

## บทที่ 5

### แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิก

#### 5.1 สมมติฐานในการสร้างโมเดลของระบบ

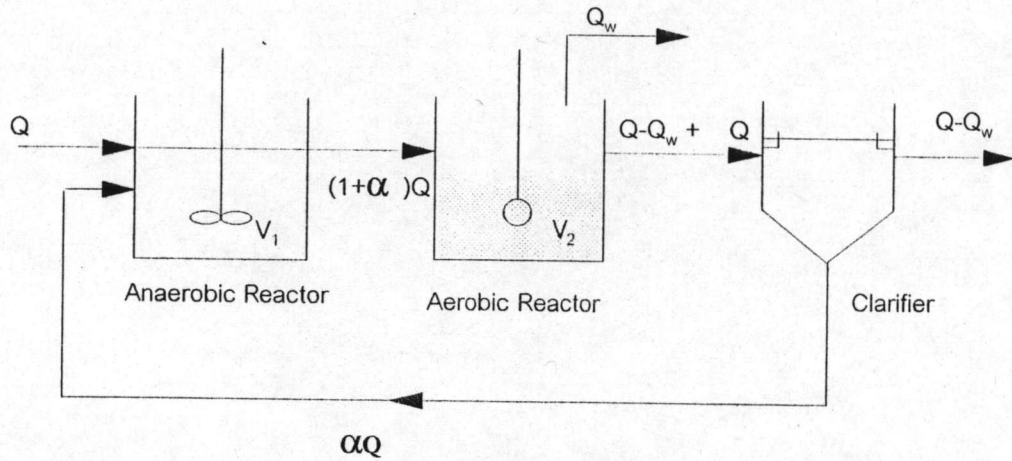
การสร้างโมเดลอธิบายพฤติกรรมของจุลินทรีย์ชนิดโพลีพี ในระบบจะมีกระบวนการที่สัมพันธ์กัน ซับซ้อนมาก บางกระบวนการเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในระดับรอง เพื่อให้การตั้งสมมติฐานในการสร้างโมเดลสำหรับการออกแบบตามวัตถุประสงค์ การสร้างโมเดลที่สภาวะคงตัวของระบบ จะใช้ข้อสมมติฐาน 2 ข้อดังนี้ (Wentzet et al, 1990)

1. การปลดปล่อยฟอสฟอรัส เพื่อให้ได้พลังงานสำหรับซ่อมแซมเซลล์ในช่วงแอนแอโรบิก ถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการปลดปล่อยฟอสฟอรัสสำหรับเป็นแหล่งพลังงานในการดูดซับสารอาหาร ดังนั้นจึงถือว่าละทิ้งได้
2. สารอาหารทั้งหมดที่ถูกดูดซับในช่วงแอนแอโรบิก จะถูกเก็บไว้ในเซลล์ในรูปของ PHB และจะถูกใช้ไปเมื่อเข้าสู่ช่วงแอโรบิก

จากสมมติฐานทั้ง 2 ข้อข้างต้น จะใช้ในการสร้างสมการที่สภาวะคงตัวของระบบ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามรูปที่ 5.1

#### 5.2 สมการที่สภาวะคงตัว (Steady state equations)

ในการสร้างสมการที่สภาวะคงตัวจะต้องทราบและเข้าใจกระบวนการต่างในสภาพแอนแอโรบิก และแอโรบิก ต่าง ๆ ดังนี้

**Influent** $S_o$  = Soluble biodegradable Substrate,mg/l $X_o$  = Cell,mg/l $Z_{io}$  = inert solid,mg/l $Z_{bo}$  = biodegradable solids,mg/l $Z_o$  = Total(noncell) solids,mg/l $M_o$  = Total suspend Solid,mg/l $Q$  = Influent flow, l/d**Aerobic Reactor** $S_a$  = Soluble biodegradable Substrate  
in aerobic tank,mg/l $X$  = Total Cell,mg/l $X_v$  = viable cells,mg/l $X_d$  = dead cells,mg/l $Z_i$  = Total(noncell) solids,mg/l $M$  = Total suspend Solid,mg/l**Anaerobic Reactor** $S_{an}$  = Soluble biodegradable Substrate  
in anaerobic tank,mg/l $X$  = Total Cell,mg/l $X_v$  = viable cells,mg/l $X_d$  = dead cells,mg/l $Z_i$  = Total(noncell) solids,mg/l $M$  = Total suspend Solid,mg**Recycle, Wastage** $S_r, S_w$  = Soluble biodegradable substrate,mg/l $X_r, X_w$  = Total cell,mg/l $X_{vr}, X_{vw}$  = viable cell,mg/l $X_{dr}, X_{dw}$  = dead cell,mg/l $M_r, M_w$  = Total suspend Solid,mg/l $Q_w$  = waste flow, l/d

