

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาเพื่อความเข้าใจพื้นฐานของแนวคิดทฤษฎีที่สองของระบบแอคติเวเทดสลัดจ์ ในสถานะที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา และสร้างโปรแกรมเพื่อช่วยในการดำเนินงานของโรงบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยใช้แบบจำลองที่คำนึงถึงสารอาหารที่ซับซ้อนซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้โดยตรง แต่สามารถเปลี่ยนเป็นสารอาหารที่จุลินทรีย์นำไปใช้งานได้โดยผ่านขบวนการไฮโดรไลซิส รวมถึงการพิจารณาขบวนการการตายของจุลินทรีย์ ที่ส่งผลถึงการเพิ่มปริมาณสารอาหารภายในระบบ ประกอบด้วย สารอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง (Readily Biodegradable Substrate) สารอาหารที่ต้องผ่านขบวนการไฮโดรไลซิส (Slowly Biodegradable Substrate) จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่กำจัดสารเจือปนออกจากน้ำทิ้ง (Viable Heterotrophic Biomass) ผลิตภัณฑ์ที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้นจากการเจริญเติบโตและการตาย (Particulate and Soluble Residual Microbial Products) สารที่เข้าระบบพร้อมกับน้ำเสียและสามารถผ่านออกจากระบบโดยที่ไม่เกิดปฏิกิริยาใด ๆ (Soluble Inert COD) และสารที่จะถูกกักเก็บสะสมไว้ในตะกอนจุลินทรีย์ (Particulate Inert COD) ซึ่งจะออกจากระบบโดยผ่านการสูบตะกอนทิ้ง ส่วนของปริมาณออกซิเจนที่ระบบต้องการและปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจะเพิ่มเติมไว้สำหรับผู้สนใจจะนำไปพัฒนาต่อแต่ละจะไม่มีการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้

สมมติฐานการคำนวณค่าของโปรแกรมจะให้โปรแกรมคำนวณค่าน้ำเสียที่ละค่าโดยผ่านแบบจำลอง เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นจากค่าเริ่มต้นจนเข้าสู่สภาวะคงตัว และให้ความเข้มข้นในสภาวะนี้เป็นตัวแทนค่าความเข้มข้นในน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ในขั้นตอนการวิจัยแยกออกเป็นสองส่วนหลัก คือ ส่วนแรกทำการศึกษาแบบจำลองโดยศึกษาหาสมการผลเฉลยในสภาวะคงตัวเพื่อนำมาคำนวณเปรียบเทียบกับค่าผลเฉลยของโปรแกรมเมื่อเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สภาวะคงตัว เป็นการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม และส่วนที่สองนำโปรแกรมที่ตรวจสอบแล้วมาทดสอบกับข้อมูลจริงจากระบบบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบแอคติเวเทดสลัดจ์

เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกเสนอขึ้น โดย Task Group (Henze and others, 1987) ประกอบด้วย สมการหลักทั้งหมด 5 สมการ ซึ่งอยู่บนสมมติฐานการตายหรือสูญเสียการเคลื่อนไหวของจุลินทรีย์ โดยผ่านการทำสมดุลมวลสารในถังเติมอากาศ

$$\frac{dS_s}{dt} = \frac{S_{sl}}{\theta_h} - \frac{S_s}{\theta_h} - \frac{\hat{\mu}_H}{Y_H} \frac{S_s}{K_s + S_s} X_H + (1 - f_{ps}) K_h X_s \quad (3.1)$$

$$\frac{dX_H}{dt} = \frac{X_H}{\theta_h} - \frac{X_H}{\theta_x} + \hat{\mu}_H \frac{S_s}{K_s + S_s} X_H - b'_H X_H \quad (3.2)$$

$$\frac{dX_s}{dt} = \frac{X_{sl}}{\theta_h} - \frac{X_s}{\theta_x} + (1 - f_{px}) b'_H X_H - K_h X_s \quad (3.3)$$

$$\frac{dX_p}{dt} = f_{px} b'_H X_H - \frac{X_p}{\theta_x} \quad (3.4)$$

$$\frac{dS_p}{dt} = \alpha_R \hat{\mu}_H \frac{S_s}{K_s + S_s} X_H + f_{ps} K_h X_s - \frac{S_p}{\theta_h} \quad (3.5)$$

