุด ไปจนถึงระบบที่ยากที่สุดและอาศัยธรรมชาติน้อยที่สุด เช่น ระบบ Activated Sludge อย่างไรก็ตามระบบต่างๆเหล่านี้ อาศัยหลักการอันเดียวกัน คือ ใช้แบคทีเรียเป็นตัวกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทั้งด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งระบบแต่ละระบบจะแตกต่างกันตรงวิธีการให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรีย และการควบคุมปฏิกิริยาของแบคทีเรีย

ระบบบำบัดน้ำเสียชนิดบ่อเติมอากาศแบบผสมอย่างสมบูรณ์ (Completely Mixed Aerated Lagoon, CMAL) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุดแบบหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โรงงานกระดาษ โรงงานทอผ้า และโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเป็นระบบที่การควบคุมระบบทำได้ง่าย ค่าก่อสร้างต่ำ ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างระบบไม่มากจนเกินไป สามารถรับ Shock load ได้ดีเพราะว่ามีปริมาณมาก ไม่มีกลิ่นเหม็นและเหตุเดือดร้อนรำคาญอย่างอื่น และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูงพอสมควร

บ่อเติมอากาศที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ส่วนมากจะเป็นบ่อค่อนข้างตื้น มีพื้นที่ผิวมาก การทำงานเป็นแบบไหลผ่าน(Once Through)ไม่มีการเวียนกลับของตะกอนแบคทีเรีย ดังนั้น ระยะเวลาที่น้ำตั้งถูกกักอยู่ในบ่อเติมอากาศ(Hydraulic Retention Time, HRT) จึงเท่ากับ เวลาเฉลี่ยที่แบคทีเรียถูกกักอยู่ในบ่อเติมอากาศ (Mean Cell Residence Time หรือ Solid Retention Time, SRT) นั่นคือ $HRT = SRT$ บ่อเติมอากาศจึงต้องใหญ่พอที่จะกักเก็บ น้ำไว้ได้หลายวัน เพื่อให้ค่า HRT สูงกว่าระยะเวลาในการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรีย (Cell Reproduction Time) มิฉะนั้น จะไม่มีแบคทีเรียในบ่อเติมอากาศเพียงพอแก่การทลายสาร อินทรีย์น้ำตั้ง

บ่อเติมอากาศแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ (Benjes, 1970)

1. Completely Mixed Aerated Lagoon บ่อเติมอากาศแบบผสม อย่างสมบูรณ์ เป็นบ่อเติมอากาศชนิดตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ชนิดไม่มีการเวียน ตะกอนกลับแบบหนึ่ง การเติมอากาศจะมีอัตราสูงพอที่จะกระจายออกซิเจนไปทั่วทุกจุดของบ่อและ เพียงพอที่จะกวนน้ำให้กันบ่อผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ตะกอนของแข็งจะแขวนลอยอยู่ในน้ำทั้งหมด การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ไม่มีการตกตะกอนของของแข็งในบ่อ หากน้ำที่ออกจากบ่อเติมอากาศมีความขุ่นสูง โดยทั่วไปจะมีบ่อตกตะกอนตามหลังบ่อเติมอากาศ เพื่อลดค่า บีโอดี และ SS ก่อนที่จะปล่อยน้ำทิ้งออกไป

2. Facultative Aerated Lagoon ในบ่อเติมอากาศแบบนี้การเติม อากาศจะพอเพียงที่จะให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรียที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ แต่ไม่เพียงพอที่จะกวนน้ำให้ ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน หากมีการตกตะกอนของของแข็งหนักที่ก้นบ่อ ซึ่งทำให้เกิดการย่อยสลาย แบบไร้ออกซิเจนที่ก้นบ่อ กลายเป็นก๊าซมีเทน และ สารละลายอินทรีย์ ซึ่งจะถูกลย่อยสลายโดย แบคทีเรียที่แขวนลอยอยู่อีกครั้งหนึ่ง

3. Aerated Oxidation Pond คือ บ่อฝังที่มีการเติมอากาศเพื่อช่วยให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรียในบ่อฝังที่มีอยู่ ซึ่งรับออร์แกนิกโหลดที่สูงกว่าความสามารถในการบำบัดของบ่อฝังธรรมดาที่จะรับได้ เป็นการทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดของบ่อฝังสูงขึ้น

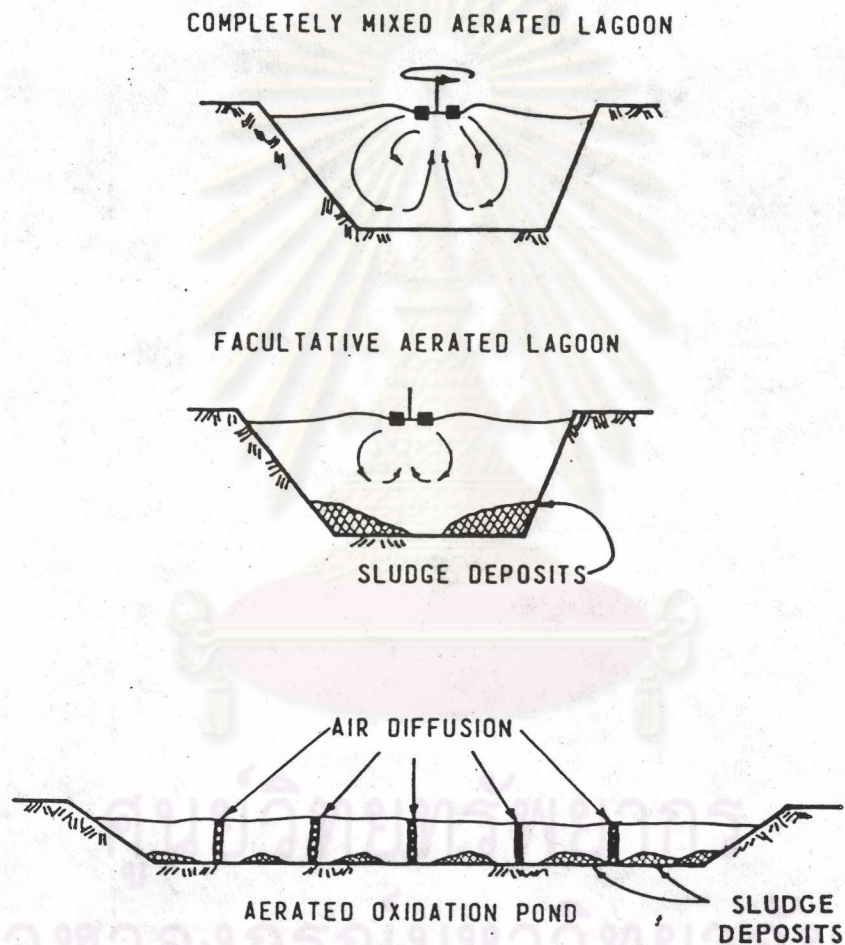


Figure 1

รูปที่ 2.1 แสดงชนิดของบ่อเติมอากาศ (Benjes, 1970)

2.2 จลนพลศาสตร์ของระบบบ่อเติมอากาศแบบผสมอย่างสมบูรณ์

2.2.1 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเจริญเติบโตของจุลชีพ

เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเจริญเติบโตของจุลชีพ อาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. การเจริญเติบโตของเซลล์ (Cell Growth) และ การใช้สารอาหาร (Substrate Utilization)
2. การตาย (Death)
3. การสลายตัว (Decay)

2.2.1.1 การเจริญเติบโตของเซลล์และการใช้สารอาหาร

ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของเซลล์ และ การใช้สารอาหารแสดงโดย ยิลด์ (Yield) หรือ อัตราส่วนของการเจริญเติบโตต่ออัตราของการใช้สารอาหารของแบคทีเรีย ดังสมการที่ (1-1)

$$Y_g = \frac{r_{GX_v}}{-r_s} \quad (1-1)$$

โดยที่ Y_g = ยิลด์
 $-r_s$ = อัตราการใช้สารอาหาร (ก./ม.³-ชม.)

อัตราการทําปฏิกิริยาสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย อาจแสดงโดยสมการ
อันดับที่หนึ่ง (First Order Equation) ได้ดังสมการที่ (1-2)

$$r_{GXV} = \mu \cdot X_V \quad (1-2)$$

โดยที่ r_{GXV} = อัตราการผลิตแบคทีเรียที่ Viable (ก./ม.³-ชม.)
 X_V = ความเข้มข้นของแบคทีเรียที่ Viable (ก./ม.³)
 μ = ตัวคงที่อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate Constant) (ชม.⁻¹)
 = มวลของเซลล์ที่ Viable ที่เกิดขึ้นต่อหน่วยเวลา
 มวลของเซลล์ที่ Viable ที่มีอยู่

จาก สมการที่ (1-1) และ (1-2) จะได้สมการของอัตราการใช้อาหารดังนี้

$$-r_s = \frac{r_{GXV}}{Y_g} = \frac{\mu \cdot X_V}{Y_g} \quad (1-3)$$

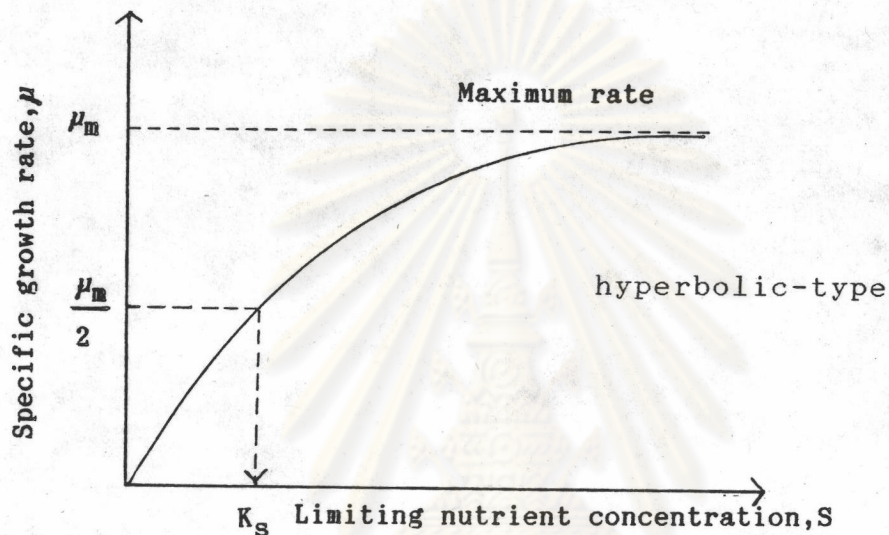
อัตราส่วน μ/Y_g เรียกว่า อัตราการใช้อาหารจำเพาะ (Specific Rate of Substrate Removal) และแทนด้วยสัญลักษณ์ q ดังนั้น

$$-r_s = q \cdot X_V \quad (1-4)$$

Monod, 1949 ได้เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง μ และ S ดังสมการ
ที่ (1-5)

$$\mu = \frac{\mu_m \cdot S}{K_S + S} \quad (1-5)$$

- โดยที่ S = ความเข้มข้นของสารอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโต (Growth Limiting Substrate)
- K_s = ตัวคงที่การอิ่มตัว (Saturation Constant) คือ ความเข้มข้นของสารอาหารที่ μ มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของ μ_m (หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ตัวคงที่ที่มีความเร็วครึ่งหนึ่ง (Half Velocity Constant))



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง μ กับ S ที่ได้จากการทดลองของ Monod

2.2.1.2 การตายและการมีชีวิต

การมีชีวิต (Viability) ของกลุ่มจุลชีพมีนิยามว่า คือ จำนวนของเซลล์ที่มีชีวิตอยู่หารด้วยจำนวนเซลล์ทั้งหมดตั้งสมการที่ (1-6)

$$v = \frac{X_v}{X_v + X_d} \quad (1-6)$$

โดยที่ v = การมีชีวิต (ไม่มีหน่วย)

X_d = ความเข้มข้นของเซลล์ที่ตาย (ก./ม.³)

อัตราการตายของแบคทีเรียที่มีชีวิต จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของแบคทีเรียที่มีชีวิต ดังสมการที่(1-7)

$$r_{DX_v} = \delta \cdot X_v \quad (1-7)$$

โดยที่ r_{DX_v} = อัตราการตายของแบคทีเรียที่มีชีวิต(ก./ม.³-ชม.)

