

บทที่ 2

หลักการ ทฤษฎี เหตุผล และ/หรือ สมมติฐาน

2.1 แหล่งและคุณลักษณะของน้ำทิ้ง

น้ำทิ้ง (Wastewater) หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ต่าง ๆ อาทิเช่น การชำระล้าง ร่างกาย การประกอบอาหาร การขับถ่ายของเสีย การล้างวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรม การล้าง เครื่องจักร ฯลฯ ทำให้คุณลักษณะของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิมเนื่องจากมีสิ่งสกปรกต่างๆ ทั้งสารอินทรีย์และ สารอนินทรีย์ถ่ายเทลงมาเจือปนอยู่ในน้ำ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามแหล่งกำเนิด คือ

2.1.1 น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน (Sewage)

ได้แก่ น้ำทิ้งจากบ้านพักอาศัย อาคารร้านค้า ตลาด ฯลฯ ที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เช่น การชำระร่างกาย การซักเสื้อผ้า การประกอบอาหาร ฯลฯ สิ่งสกปรก ในน้ำทิ้งประเภทนี้ส่วนมากเป็นสารอินทรีย์

2.1.2 น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater)

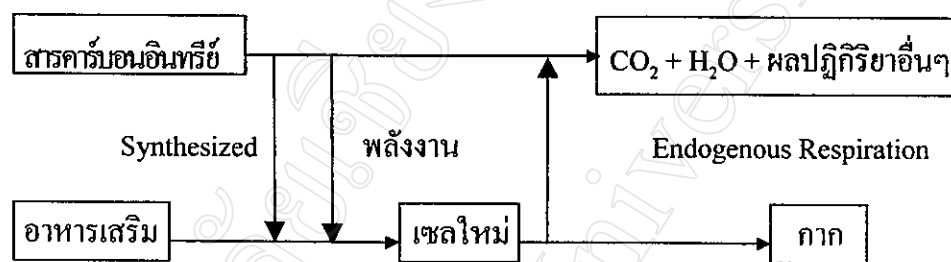
ได้แก่ น้ำทิ้งที่เกิดจากขบวนการต่างๆ ในอุตสาหกรรม เช่น การล้างวัตถุดิบ น้ำทิ้งจาก ขบวนการผลิต การระบายความร้อน ฯลฯ สิ่งสกปรกในน้ำประเภทนี้มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ขึ้นกับลักษณะการใช้น้ำและประเภทของโรงงาน

2.2 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยา (Biological Process)

มีวัตถุประสงค์ คือ การแยกตะกอนที่มีขนาดเล็กไม่สามารถตกตะกอนเองได้โดยอาศัย แรงโน้มถ่วงของโลก และ คือการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสีย สำหรับน้ำเสียจากโรงงาน อุตสาหกรรมซึ่งจะมีสารอินทรีย์และอนินทรีย์ต่างๆ บางตัวอาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย ด้วยวิธีทางชีววิทยา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดสารพิษในน้ำเสียออกให้หมดก่อน

2.2.1 หลักการของการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีววิทยา

ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยาจะใช้จุลินทรีย์ต่างๆ เช่น แบคทีเรีย ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำ โดยจุลินทรีย์เหล่านี้ จะทำการแปรสภาพ หรือย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นคาร์บอน (Carbonaceous Organic Matter) ไปเป็นก๊าซต่างๆ ได้พลังงานออกมาใช้ประโยชน์ส่วนหนึ่งและอีกส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็นเนื้อเชื้อเซล ดังรูป 2.1

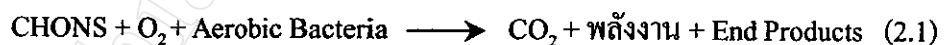


รูป 2.1 ระบบการย่อยสลายของสารคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำเสียโดยตัวจุลินทรีย์
ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 1994.

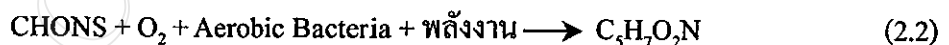
2.2.2 ปฏิกิริยาชีวเคมี

มีอยู่ 2 แบบใหญ่ ๆ คือ แบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ในขบวนการแบบใช้ออกซิเจนจะต้องเติมออกซิเจนแก่น้ำเสียให้เพียงพอ ปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้นเป็นดังนี้

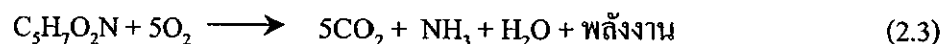
ก. การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Oxidation)



ข. การสร้างเซลล์แบคทีเรีย (Synthesis)



ค. การย่อยสลายของแบคทีเรียเมื่อสารอินทรีย์หมดไป (Endogenous Respiration)



2.2.3 จุลินทรีย์ (Microorganism)

การกำจัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีววิทยามีหลายระบบ แต่ทุกระบบจะใช้จุลินทรีย์ (Microbes) โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรีย (Bacteria) เป็นตัวหลัก แต่ในระบบจริงนั้นยังมีจุลินทรีย์ประเภทต่าง ๆ อีกหลายตัวที่มีความสำคัญปะปนอยู่เช่น อัลจี รา และ โปรโตซัว เป็นต้น ในเซลล์จุลินทรีย์ประกอบด้วยน้ำ 80-90% ของน้ำหนักรวม ซึ่ง 90% ของน้ำหนักแห้งของเซลล์เป็นสารอินทรีย์ และ 10% ของน้ำหนักแห้ง

ของเซลล์เป็นสารอินทรีย์ 50–55% เป็นสารคาร์บอน 25–30% เป็นออกซิเจน 10–15% เป็นไนโตรเจน 6–10% เป็นไฮโดรเจน 1–3% เป็นฟอสฟอรัส และ 0.5–1.5% เป็นกำมะถัน

ในการดำเนินงานของระบบนั้น ปริมาณจุลชีพในส่วนของสารอินทรีย์จะถูกวัดได้โดยใช้ค่าของแข็งแขวนลอย (Volatile Suspended Solids : VSS) ส่วนของความเข้มข้นของจุลชีพรวมจะใช้ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids : SS) ส่วนของแบบจำลองจะคิด Heterotrophic Organism เป็นจุลชีพเพียงชนิดเดียวในระบบ

2.2.4 ประเภทของแบคทีเรีย

ก. Autotrophic Bacteria เป็นแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนอิสระเผาผลาญสารอินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงาน และ จะใช้คาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียประเภทนี้จึงสามารถสังเคราะห์สารอินทรีย์ในเซลล์ได้จากสารอินทรีย์ แบคทีเรียประเภทนี้ที่สำคัญที่สุดในการกำจัดน้ำทิ้ง ได้แก่ Nitrifying Bacteria ซึ่งสามารถเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนเตรด

ข. Heterotrophic Bacteria แบคทีเรียประเภทนี้จะได้พลังงานและคาร์บอนจากสารอินทรีย์ เป็นแบคทีเรียที่สำคัญที่สุดในการกำจัดน้ำทิ้ง

2.2.5 การเจริญเติบโตของตัวจุลินทรีย์ (Growth of Microorganism)

การแพร่พันธุ์ของจุลินทรีย์เป็นการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนแบบทวีคูณ ในการสร้างเซลล์ใหม่ จุลินทรีย์จะต้องใช้ สารคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและพลังงาน การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบ่งออกเป็น 5 ช่วง ดังแสดงในรูป 2.3 Lag Phase , Logarithmic Growth Phase , Retardation Phase , Stationary Phase and Acceleration Death Phase

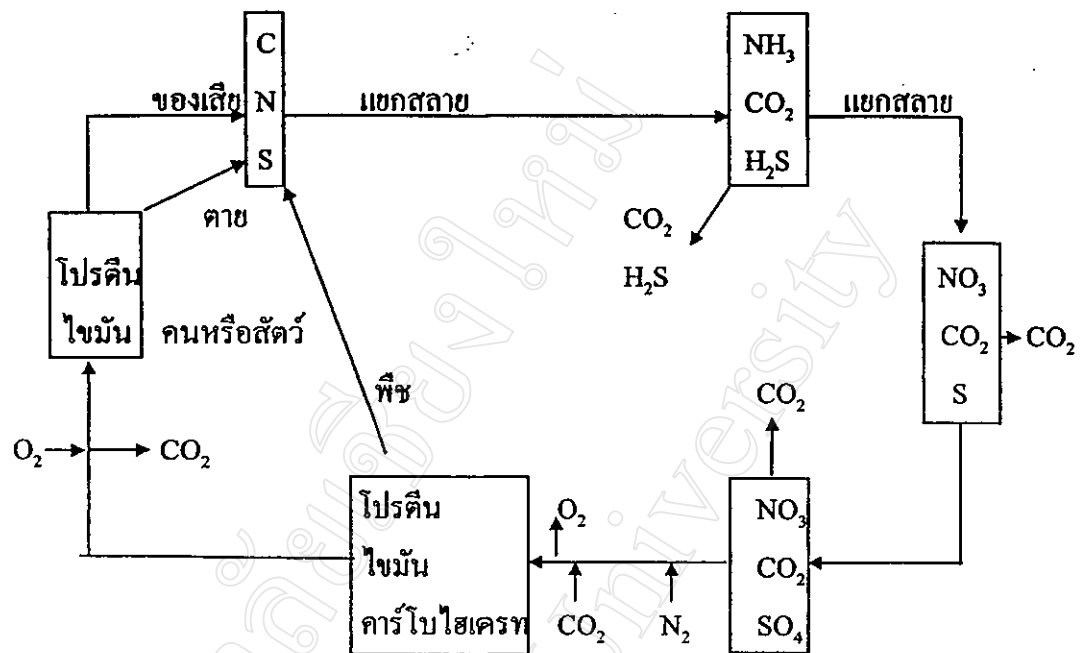
ก. Lag Phase เป็นช่วงเริ่มต้นที่จุลินทรีย์ จะมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมเพื่อเจริญเติบโตมีความเข้มข้นของเซลล์ต่ำเป็นช่วงที่เซลล์จะดูดซึมสารอาหารเข้าสู่เซลล์พร้อมที่จะเติบโต

ข. Log Phase เป็นช่วงที่จุลินทรีย์คุ้นเคยกับระบบแล้ว จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและพบว่าอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เป็นปฏิกิริยาลำดับหนึ่ง จัดเป็นช่วงที่มีค่า F/M Ratio สูง (ปริมาณอาหาร/จำนวนจุลินทรีย์) จำนวนจุลินทรีย์ที่ตายลงไปถึงถือว่าน้อยมากจนไม่ต้องคำนึงถึง

ค. Retardation Phase เป็นช่วงที่จุลินทรีย์มีปริมาณมากจนสารอาหารไม่เพียงพอทำให้เกิดการแย่งอาหารและมีจุลชีพบางส่วนตาย ทำให้อัตราการตายเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าในช่วงนี้จะมีปริมาณของจุลินทรีย์มากแต่ก็จะเป็นช่วงสั้นๆ เท่านั้น

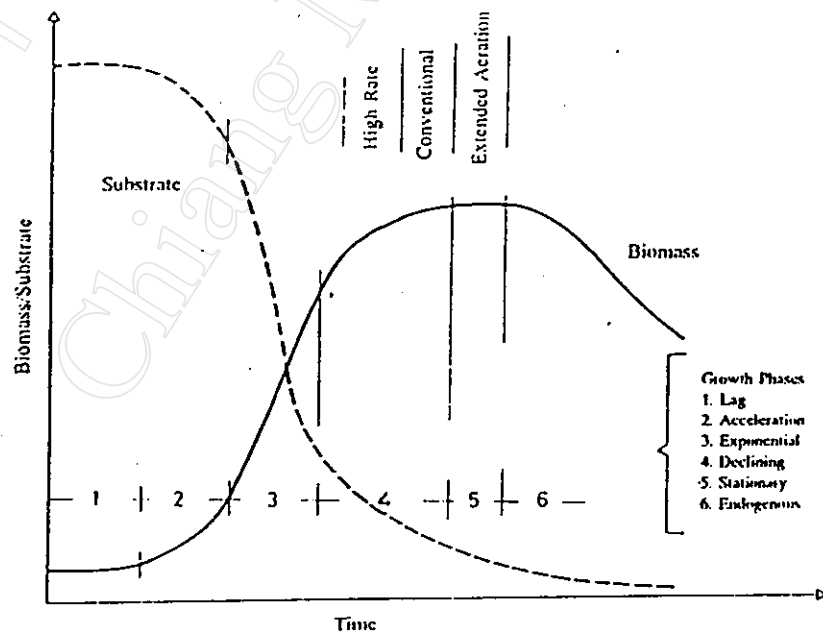
ง. Stationary Phase เป็นช่วงที่มีจำนวนจุลินทรีย์มากที่สุดแต่จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์เป็นศูนย์ อาหารมีจำนวนจำกัด

จ. Acceleration Death Phase เป็นช่วงที่จุลินทรีย์มีปริมาณลดลงอัตราการตายเพิ่มขึ้น



รูป 2.2 วัฏจักร Aerobic ในธรรมชาติ (Aerobic Cycle)

ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 1994



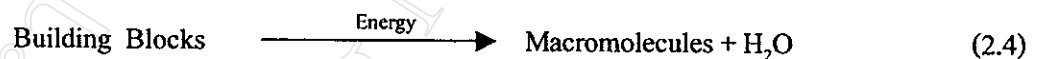
รูป 2.3 Typical Growth Curve of a Bacterial Culture

ที่มา : Orhon and Artan , *Modelling of Activated Sludge Systems.*, 1994.

