

การกำจัดฟอสฟอรัสโดยกระบวนการแอกติเวตเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก

3.1 การพัฒนาของกระบวนการ

ในช่วงปี ค.ศ. 1960 ระบบบำบัดน้ำเสียหลายแห่งในสหรัฐอเมริกา ได้มีการพบว่าระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ในปริมาณที่สูงกว่า ความต้องการของเซลล์จุลชีพปกติ (Vacker และคณะ, 1967) ในระยะต่อมาได้มีนักวิจัยให้ความสนใจมากในปรากฏการณ์ดังกล่าวข้างต้น และเริ่มศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์กระบวนการแอกติเวตเตดสลัดจ์ และกลไกในการกำจัดฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสีย ในระยะหลังนี้เป็นที่ยอมรับว่า กระบวนการแอกติเวตเตดสลัดจ์สามารถเป็นกระบวนการที่ใช้กำจัดฟอสฟอรัส ด้วยวิธีทางชีววิทยาได้ โดยการเพิ่มส่วนที่เป็นแอนแอโรบิก (Anaerobic zone) เข้าไปก่อนหน้าส่วนถังเติมอากาศ (Aeration tank) ซึ่งได้เรียกกระบวนการนี้ว่า Anaerobic - aerobic activated sludge process

3.2 หลักการทำงานของกระบวนการ

ดังได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้วว่า กระบวนการแอกติเวตเตดสลัดจ์ แบบแอนแอโรบิก - แอโรบิกที่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้โดยวิธีทางชีววิทยา ที่จริงแล้วก็คือ กระบวนการแอกติเวตเตดสลัดจ์ซึ่งเพิ่มส่วนที่เป็นแอนแอโรบิกเข้าไปด้านหน้าของถังเติมอากาศ

ในช่วงของแอนแอโรบิก (Anaerobic stage) จะมีการปลดปล่อย (Release) ฟอสเฟตออกจากตะกอนจุลชีพ (Sludge) ซึ่งเกิดพร้อม ๆ กับการใช้สารอาหาร (Nutrient consumption) ปริมาณความเข้มข้นของฟอสเฟตที่ออกจากส่วนแอนแอโรบิก จะสูงกว่าที่มีอยู่ในน้ำเสียที่เข้าระบบ ส่วนในถังเติมอากาศจะมีการดูดกลืน (Uptake) ฟอสเฟตเข้าไปในตะกอนจุลชีพ (Sludge) อย่างรวดเร็วในปริมาณที่มากกว่าที่ปลดปล่อย (Release) ออกมา ดังนั้นที่ค่าอายุตะกอน (Sludge age) หนึ่ง ๆ หากตะกอนจุลชีพที่ถูกระบายทิ้งออกจากระบบ ก็คือการกำจัดฟอสฟอรัสออกไปพร้อมกับกากตะกอนจุลชีพนั้นด้วย ส่วนในน้ำที่ผ่านออกจากถังตกตะกอน ก็จะมีปริมาณฟอสฟอรัสเหลืออยู่น้อยมาก

3.2.1 การปลดปล่อยฟอสเฟต (Phosphate release)

Shapiro และคณะ (1967) ได้ทำการวิจัย โดยให้ความสนใจเป็นพิเศษใน ส่วนแอนแอโรบิก (Anaerobic zone) ซึ่งมีการปลดปล่อยฟอสเฟต (Phosphate release) โดยการวิจัยแบบทีละเท (Batch tests) พบว่า

1) ระบบจะมีการปลดปล่อยฟอสเฟต (Release phosphate) ภายใต้สภาพ แอนแอโรบิก (Anaerobic condition) และถ้ามีการเติมอากาศให้แก่ระบบ ระบบก็จะเปลี่ยน ไปเป็นการดูดกลืนฟอสเฟต (Uptake phosphate) ได้

2) การปลดปล่อยฟอสเฟต (Phosphate release) เกิดขึ้นเนื่องจากการ ขาดออกซิเจน (Lack of oxygen) และค่าศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำ (Low redox potential) และ พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นตัวควบคุมปฏิกริยามากกว่าค่าความเข้มข้นของออกซิเจน แต่ผู้วิจัยมิได้ แสดงข้อมูลและเหตุผลประกอบได้

3) อัตราการปลดปล่อยฟอสเฟตต่อมวลจุลินทรีย์ (dp/dt)/MLSS พบว่าเป็น ค่าคงที่ (Constant) ค่าหนึ่งสำหรับแต่ละการวิจัย