δ = ค่าคงที่อัตราการตายจำเพาะ (ชม.⁻¹)

อัตราการผลิตแบคทีเรียตายจะ เท่ากับอัตราการตายของแบคทีเรียที่มีชีวิต ดังสมการที่ (1-8)

$$r_{GX_d} = r_{DX_v} \quad (1-8)$$

โดยที่ r_{GX_d} = อัตราการผลิตแบคทีเรียตาย(ก./ม.³-ชม.)

2.2.1.3 การสลายตัวของแบคทีเรีย

การหายไปของมวลของเซลล์โดยปกติเรียกว่า การสลายตัวของแบคทีเรีย อัตราการสลายตัวขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์(เป็นหรือตาย) ที่กำลังสลายตัวอยู่ ดังสมการที่(1-9)และ(1-10)

$$r_{dX_v} = b_v \cdot X_v \quad (1-9)$$

$$r_{dX_d} = b_d \cdot X_d \quad (1-10)$$

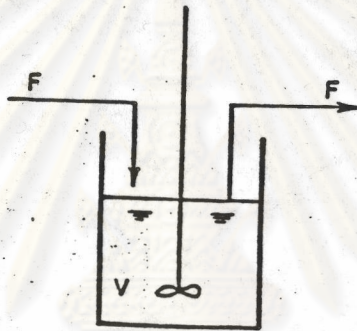
โดยที่ r_{dX_v} = อัตราการสลายตัวของเซลล์ที่มีชีวิต(ก./ม.³-ชม.)

r_{dX_d} = อัตราการสลายตัวของเซลล์ที่ตาย(ก./ม.³-ชม.)

b_v, b_d = ค่าคงที่อัตราการสลายตัวจำเพาะ ของเซลล์ที่มีชีวิตและ เซลล์ที่ตายตามลำดับ

2.2.2 จลนพลศาสตร์ของระบบบ่อเติมอากาศแบบผสมอย่างสมบูรณ์แบบเดี่ยว

เนื่องจากระบบบ่อเติมอากาศแบบผสมอย่างสมบูรณ์ เป็นถังปฏิกรณ์ที่มีการผสมอย่างสมบูรณ์ตลอดเวลา และมีน้ำไหลผ่านทางเดี่ยว (Single Pass) ทำให้ระบบนี้เข้าในลักษณะของ CSTR แบบเดี่ยวที่ไม่มีการเวียนตะกอนกลับ ดังนั้นจึงสามารถนำเอาแบบจำลองจลนพลศาสตร์ของ CSTR แบบเดี่ยวที่ไม่มีการเวียนตะกอนกลับ มาใช้สำหรับอธิบายการทำงานของระบบบ่อเติมอากาศแบบเดี่ยวได้



Influent

S_0 - Soluble, biodegradable substrate, mg/l
 X_0 - cells, mg/l
 Z_{i0} - inert solids, mg/l
 Z_{b0} - biodegradable solids, mg/l
 Z_0 - total (non-cell) solids, mg/l
 M_0 - total suspended solids

Reactor and Effluent

S - Soluble, biodegradable substrate, mg/l
 X - total cells, mg/l
 X_v - viable cells, mg/l
 X_d - dead cells, mg/l
 Z_j - inert solids, mg/l
 M_0 - total suspended solids

รูปที่ 2.3 ลักษณะทั่วไปของ CSTR แบบเดี่ยว

รูปที่ 2.3 เป็นลักษณะทั่วไปของ CSTR แบบเดี่ยว โดยที่ถังปฏิกรณ์มีปริมาตรเท่ากับ V มีอัตราการไหลของน้ำเข้าเท่ากับ F มีสารอาหารละลายในน้ำเข้าเท่ากับ S_0 มีสารแขวนลอยเท่ากับ M_0 ซึ่งสารแขวนลอยประกอบด้วย แบคทีเรียเท่ากับ X_0 สารแขวนลอยที่ย่อยสลายได้ทางชีววิทยาเท่ากับ Z_{b0} และสารแขวนลอยที่ย่อยสลายทางชีววิทยาไม่ได้เท่ากับ Z_{i0} ดังนั้น

$$M_o = X_o + Z_{bo} + Z_{io} \quad (2-1)$$

สมมุติว่าสิ่งที่เข้าไปในถังปฏิกิริยาคองที่ เช่น pH อุณหภูมิ และ สภาพแวดล้อมอื่นๆ
 ดังนั้น ภายในถังปฏิกิริยาแบคทีเรียจะใช้สารอาหารและเจริญเติบโต จนมีความเข้มข้นเท่ากับ X
 ขณะที่สารอาหารจะลดลงเหลือเท่ากับ S และเนื่องจาก ถังปฏิกิริยาเป็นแบบผสมอย่างสมบูรณ์
 ความเข้มข้นของสารที่อยู่ในน้ำออกจะ เหมือนกับที่อยู่ในถังปฏิกิริยา

2.2.2.1 แบบจำลองพื้นฐาน

เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นถึง การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ใน
 CSTR จะพิจารณากรณีที่ง่ายที่สุดก่อนคือ กรณีที่มีเฉพาะสารละลายอินทรีย์ในน้ำเข้า ($M_o = 0$)
 ดังนั้น สารแขวนลอยที่อยู่ในถังปฏิกิริยาจึง เป็นแบคทีเรียทั้งหมด ดังสมการที่ (2-2)

$$M = X \quad (2-2)$$

2.2.2.1.1 ความเข้มข้นของสารอาหารละลาย

จากสมการของ Monod ซึ่งแสดงความสัมพันธ์
 ระหว่าง อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของแบคทีเรียกับสารอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโตดัง
 สมการที่ (1-5)

$$\mu = \frac{\mu_m \cdot S}{K_s + S} \quad (1-5)$$

สมการนี้มีความว่า การควบคุมอัตราการเจริญเติบโตเฉพาะของแบคทีเรียกระทำได้ โดยการควบคุมความเข้มข้นของสารอาหาร จากสมการที่ (1-5) สามารถจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$S = \frac{\mu \cdot K_s}{\mu_m - \mu} \quad (2-3)$$

ถังปฏิกริยา CSTR สามารถควบคุมอัตราการเจริญเติบโตเฉพาะได้ ซึ่งเห็นได้จากการทำ Mass Balance ของจุลชีพที่มีชีวิตในถังปฏิกริยา ที่สภาวะคงที่ ดังสมการที่ (2-4)

$$0 - F \cdot X_v + r_{Gx_v} \cdot V - r_{Dx_v} \cdot V - r_{dx_v} \cdot V = 0 \quad (2-4)$$

แทนค่า $r_{Gx_v} = \mu \cdot X_v$, $r_{Dx_v} = \delta \cdot X_v$, $r_{dx_v} = b \cdot X_v$ และ $\tau = V/F$ ลงในสมการที่ (2-4) จะได้ว่า

$$\mu = \frac{1}{\tau} + \delta + b \quad (2-5)$$

จากสมการที่ (2-5) ค่า δ และ b เป็นค่าคงที่ ดังนั้น μ จึงควบคุมได้โดยการปรับค่า τ ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับค่าอัตราการไหลเมื่อถังปฏิกริยามีขนาดคงที่ หรือปรับขนาดของถังปฏิกริยาถ้ากำหนดอัตราการไหลให้คงที่ การหาค่า S ในเทอมของ τ ทำได้โดยการแทนค่า μ จากสมการที่ (2-5) ลงในสมการที่ (2-3) ดังนี้

$$S = \frac{K_s (1/\tau + \delta + b)}{\mu_m - (1/\tau + \delta + b)} \quad (2-6)$$

จากสมการที่ (2-6) จะหาความเข้มข้นต่ำสุดของสารอาหารที่เหลืออยู่ในถังปฏิกริยาได้โดยให้ค่า τ มีค่าสูงมากๆ (ค่า $1/\tau$ เข้าใกล้ศูนย์) ดังสมการที่ (2-7)

$$S_{\min} = \frac{K_s (\delta + b)}{\mu_m - (\delta + b)} \quad (2-7)$$

สมการที่ (2-7) แสดงว่า S_{min} จะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารอาหารที่ถูกย่อยสลาย และชนิดของแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารนั้น ในการใช้ CSTR เพื่อลดความเข้มข้นของน้ำเสียควรที่จะเปรียบเทียบกับ S_{min} ถ้าความเข้มข้นที่ต้องการมีค่าน้อยกว่า S_{min} ก็แสดงว่า CSTR ไม่สามารถลดความเข้มข้นของน้ำเสียลงได้ ต้องใช้วิธีการอื่นแทน

ค่าอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดของแบคทีเรียที่เลี้ยงอยู่ในสารอาหารที่กำหนดให้ ($\hat{\mu}$) ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอาหารที่เข้าสู่ระบบ (S_0) ดังสมการที่ (2-8)

$$\hat{\mu} = \frac{\mu_m \cdot S_0}{K_s + S_0} \quad (2-8)$$

อัตราการเจริญเติบโตสูงสุดนี้เป็นตัวกำหนดค่าระยะเวลาที่น้ำทิ้งจะอยู่ในถัง, T_{min} ซึ่งหาได้โดยการแทนค่า μ ลงในสมการที่ (2-5) จะได้

$$T_{min} = \frac{K_s + S_0}{S_0 (\mu_m - \delta - b) - K_s (\delta + b)} \quad (2-9)$$