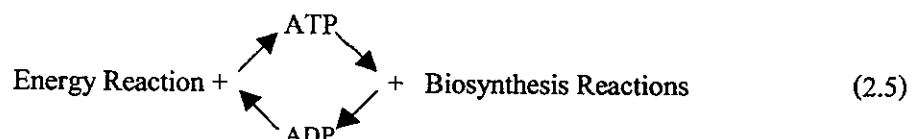
2.3 สมมติฐานของเซลล์จุลชีพในระบบแอคติเวทเตดสลัดจ์

ระบบแอคติเวทเตดสลัดจ์ (Activated Sludge ; AS) ก็เหมือนระบบบำบัดทางชีววิทยาอื่นๆ ที่กำจัดสารเจือปนโดยใช้ปฏิกิริยาชีวเคมี สารเจือปนที่ถูกกำจัดเป็นประเภทที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable Wastewater Components) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า เมตาบอลิซึม (Metabolism) ซึ่งเป็นตัวกำหนดอัตราการเจริญเติบโตและการสร้างเซลล์ของแบคทีเรีย โดยปฏิกิริยาเมตาบอลิซึมนั้นจะถูกกระตุ้นโดยเอนไซม์ชนิดพิเศษ ที่มีความสามารถลดพลังงานก่อกัมมันต์ในปฏิกิริยาชีวเคมี ทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาและเมื่อเกิดปฏิกิริยาสารเจือปนก็จะถูกกำจัด สารเจือปนเหล่านี้จะเรียกว่าสารอาหาร (Substrate) จะถูกเอนไซม์ดูดซึมผ่านผนังโมเลกุลเข้าไปเก็บไว้ และเปลี่ยนรูปเป็นสารอาหารที่มีพันธะไม่ซับซ้อนพร้อมที่จะใช้งาน (Intermediate Products) จากนั้นจะถูกส่งไปใช้งานใน 2 ขบวนการหลัก ขบวนการแรก เป็นขบวนการผลิตพลังงาน (Catabolism or Dissimilation) ขบวนการที่สอง เป็นขบวนการสร้างเซลล์ (Anabolic or Assimilation)

องค์ประกอบของจุลชีพประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และกรดนิวคลีอิก ซึ่งมี Building – Block Molecules (BBM) ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์เซลล์ โดยปฏิกิริยานี้ต้องการพลังงานในการทำให้เกิดปฏิกิริยาดังสมการ

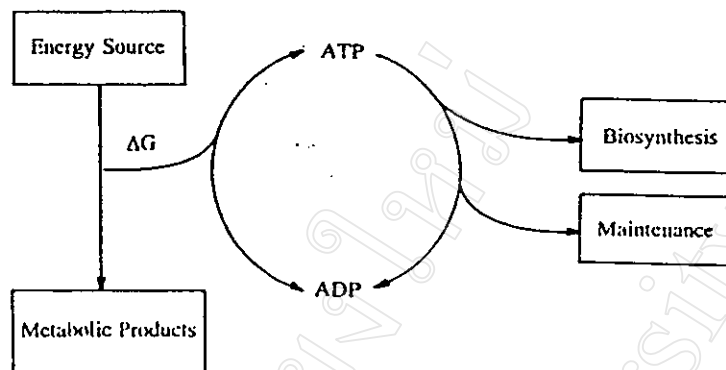


ซึ่งพลังงานในการทำให้เกิดปฏิกิริยาจะได้มาจากขบวนการผลิตพลังงาน (Calabolism) ส่งมาในรูปพลังงานเคมี โดยใช้ Adenosine Diphosphate Molecule (ADP) มารับพลังงานที่ผลิตจากขบวนการสร้างพลังงานเมื่อเอนดีฟรับพลังงานก็จะเปลี่ยนรูปเป็น Adenosine Triphosphate Molecule (ATP) ถ้าเลี้ยงพลังงานส่งไปยังปฏิกิริยาการสร้างเซลล์ เมื่อเอนดีฟส่งพลังงานแล้วก็จะเปลี่ยนรูปเป็นเอนดีฟกลับไปรับพลังงานใหม่เป็นวัฏจักร



2.3.1 สมมติฐานการใช้พลังงานของจุลชีพ(ภาพรวม)

พลังงานที่ได้จากขบวนการผลิตพลังงานจะถูกใช้ใน 2 ส่วน ส่วนแรกสำหรับสังเคราะห์เซลล์ โดยใช้พลังงานและสารคาร์บอนทำให้เกิดการลดลงของสารคาร์บอนในน้ำ (For Biosynthesis) ส่วนที่สองสำหรับการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ (For Maintenance)

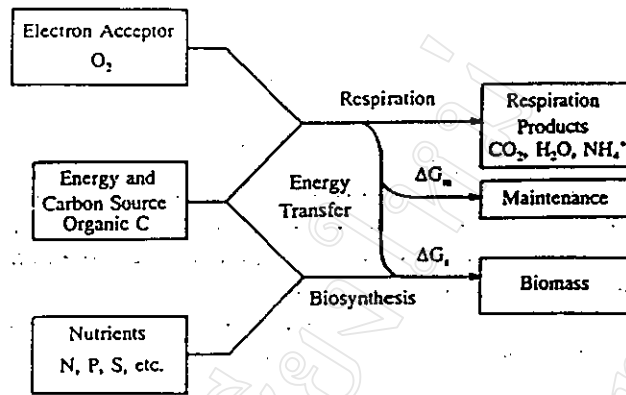


รูป 2.4 การใช้พลังงานของจุลชีพ (Utilization of Energy in Microbial Processes)

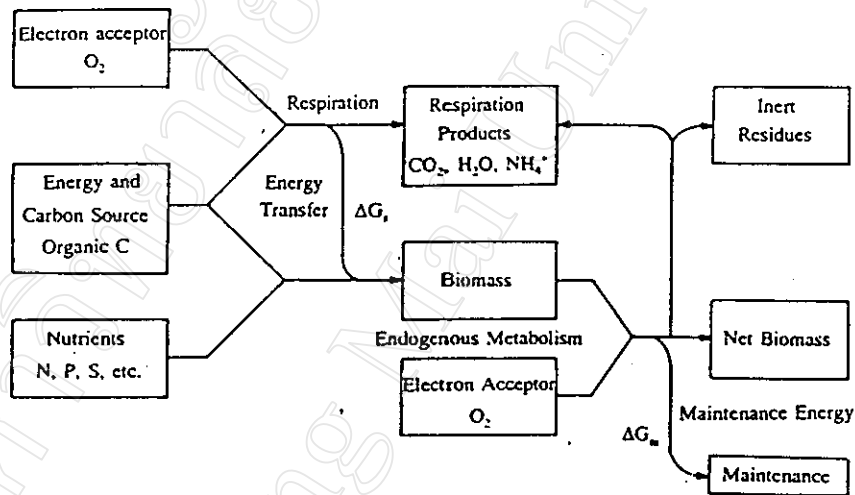
ที่มา : Orhon and Artan , *Modelling of Activated Sludge Systems.*, 1994.

2.3.2 สมมติฐานการใช้พลังงานในสถานะที่มีออกซิเจน

ในระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ การกำจัดสารอินทรีย์และอนินทรีย์ เกิดขึ้นเนื่องจากจุลชีพนำสารเหล่านี้ไปสร้างเซลล์ โดยอาศัยออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์จึงต้องมีการเติมออกซิเจนให้เพียงพอ ในจุดนี้ส่งผลถึงต้นทุนในการดำเนินงานของระบบและปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น โดยอัตราส่วนของจุลชีพที่เพิ่มขึ้นต่อปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด (Yield Coefficient) เป็นวิธีการหนึ่งในการประเมินปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นและการบริโภคออกซิเจน ค่าดังกล่าวเกี่ยวข้องกับการกำจัดสารอาหารของจุลชีพ อยู่บนสมมติฐานของปฏิกิริยาการใช้พลังงานสองแบบ ดังรูป 2.5 ปฏิกิริยาแรกเรียกว่า Parallel Reactions เป็นแนวคิดที่เสนอปฏิกิริยาการใช้พลังงานของจุลชีพ แบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรก สารอาหารถือเป็นสารคาร์บอนและแหล่งพลังงาน ที่นำไปใช้ในขบวนการสังเคราะห์เซลล์ ส่วนที่สองเป็นการนำพลังงานไปใช้ในการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ปฏิกิริยาที่สองเรียกว่า Sequential Reactions เป็นแนวคิดที่เสนอการใช้สารอาหารในสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการนำสารอาหารมาสร้างเซลล์และขั้นตอนที่สองเป็นส่วนของการตายของจุลชีพ ซึ่งข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดเจนของทั้งสองปฏิกิริยา คือ ในแนวความคิดที่สองได้เสนอว่าพลังงานที่ใช้ในการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอได้มาจากการตายของจุลชีพ แต่แนวคิดแรกพลังงานส่วนนี้ได้จากสารอาหารโดยตรง และแนวคิดแรกไม่ได้กล่าวถึงขบวนการการสูญเสียการเคลื่อนไหวของแบคทีเรีย รวมถึงการเปลี่ยนสภาพของเซลล์ที่ตายแล้วกลับเป็นสารอาหารอยู่ในระบบ ในรายงานการวิจัยนี้แบบจำลองที่นำมาใช้ถูกคิดขึ้นบนพื้นฐานของ Sequential Reaction เรียกว่า Death-Regeneration



(a) Parallel Reactions



(b) Sequential Reactions

รูป 2.5 การใช้พลังงานในขบวนการที่มีออกซิเจนของจุลชีพ

ที่มา : Orhon and Artan , *Modelling of Activated Sludge Systems.*, 1994.

