

บทที่ 1

บทนำ



คำย่อ :

พีเอสบี	=	poly- β -hydroxybutyrate; PHB หรือ (3HB) _n
พีเอชวี	=	poly- β -hydroxyvalerate; PHV หรือ (3HV) _n
พีเอชเอ	=	poly-hydroxyalkanoates; PHAs
พีเอไอ	=	phosphate accumulating organisms; PAOs
วีเอฟเอ	=	volatile fatty acids; VFAs
อาร์บีซีโอดี	=	readily biodegradable chemical oxygen demand; RBCOD
โอเอชไอ	=	ordinary heterotrophic organisms; OHOs

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันปัญหามลพิษน้ำอันมีสาเหตุมาจากเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และน้ำทิ้งจากบ้านเรือนได้ทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น โดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอันมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการนำน้ำเสียเหล่านั้นไปผ่านกระบวนการบำบัดก่อนที่จะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ สิ่งที่ทำให้เกิดมลพิษน้ำไม่ได้มีเพียงแต่โลหะหนัก สารอินทรีย์ หรือสารเคมีต่างๆเท่านั้น แต่ยังมีธาตุอาหารต่างๆ เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาต่อแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นอย่างมากคือ ทำให้เกิดสภาวะยูโทรฟิเคชัน(eutrophication)ในแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นสภาวะที่สาหร่ายมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำ และพบว่าน้ำเสียชุมชนในสหรัฐอเมริกาจะมีค่าซีโอดีประมาณ 400 มก./ล. ไนโตรเจน 30 ถึง 40 มก./ล. และฟอสฟอรัสมีค่าอยู่ในช่วง 6 ถึง 10 มก./ล. ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าพื้นที่นั้นๆว่า มีกฎหมายห้ามการใช้ผงซักฟอกที่มีฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบหรือไม่ นอกจากนี้ยังพบว่า ฟอสฟอรัส 1 กก. จะกระตุ้นให้จุลชีพสร้างเซลล์ใหม่ 111 กก. เทียบเท่ากับผลที่เกิดโดยซีโอดี 138 กก. และไนโตรเจน 1 กก. จะกระตุ้นให้จุลชีพสร้างเซลล์ใหม่ 16 กก. เทียบเท่ากับซีโอดี 20 กก. ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลที่เกิดโดยไนโตรเจนมีน้อยกว่าผลที่เกิดโดยฟอสฟอรัส แต่ก็ยังคงมากกว่าผลของซีโอดีในน้ำเสีย (Randall และคณะ, 1992) ส่วนน้ำเสียชุมชนในประเทศไทยมีลักษณะดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ลักษณะของน้ำเสียชุมชนจากบ้านพักอาศัย (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคณะ, 2530)

สิ่งปะปน (มก./ล.)	น้ำเสีย		จากการซักผ้า			จากครัว		น้ำเสีย รวม
	จากส้วม	จากห้องอาบน้ำ	ด้วยมือ	เครื่อง	ผ่านตะแกรง	ไม่ผ่าน		
บีโอดี	700	120	260	70	150	540	1800	200
ซีโอดี	1500	230	400	200	460	960	2900	-
ไนโตรเจน	300	8	38	14	12	18	120	32
ฟอสฟอรัส	24	6	1	10	24	13	90	-
ของแข็งแขวนลอย	560	45	80	60	55	210	1200	230

จากการศึกษาของเกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์ (2534) พบว่าลักษณะน้ำเสียของประเทศไทยมีค่าซีโอดี 200 ถึง 700 มก./ล. ปริมาณไนโตรเจน 20 ถึง 85 มก./ล. และฟอสฟอรัส 4 ถึง 15 มก./ล. ซึ่งถ้าเทียบเป็นค่าซีโอดีจะได้ว่า ปริมาณไนโตรเจน 20 มก./ล. และฟอสฟอรัส 4 มก./ล. จะเทียบเท่ากับซีโอดีเท่ากับ 400 และ 552 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งก็มีค่ามากกว่าซีโอดีของน้ำเสียดิบที่ยังไม่ผ่านการบำบัดเช่นกัน

วิธีการกำจัดฟอสฟอรัสสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพ แต่วิธีที่ได้ผลดี เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย และมีปริมาณของสลักซ์ที่เกิดขึ้นน้อยกว่าคือ วิธีทางชีวภาพ ทำได้โดยมีการกักตุนแบคทีเรียชนิดพิเศษที่สามารถสะสมฟอสฟอรัสได้มาก ซึ่งเรียกว่า จุลชีพที่สะสมฟอสเฟตหรือฟิเอโอ (phosphate accumulating organisms, PAOs) โดยผ่านกระบวนการแบบแคโรบิก-แอโรบิกจนเกิดการกักตุนแบคทีเรียชนิดนี้ขึ้น

กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสของฟิเอโอเกิดขึ้น โดยในสภาวะแอนแอโรบิกแบคทีเรียจะปล่อยสารออร์โธฟอสเฟตออกมานอกเซลล์ ส่วนในสภาวะแอโรบิกแบคทีเรียจะนำเอาออร์โธฟอสเฟตจากภายนอกเซลล์เข้ามาเก็บไว้ในเซลล์ในปริมาณสูงกว่าที่ปล่อยออกมา จึงทำให้เกิดการกำจัดฟอสฟอรัสขึ้น

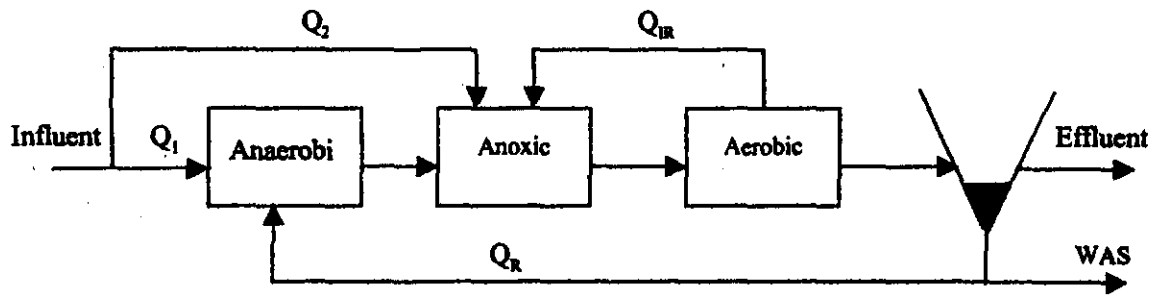
ในระบบแอกทิเวเต็ดสลักซ์ที่มีการป้อนน้ำเสียแบบเป็นขั้น (step feed) หรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียน (oxidation ditch) และระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการทำงานภายใต้สภาพแอนแอโรบิก-แอนออกซิก-แอโรบิก ซึ่งมีการป้อนน้ำเสียเข้าที่ชั้นตอนแอนออกซิกด้วยเพื่อเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์สำหรับกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน และน้ำเสียนั้นมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูง เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม หากถูกนำมาป้อนเข้าสู่ระบบหลังจากผ่านชั้นตอนแอนแอโรบิก (หลังจากแบคทีเรียดูดซึมเอกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acids, VFAs) เข้าไปในเซลล์และเกิดการปลดปล่อยออร์โธฟอสเฟตออกสู่ภายนอกเซลล์) อาจมีผลต่อความสามารถในการนำเอาฟอสฟอรัสจากภายนอกเซลล์

เข้ามาเก็บไว้ภายในเซลล์ของแบคทีเรียได้ เนื่องจากในขั้นตอนแอนแอโรบิกมีแบคทีเรียที่สามารถดูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายเข้าไปไว้ในเซลล์ได้ในปริมาณหนึ่งแล้วนำไปสร้างเป็นอาหารสะสม ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเกิดการปลดปล่อยออร์โทฟอสเฟตออกสู่ภายนอกเซลล์ด้วย แต่เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนแอนแอโรบิกแบคทีเรียต้องจับใช้ฟอสฟอรัสในปริมาณที่มากขึ้นกว่าเดิม กล่าวคือ นอกจากแบคทีเรียจะต้องจับใช้ออร์โทฟอสเฟตที่เกิดจากการปลดปล่อยออกมาในขั้นตอนแอนแอโรบิกแล้ว แบคทีเรียยังต้องมีการจับใช้ฟอสฟอรัสที่เดิมเข้าสู่ขั้นตอนแอนอกซิกหรือแอโรบิกโดยตรงอีกด้วย

ในการศึกษาผลของการเติมออร์โทฟอสเฟตภายหลังการดูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายของแบคทีเรียในขั้นตอนแอนแอโรบิกของกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ จะทำการทดลองโดยใช้กระบวนการเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก/แอโรบิก

กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพเป็นกระบวนการที่มีการคัดพันธุ์จุลินทรีย์ที่สามารถสะสมฟอสฟอรัสได้มากเป็นพิเศษ เรียกว่า ทีเอโอ โดยผ่านกระบวนการแอนแอโรบิก-แอโรบิก ซึ่งในสถานะแอนแอโรบิกทีเอโอจะดูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายเข้าไปในเซลล์และปล่อยสารออร์โทฟอสเฟตออกมานอกเซลล์ ส่วนในสถานะแอโรบิกทีเอโอจะนำเอาออร์โทฟอสเฟตจากภายนอกเซลล์เข้ามาเก็บไว้ในเซลล์ในปริมาณสูงกว่าที่เซลล์ต้องการใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งเรียกว่า การจับใช้อย่างฟุ่มเฟือย (luxury phosphorus uptake)