ที่ T_{min} เรียกว่า จุด Washout เพราะว่าถ้า T มีค่าน้อยกว่า T_{min} แบคทีเรียจะถูกล้างออกจากถังปฏิกริยาจนหมดและไม่มีการใช้สารอาหารต่อไป

2.2.2.1.2 ความเข้มข้นของสารแขวนลอย

เนื่องจากน้ำเข้ามีแค่สารอาหารละลาย ดังนั้น สารแขวนลอยทั้งหมดที่อยู่ในถังปฏิกริยาจะเป็นแบคทีเรียทั้งหมด ($M = X$) แบคทีเรียเหล่านี้ จะประกอบด้วย เซลล์ที่มีชีวิต (X_v) และ เซลล์ที่ตาย (X_d) ดังสมการที่ (2-10)

$$X = X_v + X_d \quad (2-10)$$

ความเข้มข้นของแบคทีเรียที่มีชีวิต (X_v) ซึ่งเกิดขึ้นจากการใช้สารอาหาร สามารถหาได้จากสมการสมดุลย์ของมวลของสารอาหาร

$$F \cdot S_0 - F \cdot S - r_s \cdot V = 0 \quad (2-11)$$

แทนค่าอัตราการใช้สารอาหาร (r_s) จากสมการที่ (1-3) ลงในสมการที่ (2-11) แล้วจัดรูปสมการใหม่ จะได้

$$X_v = \frac{Y_g(S_0 - S)}{\mu \cdot T} \quad (2-12)$$

แทนค่า $\mu = 1/T + \alpha + b$ ลงในสมการที่ (2-12) จะได้

$$X_v = \frac{Y_g(S_0 - S)}{1 + \alpha \cdot T + b \cdot T} \quad (2-13)$$

ความเข้มข้นของแบคทีเรียที่ตายอาจหาได้จาก สมการสมดุลย์ของมวลของแบคทีเรียที่ตาย ดังสมการที่ (2-14)

$$0 - F \cdot X_d + r_{GX_d} \cdot V - r_{dX_d} \cdot V = 0 \quad (2-14)$$

แทนค่า $r_{GX_d} = r_{DX_v} = \alpha \cdot X_v$ และ $r_{dX_d} = b \cdot X_d$ ลงในสมการที่ (2-14) จะได้

$$X_d = \frac{\alpha \cdot X_v \cdot T}{1 + b \cdot T} \quad (2-15)$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของแบคทีเรียทั้งหมดหาได้โดยแทนค่า X_v จากสมการที่ (2-13) และค่า X_d จากสมการที่ (2-15) ลงในสมการที่ (2-10) จะได้

$$X = \frac{Y_g(S_0 - S)}{1 + b \cdot T} \quad (2-16)$$

สมการที่ (2-16) นี้ แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของเซลล์ทั้งหมดไม่ขึ้นอยู่กับอัตราการตายจำเพาะ (δ) ของกลุ่มแบคทีเรีย

ยิลด์ที่วัดได้ (Observed Yield) คือ มวลของแบคทีเรียที่เกิดขึ้นต่อมวลของสารอาหารที่เปลี่ยนแปลง ดังสมการที่ (2-17)

$$Y = \frac{X}{S_0 - S} \quad (2-17)$$

แทนค่า X จากสมการที่ (2-16) ลงในสมการที่ (2-17) จะได้

$$Y = \frac{Y_g}{1 + b \cdot \tau} \quad (2-18)$$

จากสมการที่ (2-18) จะเห็นว่า ค่ายิลด์ที่วัดได้จะขึ้นอยู่กับ τ ของถังปฏิกริยา ถ้า τ ยิ่งมาก ค่ายิลด์ที่วัดได้จะมีค่าน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของแบคทีเรีย

สภาพการมีชีวิตรอดของกลุ่มแบคทีเรีย อาจหาได้โดยการใช้สมการที่ (1-6)

$$v = \frac{X_v}{X_v + X_d} = \frac{X_v}{X} \quad (1-6)$$

ผลกระทบของ τ ที่มีต่อสภาพการมีชีวิตรอด อาจหาได้โดยแทนค่าสมการที่ (2-13) และ (2-15) ลงในสมการที่ (1-6) จะได้

$$v = \frac{1 + b \cdot \tau}{1 + b \cdot \tau + \delta \cdot \tau} \quad (2-19)$$

สมการที่ (2-19) มีความหมายว่า ถึงปฏิกิริยาที่มี τ สูงจะทำให้แบคทีเรียมีสภาพการมีชีวิตต่ำ

2.2.2.1.3 ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการ

ปริมาณออกซิเจนดีมานด์ (ของสารอาหาร) ที่ถูกกำจัดออกไปจากนี้ จะเท่ากับ ปริมาณออกซิเจนดีมานด์ที่ถูกใช้ไปโดยแบคทีเรียรวมกับปริมาณออกซิเจนดีมานด์ที่ใช้ในการสร้าง เซลล์ของแบคทีเรีย

สมการแสดงสมดุลย์ทางมวลของ ออกซิเจน ดีมานด์ของสารต่างๆภายในถังปฏิกิริยา แสดงในสมการที่(2-20)

$$F \cdot S_0 - F \cdot S - F \cdot \beta \cdot X - r_o \cdot V = 0 \quad (2-20)$$

โดยที่ β = ออกซิเจนดีมานด์ต่อหน่วยมวลของเซลล์

r_o = อัตราการใช้ ออกซิเจน (มก./ล.-ชม.)

แทนค่า X จากสมการที่ (2-16) ลงในสมการที่ (2-20) แล้วจัดเรียงสมการใหม่ได้ดังนี้

$$r_o = \frac{(S_0 - S)(1 + b \cdot \tau - \beta \cdot Y_g)}{\tau(1 + b \cdot \tau)} \quad (2-21)$$

ถ้าให้ $RO = r_o \cdot V$ (2-22)

โดยที่ RO เป็นเทอมที่คล้ายกับ r_o แต่มีหน่วยเป็น มก.ต่อ ชม. ดังนั้น

$$RO = \frac{F(S_0 - S)(1 + b \cdot \tau - \beta \cdot Y_g)}{(1 + b \cdot \tau)} \quad (2-23)$$

2.2.2.2 การแก้ไขและตัดแปลงแบบจำลองพื้นฐาน

น้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่จะมีตะกอนแขวนลอยปนอยู่ ดังนั้นแบบจำลองที่ดีจะต้องใช้ได้กับกรณีที่มีตะกอนแขวนลอยในน้ำด้วย ตะกอนแขวนลอยมีอยู่ 3 ชนิด คือ ตะกอนเฉื่อย ตะกอนแบคทีเรียและตะกอนอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีววิทยา ตะกอนทั้งสามมีผลต่อการทำงานของถังปฏิกริยาในลักษณะที่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

2.2.2.2.1 ตะกอนเฉื่อย

ตะกอนเฉื่อยจะไม่ถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียในถังปฏิกริยา ดังนั้น ความเข้มข้นของตะกอนเฉื่อยในถังปฏิกริยา จึงเท่ากับในน้ำเข้า นั่นคือ

$$Z_i = Z_{i0} \quad (2-24)$$

ผลอย่างเดียวกับที่ตะกอนเฉื่อยมีต่อระบบ คือ ทำให้ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในถังปฏิกริยาเพิ่มขึ้น นั่นคือ

$$M = X + Z_i \quad (2-25)$$

2.2.2.2.2 ตะกอนแบคทีเรีย

สมการที่ (2-26) เป็นสมการแสดงสมดุลย์ทางมวลของแบคทีเรียที่มีชีวิตในถังปฏิกริยา

$$F \cdot X_{V0} - F \cdot X_V + r_G X_V - r_D X_V - r_d X_V = 0 \quad (2-26)$$

โดยที่ X_{V0} = ความเข้มข้นของแบคทีเรียที่มีชีวิตในน้ำเข้า (ก./ม.³)

จากสมการที่(2-26) แทนค่า $rGX_v = \mu \cdot X_v$, $rDX_v = \delta \cdot X_v$ และ $rDX_v = b \cdot X_v$ จะได้สมการของ μ ในเทอมของพารามิเตอร์อื่น ๆ ดังนี้

$$\mu = (1 - \frac{X_{vo}}{X_v}) \cdot \frac{1}{T} + \delta + b \quad (2-27)$$

สมการที่(2-27) แสดงว่าแบคทีเรียที่มีชีวิตในน้ำเข้าจะทาให้ μ ลดลงหมายความว่า ถ้าถังปฏิบัติการ 2 ใบ มี T เท่ากัน และอยู่ภายใต้สภาวะต่างๆที่เหมือนกัน แต่ถังใบหนึ่งได้รับน้ำเข้าที่มีเซลล์มีชีวิต ถังใบนี้จะให้น้ำออกที่มีสารอาหารเหลือน้อยกว่า

โดยอาศัยหลักการเช่นเดียวกับสมการของแบบจำลองพื้นฐาน จะหาสมการต่างๆเพื่อใช้ในการออกแบบได้ดังนี้

$$X_v = \frac{X_{vo} + Y_g(S_o - S)}{1 + b \cdot T + \delta \cdot T} \quad (2-28)$$

$$X_d = \frac{X_{do} + \delta \cdot X_v \cdot T}{1 + b \cdot T} \quad (2-29)$$

$$X = \frac{X_o + Y_g(S_o - S)}{1 + b \cdot T} \quad (2-30)$$

$$X_o = X_{vo} + X_{do} \quad (2-31)$$

$$v = \frac{(1 + b \cdot T)}{(1 + b \cdot T + \delta \cdot T)} \cdot \frac{(X_{vo} + Y_g(S_o - S))}{(X_o + Y_g(S_o - S))} \quad (2-32)$$

$$RO = \frac{F[(S_o - S)(1 + b \cdot T - \beta \cdot Y_g) + X_o[(\beta_o - \beta) + \beta_o \cdot b \cdot T]]}{1 + b \cdot T} \quad (2-33)$$

โดยที่ β และ β_o เป็นสัมประสิทธิ์ของออกซิเจนดีมานด์ของเซลล์ที่อยู่ในถังปฏิบัติการ และในน้ำเข้าตามลำดับ