การสร้างแบบจำลองในสถานะที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Dynamic State) ทำโดยใช้ภาษา Visual Basic for Applications (VBA) เป็นภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมและทำการแสดงผลใน เอ็กเซล 97 ให้ออกมาในรูปกราฟที่สัมพันธ์กับเวลา โดยในการหาผลเฉลยจะเขียนโปรแกรมตามวิธีการหาผลเฉลยของรุงเก-คุตดา ในการเขียนโปรแกรมมีข้อจำกัดในรูปแบบตัวอักษร ดังนั้นจึงสมมติตัวแปรใหม่ขึ้น ซึ่งอาจไม่ตรงกับตัวแปรต้นแบบ เพื่อความสะดวกในการเขียนโปรแกรม

3.1.1 ระบบสมการที่เขียนในโปรแกรม

$$\text{rate}(1, i) = ((y0(1) / OH) - (y(1) / OH)) - ((MH / YH) * y(2) * (y(1) / (KS + y(1)))) + ((1 - FPS) * KH * y(3))$$

$$\text{rate}(2, i) = (y0(2)/OH) - (BH * y(2)) - (y(2) / OX) + (MH * (y(1) / (KS + y(1))) * y(2))$$

$$\text{rate}(3, i) = ((y0(3) / OH) - (y(3) / OX)) + ((1 - FPX) * BH * y(2)) - (KH * y(3))$$

$$\text{rate}(4, i) = (FPX * BH * y(2)) - (y(4) / OX)$$

$$\text{rate}(5, i) = (AR * MH * (y(1) / (KS + y(1))) * y(2)) - (y(5) / OH) + (FPS * KH * y(3))$$

3.1.2 สมการที่ใช้ในฟังก์ชันเสริมการทำงานของโปรแกรมและสมมติฐานเพิ่มเติม

$$\text{ก. } \frac{1}{\theta_x} \approx Y_{NH} (F/M) \quad \text{Orhon (1998)}$$

$$\text{ข. } MLVSS = X_H + X_s + X_p + X_{II} \frac{\theta_x}{\theta_h} \quad \text{Orhon (1998)}$$

ก. $OR = Q(C_{SI} - C_S)[1 - Y_{NH}(1 + f_E b_H \theta_X)]$ Orhon (1998)

ง. $P_{XT} = Q(C_{SI} - C_S)Y_{NH}(1 + f_{EX} b_H \theta_X) + Q \frac{f_{XI}}{f_S} C_{SI}$ Orhon (1998)

จ. $Y_{NH} = \frac{Y_H}{1 + b_H \theta_X}$ Orhon (1998)

ฉ. $MLVSS/MLSS = 0.7$ Orhon (1994)

ช. $b'_H = \frac{b_H}{1 - Y_H(1 - f_{PX})}$ Orhon (1994)

ซ. $f_{EX} = 0.11$ และ $f_{ES} = 0.05$ Orhon (1994)

ณ. $F/M = (Q \times C_{PI}) / (1936 \times MLSS)$ ระบบบำบัดน้ำเสีย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.2 การตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมเทียบกับสถานะคงตัว

ค่าคงที่ต่าง ๆ และวิธีการหาสมการผลเฉลยในสถานะคงตัว อ้างอิงจากหนังสือ *Modelling of Activated Sludge Systems*. (Orhon, 1994) รายละเอียดของการหาสมการผลเฉลยแสดงในภาคผนวก ค. ค่าคงที่ที่นำมาใช้เพื่อตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมแสดงในตาราง 3.1