ส่วนในประเทศญี่ปุ่น การศึกษาเรื่องนี้จะศึกษาเพื่อให้ทราบถึงปฏิกริยาที่เกิดขึ้น ในช่วงของแอนแอโรบิก (Anaerobic zone) สามารถสรุปเกี่ยวกับกลไกการเกิดปฏิกริยาได้ว่า ในช่วงของแอนแอโรบิกมีจุลินทรีย์ (Microorganisms) ที่สามารถดูดซับ (Absorb) ฟอสเฟต ส่วนเกินได้ก็ต่อเมื่อจุลินทรีย์นั้นอยู่ใน ระบบที่มีกรดไขมัน (Fatty acid) และใช้โพลีฟอสเฟต (Poly-phosphate) เป็นแหล่งพลังงาน และเก็บไว้ในรูปของ Polyhydroxybutyrate (PHB) เมื่ออยู่ในช่วงของแอโรบิก (Aerobic zone) จะมีการใช้ PHB ที่สะสมไว้สำหรับการ เจริญเติบโตของเซลล์และเก็บฟอสเฟตไว้ในรูปของโพลีฟอสเฟต (Poly-phosphate)

Fukase (1982) ยืนยันว่า การกำจัดฟอสเฟตโดยกระบวนการนี้เกิดจากภาค กอนจุลินทรีย์ (Sludge microorganisms) สะสมโพลีฟอสเฟต (Poly-phosphate) ไว้ ในเซลล์ของมัน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการที่สารอินทรีย์ (Organic substances) เกิดปฏิกริยา แบบ Non - oxidatively และเกิดพร้อมกับการย่อยสลาย (Degradation) ของโพลี

ฟอสเฟต (Poly-phosphate) และเปลี่ยนเป็นพลังงานสะสมอยู่ภายในเซลล์ในรูปของโพลีเมอร์ (Polymers) เช่น Glycogen และ PHB .

3.2.2 การดูดกลืนฟอสเฟต (Phosphate uptake)

การสังเกตปรากฏการณ์ดูดกลืนฟอสเฟต (Phosphate uptake phenomenon) ได้ถูกพบโดย Levin และ Shaprio เขาได้ตั้งสมมุติฐานว่า การดูดกลืนฟอสเฟต (Phosphate uptake) ที่เกิดขึ้นเป็นปรากฏการณ์ทางชีววิทยา โดยการทำงานร่วมกันของ Metabolic pathway normal และจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic organisms) ที่เรียกว่า The sequence of the Embden-Meyerhof (EM) pathway และ Tricarboxylic acid (TCA) cycle ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้เกิดขึ้นในช่วงแอโรบิก (Aerobic zone) และเขายังพบอีกว่า ถ้ามีการเติมน้ำเสียเข้าไปในช่วงแอโรบิกแล้ว จะทำให้เพิ่มปริมาณและอัตราการดูดกลืนฟอสเฟต ซึ่งหมายถึงว่า Carbonaceous energy ที่เพิ่มเข้าไปจะช่วยทำให้การดูดกลืนฟอสเฟต ได้ดีขึ้น

3.2.3 จุลินทรีย์ที่สามารถสะสมฟอสเฟต (Phosphate accumulating organisms)

ในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ จุลินทรีย์ที่สามารถสะสมฟอสเฟต (Phosphate accumulating organisms) ได้สนใจเป็นพิเศษใน Acinetobacter genus ซึ่งพบว่า กระบวนการออกซิเดตเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิกที่ใช้ควบคุมการทำงานของกระบวนการ เป็นปัจจัยที่ทำให้ Acinetobacter เป็นจุลินทรีย์หลักของระบบ

Fuhs และ Chens (1975) แนะนำว่า ปัจจัยหลักที่ทำให้ระบบสร้าง Facultatively anaerobic microflora ก็คือ การที่กระบวนการมีส่วนที่บำบัด แบบแอนแอโรบิก (Anaerobic treatment) ในช่วง Anaerobiosis จุลินทรีย์เหล่านี้จะผลิต สารประกอบต่าง ๆ เช่น ethanol , acetate และ succinate ซึ่งสารประกอบเหล่านี้ จะเป็นแหล่งคาร์บอนของ Acinetobacter ถ้าระบบไม่เกิด Anaerobiosis แล้ว จะทำให้ ในช่วงแอโรบิก (Aerobic) ไม่สามารถสร้างสารประกอบตัวต่อไปได้ ซึ่งในผลงานของเขา ไม่ได้อธิบายว่า เหตุใดกระบวนการออกซิเดตเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก จึงทำให้เกิดการเจริญเติบโตของ Acinetobacter เป็นพิเศษ แต่ได้กล่าวว่าวัฏจักรของระบบแบบ

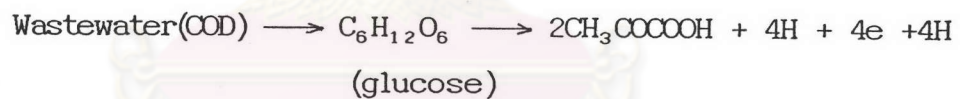
แอนแอโรบิกสลับกับแอโรบิกทำให้เกิดสลัดจ์ (Sludge) ที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีความเหมาะสมต่อการปลดปล่อยและดูดกลืนฟอสเฟต (Phosphate uptake and release)