รูปที่ 5.1 แสดงโมเดลสมดุลมวลของกระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิก แอติเวตเตดสลัดจ์

### 5.2.1 การปลดปล่อยฟอสฟอรัสในช่วงแอนแอโรบิก และการดูดซับสารอาหารเข้าในเซลล์

ในช่วงแอนแอโรบิกจุลินทรีย์ชนิดโพลีพี จะปล่อยฟอสฟอรัสออกมา พร้อมดูดซับสารอาหารเข้ามาเก็บไว้ในเซลล์ ซึ่งมวลของสารอาหารที่ถูกดูดซับเข้ามาในเซลล์และเก็บไว้ในรูปของ PHB( $MS_{phb}$ ) จะเท่ากับมวลของสารอาหารที่ใช้ไปในถังแอนแอโรบิก ( $MS_o - MS_{an}$ )

$$(MS_{phb}) = MS_o - MS_{an} \quad (\text{มก.ซีไอดี/ลิตร}) \quad \dots\dots(5.1)$$

มวลของฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อย ( $MP_{rel}$ ) จะเป็นสัดส่วนกับมวลของสารอาหารที่ถูกใช้ไปในถังแอนแอโรบิก นั่นคือ

$$MP_{rel} = f_{P,rel} (MS_o - MS_{an}) \quad \dots\dots(5.2)$$

เมื่อ  $f_{P,rel}$  = ค่าคงที่ของอัตราส่วนระหว่างมวลของฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยต่อมวลของสารอาหารที่ใช้ไปในถังแอนแอโรบิก

### 5.2.2 การใช้ PHB และการดูดซับฟอสฟอรัสในช่วงแอนแอโรบิก

ในช่วงแอนโรบิก(ออกซิก) สาร PHB ที่ถูกเก็บไว้ในเซลล์จะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจน โดยมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งทำให้เกิดกระบวนการเมธาบอลิซึมของ PHB เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ (ตามตารางที่ 4.1) พร้อมใช้พลังงานที่เกิดจากเมธาบอลิซึม เพื่อดูดฟอสฟอรัสกลับเข้ามาในเซลล์ ซึ่งในช่วงนี้มีสมการที่สภาวะคงตัวที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

#### 5.2.2.1 การสังเคราะห์เซลล์ (ชนิดโพลีพี)

จากสมมติฐานที่ว่า PHB จะถูกใช้ไปในถังแอนโรบิก ดังนั้นปริมาณมวลของเซลล์ชนิดโพลีพีที่สังเคราะห์ขึ้น ( $MX_{B,G}$ ; Synthesis) จะเป็นตามสมการ

$$MX_{B,G} (\text{Synthesis}) = Y_g MS_{phb} \quad \dots\dots(5.3)$$

เมื่อ  $Y_g$  คืออัตราการใช้สารอาหารหรืออัตราการเจริญเติบโตที่แท้จริงของจุลินทรีย์ชนิดโพลีพี

จากสมการที่ (5.3) จะได้เป็นสมการที่ 5.6

$$MX_{B,G} \text{ (Synthesis)} = Y_g (MS_o - MS_{an}) \quad \dots\dots\dots(5.4)$$

พิจารณสมการที่ 3.3 ในบทที่ 3

$$-r_s = \frac{\mu X_v}{Y_g} \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

อัตราการหายไปของสารอาหาร (มก./ลิตร-ชม) ,  $-r_s$  ก็คือปริมาณมวลสารอาหารที่ถูกใช้ไปในถังแอนแอโรบิก ( $MS_o - MS_{an}$ ) ต่อหนึ่งหน่วยเวลานั้นเอง และปริมาณมวลของเซลล์ชนิดโพลีพีที่สังเคราะห์ขึ้น ( $MX_{B,G}$  Synthesis) จะเท่ากับ  $\mu X_v$

โดยที่  $\mu$  = ตัวคงที่อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์ชนิดโพลีพี (Specific growth rate constant of Poly P organism) ชม.<sup>-1</sup>  
 $X_v$  = ความเข้มข้นของเซลล์จุลินทรีย์ชนิดโพลีพีที่มีชีวิต (มก./ลิตร)

