

## บทที่ 4

### ทฤษฎีกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิก-ออกซิด

#### 4.1 ความเป็นมาของกระบวนการ

เป็นที่ทราบกันดีในวงการบำบัดน้ำเสียว่าผลของฟอสฟอรัสและไนโตรเจน ซึ่งเป็นธาตุที่สำคัญซึ่งเป็นสารอาหารให้แก่พืชพรรณต่าง ๆ ซึ่งเหตุผลดังกล่าว หากว่ามีปริมาณธาตุอาหารเหล่านั้นไหลลงสู่ลำน้ำจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืช (Algae Boom) อันเป็นเหตุให้ลำน้ำหรือแหล่งน้ำสกปรก มักเป็นสาเหตุให้เกิดน้ำเสียได้ ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ดังนั้นในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจึงต้องมีการออกแบบระบบกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจนให้อยู่ในปริมาณที่ยอมรับ ซึ่งในระยะแรกใช้กระบวนการทางเคมีในการบำบัด (Chemical Treatment) ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายสูง จึงมีความพยายามที่จะศึกษาหาวิธีในการบำบัดทางอื่น ๆ เพิ่มขึ้น จนกระทั่งระบบกำจัดทางชีววิทยาได้ถูกค้นพบขึ้น

ในการกำจัดฟอสฟอรัสโดยวิธีทางชีววิทยา (Biological phosphorus Removal) ได้ถูกเสนอเป็นครั้งแรกโดย Greenburgh และคณะ (1955) โดยเขาได้สังเกตว่า แอคติเวเตดสลัดจ์สามารถที่จะสะสมฟอสฟอรัส ซึ่งต่อมาทางองค์กรต่าง ๆ ในอเมริกา (IAWPR และ EPA) ได้มีการทำวิจัยและจัดประชุมสัมมนา ในการศึกษาผลดีและผลเสียของการกำจัดฟอสฟอรัสโดยวิธีทางชีววิทยา และได้สรุปว่า ระบบการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีววิทยานี้ เป็นทางเลือกหนึ่งซึ่งสามารถใช้ร่วมกับการกำจัดทางเคมี (Chemical Treatment) หรือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการออกแบบกำจัดฟอสฟอรัส นอกจากนี้ทางองค์กรดังกล่าวยังแนะนำให้กำจัดฟอสฟอรัสทางชีววิทยานี้ ควรจะนำเข้าไปปรับปรุงกับระบบบำบัดน้ำเสียเดิม และนำเข้าไปพิจารณาร่วมในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียใหม่ด้วย

จากจุดเริ่มต้นดังกล่าวนี้เองได้มีการพัฒนาระบบต่าง ๆ ที่ใช้กำจัดฟอสฟอรัสทางชีววิทยาทางภาครัฐและเอกชน ตัวอย่างเช่น ระบบ Bardenpho ซึ่งเป็นลิขสิทธิ์ของบริษัท EIMCO Process

Equipment ในอเมริกาเป็นระบบที่ใช้ช่วงเวลากักเก็บน้ำยาวสลัดจ์ที่ระบายออก (Phosphorus rich sludge) จะมีความเข้มข้นประมาณ 4-6%, ระบบ PhoStrip ซึ่งเป็นลิขสิทธิ์ของบริษัท Biospherics Incorporated ระบบนี้ฟอสฟอรัสถูกกำจัดโดยการตกผลึก ปูนขาวของฟอสฟอรัสก่อนที่จะถูกล้างออกจากสลัดจ์, กระบวนการ UCT (The University of Cape town Process) เป็นกระบวนการที่ใช้น้ำเสียที่มีอัตราส่วน COD : TKN ต่ำ และมีการเวียนน้ำตะกอนกลับไปที่ตั้งแอนแอโรบิคสำหรับกำจัดไนเตรต และระบบ A/O (Anaerobic-Oxic Activated Sludge) เป็นระบบที่ใช้ช่วงเวลากักน้ำสั้น ๆ โดยสลัดจ์ที่ผลิตขึ้นจะมีเปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสประมาณ 6% จากสลัดจ์ที่ถ่ายทิ้ง ระบบนี้เป็นลิขสิทธิ์ของบริษัท Air product and chemical, Inc. เป็นต้น จากตัวอย่างดังกล่าวเป็นระบบที่นิยมใช้กันจนถึงปัจจุบัน ภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงแผนผังกระบวนการอย่างย่อของกระบวนการทั้ง 4 ดังกล่าว

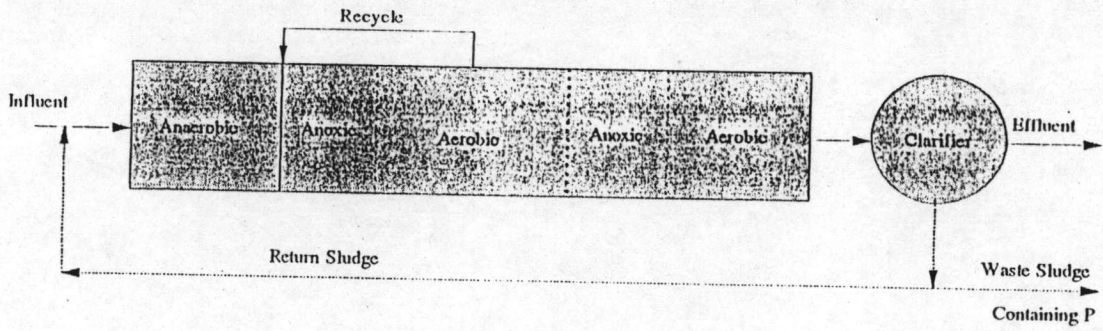
ในการวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นความสนใจไปที่ระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิค-ออกซิกแอคทีเวตเตดสลัดจ์ (A/O Process) ซึ่งเป็นระบบที่ค่อนข้างจะไม่ซับซ้อนและมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูง ประกอบกับมีความคงตัวสูง สลัดจ์ที่ได้มีความสามารถในการจมตัวได้ดีเมื่อเทียบกับระบบแอคทีเวตเตดสลัดจ์แบบผสมอย่างสมบูรณ์ (Completely Mixed Activated sludge)

#### 4.2 หลักการทำงานของกระบวนการแอนแอโรบิค-ออกซิก แอคทีเวตเตดสลัดจ์

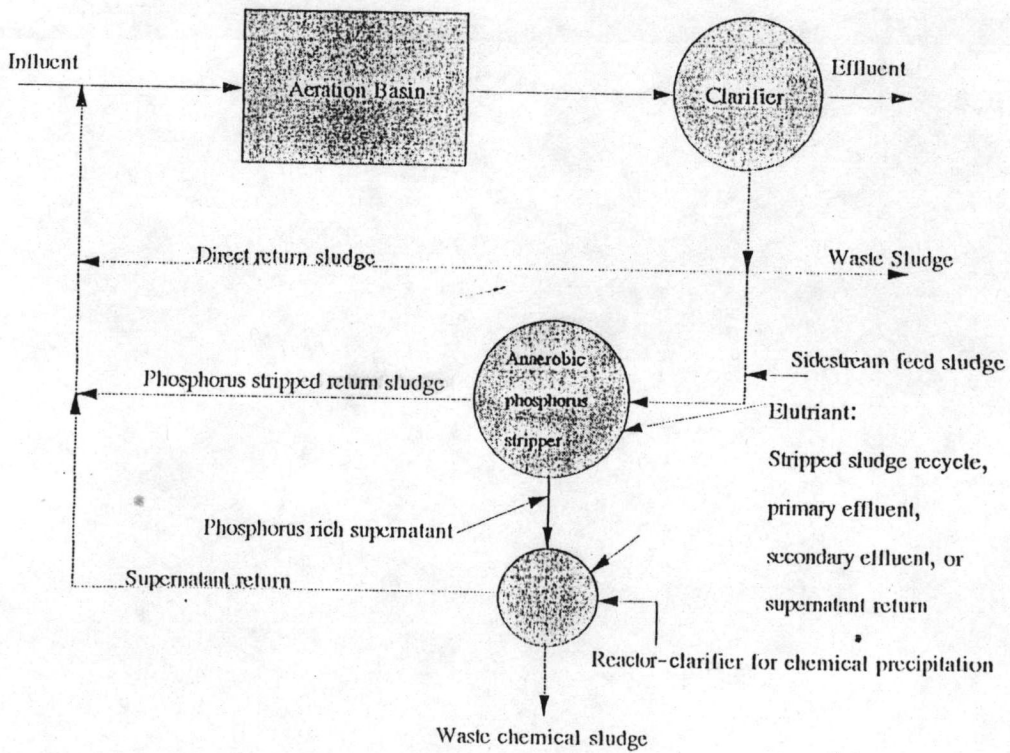
โดยส่วนใหญ่แล้วฟอสฟอรัสจะถูกกำจัดออกจากน้ำเสีย โดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี ด้วยปูนขาว(lime), สารส้ม(Alum) หรือเฟอร์ริกคลอไรด์(Ferric chloride) ส่วนไนโตรเจนถูกกำจัดโดยวิธีไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) โดยการใช้เมธานอลเป็นตัวช่วย

อย่างไรก็ตาม วิธีดังกล่าวมีราคาแพงทั้งราคาของสารเคมีและราคาของระบบจัดการสลัดจ์ที่เกิดจากวิธีทางเคมี ดังนั้นการประยุกต์ใช้ระบบแอคทีเวตเตดสลัดจ์ (ระบบแอนแอโรบิค-ออกซิก) เพื่อพัฒนาการกำจัดฟอสฟอรัสและบีโอดี (รวมทั้งไนโตรเจนถ้าต้องการ) จากน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีววิทยาจะสามารถควบคุมราคาให้ถูกลงได้ (S.Hong et al 1984)