ค่า S จะหาได้จากการแก้สมการต่อไปนี้

$$AS^2 - BS + C = 0 \quad (2-34)$$

โดยที่ $A = \mu_m - (1/\tau + \alpha + b) \quad (2-35)a$

$$B = \mu_m(S_0 + X_{v0}/Y_g) + (K_s - S_0)(1/\tau + \alpha + b) \quad (2-35)b$$

$$C = S_0 \cdot K_s(1/\tau + \alpha + b) \quad (2-35)c$$

ในบางครั้ง CSTR จะถูกใช้ทำลายตะกอนแบคทีเรียที่สร้างขึ้นจากปฏิบัติการชีวเคมีแบบอื่น ในกรณีเช่นนี้ X_0 มักมีค่าสูงมาก แต่ในขณะเดียวกัน S_0 จะมีค่าต่ำ ถ้าให้ S_0 มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ S แล้ว สมการที่ใช้หา X, v และ RO จะง่ายขึ้นเพราะว่าเทอมของ $(S_0 - S)$ จะเท่ากับศูนย์ ดังนั้น เราจะได้สมการใหม่ดังนี้

$$X = \frac{X_0}{1 + b \cdot \tau} \quad (2-36)$$

$$v = \frac{(1 + b \cdot \tau) \cdot X_{v0}}{(1 + b \cdot \tau + \alpha \cdot \tau) X_0} \quad (2-37)$$

$$RO = \frac{F\{X_0[(\beta_0 - \beta) + \beta_0 \cdot b \cdot \tau]\}}{1 + b \cdot \tau} \quad (2-38)$$

2.2.2.2.3 ตะกอนอินทรีย์ในน้ำเข้า

การจัดการอาหารที่เป็นตะกอนอินทรีย์ ด้วยระบบ CSTR แบ่งออกได้เป็น 2 กรณี ตามอัตราส่วนของปริมาณของตะกอนอินทรีย์ต่อปริมาณของสารอาหารละลาย ดังนี้

1. เมื่อตะกอนอินทรีย์เป็นส่วนประกอบสำคัญของสารอาหาร
2. เมื่อตะกอนอินทรีย์เป็นส่วนประกอบเล็กน้อยของสารอาหาร

กรณีตะกอนอินทรีย์เป็นส่วนประกอบสำคัญของสารอาหาร อัตราการทลายตะกอนอินทรีย์จะสมมุติให้เป็นฟังก์ชันอันดับหนึ่งกับความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ทางชีววิทยา จะไม่มีการแยกความแตกต่างระหว่างตะกอนอินทรีย์กับตะกอนแบคทีเรีย

สมการที่ใช้ทำนายความเข้มข้นของตะกอนทั้งหมด (เซลล์+สารอินทรีย์) ก็คือ สมการ (2-36) เพียงแต่ใช้เทอม M_{bo} และ M_b แทนเทอม X_o และ X ตามลำดับ จะได้สมการใหม่ดังนี้

$$M_b = \frac{M_{bo}}{1 + b \cdot T} \quad (2-39)$$

ในทางตรงกันข้ามจะได้สมการของ v และ RO ดังนี้

$$v = \frac{(1 + b \cdot T)}{(1 + b \cdot T + \gamma \cdot T)} \cdot \frac{M_{bvo}}{M_{bo}} \quad (2-40)$$

$$RO = \frac{F \{ M_{bo} [(\beta_o - \beta) + \beta_o \cdot b \cdot T] \}}{1 + b \cdot T} \quad (2-41)$$

กรณีที่สอง ตะกอนอินทรีย์เป็นเพียงการเพิ่มปริมาณของสารอาหารให้กับ ส่วนที่เป็นสารละลายเท่านั้น สมมุติฐานที่ถูกตั้งขึ้นเพื่อทำให้สามารถนำเอาสมการต่างๆ ที่ใช้กับกรณีสารอาหารเป็นสารละลายอินทรีย์มาใช้ได้ โดยการแก้ไขเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย คือ ข้อแรก สมมุติว่า อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ถูกกำหนดโดยความเข้มข้นของสารอาหารละลายเท่านั้น ข้อที่สองให้ถือว่าไม่มีตะกอนสารอาหารอยู่จนถึงปฏิกิริยาโดยสมมุติว่า ตะกอนสารอาหารเป็นเสมือนสารอาหารละลายที่มีปริมาณอินทรีย์เท่ากัน ดังนั้นอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจึงต้องสูงขึ้นถ้ามีตะกอนอินทรีย์อยู่ด้วย

ข้อแตกต่างระหว่าง สมการที่ใช้กับ สารอาหารละลายเพียงอย่างเดียวกับสมการที่ใช้ได้กับสารอาหารที่อยู่ในรูปสารละลายและ ตะกอนอยู่ที่สัญลักษณ์เท่านั้น เนื่องจากตะกอนอินทรีย์ไม่ทำให้ความเข้มข้นของสารอาหารละลายจนถึงปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลง จึงสามารถนำสมการที่

(2-6) สำหรับในกรณีที่นี้ด้วย

$$S = \frac{K_s (1/\tau + \theta + b)}{\mu_m - (1/\tau + \theta + b)} \quad (2-6)$$

เช่นเดียวกันสมการ (2-7), (2-8) และ (2-9) ซึ่งยังคงใช้ได้เช่นกัน

$$S_{\min} = \frac{K_s(\theta + b)}{\mu_m - (\theta + b)} \quad (2-7)$$

$$\mu = \frac{\mu_m \cdot S_0}{K_s + S_0} \quad (2-8)$$

$$\tau_{\min} = \frac{K_s + S_0}{S_0 (\mu_m - \theta - b) - K_s(\theta + b)} \quad (2-9)$$

การหาความเข้มข้นของแบคทีเรียที่เข้าสมการที่ (2-16) แต่เปลี่ยนสัญลักษณ์จาก x เป็น x' ซึ่งหมายถึง ความเข้มข้นประสิทธิภาพ (Effective Cell Concentration) กล่าวคือ มีทั้งเซลล์รวมทั้งตะกอนอินทรีย์ ดังสมการที่ (2-42)

$$x' = \frac{Y_g'(S_0' - S)}{1 + b \cdot \tau} \quad (2-42)$$

ในทางอนเดียวกับ x' ค่า r_0' จะหาได้จากการแทนค่า S_0 และ Y_g ด้วยค่า S_0' และ Y_g' ในสมการที่ (2-21) ดังนี้

$$r_0' = \frac{(S_0' - S)(1 + b \cdot \tau - \beta \cdot Y_g')}{\tau(1 + b \cdot \tau)} \quad (2-43)$$

ค่า β ของสมการที่ (2-43) จะหาได้จากการทดลองมากกว่าที่จะใช้ค่าที่มาจากแบบจำลองที่ใช้กับสารละลายสารอาหาร ทั้งนี้เพราะค่า β ของทั้งสองกรณีอาจแตกต่างกันมาก

2.2.2.2.4 ตะกอนทุกชนิดในน้ำเข้า

ผลกระทบของตะกอนเนื่องจากรวมกับผลของตะกอนชนิดอื่นได้ โดยไม่ก่อปัญหายุ่งยาก เพราะมันมีผลต่อปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดเท่านั้น เมื่อใดที่น้ำเข้า มีทั้งตะกอนจุลินทรีย์และตะกอนอินทรีย์อย่างอื่นปนกัน แต่มีสารอาหารละลายต่ำ สมการที่(2-36) และสมการที่(2-38) อาจนำมาใช้ได้โดยใช้ M_{b0} และ M_b แทน X_0 และ X ตามลำดับ ถ้าน้ำเข้ามีลักษณะดังกล่าวข้างต้น แต่มีสารอาหารละลายสูงด้วยจะเป็นกรณีที่ยุ่งยาก ทั้งนี้เพราะว่ามีความลำบากในการหาค่า X_0 ในปัจจุบันยังไม่มีคำตอบที่ดีพอสำหรับกรณีนี้ อย่างไรก็ตามก็นับว่าโชคดีที่นี้ทั้งส่วนใหญ่มักจะมีตะกอนแบคทีเรียอยู่น้อยจนไม่ทำให้เกิดความยุ่งยากในการออกแบบ

2.2.3 จลนพลศาสตร์ของระบบบำบัดอากาศแบบผสมอย่างสมบูรณ์แบบอนุกรม

การทํานายผลการทํานานของ ระบบบำบัดอากาศแบบผสมอย่างสมบูรณ์แบบอนุกรม ไม่สามารถใช้สมการของระบบบำบัดอากาศแบบผสมอย่างสมบูรณ์แบบเดี่ยวมาใช้ได้โดยตรงทั้งหมด เนื่องจากสภาพแวดล้อมทั้งทางด้านกายภาพและชีววิทยาในแต่ละถังจะแตกต่างกันออกไป จำเป็นจะต้องสร้างสมการเพื่อการทํานายผลการทํานานของระบบบำบัดอากาศแบบผสมอย่างสมบูรณ์แบบอนุกรม โดยอาศัยพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ของระบบบำบัดอากาศแบบผสมอย่างสมบูรณ์แบบเดี่ยวดังกล่าวข้างต้น นำมาแก้ไขดัดแปลงเพื่อให้สอดคล้องกับการทํานานของระบบบำบัดอากาศแบบผสมอย่างสมบูรณ์แบบอนุกรม

สมการสำหรับทํานายผลการทํานานของบ่อเติมอากาศใบแรก สามารถที่จะใช้สมการที่กล่าวในตอน 2.2.2 มาอธิบายได้ เนื่องจากการทํานานของบ่อเติมอากาศใบแรกจะเหมือนกับการทํานานของระบบบำบัดอากาศแบบเดี่ยว ดังนั้นความเข้มข้นของสารอาหารละลาย(S)ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์(X) ค่าความมีชีวิตรอด(v) ค่าความต้องการออกซิเจน(RO) และ ระยะ

เวลากักน้ำต่ำสุดที่จะไม่เกิดการwashout (T_{min}) ของบ่อเติมอากาศใบแรกจึงสามารถหาได้จากสมการดังกล่าวโดยไม่ต้องตัดแปลงสมการ

สมการสำหรับทำนายผลการทํางานของบ่อเติมอากาศใบที่สอง และใบต่อไปจะเสมือนกับบ่อเติมอากาศแบบเดี่ยวที่ได้รับน้ำเข้าซึ่งประกอบด้วย สารอาหารละลายและจุลินทรีย์รวมกัน ดังสมการต่อไปนี้

2.2.3.1 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของบ่อเติมอากาศใบที่ n แสดงในสมการที่ (3-1) ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของบ่อเติมอากาศใบที่อยู่ก่อนหน้า ในกรณีที่มึระยะเวลากักน้ำเท่ากันเสมอ

$$\mu_n = (1 - \frac{X_{v(n-1)}}{X_{v(n)}}) \cdot \frac{1}{T_n} + \delta + b \quad (3-1)$$

2.2.3.2 ความเข้มข้นของสารอาหารละลาย

ความเข้มข้นของสารอาหารละลายหาได้จากสมการกำลังสองที่คล้ายกับ สมการที่ (2-34) ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} & [\mu_m - (1/T_n + \delta + b)]S_n^2 - [\mu_m(X_{v(n-1)}/Y_g + S_{n-1}) \\ & + (K_s - S_{n-1})(1/T_n + \delta + b)]S_n \\ & + S_{n-1}K_s(1/T_n + \delta + b) = 0 \quad (3-2) \end{aligned}$$