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ( $\mu$ ) มีความสัมพันธ์กับสารอาหาร (S) ที่จำกัดการเจริญเติบโตตามสมการของ Monod (Grady,1980) ตามสมการที่ 3.4

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

#### 5.2.2.2 การสลายตัวของจุลินทรีย์ (ชนิดโพลีพี)

โมเดลทางจลนศาสตร์ของระบบเกิดขึ้นทั้งช่วงแอนแอโรบิกและช่วงแอโรบิก ปริมาณมวลจุลินทรีย์ที่สลายตัว จะประกอบด้วยมวลของจุลินทรีย์ที่มีชีวิตลดลง และการสะสมของมวลเซลล์ที่สลายตัว(ตาย) ซึ่งแสดงโดยสมการดังนี้

- สำหรับการหายไปของเซลล์ที่มีชีวิต

$$\frac{d MX_{B,G}}{dt} = -b_g MX_{B,G} \quad \dots\dots\dots(5.5)$$

เมื่อ  $b_g$  คือ ตัวคงที่อัตราการสลายตัวจำเพาะสำหรับเซลล์โพลีพีที่มีชีวิต

- สำหรับการหายไปของเซลล์ที่ตาย

$$\frac{d MX_{B,d}}{dt} = -b_d MX_{B,d} \quad \dots\dots\dots(5.6)$$

เมื่อ  $b_d$  คือ ตัวคงที่อัตราการสลายตัวจำเพาะสำหรับเซลล์โพลีพีที่ตาย

ในทางปฏิบัติ  $b_g = b_d = b$  สำหรับจุลินทรีย์นั้น

### 5.2.2.3 การตาย

การเพิ่มขึ้นของมวลจุลินทรีย์ที่ตาย ( $MX_{E,G}$ ) แสดงได้ตามสมการ 5.7

$$\frac{d MX_{E,G}}{dt} = \gamma MX_{B,G} \quad \dots\dots\dots(5.7)$$

### 5.2.2.4 มวลของเซลล์ที่มีชีวิต ( $X_{B,G}$ )

พิจารณารูปที่ 5.1 ในการวิจัยครั้งนี้จะทิ้งตะกอนจากถังเติมอากาศ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะหาได้จากการทำดุลมวลของเซลล์ที่มีชีวิตของจุลินทรีย์ชนิดโพลีพีของระบบทั้งหมด นั้นคือ

$$\alpha Q X_{B,r} - Q X_{B,G} - (Q - Q_w + \alpha Q) X_{B,G} + \mu X_{B,G} V - b X_{B,G} - \gamma X_{B,G} V = 0 \quad \dots\dots\dots(5.8)$$

และดุลมวลของเซลล์ที่มีชีวิตในถังตกตะกอน

$$(Q-Q_w+\alpha Q)X_{B,G} - \alpha QX_{B,r} = 0 \quad \text{.....(5.9)}$$

จากการสมดุลมวลทั้งสองสมการ 5.8 และ 5.9 จะได้

$$\text{เซลล์ที่มีชีวิต}(X_v) \quad X_{B,G} = \frac{Y_g S_o}{(1/\theta_c + \gamma + b)} \quad \text{.....(5.10)}$$

เมื่อ

$S_o$  คือ ปริมาณของสารอาหารที่ไหลเข้าถังแอนแอโรบิกต่อวัน

#### 5.2.2.5 มวลของเซลล์ที่ตาย ( $X_{E,G}$ )

มวลของเซลล์ที่ตาย หาได้โดยการหาคุลย์มวลของเซลล์ตาย ตามสมการที่ 5.11

$$\alpha QX_{E,r} - (Q+\alpha Q)X_{E,G} + \gamma X_{B,G} V - bX_{E,G} V = 0 \quad \text{.....(5.11)}$$

ซึ่งจะได้มวลเซลล์ที่ตายตามสมการที่ 5.12

$$\text{เซลล์ที่ตาย}(X_d) \quad X_{E,G} = \frac{\gamma X_{B,G}}{1/\theta_c + b} \quad \text{.....(5.12)}$$

#### 5.2.2.6 มวลของสลัดจ์ทั้งหมดในระบบ( $X_{G,t}$ )

มวลทั้งหมดในระบบก็คือ มวลของเซลล์มีชีวิตบวกกับมวลของเซลล์ที่ตายตามสมการ

ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{เซลล์ทั้งหมด}(X) \quad X_{G,t} &= X_{B,G} + X_{E,G} \quad \text{.....(5.13)} \\ X_{G,t} &= \frac{Y_g S_o}{(1/\theta_c + \gamma + b)\tau} + \frac{\gamma X_{B,G}}{1/\theta_c + b} \end{aligned}$$

$$= \frac{(\theta_c/\tau)(Y_g S_0)}{1+b\theta_c} \quad \dots\dots\dots 5.14)$$

### 5.2.2.7 ค่ายิลด์ปรากฏ (Observed Yield)

ในแบบจำลองของกระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิก แอตติเวตเตดสลัดจ์ เปรียบเทียบได้กับ CSTR ที่มีการเวียนเซลล์กลับ เพราะค่ายิลด์ปรากฏจะขึ้นอยู่กับค่าอายุตะกอน ( $\theta_c$ ) และไม่ขึ้นอยู่กับค่าเวลากับน้ำ ( $\tau$ ) ตามสมการข้างล่างนี้

$$Y = \frac{Y_g}{(1+b\theta_c)} \quad \dots\dots\dots(5.15)$$

เมื่อ  $\theta_c$  เพิ่มขึ้นยิลด์ปรากฏจะลดลง เพราะการสลายตัวของเซลล์เพิ่มขึ้น (Grady, 1980)

### 5.2.2.8 มวลของสลัดจ์ที่เททิ้งต่อวัน ( $\Delta X_{G,t}$ )

มวลของสลัดจ์ที่ต้องถ่ายเททิ้งต่อวัน หรือสลัดจ์ส่วนเกินที่ผลิตขึ้นสภาวะคงตัวต่อวัน หาได้จากสมการ 5.16

$$\Delta X_{G,t} = \frac{X_{G,t}}{\theta_c} \quad \dots\dots\dots(5.16)$$

### 5.2.2.9 มวลของฟอสฟอรัสที่ถูกถ่ายออกต่อวัน

มวลของฟอสฟอรัสที่ถูกถ่ายออกต่อวัน ( $\Delta P$ ) ก็คือปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในเซลล์ที่มีชีวิตรวมกับเซลล์ที่ตาย ที่จะต้องถูกระบายออกเพื่อรักษาค่าอายุตะกอนของระบบ

( $\Delta X_{G,t} = \Delta X_{B,G} + \Delta X_{E,G}$ ) ซึ่งจะหาได้จากสมการ 5.17

$$\begin{aligned}\Delta P &= f_{XBG,P} \Delta X_{B,G} + f_{XEG,P} \Delta X_{E,G} \\ &= f_{XBG,P} \frac{\Delta X_{B,G}}{\theta_c} + f_{XEG,P} \frac{\Delta X_{E,G}}{\theta_c} \quad \dots(5.17)\end{aligned}$$

โดยที่  $f_{XBG,P}$  คือ สัดส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสในมวลของเซลล์ที่มีชีวิต  
(มก.P/มก.MLSS)

โดยที่  $f_{XEG,P}$  คือ สัดส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสในมวลของเซลล์โพลีที่ตาย  
(มก.P/มก.MLSS)

ดังนั้น การกำจัดฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสีย ( $\Delta P_{\text{removal}}$ ) มาได้จากสมการ 5.18

$$\Delta P_{\text{removal}} = \Delta P/Q \quad \dots\dots\dots(5.18)$$

เมื่อ Q คือ อัตราไหลของน้ำเสียเข้า (ลิตร/วัน)

ในสมการที่ 5.19 สัดส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสในมวลของเซลล์ที่มีชีวิตของจุลินทรีย์ชนิดโพลี ( $f_{XBG,P}$ ) จำเป็นที่จะต้องถูกกำหนด ซึ่งหาได้จากการทำการทดลองที่สภาวะคงตัวของระบบแอคติเวตเตดสลัดจ์ที่ส่งเสริมจุลินทรีย์ชนิดโพลี (Poly P Enhanced culture) จากสมการที่ 5.10, 5.12, 5.16, 5.17, 5.18 สามารถแก้สมการหาค่า  $f_{XBG,P}$  ได้ตามสมการที่ 5.19

$$\begin{aligned}\Delta P_{\text{removal}} &= \frac{f_{XBG,P} X_{B,G}}{\theta_c} + \frac{f_{XEG,P} X_{EG}}{\theta_c} \\ &= f_{XBG,P} \frac{Y_g S_o}{(1/\theta_c + \gamma + b)} + \frac{f_{XBG,P} \gamma X_{BG}}{(1/\theta_c + b)} \\ f_{XBG,P} &= \frac{\Delta P(1/\theta_c + \gamma + b)}{Y_g S_o} - \frac{f_{XBG,P} \gamma (1/\theta_c + \gamma + b)}{1/\theta_c + b} \quad \dots\dots\dots(5.19)\end{aligned}$$