Rensink และคณะ (1981) พบว่า จุลินทรีย์ที่สะสมฟอสเฟตในเซลล์ของมันมีปริมาณมากขึ้นภายใต้ Anaerobic-aerobic plant operation ซึ่งเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตเพิ่มขึ้น

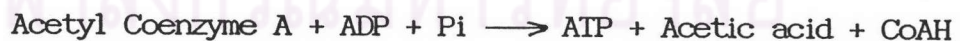
3.2.4 แนวคิดทางชีวเคมีเกี่ยวกับการกำจัดฟอสฟอรัส (Biochemical aspects of excess P removal)

แบบจำลองที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดฟอสฟอรัสได้ถูกเสนอ โดย Nicholls และ Osborn (1979)

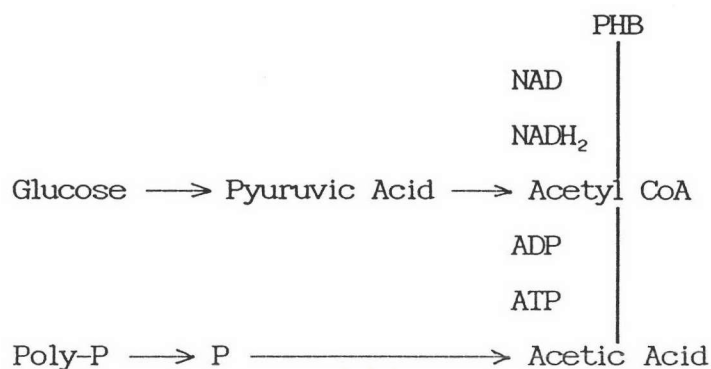
แบบจำลองได้ถูกพัฒนาขึ้นจากแนวคิดที่ว่า จุลินทรีย์จะมีพฤติกรรมเพื่อให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ภายใต้สภาวะที่ถูกบังคับ เช่น ขาดออกซิเจน โดยการสะสมพลังงานในรูปของสารประกอบพลังงานสูง เช่น Poly-phosphate และ PHB เขาได้เสนอแบบจำลอง (Model) เพื่ออธิบายกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัส โดยเขียนออกมาในรูปของสมการดังนี้



จากสมการข้างต้น COD สามารถเปลี่ยนรูปเป็น Pyruvic acid ได้ทั้งในสภาพแอโรบิกหรือแอนแอโรบิก ภายใต้สภาพแอโรบิกปฏิกิริยาข้างต้นจะผ่าน Krebs cycle และการถ่ายเทอิเล็กตรอนเช่นเดียวกับน้ำ (H_2O) แต่ถ้าเกิดภายใต้สภาพแอนแอโรบิก พลังงาน (ATP) สำหรับ PHB จะไม่เกิดโดย Krebs cycle แต่จะเกิดตามสมการข้างล่างนี้



เมื่อระบบกลับสู่สภาพแอโรบิก ไฮโดรเจนอออนที่อยู่ในรูป PHB อย่างชั่วคราวจะกลับไปเป็น Acetyl coenzyme A ทันที และจะเข้าสู่ Krebs cycle อีกครั้ง



Mino และคณะ (1987) ได้เสนอแบบจำลองทางชีวเคมีขึ้นเพื่ออธิบาย กลไกของ Poly-phosphate จากการทดลองสามารถสรุปผล Metabolic pathway ของกรดอะซิติก (Acetic acid) ในสภาพแอนแอโรบิกและแอโรบิกไว้ดังนี้

1) ในช่วงแอนแอโรบิก (Anaerobic phase) PHB จะถูกสังเคราะห์ขึ้นจาก Acetate โดย EM pathway ซึ่ง NADH_2 ที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ PHB นั้น ก็ได้มาจากการเผาผลาญไกลโคเจน (The consumption of glycogen)

ในช่วงแอโรบิก (Aerobic phase) PHB ที่ถูกสะสมอยู่ในจะเปลี่ยนไปเป็นไกลโคเจน เพื่อใช้เป็นพลังงานในช่วงแอโรบิก และเกิดการดูดกลืน (Uptake) ฟอสฟอรัส

2) ค่าความแตกต่างของ Phosphorus content ในสลัดจ์ไม่ได้ก่อให้เกิดผลของความแตกต่างของ Intracellular carbohydrate , PHB , Protein .