กระบวนการแอนแอโรบิค-ออกซิก แอคทีเวตเตดสลัดจ์ (Anaerobic-Oxic Activated Sludge) เป็นระบบที่ประยุกต์ใช้กระบวนการแอคทีเวตเตดสลัดจ์แบบผสมอย่างสมบูรณ์ แต่



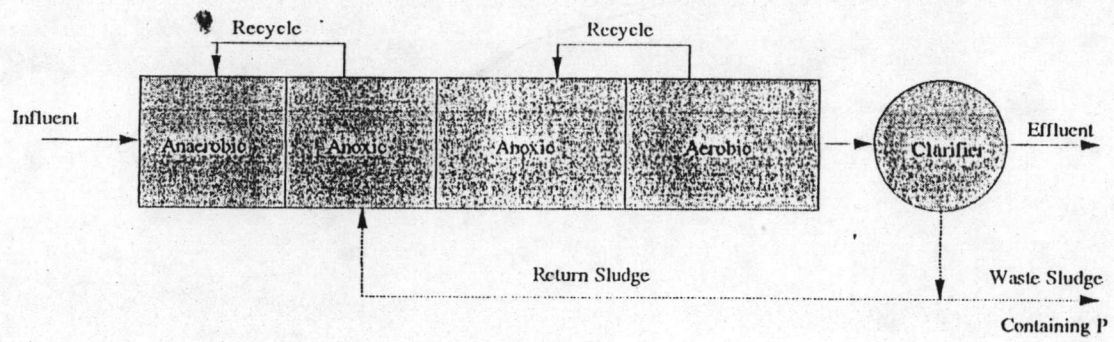
(a) ขบวนการ Bardenpho (five-stage)



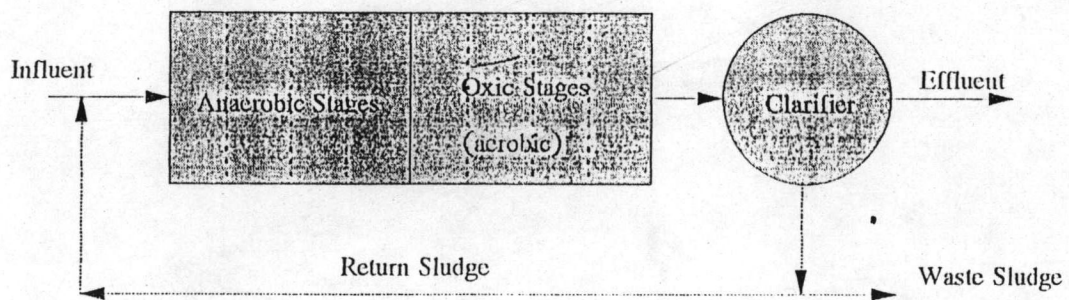
(b) ขบวนการ Phostrip Process

รูปที่ 4.1 แสดงกระบวนการต่างๆที่ใช้กำจัดสารอาหารจำเป็น (Nutrient)





(c) ขบวนการ UCT (University of Capetown)

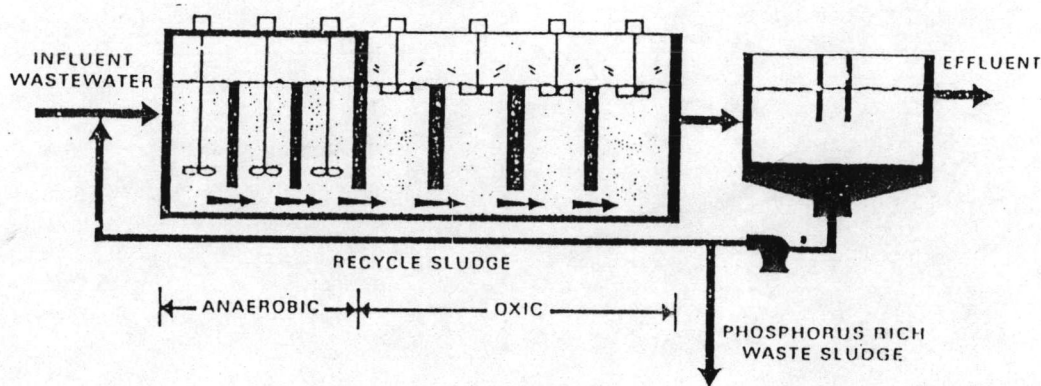


(d) ขบวนการ Anaerobic-oxic Activated

รูปที่ 4.1 (ต่อ) แสดงกระบวนการต่างๆ ที่ใช้กำจัดสารอาหารจำเป็น (Nutrient)

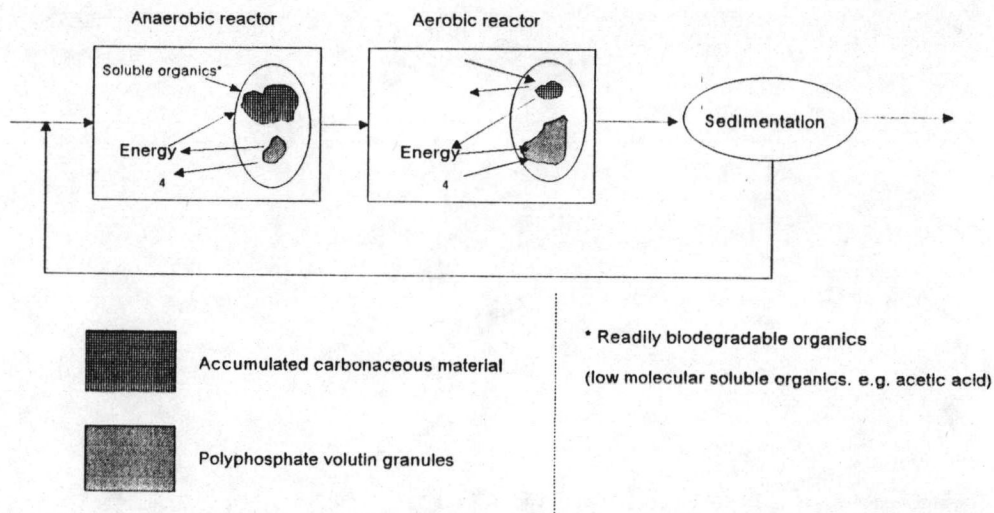


แตกต่างกันตรงที่มีการเพิ่มช่วงแอนโรบิก (Anaerobic Zone) มาไว้หน้าช่วงเติมอากาศ(Oxic Zone) หรือกล่าวอย่างง่ายก็คือประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน นั่นคือส่วนแอนแอโรบิกและส่วนเติมอากาศ ดังแสดงตามรูปที่ 4.2

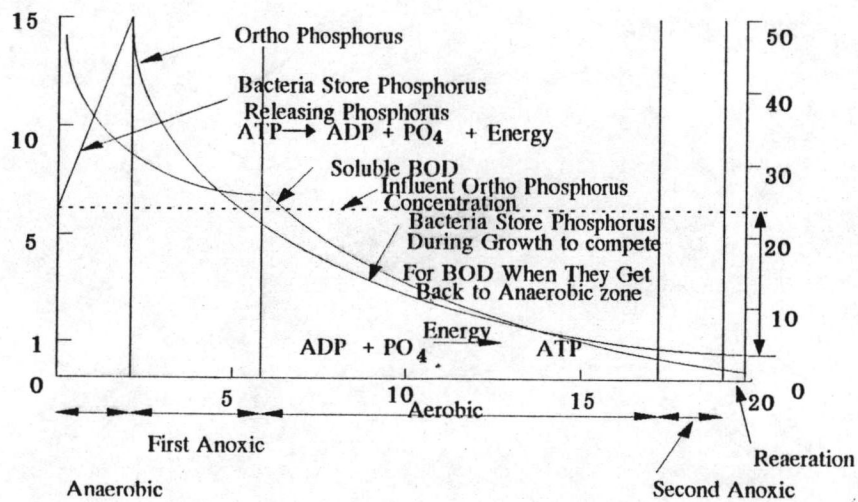


รูปที่ 4.2 กระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิก แอกติเวตเตดสลัดจ์ (S.Hong et al, 1984)

จากรูปที่ 4.2 สามารถอธิบายหลักการทำงานได้ดังนี้ เมื่อน้ำเสียถูกป้อนเข้าส่วนที่เป็น Anaerobic โดยจะมีน้ำตะกอนสลัดจ์ถูกป้อนเข้ามาผสมกันในถังแอนแอโรบิก จึงจะสร้างสภาวะให้ขาดออกซิเจน ทั้งในรูปของออกซิเจนอิสระ และสารประกอบออกซิเจน (oxidizing agents) จากนั้นก็จะไหลเข้าสู่ส่วนเติมอากาศ เพื่อเติมอากาศ (Aerated) และให้เกิดการออกซิไดซ์ของอินทรีย์คาร์บอนขึ้น โดยมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน (electron acceptor) และสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นตัวให้อิเล็กตรอน (electron donor) ตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากส่วนแอนโรบิกก็จะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อให้ตะกอนเข้มข้นแยกตัวออกจากน้ำใส โดยที่ตะกอนส่วนหนึ่งจะระบายทิ้ง เพื่อรักษาค่าระดับอายุตะกอน (Sludge age) ของระบบภาพในที่ 4.3 และภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาภายในเซลล์ของกระบวนการ A/O และการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นบีโอดี (BOD) และความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในระบบ



รูปที่ 4.3 ปฏิกริยาภายในเซลล์ของกระบวนการกรองแอโรบิก-ออกซิด (A/O Process) (CHARLES W. Deakyne et al, 1984)



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นบีโอดีและฟอสฟอรัส (CHARLES W. Deakyne et al, 1984)

จากภาพที่ 4.3 และ 4.4 สามารถอธิบายกลไกการทำงานภายในเซลล์ว่าสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของบีโอดีและฟอสฟอรัส ได้คือเมื่อนำน้ำเสียถูกป้อนเข้าส่วนแอนแอโรบิก โดยมีน้ำ

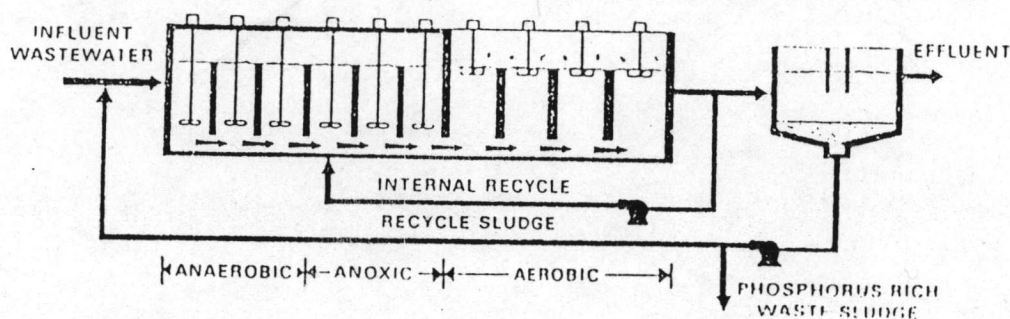
ตะกอนจากการเวียนกลับเข้ามาผสม ซึ่งในสภาวะแอนแอโรบิกจะกระตุ้นจุลชีพที่สะสมโพลีฟอสเฟตให้ผลิตพลังงานจากกระบวนการไฮโดรไลซิสโพลีฟอสเฟต เพื่อที่จะได้เป็นพลังงานในการขนถ่ายบีโอดีจากน้ำเสียผ่านเข้าไปในผนังเซลล์ ซึ่งสภาวะนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในสภาพที่ขาดออกซิเจนอิสระและสารประกอบออกซิเจนเท่านั้น โดยที่จุลชีพชนิดอื่น ๆ นั้นจะต้องใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนเพื่อให้เกิดพลังในการที่จะขนถ่ายบีโอดี ผ่านเข้าไปในเซลล์ (S.Hong et al, 1984) และในเวลาเดียวกัน ฟอสฟอรัสที่ถูกเก็บอยู่ในรูปโพลีฟอสเฟตในเซลล์ ก็จะถูกกระบวนการไฮโดรไลซิสทำให้อยู่ในรูปออร์โธฟอสเฟตปลดปล่อยออกจากเซลล์เข้าสู่ตะกอน ปรากฏการณ์ที่กล่าวถึงในช่วงแอนแอโรบิกนี้สามารถแสดงให้เห็นถึงปริมาณความเข้มข้นของบีโอดีที่หายไปและปริมาณความเข้มข้นของฟอสเฟตที่ปลดปล่อยน้ำเสีย ในรูปที่ 4.4

ในทำนองกลับกันเมื่อน้ำเสียผ่านจากส่วนแอนแอโรบิกเข้าสู่ส่วนเติมอากาศ (Oxic Zone) ความเข้มข้นของบีโอดีที่ถูกขนถ่ายเข้าไปในเซลล์ตั้งแต่ตอนที่อยู่ในส่วนแอนแอโรบิกนั้น จุลชีพจะใช้ออกซิเจนเป็นตัวอิเล็กตรอน โดยที่จะออกซิไดซ์ บีโอดี เพื่อให้เกิดพลังงาน, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, น้ำ และเซลล์ใหม่ (คล้ายกับกลไกของระบบแอกติเวตเตดสลัดจ์แบบธรรมดา) โดยพลังงานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการออกซิไดซ์นี้ จุลชีพจะนำไปใช้ในการขนถ่ายอนินทรีย์ฟอสเฟต จากน้ำเสียซึ่งเป็นออร์โธฟอสเฟตและสังเคราะห์ใหม่เป็นโพลีฟอสเฟตกลับเข้าภายในเซลล์ ซึ่งผลจากกลไกอันนี้จะส่งผลต่อความเข้มข้นของบีโอดีและฟอสฟอรัสตามรูปที่ 4.4

จากหลักการทำงานดังกล่าวเป็นผลให้น้ำเสียถูกบำบัด โดยบีโอดีจะถูกขจัดและฟอสฟอรัสจะถูกขจัดโดยการระบายตะกอนที่มีฟอสเฟตสูงทิ้ง (จากการรักษาอายุตะกอน)

S.Hong et al, 1984 กล่าวว่าระบบ A/O นี้สามารถทำให้เกิดไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ได้ในส่วนของถังเติมอากาศ โดยการเลือกค่าอายุตะกอน (SRT) ให้เหมาะสม และหากต้องการให้เกิดดีไนตริฟิเคชันต่อจากนี้อีก ก็สามารถเพิ่มในส่วนของแอนออกซิก (Anoxic) ได้ โดยวางระหว่างแอนแอโรบิกและออกซิก ตามรูปที่ 4.5





รูปที่ 4.5 ระบบแอนแอโรบิก-ออกซิกแอกติเวตเตดสลัดจ์ สำหรับกำจัดบีโอดีและฟอสฟอรัสในกรณีที่ต้องการให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้น

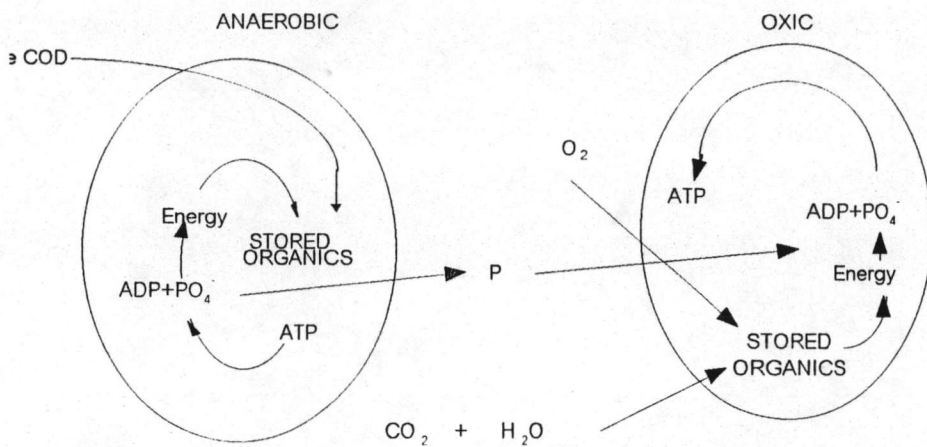
ส่วนของแอนออกซิกที่เพิ่มเป็นส่วนที่ขาดออกซิเจนอิสระแต่จะไม่ขาดออกซิเจนในรูปของไนเตรตหรือไนไตรท์ ซึ่งป้อนโดยการเวียนน้ำเสียในถังออกซิกกลับเข้าไปในส่วนของแอนออกซิก

กระบวนการดีไนตริฟิเคชันในระบบแอนแอโรบิก-ออกซิก จะใช้บีโอดีที่ดูดซับในช่วงแอนแอโรบิกเป็นแหล่งพลังงาน แต่ถ้าเป็นระบบแอกติเวตเตดสลัดจ์แบบธรรมดา จะต้องใช้เมธานอลเป็นแหล่งพลังงาน เพื่อให้เกิดและรักษาอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification Degree)

#### 4.3 เมธาบอลิซึมของกระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิก แอกติเวตเตดสลัดจ์

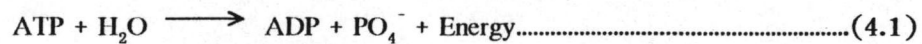
จากที่ได้อธิบายหลักการทำงานของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิก-ออกซิกไปแล้วนั้น เพื่อให้เข้าใจการทำงานได้ดียิ่งขึ้นกระบวนการเมธาบอลิซึมของระบบสามารถอธิบายปรากฏการณ์ตัวกลางได้โดยละเอียด ดังนี้

พิจารณารูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงแผนภาพทางชีวเคมี (Biochemistry) ของการทำงานของกระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิก แอกติเวตเตดสลัดจ์



รูปที่ 4.6 แสดงแผนภาพการทำงานทางชีวเคมีของระบบแอนแอโรบิก-ออกซิด

จากรูปที่ 4.6 พิจารณาในช่วงแอนแอโรบิก ซึ่งเป็นช่วงที่อยู่ในสภาพที่ขาดออกซิเจนกลไกที่จำเป็นก็คือ การกระตุ้นโพลีฟอสเฟต ซึ่งสะสมโดยแบคทีเรียประเภทสะสมโพลีฟอสเฟต (Poly-phosphate accumulating Bacteria, Poly-P Bacteria) โดยเกิดจากกระบวนการการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เพื่อที่จะแยกโพลีฟอสเฟตให้แตกออกเป็นออร์โธฟอสเฟตและพลังงาน โดยพลังงานที่ได้มานี้จะถูกใช้ในการดูดซับสารอินทรีย์ละลายภายนอกเซลล์ (Soluble Exocellular organic) เข้ามาสะสมภายในเซลล์ โดยสารอินทรีย์ที่ดูดซับนี้จะเป็นสารประกอบโมเลกุลต่ำซึ่งถูกสร้างโดยกระบวนการทำให้เกิดกรด (acidogenesis) และการทำให้เกิดอะซิเตด (Acetogenesis) ภายใต้สภาพแอนแอโรบิก (J. Wanner, 1987) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการพลังงานทางชีวเคมีอย่างง่ายดังนี้



เมื่อ ATP = adenosine Triphosphate  
 ADP = adenosine diphosphate

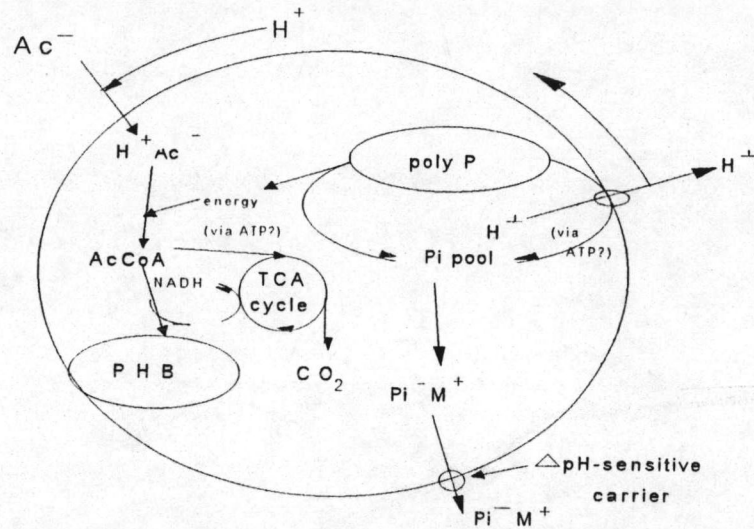
โดยปกติแล้วมีกลไกที่เป็นไปได้ในการใช้สารอาหารอินทรีย์ (Utilizing Organic Substrate) ในกระบวนการแบ่งตัวแบบแอนแอโรบิก (Anaerobiosis) อยู่ 3 แบบหลัก (J.WANNER et al, 1987) นั่นคือ

1. การลดรูปของซัลเฟต (Sulfur-reduction) เนื่องจากอิเล็กตรอนจากสารอินทรีย์ถูกถ่ายให้แก่ ซัลเฟต-ซัลเฟอร์
2. กระบวนการหมักในสภาพแอนแอโรบิก (Anaerobic fermentation) เมื่ออิเล็กตรอนถูกถ่ายจากสารประกอบอินทรีย์หนึ่งไปยังสารประกอบอินทรีย์อีกตัวหนึ่ง
3. กระบวนการดีโพลีเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) ของโพลีฟอสเฟตที่สะสมอยู่ในแบคทีเรียชนิดสะสมโพลีฟอสเฟต

กระบวนการในข้อ 3 เป็นกระบวนการที่สำคัญ สำหรับกระบวนการบำบัดแบบแอนแอโรบิก-ออกซิด ในกรณีที่ต้องคัดจุลชีพที่เป็นชนิดสะสมในโพลีฟอสเฟต (Poly-P accumulating Microorganism) ความสามารถของจุลินทรีย์ในการที่จะใช้หรือสะสมสารอาหารอินทรีย์ ภายใต้สภาพ แอนแอโรบิก เป็นสาเหตุให้เกิดกระบวนการคัดเลือกเมแทบอลิซึม (Metabolic selection) ของจุลชีพ ในการแบ่งตัวทางชีว (Biocenosis) ของแอคติเวเตดสลัดจ์ ในระบบที่ประกอบไปด้วยส่วนแอนแอโรบิกตามด้วยส่วนเติมอากาศ (Oxic Zone) ซึ่งในระบบลักษณะเช่นนี้ปริมาณสารอาหารอินทรีย์ที่เหลือจากส่วนแอนแอโรบิกไม่เพียงพอ ที่จะทำให้จุลชีพที่ใช้ออกซิเจนเจริญเติบโตขยายพันธุ์ได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงเป็นที่คาดว่าจะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลชีพที่สามารถใช้สารอินทรีย์ เฉพาะในสภาวะที่มีออกซิเจนเท่านั้น อีกทั้งยังรวมถึงพวกจุลชีพที่มีอัตราการใช้สารอาหาร ภายใต้สภาพแอนแอโรบิกน้อยกว่าพวกกลุ่มจุลชีพอื่น ๆ (J.Wanner et al., 1987)

พิจารณารูปที่ 4.6 ในสภาพแอนแอโรบิก ปริมาณสารอินทรีย์ละลายที่ถูกดูดซับเข้ามาไว้ในเซลล์จะถูกเก็บในรูปของ PHB (poly- $\beta$ -hydroxybutyrate) หรือ PHV (poly- $\beta$ -hydroxyvalerate) โดยใช้พลังงานที่เกิดจากไฮโดรไลซิสของโพลีฟอสเฟต กระบวนการต่างๆ ที่กล่าวมาในช่วงแอนแอโรบิก เกิดขึ้นในเซลล์จุลชีพชนิดสะสมโพลีฟอสเฟต (Bio-P bacteria) ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบของกลไกเมแทบอลิซึมในสภาพแอนแอโรบิกได้ตามรูปที่ 4.7





ภาพที่ 4.7 รูปแบบของกลไกเมธาบอลิซึมในสภาพแอนแอโรบิกของแบคทีเรียชนิด

สะสมโพลีฟอสเฟตในที่นี้สารอาหารคือกรดอะซิติก (Y. Comeau et al., 1987)

Ac<sup>-</sup> = acetate, AcCoA = acetyl CoA

H<sup>+</sup> = โปรตอน, HAc = กรดอะซิติก

M<sup>+</sup> = อีออนบวกของโลหะ, Pi = ฟอสเฟต

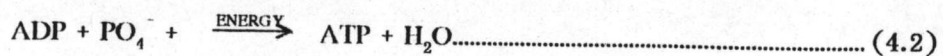
PHB = โพลีเบต้าไฮดรอกซีลิวทาเลต (poly-β-hydroxybutyrate)

poly-P = โพลีฟอสเฟต

TCA = tricarboxylic acid cycle

NADH = Nicotinamide adenine dinucleotide ที่ลดรูป

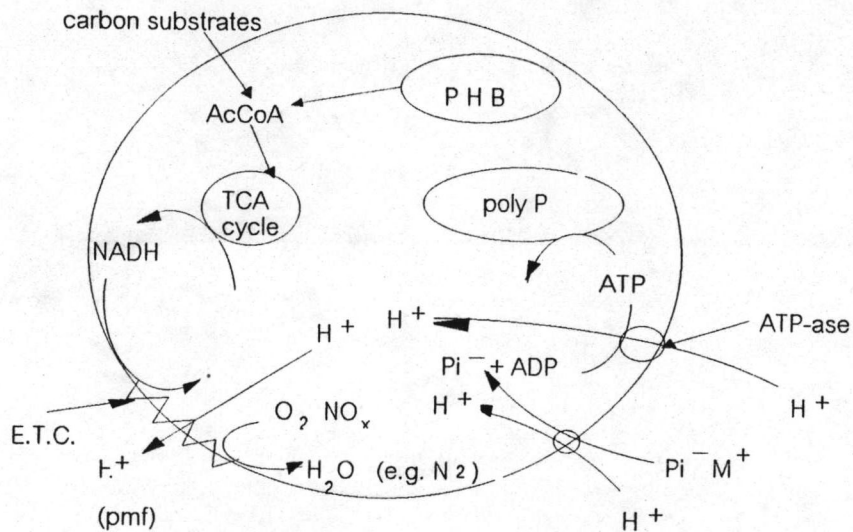
ในช่วงแอนโรบิก (Oxic Zone) ซึ่งเป็นช่วงที่มีการให้ออกซิเจนให้แก่ระบบ (ดูรูปที่ 4.6) เซลล์จุลชีพที่ได้สะสมสารอาหารละลายในช่วงแอนแอโรบิก ซึ่งอยู่ในรูป PHB หรือ PHV จะออกซิไดซ์สารอาหารโดยใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งผลของการออกซิไดซ์นี้จะได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, น้ำ และสังเคราะห์เซลล์ใหม่ นอกจากนี้พลังงานที่ได้จากการออกซิไดซ์จะนำไปใช้ในการนำพาฟอสเฟตจากภายนอกเซลล์เข้ามาในเซลล์ โดยจะถูกสังเคราะห์เป็นโพลีฟอสเฟตเก็บไว้ในเซลล์ใหม่ สามารถเขียนสมการพลังงานทางชีวเคมีได้ดังนี้



จากสมการ 4.2 ซึ่งเป็นสมการย้อนกลับจากสมการที่ 4.1 สังเกตว่ากลไกตามสมการที่ 2 จะต้องใช้พลังงานซึ่งพลังงานที่จะนำมาใช้ก็คือพลังงานที่ได้จากกระบวนการออกซิเดชัน ของสารอาหาร ที่เก็บไว้ในรูปของ PHB หรือ PHV นั่นเอง

กล่าวโดยสรุป กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิก-ออกซิด จัดเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชันอย่างหนึ่ง (Oxidation-Reduction)

รูปแบบจำลองทางชีวเคมี ไซโทพลาซึม จีโอโรบิก แสดงตามรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 รูปแบบของกลไกเมธาบอลิซึม ในสภาพแอโรบิกของแบคทีเรียชนิดสะสมโพลีฟอสเฟต (Y. Comeau et. Al, 1987)

- Ac<sup>-</sup> = acetate, AcCoA = acetyl CoA
- H<sup>+</sup> = โปรตอน, Hac = กรดอะซิติก
- M<sup>+</sup> = อีออนบวกของโลหะ, Pi = ฟอสเฟต
- PHB<sup>-</sup> = โพลีแบต้าไฮดรอกซิลบิวทาเลต (poly - β - hydroxybutyrate)
- poly-P = โพลีฟอสเฟต
- TCA = tricarboxylic acid cycle
- NADH = Nicotinamide adenine dinucleotide ที่ลดรูป

จากที่ได้อธิบายถึงขั้นตอนและปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นของกระบวนการ สามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินงานได้ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปกระบวนการที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงของการดำเนินงาน (Sedlak, 1991)

สภาวะ (ZONE)	การดำเนินงาน
<b>ช่วงแอนแอโรบิก</b> 1. การหมัก (fermentation) 2. ไฮโดรไลซิสของโพลีฟอสเฟต	- สารอาหารละลายถูกเปลี่ยนเป็น SCVFA (กรดไขมันระเหยโมเลกุลสั้น) - SCVFA ซึมเข้าสู่เซลล์และเก็บสะสมในรูป PHB, PHV - ออร์โธฟอสเฟตถูกปล่อยออก พร้อมเกิดพลังงาน เพื่อให้นำสารอาหารละลายเข้าสู่เซลล์
<b>ช่วงแอโรบิก</b> 1. เมแทบอลิซึมของสารอาหารโดยกระบวนการใช้ออกซิเจน 2. ออร์โธฟอสเฟตถูกดูดเข้ามาในเซลล์	- PHB, PHV ถูกออกซิไดซ์ - เกิด $CO_2$ , $H_2O$ เซลล์ใหม่ และพลังงาน - พลังงานถูกนำมาใช้สร้างพันธะของโพลีฟอสเฟต
<b>การดำเนินการของระบบ</b> 1. ทิ้งตะกอนส่วนเกินเพื่อรักษาอายุตะกอน	- ฟอสฟอรัสถูกกำจัดออกจากระบบ

#### 4.4 จุลชีววิทยาของระบบแอนแอโรบิก-ออกซิก แอคติเวตเตดสลัดจ์

ในกระบวนการแอคติเวตเตดสลัดจ์ แบบแอนแอโรบิก-ออกซิกนั้น จุลินทรีย์ที่สำคัญสำหรับกระบวนการนี้ก็คือ จุลินทรีย์ชนิดสะสมโพลีฟอสเฟต (poly - P microorganism) Fun และ Chen (1975) ได้สรุปไว้ว่า จุลินทรีย์ชนิด Acinetobacter เป็นจุลินทรีย์หลักที่มีจุดเด่นในการเก็บสะสมฟอสฟอรัส โดยสรุปจากการสังเกตกลุ่มจุลินทรีย์ชนิด Acinetobacter ซึ่งถูกป้อนด้วยอะซิเตดภายใต้



วงจรของสภาพแอนแอโรบิกสลับกับสภาพแอโรบิก การปลดปล่อยฟอสฟอรัสจะอยู่ในช่วงแอนแอโรบิก ส่วนการดูดกลืนฟอสฟอรัสจะเกิดในช่วงแอโรบิก ซึ่งเมื่อหยุดป้อนอะซิเตดให้แก่ระบบ อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในช่วงแอนแอโรบิกจะลดลงและในช่วงแอโรบิก จะมีปลดปล่อยฟอสฟอรัสอย่างช้า ๆ แทนที่จะมีการดูดกลืนฟอสฟอรัส นอกจากนี้ Fun และ Chen(1975) ยังเป็นกลุ่มแรกที่เสนอความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัส (Release Phosphorus) และอัตราการดูดกลืนฟอสฟอรัส (Uptake Phosphorus) อีกทั้งยังเสนอว่าผลผลิตของสารอาหาร เช่น เอทานอล , อะซิเตด , ซัสซิเนต (Succinate) ซึ่งถูกใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์ Acinetobacter ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในช่วงแอนแอโรบิก ในกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัส หากปราศจากช่วงแอนแอโรบิก ผลผลิตสุดท้ายอันเกิดจากกระบวนการหมัก (Fermentation End Product) จะไม่เพียงพอต่อการใช้ประโยชน์ของแบคทีเรีย Acinetobacter ซึ่งไม่สามารถที่จะใช้น้ำตาลหรือโพลีแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) ในการเจริญเติบโตของเซลล์ได้

แบคทีเรียชนิด Acinetobacter เป็นแบคทีเรียที่มีอยู่ทุกหนทุกแห่ง มีลักษณะรูปร่างในช่วง log phase เป็นแท่งสั้น ๆ ยาว 2 - 2.5  $\mu\text{m}$  และหนา 1 - 1.5  $\mu\text{m}$  ในขณะที่จะมีรูปร่างเป็นทรงกลม (coccoïd form) เมื่ออยู่ในช่วง Stationary phase แบคทีเรียชนิดนี้จะปรากฏอยู่กันเป็นคู่ต่อเป็นโซ่สั้น ไม่เคลื่อนที่ ให้ผลย้อมแกรมเป็นลบ (gram-negative) (L.H.Lotter, 1985)

นอกจากแบคทีเรีย Acinetobacter แล้ว ยังมีจุลชีพอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งให้ผลเป็นแกรมบวก และสามารถสะสมโพลีฟอสเฟตในเซลล์ได้ นั่นคือ Aeromonas hydrophila (Brodisch และ Joyner, 1983) Shoda et al., 1980 ได้พบว่าแบคทีเรีย Arthrobacter globiformis สามารถสะสมฟอสเฟตภายในเซลล์ (Intracellularly) ได้ถึง 20% ของมวลแห้ง

#### 4.5 อัตราส่วนซีโอดีต่อฟอสฟอรัสของน้ำเสียเข้าในถังแอนแอโรบิก

Randall , 1992 ได้อธิบายว่าองค์ประกอบของน้ำเสียเข้า (Component of the Wastewater) ที่เข้าสู่ช่วงแอนแอโรบิก จะเป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาและความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของกระบวนการบำบัดแบบแอนแอโรบิก-ออกซิด ถ้าความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ที่หาได้อย่างง่ายของกรดอะซิติก , กรดไพรูวิก และกรดบิวทริก ก็จะทำให้เกิดการเกิด

ปฏิกิริยาในถังแวนแอโรบิกเร็ว ทำให้ปริมาตรของถังแวนแอโรบิกสามารถทำให้เล็กลงได้เป็นอย่างมาก หรือค่าเวลากักน้ำ (Hydraulic Retention time, HRT) ที่จำเป็นสำหรับแบคทีเรียชนิดโพลีฟิ (Poly-P bacteria) ใช้ในการเก็บสะสมสารอินทรีย์และปลดปล่อยออร์โทฟอสเฟต ใช้เวลาสั้น ๆ การเพิ่มหรือลดอัตราการเกิดปฏิกิริยานี้ จะถูกควบคุมโดยปริมาณของฟอสฟอรัสหรือปริมาณซีโอดี กล่าวคือถ้าปริมาณฟอสฟอรัสถูกจำกัด(Phosphorus limited) ปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดในช่วงแวนแอโรบิกก็จะไม่สมบูรณ์ ทำให้มีส่วนของสารอินทรีย์ที่เหลือเข้าสู่ช่วงแวนแอโรบิก ทำนองกลับกันที่ปริมาณซีโอดีถูกจำกัด(COD) การบำบัดน้ำเสียให้ค่าฟอสฟอรัสในน้ำออกต่ำกว่ามาตรฐานอาจไม่ประสบความสำเร็จ

Randall , 1992 ได้แนะนำว่า เนื่องจากองค์ประกอบของน้ำเสียเข้าอาจจะมีปริมาณสารอินทรีย์ซึ่งวัดเป็นค่าซีโอดี หรือบีโอดีไม่เพียงพอกับค่าปริมาณฟอสฟอรัส (Total phosphorus) เพื่อที่จะกำจัดค่าฟอสฟอรัสให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำออก ดังนั้น ค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อฟอสฟอรัส (COD:TP) หรือค่าบีโอดีต่อฟอสฟอรัส (BOD: TP) จึงมีความจำเป็นต้องนำมาพิจารณาในการกำหนดขนาดของถังแวนแอโรบิก เพราะว่าสารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสีย จำเป็นต้องเกิดกระบวนการหมัก (Fermentation) และสร้างกรดไขมันระเหยโมเลกุลสั้น (Short Chain Volatile Fatty Acid, SCVFA) เพื่อให้ง่ายต่อการดูดซับสารอินทรีย์เข้าในเซลล์ของแบคทีเรียชนิดสะสมโพลีฟอสเฟต วิธีการอย่างง่ายก็คือการขยายขนาดของถังแวนแอโรบิก (เพิ่มค่าเวลากักน้ำ, HRT) ให้นานพอที่จะทำให้เกิดกระบวนการหมัก (Fermentation) ซึ่งในการออกแบบบางครั้งอาจจะต้องเพิ่มส่วนของการหมักก่อน (Prefermentation) ไว้ก่อนหน้าระบบก็ได้

#### 4.6 ตัวแปรที่มีผลต่อการเก็บสะสมอาหารภายในเซลล์ในช่วงแวนแอโรบิก

เนื่องจากค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อฟอสฟอรัสของน้ำเสียเข้า เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่มีผลกระทบ ต่อความสามารถในการทำงานของระบบบำบัดน้ำแบบแวนแอโรบิก-ออกซิก ดังไว้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.5 แต่อย่างไรก็ตามการกำจัดฟอสฟอรัสออกโดยแท้จริง จะถูกกำหนดโดยปริมาณของสารอินทรีย์ที่เก็บสะสมเซลล์ โดยแบคทีเรียชนิดโพลีฟอสเฟต (Poly-P bacteria) เมื่อไหลผ่านเข้าสู่ช่วงแวนแอโรบิก และปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการเก็บสะสมอาหารในช่วงแวนแอโรบิก

Randall 1992 ได้สรุปว่าปริมาณของสารอาหารที่เก็บสะสมโดยแบคทีเรียโพลีฟอสเฟตในช่วงแอนแอโรบิก จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- (1) ปริมาณของกรดไขมันระเหยในช่วงแอนแอโรบิก
- (2) ชนิดของกรดไขมันระเหยในช่วงแอนแอโรบิก
- (3) มวลของแบคทีเรียโพลีฟอสเฟต ในช่วงแอนแอโรบิก
- (4) ชนิดของแบคทีเรียโพลีฟอสเฟตในช่วงแอนแอโรบิก
- (5) ปริมาณของฟอสฟอรัสที่เก็บบรรจุอยู่ในเซลล์ของแบคทีเรียโพลีฟอสเฟต เมื่อแบคทีเรียอยู่ในช่วงแอนแอโรบิก
- (6) มวลของตัวรับอิเล็กตรอน , DO และ  $\text{NO}_x$  ที่ป้อนเข้าสู่ช่วงแอนแอโรบิกต่อหนึ่งหน่วยเวลา
- (7) อีอนบวทที่หาได้ในช่วงแอนแอโรบิก
- (8) ค่าเวลากักน้ำ (HRT) ในช่วงแอนแอโรบิก
- (9) อุณหภูมิของน้ำตะกอนผสมในช่วงแอนแอโรบิก
- (10) ค่าพีเอชของน้ำตะกอนผสมในช่วงแอนแอโรบิก

ปัจจัย 3 ข้อหลังเป็นตัวกำหนดความสมบูรณ์ของการเก็บสะสมสารอินทรีย์ภายใต้สภาพปฏิบัติการที่ต้องการกำจัดฟอสฟอรัสให้อยู่ในค่ามาตรฐาน

สำหรับในช่วงแอนแอโรบิก ก็มีผลต่อการกำหนดอัตราการกำจัดฟอสฟอรัส นั่นคือในช่วงนี้จะต้องมีค่าออกซิเจนละลายสำหรับแบคทีเรียโพลีฟอสเฟตเพียงพอที่จะทำให้การเผาผลาญสารอินทรีย์ที่สะสมไว้ (Metabolize the stored organic) และ ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายไม่ควรเกินขีดจำกัดของอัตราการส่งถ่ายออกซิเจนเข้าสู่เซลล์ อีกทั้งการมีค่าออกซิเจนละลายเพียงพอในถังน้ำออก เพื่อป้องกันการปลดปล่อยฟอสฟอรัส แต่ในทางกลับกันควรมีค่าใกล้เคียงศูนย์ในกรณีของการเวียนน้ำตะกอนกลับ ค่าออกซิเจนละลายในถังแอโรบิกควรอยู่ในช่วง 0.7 - 3 มก./ลิตร เมื่อใช้การบำบัดแบบถังยาวอัตราสูง (High rate, plug-flow system) (Barnard, 1988) ส่วนค่าออกซิเจนละลายควรรักษาให้ต่ำกว่า 0.3 มก./ลิตรสำหรับน้ำตะกอนเวียนกลับสู่ถังแอนแอโรบิก เพื่อป้องกันการใช้ออกซิเจนในช่วงแอนแอโรบิก



Pattarkine, 1991 ได้สรุปว่าการกำจัดฟอสฟอรัสในช่วงแอโรบิกจะไม่สามารถทำได้สมบูรณ์จนกว่าปริมาณกรดไขมันระเหยจะถูกกำจัดออกจากสารละลายจนหมด เพราะฉะนั้น ถ้าปริมาณกรดไขมันระเหยไม่สามารถถูกดูดซับให้หมดภายในถังแอโรบิก ขนาดของถังแอโรบิกควรจะขยายให้ใหญ่พอ เพื่อที่จะแน่ใจว่าปฏิกิริยาการกำจัดฟอสฟอรัสภายหลังจากสารอาหารละลาย ถูกกำจัดสามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ และการที่สารอาหารที่ย่อยได้อย่างง่ายเข้าสู่ถังแอโรบิก อาจเป็นเหตุกระตุ้นให้แบคทีเรียเส้นใย(Filamentous Bacteria)เจริญเติบโต โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าถังแอโรบิกเป็นแบบถังกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed Tank)

#### 4.7 ข้อพิจารณาในการออกแบบแอโรบิก - ออกซิก แอคติเวตเตดสลัดจ์

ตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยทั่วไปที่ใช้ในการออกแบบและปฏิบัติการ เมื่อพิจารณาเวลากักของน้ำเสียเข้า (influent detention time) ระบบแอโรบิก - ออกซิก แอคติเวตเตดสลัดจ์จะเป็นระบบบำบัดอัตราสูง (High rate system) ที่มีค่านัยสำคัญน้อยกว่าระบบแอคติเวตเตดสลัดจ์แบบธรรมดา ระบบแอโรบิก - ออกซิก แอคติเวตเตดสลัดจ์ สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีในช่วงค่า F/M กว้าง พารามิเตอร์ส่วนมากที่สำคัญที่มีผลกระทบคืออัตราส่วนของบีโอดีน้ำเข้าต่อฟอสฟอรัสที่ละลาย (Soluble BOD/ Soluble P) ซึ่งจะเป็นการดีถ้าอัตราส่วนเท่ากับหรือมากกว่า 10 ถ้าต้องการให้น้ำออก (effluent) มีค่าฟอสฟอรัสน้อยกว่า 1 mg/l แต่โดยความเป็นจริงแล้วอัตราส่วนนี้มักจะเกินเป็นปกติเสมอในน้ำเสียชุมชน (Hong et al., 1984)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าตัวอย่างที่ใช้ในการออกแบบและพารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการ

A/O สำหรับกำจัดฟอสฟอรัส

Parameter	Unit	Value
1. Influent Detention Time	hr	
- Anaerobic		0.5 - 1.5
- Oxic		1.0 - 6.0
2. F/M	KgTBOD/KgMLVSS/d	0.15 - 0.7
Fs/M	KgSBOD/KgMLVSS/d	0.08 - 0.4
3. SRT	day	2 - 8
4. MLSS	mg/L	2000 - 4000
5. Temp.	°C	5 - 30
6. No.of stage		
- Anaerobic		3
- Oxic		4
7. Return Sludge % of inf.flow	% of inf.flow	20 - 50
8. Clarifier overflow rate	gal/ft <sup>2</sup> /d	500 - 730
9. SVI	ml/g	30 - 70

ที่มา : Hong et al. (1984)

การใช้ถังน้ำใสเบื้องต้น (Primary clarifiers) ไม่จำเป็นสำหรับกระบวนการแอนแอโรบิก ออกซิด แอกติเวตเตดสลัดจ์ BEST (1986) กล่าวว่า การเลือกถังน้ำใสเบื้องต้นจะขึ้นอยู่กับข้อพิจารณาอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น ถังน้ำเสียเบื้องต้นควรใช้ในระบบ Nitrifying เพื่อลดปริมาณก๊าซเติมอากาศ และค่าใช้จ่ายพลังงาน

ถึงปฏิกรณ์แอนแอโรบิก - ออกซิด ควรแบ่งเป็นหลาย ๆ ช่อง (stage) และที่นิยมในระบบนี้คือการแบ่งถังแอนแอโรบิก / ถังออกซิด เป็นอัตราส่วน 3 ต่อ 4

การเลือกส่วนแอนออกซิก(anoxic) ควรมีเพิ่มระหว่างส่วนแอนแอโรบิกและส่วนออกซิก เพื่อให้ระบบระบบแอนแอโรบิก - ออกซิก แอคติเวตเตดสลัดจ์ เกิดไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน เมื่อดีไนตริฟิเคชันต้องการให้มีเกิดขึ้น จะต้องมีการเวียนตะกอนแขวนลอยจากถังออกซิกช่วงสุดท้าย อัตราไหลย้อนกลับภายในขึ้นอยู่กับความต้องการของการเกิดดีไนตริฟิเคชัน ตัวอย่างเช่น ถ้าอัตราเวียนกลับ 100% จะให้ผลการเกิดดีไนตริฟิเคชัน 50% ถ้า 200% จะให้เกิดไนตริฟิเคชัน 66 % เป็นต้น (Hong et al., 1984)

ระบบแอนแอโรบิก - ออกซิก แอคติเวตเตดสลัดจ์ สามารถปฏิบัติการภายใต้การเติมอากาศแบบธรรมชาติหรือการเติมโดยใช้ออกซิเจน การใช้ตัวเติมอากาศแบบผิว(Surface Aerator) สำหรับช่วงออกซิกจะถูกกำหนดขนาด โดยพื้นฐานของอัตราการเติมออกซิเจนที่มากล้นรูปแบบ(model)เครื่องกลเติมอากาศ สำหรับระบบแอนแอโรบิกและแอนออกซิก ใช้สำหรับกวนตะกอนแขวนลอยในน้ำเสีย ซึ่งพลังงานการกวนที่ต้องการจะมีค่าประมาณ  $9.7 \text{ W/m}^3$  (Hong et al.,1984)

#### 4.8 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการปลดปล่อยฟอสฟอรัส

พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยฟอสฟอรัส สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ (Wentzel et al.1989)

- ลักษณะของน้ำเสีย
  - ปริมาณสารอาหารทั้งหมดในน้ำเสียเข้า
  - สัดส่วนของแข็งที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวะได้
  - สัดส่วนของสารอาหารละลายที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวะได้
  - สัดส่วนของสารอาหารที่สามารถย่อยสลายทางชีวะได้ในรูปของซีไอดี
  - สัดส่วนของสารอาหารที่ย่อยสลายได้ง่ายทางชีวะ



- ลักษณะของระบบ

- อายุตะกอนของระบบ
- อัตราส่วนการเวียนตะกอนกลับ
- สัดส่วนมวลในถังแอนแอโรบิก ต่อมวลของทั้งระบบ
- รูปร่างของถังแอนแอโรบิกแบบเดี่ยว หรือต่อเป็นแบบอนุกรม

ผลของลักษณะของน้ำเสียและลักษณะของระบบ มีผลกระทบโดยตรงต่อการปลดปล่อยของฟอสฟอรัส อย่างไรก็ตามผลทางอ้อมที่มีต่อการปลดปล่อยฟอสฟอรัสของระบบก็คือ กระบวนการไนตริฟิเคชันและกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ที่เห็นได้ชัดเจนก็คือปริมาณไนเตรดที่เข้าสู่ถังแอนแอโรบิก จะทำให้สามารถใช้ออกซิเจนจากไนเตรดเป็นตัวรับอิเล็กตรอนได้ ผลของไนเตรดจะขึ้นอยู่กับอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์ไนตริไฟเออร์ (nitrifiers) และการออกแบบทำให้เกิดดีไนตริฟิเคชันของระบบ

#### 4.9 ความสามารถในการบำบัดของกระบวนการแอนแอโรบิก - ออกซิก แอกติเวตเตดสลัดจ์

##### 4.9.1 ความสามารถในการควบคุมตะกอนอืด (Sludge Bulking)

ปัญหาการเกิดตะกอนอืดไม่จมตัว มักจะเป็นปัญหาหลักในการปฏิบัติ การบำบัดน้ำเสียแทบจะทุก ๆ โรงบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวตเตดสลัดจ์ CHUDOBA et al.(1985) สรุปว่า น้ำเสียทั้งหมดที่ประกอบไปด้วยอนุพันธ์ของแซกคาไรด์ (กลูโคส, แซกคาโรส, แลคโตส, มอลโตส) จะสร้างปัญหาเกี่ยวกับตะกอนอืดไม่จมน้ำสูง และหนทางเดียวที่จะจัดการกับปัญหาได้ คือการใช้วิธีการ Selector ในการแก้ปัญหา สภาพแอนแอโรบิกสามารถที่จะกำจัดการเจริญของจุลชีพเส้นใยบางชนิด เช่น *Sphaerotilus natans* จุลชีพเหล่านี้ไม่สามารถใช้ประโยชน์สารอาหารภายใต้สภาพแอนแอโรบิก โดยเทียบกับแบคทีเรียโพลีฟอสเฟต แม้ว่าจะสามารถสะสมโพลีฟอสเฟต และยิ่งกว่านั้น จุลชีพเหล่านั้น ไม่มีระบบย่อยสลายที่จะทำให้จุลชีพสามารถใช้ออกซิเจนจากไนเตรด (ไม่สามารถจะใช้ไนเตรด-ไนโตรเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนภายใต้สภาพแอนออกซิก) (WANNER et al.,1987) ระหว่างการศึกษา Pilot-Plant ที่ Patapsco Plant เมืองบัลติมอร์สลัดจ์ที่เกิดจากกระบวนการแอนแอโรบิก - ออกซิก แอกติเวตเตด

แสดงให้เห็นถึงการเกาะตัวเป็นฟลอคและตกตะกอนได้ดี ซึ่งมีค่า SVI อยู่ในช่วงประมาณ 60 ถึง 75 ml/g (DEAKYNE,1983)

WATANABE (1984) ได้ศึกษาในห้องแล็บกับน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งแยกติเวตเตดสลัดจ์ที่ได้จากถังปฏิกรณ์ (reactor) ที่มีส่วนของแอนแอโรบิก 3 ช่อง แสดงผลของคุณสมบัติในการตกตะกอนได้ดี และมีค่า SVI ประมาณ 40 ml/g

INAMORI (1986) พบว่าการเจริญเติบโตของจุลชีพเส้นใยถูกควบคุมได้ดีในแอนแอโรบิก-ออกซิด กว่าในสภาพที่เป็นออกซิดโดยปราศจากช่วงแอนแอโรบิก ข้อพิสูจน์ที่ตืออย่างหนึ่งของความจริงที่ว่าสภาพแอนแอโรบิกสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลชีพเส้นใย คือการทดลองกับถังปฏิกรณ์ โดยการเติมเข้าและถ่ายออกด้วยการป้อนน้ำเสีย ซึ่งประกอบไปด้วยช่วงของการสัมผัสตอนแรกภายใต้แอนแอโรบิก, ออกซิดและสภาพที่มีออกซิเจนจำกัดให้แตกต่างกันตามลำดับ การป้อนในแต่ละครั้งจะถูกต่อด้วยการสัมผัสแบบออกซิด การตกตะกอนและการระบายน้ำออก ช่วงสัมผัสเริ่มแรกภายใต้แอนแอโรบิกจะกระตุ้นให้เกิดตัวถังพันธุ์แอนแอโรบิก ในขณะที่ช่วงสัมผัสภายใต้ออกซิดจะก่อให้เกิดตัวถังพันธุ์ออกซิด คุณสมบัติในการตกตะกอนที่ดี (ค่า SVI = 55-65 ml/g) เป็นตัวอย่างของ แยกติเวตเตดสลัดจ์จากตัวคัดพันธุ์แอนแอโรบิก แยกติเวตเตดสลัดจ์ จากตัวคัดพันธุ์ออกซิดจะแสดงค่า SVI = 300 ml/g ผลการทดลองครั้งล่าสุดที่สำคัญและพิสูจน์ได้อย่างชัดเจนว่าในโซนแอนแอโรบิกจะต้องปฏิบัติการให้อยู่สภาพแอนแอโรบิกอย่างแท้จริง ไม่ใช่ในสภาพที่ถูกจำกัดออกซิเจนอย่างเดียว เพราะว่าจุลชีพเส้นใยโดยมากเป็นที่รู้กันว่า สามารถใช้ประโยชน์จากออกซิเจนที่ละลายที่มีความเข้มข้นในปริมาณต่ำได้ (TRACY et al.,1986)

#### 4.9.2 การประหยัดพลังงานในการดำเนินการ (Energy Saving)

จากการที่กระบวนการแยกติเวตเตดสลัดจ์ แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก ประกอบด้วยถังปฏิกรณ์สองส่วนคือ ถังแอนแอโรบิกและถังแอโรบิก โดยภายในถังของแอนแอโรบิกไม่มีการเติมอากาศจึงช่วยให้สามารถลดพลังงาน ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานลงได้ เมื่อเทียบกับการใช้ระบบแยกติเวตเตดสลัดจ์แบบธรรมดา

TANAKA(1991) กล่าวว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิก-ออกซิด(A/O Process) ไม่เพียงแต่ช่วยให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีความสามารถในการจมตัวได้ดี อีกทั้งยังช่วยในการลดปริมาณอากาศที่ต้องใช้ในการบำบัดประมาณ 20 % จากตาราง 3.4.1 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานต่อปริมาตรน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัด ระหว่างการใช้ระบบแอนแอโรบิก-ออกซิดกับแอกติเวเตดสลัดจ์แบบธรรมดา ที่ Seibu Sewer Work ประเทศญี่ปุ่น จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ระบบแอนแอโรบิก-ออกซิด สามารถประหยัดการใช้พลังงานได้ในช่วง 4.6 -30.8 W/m<sub>3</sub> (ประมาณ 12%)

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบการใช้พลังงานต่อปริมาตรน้ำเสีย ที่เข้าสู่ระบบแอนแอโรบิก-ออกซิดและระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ แบบธรรมดาที่ Seibu Sewer Work ประเทศญี่ปุ่น

Month	A/O Process			Conventioal	Power Saving (W/m <sup>3</sup> )
	Mixing (W/m <sup>3</sup> )	Aeration (W/m <sup>3</sup> )	Total Power (W/m <sup>3</sup> )	Aeration (W/m <sup>3</sup> )	
NOV.	6.6	98.8	105.4	127.6	22.2
DEC.	7.0	111.3	118.3	123.9	5.6
JAN.	7.8	94.8	102.6	119.9	17.3
FEB.	12.2	99.0	111.2	142.0	30.8
MAR.	10.2	83.2	93.4	100.1	6.6
MAY.	8.4	101.5	109.9	114.5	4.6

#### 4.9.3 ความคงตัวของระบบ (Process Stability)

Hong(1991) พบว่าในกระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิด สามารถดำเนินการได้ในช่วงของอัตราการไหลของน้ำเสียและภาระบรรทุก (Organic Loading) ได้ในช่วงกว้าง ได้มีการติดตั้งกระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิด ที่เมืองเพนซิลวาเนีย โดยมีจุดประสงค์เพื่อกำจัดบีโอดีของน้ำเสียจากโรงงานผลิตเบียร์และโรงงานผลิตอาหารสำเร็จรูป ทั้งนี้ แม้ว่าค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดจะมีความแปรปรวนในช่วงกว้างเนื่องจากการหยุดการทำงานในวันสุดสัปดาห์ แต่อย่างไรก็ตามน้ำที่ผ่านการบำบัดก็ยังคงมีค่าบีโอดีต่ำกว่า 10 ml/g



#### 4.9.4 คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ของตะกอน

ระบบบำบัดน้ำเสียอื่น ๆ อาจมีตะกอนที่ต้องมีค่าใช้จ่ายในการกำจัดมาก แต่ตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบ A/O จะเป็นแหล่งทรัพยากรที่มีค่า เพราะตะกอนนี้หากตากแห้งได้จะได้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงและมีค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงเป็นพิเศษ ค่าใช้จ่ายของพลังงานในการตากตะกอนให้แห้งอาจมีสูงกว่าที่จะนำเอาปุ๋ยอินทรีย์เหล่านี้มาทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการจำหน่าย

#### 4.9.5 ความสามารถในการกำจัดสารจำเป็นโดยไม่ต้องใช้สารเคมี

สารฟอสฟอรัสและไนโตรเจน สามารถได้รับการกำจัดไปได้โดยวิธีชีววิทยาได้ เมื่อสารอินทรีย์หรือบีโอดี จะถูกทำให้สลายตัวไปโดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนเพิ่มขึ้น และไม่มี ความจำเป็นที่จะต้องใช้ถังตกตะกอนทางเคมีเพื่อกำจัดสารฟอสฟอรัส ทำให้ไม่มีตะกอนสารเคมีเกิดขึ้น การเกิดสภาพสลายตัวของสารไนโตรเจนหรือ denitrification ให้เป็นแก๊สไนโตรเจนนั้นก็ทำได้โดยการสลายตัวของ คาร์บอนอินทรีย์หรือบีโอดี ในน้ำเสียทำให้ไม่มีความจำเป็นในการใช้สารเคมีที่มีราคาแพง เช่น Methanol

#### 4.9.6 การประหยัดค่าก่อสร้าง

ขนาดถังที่ใช้ในการสร้างระบบ A/O นี้จะมีขนาดเล็กกว่าถังที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยวิธีการอื่น ๆ ในระบบแอกติเวตเตดสลัดจ์ ทำให้ราคาค่าก่อสร้างลดลงทั้งขนาดถังและเครื่องเติมอากาศก็ลดลงด้วย สารฟอสฟอรัสและไนโตรเจนในน้ำเสียก็ถูกกำจัดไป โดยไม่ มีค่าใช้จ่ายของสารเคมี และไม่มีตะกอนทางเคมีด้วย ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเกี่ยวกับการกำจัดตะกอนจะถูกลดลง หรือเปลี่ยนไปกลายเป็นรายได้ขึ้นมาอีกด้วย

#### 4.10 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของกระบวนการ

##### 4.10.1 ความเข้มข้น ซีโอดีที่เข้าระบบ (Influent COD concentration)

การที่เกิดการปลดปล่อย (Release) ฟอสฟอรัสขึ้นในระบบจะเป็นตัวบ่งชี้ว่ามวลจุลินทรีย์ในระบบได้เกิดการดูดกลืน (Uptake) ฟอสฟอรัสที่ถูกปลดปล่อย (Release) ออกมาเมื่อมีการเติมอากาศให้แก่ระบบอีกครั้ง Siebritz และคณะ (1987) ได้ทำการทดลองและสรุปว่าการที่จะเกิดการปลดปล่อย (Release) ฟอสฟอรัสในสภาพแอนแอโรบิกได้นั้นจะต้องมี Biodegradable COD อยู่ในถังแอนแอโรบิกที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ ในค่าความเข้มข้นที่ไม่ต่ำกว่า 25 มิลลิกรัมต่อลิตร และการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความเข้มข้นของ Biodegradable Cod ที่มีอยู่ในถังแอนแอโรบิก (Anaerobic reactor) แหล่งของ Biodegradable COD ก็คือ ค่า Influent COD ของน้ำเสีย (Wastewater) ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ

##### 4.10.2 ภาระบรรทุกบีโอดี (BOD loading rate)

ภาระบรรทุกบีโอดี (BOD loading rate) มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อย (Release) ฟอสฟอรัสในช่วงแอนแอโรบิก (Anaerobic zone)

Krichen และคณะ(1975) ได้กล่าวว่า กระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิด มีความเหมาะสมในการทำงานที่ค่าอัตราส่วนสารอาหารละลายต่อมวลจุลชีพ(F/M) สูง ๆ เนื่องจากทำให้มีระดับการกักเก็บสารอาหารภายในเซลล์ของจุลชีพในช่วงแอนแอโรบิกสูงขึ้น และที่ค่า F/M ต่ำ ๆ จะทำให้ปริมาณสารอาหารละลายที่ถูกเก็บกับ (Stored Substrate) ไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิดพลังงานในการดูดกลืน (Uptake) ฟอสเฟตในช่วงออกซิด (Oxic zone)

#### 4.10.3 ระยะเวลาที่กักเก็บตะกอน (Solids retention time)

Lin Li (1988) พบว่าค่าระยะเวลาที่กักเก็บตะกอนที่เหมาะสม (Optimum SRT value) สำหรับการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยวิธีทางชีววิทยา จะมีค่าในช่วง 15 วันและ 25 วันตามลำดับ

#### 4.10.4 ระยะเวลาเติมอากาศ (Aeration time)

จากการศึกษาของ Fukase (1986) พบว่าระยะเวลาเติมอากาศในถังเติมอากาศในพิสัย 1-8 ชั่วโมง ไม่ทำให้เกิดผลแตกต่างต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส โดยกระบวนการแอดติเวตเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก

#### 4.10.5 ค่าออกซิเจนละลายน้ำในช่วงแอโรบิก

Ekama และคณะ (1982) เสนอว่า กระบวนการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยวิธีทางชีววิทยา จะต้องรักษาค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายในช่วงแอนแอโรบิก (Do concentration in aerobic zone) ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.5 - 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อควบคุมประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส เพราะถ้าความเข้มข้นออกซิเจนละลายต่ำเกินไป จะทำให้การกำจัดฟอสฟอรัสมีประสิทธิภาพ ลดลงและปฏิกิริยาการเกิดไนตริฟิเคชันถูกจำกัด อีกทั้งสลัดจ์จะตกตะกอนได้ไม่ดี แต่ถ้าค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายมีค่าสูงเกินไป ปฏิกิริยาการเกิดดีไนตริฟิเคชันจะถูกจำกัด ส่งผลให้ความเข้มข้นไนเตรตสูง จนอาจมีผลกระทบต่อ การปลดปล่อย (Release) ฟอสฟอรัสของช่วงแอนแอโรบิก (Anaerobic zone)

#### 4.10.6 อุณหภูมิ

Krichten และคณะ(1985) ได้สังเกตเห็นว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของโรงงานนำร่อง(Pilot Plant) แห่งหนึ่ง มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 5°C ทั้งนี้ การสังเกตพบดังกล่าว สอดคล้องกับความจริงที่ว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์ของ Acenotobacter จะมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 5°C เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่สูงกว่า จนถึงอุณหภูมิ 35°C



สังเกตพบดังกล่าว สอดคล้องกับความจริงที่ว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์ของ *Acinetobacter* จะมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 5°C เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่สูงกว่า จนถึงอุณหภูมิ 35°C

#### 4.10.7 การออกแบบถังตกตะกอนและความสามารถในการตกตะกอนของสลัดจ์

Barnard(1983) กล่าวว่า ถังตกตะกอนต้องได้รับการออกแบบ เพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่เกิดการไหลล้น (Washed out) ของตะกอนแขวนลอยออกจากถังตกตะกอน ทั้งนี้ก็เนื่องจากในตะกอนนั้นมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่สูง ซึ่งส่งผลให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (Treated effluent) มีค่าฟอสฟอรัสสูงตามไปด้วย สลัดจ์ที่เกิดขึ้นต้องมีการนำออกจากถังตกตะกอนอย่างต่อเนื่อง และระดับของ Sludge blanket ต้องรักษาให้อยู่ในระดับที่แน่ใจได้ว่าจะไม่เกิดสภาพแอนแอโรบิก (Anaerobic condition) ที่ก้นถังตกตะกอน จนทำให้มีการปลดปล่อย (Release) ฟอสฟอรัสออกมาอีก ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสโดยรวมของระบบต่ำลง

#### 4.10.8 ระยะเวลากักเก็บ

Fukase และคณะ (1984) ได้ทำการศึกษาโดยการเปลี่ยนค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย (MLSS concentration) โดยควบคุมค่าระยะเวลากักเก็บ (HRT) ของถังแอนแอโรบิก (Anaerobic reactor) เท่ากับ 2.25 ชั่วโมงและค่าตะกอนเวียนกลับ (Return sludge) เท่ากับ 100% เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบ พบว่าที่ค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยต่ำ (741 มิลลิกรัมต่อลิตร) ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสมีต่ำมาก และได้ทำการศึกษาผลของระยะเวลากักเก็บ (HRT) ในช่วงแอนโรบิกโดยควบคุมค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย (MLSS concentration) ให้มีค่าคงที่ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสมีค่าสูงที่ค่าระยะเวลากักเก็บ (HRT) เท่ากับ 3 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบกับค่าที่ใช้ศึกษาอีก 2 ค่า คือ 4.5 และ 6 ชั่วโมง