สัดส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสของจุลินทรีย์ชนิดโพลีพีในช่วงสลายตัว(Endogenous mass,  $f_{XBG,P}$ ) นั้น Wentzel et, al,1990 ได้แนะนำค่าจากการทดลองภายใต้ข้อสมมติฐานที่ได้กล่าวข้างต้นไว้ที่ 0.03 มก.P/มก.MLSS ดังนั้นจากสมการที่ 5.21 ค่าพารามิเตอร์อื่น สามารถหาได้จากการทำการทดลองซึ่งค่า  $f_{XBG,P}$  สามารถคำนวณได้จากสมการ

จากสมการที่ 5.21 Wentzel et, al,1989 ได้ประยุกต์ใช้สมการดังกล่าวกับการทดลองระบบการกำจัดฟอสฟอรัสต่าง ๆ ภายใต้อายุตะกอนที่กำหนดค่า  $f_{XBG,P}$  สามารถคำนวณได้ตามตารางที่ 5.1 ค่าเฉลี่ยของ  $f_{XBG,P}$  ที่หาได้จากการทดลองที่ระบบต่าง ๆ ในตารางที่ 5.1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.41 มก P/มก.MLSS ซึ่งมีค่าใกล้เคียงที่สามารถยอมรับได้แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ค่า  $f_{XBG,P}$  จะต้องคำนึงถึงผลที่ได้จากการทำการทดลองด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระบบอยู่ในสภาพจุลินทรีย์ผสม (Mixed cultures) Wentzel,1990 แนะนำค่า  $f_{XBG,P} = 0.38$  มก.P/มก MLSS สำหรับใช้ในระบบที่อยู่ในสภาพจุลินทรีย์ผสม

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าสัดส่วนฟอสฟอรัสของจุลินทรีย์ชนิดโพลีพีในเซลล์ที่มีชีวิต( $f_{XBG,P}$ ) คำนวณจากสมการที่ 5.21 (Wentzel et, al,1990)

System	Sludge age(d)	$f_{XBG,P}$ (mgP/mgVASS)
UCT	10	0.44
Modified Bardenpho	7,5	0.39
Modified Bardenpho	10	0.38
Modified Bardenpho	20	0.45
	Average value	0.415

### 5.3 ระบบจุลินทรีย์ผสม (Mixed culture)

ในหัวข้อ 5.2 เป็นการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่สภาวะคงตัว เพื่อหาค่าพารามิเตอร์จลน์ต่าง ๆ ในกรณีของระบบซึ่งประกอบไปด้วยจุลินทรีย์โพลีพี เป็นจุลินทรีย์หลักโดยถือว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ น้อยมาก จนถือว่าไม่ได้เป็นจุลินทรีย์สำคัญในระบบ ค่าพารามิเตอร์จลน์ที่หาได้ จะเป็นค่าของจุลินทรีย์ชนิดโพลีพี

อย่างไรก็ตาม Wentzel et al.1989 ได้ทำการศึกษาระบบแอดดิเวตเตดสลัดจ์ที่ใช้กำจัดฟอสฟอรัสส่วนเกิน ในสภาพจุลินทรีย์ผสมพบว่าในระบบจะประกอบไปด้วยจุลินทรีย์ 2 รูปแบบ คือ จุลินทรีย์ชนิดโพลีพี และจุลินทรีย์ที่ไม่ใช่โพลีพี โดยจุลินทรีย์ทั้งสองจะทำหน้าที่เป็นอิสระกันภายใต้สภาพปกติของจุลินทรีย์ผสม การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จลน์ของแต่ละกลุ่มจุลินทรีย์จึงต้องแยกกัน แต่ความสัมพันธ์ที่สำคัญสิ่งหนึ่งคือ ในสภาพแอนแอโรบิกจุลินทรีย์หนึ่งจะเป็นตัวกำหนดทิศทางของจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่ง ดังจะได้อธิบายในรายละเอียดต่อไป

ในน้ำเสียชุมชนโดยทั่วไป ปริมาณกรดไขมันระเหยโมเลกุลสั้น (SCVFA) มักจะมีน้อยหรือไม่ มีเลย Wentzel et al.1988 ได้อธิบายว่าในสภาพแอนแอโรบิกสารอาหารที่ย่อยสลายได้ง่ายที่ชีววิทยา (readily biodegradable) ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำเสียถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยโมเลกุลสั้น โดยจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช่โพลีพี ซึ่งการเปลี่ยนดังกล่าวจะเป็นแหล่งคาร์บอนให้จุลินทรีย์ชนิดโพลีพีในการดูดซับเข้าในเซลล์ อัตราการเปลี่ยน (Conversion rate) จะช้ากว่าอัตราการดูดซับ (Sequestration rate) มาก ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนจะควบคุมอัตราการดูดซับมวลของสารอาหารของกรดไขมันระเหยโมเลกุลสั้นที่เกิดขึ้น ในช่วงแอนแอโรบิกจะถูกควบคุมโดยจลนศาสตร์ของการเปลี่ยนสารอาหารที่ย่อยสลายทางชีววิทยาได้ง่าย

#### 5.3.1 จลนศาสตร์ของการเปลี่ยนสารอาหารที่ย่อยสลายได้ง่ายทางชีวเป็นกรดไขมันระเหยโมเลกุลสั้น (kinetics of conversion of RBCOD to SCVFA)

Wentzel et. al,1985 ได้เสนอโมเดลการเปลี่ยน RBCOD เป็น SCVFA ภายใต้พฤติกรรมของการปล่อยฟอสฟอรัสในถังแอนแอโรบิก โดยตัวสมมติฐานว่า

- เฉพาะซีโอติที่สามารถย่อยสลายอย่างง่าย ( $S_{an}$ ) สามารถเปลี่ยนเป็นรูปที่เหมาะสมสำหรับ จุลินทรีย์ชนิดโพลีฟิ ( $X_{B,P}$ ) ในการดูดซับภายใต้ช่วงเวลากักในถังแอนแอโรบิก
- การเปลี่ยนรูปของ RBCOD เป็น SCVFA ทำโดยจุลินทรีย์ชนิดไมโซโพลีฟิ ที่ไม่สามารถ สร้างอาหารเองได้ (non-poly P heterotrophs,  $X_{B,H}$ )
- ปริมาณของ  $S_{an}$  ที่ถูกเปลี่ยนจะถูกดูดซับโดยจุลินทรีย์ชนิดโพลีฟิในทันที นั่นคืออัตราการ ปลดปล่อยฟอสฟอรัส จะถูกควบคุมโดยอัตราของการเปลี่ยนรูป
- ปริมาณ  $S_{an}$  ที่ไม่ได้ถูกเปลี่ยนจะถูกใช้ป็นสารอาหารสำหรับกระบวนการเมธาบอลิซึมของ จุลินทรีย์ชนิดไมโซโพลีฟิต่อไป
- อัตราการเปลี่ยนของ  $S_{an}$  หาได้จาก

$$dS_{an}/dt = -KX_{B,H} S_{an} \quad \text{.....(5.20)}$$

เมื่อ  $K$  = อัตราคงที่อันดับแรก ( $0.06 \text{ วัน}^{-1}$ )

$S_{an}$  = ปริมาณซีโอติที่ย่อยสลายได้อย่างง่ายในถังแอนแอโรบิก (มก.ซีโอติ/ลิตร)

- อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัส กำหนดให้เป็นอัตราส่วนที่สัมพันธ์กันกับค่าของ  $S_{an}$  ที่ถูก ดูดซับ นั่นคือ

$$\begin{aligned} dP/dt &= -C_{SP} (dS_{an}/dt) \\ &= -C_{SP} KX_{B,H} S_{an} \end{aligned}$$

เมื่อ  $C_{SP}$  คือ อัตราส่วนทางสโตอิชิโอเมตริก ( $\Delta P:\Delta S_{an}$ )

$$= 0.5 \text{ มก. } (PO_4-P) / \text{มก.ซีโอติที่ถูกเปลี่ยน}$$

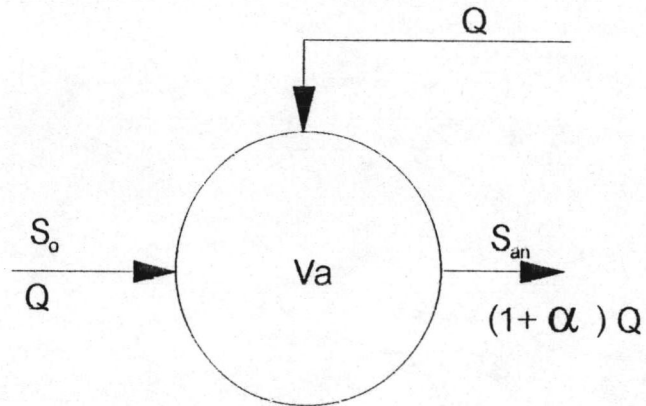
ถ้าในระบบมีปริมาณไนเตรดไหลเวียนกลับเข้ามาในถังแอนแอโรบิก อัตราการเปลี่ยนของ RBCOD เป็น SCVFA จะซับซ้อนเพิ่มขึ้น Wentzel et al, 1988 ได้ตั้งสมมติฐานว่า ปริมาณไนเตรดที่เข้ามาในถังแอนแอโรบิก จะเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งถูกใช้โดยจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้โพสิทีฟโดยตรง และเป็นผลให้เกิดเปลี่ยนเป็น SCVFA ช้าลง จนกระทั่งปริมาณไนเตรดลดน้อยลง อย่างไรก็ตามในโมเดลทางจลนศาสตร์ของการเปลี่ยน RBCOD เป็น SCVFA ปริมาณ  $S_0$  จะถูกหักออกเนื่องจากผลของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ตามสมการที่ 5.21

$$S'_0 = S_0 - \alpha 8.6 N_{03,r} \quad \dots\dots\dots(5.21)$$

- เมื่อ  $S'_0$  = ปริมาณซีโอดีที่ย่อยสลายง่าย ที่ทำได้สำหรับการเปลี่ยนเป็น SCVFA ต่อ ปริมาณน้ำเสียเข้า (มก.ซีโอดี/ลิตร)
- $S_0$  = ปริมาณซีโอดีที่ย่อยสลายง่ายของน้ำเสียเข้าทั้งหมด (มก.)
- $N_{03,r}$  = ปริมาณไนเตรดในการเวียนกลับเข้าสู่ถังแอนแอโรบิก (มก.N/ลิตร)
- $\alpha$  = อัตราส่วนการเวียนกลับเมื่อเทียบกลับอัตราไหลของน้ำเสียเข้า
- 8.6 = มวลของซีโอดีที่ถูกกำจัดต่อหน่วยของไนเตรด ที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์ (มก.ซีโอดี/มก.  $NO_3-N$ )

### 5.3.2 สมการที่สภาวะคงตัวของการเปลี่ยน RBCOD เป็น SCVFA

พิจารณาโมเดลแสดงปริมาณที่เข้าและออกถังแอนแอโรบิกของปริมาณซีโอดีที่ย่อยสลายได้ง่าย ตามรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แสดงโมเดลสมดุลมวลของ  $S_o$  ในถังแวนเอโรบิก

จากรูปที่ 5.2 เราสามารถสร้างสมการที่สภาวะคงตัวของการเปลี่ยนรูป RBCOD เป็น SCVFA จากสมมติฐานในหัวข้อที่ 5.4.1 โดยพิจารณาดังแวนเอโรบิกเพียงอย่างเดียว โดยการดุลย์มวลของ  $S_o$  รอบถังแวนเอโรบิก จะได้ตามสมการที่ 5.24

$$V_a \frac{dS_{an}}{dt} = QS'_o - (1+\alpha)QS_{an} - KX_{B,H} S_{an} V_a$$

ที่สภาวะคงตัว  $dS_{an} / dt = 0$

ดังนั้น

$$S_{an} = \frac{S'_o / (1+\alpha)}{[1 + KX_{B,H} \tau_a / (1+\alpha)]} \quad \dots\dots(5.22)$$

เมื่อ  $\tau_a$  = เวลาพักน้ำในถังแวนเอโรบิก (ชม.)

$Q$  = อัตราไหลน้ำเสียเข้าระบบ (ลิตร/วัน)

$V_a$  = ปริมาตรของถังแวนเอโรบิก

$X_{B,H}$  = มวลเซลล์ของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้โพลิฟิ ในระบบ

$$X_{B,H} = \frac{Y_H S_{B,H}}{(1/\theta_c + \gamma_H + b_H)\tau} \quad \text{.....(5.23)}$$

สำหรับเซลล์ที่ตายของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้โพลีพีทาได้จากสมการ 5.26

$$X_{E,H} = \frac{\gamma_H X_{B,H}}{1/\theta_c + b} \quad \text{.....(5.24)}$$

ดังนั้นเซลล์ทั้งหมดของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้โพลีพีจะเท่ากับ

$$\begin{aligned} X_{T,H} &= X_{B,H} + X_{E,H} \\ &= \frac{(\theta_c/\tau) Y_H S_{B,H}}{1 + b_H \theta_c} \quad \text{.....(5.25)} \end{aligned}$$

โดยที่  $S_{B,H} = S_o - S_{seq} \quad \text{.....(5.26)}$

$$S_{seq} = S'_o + (1 + \alpha) S_{an} \quad \text{.....(5.27)}$$

เมื่อ  $S'_o + (1 + \alpha) S_{an} =$  มวลของสารอาหารเข้า ซึ่งถูกดูดซับโดยจุลินทรีย์ชนิดโพลีพีตลอดช่วงของแอนแอโรบิค

$S_o =$  ค่าซีโอดีที่ย่อยสลายทางชีวะได้ (มก.ซีโอดี/ลิตร)

$S_{B,H} =$  ค่าซีโอดีที่ย่อยสลายทางชีวะที่ทำได้สำหรับจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้โพลีพี (มก.ซีโอดี/ลิตร)

$Y_H =$  อัตราการใช้สารอาหารของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้โพลีพี

$b_H =$  อัตราการสลายตัวของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้โพลีพีที่ตาย ( $\text{ชม}^{-1}$ )

$\theta_c =$  ค่าอายุตะกอนของระบบ (วัน)

$S_{an} =$  ค่าซีโอดีที่ย่อยสลายได้ง่ายในถังแอนแอโรบิค (มก.ซีโอดี/ลิตร)

$S_{seq} =$  ปริมาณของ SCVFA ที่เกิดขึ้นสำหรับจุลินทรีย์ชนิดโพลีพีที่ดูดซับไว้ในเซลล์ (มก.ซีโอดี/ลิตร)

การคำนวณหาค่าทางจลนศาสตร์ของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช่โพลีพี จะต้องคำนึงถึงผลของของแข็ง  
เฉื่อยเข้ามาพิจารณาด้วย

#### 5.4 ผลของอุณหภูมิ ที่มีต่อค่าพารามิเตอร์จลน

โดยทั่วไป ปฏิกริยาทางชีวเคมี จะได้รับอิทธิพลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังนั้น ในการ  
หาสัมประสิทธิ์ทางจลนศาสตร์ต่าง ๆ ของการวิจัยครั้งนี้ จึงต้องคำนึงถึงผลของอุณหภูมิไว้ได้ โดยทั่วไป  
ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่าง ๆ จะหาเทียบที่อุณหภูมิ 20 °ซ แต่ในการทดลองวิจัยอุณหภูมิ  
เฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัว (Steady state) จะอยู่ที่ 28 °C เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการปรับแก้มาที่อุณหภูมิ  
20 °ซ

Arrhenius ได้เสนอสมการอธิบายผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ ของอัตราการเจริญเติบโต  
โตสูงสุด ( $\mu_m$ ) ตามสมการที่ 5.30

$$\mu_m (T) = \mu_{m(20^{\circ}C)} \theta^{T-20} \quad \text{.....(5.28)}$$

$$\mu_m (T) = \mu_{m(20^{\circ}C)} e^{K(T-20)} \quad \text{.....(5.29)}$$

$$\text{โดยที่ } K = \ln \theta \quad \text{.....(5.30)}$$

สมการดังกล่าวสามารถใช้ในช่วงอุณหภูมิ 7° - 30°ซ.

โดยทั่วไป Arrhenius ได้เสนอค่า  $\theta$  อยู่ในช่วง 1.08 ถึง 1.123 สำหรับใช้ในการคำนวณ (หา  
ได้จากการศึกษาที่ผ่านมา) และจากความสัมพันธ์ตามสมการ 5.29 สามารถหาผลของอุณหภูมิต่ออัตรา  
การสลายตัวจำเพาะ =  $b$  ได้ตามสมการ 5.31

$$b_T = b_{20} e^{K(T-20)} \quad \text{.....(5.31)}$$

ส่วนผลของอุณหภูมิต่อตัวคงที่การอิมิตัว ได้มีการศึกษากันน้อยมาก และผลปรากฏว่าค่า  
 $K_i$  มีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน และยังไม่มียุทธวิธีที่แน่นอน

อย่างไรก็ตาม ไม่ควรใช้ค่าที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมา (literature) ในการประเมินค่าพารามิเตอร์จลน์ เนื่องจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ เหล่านั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะน้ำเสียที่ใช้บำบัด ดังนั้นการประเมินที่ต้องการ หากจากการทดลองของพารามิเตอร์จลน์ที่ค่าอุณหภูมิต่าง ๆ กัน แล้วนำมาเขียนกราฟเพื่อหาค่าคงที่ เพื่อใช้ในการประเมินจะให้ผลที่ใกล้เคียงและถูกต้องมากกว่า