2.2.3.3 ความเข้มข้นของแบคทีเรียที่มีชีวิต

ความเข้มข้นของแบคทีเรียที่มีชีวิต หาได้จากสมการที่คล้ายกับสมการที่ (2-28) ดังสมการต่อไปนี้

$$X_v(n) = \frac{X_v(n-1) + Y_g(S_{(n-1)} - S_n)}{1 + b \cdot T_n + c \cdot T_n} \quad (3-3)$$

2.2.3.4 ความเข้มข้นของแบคทีเรียที่ตาย

ความเข้มข้นของแบคทีเรียที่ตายหาได้จากสมการที่คล้ายกับสมการที่ (2-29) ดังสมการต่อไปนี้

$$X_d(n) = \frac{X_d(n-1) + X_v(n)T_n}{1 + b \cdot T_n} \quad (3-4)$$

2.2.3.5 ความเข้มข้นของแบคทีเรียทั้งหมด

ความเข้มข้นของแบคทีเรียทั้งหมดหาได้จากสมการที่คล้ายกับสมการที่ (2-30) ดังสมการต่อไปนี้

$$X_n = \frac{X_{n-1} + Y_g(S_{n-1} - S_n)}{1 + b \cdot T_n} \quad (3-5)$$

2.2.3.6 สภาพการมีชีวิตรอดของแบคทีเรีย

สภาพการมีชีวิตรอดของแบคทีเรียหาได้จากสมการที่คล้ายกับสมการที่ (2-32) ดังสมการต่อไปนี้

$$v_n = \frac{1 + b\tau_n}{1 + b\tau_n + \tau_n} \cdot \frac{X_{v(n-1)} + Y_g(S_{n-1} - S_n)}{X_{v(n)} + Y_g(S_{n-1} - S_n)} \quad (3-6)$$

2.2.3.7 ความต้องการออกซิเจน

ค่าความต้องการออกซิเจนหาได้จากสมการที่คล้ายกับ

สมการที่ (2-33) ดังสมการต่อไปนี้

$$RO_n = \frac{F\{(S_{n-1} - S_n)(1 + b\tau_n - \beta_n Y_g) + X_{n-1}[(\beta_{n-1} - \beta_n) + b\tau_n]\}}{1 + b\tau_n}$$

(3-7)

2.2.4 เทคนิคที่ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์

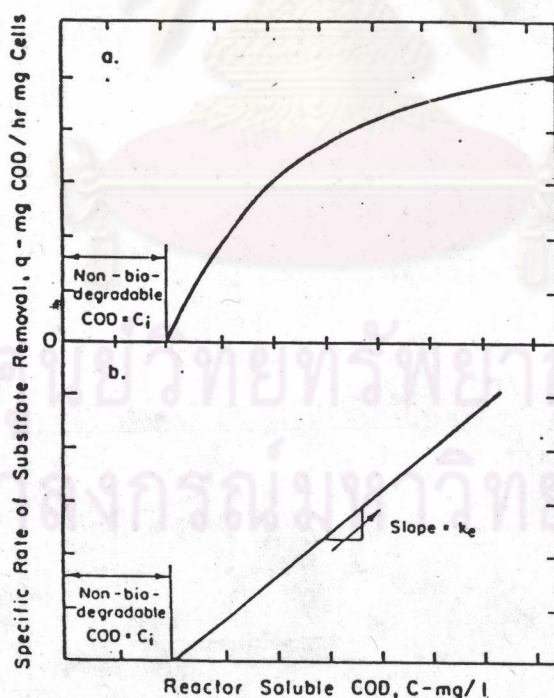
สมการต่างๆที่กล่าวมาแล้วในตอนที่ 2.2.2 สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรง จากนั้นก็ใช้วิธีการหาพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ที่ต้องการได้ เนื่องจากพารามิเตอร์บางตัวจะปรากฏอยู่ในสมการมากกว่าหนึ่งสมการ จึงจำเป็นต้องหาพารามิเตอร์ต่างๆที่ละตัวเป็นขั้นๆไป อนึ่ง ค่าของพารามิเตอร์เหล่านี้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันซึ่งมีผลผลิตที่เกิดจากการหาค่าของพารามิเตอร์ตัวหนึ่งจึงทำให้เกิดความผิดพลาดต่อค่าของพารามิเตอร์ตัวอื่นได้ การนำเอาค่าพารามิเตอร์ต่างๆไปใช้ จึงควรเข้าใจถึงจุดอ่อนข้อนี้ด้วย

เทคนิคที่ใช้หาค่าพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ อาจแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ กรณีสารอาหารเป็นสารละลายอย่างเดี่ยว และกรณีที่มีสารอาหารละลายและตะกอนผสมกัน

2.2.4.1 กรณีที่มีสารอาหารละลายอย่างเดีย

2.2.4.1.1 การหาค่า C_i

การวิเคราะห์หาปริมาณของสารละลายอินทรีย์ในน้ำ มักใช้วิธีหาค่าซีโอดี ซึ่งสามารถทำได้ง่าย อย่างไรก็ตามก็หาค่าซีโอดีใช้วัดปริมาณสารอินทรีย์ทั้งที่ย่อยสลายได้และไม่ได้ด้วยแบคทีเรีย จึงจำเป็นต้องหาซีโอดีเฉพาะส่วนที่ย่อยสลายได้ทางชีววิทยาเท่านั้น ซีโอดีส่วนที่ย่อยสลายทางชีววิทยาได้ (COD_B) หาได้โดยวิธีหลักที่ว่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) และอัตราการใช้สารอาหารจำเพาะ (q) จะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อ COD_B มีค่าเท่ากับศูนย์ ถ้าซีโอดีทั้งหมดถูกย่อยสลายทางชีววิทยาได้แล้วกราฟที่พล็อตระหว่าง q และซีโอดี จะต้องผ่านจุดกำเนิด หากว่าบางส่วนของซีโอดีเป็นสารที่ไม่ย่อยสลายทางชีววิทยากราฟจะไม่ผ่านจุดกำเนิด จุดตัดบนแกนของซีโอดี จะมีค่าเท่ากับส่วนของซีโอดีที่ไม่สลายตัวทางชีววิทยา ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การหาค่า C_i (a) เมื่อช่วงความเข้มข้นของสารอาหารกว้าง
(b) เมื่อความเข้มข้นของสารอาหารต่ำ

อัตราการใช้อาหารจำเพาะ (q) หาได้จากสมการที่ (1-4) และ (2-12) แล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$q = F(S_0 - S)/VX_v \quad (4-1)$$

ค่า q นี้ อาจหาได้จากค่าความเข้มข้นของเซลล์ทั้งหมด (X) เพราะค่า q จะเข้าใกล้ศูนย์ในขณะที่ COD_B เข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้น สมการที่จะใช้หา q สามารถเปลี่ยนได้ดังนี้

$$q' = F(C_0 - C)/VX \quad (4-2)$$

การใช้ q' แทน q ก็เพื่อเน้นให้เห็นว่า q' หาได้จากแนวคิดดังกล่าวและหาได้จากสมการที่ (4-2) แทนที่จะเป็นสมการที่ (4-1) ค่า C_0 และ C คือ สารละลายชีโอดีที่น้ำเข้า และน้ำทิ้งปฏิกิริยาตามลำดับ เมื่อเขียนกราฟระหว่าง q และ C ดังรูปที่ (2-4) จะได้ค่า C_i ซึ่งเป็นชีโอดี ส่วนที่ไม่ย่อยสลายทางชีววิทยา ซึ่งสามารถคำนวณหา ค่าของ S_0 และ S ได้ดังนี้

$$S_0 = C_0 - C_i \quad (4-3)$$

$$S = C - C_i \quad (4-4)$$

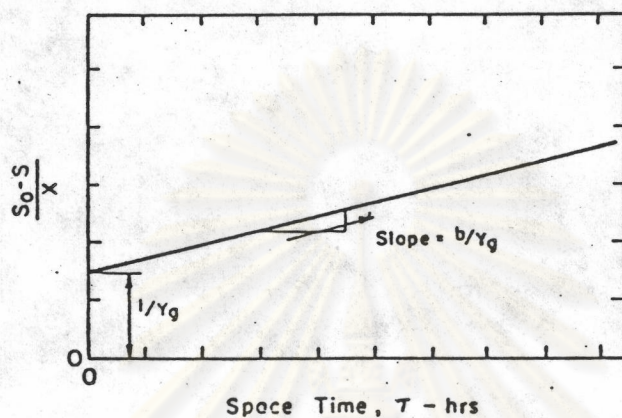
การหาค่า C_i จึงเป็นสิ่งจำเป็น การไม่แก้ไขข้อมูลของชีโอดีด้วยค่า C_i เพื่อให้ได้ค่าชีโอดีที่ย่อยสลายทางชีววิทยาได้นั้น จะทำให้ไม่สามารถหาค่าของพารามิเตอร์บางตัวได้

2.2.4.1.2 การหาค่า Y_g และ b

การหาค่าพารามิเตอร์ Y_g และ b จะหาได้พร้อมกัน โดยการจัดเรียงสมการที่ (2-16) ใหม่ ดังนี้

$$(S_0 - S)/X = (b/Y_g)T + (1/Y_g) \quad (4-5)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $(S_0 - S)/X$ ให้เป็นฟังก์ชันของ T จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ b/Y_g และมีจุดตัดบนแกนของเทอมซ้ายมือของสมการเท่ากับ $1/Y_g$ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการหาค่า Y_g และ b

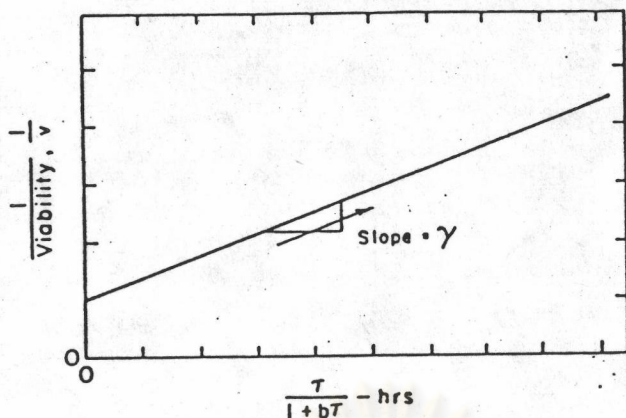
2.2.4.1.3 การหาค่าอัตราการตายจำเพาะ

อัตราการตายจำเพาะ (σ) หาได้จากการจัดเรียง

สมการที่(2-19)ใหม่ ดังนี้

$$\frac{1}{v} = 1 + \sigma \cdot \left(\frac{T}{1 + b \cdot T} \right) \quad (4-6)$$