ขั้นตอนการหาผลเฉลยจากสมการในสถานะคงตัว แยกเป็นสามส่วน ส่วนแรก คือ ส่วนของสารอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรง (Readily Biodegradable Substrate ; S_S) จะขึ้นกับค่าอายุตะกอนและเป็นส่วนแรกที่ต้องคำนวณเพื่อนำไปแทนในสมการผลเฉลยของพารามิเตอร์อื่นๆ ต่อไป

$$S_S = \frac{K_S(1 + b'_H \theta_X)}{\mu_H \theta_X - (1 + b'_H \theta_X)} \quad (3.6)$$

ส่วนที่สองเป็นส่วนของสารแขวนลอย (Particulate Component) ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ (Heterotrophic Biomass ; X_H) สารอาหารที่มีพันธะที่ซับซ้อน (Slowly Biodegradable Substrate ; X_S) ในการหาผลเฉลยค่าความเข้มข้นของพารามิเตอร์ทั้งสองจะขึ้นกับ ค่าอายุตะกอน ค่าความเข้มข้นในน้ำออกของสารอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้โดยตรง ซึ่งคำนวณจากสมการ 3.6 และระยะเวลา

การบำบัด ซึ่งจะต้องกำหนดเพิ่มเติม โดยจะต้องทำการหาค่าสารอาหารที่มีพันธะที่ซับซ้อนก่อนแล้ว
จึงจะสามารถหาค่าปริมาณจุลชีพในถังเดิมอากาศได้

$$X_S \theta_h = \frac{(S_S - S_{SI}) b'_h (1 - f_{PS}) - \frac{\hat{\mu}_H}{Y_h} \frac{S_S}{K_S + S_S} X_{SI}}{(1 - f_{PS})^2 K_h b'_H - \frac{\hat{\mu}_H}{Y_h} \frac{S_S}{K_S + S_S} \left(K_h + \frac{1}{\theta_x} \right)} \quad (3.7)$$

$$X_H \theta_h = \left[\frac{X_S \theta_h \left(K_h + \frac{1}{\theta_x} \right) - X_{SI}}{b'_H (1 - f_{PS})} \right] \quad (3.8)$$

ส่วนที่สาม คือ ส่วนของผลิตภัณฑ์ในรูปสารละลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเจริญเติบโตและการตายของจุลชีพ (Soluble Inert Microbial Products ; S_p) และ ผลิตภัณฑ์ในรูปของสารแขวนลอยที่เกิดจากการตายของจุลชีพ (Particulate Inert Microbial Products ; X_p) เนื่องจากสมการผลเฉลยอยู่ในรูปของปริมาณจุลชีพ ส่วนนี้จึงเป็นส่วนสุดท้ายที่จะคำนวณหาผลเฉลย

$$f_{PX} b'_H X_H - \frac{X_P}{\theta_x} = 0 \quad (3.9)$$

$$\alpha_R \hat{\mu}_H \frac{S_S}{K_S + S_S} X_H + f_{PS} K_h X_S - \frac{S_P}{\theta_h} = 0 \quad (3.10)$$

ตาราง 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณผลเฉลยในสภาวะที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

Parameter	Meaning – actual units	Value
f_{PX}	Inert Fraction of the Endogenous Particulate Matter	0.08
b'_H	Rate of Viability Loss for Heterotrophic Biomass	0.62/day
α_R	Growth-associated Soluble Inert Product Formation Coefficient for the Death Regeneration Model	0.05

ตาราง 3.1(ต่อ)

Parameter	Meaning – actual units	Value
f_{ps}	Fraction of the Endogenous Particulate Matter Converted into Soluble Inert Microbial Products	0.1
Y_H	Means of the Yield Coefficient	0.67 mg Cell COD/COD
K_h	First-order Hydrolysis Rate Coefficient	50/day
K_s	Half-velocity Constant	20 mg/l
$\hat{\mu}_H$	Specific Growth Rate of Heterotrophic Biomass	3/day
θ_h	Detention Time	0.32 day

ในการดำเนินการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมจะตั้งสถานะสมมติขึ้นเพื่อเปรียบเทียบผลเฉลยจากสมการและผลเฉลยจากโปรแกรม แยกเป็น 4 กรณี กรณีที่หนึ่ง กำหนดค่าอายุตะกอน 5 วัน ค่า S_{st} 250 mg/l กรณีที่สอง กำหนดค่าอายุตะกอน 5 วัน ค่า S_{st} 500 mg/l กรณีที่สาม กำหนดค่าอายุตะกอน 10 วัน ค่า S_{st} 250 mg/l กรณีที่สี่ กำหนดค่าอายุตะกอน 10 วัน ค่า S_{st} 500 mg/l โดยให้ค่าเริ่มต้นของจุลชีพและสารอาหารที่ซับซ้อนเป็น 10% ของค่า S_{st}

3.3 การทดสอบโปรแกรมกับค่าน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การทดสอบการทำงานของโปรแกรมจะใช้ค่าคงที่ต่าง ๆ ที่มีการเสนอไว้ในรายงานการวิจัย (Orhon, 1998.) แสดงในตาราง 3.2 และในขั้นตอนแรกก่อนที่จะนำโปรแกรมทดสอบกับค่าน้ำเสียจริงจะต้องทดสอบหาตัวแทนค่าสัดส่วนชีโอดีของน้ำเสียมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ก่อน โดยการทดสอบหาค่าสัดส่วนชีโอดีจะใช้ค่าสัดส่วนชีโอดีที่มีการรายงานไว้ตามตาราง 2.2 นำมาใช้กับโปรแกรมเพื่อหาผลเฉลยมาเทียบกับค่าน้ำเสียจริงของระบบบำบัด แล้วพิจารณาหาค่าสัดส่วนชีโอดีที่ทำให้ผลผิดพลาดโดยรวมน้อยที่สุด นำมาเป็นตัวแทนค่าสัดส่วนชีโอดีของน้ำเสียมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ในโปรแกรม จากการตรวจสอบค่าสัดส่วนชีโอดีที่จะนำไปใช้กับโปรแกรมแสดงดังตาราง 3.3

ตาราง 3.2 Kinetic Parameters และ ค่าคงที่ ที่ใช้กับ โปรแกรม

Parameter	Meaning-Actual Units	ค่าที่ใช้
b'_H	Rate of Viability Loss for Heterotrophic Biomass	0.62
α_R	Growth-Associated Soluble Inert Product Formation Coefficient for the Death-Regeneration Model	0.05
Y_H	Means of the Yield Coefficient	0.67
K_h	First-Order Hydrolysis Rate Coefficient	3.0
K_S	Half-Velocity Constant	10
f_{PX}	Inert Fraction of the Endogenous Particulate Matter	0.08
f_{PS}	Fraction of the Endogenous Particulate Matter Converted into Soluble Inert Microbial Products	0.1
$\hat{\mu}_H$	Maximum Specific Growth Rate	4.8

ตาราง 3.3 ค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนซีโอดี

Parameter	Meaning-Actual Units	ค่าที่ใช้(%)
f_{SI}	Soluble Inert Fraction of the Influent COD	2
f_{XI}	Particulate Inert Fraction of the Influent COD	18
f_{SS}	Readily Biodegradable Fraction of the Influent COD	20
f_{XS}	Slowly Biodegradable Fraction of the Influent COD	40
f_{XH}	Heterotrophic Biomass Fraction of the Influent COD	20

3.4 ขั้นตอนวิธีการวิจัย

3.4.1 ศึกษาแบบจำลองและเขียนโปรแกรมหลักในการคำนวณ (วิธีการหาผลเฉลยใช้ขั้นตอนของ รุงเก-คุตตา เขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา Visual Basic for Applications และให้ทำการแสดงผลบนไมโครซอฟต์เอ็กเซล 97) และทำการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมกับผลเฉลยที่ได้จากสมการในสภาวะคงตัวของแบบจำลอง

3.4.2 ทดสอบหาค่าสัดส่วนชีโอดีที่มีการรายงานไว้ เพื่อหาค่าสัดส่วนชีโอดีที่ให้ผลผิดพลาดโดยรวมน้อยที่สุด นำมาเป็นตัวแทนค่าสัดส่วนชีโอดีของน้ำเสียในโปรแกรม และ เขียนโปรแกรมในส่วนฐานข้อมูล ให้ชื่อว่า DATABASE เพื่อใช้เก็บข้อมูลที่นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยเชียงใหม่และเพิ่มเติมส่วนของการคำนวณออกซิเจนกับปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นต่อวัน

3.4.3 ทำการหาผลเฉลยโดยการทำงานของโปรแกรม ใช้ค่านำเข้าเป็นค่าจากข้อมูลจริง (ปี 2542 ทั้งหมด 48 ชุดข้อมูล เนื่องจากแบบจำลองใช้ค่าชีโอดีเป็นหลัก แต่การวิเคราะห์ค่าชีโอดีเสียค่าใช้จ่ายสูงทางผู้ควบคุมระบบบำบัดจึงมีการตรวจสอบสัปดาห์ละ 1 ครั้ง และ ข้อมูลปี 2542 เป็นข้อมูลที่ระบบดำเนินงานในสภาวะที่เสถียรที่สุดและมีการผิดพลาดน้อย) ข้อมูลที่เริ่มต้นที่ได้เข้าสู่โปรแกรมจะใช้ค่าจากข้อมูลจริง คือ อัตราการไหล ชีโอดีในน้ำเข้า ชีโอดีในน้ำออก ค่าอัตราส่วนสารอาหารต่อปริมาณของจุลชีพ และ ค่า MLSS ในถังเติมอากาศ ผลลัพธ์จากโปรแกรมจะแสดงผลออกมา 5 พารามิเตอร์ คือ ค่า MLSS ในถังเติมอากาศ ค่าชีโอดีในน้ำออก ค่าอัตราส่วนสารอาหารต่อปริมาณจุลชีพ ค่าปริมาณออกซิเจนที่ระบบต้องการ และปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นต่อวัน รวมถึงแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดเมื่อเทียบกับข้อมูลจริงของพารามิเตอร์ MLSS ในถังเติมอากาศ ค่าชีโอดีในน้ำออก ค่าอัตราส่วนสารอาหารต่อปริมาณจุลชีพ

3.4.4 ในกรณีที่ค่าจากแบบจำลองมีการผิดพลาดจะทำการปรับแต่งค่าผลเฉลย เพื่อลดส่วนของความผิดพลาดลง ปรับผลเฉลยให้ใกล้เคียงกับระบบจริง โดยตั้งสมมติฐานค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้อยู่ในช่วงไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์

3.4.5 สร้างรูปแบบโปรแกรมช่วยการดำเนินงานของโรงบำบัดน้ำเสีย สำหรับพยากรณ์ค่าชีโอดีในน้ำออก ค่า MLSS ในถังเติมอากาศ ปริมาณน้ำตะกอนส่วนเกินที่นำไปทิ้งต่อวัน และ อัตราการสูบตะกอนย้อนกลับ โดยมีค่าที่ได้เข้าสู่โปรแกรม (Input Data) คือ อัตราส่วนสารอาหารต่อปริมาณจุลชีพ ซึ่งผู้ควบคุมระบบกำหนดขึ้น อัตราการไหลจริง MLSS ในถังเติมอากาศจริง MLSS ในท่อสูบตะกอนย้อนกลับจริง ชีโอดีในน้ำเข้าจริง