บทที่ 4

กระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก

4.1 บทนำ

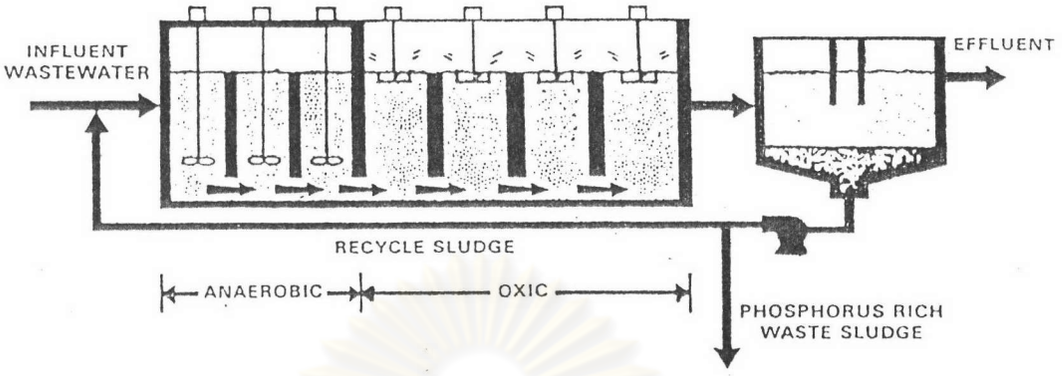
แอกทิเวเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีการดัดแปลงมาจากกระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบธรรมดา โดยในช่วงปีค.ศ. 1960 ได้มีการสังเกตุพบว่า ระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบธรรมดา (conventional activated sludge) หลายแห่งในสหรัฐอเมริกา สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ในปริมาณที่สูงกว่าความต้องการของเซลล์จุลินทรีย์ปกติ ในระยะต่อมาได้มีนักวิจัยให้ความสนใจกันมากในปรากฏการณ์ดังกล่าวข้างต้น

Fuhs และ Chen(1975) ได้ทำการแยกแบคทีเรียชนิดอะซิเนโตแบคเตอร์ (Acinetobacter) ออกจากระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ เพื่อใช้ศึกษาในการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยวิธีทางชีวภาพ และพบว่าแบคทีเรียเหล่านี้ ได้มีการใช้ฟอสเฟตเพื่อการเจริญเติบโตในตัวกลางที่ใช้เลี้ยง และมีการปลดปล่อยฟอสเฟตออกมาเมื่อมีการเติมสารอาหารให้แก่มัน หลังจากนั้น ได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์กระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์ และกลไกในการกำจัดฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสีย โดยในระยะหลังนี้เป็นที่ยอมรับว่ากระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์สามารถดัดแปลงเป็นกระบวนการที่ใช้กำจัดฟอสฟอรัสและกำจัดบีโอดีด้วยวิธีทางชีววิทยาได้ โดยการเพิ่มส่วนที่เป็นแอนแอโรบิก (anaerobic zone) เข้าไปก่อนหน้าส่วนถังเติมอากาศ (aeration tank)

ในปัจจุบัน กระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก เป็นลิขสิทธิ์ของบริษัท Air Products and Chemicals, Inc.,ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ชื่อทางการค้าว่า A/O Process (Hong,1984)

4.2 ลักษณะและการทำงานของกระบวนการ

ลักษณะของกระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก จะประกอบไปด้วยถังปฏิกรณ์ 2 ส่วน คือ ถังแอนแอโรบิก (anaerobic tank) และถังแอโรบิก ซึ่งต่ออนุกรมกันตามลำดับดังแสดงในรูป 4.1 น้ำเสียจะถูกส่งเข้าไปในถังแอนแอโรบิก ที่มีการกวนภายในถัง เพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์ที่เวียนกลับจากถังตกตะกอนได้สัมผัสกับน้ำเสียอย่างทั่วถึง หลังจากนั้น น้ำตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยก็จะไหลเข้าสู่ถังเติมอากาศ เพื่อให้เกิดการออกซิเดชั่นของอินทรีย์คาร์บอนขึ้นโดยมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ตะกอนของจุลินทรีย์และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากถังแอโรบิกจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อแยกส่วนตะกอนเข้มข้นและน้ำใสออกจากกัน โดยตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกเวียนกลับมายังถังแอนแอโรบิก และบางส่วนที่จะต้องนำไปทิ้งเพื่อรักษาค่าอายุตะกอนของระบบ



รูป 4.1 แสดงกระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก–แอโรบิก (Hong,1984)

4.2.1 ถังแอนแอโรบิก (anaerobic tank)

ถังแอ่นแอโรบิกเป็นถังที่มีการกวน (mixing) เพื่อให้มีการผสมกันอย่างทั่วถึงระหว่างสารอาหารในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Influent substrate) และตะกอนจุลินทรีย์ที่เวียนกลับ (return sludge) ปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในถังแอนแอโรบิกนี้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน

4.2.1.1 การหมัก (fermentation)

สารอินทรีย์ละลายในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย (volatile fatty acid, VFA) โมเลกุลสั้น ๆ เช่น อะซีเตด (acetate) และผลผลิตอื่น ๆ ที่ได้จากกระบวนการหมัก

4.2.1.2 ไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของโพลีฟอสเฟต

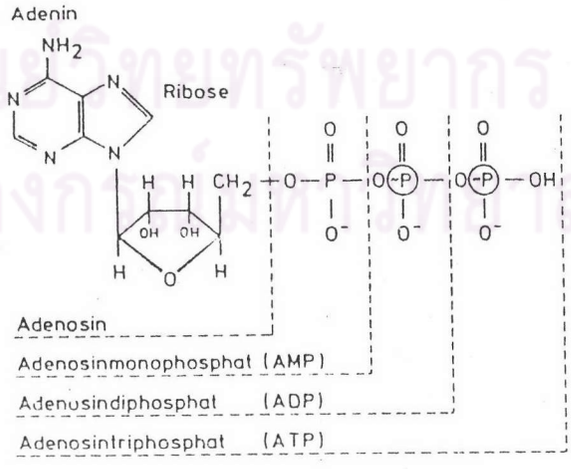
หลังจากที่เกิดกระบวนการหมักขึ้น และได้ผลผลิตเป็นกรดไขมันระเหยออกมาแล้ว จุลินทรีย์จะทำการดูดซึมกรดไขมันโมเลกุลสั้น ๆ เหล่านั้นเก็บไว้ภายในเซลล์ในรูปของสารประกอบโพลีเมอร์ ซึ่งจะอยู่ในรูปของโพลีไฮดรอกซิลบิทิเลต (polyhydroxybutyrate) หรือที่เรียกโดยย่อว่า พีเอชบี (PHB) โดยการย่อยสลายสารอินทรีย์และดูดซึมกรดอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้น มาเก็บไว้ภายในเซลล์ในรูปของพีเอชบีนั้น จุลินทรีย์จำเป็นต้องใช้พลังงานเพื่อเปลี่ยนรูปของกรดไขมันระเหยโมเลกุลมาอยู่ในรูปของสารประกอบโพลีเมอร์

ในขั้นตอนเพื่อให้ได้พลังงานมาใช้ในการเก็บสารอาหารในรูปพีเอชบี นี้ จะเป็นกลไกที่สำคัญในการคัดเลือกพันธุ์จุลินทรีย์ ที่มีความสามารถในการสะสมฟอสฟอรัสได้มากเป็นพิเศษ กล่าวคือ พลังงานที่ได้มาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของโพลีฟอสเฟต จะเป็นการเพิ่มศักยภาพของจุลินทรีย์ชนิดนั้น ให้มีความสามารถในการใช้สารอาหารจากภายนอกเซลล์ได้ดีกว่า จุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ในช่วงแอนแอโรบิก โดยกลไกการใช้สารอาหารของจุลินทรีย์จะเป็นกลไกของการเก็บสะสมสารอาหารซึ่งเป็นสารอินทรีย์ละลายในน้ำเสีย เข้ามาเก็บไว้ภายในเซลล์ในรูปสารประกอบภายในเซลล์

พลังงานที่เกิดขึ้นในช่วงแอนแอโรบิกนั้น จะได้มาจากการทำลายพันธะที่เชื่อมต่อของกลุ่มโมเลกุลของฟอสเฟตในกลุ่มที่สามออกไปในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ผลจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสดังกล่าวจะได้สารประกอบเอดีพี (ADP) และออร์โธฟอสเฟต ดังนั้น ปริมาณความเข้มข้นของฟอสเฟตของน้ำที่ออกจากส่วนแอนแอโรบิก จะมีค่าสูงกว่าที่มีอยู่ในน้ำเสียที่เข้าระบบ หรือกล่าวอีกทางหนึ่งคือ เป็นการทำลายพันธะเพื่อเปลี่ยนจาก ATP เป็น ADP และมีการปลดปล่อยออร์โธฟอสเฟตออกมา ทั้งนี้ ในการทำลายพันธะดังกล่าว จะได้พลังงานออกมาประมาณ 7.3 กิโลแคลอรี่ต่อโมล ดังแสดงในสมการที่ 4.1 (Bailey &Ollis,1977)

$$ATP + H_2O \rightarrow ADP + P \quad ; \Delta G = -7.3 \text{ kcal/mol} \qquad (4.1)$$

นั่นคือ จุลินทรีย์ชนิดนี้ มีข้อเด่นที่สามารถสร้างและสะสมสารประกอบอนินทรีย์ของโพลีฟอสเฟต ในรูปของอะดีโนซินไตรโพลีฟอสเฟต (adenosintripolyphosphate) หรือเรียกโดยย่อว่า เอทีพี (ATP) และเก็บไว้ภายในเซลล์ได้ (โครงสร้างโมเลกุลของอะดีโนซินฟอสเฟตแสดงในรูปที่ 4.2) ทั้งนี้ สารประกอบเอทีพี (ATP) ที่เก็บไว้ภายในเซลล์เป็นจะทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานสำรองภายในเซลล์ให้แก่จุลินทรีย์ และนำมาใช้เมื่อไม่มีแหล่งพลังงานภายนอกอื่น ๆ เช่น พลังงานที่ได้จากกระบวนการหายใจ (respiration) โดยใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน หรือพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น (denitrification) เป็นต้น



รูปที่ 4.2 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบอะดีโนซินฟอสเฟต
(Mudrack และ Kunst ,1986)

4.2.2 ถังแอโรบิก (aerobic tank)

ถังแอโรบิก หรือบางครั้งเรียกว่า ถังออกซิก (oxic tank) เป็นถังที่มีการเติมอากาศเพื่อให้เกิดการออกซิเดชั่นของคาร์บอนขึ้นภายในถังและเพื่อให้เกิดการผสม (mixing) ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ได้ในน้ำ วิธีการเติมอากาศสามารถใช้ได้ทั้งแบบเครื่องกลเติมอากาศที่ผิวหน้า (mechanical surface aerator) หรือแบบหัวเติมอากาศ (diffused air system) ค่าออกซิเจนละลายน้ำภายในถังควรมีค่าอยู่ในช่วง 1.5-3.1 มก./ล. (Ekama และคณะ ,1982)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในถังแอโรบิก สามารถแบ่งได้เป็นสองขั้นตอน คือ

4.2.2.1 เมตาบอลิซึม (metabolism) ของสารอาหาร

สารอาหารที่ถูกเก็บสะสมไว้ภายในเซลล์ในช่วงแอนแอโรบิก ซึ่งอยู่ในรูปของ PHB และเมื่อกระบวนการเข้าสู่สภาวะแอโรบิก (aerobic) สารประกอบ PHB จะถูกออกซิไดซ์ (carbon oxidation) โดยมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน (electron accceptor) ได้ผลผลิตเป็นพลังงาน (energy) และสสาร (mass) ซึ่งอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและเซลล์ใหม่

4.2.2.2 การดูดกลืน (uptake) ออร์โธฟอสเฟต

ออร์โธฟอสเฟต(orthophosphate) ที่ถูกปลดปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ในช่วงของแอนแอโรบิกจะถูกดูดกลืน (uptake) กลับเข้ามาไว้ภายในเซลล์อีกครั้ง ในปริมาณที่มากกว่าที่ปลดปล่อยออกมา โดยจุลินทรีย์จะใช้พลังงานส่วนหนึ่งที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของการเมตาบอลิซึมในสภาวะแอโรบิกไปในการสร้างพันธะเชื่อมต่อโมเลกุลของออร์โธฟอสเฟตที่ดูดกลืนกลับเข้ามาอีกครั้งหนึ่งกับโมเลกุลของสารประกอบอะดีโนซีนภายในเซลล์ ได้เป็นสารประกอบโพลีฟอสเฟต (polyphosphate) ซึ่งอยู่ในรูปของ ATP หรือกล่าวอีกทางหนึ่งคือ เป็นกระบวนการย้อนกลับของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสใน สมการที่ 4.1 หรือเป็นไปตามสมการที่ 4.3

$$ADP + P \longrightarrow ATP + H_2O \quad ; \quad \Delta G = +7.3 \text{ kcal/mol} \qquad (4.3)$$

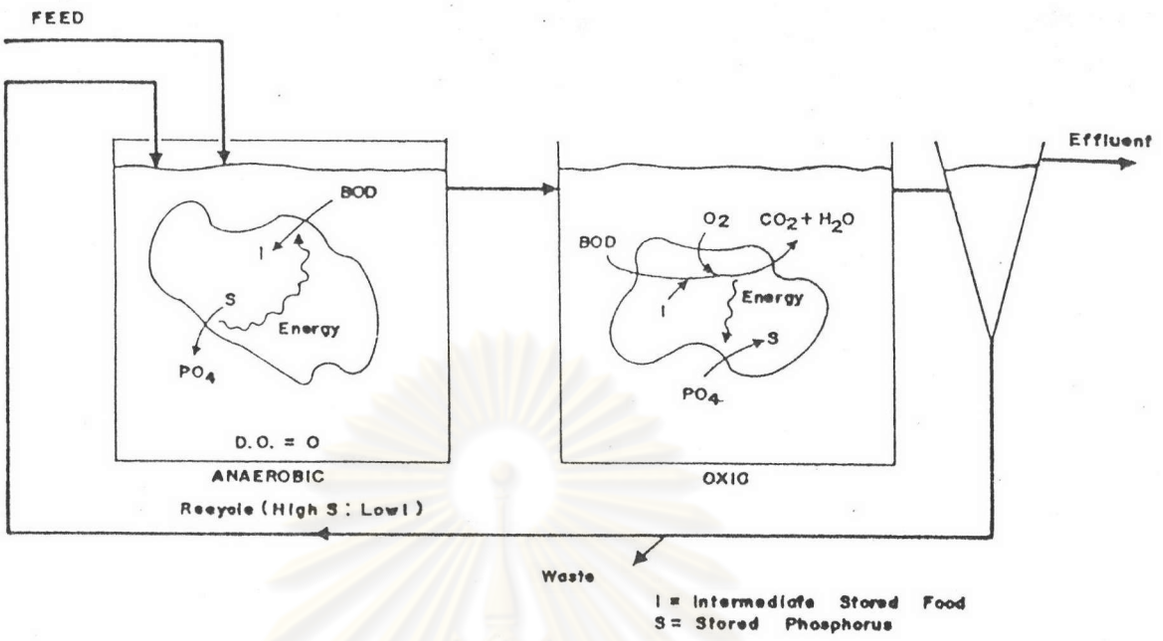
จากสมการที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ในการสร้างสารประกอบโพลีฟอสเฟตขึ้นใหม่ภายในเซลล์ จุลินทรีย์จำเป็นต้องใช้พลังงาน ซึ่งพลังงานส่วนนี้จะได้จากกระบวนการเมตาบอลิซึมของสารอาหาร โดยพลังงานที่ใช้จะมีค่าประมาณ 7.3 กิโลแคลอรี่ต่อโมลของ ATP ที่เกิดขึ้น

นั่นคือโดยภาพรวมแล้วการทำงานของกระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก ก็คือ เป็นการรวมกันของการเกิดคาร์บอนออกซิเดชั่น (carbon oxidation) และการกำจัดฟอสฟอรัส (phosphorus) ทางชีวภาพของน้ำเสีย โดยในสภาวะแวดล้อมที่มีส่วนของถังแอนแอโรบิกนำหน้าเช่นนี้ เป็นการสร้างสภาวะที่เหมาะสมต่อการใช้สารอาหารของจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการสะสมฟอสฟอรัส (phosphorus accumulating bacteria) ไว้ภายในเซลล์ จึงทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสมากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ทั่วไป ประมาณ 2.5-4 เท่า

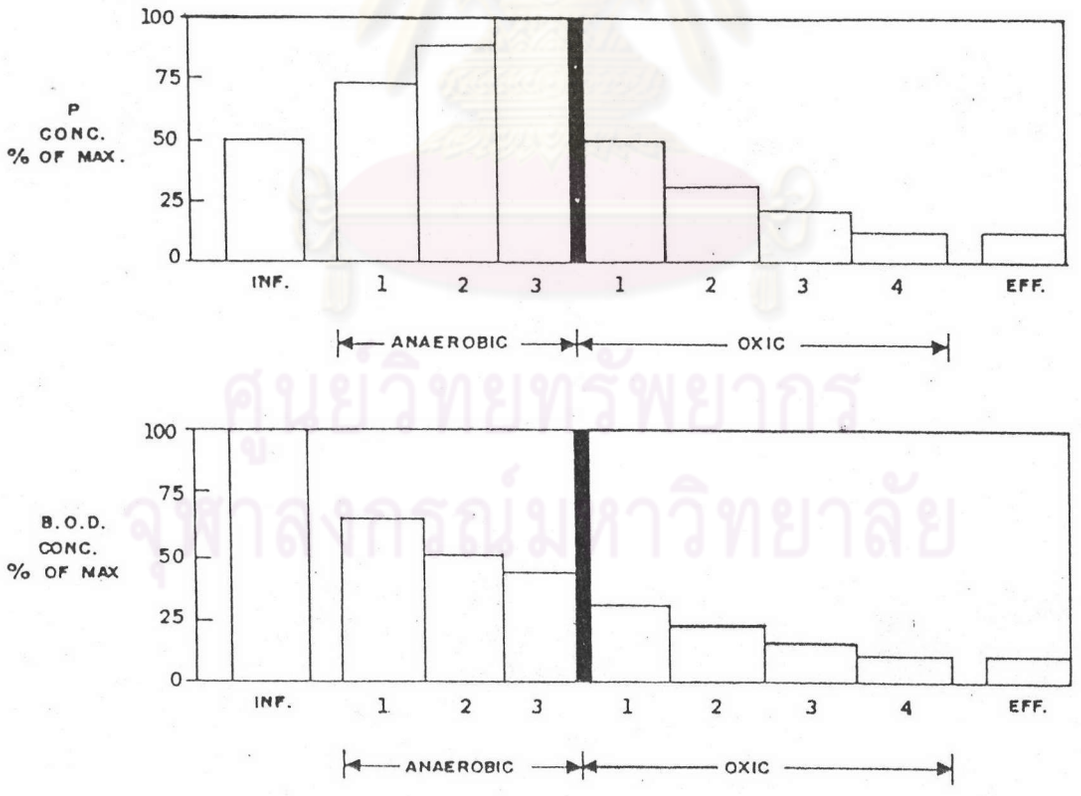
ขั้นตอนและปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นของกระบวนการ ได้แสดงสรุปไว้ในตารางที่ 4.1 และแผนภาพโดยรวมในการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดสะสมฟอสเฟตแสดงในรูป 4.3 ทั้งนี้ การที่เซลล์ของจุลินทรีย์มีความสามารถในการสะสมฟอสฟอรัสได้สูงกว่าเซลล์จุลินทรีย์ทั่ว ๆ ไป ก็หมายถึงจุลินทรีย์สามารถแปลงรูปฟอสฟอรัสละลายมาอยู่ในรูปของสารประกอบภายในเซลล์ ซึ่งเป็นของแข็งได้มากกว่าระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบอื่น ๆ ดังนั้น การระบายตะกอนจุลินทรีย์ทิ้งเพื่อรักษาค่าอายุตะกอนก็คือ การกำจัดฟอสฟอรัสออกไปจากระบบนั่นเอง ในรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสารอาหารละลายและฟอสฟอรัสในถังแอนแอโรบิกและแอโรบิก

ตาราง 4.1 แสดงสรุปขั้นตอนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ในแต่ละช่วงของการดำเนินงาน (Sedlak,1991)

สภาวะ(zone)	การดำเนินงาน
ช่วงแอนแอโรบิก 1. การหมัก(fermentation) 2. ไฮโดรไลซิสของโพลีฟอสเฟต	- สารอาหารละลายถูกเปลี่ยนเป็น VFA - VFA ถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์และเก็บในรูป PHB - การปลดปล่อยออร์โธฟอสเฟต - ใช้พลังงานจาก ATP ในการเก็บสะสม PHB
ช่วงแอนแอโรบิก 1. เมตาบอลิซึมของสารอาหาร 2. ออร์โธฟอสเฟตถูกดูดกลืนเข้ามาในเซลล์การเกิดเซลล์ใหม่	- PHB ถูกออกซิไดซ์ - การเกิดเซลล์ใหม่และพลังงาน - เก็บพลังงานส่วนเกินในรูป ATP
การดำเนินการของระบบ 1. การทิ้งตะกอนส่วนเกิน	- ฟอสฟอรัสถูกกำจัดออกจากระบบ



รูป 4.3 การทำงานของจุลินทรีย์ที่มีสะสมฟอสฟอรัสได้มากเป็นพิเศษ (Hong,1984)



รูป 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารอาหารละลาย และฟอสฟอรัส (Hong,1984)

4.3 จุลชีววิทยาในกระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก

จุลชีววิทยาในกระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก จะประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการกำจัดฟอสฟอรัสได้มากเป็นพิเศษ (poly-P) ซึ่งจะมีความสามารถพิเศษอยู่ 2 ประการ คือ ประการแรก มีความสามารถในการเก็บสะสมสารประกอบโพลีฟอสเฟต และประการที่สอง มีความสามารถในการสะสมคาร์บอนในรูปของ PHB ได้

ในอดีตที่ผ่านมา ได้มีการค้นคว้าศึกษาวิจัยเกี่ยวกับจุลินทรีย์ที่มีความสามารถสะสมฟอสเฟตหลายครั้งด้วยกัน (Fuh and Chen,1975;Deinema et al.,1980; Brodisch and Joyner,1983; Hascoet et al.,1985 อ้างถึงใน Comeau et al.,1986) ซึ่งกล่าวว่า แบคทีเรียกลุ่ม Acinetobacter เป็นกลุ่มจุลินทรีย์หลักที่ควบคุมการทำงานของแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก

นอกจากนี้ Lotter (1985) พบว่าแบคทีเรียชนิด Aeromonas และ Pseudomonas เป็นแบคทีเรียกลุ่มใหญ่ที่มีความสามารถในการสะสมโพลีฟอสฟอเฟตได้

Fuhs และ Chen (1975) ได้ทำการแยกเอาแบคทีเรียชนิด Acinetobacter ออกจากกระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์เป็นครั้งแรก เพื่อศึกษาถึงการกำจัดฟอสฟอรัสโดยกระบวนการทางชีวภาพ โดยแบคทีเรียชนิดนี้มีรูปร่างเป็นแท่งสั้น ๆ ขนาด 1-1.5 ไมโครเมตร มักจะอยู่กันเป็นคู่ ๆ และให้ผลแกรมเป็นลบ (gram negative) และได้กล่าวว่า ปัจจัยหลักที่ทำให้ระบบสร้าง facultative anaerobic microflora ก็คือ การที่กระบวนการมีส่วนที่บำบัดแบบแอนแอโรบิก (anaerobic treatment) โดยในช่วงที่เกิดการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนนี้ จุลินทรีย์เหล่านี้จะผลิตสารประกอบจำพวกกรดไขมันระเหยต่าง ๆ เช่น ethanol, acetate และ succinate ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะเป็นแหล่งคาร์บอนของ Acinetobacter และกล่าวว่า วัฏจักรของระบบแบบแอนแอโรบิกสลับกับแอโรบิกทำให้เกิดตะกอน (sludge) ที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีความเหมาะสมต่อการปลดปล่อยและดูดกลืนฟอสเฟต (phosphate uptake and release)

4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บสะสมสารอาหารไว้ภายในเซลล์

Randall (1972) ได้กล่าวถึง ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการกักเก็บสารอาหารไว้ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ที่มีหน้าที่กำจัดฟอสฟอรัสได้มากเป็นพิเศษว่าเป็นฟังก์ชั่นของ

1. ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย (volatile fatty acid ,VFA) ที่มีอยู่ในช่วงแอนแอโรบิก
2. ชนิดของกรดอินทรีย์ระเหยที่มีอยู่ในช่วงแอนแอโรบิก
3. มวลของจุลินทรีย์ที่มีหน้าที่กำจัดฟอสฟอรัส
4. ชนิดของจุลินทรีย์ที่มีหน้าที่ในการกำจัดฟอสฟอรัส (poly-P) ในช่วงแอนแอโรบิก
5. ปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกเก็บสะสมภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ที่มีหน้าที่ในการกำจัดฟอสฟอรัส เมื่อมันเข้าสู่สภาวะแอนแอโรบิก
6. ปริมาณของตัวรับอิเล็กตรอนเช่น O_2 และ NO_x ที่เข้าสู่ช่วงแอนแอโรบิกต่อหน่วยเวลา

7. โลหะประจุบวกบางชนิดที่ต้องการในช่วงแอนแอโรบิก
8. เวลากักน้ำในถังแอนแอโรบิก
9 อุณหภูมิของน้ำตะกอนแขวนลอยภายในถังแอนแอโรบิก
10.ค่าพีเอชของน้ำตะกอนแขวนลอยในถังแอนแอโรบิก

ในส่วนของปฏิกิริยาภายในถังแอโรบิก จะเกี่ยวข้องกับการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำ โดยจะต้องมีค่า DO ที่เพียงพอ เพื่อให้จุลินทรีย์ชนิด poly-P สามารถเกิดเมตาบอลิซึมของสารอาหารที่เก็บไว้ได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ ค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำจะต้องไม่เป็นตัวจำกัดอัตราการถ่ายเทออกซิเจนเข้าสู่เซลล์ (oxygen uptake rate) อีกทั้งจะต้องป้องกันการปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาภายในถังตกตะกอนสุดท้าย แต่ทั้งนี้ จะต้องมีค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำในน้ำตะกอนแขวนลอยที่เวียนกลับเข้าใกล้ศูนย์

4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของกระบวนการ

4.5.1 ความเข้มข้นซีโอดีที่เข้าระบบ (Influent COD concentration)

การที่เกิดการปลดปล่อย (release) ฟอสฟอรัสขึ้นในถังแอนแอโรบิกจะเป็นตัวบ่งชี้ว่า มวลจุลินทรีย์ในระบบได้ทำการดูดซึม (uptake) สารอินทรีย์ในน้ำเสียเข้าสู่ภายในเซลล์จุลินทรีย์ภายในถังแอนแอโรบิก และเมื่อมีการเติมอากาศให้แก่ระบบอีกครั้ง ฟอสฟอรัสที่ถูกปลดปล่อย (release) ออกมา จะถูกดูดซึมกลับเข้ามาสะสมภายในเซลล์อีกครั้งในปริมาณที่มากกว่าที่ได้ปลดปล่อยออกมาในช่วงแอนแอโรบิก

Siebritz และคณะ (1983) ได้ทำการทดลอง และสรุปว่า การที่จะเกิดการปลดปล่อย (release) ฟอสฟอรัสในสภาพแอนแอโรบิกได้นั้น จะต้องมีซีโอดีที่ย่อยสลายทางชีววิทยาได้อยู่ในถังแอนแอโรบิกในค่าความเข้มข้นที่ไม่ต่ำกว่า 25 มิลลิกรัมต่อลิตร และการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความเข้มข้นของซีโอดีที่ย่อยสลายทางชีววิทยาได้ (biodegradable COD) ที่มีอยู่ในถังแอนแอโรบิก (anaerobic tank)

4.5.2 ภาระบรรทุกบีโอดี (BOD loading rate)

ภาระบรรทุกบีโอดี (BOD loading rate) มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อย (release) ฟอสฟอรัสในช่วงแอนแอโรบิก (anaerobic zone) เนื่องจากกระบวนการแอนแอโรบิก – ออกซิก มีเหมาะสมในการทำงานที่ค่าอัตราส่วนสารอาหารละลายต่อมวลจุลินทรีย์ (Fs/M) สูง ๆ เนื่องจากทำให้มีระดับการกักเก็บสารอาหารภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ในช่วงแอนแอโรบิกสูงขึ้น และที่ค่า Fs/M ต่ำ ๆ จะทำให้ปริมาณสารอาหารละลายที่ถูกเก็บกัก (stored substrate) ไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิดพลังงานในการดูดกลืน (uptake) ฟอสเฟตในช่วงออกซิก (oxic zone) (Krichten และคณะ,1975)

Kanchit (1993) ได้รวบรวมข้อมูลในการออกแบบกระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-ออกซิก โดยเสนอค่าปริมาณสารอาหารต่อมวลจุลินทรีย์ (F/M) ของกระบวนการที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 0.15 – 0.7 KgTBOD/KgMLSS/D

4.5.3 การเติมอะซิเตด (addition of acetate)

Malnou และคณะ (1984) พบว่า การใช้อะซิเตดเป็นสับสเตรท (substrate) ทำให้ระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีขึ้น แต่ก็ต้องคำนึงถึงปริมาณของไนเตรท (nitrate) ที่มีอยู่ในระบบด้วย

Rensink และคณะ (1985) พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส โดยวิธีทางชีววิทยาสำหรับน้ำเสียชุมชน (domestic wastewater) จะมีค่าประมาณ 40–50% แต่ถ้ามีการเติมอะซิเตดลงไปในปริมาณ 100 มิลลิกรัมอะซิเตดต่อลิตร จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบสูงถึง 97.5%

4.5.4 ไนเตรท (nitrate)

Malnou และคณะ (1984) ได้ทำการศึกษาผลของไนเตรทต่อการกำจัดฟอสฟอรัส โดยใช้การทดลองแบบทีละเท (Batch test) พบว่า จะไม่เกิดการปลดปล่อย (release) ฟอสฟอรัสในช่วงแอนแอโรบิกเลย ถ้ามีไนเตรทอยู่ในระบบ การปลดปล่อยฟอสฟอรัสจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อในระบบมีไนเตรทในความเข้มข้นที่ต่ำกว่า 0.1 mg NO_3

Groenestijn และ Deinema (1985) ได้ทำการแยก (isolate) แบคทีเรียชนิด Acinetobactor ออกมาทำการเลี้ยงในสภาวะที่มีไนเตรต (nitrate) อยู่ พบว่าได้มีไนไตร์ท (Nitrite) เกิดขึ้น และได้สรุปว่าแบคทีเรียชนิด Acinetobactor สามารถใช้ไนเตรตเป็นตัวรับอิเลคตรอน ซึ่งก็หมายความว่า Acinetobactor ไม่จำเป็นต้องใช้โพลีฟอสเฟตที่สะสมไว้ในเซลล์ และปลดปล่อยฟอสเฟตออกมาในช่วงแอนแอโรบิก ส่งผลให้เกิดการดูดกลืนฟอสเฟต (Uptake) ในช่วงแอโรบิกได้ไม่มากนัก

Lotter และ Murphy (1985) เชื่อว่า แบคทีเรียชนิด Acinetobactor ซึ่งได้ถูกแยกออกมาจากระบบบำบัดน้ำเสีย มีความสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น (denitrification) ได้ นอกจากนี้ Juni (1978) ได้กล่าวว่า แบคทีเรียชนิด Acinetobactor นี้ สามารถเปลี่ยนได้เฉพาะไนเตรต (Nitrate) เป็นไนไตร์ท (Nitrite) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น

4.5.5 อุณหภูมิ (temperature)

Krichten และคณะ (1985) ได้สังเกตุเห็นว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของโรงงานนำร่อง (pilot plant) แห่งหนึ่ง มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 5 °C เมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิ 10 °C และ 15 °C ทั้งนี้ การสังเกตุพบดังกล่าว สอดคล้อง

กับความจริงที่ว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์ของ Acinetobactor จะมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 5 °C เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่สูงกว่า จนถึงที่อุณหภูมิ 35 °C

4.5.6 การออกแบบถังตกตะกอน

Barnard (1983) กล่าวว่า ถังตกตะกอนต้องได้รับการออกแบบเพื่อให้แน่ใจว่า จะไม่เกิดการไหลล้น (washed out) ของตะกอนแขวนลอยออกจากถังตกตะกอน ทั้งนี้ เนื่องจากในตะกอนนั้นมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่สูง ซึ่งส่งผลให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (treated effluent) มีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (total-P) สูงตามไปด้วย สลัดจ์ที่เกิดขึ้นต้องมีการนำออกจากก้นถังตกตะกอนอย่างต่อเนื่อง และระดับของชั้นตะกอน (sludge blanket) ต้องรักษาให้อยู่ในระดับที่แน่ใจได้ว่าจะไม่เกิดสภาพแอนแอโรบิก (anaerobic condition) ที่ก้นถังตกตะกอนจนทำให้มีการปลดปล่อย (release) ฟอสฟอรัสออกมาอีก ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสโดยรวมของระบบต่ำลง

4.5.7 ค่าออกซิเจนละลายน้ำในช่วงแอโรบิก

Ekama และคณะ (1982) เสนอว่ากระบวนการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยวิธีทางชีววิทยาจะต้องรักษาค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายในช่วงแอโรบิก (DO concentration in aerobic zone) ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.5 – 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อควบคุมประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส เพราะถ้าความเข้มข้นออกซิเจนละลายต่ำเกินไปจะทำให้การกำจัดฟอสฟอรัสมีประสิทธิภาพลดลงและปฏิกิริยาการเกิดไนตริฟิเคชั่นถูกจำกัด และสลัดจ์จะตกตะกอนได้ไม่ดี แต่ถ้าค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายมีค่าสูงเกินไปปฏิกิริยาการเกิดดีไนตริฟิเคชั่นจะถูกจำกัด ส่งผลให้ความเข้มข้นไนเตรทสูงจนอาจมีผลกระทบต่อการปลดปล่อย (release) ฟอสฟอรัสของช่วงแอนแอโรบิก (anaerobic zone)

4.5.8 การเติมอากาศที่มากเกินพอให้แก่ตะกอนเวียนกลับ

Barnard (1983) เสนอว่า ควรหลีกเลี่ยงการเติมอากาศที่มากเกินพอให้แก่ตะกอนเวียนกลับ และน้ำเสียที่เข้าระบบ เพราะจะทำให้มีค่าออกซิเจนละลายเหลืออยู่มากในถังแอนแอโรบิก (anaerobic basin) และต้องระวังในเรื่องการกวน (mixing) ในถังแอนแอโรบิกด้วย เพราะอาจเป็นการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำได้ และแนะนำว่าควรใช้พลังงานในการกวนที่ต่ำกว่า 4 W/m^3

4.6 การออกแบบกระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก

Krichten และคณะ (1987) กล่าวว่า ในการออกแบบกระบวนการเป็นการรวมกันของการดำเนินการภายใน 2 อย่าง คือ การออกซิเดชั่นของคาร์บอน(carbon oxidation) และการกำจัดฟอสฟอรัส ถังปฏิกรณ์ของแอนแอโรบิกและถังแอโรบิกจะต้องมีขนาดและต้องการอุปกรณ์ในการกวนที่เหมาะสม

4.6.1 การออกแบบถังแอนแอโรบิก (anaerobic reactor design)

Krichten และคณะ (1987) ได้กล่าวว่า

1. ขนาดของถังแอนแอโรบิกที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน ควรจะให้มีค่าเวลากักน้ำบนพื้นฐานของอัตราการไหลที่ฤดูร้อนเฉลี่ย (average dry weather flow) เท่ากับ 0.5–1.5 ชั่วโมง เพื่อให้มีเวลาเพียงพอในการคัดพันธุ์ของแบคทีเรียชนิดสะสมฟอสเฟต การออกแบบที่เป็นมาตรฐาน จำเป็นต้องมีการแบ่งถังปฏิกรณ์ออกเป็นขั้น ๆ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มแรงขับดัน (driving force) ให้มีการเกิดออกซิเดชั่นของสารอาหารละลายอย่างรวดเร็วในขณะที่เริ่มมีการปลดปล่อยฟอสเฟต

2. รูปร่าง (geometry) ของถังแอนแอโรบิกจะพิจารณาจากลักษณะของการกวนและความประหยัดของการก่อสร้าง โดยทั่วไปจะมีความลึกของถังไม่เกิน 4 – 5 เมตร ขนาดพื้นที่ผิวหน้าของตัวถังแอนแอโรบิกมีค่าระหว่าง 5 เมตร*5 เมตร ถึง 15 เมตร*15 เมตร โดยพื้นผิวหน้าทรงสี่เหลี่ยมจตุรัสนิยมมักใช้ในการออกแบบระบบใหม่ ๆ เพื่อให้เกิดการกวนที่ดีโดยใช้เครื่องกวนเพียงตัวเดียว ในขณะที่ถังแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาดความยาวต่อความกว้าง ไม่เกิน 1.5 : 1.0 ก็สามารถใช้เครื่องกวนเพียงตัวเดียวได้ และถ้ามีตัวถังมีค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างเกินกว่า 1.5 จำเป็นต้องใช้เครื่องกวนหลายตัว (multiple mixers)

3. การกวนภายในถังปฏิกรณ์ในระบบ A/O ควรใช้ใบพัดแบบ axial flow turbine :ซึ่งจะทำมีค่า pumping capacity สูงและสัมพันธ์กับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น การกวนที่ดีจะต้องทำให้น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (ilnfluent) และตะกอนที่เวียนกลับ (return sludge) มีการกระจายตัวอย่างรวดเร็ว เป็นเนื้อเดียวกันทั่วทั้งถัง อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวถังควรมีค่าอยู่ในช่วง 0.15 – 0.35 กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการกวนจะอยู่ในช่วง 7.5 – 15 W/m^3 ควรมีการติดตั้งแผ่นกั้น (anti-swirl buffles) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกวน

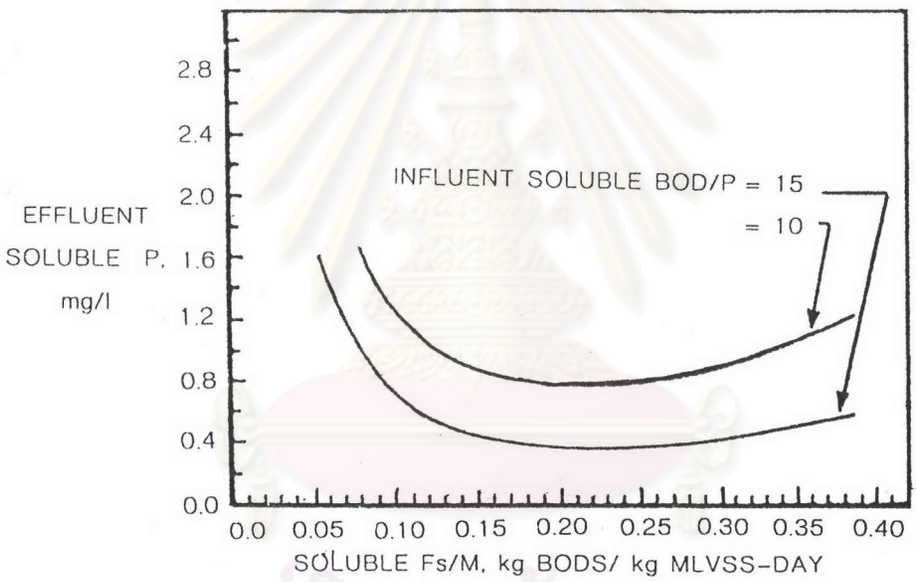
ในปัจจุบัน ได้มีการใช้เครื่องกวนแบบมอเตอร์ไฟฟ้าแบบจุ่มใต้น้ำ (submersible electric motor) เป็นตัวขับเคลื่อนใบพัด เครื่องกวนแบบนี้จะมีลักษณะคล้ายกับปั๊มน้ำแบบจุ่มใต้น้ำ

(submersible pumps) โดยจะมีใบพัดหนึ่งใบแบบ shrouded propeller ติดแทนที่ในตำแหน่งของปั๊มตัวมอเตอร์สามารถปรับอัตราความเร็วรอบได้หลายค่าและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดที่จะนำมาใช้งาน ข้อดีของเครื่องกวนชนิดนี้มีราคาถูกและการติดตั้งสามารถทำได้ง่าย

4.6.2 การออกแบบถังแอโรบิก

Kritchenและคณะ (1987) ได้กล่าวว่า

1. ขนาดของถังแอโรบิกที่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขึ้นอยู่กับค่า Fs/M (สารอาหารละลายน้ำ/ปริมาณจุลินทรีย์) และที่ค่า Fs/M สูงๆ จะทำให้มีกระบวนการมีการกำจัดสารอาหารได้ดีในช่วงของแอนแอโรบิก กราฟแสดงค่า Fs/M ที่เหมาะสมในการออกแบบได้แสดงในรูป 4.4



รูป 4.5 แสดงผลของ Fs/M ของระบบและค่า BOD/P ของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว (Kritchen และคณะ,1987)

2. จำนวนขั้น (staging) หน้าที่ของถังแอโรบิกมีสอง อย่างคือ เพื่อให้เกิดการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่กักเก็บไว้ให้กลายเป็นพลังงานและเพื่อดูดซับออร์โธฟอสเฟต (adsorption of orthophosphate) พร้อมกับเปลี่ยนเป็นโพลีฟอสเฟตภายในเซลล์

3. ในการเติมอากาศสามารถใช้ได้ทั้งเครื่องกลเติมอากาศที่ผิวหน้า (mechanical surface aerator) หรือใช้เป็นแบบหัวกระจายอากาศ (diffuser) สิ่งที่สำคัญก็คือ จะต้องมีการเติมอากาศให้เพียงพอแก่ความต้องการของจุลินทรีย์ โดยความต้องการออกซิเจนจะลดลงจากบริเวณทางเข้า (Inlet) ของน้ำจนไปถึงบริเวณทางออก (outlet) ของน้ำ