3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการ

3.3.1 ความเข้มข้น ซีโอดี ที่เข้าระบบ (Influent COD concentration)

การที่เกิดการปลดปล่อย (Release) ฟอสฟอรัสขึ้นในระบบ จะเป็นตัวบ่งชี้ว่ามวลจุลินทรีย์ในระบบได้เกิดการดูดกลืน (uptake) ฟอสฟอรัสที่ถูกปลดปล่อย (Release) ออกมาเมื่อมีการเติมอากาศให้แก่ระบบอีกครั้ง Siebritz และคณะ (1987) ได้ทำการทดลองและสรุปว่า การที่จะเกิดการปลดปล่อย (Release) ฟอสฟอรัสในสภาพแอนแอโรบิกได้นั้น จะต้องมีความ Biodegradable COD อยู่ในถังแอนแอโรบิกที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ ในค่าความเข้มข้นที่ไม่ต่ำกว่า 25 มิลลิกรัมต่อลิตร และการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า

ความเข้มข้นของ Biodegradable COD ที่มีอยู่ในถังแอนแอโรบิก (Anaerobic reactor) แหล่งของ Biodegradable COD ก็คือ ค่า Influent COD ของน้ำเสีย (Wastewater) ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ

3.3.2 ภาระบรรทุกบีโอดี (BOD loading rate)

ภาระบรรทุกบีโอดี (BOD loading rate) มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อย (Release) ฟอสฟอรัสในช่วงแอนแอโรบิก (Anaerobic zone) Fukase และคณะ (1985) ได้ทำการทดลอง และอธิบายไว้ว่า ภาระบรรทุกบีโอดี ควรรักษาให้มีค่าต่ำกว่า $2 \text{ kg-BOD}/(\text{kg-MLSS}\cdot\text{day})$ ส่วนอัตราส่วนของค่า BOD/MLSS ควรรักษาให้มีค่าต่ำกว่า $0.1 \text{ kg-BOD}/\text{kg-MLSS}$ จึงจะเกิดการกำจัดฟอสฟอรัสได้ ส่วน Irvine และคณะ (1983) ได้ทำการศึกษาผลของ Organic loading rate ของโรงบำบัดน้ำเสียที่เมือง Culver พบว่า ระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ดี เมื่อมีค่าภาระบรรทุกบีโอดี เท่ากับ 0.08 และ $0.18 \text{ kg-BOD}_5/(\text{kg-MLSS}\cdot\text{day})$ และพบอีกว่าที่ค่าภาระบรรทุกบีโอดี ($0.08 \text{ kg-BOD}_5/\text{kg-MLSS}\cdot\text{day}$) มีค่าของการกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีกว่าเล็กน้อย

3.3.3 การเติมอะซิเตด (Addition of acetate)

Malnou และคณะ (1984) พบว่าการใช้อะซิเตดเป็นสับสเตรท (Substrate) ทำให้ระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีขึ้น แต่ก็ต้องคำนึงถึงปริมาณของไนเตรท (Nitrate) ที่มีอยู่ในระบบด้วย Rensink และคณะ (1985) พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสโดยวิธีทางชีววิทยาสำหรับน้ำเสียชุมชน (Domestic wastewater) จะมีค่าประมาณ $40 - 50 \%$ แต่ถ้ามีการเติมอะซิเตดลงไป ปริมาณ 100 มิลลิกรัมอะซิเตดต่อลิตร จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบสูงถึง 97.5%

3.3.4 ไนเตรท (Nitrate)

Malnou และคณะ (1985) ได้ทำการศึกษาผลของไนเตรทต่อการกำจัดฟอสฟอรัส โดยใช้การทดลองแบบทีละเท (Batch tests) พบว่า จะไม่เกิดการปลดปล่อย (Release) ฟอสฟอรัสในช่วงแอนแอโรบิกเลยถ้ามีไนเตรทอยู่ในระบบ การปลดปล่อยฟอสฟอรัสจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อในระบบมีไนเตรทในความเข้มข้นที่ต่ำกว่า $0.1 \text{ mg NO}_3\text{-N/L}$ ส่วน Hascoet และ

คณะ (1985) กล่าวว่า การมีไนเตรทที่ความเข้มข้นสูงอยู่ในระบบจะรบกวนในช่วงแอนแอโรบิก ถึงขั้นที่ทำให้จุลินทรีย์สูญเสียพฤติกรรมในการปลดปล่อย (Release) ฟอสฟอรัสได้

3.3.5 ระยะเวลาที่เก็บตะกอน (Solids retention time)

Reedy และคณะ (1987) ได้ทำการศึกษาโดยใช้กระบวนการ Bardenpho พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสโดยวิธีทางชีววิทยาจะลดลงถ้าระยะเวลาที่เก็บตะกอนเพิ่มขึ้น และ Lin Li (1988) พบว่าค่าระยะเวลาที่เก็บตะกอนที่เหมาะสม (Optimum SRT value) สำหรับการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยวิธีทางชีววิทยาจะมีค่าเท่ากับ 15 วันและ 25 วันตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสจะมีค่าต่ำกว่าระบบแอกติเวตเตดสลัดจ์ธรรมดา (Conventional activated sludge process) เมื่อมีค่าระยะเวลาที่เก็บตะกอนสูงกว่า 40 วัน

3.3.6 ระยะเวลาเติมอากาศ (Aeration time)

จากการศึกษาของ Fukase (1986) พบว่าระยะเวลาเติมอากาศในถังเติมอากาศในฟิลล์ 1-8 ชั่วโมง ไม่ทำให้เกิดผลแตกต่างต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสโดยกระบวนการแอกติเวตเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก

3.3.7 ค่าพีเอชของน้ำเสีย (The pH value of wastewater)

Nagashima และคณะ (1979) พบว่า การกำจัดฟอสฟอรัสโดยกระบวนการแบบ Bardenpho สามารถเพิ่มประสิทธิภาพจาก 42 % ที่ค่า pH เท่ากับ 5 และเป็น 92 % ที่ pH เท่ากับ 8 ส่วน Barnard (1975) พบว่าการเพิ่มค่าพีเอช (pH) ในกระบวนการแบบธรรมดา จะสามารถเพิ่มความสามารถของระบบในการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรท

3.3.8 อุณหภูมิ (Temperature)

Oldham (1979) พบว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°C มีผลทำให้การเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ของกระบวนการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยวิธีทางชีววิทยาเลวลง ในขณะที่อุณหภูมิต่ำกว่า 6°C ไม่มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสของกระบวนการ

แต่ประการใดถ้าสามารถกำจัดไนเตรท (Nitrate) ที่มีอยู่อกจากระบบได้และรักษาสภาพให้เป็นแอนแอโรบิก (Anaerobic condition) ไว้ได้

3.3.9 การออกแบบถังตกตะกอนและความสามารถในการตกตะกอนของสลัดจ์

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

3.3.10 ค่าออกซิเจนละลายน้ำในช่วงแอโรบิก

Miyamoto-Mills และคณะ (1983) ได้ทำการวิจัยโดยใช้ Pilot plant ของกระบวนการ Phostrip โดยการควบคุมให้ช่วงแอโรบิก (Aerobic stage) ให้มีค่าออกซิเจนละลาย (DO concentration) เท่ากับ 0.5 - 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้ให้น้ำทิ้งออกจากระบบ (Treated effluent) มีค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus concentration) ต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลาย (DO concentration) เท่ากับ 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตรระบบจะเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ด้วย

Ekama และคณะ (1982) เสนอว่า กระบวนการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยวิธีทางชีววิทยา จะต้องรักษาค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายในช่วงแอนแอโรบิก (DO concentration in aerobic zone) ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.5-3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อควบคุมประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส เพราะถ้าความเข้มข้นออกซิเจนละลายต่ำเกินไป จะทำให้การกำจัดฟอสฟอรัสมีประสิทธิภาพลดลงและปฏิกิริยาการเกิดไนตริฟิเคชันถูกจำกัด และสลัดจ์จะตกตะกอนได้ไม่ดี แต่ถ้าค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายมีค่าสูงเกินไปปฏิกิริยาการเกิดไนตริฟิเคชันจะถูกจำกัด ส่งผลให้ความเข้มข้นไนเตรทสูง จนอาจมีผลกระทบต่อ การปลดปล่อย (Release) ฟอสฟอรัสของช่วงแอนแอโรบิก (Anaerobic zone)

3.3.11 การเติมอากาศที่มากเกินไปให้แก่ตะกอนเวียนกลับ

Barnard (1983) เสนอว่า ควรหลีกเลี่ยงการเติมอากาศที่มากเกินไปให้แก่ตะกอนเวียนกลับและน้ำเสียที่เข้าระบบ เพราะจะทำให้มีค่าออกซิเจนละลายเหลืออยู่มากในถังแอนแอโรบิก (Anaerobic basin) และต้องระวังในเรื่องการกวน (Mixing) ในถังแอนแอโรบิกด้วย เพราะอาจเป็นการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายได้ ควรใช้ค่าที่ต่ำกว่า 4 W/m^3

3.3.12 ระยะเวลากักเก็บ (Hydraulic retention time)

Gerber และคณะ (1984) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของค่าระยะเวลากักเก็บที่ค่าต่าง ๆ กันในช่วงแอนแอโรบิก (Anaerobic stage) ที่มีต่อกระบวนการ Phoredox ที่ใช้กำจัดสารอาหาร (Nutrient) โดยใช้ค่าระยะเวลากักเก็บเท่ากับ 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงในการทดลองผลที่ได้สรุปว่า การเพิ่มค่าระยะเวลากักเก็บไม่มีผลอย่างเด่นชัดต่อการกำจัดซีไอดี, การตกตะกอนของสลัดจ์, ปฏิกิริยาการเกิดไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน แต่มีผลอย่างชัดเจนต่อการกำจัดฟอสฟอรัส คือ ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่ขึ้นที่ระยะเวลากักเก็บเท่ากับ 12 ชั่วโมง และค่าที่สูงขึ้นก็ทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วย