ส่วนกลับของระดับความมีชีวิต ($1/v$) จะถูกพล็อตเทียบกับ $T/(1 + b \cdot T)$ เส้นกราฟที่ได้จะเป็นกราฟเส้นตรงมีค่าความชันเท่ากับ σ ข้อควรระวังคือ ความผิดพลาดที่เกิดจากการหา b จะทำให้การหาค่า σ ผิดพลาดด้วย กราฟแสดงการหาค่า σ แสดงในรูปที่ 2.6 ในกรณีที่ไม่ได้หาข้อมูลของ Viability มักจะสมมุติค่า $\sigma = 0.004 \text{ ชม.}^{-1}$



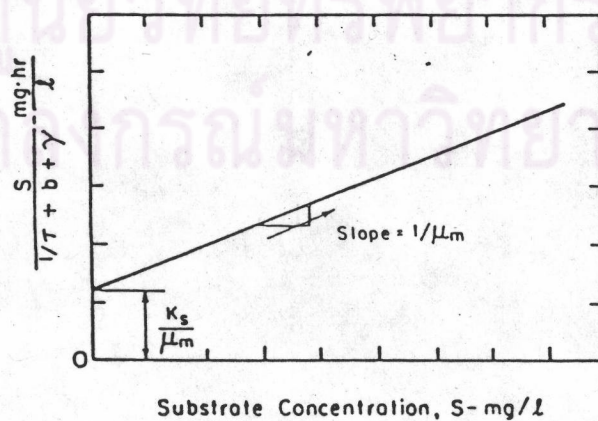
รูปที่ 2.6 แสดงการหาค่า γ

2.2.4.1.4 การหาค่า μ_m และ K_S

หลังจากที่ได้ค่าของ b และ γ แล้ว อาจหาค่าของ μ_m และ K_S ได้โดยใช้สมการที่ (2-6) โดยการจัดเรียงสมการใหม่ ดังนี้

$$S/(1/T + b + \gamma) = (1/\mu_m)S + (K_S/\mu_m) \quad (4-7)$$

จากสมการที่ (4-7) เมื่อนำค่า $S/(1/T + b + \gamma)$ และ S มาเขียนกราฟ ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.7 จะได้ค่าความลาดเอียงของเส้นกราฟเป็นค่า $1/\mu_m$ และจุดตัดบนแกนตั้งเป็นค่า K_S/μ_m ซึ่งนำมาคำนวณหาค่า μ_m และ K_S ได้ ข้อที่ควรระวังในการเขียนกราฟนี้ คือ ต้องเลือกสเกลให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่า μ_m และ K_S ที่ดีที่สุด

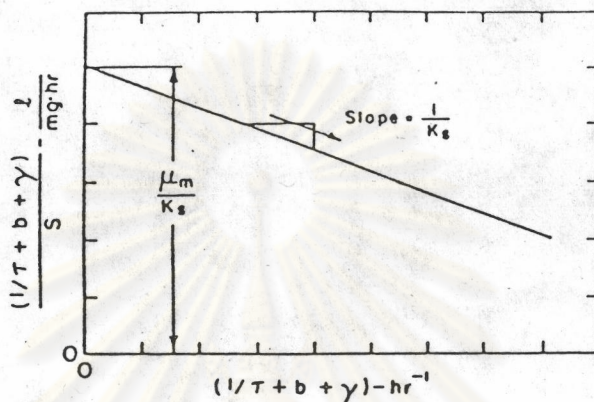


รูปที่ 2.7 การเขียนเส้นแบบเฮนส์ (Hanes) สำหรับหาค่า μ_m และ K_S

การหาค่าของ K_s และ μ_m ทำได้โดยอีกวิธีหนึ่งซึ่งเป็นการจัดเรียงสมการที่ (2-6)

อีกแบบหนึ่ง คือ

$$(1/T + b + \gamma)/S = (\mu_m/K_s) - (1/T + b + \gamma)/K_s \quad (4-8)$$



รูปที่ 2.8 การเขียนเส้นแบบฮอฟสตี (Hofstee) สำหรับหาค่า μ_m และ K_s

กราฟที่ใช้แทนสมการนี้แสดงอยู่ในรูปที่ 2.8 การนำใช้ส่วนกลับของ S อาจเพิ่มความผิดพลาดที่เกิดจาก S และทำให้เกิดความยุ่งยากในการลากเส้นตรงด้วยสายตา ดังนั้นควรใช้วิธี Least Square เพื่อหาเส้นตรงที่สามารถผ่านจุดต่างของข้อมูลได้ดีที่สุด ไม่ว่าจะใช้วิธีใดก็ตาม การหาค่า μ_m และ K_s จะทำไม่ได้ ถ้าหากค่า S ไม่ได้เป็นความเข้มข้นของสารอาหารที่ย่อยสลายทางชีววิทยาได้เพียงอย่างเดียว เพราะว่าการกราฟที่ได้จะไม่เป็นเส้นตรง หรืออาจเป็นกราฟที่มีความชัน หรือจุดตัดที่มีค่าเป็นลบ ซึ่งผิดจากความเป็นจริง

สำหรับการหาค่า β ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ของออกซิเจนดีมานด์ ทำได้จากผลต่างของค่าซีโอดี ที่ผ่านกระดาษกรองและที่ไม่ได้ผ่านกระดาษกรองของน้ำทิ้งที่ออกจากถังปฏิบัติการ ซึ่งเท่ากับค่าซีโอดีของตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งด้วยความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่อยู่ในถังปฏิบัติการ

2.2.4.2 กรณีมีสารละลายอินทรีย์และตะกอนอินทรีย์ในน้ำเข้า

น้ำทิ้งส่วนใหญ่มักมีตะกอนอินทรีย์ปนอยู่กับสารละลายอินทรีย์ด้วย และเนื่องจากอัตราการย่อยสลายตะกอนอินทรีย์มักจะต่ำ จึงนิยมนำตะกอนอินทรีย์ออกจากน้ำทิ้งให้ได้มากที่สุดด้วยวิธีเคมีหรือวิธีฟิสิกส์ ก่อนที่จะส่งมายังระบบบำบัดทางชีววิทยา ซึ่งมักจะถูกออกแบบมาให้กำจัดสารละลายอินทรีย์โดยเฉพาะ อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวไม่สามารถกำจัดตะกอนอินทรีย์ได้หมด ดังนั้นการออกแบบระบบบำบัดทางชีววิทยาจึงต้องมีการเผื่อไว้สำหรับกำจัดตะกอนด้วย วิธีการต่อไปนี้ เป็นการแก้ไขตัดแปลงเทคนิคการหาพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์สำหรับกรณีที่มีแต่สารอาหารละลายให้สามารถใช้ได้กับกรณีที่มีทั้งสารอาหารละลายและตะกอนอินทรีย์

เนื่องจาก μ_m และ K_S (หรือ k_e) ขึ้นอยู่กับสารอาหารละลายเสมอ การหาพารามิเตอร์ทั้งสองตัวจึงไม่ถูกกระทบกระเทือนเนื่องจากมีตะกอนอินทรีย์ในน้ำทิ้ง อิทธิพลส่วนใหญ่ของตะกอนอินทรีย์จะมีต่อการหาค่า b , Y_g และ θ โดยจะสมมุติว่าตะกอนแขวนลอยในถังปฏิกิริยาประกอบด้วยตะกอนเฉื่อยและตะกอนแบคทีเรียเท่านั้น ถึงแม้ว่าจะมีตะกอนอินทรีย์อยู่ด้วยก็ตาม วิธีเช่นนี้มีผลทำให้พารามิเตอร์ Y_g , b และ θ เป็นค่าคงที่เทียม (Pseudo Constants) ที่ได้รวมเอาอิทธิพลของตะกอนในน้ำทิ้งปนอยู่ด้วย

เนื่องจากการย่อยสลายสารอาหารต้องการ T สูง จึงต้องใช้ข้อมูลจากถังปฏิกิริยาที่มี T สูง มาใช้ในการหาพารามิเตอร์ดังกล่าว ข้อมูลต่างๆที่ต้องการ มีดังนี้

- C_0 = ความเข้มข้นของสารละลาย ซีโอดี ในน้ำเข้า
- C = ความเข้มข้นของสารละลาย ซีโอดี ในถังปฏิกิริยา
- T_0 = ความเข้มข้นของ ซีโอดี ทั้งหมดในน้ำเข้า
- T = ความเข้มข้นของ ซีโอดี ทั้งหมดในถังปฏิกิริยา
- Z_0 = ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยทั้งหมด ในน้ำเข้า
- M = ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยทั้งหมด ในถังปฏิกิริยา

- v = ระดับความมีชีวิตของแบคทีเรีย
 V = ปริมาตรของถังปฏิกริยา
 F = อัตราไหลของน้ำเข้า
 f = อัตราส่วนของตะกอนเฉื่อยต่อตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำเข้า
 f' = อัตราส่วนของ ซีโอดี ของตะกอนเฉื่อยต่อ ซีโอดี ของตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำเข้า

อัตราส่วนของตะกอนเฉื่อย (f) ในน้ำเข้า หาได้จากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ทั้งนี้เพราะตะกอนที่เหลืออยู่ก็คือตะกอนเฉื่อยดังสมการที่ (4-10)

$$f = \frac{\text{ความเข้มข้นคงที่ของตะกอนแขวนลอยที่เหลืออยู่ในถัง}}{\text{ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่จุดเริ่มต้น}} \quad (4-10)$$

ดังนั้น จึงสามารถหาปริมาณตะกอนเฉื่อยในน้ำเข้า ดังสมการที่ (4-11)

$$Z_{io} = f \cdot Z_o \quad (4-11)$$

โดยที่ Z_{io} = ความเข้มข้นของตะกอนเฉื่อยในน้ำเข้า (ก./ม.³)

ในการหาค่าความเข้มข้นประสิทธิผลของสารอาหารในน้ำเข้า (S_o') และค่าของ MLSS จะต้องรู้ค่าอัตราส่วนของซีโอดีของตะกอนเฉื่อย (f') ก่อน โดยในระหว่างการทดลองเพื่อหาค่า f เราได้กำจัดสารอาหารละลายออกไปก่อนแล้ว ดังนั้นซีโอดีทั้งหมดที่หาได้จึงอาจถือว่าเป็นค่าส่วนของตะกอนเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ในระหว่างการทดลองควรมีการวัดค่าซีโอดีด้วย ค่าซีโอดีของตะกอนในถังปฏิกริยาที่เหลือ เมื่อความเข้มข้นของตะกอนมีค่าคงที่จะเป็นค่าซีโอดีของตะกอนเฉื่อยและค่าซีโอดีนี้ควรมีค่าคงที่

$$f' = \frac{\text{ความเข้มข้นของชีโอดีของตะกอนเฉื่อยที่เหลือ}}{\text{ความเข้มข้นของชีโอดีของตะกอนแขวนลอยทั้งหมดที่จุดเริ่มต้น}} \quad (4-12)$$