2.4 ความสำคัญของพารามิเตอร์ซีโอดี

ในน้ำเสียบรรจุสารอินทรีย์หลายชนิด ในปัจจุบันการวัดปริมาณสารอินทรีย์นั้นจะวัดเป็นค่าสารอินทรีย์รวม โดยใช้พารามิเตอร์หลักอยู่ 2 ตัว คือ บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD) และ ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)

2.4.1 บีโอดี

บีโอดีเป็นพารามิเตอร์ที่นิยมใช้ในการช่วยดำเนินงานของระบบบำบัดอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน แต่การหาค่าบีโอดีมีจุดบกพร่องหลายประการ คือ การหาค่าบีโอดีทำตามข้อกำหนดและขั้นตอนที่แน่นอน

จำเป็นต้องตรวจสอบตัวอย่างน้ำเสียในขวดบีโอดี ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นการจำกัดปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen : DO) โดยทั่วไปปริมาณดีโอในขวดบีโอดีจะอยู่ที่ 3.0-3.5 mgO₂ เท่านั้น การจำกัดอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส การเจือจาง และการกำหนดเวลาการย่อยสลาย 5 วัน ล้วนเป็นจุดสำคัญที่ควรพิจารณา เนื่องจากขั้นตอนดังกล่าวถือเป็นการจำกัดสภาวะการแข่งขันของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายและเจริญเติบโต ส่งผลถึงการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ ดังนั้น บีโอดีทำจึงไม่สามารถหาค่าการบริโภคออกซิเจนที่ถูกต้องได้ เป็นเพียงการแสดงค่าการบริโภคออกซิเจนในขวดบีโอดีที่ถูกควบคุม

อีกประการสมการการหาค่าสัดส่วนบีโอดีหักกับความต้องการออกซิเจนสูงสุด (L) ในทางทฤษฎีค่าสัดส่วนดังกล่าวไม่ได้เป็นสากล แม้ว่าจากทฤษฎีพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.65 - 0.7 สำหรับน้ำเสียชุมชน แต่บางครั้งอาจเกิดการเหวี่ยงของค่าอยู่ในช่วง 0.1-0.9 ดังนั้นจะเป็นการเสี่ยง ถ้าจะนำค่าบีโอดีมาควบคุมค่าน้ำออก

$$f = \frac{BOD_s}{L} \quad (2.6)$$

ประการสุดท้าย เนื่องจากขั้นตอนการหาค่าบีโอดีจะคิดถึงสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้โดยใช้เวลาช่วงสั้นๆ (Readily Biodegradable Substrate) เท่านั้น โดยจากการทดลองสารอินทรีย์ส่วนนี้เป็นเพียงส่วนน้อยของสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย ไม่คำนึงถึงสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้เพียงแต่ต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการผ่านขบวนการไฮโดรไลซิส (Slowly Biodegradable Substrate)

2.4.2 ซีโอดี

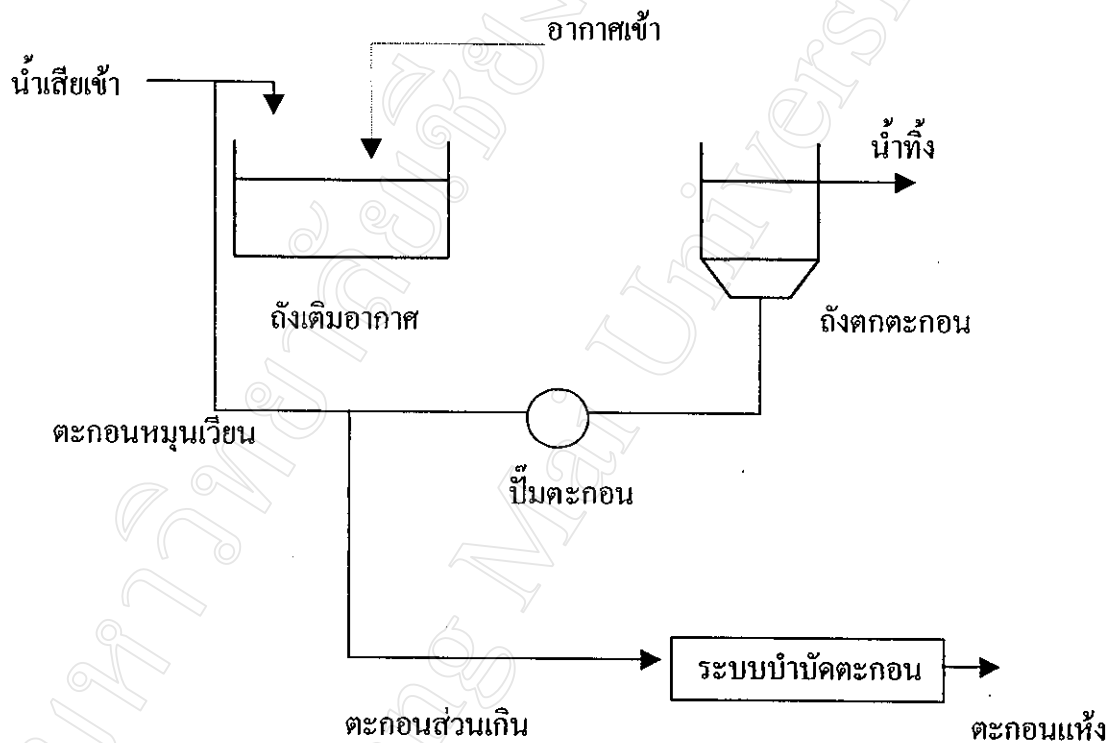
ซีโอดีเป็นพารามิเตอร์ที่ทดสอบหาค่าสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดซ์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยปดัสเตอไรเซอร์โครเมต ในกรดซัลฟูริกเข้มข้นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ทำให้ซีโอดีสามารถครอบคลุมปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดและแหล่งพลังงานของน้ำเสียในส่วนของสารที่สามารถย่อยสลายได้ แม้ว่าซีโอดีจะเป็นการออกซิไดซ์อย่างรุนแรงแต่จะไม่ออกซิไดซ์แอมโมเนียกับสารที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งเป็นจุดเด่นของพารามิเตอร์ซีโอดี

2.5 ระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge System)

2.5.1 ส่วนประกอบของระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์

ระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ประกอบด้วย ถังเติมอากาศ (Aeration Tank) ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) ระบบสูบตะกอนหมุนเวียน (Return Sludge) ระบบสูบตะกอนส่วนเกิน (Excess Sludge) และระบบบำบัดตะกอนส่วนเกิน (Sludge Treatment) หลักการทำงานคือ เราจะเลี้ยงจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรีย ไว้ในถังเติมอากาศ จุลินทรีย์เหล่านี้ จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้เป็นพลังงาน

น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายอื่น ๆ ขณะเดียวกันจุลินทรีย์เหล่านี้ ก็จะแพร่พันธุ์เพิ่มจำนวนขึ้น การเติมอากาศในถังเติมอากาศต้องมีปริมาณมากพอสำหรับจุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และทำให้เกิดการปั่นป่วนผสมผสานกันของตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศกับน้ำเสียรวมทั้งป้องกันการตกตะกอนในถังเติมอากาศด้วย ระบบบำบัดแบบเลี้ยงตะกอนมีส่วนประกอบหลักดังแสดงในรูป 2.6



รูป 2.6 ระบบบำบัดแอกทีเวทเตดสตัคจ์

2.5.2 ข้อดีของระบบบำบัดแบบเลี้ยงตะกอน

- ก. ใช้เนื้อที่ในการก่อสร้างน้อย จึงเหมาะสำหรับเขตชุมชนซึ่งที่ดินมีราคาแพง
 - ข. มีประสิทธิภาพสูง ถ้าได้รับการออกแบบและควบคุมการทำงานอย่างถูกต้อง
 - ค. เป็นระบบที่ไม่มีกลิ่นเหม็น
 - ง. สามารถที่จะปรับตัวรับปริมาณน้ำเสียหรือความสกปรกที่เปลี่ยนแปลงเพิ่ม/ลด ได้
- ถ้าผู้ควบคุมระบบมีความรู้ความสามารถและควบคุมระบบอย่างใกล้ชิด

2.5.3 ข้อเสียของระบบบำบัดแบบเลี้ยงตะกอน

- ก. มีค่าก่อสร้างค่อนข้างสูง และใช้เครื่องจักร อุปกรณ์มาก
- ข. ต้องการผู้ควบคุมระบบที่มีความรู้
- ค. มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการควบคุมสูง

ตาราง 2.1 ค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบของระบบแอคติเวทเต็ดสลัดจ์

Process modification	t_c, d	$F/M, lb\ BOD_5 / lb\ MLVSS \cdot d$	Volumetric loading, $lb\ BOD_5 / 10^3 ft^3 \cdot d$	MLSS, mg/L	$V/Q, h$	Q_r/Q
Conventional	5-15	0.2-0.4	20-40	1,500-3,000	4-8	0.25-0.75
Complete-mix	5-15	0.2-0.6	50-120	2,500-4,000	3-5	0.25-1.0
Step-feed	5-15	0.2-0.4	40-60	2,000-3,500	3-5	0.25-0.75
Modified aeration	0.2-0.5	1.5-5.0	75-150	200-1,000	1.5-3	0.05-0.25
Contact stabilization	5-15	0.2-0.6	60-75	(1,000-3,000) ^a (4,000-10,000) ^b	(0.5-1.0) ^a (3-6) ^b	0.5-1.50
Extended aeration	20-30	0.05-0.15	10-25	3,000-6,000	18-36	0.5-1.50
High-rate aeration	5-10	0.4-1.5	100-1,000	4,000-10,000	2-4	1.0-5.0
Kraus process	5-15	0.3-0.8	40-100	2,000-3,000	4-8	0.5-1.0
High-purity oxygen	3-10	0.25-1.0	100-200	2,000-5,000	1-3	0.25-0.5
Oxidation ditch	10-30	0.05-0.30	5-30	3,000-6,000	8-36	0.75-1.50
Batch reactor	N/A	0.05-0.30	5-15	1,500-5,000 ^d	12-50	N/A
Deep shaft reactor	NI	0.5-5.0	NI	NI	0.5-5	NI
Single-stage nitrification	8-20	0.10-0.25 (0.02-0.15) ^c	5-20	2,000-3,500	6-15	0.50-1.50
Separate stage nitrification	15-100	0.05-0.20 (0.04-0.15) ^c	3-9	2,000-3,500	3-6	0.50-2.00

^a Contact unit.

^b Solids stabilization unit.

^c TKN/MLVSS.

^d MLSS varies depending on the portion of the operating cycle.

Note: $lb/10^3 ft^3 \cdot d \times 0.0160 = kg/m^3 \cdot d$

$lb/lb \cdot d = kg/kg \cdot d$

N/A = not applicable

NI = no information

ที่มา : Metcalf & Eddy, Inc., 1991.

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย

2.6.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

สารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ ถ้าอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูงจะทำให้เกิดการตกตะกอนได้ไม่ดี เนื่องจากจุลินทรีย์จะเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีลักษณะเติบโตกระจายอยู่ทั่วไป (Dispersed Growth) แทนที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ในทำนองตรงกันข้าม ถ้าอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำจะทำให้จุลินทรีย์ขาดอาหาร ซึ่งถึงแม้ว่าจะตกตะกอนได้เร็ว

แต่ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆ ตกลงมาได้ทั้งหมด ทำให้ในน้ำออกจากถังตกตะกอนขุ่น ดังนั้น การควบคุมการทำงานที่ดีจึงต้องควบคุมอัตราส่วนของสารอาหารต่อจุลินทรีย์ในระบบให้มีค่าพอเหมาะ

2.6.2 อาหารเสริม

จุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริม ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ เหล็ก ปกติแร่ธาตุจะมีอยู่ครบในน้ำเสียจากชุมชน แต่อาจมีไม่เพียงพอในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การขาดอาหารเสริมจะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างกลุ่มก้อน (Floc) เติบโตได้ไม่ดีจนทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใย (Filamentous) เจริญเติบโตได้มากกว่า ซึ่งจะก่อให้เกิดตะกอนได้ยากมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบลดลง ปกติจะควบคุมอัตราส่วนของบีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสและเหล็กมีค่าเท่ากับ 100 กิโลกรัม ต่อ 1 กิโลกรัม ต่อ 0.5 กิโลกรัม ตามลำดับ ในการเติมอาหารเสริมถ้าใส่มากจะเป็นการสิ้นเปลืองแล้วยังเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

2.6.3 ออกซิเจนละลาย

ในถังเติมอากาศจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ระหว่าง 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณของอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้เพื่อรักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำนี้ขึ้นกับอุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงจุลินทรีย์ทำงานได้มากก็จะต้องใช้ออกซิเจนปริมาณมากด้วย

2.6.4 ระยะเวลาในการบำบัด

ระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศ จะต้องมีความเพียงพอที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายมลสารต่างๆ หากมีระยะเวลาดำเนินไปสารที่ย่อยสลายยากจะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้ค่าบีโอดี เหลืออยู่ในน้ำเสียมาก

สำหรับระยะเวลาในถังตกตะกอนขั้นที่สองก็เช่นกัน หากมีค่าน้อยเกินไปจะทำให้ตะกอนตกตะกอนได้ไม่ดี แต่ถ้านานเกินไปตะกอนจะขาดออกซิเจนและเน่าเสียส่งกลิ่นเหม็น ปกติระยะเวลาในการบำบัดของระบบแเอสมักจะควบคุมให้อยู่ในช่วง 4-8 ชั่วโมง

2.6.5 ค่าพีเอช

แบคทีเรียจะเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าพีเอชระหว่าง 6.5 ถึง 8.5 ถ้าค่าพีเอชต่ำกว่า 6.5 ว่าจะเจริญเติบโตได้ดีทำให้แบคทีเรียประสิทธิภาพการบำบัดต่ำลงและการตกตะกอนไม่ดี ส่วนค่าพีเอชถ้าสูงเกินไปจะทำให้ฟอสฟอรัสแยกตัวออกจากรน้ำ จุลชีพก็จะไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และค่าพีเอชสูงมากหรือต่ำมากเกินไปจุลินชีพก็อาจตายหมด