ในปัจจุบัน ระบบแยกชีวเคมีที่ มีการป้อนน้ำเสียแบบเป็นขั้น (step feed) หรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียน (oxidation ditch) ที่มีการป้อนน้ำเสียที่มีฟอสฟอรัสเข้าสู่ระบบ อาจเป็นการเพิ่มปริมาณของฟอสฟอรัสเข้าสู่ขั้นตอนแอนแอโรบิกหรือแอนอกซิก โดยที่ไม่ได้ผ่านขั้นตอนแอนแอโรบิกหรือระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการทำงานภายใต้สภาวะแอนแอโรบิก-แอนอกซิก-แอโรบิกซึ่งมีการป้อนน้ำเสียเข้าที่ขั้นตอนแอนอกซิกเพื่อเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนสำหรับกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ดังแสดงในรูปที่ 1.1 โดยเฉพาะถ้า น้ำเสียนั้นมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูง เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งหากถูกนำมาป้อนเข้าสู่ระบบหลังจากผ่านขั้นตอนแอนแอโรบิก(หลังจากทีเอโอดูดซึมเอากรดไขมันระเหยง่ายเข้าไปไว้ในเซลล์และมีการปลดปล่อยออร์โทฟอสเฟตออกมาภายนอกเซลล์แล้ว) อาจจะมีผลต่อความสามารถในการจับใช้ฟอสฟอรัสของทีเอโอได้ เนื่องจากกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกดูดซึมไปใช้ในช่วงแอนแอโรบิกสามารถนำไปใช้สร้างพอลิไฮดรอกซีอัลคานอยต์ (poly-hydroxy alkanoyates, PHAs) ซึ่งเป็นอาหารสำรองได้เพียงปริมาณหนึ่ง และการจับใช้ฟอสฟอรัสในขั้นตอนแอนแอโรบิกจะต้องใช้พลังงานที่สร้างขึ้นจากการย่อยสลายพอลิไฮดรอกซีอัลคานอยต์ ดังนั้นหากมีปริมาณของพอลิไฮดรอกซีอัลคานอยต์ไม่มากพอที่จะไม่มีพลังงานมากพอสำหรับการจับใช้ฟอสฟอรัสในขั้นตอนแอนแอโรบิก และทำให้มีฟอสฟอรัสเหลือในน้ำออกมากซึ่งจะทำให้มีปริมาณของฟอสฟอรัสไม่ได้มาตรฐาน



รูปที่ 1.1 ลักษณะการทำงานของระบบไฟรีคอกซ์แบบ 3 ชั้นตอนที่มีการเติมน้ำเสียเข้าที่ถังแอนออกซิก

ในระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบไฟรีคอกซ์แบบ 3 ชั้นตอนที่มีการเติมน้ำเสียเข้าสู่ถังแอนออกซิก ดังแสดงในรูปที่ 1.1 และถ้าน้ำเข้ามีค่าอัตราส่วนซีโอคิตต่อฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ระบบน่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสแตกต่างกัน โดยจะพิจารณาออกเป็น 2 กรณี คือ

กรณีแรกน้ำเสียมักมีค่าอัตราส่วนระหว่างซีโอคิตต่อฟอสฟอรัสสูง เมื่อน้ำเสียผ่านเข้าสู่ถังแอนเอโรบิก(Q_1)พีเอโอจะสามารถนำกรดไขมันระเหยง่าย(ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนรูปของคาร์บอนอินทรีย์โดยจุลินทรีย์พวกแพคัลเทททิฟ)ที่มีอยู่อย่างเหลือเฟือในระบบไปใช้ในการสร้างพีเอชเอได้ในปริมาณมากและมีการปลดปล่อยออร์โธฟอสเฟตออกมาจากเซลล์ในปริมาณหนึ่ง ดังนั้นถึงแม้ว่าจะมีการเติมน้ำเสียเข้าสู่ถังแอนออกซิกโดยตรง(Q_2) พีเอโอน่าจะสามารถจับใช้ฟอสฟอรัสในน้ำเสียที่เติมเพิ่มเข้าไปในชั้นตอนแอนออกซิกนี้ร่วมกับออร์โธฟอสเฟตที่พีเอโอปลดปล่อยออกมาในช่วงแอนเอโรบิกได้เกือบหมด เนื่องจากในเซลล์ของพีเอโอมีพีเอชเอที่สะสมอยู่ในชั้นตอนแอนเอโรบิกในปริมาณมากพอ ทำให้เกิดการสร้างพลังงานที่จะนำไปใช้ในการดึงเอาออร์โธฟอสเฟตมาเก็บไว้ภายในเซลล์มากขึ้น นอกจากนี้การเติมแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ที่ชั้นตอนแอนออกซิกยังเป็นการเพิ่มปริมาณสารอาหารให้แก่พวกคิโนคริฟายอิงแบคทีเรียในถังแอนออกซิกด้วย ซึ่งทำให้สามารถลดผลกระทบของไนเตรดที่มีในถังแอนออกซิกต่อพวกพีเอโอ ดังนั้นระบบน่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น

ส่วนกรณีที่สองคือ ถ้าน้ำเสียนั้นมีค่าอัตราส่วนของซีโอคิตต่อฟอสฟอรัสในสัดส่วนที่ต่ำ ในชั้นตอนแอนเอโรบิกพีเอโอจะมีการสร้างพีเอชเอในปริมาณที่น้อยกว่าเดิมเพราะพีเอโอมีการดูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายเข้าสู่เซลล์ได้ในปริมาณที่น้อยกว่าเดิม จากนั้นพีเอโอจะปลดปล่อยออร์โธฟอสเฟตออกจากเซลล์ ต่อมาเมื่อน้ำเสียผ่านเข้าสู่ชั้นตอนแอนเอโรบิก พีเอโออาจจะไม่สามารถจับใช้ฟอสฟอรัสที่เติมเข้าไปในช่วงชั้นตอนแอนออกซิกร่วมกับออร์โธฟอสเฟตที่ปลดปล่อยออกมาในช่วงแอนเอโรบิกได้หมด เนื่องจากพลังงานที่ได้จากการใช้พีเอชเออาจมีไม่เพียงพอที่จะใช้ในการดึงเอาออร์โธฟอสเฟตจากภายนอกมาเก็บไว้ภายในเซลล์ ดังนั้นในกรณีนี้ระบบน่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสลดลง

ในการศึกษาวิจัยนี้จะศึกษาถึงผลของออร์โทฟอสเฟตที่เติมเข้าไป(ภายหลังการลูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายและการปลดปล่อยออร์โทฟอสเฟตออกสู่ภายนอกเซลล์ของแบคทีเรียในชั้นคอนแอนแอรโรบิก)ต่อการนำเอาฟอสฟอรัสจากภายนอกเซลล์เข้ามาเก็บไว้ภายในเซลล์ของแบคทีเรียในชั้นคอนแอนโรบิก และผลของความเข้มข้นสารอาหารที่มีต่อการกำจัดฟอสฟอรัสที่เติมเข้าไปภายหลังชั้นคอนแอนแอรโรบิก

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาถึงผลของการเติมออร์โทฟอสเฟตในกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพภายหลังชั้นคอนแอนแอรโรบิกซึ่งเป็นชั้นตอนที่มีการลูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายแล้ว

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของปริมาณสารอาหารในน้ำเสีย ที่มีต่อการกำจัดฟอสฟอรัสซึ่งเติมเข้าไปในระบบกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพภายหลังชั้นคอนแอนแอรโรบิก

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ในงานศึกษาวิจัยนี้ การทดลองทั้งหมดจะทำในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้กระบวนการแยกที่เวเด็คสตัดจ์แบบเอสบีอาร์ซึ่งมีการทำงานแบบแอนแอรโรบิก/แอรโรบิก ซึ่งจะใช้แบบจำลองขนาดโต๊ะทดลอง(bench scale)และใช้น้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้น โดยการทดลองแบ่งเป็น 2 ชุดทดลอง คือ ชุดไม่มีการเติมออร์โทฟอสเฟตหลังชั้นคอนแอนแอรโรบิก(ชุดควบคุม) ส่วนอีกชุดมีการเติมออร์โทฟอสเฟตหลังชั้นคอนแอนแอรโรบิก(ชุดทดสอบ) ซึ่งแต่ละชุดทดลองจะแบ่งออกเป็นชุดที่มีสารอาหารในน้ำเสียสังเคราะห์เพียงพอ ชุดที่มีปริมาณสารอาหารมากเกินไป และชุดที่มีปริมาณสารอาหารจำกัด นอกจากนี้สำหรับชุดควบคุมยังมีชุดทดลองที่มีค่าบีโอดีใกล้เคียงกับน้ำเสียชุมชนด้วย

ขอบเขตการศึกษาจะครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารอาหารในรูปของซีโอดี ซึ่งเป็นอาร์บีซีโอดี(readily biodegradable chemical oxygen demand, RBCOD)(ในรูปของโซเดียมอะซิเตตและในรูปของนิวเทรียนค์บรอต) และการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เติมหลังชั้นคอนแอนแอรโรบิกในรูปของโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต(KH_2PO_4)สำหรับชุดทดลองแบบแบคซ์ของชุดควบคุม