ความเข้มข้นของสารละลายชีโอดีที่ไม่ย่อยสลายด้วยแบคทีเรีย (C_i) ค่า S_0 และ S หาได้โดยวิธีอื่นเช่นเดียวกับกรณีที่มีสารอาหารละลายอย่างเดียวน้ำเข้า

ตะกอนในถังปฏิกิริยาประกอบด้วย ตะกอนเฉื่อย ตะกอนแบคทีเรีย และตะกอนอินทรีย์ที่ยังไม่ย่อยสลาย เนื่องจากการแยกความแตกต่างระหว่างตะกอนแบคทีเรียกับตะกอนอินทรีย์ที่ยังไม่ย่อยสลายทำได้ยาก ดังนั้นจึงถือว่าตะกอนอินทรีย์นี้รวมอยู่กับตะกอนแบคทีเรีย ตะกอนรวมนี้จึงเป็นมวลชีวประสิทธิผล (Effective Biomass), X' ฉะนั้น ค่าพารามิเตอร์ ต่างๆ ในสมการที่(2-16) ที่ใช้ในการหาค่า X จะถูกแทนด้วยค่าประสิทธิผลต่างๆ (Effective Values) ดังนี้

$$X' = \frac{Y_g' (S_0' - S)}{1 + b' \cdot T} \quad (4-13)$$

ค่า X' อาจหาได้ โดยการหักค่าความเข้มข้นของตะกอนเฉื่อยในถังปฏิกิริยา ($f \cdot Z_0$) ออกจากความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยทั้งหมด (M) ในถังปฏิกิริยา ดังนี้

$$X' = M - f \cdot Z_0 \quad (4-14)$$

ค่า S_0' เป็นผลบวกของค่าชีโอดีของสารละลายและค่าชีโอดีของตะกอนที่ย่อยสลายได้ อย่างไรก็ตาม ในระหว่างการทดลองค่าชีโอดีที่วัดได้มักเป็นค่าชีโอดีของน้ำที่ผ่านและไม่ผ่านกระดาษกรอง ค่าแรกจะเป็นสารละลายชีโอดี (C_0) ส่วนค่าหลังเป็นชีโอดีทั้งหมด (T_0) ด้วยเหตุนี้การหาค่า S_0' จึงต้องคำนวณจากค่าชีโอดีทั้งสองที่วัดได้ ถ้าให้ P_0 เป็นค่าชีโอดีของตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้ง เราจะได้

$$P_0 = T_0 - C_0 \quad (4-15)$$

ค่า S_0' จะหาได้จากการหักค่าสารละลายซีโอดีที่ไม่ย่อยสลายด้วยแบคทีเรีย (C_i) และค่าซีโอดีของตะกอนเฉื่อยในน้ำทิ้งออกจากค่าซีโอดีทั้งหมด ดังนี้

$$S_0' = T_0 - C_i - f'P_0 \quad (4-16)$$

แทนค่า P_0 จากสมการที่ (4-15) ลงในสมการที่ (4-16) จะได้

$$S_0' = T_0 - C_i - f'(T_0 - C_0) \quad (4-17)$$

สำหรับค่า b' และ Y_g' จะหาได้จากสมการที่ (4-5) โดยแทนค่า X' จากสมการที่ (4-14) และ S_0' จากสมการที่ (4-16) จะได้

$$\frac{T_0 - C_i - f'(T_0 - C_0) - S}{M - f \cdot Z_0} = (b'/Y_g')T + 1/Y_g' \quad (4-18)$$

กราฟที่ได้จะคล้ายกับกราฟในรูปที่ 2.5 และค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการจะหาได้จากความชันและจุดตัดบนแกนตั้ง (เทอมซ้ายมือ)

ค่าอัตราการตายจำเพาะ (χ) ของแบคทีเรีย อาจหาได้โดยใช้วิธีที่เหมือนกับวิธีหาค่าในตอนที่ 2.2.4.1.3

ค่า K_S และ μ_m หาได้หลังจากรู้ค่า b' และ χ แล้ว เช่นกัน

ค่า β' ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ของออกซิเจนดีมานด์ของเซลล์ (X') หรือเท่ากับ ออกซิเจนดีมานด์ของเซลล์ต่อหน่วยมวลของเซลล์ ซึ่งหาได้โดยหาค่าซีโอดีของเซลล์ในถังปฏิกริยาหารด้วยค่า X' จากสมการที่ (4-14) ดังนี้

$$\begin{aligned} \beta' &= (\text{ซีโอดี ของเซลล์ภายในถังปฏิกริยา})/X' \\ &= (\text{ซีโอดี ทั้งหมด - สารละลาย ซีโอดี - ซีโอดี ของตะกอนเฉื่อย})/X' \\ &= \{T - C - f'(T_0 - C_0)\}/(M - f \cdot Z_0) \quad (4-19) \end{aligned}$$

2.3 องค์ประกอบที่มีผลต่อการทำงานของระบบบ่อเติมอากาศ

2.3.1 ออร์แกนิกโหลดคิง

ค่าออร์แกนิกโหลดคิง สามารถหาได้หลายวิธี ทางหนึ่งก็คือ การหาในรูปของอัตราส่วนปริมาณสารอาหารต่อปริมาณของจุลินทรีย์ในระบบ (F/M ratio) ซึ่งจริงๆ แล้วค่อนข้างจะเป็นการยากที่จะทราบปริมาณจุลินทรีย์ในระบบที่แน่นอน ดังนั้น จึงนิยมที่จะหาค่าออร์แกนิกโหลดคิงในเทอมของ กก.ซีโอดี หรือ กก.บีโอดี ต่อ กก.สารแขวนลอยในระบบ ต่อวัน และบางท่านก็นิยมที่จะใช้เทอมของ กก.ซีโอดี หรือ กก.บีโอดี ต่อ กก.สารแขวนลอยเวลาไหลในระบบ ต่อวัน โดยมีความคิดเห็นว่าจะสามารถอธิบายถึงปริมาณจุลินทรีย์ในระบบได้ใกล้เคียงกว่า นอกจากนี้ยังนิยมแสดงค่าออร์แกนิกโหลดคิงในเทอมของ กก.ซีโอดีหรือบีโอดี ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ด้วยเช่นกัน โยทั่วไปค่าออร์แกนิกโหลดคิงของระบบบ่อเติมอากาศ จะต่ำกว่าระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบทั่วไป ค่าออร์แกนิกโหลดคิงมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง เมื่อค่าออร์แกนิกโหลดคิงสูงขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์จะลดลง

Dawson และ คณะ, 1969 ได้เสนอแนะค่าออร์แกนิกโหลดคิง 0.01 กก.บีโอดี/ม.³-วัน ในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ้านเรือนในสภาพภูมิอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ และสามารถเพิ่มค่าออร์แกนิกโหลดคิงให้มากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น Gehr, 1970 ทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานกระดาษในเลบานอน โดยใช้ค่าออร์แกนิกโหลดคิง 0.047-0.069 กก.บีโอดี/ม.³-วัน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีได้สูงถึง 80 % ที่อุณหภูมิระหว่าง 15-23 °C Satry, 1962 ได้ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือน ที่ประเทศอินเดีย พบว่า ในการใช้ค่าออร์แกนิกโหลดคิง 0.05 กก.บีโอดี/ม.³-วัน ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีจะสูงกว่า 80 % Boyko และ Rupke, 1970 แนะนำให้ใช้ ค่าออร์แกนิกโหลดคิง 0.033 กก.บีโอดี/ม.³-วัน (2 ปอนด์/1000 ฟ.³-วัน) ในการออกแบบระบบบ่อเติมอากาศแบบ Facultative

2.3.2 ไฮดรอลิกโหลคดิง

ไฮดรอลิกโหลคดิง เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบบ่อเติมอากาศ ค่าไฮดรอลิกโหลคดิงนิยามหารูปของระยะเวลากักน้ำ (Detention Time) หรืออัตราการเจือจาง (Dilution Rate) ซึ่งเป็นส่วนกลับของระยะเวลากักน้ำ

ระบบบ่อเติมอากาศต้องมีระยะเวลากักน้ำเพียงพอที่จะให้แบคทีเรียในบ่อเติมอากาศใช้สารอาหารและเจริญเติบโตได้โดยไม่เกิดการ Wash out ของแบคทีเรียในบ่อเติมอากาศ Laurence และ McCarty, 1970 แนะนำให้ใช้ค่าระยะเวลากักน้ำสำหรับบ่อเติมอากาศแบบเดี่ยวและบ่อเติมอากาศใบแรกของระบบบ่อเติมอากาศแบบอนุกรมไม่น้อยกว่า 10 เท่าของระยะเวลากักน้ำต่ำสุด (T_{min}) Ramanathan และ Gaudy, 1971 ได้แสดงรูปแบบจำลองในการอธิบายผลของระยะเวลากักน้ำต่อค่าความเข้มข้นของสารอาหารและตะกอนแขวนลอยในระบบบ่อเติมอากาศ ได้ดังนี้

$$S = \frac{K_s \cdot D}{\mu_m - D} \quad (5-1)$$

$$X = Y(S_i - S) \quad (5-2)$$

- โดยที่
- S = ความเข้มข้นของสารอาหารในบ่อเติมอากาศหรือในน้ำออกจากระบบ
 - X = ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในบ่อเติมอากาศหรือในน้ำออกจากระบบ
 - K_s = ค่าคงที่อิ่มตัว
 - μ_m = อัตราการเจริญเติบโตสูงสุด
 - D = อัตราการเจือจาง = $1/t$
 - t = ระยะเวลากักน้ำ
 - Y = ค่าคงที่ยิลด์
 - S_i = ความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำเข้า

William และคณะ, 1961 ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานพอกย้อม ซึ่งมีค่าบีโอดีน้ำเสีย 210 มก./ล ผลปรากฏว่า ที่ระยะเวลาเก็บน้ำ 2 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีมากกว่า 80% Donovan และคณะ, 1968 รายงานถึงการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานกระดาษด้วยระบบบ่อเติมอากาศโดยใช้ระยะเวลาเก็บน้ำ 7-8 วัน พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงถึง 92% ในช่วงฤดูร้อน และ 83% ในช่วงฤดูหนาว Gehm, 1970 ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานกระดาษในประเทศเลบานอนที่มีค่าบีโอดี 180 มก./ล และค่าซีโอดี 1800 มก./ล พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บน้ำจาก 3.8 วัน เป็น 16.7 วัน ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเพิ่มขึ้นจาก 56.5% เป็น 77.5% Tangthai W., 1976 สรุปว่า ค่าไฮดรอลิกไหลลดลงในเทอมของระยะเวลาเก็บน้ำมีค่าค่อนข้างกว้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของน้ำเสีย และประสิทธิภาพที่ต้องการ โดยแนะนำว่าระยะเวลาเก็บน้ำควรอยู่ในช่วง 1-10 วัน