2.6.6 สารพิษ

สารพิษแบ่งออกเป็นสองพวกคือ แบบเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute Toxicity) แบบที่สองแบบออกฤทธิ์ช้า (Chronic Toxicity)

พิษเฉียบพลันสามารถดูได้ง่าย เนื่องจากมีผลเกิดขึ้นเร็วภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมง สารพิษพวกนี้ได้แก่ ไซยาไนด์ อาร์เซนิก เป็นต้น สำหรับสารพิษออกฤทธิ์ช้า เช่น ทองแดง และ โลหะหนักต่าง ๆ จุลินทรีย์จะสะสมไว้ในเซลล์ จนเกิดเป็นพิษและตายในที่สุด นอกจากนี้อาจจะเกิดจากสารอินทรีย์ก็ได้ เช่น แอมโมเนียซึ่งมีค่าสูงเกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.6.7 อุณหภูมิ

โดยทั่วไปการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตขึ้นเท่าตัว จนถึงอุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิจะร้อนเกินไปจนปริมาณจุลินทรีย์ลดลง สำหรับในประเทศไทยอุณหภูมิในฤดูร้อนและฤดูหนาวไม่แตกต่างกันมากนัก จึงไม่ค่อยมีปัญหา

2.6.8 การกวน

ภายในถังเดิมอากาศจะต้องมีการกวนอย่างทั่วถึงเพื่อป้องกันมิให้เกิดการตกตะกอน และเพื่อสัมผัสกับน้ำเสียได้อย่างทั่วถึง การกวนจะป้องกันมิให้น้ำเสียไหลลัดวงจร และทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูง และเพื่อให้ในถังเดิมอากาศมีค่า MLSS และ ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนสม่ำเสมอทั่วทั้งถัง

2.6.9 อัตราการไหลของน้ำเสีย

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียที่ส่งเข้ามาในระบบบำบัดมีผลโดยตรงต่อการทำงานของขบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์และถังตกตะกอน หากน้ำเสียมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการบำบัดน้อยลง มีค่าสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ระยะเวลาในการตกตะกอนของถังตกตะกอนขั้นที่สองลดลง ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง ส่วนอัตราการไหลที่ต่ำก็มีผลเสียเช่นกัน ดังนั้นจึงควรควบคุมให้อัตราการไหลสม่ำเสมอใกล้เคียงกับที่ออกแบบ

2.7 การควบคุมการทำงานของระบบ

หน้าที่ของผู้ควบคุมการทำงาน ได้แก่ ดำเนินการให้ระบบบำบัดน้ำเสียสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างต่อเนื่อง และคุณภาพของน้ำที่บำบัดแล้วมีค่ามลสารไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งตามกฎหมาย โดยนำเอาวิธีการติดตามผลเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานมาใช้อย่างถูกต้อง

2.7.1 การบรรทุกสารอินทรีย์ของกระบวนการ

การแบ่งกระบวนการโดยใช้การบรรทุกสารอินทรีย์เป็นตัวกำหนด หมายถึง การแบ่งช่วงการทำงานของระบบ ตามอัตราส่วนของน้ำหมักมูลสารอินทรีย์ต่อจุลินทรีย์ หรือ ค่าอายุตะกอนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ อัตราการบำบัดสูง มีค่าการบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading) หรือค่าอัตราส่วนของน้ำหมักมูลสารอินทรีย์ต่อจุลินทรีย์ สูงประมาณ 0.5-1.5 กิโลกรัมบีโอดีต่อกิโลกรัมMLVSS โดยจะมีระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบ 1-3 ชั่วโมง ค่าอายุตะกอนต่ำกว่า 3 วัน และควบคุมให้ค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศสูงประมาณ 4000-5000 มิลลิกรัมMLVSS ต่อ ลิตร มีประสิทธิภาพในการลดบีโอดี 60-70% ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์จมตัวและแยกชั้นได้ไม่ดี การควบคุมการทำงานยาก ดังนั้นหากต้องการคุณภาพของน้ำที่ออกจากระบบให้มีความสูงจึงไม่ควรใช้กระบวนการนี้ อัตราการบำบัดแบบธรรมดา ซึ่งส่วนใหญ่ในการออกแบบระบบบำบัดจะเลือกใช้ช่วงการบำบัดแบบธรรมดา ซึ่งมีค่าการบรรทุกสารอินทรีย์อยู่ในช่วงค่า 0.2-0.5 กิโลกรัมบีโอดี ต่อกิโลกรัมMLVSS โดยจะมีระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบ 4-8 ชั่วโมง ค่าอายุตะกอน 5-15 วัน และควบคุมให้ค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศสูงประมาณ 1500-3000 มิลลิกรัมMLVSS ต่อ ลิตร มีประสิทธิภาพในการลดบีโอดี 85-95% ในส่วนการควบคุมการทำงานควรให้มีค่าการบรรทุกสารอินทรีย์ที่ช่วงกลาง เพราะหากระบบทำงานที่ค่าต่ำสุดหรือสูงสุดของช่วงก็จะเข้าใกล้เขตการทำงานของอัตราการบำบัดแบบอื่น แบบที่สามอัตราบำบัดต่ำ มีการบรรทุกสารอินทรีย์ประมาณ 0.05-0.15 กิโลกรัมบีโอดี ต่อกิโลกรัมMLVSS โดยจะมีระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบนานกว่า 24 ชั่วโมง ค่าอายุตะกอน 20-40 วันและควบคุมให้ค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศสูงประมาณ 3500-6000 มิลลิกรัมMLVSS ต่อ ลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี 85-95%

ปกติระบบบำบัดน้ำเสียนาขนาดตั้งแต่ 4000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ขึ้นไปจะออกแบบให้ทำงานในช่วงอัตราการบำบัดธรรมดา สำหรับระบบที่เล็กกว่านี้มักออกแบบให้ทำงานในช่วงอัตราบำบัดต่ำ ส่วนอัตราการบำบัดสูงจะใช้ในการบำบัดขั้นต้นเท่านั้น สำหรับน้ำเสียที่มีค่ามลสารสูงหรือไม่ต้องการให้คุณภาพน้ำทิ้งสูงมากนัก

2.7.2 การควบคุมอัตราส่วนของสารอาหารต่อจุลินทรีย์

การที่ตะกอนจุลินทรีย์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจะต้องมีปริมาณสารอาหารที่พอเหมาะ ซึ่งควบคุมได้โดยการรักษาอัตราส่วนของสารอาหาร (บีโอดี หรือ ซีโอดี) ที่ส่งเข้ามาต่อน้ำหนักของตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งวัดในรูปตะกอนแขวนลอย (MLSS) หรือ ตะกอนแขวนลอยระเหย (MLVSS) ให้มีค่าตามที่ต้องการ และเรียกค่าที่ใช้ควบคุมนี้ว่า อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food to Microorganism Ratio , F/M) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{อัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ} = \frac{\text{น้ำหนักของสารอินทรีย์ที่เข้าระบบต่อวัน}}{\text{น้ำหนักของจุลชีพในถังเติมอากาศ}} \quad (2.7)$$

ในการควบคุมการทำงานของระบบโดยใช้ค่า F/M จะเห็นว่าค่าอาหาร (F) ในน้ำเข้า เราไม่สามารถควบคุมได้หรือควบคุมได้น้อย ดังนั้นผู้ควบคุมจะรักษาค่า F/M โดยการเปลี่ยนแปลง คำน้ำหนักของจุลชีพ (M) ซึ่งวัดในรูป MLSS หรือ MLVSS โดยการเพิ่มลดการนำตะกอน ส่วนเกินไปทิ้ง ถ้าต้องการให้ค่า F/M มีค่าสูงก็ให้ลดการทิ้งน้ำตะกอนลง และในทำนองเดียวกัน ถ้าต้องการให้ F/M มีค่าต่ำก็ให้เพิ่มการนำตะกอนไปทิ้ง ในแต่ละระบบบำบัดจะมีค่า F/M ที่เหมาะสม กับระบบไม่เท่ากัน ดังนั้นผู้ควบคุมจึงควรต้องหาค่า F/M ที่เหมาะสมกับระบบนั้นๆ และควบคุม ค่าให้คงที่ โดยมีค่าช่วงการทำงานของระบบ (Criteria) และปรึกษาวิศวกรผู้ออกแบบ เพื่อช่วยใน การควบคุมระบบ

2.7.3 การควบคุมค่าอายุตะกอน

อายุตะกอน (Sludge Age) หมายถึง ระยะเวลาเฉลี่ยที่ตะกอนจุลชีพหมุนเวียนในระบบ (Mean Cell Residence Time) เป็นค่าที่สำคัญในการออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบ และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าอัตราส่วนสารอาหารต่อจุลชีพ การควบคุมค่าอายุตะกอนให้มีค่าคงที่ จะทำให้ค่าอัตราส่วนสารอาหารต่อจุลชีพมีค่าคงที่ตามไปด้วย และ ค่าที่ควบคุมเหล่านี้จะเป็นตัว กำหนดคุณภาพน้ำออก

$$\text{อายุตะกอน} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนจุลชีพในถังเติมอากาศ}}{\text{น้ำหนักตะกอนจุลชีพที่นำไปทิ้ง} + \text{น้ำหนักตะกอนจุลชีพที่ออกจากระบบ}} \quad (2.8)$$

วิธีควบคุมการทำงานของระบบโดยใช้ค่าอายุตะกอนเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการควบคุม เนื่องจากเป็นการควบคุมภาระบรรทุกสารอินทรีย์ไปในตัวและสามารถคำนวณค่าตะกอนที่นำไปทิ้ง ได้อย่างถูกต้อง อีกทั้งวิธีการควบคุมก็ง่ายและไม่ต้องใช้การวิเคราะห์ที่ยุ่งยาก วิธีการควบคุมหรือ การเปลี่ยนแปลงค่าอายุตะกอนนั้น ทำได้โดยปรับอัตราการนำตะกอนไปทิ้งหากนำไปทิ้งมาก ค่าอายุตะกอนก็จะลดลงและหากนำไปทิ้งน้อยค่าอายุตะกอนก็จะเพิ่มขึ้น ผลของการลดอายุตะกอน ที่ตามมาก็คือ ทำให้จุลินทรีย์มีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น ดังนั้นจะมีตะกอนที่จะต้องนำไปทิ้งมากขึ้น การปรับค่าอายุตะกอนแต่ละครั้ง จะต้องใช้เวลาประมาณ 1-3 ของค่าอายุตะกอน เพื่อให้ระบบปรับตัว อยู่ในสภาวะคงที่

การควบคุมการทำงานโดยใช้ค่าอายุตะกอน สามารถทำได้ง่ายหากนำตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินออกมาทิ้งโดยตรงจากถังเติมอากาศ เพียงนำปริมาตรของถังเติมอากาศหารด้วยค่าอายุตะกอน ก็จะเป็นปริมาตรของน้ำตะกอนที่นำไปทิ้งต่อวัน แต่การสูบตะกอนทิ้งโดยตรงจากถังเติมอากาศ จะมีค่าความเข้มข้นของตะกอนต่ำทำให้มีปริมาณน้ำตะกอนที่ต้องทิ้งสูง จึงควรทำการเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนตามความเหมาะสมก่อนนำไปกำจัดในส่วนต่อไป เช่น การใช้ถังเพิ่มความเข้มข้นของตะกอน (Sludge Thickener)

2.7.4 การควบคุมอัตราการทิ้งตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกิน

ระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งอาศัยการเลี้ยงจุลินทรีย์เพื่อให้ย่อยสลายมลสารในน้ำเสีย และเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณขึ้น ทำให้ต้องนำตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนทิ้งไปเพื่อรักษาค่าอัตราส่วนของสารอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ให้มีค่าคงที่ และระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา โดยคำนวณจากอัตราส่วนของสารอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์

$$\text{ผลต่าง MLSS} = \text{MLSS จากการวิเคราะห์} - \text{MLSS ที่ต้องการจากการคำนวณ} \quad (2.9)$$

$$\text{MLSS ที่ต้องการ} = [\text{ปริมาณการไหลของน้ำเสียต่อวัน} \times \text{ค่าซีโอดีหรือบีโอดี}] \div F/M \quad (2.10)$$

ถ้าพบว่าค่าผลต่าง MLSS ที่ได้มีค่าติดลบ หมายถึง ค่า MLSS จากการวิเคราะห์น้อยกว่าค่าที่ต้องการ ก็ยังไม่ต้องนำตะกอนจุลินทรีย์ไปทิ้ง แต่ถ้าพบว่าค่าผลต่าง MLSS ที่ได้มีค่าเป็นบวก หมายถึง ค่า MLSS ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่ามากกว่าค่าที่ต้องการ แสดงว่าต้องนำตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนไปทิ้ง ซึ่งสามารถคำนวณจาก

$$\begin{aligned} & \text{น้ำหนักระกอนจุลินทรีย์ที่ต้องนำไปทิ้ง (กก.)} \\ & = [\text{ผลต่าง MLSS (มก./ล.)} \times \text{ปริมาตรถังเติมอากาศ (ลบ.ม.)}] \div 1000 \quad (2.11) \end{aligned}$$

ถ้าต้องการนำตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินที่ต้องการไปทิ้งโดยสูบจากท่อส่งตะกอนย้อนกลับจากถังตกตะกอนไปเข้าถังเติมอากาศ จะสามารถคำนวณปริมาตรที่ต้องนำไปทิ้งได้จาก

$$\begin{aligned} & \text{ปริมาตรน้ำตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินที่ต้องทิ้งจากท่อส่งตะกอนย้อนกลับ (ลบ.ม.)} \\ & = \frac{\text{น้ำหนักระกอนจุลินทรีย์ที่ต้องนำไปทิ้ง (กก.)} \times 1000}{\text{ความเข้มข้นของตะกอนในเส้นท่อบำบัดตะกอนย้อนกลับ (มก./ล.)}} \quad (2.12) \end{aligned}$$

การคำนวณหาปริมาณตะกอนส่วนเกินที่ต้องนำไปทิ้งแบบที่สอง สามารถคำนวณได้โดยใช้จากค่าอายุตะกอนที่กำหนดไว้ดังนี้

$$\begin{aligned} & \text{น้ำหนักระกอนจุลชีพที่ต้องนำไปทิ้ง (กก.ต่อวัน)} \\ & = \text{น้ำหนักของตะกอนจุลชีพในถังเติมอากาศ (ลบ.ม.) } \div \text{ค่าอายุตะกอน} \quad (2.13) \end{aligned}$$

ถ้าต้องการนำตะกอนจุลชีพส่วนเกินที่ต้องการ ไปทิ้งโดยสูบจากท่อส่งตะกอนย้อนกลับ จากถังตกตะกอนชั้นที่สองไปเข้าถังเติมอากาศ จะสามารถคำนวณปริมาตรที่ต้องนำไปทิ้งได้จาก

$$\begin{aligned} & \text{ปริมาตรน้ำตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินที่ต้องทิ้งจากท่อส่งตะกอนย้อนกลับ (ลบ.ม.ต่อวัน)} \\ & = \frac{\text{น้ำหนักระกอนที่ต้องนำไปทิ้ง (กก.ต่อวัน) - น้ำหนัก SS ในน้ำออก (กก.)}{\text{ความเข้มข้นของ SS ในเส้นท่อสูบตะกอนย้อนกลับ (มก./ล.) } \div 1000} \quad (2.14) \end{aligned}$$

2.7.5 การควบคุมการสูบตะกอนย้อนกลับ

ตะกอนจุลชีพที่แยกตัวจมอยู่ส่วนล่างของถังตกตะกอนชั้นที่สองจะต้องสูบกลับมาเข้าถังเติมอากาศเพื่อนำมาใช้บำบัดน้ำเสียใหม่และเพื่อรักษาความสูงของชั้นตะกอนในถังตกตะกอนชั้นที่สองให้มีค่าไม่เกิน 0.9 เมตร ปกติจะมีค่าอัตราการสูบตะกอนกลับประมาณร้อยละ 20 ถึง 200 เมื่อเทียบกับอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ ซึ่งขึ้นกับคุณภาพและความเร็วในการตกตะกอนของตะกอนจุลชีพ

อัตราการสูบตะกอนย้อนกลับที่เหมาะสมขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ ความเข้มข้นของบีโอดีหรือซีโอดี อัตราการเจริญเติบโตของจุลชีพ อุณหภูมิ ค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในถังตกตะกอน (MLSS) และ ความเข้มข้นของน้ำตะกอนที่สูบกลับ ซึ่งค่าเหล่านี้ควบคุมได้ยาก ทำให้วิธีการคำนวณอัตราการสูบตะกอนย้อนกลับมีอยู่หลายวิธี แต่วิธีที่สะดวกและง่ายที่สุด เป็นวิธีที่อาศัยหลักการของสมดุลของมวลจุลินทรีย์ เพราะคำนวณจากการวัดค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในถังตกตะกอน (MLSS) และ ความเข้มข้นของตะกอนในท่อสูบตะกอนย้อนกลับ (SS)

$$\text{อัตราการสูบตะกอนย้อนกลับ (\%)} = \frac{\text{MLSS} \times 100}{\text{SS ในท่อสูบตะกอนย้อนกลับ - MLSS}} \quad (2.15)$$

2.8 แนวความคิดทฤษฎีที่หนึ่ง (Traditional Approach to Activated Sludge Modelling)

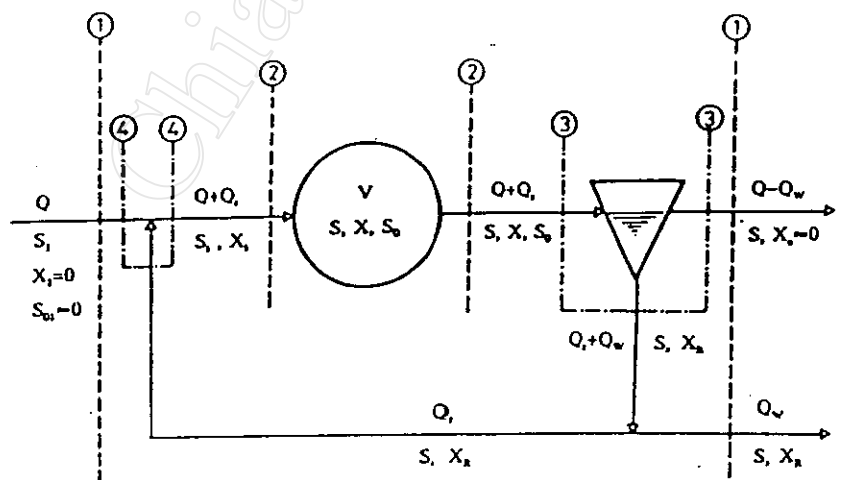
แนวความคิดแรกนี้เป็นการเสนอแนวทางการกำจัดสารคาร์บอนเบื้องต้น ปฏิริยาที่เกิดขึ้นอยู่บนพื้นฐานของ 2 องค์ประกอบ คือ สารอาหารรวมซึ่งย่อยสลายได้ทางชีวภาพ วัดโดยพารามิเตอร์ บีโอดีห้าหรือซีโอดี (S) และ เซลล์จุลินทรีย์รวมวัดโดยวีเอสเอส (X)

2.8.1 สมมติฐานของทฤษฎี

- ถือว่าในถังตกตะกอนจะไม่เกิดปฏิกิริยาชีวเคมี
- ไม่คิดปริมาณจุลินทรีย์ในถังตกตะกอน
- ปริมาณจุลินทรีย์ที่เข้ามากับน้ำเข้าถือว่าน้อยมาก
- ปริมาณจุลินทรีย์ที่ออกจากระบบพร้อมกับน้ำออกถือว่าน้อยมาก
- ในถังเติมอากาศถือเป็นการกวนผสมบูรณ์ (Completely Mixing)
- สารอาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพอยู่ในรูปของสารละลาย

2.8.2 การทำสมดุลมวลสาร (Mass Balance)

อัตราการเปลี่ยนแปลง = อัตราการไหลเข้า - อัตราการไหลออก + สะสมภายในถังปฏิกิริยา (2.16)



รูป 2.7 Process Diagram for Modelling of Carbon Removal in a Single CSTR

ที่มา : Orhon and Artan , *Modelling of Activated Sludge Systems*, 1994.

ก. สมดุลมวลสารของสารอาหาร

$$V \frac{dS}{dt} = QS_i - QS + Vr_s \quad (2.17)$$

ข. สมดุลมวลสารของจุลชีพ

$$V \frac{dX}{dt} = -(Q - Q_w)X_c - Q_w X_R + Vr_x \quad (2.18)$$

X_c = ความเข้มข้นของจุลชีพที่อยู่ในน้ำออก [M(VSS)/L]

X_R = ความเข้มข้นของจุลชีพที่อยู่ในตะกอนหมุนเวียน [M(VSS)/L]

Q_w = อัตราการไหลของตะกอนหมุนเวียน [L/T]

2.8.3 ผลเฉลยของแบบจำลองเมื่อคิดในสถานะที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

$$S = \frac{K_s(1 + k_d \theta_x)}{\mu \theta_x - (1 + k_d \theta_x)} \quad (2.19)$$

$$X = \frac{Y_h(S_i - S)\theta_x}{\theta_h(1 + k_d \theta_x)} \quad (2.20)$$

θ_x = เวลาที่ตะกอนอยู่ในระบบ

θ_h = เวลาน้ำเสียอยู่ในระบบ

2.9 แนวความคิดทฤษฎีที่สอง (New Concepts in Activated Sludge Modelling)

2.9.1 การเสนอแนวความคิดที่สอง

ในแนวความคิดแรกแม้ว่าจะใช้ได้อย่างดีกับระบบเอสทัวไป (Activated Sludge) ในการกำจัดสารคาร์บอนในน้ำ แต่แนวความคิดทฤษฎีเดิมยังมีความเข้าใจพื้นฐานน้อยไปไม่สามารถอธิบายระบบขั้นตอนของระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ได้อย่างครบถ้วน ซึ่งทั้งสองสิ่งนี้เป็นจุดบกพร่อง 2 จุดใหญ่ของแนวความคิดทฤษฎีแรก

เรื่องแรก แนวความคิดเดิมพิจารณาอยู่ 2 องค์ประกอบเท่านั้น นอกเหนือจากออกซิเจนละลายอย่างแรก คือ การหาปริมาณสารอินทรีย์รวม และ ปริมาณจุลชีพรวม ในถังปฏิกรณ์ ซึ่งในการหาอินทรีย์สาร และ ปริมาณจุลินทรีย์ เป็นการยากถ้าต้องการศึกษาค่าทั้งสองให้ถูกต้อง อาจเป็นผลจากคำดังกล่าว

เกี่ยวข้องกับปัจจัยอื่นหลายตัว และ กรรมวิธีในการวิเคราะห์ปริมาณสารเจือปน เช่น วิเอสเอส บีโอดี ซีโอดี ฯลฯ ในปัจจุบันที่เรายังไม่สามารถตอบสนองต่อระบบจริงที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาของแบคทีเรียและสารอาหารที่เป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโต (Growth Limiting Substrate) วิธีการหาวิเอสเอส ได้รวมจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตและไม่มีชีวิตเข้าด้วยกัน

เรื่องที่สอง คือ การเจริญเติบโตและการตายของแบคทีเรียไม่ได้ถูกคิดให้ครอบคลุมและสมบูรณ์การนำบีโอดี มาใช้เป็นตัวแปรหลัก ทำให้เกิดความบกพร่องอันเนื่องมาจาก การไม่คิดถึงสารอาหารที่มาจากขบวนการไฮโดรไลซิส ซึ่งมีส่วนในการเจริญเติบโตและการย่อยสลาย ดังนั้น แนวความคิดแบบใหม่จึงเสนอแนะให้ใช้ซีโอดี เป็นตัวแปรหลักแทน บีโอดี เพราะ ซีโอดี จะคิดถึงปัจจัยหลายตัวที่เกี่ยวข้อง มันสามารถแสดงความสัมพันธ์ร่วมของ สารอาหาร จุลชีพ และ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ซีโอดีจะวัดส่วนที่ย่อยสลายได้ซึ่งจะถูกกำจัดหมด และ ส่วนที่ย่อยสลายไม่ได้ในน้ำเข้า และ ผลผลิตของจุลชีพ เช่น สารอินทรีย์ที่ถูกปล่อยจากกิจกรรมของจุลินทรีย์

2.9.2 การจำแนกประเภทของสารอาหารในน้ำเสีย

โดยจำแนกในส่วนของสารอินทรีย์ ได้ดังนี้ ซีโอดีรวมที่เข้ามาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (The Total Nonbiodegradable or Inert COD) และส่วนของสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (The Total Biodegradable COD) ซึ่งสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ยังแบ่งย่อยออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนที่ละลายน้ำ (Soluble Inert COD) ซึ่งถือว่าสามารถผ่านออกจากระบบโดยไม่เกิดการย่อยสลายในถังปฏิกรณ์และส่วนที่ถึ้นสารแขวนลอย (Particulate Inert COD) ซึ่งจะถูกกักเก็บและสะสมไว้ในระบบบำบัดในรูปของตะกอน (Sludge) ซึ่งจะออกจากระบบโดยการสูบตะกอนทิ้ง

$$C_{TI} = C_{II} + C_{SI} \quad (2.21)$$

ส่วนที่เกี่ยวกับ The Total Biodegradable COD แบ่งออกเป็นสองส่วนย่อย ได้แก่ Readily Biodegradable COD และ Slowly Biodegradable COD ซึ่งทั้งสองส่วนมีข้อแตกต่างกัน คือ Readily Biodegradable COD เป็นส่วนของสารละลาย เช่น กรดไขมัน คาร์โบไฮเดรต แอลกอฮอล์ กรดอะมิโน เป็นต้น สารเหล่านี้จะถูกย่อยสลายเพื่อสร้างเป็นพลังงานได้โดยตรง ส่วน Slowly Biodegradable COD จะเป็นส่วนของสารแขวนลอยในน้ำ ซึ่งการจะนำไปย่อยใช้เป็นพลังงานต้องผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสก่อนมีสองพวกคือ Rapidly Hydrolyzable COD และ Slowly Hydrolyzable COD

$$C_{TI} = C_{II} + C_{SI} \quad (2.22)$$

$$C_{II} = S_{II} + X_{II} \quad (2.23)$$

$$S_{II} = f_{SI} C_{TI} \quad (2.24)$$

$$X_{II} = f_{XI} C_{TI} \quad (2.25)$$

f_{SI} = สัดส่วนของ Soluble Inert ในน้ำเข้า

f_{XI} = สัดส่วนของ Particulate Inert ในน้ำเข้า

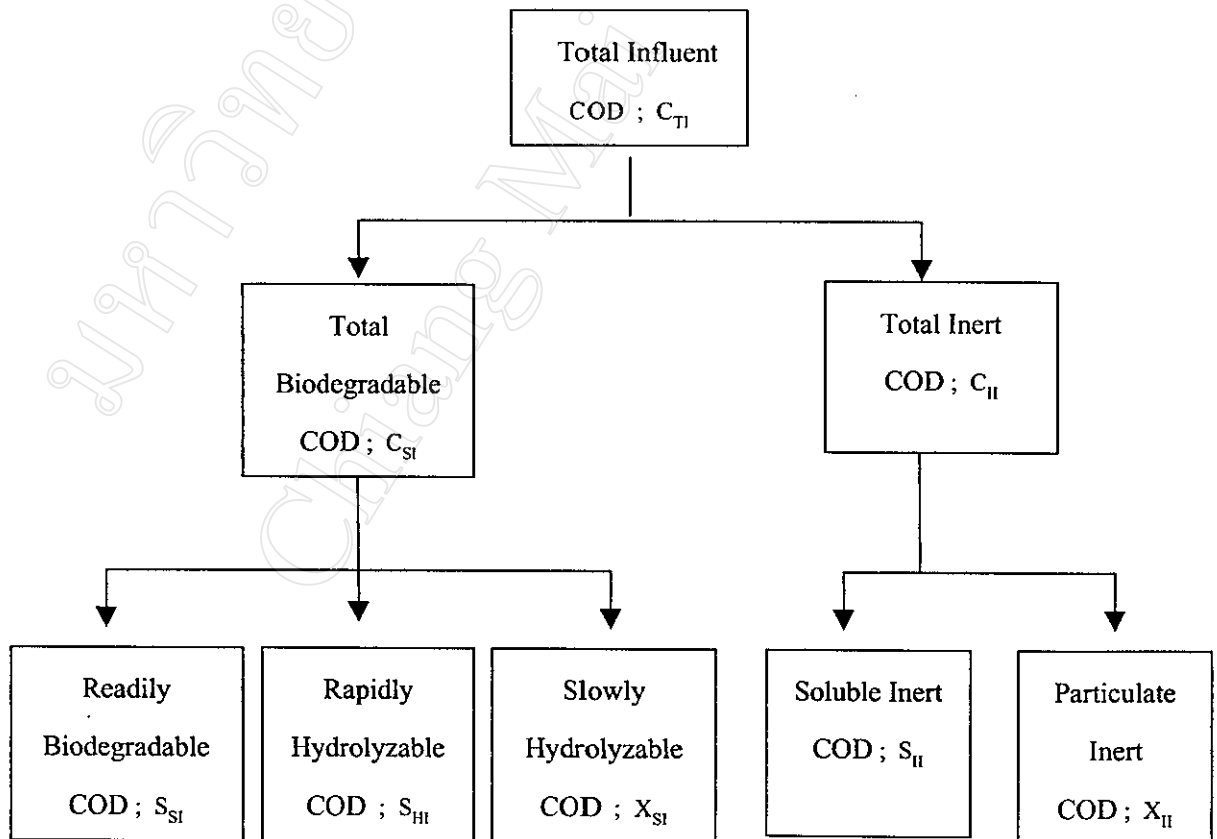
$$C_{SI} = S_{SI} + X_{SI} \quad (2.26)$$

$$S_{SI} = f_{SS} C_{TI} \quad (2.27)$$

$$X_{SI} = f_{XS} C_{TI} \quad (2.28)$$

f_{SS} = สัดส่วนของ Readily Biodegradable Substrate ในน้ำเข้า

f_{XS} = สัดส่วนของ Slowly Biodegradable Substrate ในน้ำเข้า



รูป 2.8 การแบ่งประเภทของสารที่อยู่ในน้ำเสีย

ที่มา : Orhon and Artan , *Modelling of Activated Sludge Systems.*, 1994.

สัดส่วนในน้ำเสียทั่วไป Readily Biodegradable COD มีอยู่ 8-25% ของชีโอดีรวมในน้ำเสียชุมชนและ 10-35% ในตะกอนของท่อระบายน้ำ (Settled Sewage) สัดส่วนของ Slowly Biodegradable COD มีอยู่ 40 – 60% ของชีโอดีรวมในน้ำเสียชุมชน Rapidly Hydrolyzable COD ประมาณ 15-25 % ของชีโอดีรวมในน้ำเสียชุมชน

ตาราง 2.2 ค่าเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของชีโอดีในน้ำเสียชุมชน

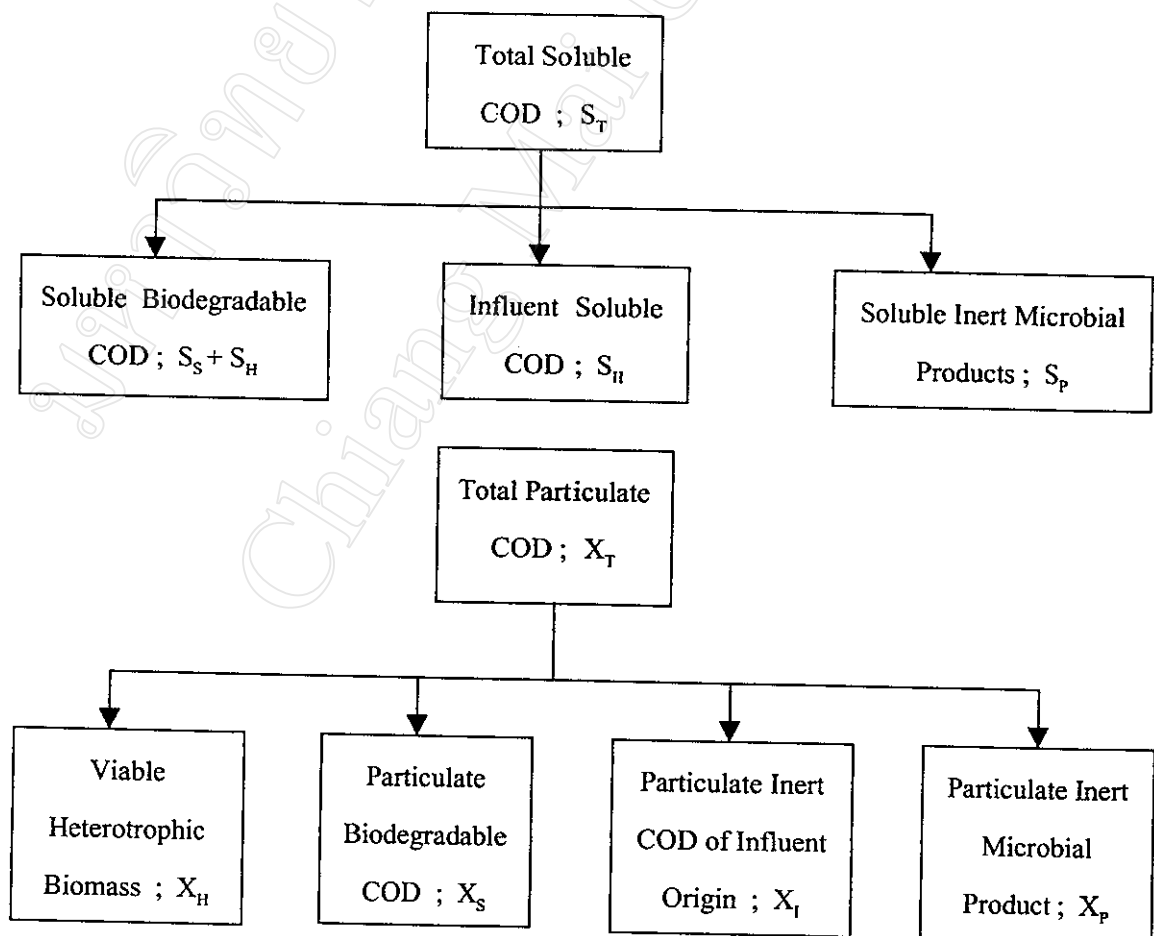
Raw Wastewater	สัดส่วนชีโอดี (%)				
	f_{SI}	f_{XI}	f_{SS}	f_{XS}	f_{XH}
South Africa	5	13	20	62	0
Switzerland	11	11	32	45	0
Hungary	9	20	29	43	0
Denmark	8	19	24	49	0
Switzerland					
Flawill (22 °C)	20	9	11	53	7
Tuffenwies (13 °C)	10	8	7	60	15
Dietikon (15 °C)	12	10	8	55	15
Denmark-Lundtofte	2	18	20	40	20
Switzerland Zurich	10	9	16	40	25
France-Pilot	10	13	33	44	0
France-Valenton	6	8	25	41	0
South Africa	8	4	28	60	0
Denmark-Lundtofte	5	5	56	26	8

ที่มา : Orhon and Artan , *Modelling of Activated Sludge Systems.*, 1994.

ตาราง 2.3 ค่าสัดส่วนของชีโอดีในน้ำเสียประเภทต่าง ๆ

Wastewater	สัดส่วนชีโอดี (mg/l)							
	C_{II}	S_{II}	X_{II}	S_{SI}	S_{II}	S_{HI}	X_{II}	X_{SI}
Textile	935	470	465	135	12	323	188	277
Meat Processing	2600	1140	1460	380	30	730	305	1155
Dairy	1410	1075	335	400	—	375	105	230
Confectionery	3380	3120	260	735	77	2308	-	260
Domestic	585	150	435	75	16	59	60	375

ที่มา : Orhon, 1998.



รูป 2.9 สัดส่วนชีโอดีใน Mixed Liquor

ที่มา : Orhon and Artan , *Modelling of Activated Sludge Systems.*, 1994.

2.9.3 กระบวนการสำหรับการกำจัดสารคาร์บอน (Process Kinetics for Carbon Removal)

แนวความคิดที่เสนอการพิจารณาการตายของจุลินทรีย์ มีสองแนวความคิดที่คล้ายคลึงกัน แนวความคิดแรก เรียกว่า Endogenous Decay และ แนวคิดที่สอง เรียกว่า Death-Regeneration โดยผู้ที่เสนอแนวคิดนี้คือ Task Group (Henze and others, 1987) จุดที่เหมือนกันของทั้งสองแนวคิด ก็คือ มีการปรับระบบสมการเข้ามาใช้กับโครงสร้างทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของเมทริกซ์

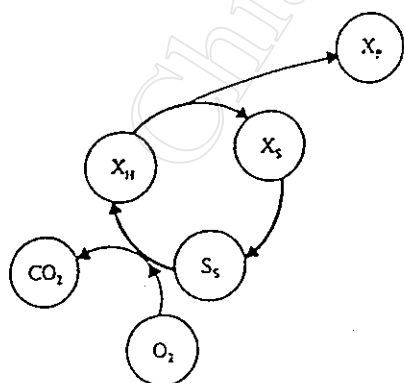
ก. มีตัวแปรเพิ่มขึ้นเพื่อที่จะใช้อธิบาย ขบวนการที่เพิ่มมากขึ้นในระบบแบบใหม่

ข. ขบวนการ ไฮโดรไลซิส หรือ การตายของจุลินทรีย์ ถูกนำมาเพื่อพิจารณาเกี่ยวข้องเพื่อให้แบบจำลองใหม่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

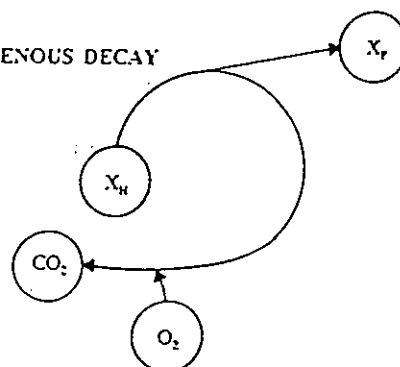
ค. ในส่วนของ Particulate Slowly Biodegradable Substrate (X_s) ที่จะถูกใช้ไปในการเจริญเติบโตแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ชั้นแรก X_s จะถูกดูดซับและเก็บไว้ในเซลล์ชั้นสอง เกิดการเปลี่ยนแปลงโดย Extracellular Enzymes ชั้นที่สาม Particulate Slowly Biodegradable Substrate ที่เปลี่ยนรูปเป็น Readily Biodegradable Soluble Substrate แล้วจะถูกแบคทีเรียใช้ในการเจริญเติบโต

และจุดแตกต่างกัน คือ การตายของจุลินทรีย์และการใช้ Slowly Biodegradable Substrate ในแนวคิดของ Endogenous Decay การตายของจุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนและ Slowly Biodegradable Substrate จะเปลี่ยนรูปโดยเอนไซม์และถูกใช้ร่วมกับ Readily Biodegradable Substrate ตั้งแต่เริ่มเข้าระบบ ส่วนของ Death-Regeneration การตายของจุลินทรีย์จะ ไม่ใช้ออกซิเจนและ Slowly Biodegradable Substrate จะถูกใช้ภายหลังจากการใช้ Readily Biodegradable Substrate แล้ว ดังรูป 2.11- 2.13

DEATH REGENERATION

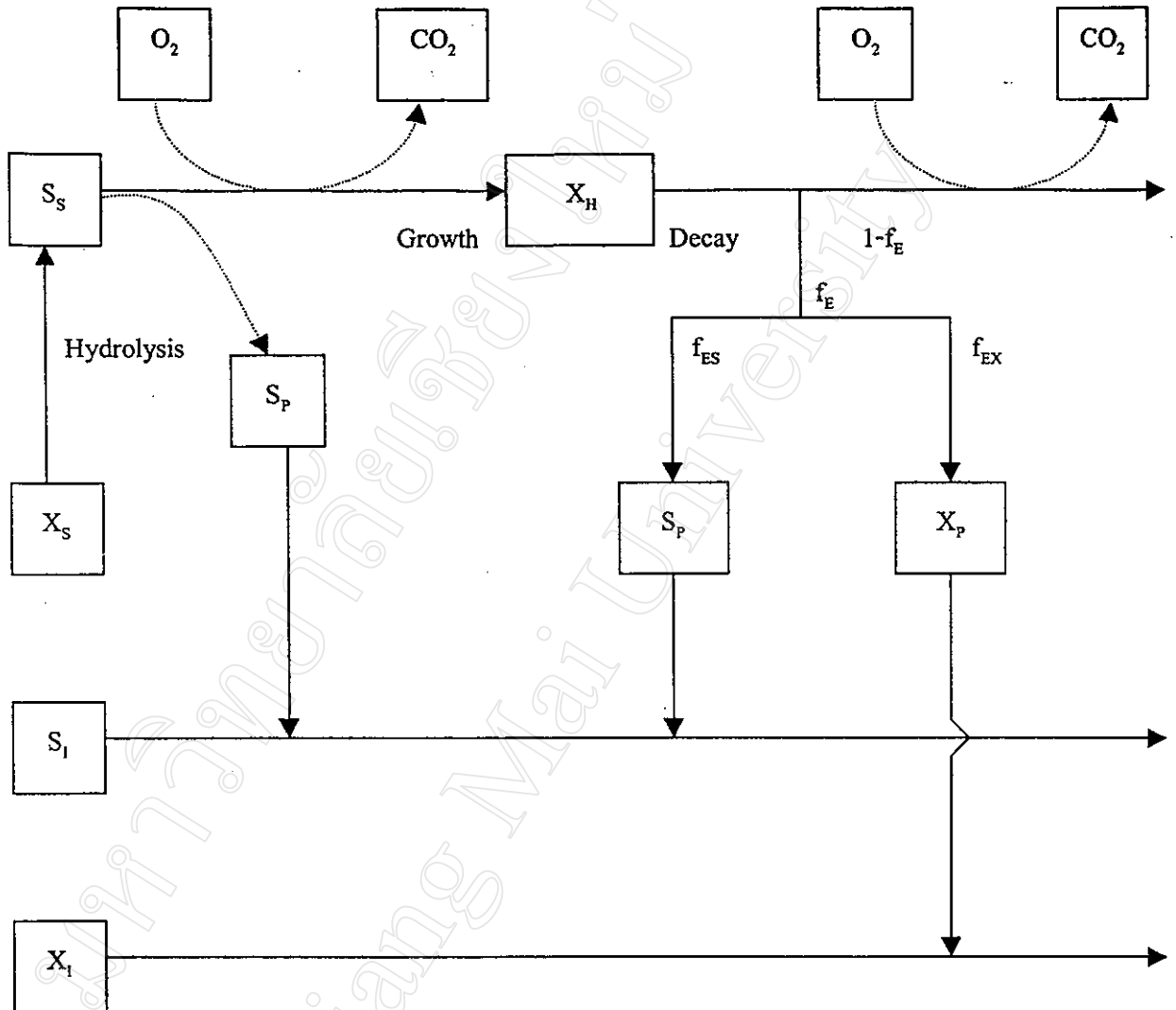


ENDOGENOUS DECAY



รูป 2.10 การเปรียบเทียบแนวคิดของ Endogenous Decay และ Death Regeneration

ที่มา : Orhon and Artan , *Modelling of Activated Sludge Systems.*, 1994.



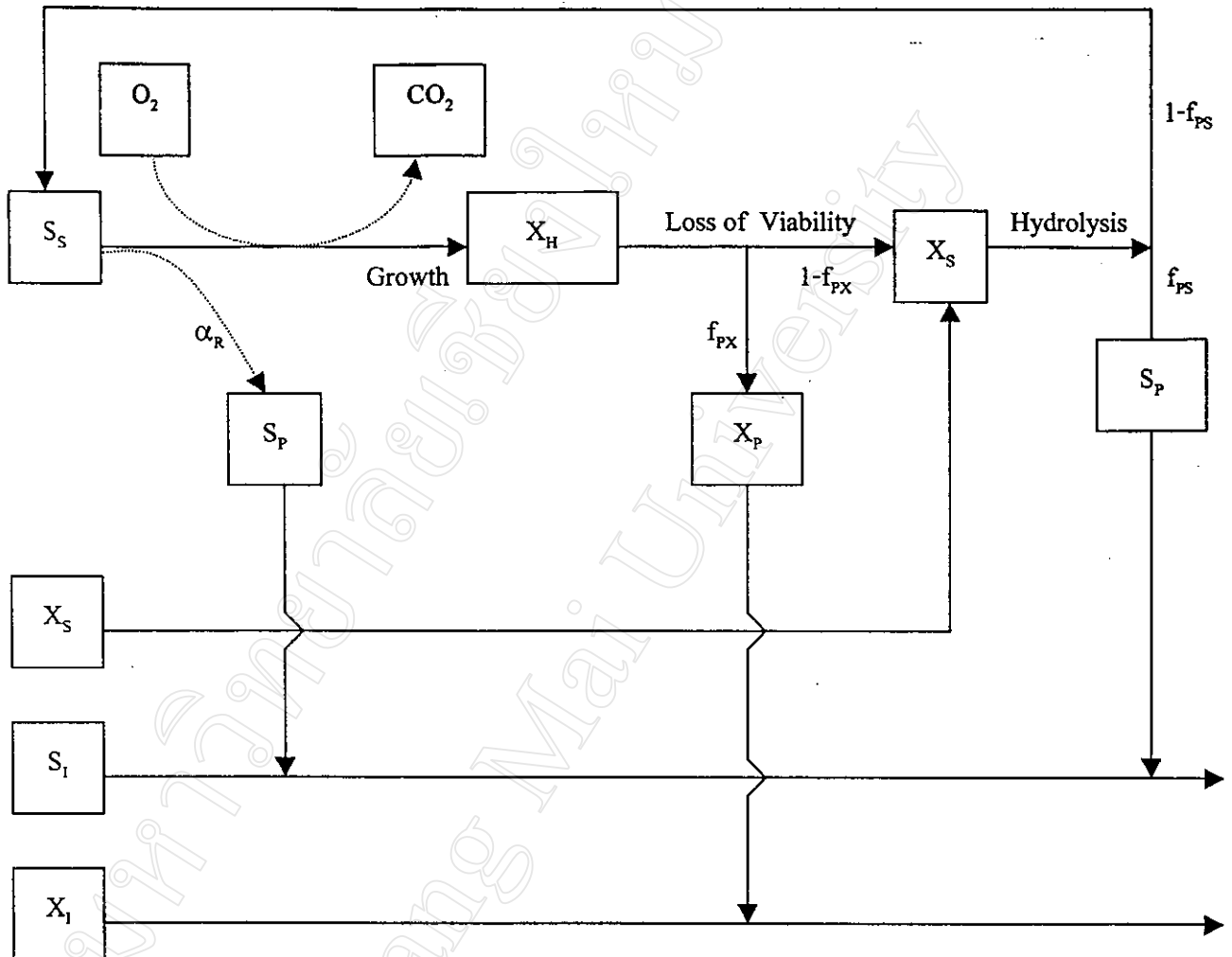
รูป 2.11 สมมติฐานกระบวนการของ Endogenous Decay

ที่มา : Orhon and Artan , *Modelling of Activated Sludge Systems.*, 1994.

2.9.4 สมมติฐานของ Death Regeneration ส่วนของอนุภาคแขวนลอย

(Fate of Particulate Components)

ส่วนของ Particulate Component มี 3 องค์ประกอบที่ถูกนำมาพิจารณา ส่วนแรกเป็นส่วนของจุลชีพ (X_H) ส่วนที่สองเป็นส่วนของสารอาหาร ที่จุลชีพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยผ่านขบวนการไฮโดรไลซิส (X_s) และส่วนที่สามเป็นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการตายของจุลชีพ (X_p)



รูป 2.12 สมมติฐานกระบวนการของ Death Regeneration

ที่มา : Orhon and Artan , *Modelling of Activated Sludge Systems.*, 1994.

ทั้งสามส่วนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญเพื่อพิจารณาสมการของจุลชีพ เนื่องจากมันรับหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและเป็นจุดหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสีย เริ่มต้นการพิจารณาที่การเจริญเติบโตของจุลชีพจากการย่อยสลาย Readily Biodegradable Soluble Substrate (S_s) ซึ่งถูกดูดซับโดยตรงทันที เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงาน และ สังเคราะห์เซลล์ ตามสมการ

$$\frac{dX_h}{dt} = \hat{\mu}_h \frac{S_s}{K_s + S_s} X_h \quad (2.29)$$

ในส่วนของการอาหารที่ผ่านขบวนการไฮโดรไลซิส Task Group เสนอความคิดเกี่ยวกับการเจริญเติบโต โดยพวกเขาบอกว่า Particulate Slowly Biodegradable Substrate (X_S) จะไม่ถูกดูดซับโดยจุลินทรีย์ แต่จะถูกดักไว้ในตะกอนผ่านขบวนการไฮโดรไลซิส โดย Extracellular Enzymes อยู่ในรูปของเหลวและถูกใช้ร่วมกับ Readily Biodegradable Soluble Substrate (S_S) ภายหลังและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จาก Particulate Slowly Biodegradable Substrate (X_S) โดยผ่านขบวนการไฮโดรไลซิสแล้วเปลี่ยนรูปเป็น Readily Biodegradable Soluble Substrate ซึ่งจะถูกระเบิดที่เรียนมาใช้ในการเจริญเติบโตตามสมการ

$$\frac{dX_H}{dt} = Y_H \frac{K_{MP}(X_S/X_H)}{K_{SP} + (X_S/X_H)} X_H \quad (2.30)$$

จากสมการการเติบโตของแบคทีเรียเนื่องจากการใช้ Slowly Biodegradable Substrate ทำให้เกิดการลดลงของ Slowly Biodegradable Substrate เป็นไปตามสมการ

$$\frac{dX_S}{dt} = - \frac{K_{MP}(X_S/X_H)}{K_{SP} + (X_S/X_H)} X_H \quad (2.31)$$

และเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสช้ากว่าการเจริญเติบโตทั่วไปจึงทำให้เราสามารถคิดเป็นขั้นตอนการกำหนดอัตราการเจริญเติบโต (Rate Limiting Step) และปรับสมการเป็น

$$\frac{dX_S}{dt} = -k_h \frac{(X_S/X_H)}{K_X + (X_S/X_H)} X_H = -K_h X_S \quad (2.32)$$

K_{MP} = Maximum Specific Utilization Rate for Slowly Biodegradable Substrate [T^{-1}]

K_{SP} = Half-saturation Coefficient [$M(COD)/M(\text{Cell COD})$]

k_h = Maximum Specific Hydrolysis Rate [$M(COD)/M(\text{Cell COD})T$]

K_X = Half-saturation Coefficient for Hydrolysis of Slowly Biodegradable Substrate [$M(COD)/M(\text{Cell COD})$]

เมื่อแบคทีเรียเจริญเติบโตถึงจุดๆหนึ่ง จะเสื่อมสภาพสูญเสียการเคลื่อนไหวและตายในที่สุด โดยสามารถตั้งสมการการตายหรือสูญเสียการเคลื่อนไหวตามสมการ

$$\frac{dX_H}{dt} = -b'_H X_H \quad (2.33)$$

ซากแบคทีเรียที่ตายแล้วบางส่วนจะมีสภาพเป็น Inert ตามสมการสัดส่วน ซึ่งจัดเป็นผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งที่ผลิตจากแบคทีเรียเนื่องจากการตายหรือสูญเสียการเคลื่อนไหว และส่วนที่เหลือจะกลายเป็น Particulate Slowly Biodegradable Substrate (X_S) ส่งผลถึงการเพิ่มขึ้นของ Slowly Biodegradable Substrate โดย Particulate Slowly Biodegradable Substrate เหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็น Readily Biodegradable Soluble Substrate จำนวนโดยค่าเฉลี่ยของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งจะไม่ใช้ออกซิเจนในการเปลี่ยนสภาพและเข้าสู่วงจรการเจริญเติบโต แต่เมื่อแบคทีเรียบริโภค Readily Biodegradable Soluble Substrate จะต้องใช้ออกซิเจนในการนำสารอาหารไปผลิตพลังงานและการสร้างเซลล์

$$\frac{dX_P}{dt} = f_{PX} b'_H X_H \quad (2.34)$$

$$\frac{dX_S}{dt} = (1 - f_{PX}) b'_H X_H \quad (2.35)$$

2.9.5 สมมติฐานของส่วนที่ละลายน้ำ (Fate of Soluble Component)

ในส่วนนี้มีสารอยู่ 3 พวกที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ Readily Biodegradable Soluble Substrate. (S_S) พวกที่สอง คือ Inert COD Originating from the Influent Stream. (S_I) และส่วนสุดท้าย คือ Soluble Residual Microbial Products. (S_P)

ในส่วนของ Inert COD ที่เข้ามาที่กระแสน้ำเข้า จะผ่านระบบออกไปโดยไม่เกิดปฏิกิริยาใดๆ แต่ส่วนของ Readily Biodegradable Soluble Substrate. (S_S) จะเป็นส่วนหลักที่แบคทีเรียนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของ Readily Biodegradable Soluble Substrate. (S_S) จึงเป็นไปตามสมการ

$$\frac{dS_S}{dt} = -\frac{\hat{\mu}_H}{Y_H} \frac{S_S}{K_S + S_S} X_H \quad (2.36)$$

ส่วนที่จะพิจารณาต่อไป ได้แก่ Soluble Residual Microbial Products. (S_p) เป็นอีกจุดสำคัญที่จะต้องถูกพิจารณา ซึ่งถูกเสนอว่า จะถูกย่อยสลายในอัตราที่ต่ำกว่าการเจริญเติบโต แบ่งเป็น 2 พจน์ โดยพจน์แรกเป็นผลจากการเจริญเติบโตทำให้เกิดการเพิ่มขึ้น และ พจน์ที่ 2 เป็นผลจากขบวนการไฮโดรไลซิสของแบคทีเรียคั่งสมการ

$$\frac{dS_p}{dt} = \alpha_R \hat{\mu}_H \frac{S_s}{K_s + S_s} X_H + f_{ps} K_h X_s \quad (2.37)$$

จากแนวความคิดดังกล่าวได้มีการเสนอ Reaction Kinetics สำหรับการกำจัดคาร์บอนในรูปของเมทริกซ์ ดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 Process Kinetics and Stoichiometry for Carbon Removal Involving Death-Regeneration

Component -		i	1	2	3	4	5	6	7	Process Rate, ρ_i $ML^{-3}T^{-1}$
j	Process	↓	S_i	S_s	X_i	X_s	X_H	X_p	S_p	
1	Growth			$-\frac{1}{Y_H}$			1		α_R	$\hat{\mu}_H \frac{S_s}{K_s + S_s} X_H$
2	Death					$1-f_{PX}$	-1	f_{PX}		$b'_H X_H$
3	Hydrolysis			$1-f_{PS}$		-1			f_{PS}	$K_h X_s$
Parameter, ML^{-3}			COD	COD	COD	COD	Cell COD	COD	COD	

ที่มา : Orhon and Artan , *Modelling of Activated Sludge Systems.*, 1994.

2.9.6 การทำสมดุลมวลสาร (Mass Balance)

ก. Mass Balance of Readily Biodegradable Substrate (S_s)

$$QS_{si} - QS_s - V \frac{\hat{\mu}_H}{Y_H} \frac{S_s}{K_s + S_s} X_H + V(1 - f_{ps}) K_h X_s = V \frac{dS_s}{dt} \quad (2.38)$$

นำ V หาคตลอด จะได้ $\theta = \frac{V}{Q}$

$$\frac{S_{Si}}{\theta_h} - \frac{S_s}{\theta_h} - \frac{\hat{\mu}_H}{Y_H} \frac{S_s}{K_s + S_s} X_H + (1 - f_{PS}) K_h X_s = \frac{dS_s}{dt} \quad (2.39)$$

ข. Mass Balance of Heterotrophic Biomass (X_H)

$$QX_{Hi} - QX_H + \hat{\mu}_H \frac{S_s}{K_s + S_s} X_H V - Vb'_H X_H = V \frac{dX_H}{dt} \quad (2.40)$$

นำ V หาคตลอด จะได้ $\theta = \frac{V}{Q}$ และ จัดรูปใหม่

$$\hat{\mu}_H \frac{S_s}{K_s + S_s} X_H - b'_H X_H + \frac{X_H}{\theta_h} - \frac{X_H}{\theta_x} = \frac{dX_H}{dt} \quad (2.41)$$

ค. Mass Balance ของ Particulate Slowly Biodegradable Substrate (X_s)

$$QX_{Si} - QX_s + V(1 - f_{PX}) b'_H X_H - VK_h X_s = V \frac{dX_s}{dt} \quad (2.42)$$

นำ V หาคตลอด จะได้ $\theta = \frac{V}{Q}$

$$\frac{X_{Si}}{\theta_h} - \frac{X_s}{\theta_x} + (1 - f_{PX}) b'_H X_H - K_h X_s = \frac{dX_s}{dt} \quad (2.43)$$

ง. Mass Balance of Particulate Inert COD (X_p)

$$0 - QX_p + Vf_{PX} b'_H X_H = V \frac{dX_p}{dt} \quad (2.44)$$

นำ V หาคตลอด จะได้ $\theta = \frac{V}{Q}$ จัดรูปใหม่

$$f_{PX} b'_H X_H - \frac{X_p}{\theta_x} = \frac{dX_p}{dt} \quad (2.45)$$

จ. Mass Balance of Soluble Residual Microbial Products (S_p)

$$-QS_p + Va_R \hat{\mu}_H \frac{S_s}{K_s + S_s} X_H + Vf_{PS} K_h X_s = V \frac{dS_p}{dt} \quad (2.46)$$

นำ V หาคัดลอก จะได้ $\theta = \frac{V}{Q}$ จัดรูปใหม่

$$\alpha_R \hat{\mu}_H \frac{S_s}{K_s + S_s} X_H + f_{PS} K_h X_s - \frac{S_p}{\theta_h} = \frac{dS_p}{dt} \quad (2.47)$$

ตาราง 2.5 Stiochiometric Parameter และ Kinetic Parameter ในน้ำเสียประเภทต่าง ๆ

Wastewater	สัดส่วนชีโอคี้ (mg/l)				
	Y_{NH}	$\hat{\mu}_H$	K_s	b_H	f_{EX}
Textile					
Raw Effluent	0.62	4.0	10	0.2	-
Chemical Teat Effluent	0.62	3.5	10	-	2.0
Meat Processing	0.68	4.2	30	0.1	1.4
Dairy	0.65	3.0	25	0.14	1.1
Confectionery	0.69	5.8	75	0.1	0.8
Domestic	0.66	4.8	10	0.24	3.0

ที่มา : Orhon, 1998.

2.9.7 ผลเฉลยสมการมวลสารในสถานะที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

ขั้นตอนในการนำแบบจำลอง ASM1 จากสมการมวลสารมาหาผลเฉลยในสถานะที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาเพื่อเป็นแนวทางในการนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้กับทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถสร้างสูตรในการคำนวณค่าน้ำออกในรูปของ Readily Biodegradable Substrate ได้ดังสมการ (2.48) ส่วนของค่าอื่น ๆ หาได้จากการแก้สมการที่เหลือสี่สมการรายละเอียดดูในภาคผนวก

$$S_s = \frac{K_s (1 + b'_H \theta_x)}{\hat{\mu}_H \theta_x - (1 + b'_H \theta_x)} \quad (2.48)$$

$$\hat{\mu}_H \frac{S_s}{K_s + S_s} X_H - b'_H X_H + \frac{X_H}{\theta_h} - \frac{X_H}{\theta_x} = 0 \quad (2.49)$$

$$\frac{X_{Sl}}{\theta_h} - \frac{X_S}{\theta_x} + (1 - f_{PX})b'_H X_H - K_h X_S = 0 \quad (2.50)$$

$$f_{PX}b'_H X_H - \frac{X_P}{\theta_x} = 0 \quad (2.51)$$

$$\alpha_R \hat{\mu}_H \frac{S_S}{K_S + S_S} X_H + f_{PS} K_h X_S - \frac{S_P}{\theta_h} = 0 \quad (2.52)$$

X_H = Viable Heterotrophic Active Biomass

X_P = Particulate Matter

X_S = Slowly Biodegradable Matter

S_{Sl} = Influent Readily Biodegradable COD

S_S = Effluent Readily Biodegradable COD

S_P = Soluble Residual Microbial Products

f_{PX} = Inert Fraction of the Endogenous Particulate Matter

b'_H = Rate of Viability Loss for Heterotrophic Biomass

α_R = Growth-Associated Soluble Inert Product Formation

Coefficient for the Death Regeneration Model

f_{PS} = Fraction of the Endogenous Particulate Matter Converted
into Soluble Inert Microbial Products

Y_H = Means of the Yield Coefficient

θ_x = Sludge Age

K_h = First-Order Hydrolysis Rate Coefficient

K_S = Half-velocity Constant

$\hat{\mu}_H$ = Maximum Specific Growth Rate of Heterotrophic Biomass