Fukase และคณะ (1984) ได้ทำการศึกษา โดยการเปลี่ยนค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย (MLSS concentration) โดยควบคุมค่าระยะเวลากักเก็บ (HRT) ของถังแอนแอโรบิก (Anaerobic reactor) เท่ากับ 2.25 ชั่วโมง และค่าตะกอนเวียนกลับ (Return sludge) เท่ากับ 100 % เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบ พบว่าที่ค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยค่า (741 มิลลิกรัมต่อลิตร) ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสมีค่าต่ำมาก และได้ทำการศึกษาผลของระยะเวลากักเก็บ (HRT) ในช่วงแอนแอโรบิก โดยควบคุมค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย (MLSS concentration) ให้มีค่าคงที่ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสมีค่าสูงที่ค่าระยะเวลากักเก็บ (HRT) เท่ากับ 3 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบค่าที่ใช้ศึกษาอีก 2 ค่า คือ 4.5 และ 6 ชั่วโมง

3.4 การศึกษาที่ผ่านมา

Eckenfelder (1985) ได้ทำการรวบรวมกระบวนการต่าง ๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา โดยนักวิจัยหลายคน ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

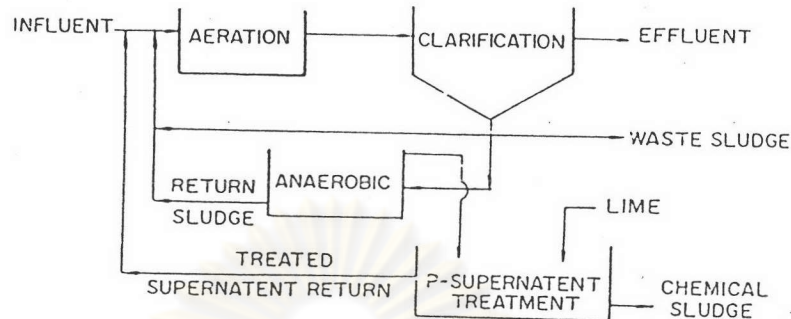
3.4.1 กระบวนการ Phostrip

ในกระบวนการ Phostrip สลัดจ์บางส่วนจากกันถังตกตะกอนขั้นสุดท้าย(Final settling tank) จะถูกส่งไปยังถังที่เรียกว่า "Stripping tank" ซึ่งในถังนี้จะมีสภาพเป็นแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic conditions) มีเวลาดักเก็บ (Retention time) ประมาณ 10 - 12 ชั่วโมง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 จากสภาพที่เป็นแบบแอนแอโรบิกใน Stripping tank ทำให้เกิดการปลดปล่อย (Release) ฟอสฟอรัส จากสลัดจ์ออกมาสู่น้ำหลังจากนั้นสลัดจ์จะถูกสูบกลับไปยังถังเติมอากาศ (Aeration tank) ส่วนน้ำที่ออกจาก Stripping tank ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสสูง ฟอสฟอรัสจะถูกทำให้ตกผลึก (Precipitate) ด้วยปูนขาว (lime) เกิดเป็น $Ca_3(PO_4)_2$ แล้วนำไปตกตะกอนแยกทิ้งต่อไป

จากการทดลองพบว่า เพียง 20-30 % ของปริมาณน้ำเสียทั้งหมด นำมาผ่านกระบวนการ Phostrip ตามหลักการดังกล่าวข้างต้น จะทำให้ลดปริมาณปูนขาวที่ต้องใช้ลงได้มาก รวมไปถึงตกตะกอนของ $Ca_3(PO_4)_2$ ก็เกิดขึ้นน้อยกว่ามาก การประยุกต์กระบวนการนี้มีการศึกษาอีกหลายกรณี เช่น การนำน้ำเสียส่วนหนึ่งเข้ามายังถัง Stripping tank โดยตรง เพื่อเป็นการเร่งให้มีการปลดปล่อย (Release) ฟอสฟอรัส หรือมีการใช้สารส้ม (alum) แทนปูนขาว

Levin และคณะ (1972) อธิบายได้ว่า การกำจัดฟอสฟอรัสโดยกระบวนการ Phostrip ประมาณ 2 ใน 3 ของฟอสฟอรัสถูกกำจัดได้โดยการที่ฟอสฟอรัสถูกแยกออกจาก Supernatant แล้วตกผลึก (Precipitate) ด้วยปูนขาว (lime) เกิดเป็น $Ca_3(PO_4)_2$ ส่วนอีก 1 ใน 3 ถูกกำจัดโดยการที่สลัดจ์ส่วนเกินออกจากระบบ Levin และคณะยังได้สรุปเกี่ยวกับกระบวนการ Phostrip ไว้ดังนี้

- 1) กระบวนการ Phostrip สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ถึง 90 % ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด
- 2) กระบวนการ Phostrip นี้สามารถประยุกต์เข้ากับกระบวนการแอกติเวตเตดสลัดจ์แบบธรรมดา (Conventional activated sludge process) ได้
- 3) กระบวนการนี้เกิดกากตะกอนเคมี (Chemical sludge) น้อยกว่าที่ใช้กระบวนการทางเคมีเพื่อกำจัดฟอสฟอรัสโดยตรง (Chemical phosphorus removal)
- 4) กระบวนการนี้ลดการเกิดการจมตัวไม่ลงของตะกอน (Bulking) และเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนของถังตกตะกอน



รูปที่ 3.1 กระบวนการ Phostrip (Eckenfelder, 1985)

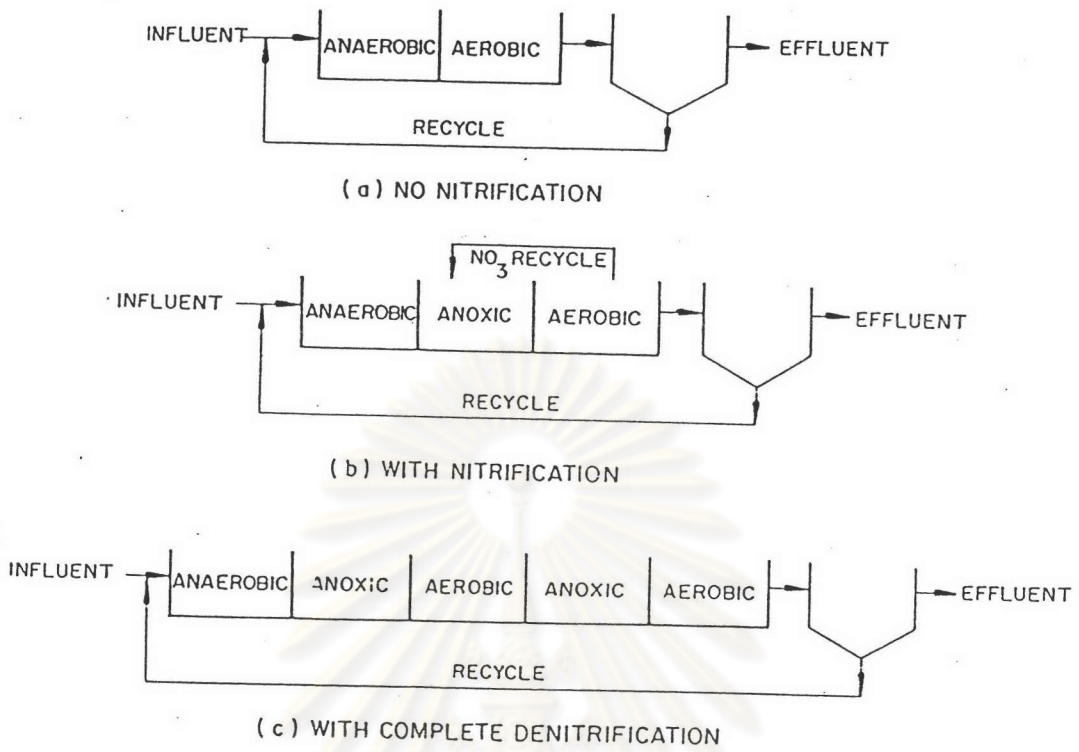
3.4.2 กระบวนการ Phoredox

ในกระบวนการ Phoredox หรือเรียกได้ว่าเป็นการประยุกต์กระบวนการ Bardenpho อาจแบ่งได้เป็น 3 กรณี คือ

1) กระบวนการ Phoredox ที่ไม่เกิดไนตริฟิเคชัน (No nitrification) ซึ่งจะประกอบด้วยถังแอนแอโรบิก ต่อด้วยถังแอโรบิก ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.2(a) ตะกอนที่สลับกลับจากกันดังตกตะกอนจะผสมกับน้ำเสียที่เข้ามา จะมาเข้าถังแอนแอโรบิก เพื่อให้มีการปลดปล่อย (Release) ฟอสฟอรัส เมื่อเข้าสู่ถังแอโรบิกก็จะมีการดูดกลืน (Uptake) ฟอสฟอรัส ในปริมาณที่สูงกว่าที่ปลดปล่อยออกมา การทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินออกจากระบบ ก็จะทำให้ฟอสฟอรัส สามารถถูกกำจัดออกจากระบบได้ ขณะเดียวกันก็จะมีคาร์บอนไอทรีย์ของน้ำเสียไปพร้อม ๆ กัน

2) กระบวนการ Phoredox ที่เกิดไนตริฟิเคชัน (With nitrification) ปริมาณออกซิเจนและไนเตรท ในตะกอนที่สลับกลับจากกันดังตกตะกอน อาจมีสูงมากพอที่จะรบกวนการปลดปล่อยฟอสฟอรัสของกระบวนการในถังแอนแอโรบิก จึงได้มีการประยุกต์กระบวนการนี้ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.2(b)

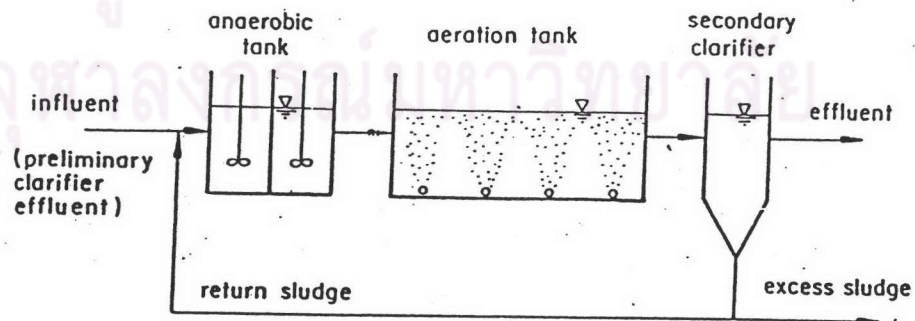
3) กระบวนการ Phoredox ที่เกิดดีไนตริฟิเคชัน แบบสมบูรณ์ (With complete denitrification) มีการจัดตั้งรูปแบบของกระบวนการดังแสดงในรูปที่ 3.2(c)



รูปที่ 3.2 กระบวนการ Phoredox (Eckenfelder, 1985)

3.4.3 กระบวนการ A/O (Anaerobic - Oxic process)

กระบวนการ A/O มีส่วนคล้ายกับกระบวนการ Phoredox ที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.2 Barnard, 1975 ได้พัฒนากระบวนการ Phoredox ให้ใช้ได้กับกระบวนการแอกติเวตเตดสลัดจ์ (Activated sludge process) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กระบวนการ A/O (Anaerobic - Oxic process)

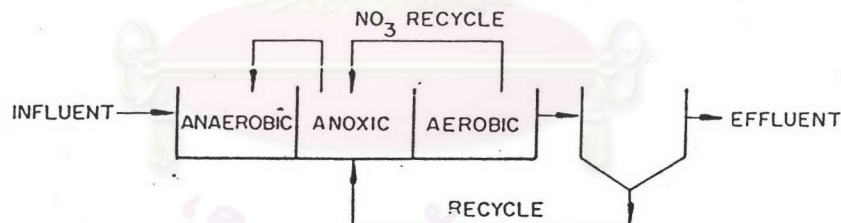
Buchan (1982) และ Barnard (1983) ได้ทำการทดลองและอธิบายกระบวนการ A/O ไว้ดังนี้

1) ในสภาพแอนแอโรบิก (Anaerobic condition) สารอินทรีย์ และโพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) จะถูกสะสมเข้าไปในตัวของจุลินทรีย์ (Microorganisms)

2) ในขั้นตอนของแอโรบิก (Aerobic Stage) ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) จะถูกสะสมเข้าไปในตัวของจุลินทรีย์และถูกปลดปล่อย (Release) ออกมาในขั้นตอนของแอนแอโรบิก (Anaerobic stage)

3.4.4 กระบวนการ UCT (University of Cape Town)

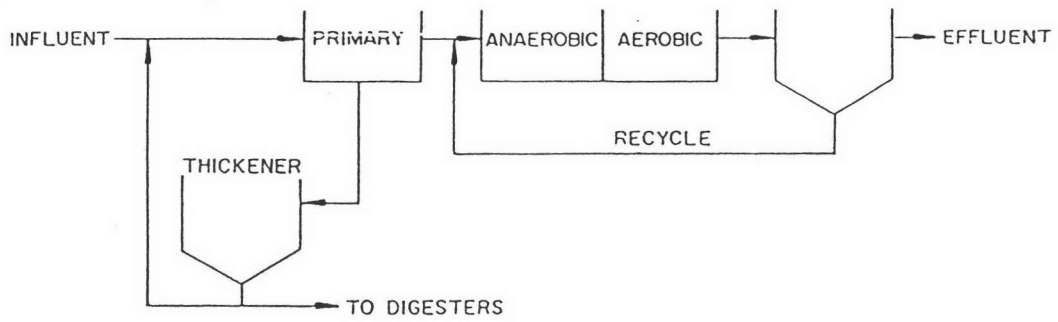
กระบวนการ UCT อาจกล่าวได้ว่าเป็นการเพิ่มขั้นตอนจากสองขั้นตอนของกระบวนการ Phoredox เป็นสามขั้นตอนในกระบวนการ UCT นี้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กระบวนการ UCT (Eckenfelder, 1985)

3.4.5 The Activated Primary Concept

Barnard (1984) เป็นผู้พัฒนากระบวนการนี้ขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 The Activated Primary Concept (Eckenfelder, 1985)

ในที่สุด Eckenfelder (1985) ได้สรุปการวิเคราะห์ ผลของค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ด้วยกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัส โดยวิธีทางชีววิทยาต่าง ๆ กันดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ด้วยกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสโดยวิธีทางชีววิทยาต่าง ๆ กัน

กระบวนการ	ค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/ลิตร)	
	ไม่ผ่านการกรอง (W/O filtration)	ผ่านการกรอง (W/filtration)
A/O (no nitrification)	2.0	1.0
A/O (nitrification)	2.0	1.5
A/O (denitrification)	3.0	1.5
Bardenpho	1.0	1.0
Phostrip	1.5	1.0