2.3.3 ความต้องการอาหารเสริม

การทำงานของระบบบ่อเติมอากาศ ต้องการปริมาณอาหารเสริมที่เพียงพอ จึงจะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาหารเสริมที่แบคทีเรียต้องการมีหลายชนิดในปริมาณที่แตกต่างกัน เช่น โบแทสเซียม แคลเซียม เหล็ก โซเดียม แมกนีเซียม ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส เป็นต้น ซึ่งอาหารเสริมที่จำเป็นและมักจะมีปริมาณไม่เพียงพอในน้ำเสียโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมคือ ไนโตรเจน(N)และฟอสฟอรัส(P) จึงจำเป็นต้องเติมลงไปในน้ำทิ้งในรูปของสารประกอบที่ย่อยสลายง่าย เช่น N ในรูปของยูเรีย หรือเกลือแอมโมเนีย P ในรูปของสารประกอบฟอสเฟต เป็นต้น

ปริมาณอาหารเสริมที่ต้องการในระบบบำบัดน้ำเสียแต่ละชนิดจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับอัตราการทำปฏิกิริยาของแบคทีเรีย เช่น ในระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ ซึ่งมีอัตราการทำปฏิกิริยาสูงจึงต้องการอาหารเสริมมาก โดยปกตินิยมใช้อัตราส่วน BOD:N:P เท่ากับ 100:5:1 ในการเติมอาหารเสริมให้กับน้ำเสีย ส่วนในระบบบ่อเติมอากาศความต้องการอาหารเสริมจะน้อยกว่าระบบ

แอกติเวเตดสลัดจ์ เนื่องจากอัตราการบำบัดปฏิกิริยาในระบบบ่อเติมอากาศจะต่ำกว่าระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ Eckenfelder และคณะ, 1972 ได้เสนอสมการเพื่อที่จะใช้หาปริมาณอาหารเสริมที่ต้องเติมให้กับระบบบ่อเติมอากาศ ดังนี้

$$\text{ความต้องการไนโตรเจน, } N = (0.12 \times X_V / 0.77) + 0.07 \frac{(1-x)X_V}{0.77} \quad (5-3)$$

$$\text{ความต้องการฟอสฟอรัส, } P = (0.024 \times X_V / 0.77) + 0.01 \frac{(1-x)X_V}{0.77} \quad (5-4)$$

โดยที่ X_V = ค่าความเข้มข้นตะกอนเวลาไหลต่อวัน (ปอนด์/วัน)
 x = อัตราส่วนของแบคทีเรียที่มีชีวิตต่อแบคทีเรียทั้งหมด

ผลของการเติมสารอาหารให้เพียงพอให้กับระบบบ่อเติมอากาศจะทำให้อัตราการกำจัดสารอินทรีย์สูงกว่าระบบที่ไม่มีการเติมสารอาหาร ซึ่งได้มีผู้ทำการทดลองไว้หลายท่านดังตารางที่

2.1

ตารางที่ 2.1 ผลของการเติมสารอาหารที่มีต่ออัตราการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบบ่อเติมอากาศ (Tangthai, 1976)

Wastewater	Removal Rate Coefficient, k		References
	Without Nutrients	With Nutrients	
Kraft paper	0.35	1.33	RICE & WESTON (1961)
Board mill	0.70	3.20	QUIRK (1967)
Hard board	0.34	1.66	BEAK (1971)
Kraft paper	0.26	1.50	PARSONS & WHITEMORE (1971)

2.3.4 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญตัวหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน Gaudy, 1980 กล่าวว่าโดยส่วนใหญ่จุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยาโดยใช้ออกซิเจน จะเป็นแบคทีเรียเมโซฟิลิก ซึ่งจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 20 - 45 °C โดยที่อุณหภูมิต่ำ อัตราการเจริญเติบโตจะต่ำและอัตราการเจริญเติบโตจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สำหรับแบคทีเรียโดยทั่วไปอัตราการเจริญเติบโตจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2-3 เท่า ทุกๆการเพิ่มอุณหภูมิครั้งละ 10 °C จากช่วงอุณหภูมิต่ำสุดถึงช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม

Eckenfelder, 1967 กล่าวว่า อัตราการทาบฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสม และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมแล้วอัตราการทาบฏิกิริยาจะลดลง ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการทาบฏิกิริยาสามารถอธิบายได้ด้วยสมการของ Arrhenius ดังนี้

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{T-20} \quad (5-5)$$

โดยที่ θ = สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ ซึ่งมีผู้ทาบฏการศึกษาและแนะนำไว้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ (Tangthai, 1976)

Investigators	Temp. Coeff, θ
CARPENTOR & SAWYER (1967-1968)	1.035
WUHRMANN (1956)	1.074
ECKENFELDER (1961)	1.085
BESS ET AL (1966)	1.046*

* Base on wastewater temperature between 9°C-23°C

นอกจากนี้ Malina และคณะ ได้สรุปว่า ค่า θ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.035 ถึง 1.1 ส่วนค่าที่เหมาะสมได้แนะนำให้ใช้ค่า $\theta = 1.08$

Bartsch และ Randall, 1971 ได้แสดงถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าพารามิเตอร์

μ_m และ k_d ไว้ดังสมการที่(5-6)และ(5-7) ดังนี้

$$\mu_m = \mu_{m20}(1.10)^{T-20} \quad (5-6)$$

$$k_d = k_{d20}(1.05)^{T-20} \quad (5-7)$$

โดยที่ μ_{m20} = อัตราการเจริญเติบโตเฉพาะสูงสุดที่ 20 °C

k_{d20} = อัตราการย่อยสลายเฉพาะสูงสุดที่ 20 °C

T = อุณหภูมิ, °C

2.3.5 ความต้องการการเติมอากาศ

เครื่องกลที่ใช้ในการเติมอากาศ มีความจำเป็นสำหรับระบบบำบัดเติมอากาศ เพื่อที่จะรักษาระดับการกวนน้ำและให้ออกซิเจน ดังนั้น พลังงานที่จะให้กับระบบบำบัดเติมอากาศจึงขึ้นอยู่กับความต้องการสูงสุดของ 2 ค่านี้ว่าพลังงานที่จะใช้รักษาระดับการกวนน้ำหรือพลังงานในการให้ออกซิเจนแก่น้ำนั้น อย่างไรก็ดีความต้องการพลังงานมากกว่ากัน ก็จะเลือกค่านี้ เป็นหลักในการให้พลังงานแก่ระบบบำบัดเติมอากาศ ซึ่งสำหรับบ่อที่มีขนาดความลึกอยู่ในช่วง 8-18 ฟุต และมีระดับของตะกอนแขวนลอยอยู่ในช่วง 1000-5000 มก./ล จะมีความต้องการพลังงาน 60-120 แรงม้า/ล้านแกลลอน(12-24 วัตต์/ม³) เพื่อที่จะให้เกิดการผสมอย่างสมบูรณ์ โดยมีขีดจำกัดของข้อแนะนำนี้ คือ จะต้องม้อัตราการส่วนของความยาวบ่อต่อความกว้างบ่อไม่เกิน 1.25 เท่า

Bartsch และคณะ, 1971 กล่าวว่าระบบบำบัดเติมอากาศต้องการพลังงานในการกวนน้ำให้ผสมอย่างสมบูรณ์ทั่วถึงประมาณ 100 แรงม้า/ล้านแกลลอน(20 วัตต์/ม³) และ ใช้พลังงาน 3-4 วัตต์/ม.³ ในการให้ออกซิเจนละลายอย่างทั่วถึงในบ่อเติมอากาศ

Beychock, 1971 และ Barnhart, 1968 รายงานว่า กำลังงาน 1.2-2.0 วัตต์/ม.³ จะพอเพียงในการรักษาสภาพให้ออกซิเจนละลายในน้ำได้อย่างทั่วถึง ในบ่อเติมอากาศที่มีความลึก 2.44-3.05 เมตร และต้องการกำลังงาน 6-10 วัตต์/ม.³ ในการกวนน้ำให้ผสมอย่างสมบูรณ์ Bishop, 1971 รายงานว่า ขนาดของบ่อเติมอากาศ 0.24-0.69 ล้านแกลลอน ที่มีความลึกของบ่อ 2.13-2.44 เมตร ต้องการกำลังงานประมาณ 6 วัตต์/ม.³ ในการกวนน้ำให้ผสมอย่างสมบูรณ์

2.4 การวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลองระบบบ่อเติมอากาศที่ผ่านมา

Weston และ Stack , 1960 เป็นผู้ริเริ่มในการใช้ระบบบ่อเติมอากาศ โดยได้ทดลองในห้องปฏิบัติการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดี 225 มิลลิกรัม/ลิตร ค่า HRT 2.5 วัน พบว่าสามารถกำจัดบีโอดีได้ 76% และเมื่อทดลองบำบัดน้ำเสียในขั้นโรงงานต้นแบบ (Pilot Plant) โดยใช้บ่อเติมอากาศขนาด 98,900 แกลลอน (374 ลูกบาศก์เมตร) พบว่าสามารถกำจัดบีโอดีได้ 55% เมื่อใช้เวลาในการเติมอากาศ 3 วัน และเมื่อเพิ่มเวลาในการเติมอากาศเป็น 4 วัน จะกำจัดบีโอดีได้ 68%

Gellman, 1963 ได้ศึกษาหาความต้องการ N ของบ่อเติมอากาศในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานกระดาษ พบว่าต้องการ N ในอัตราส่วน BOD : N = 60 : 1

Crown Zellerbach Corp., 1970 พบว่า ในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเยื่อกระดาษ ความต้องการ P ในอัตราส่วน BOD:P 160:1 , 80:1 และ 40:1 ไม่มีผลสำคัญต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

Kormanik, 1972 ได้แนะนำให้ใช้ระบบบ่อเติมอากาศ ที่ประกอบด้วยบ่อเติมอากาศ 2 บ่อ บ่อแรกเป็นบ่อแบบ Aerobic บ่อหลังเป็นบ่อแบบ Facultative ซึ่ง Tikhe, 1975 เรียกระบบนี้ว่า Aerofac

White และ Rich , 1977 ได้เสนอว่า ระบบบ่อเติมอากาศที่ประกอบด้วยบ่อแบบ Aerobic 1 บ่อ ติดต่อกับบ่อแบบ Facultative อีก 3 บ่อ จะใช้ปริมาตรบ่อน้อยกว่า ระบบเติมอากาศแบบ Aerofac



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย