



บทที่ 2

ทฤษฎี แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับชีวิตทุกชีวิต ไม่ว่าจะเป็นมนุษย์ สัตว์เล็กหรือสัตว์ใหญ่ ตลอดจนพืชถ้าขาดน้ำก็ต้องแห้งเหี่ยวและเฉาตายในที่สุด มนุษย์ต้องใช้น้ำสัมพันธ์อยู่กับชีวิตประจำวันอย่างเห็นได้ชัด เช่น ใช้น้ำสำหรับดื่ม ใช้หุงต้มอาหาร ใช้ชะล้างสิ่งสกปรกต่างๆ ใช้ซักเสื้อผ้า ใช้ในเครื่องทำความร้อน เครื่องลดความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท และใช้กับเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น

ในการเกษตรกรรม การทำเรือสวน ไร่นา ทำสวนครัว เลี้ยงสัตว์ ก็ต้องใช้น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญทั้งสิ้น แม้แต่ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ในการหล่อเย็น ในพลังไอน้ำก็ดี พลังงานไฟฟ้าก็ดี การกำจัดน้ำทิ้งและขยะก็ดี ตลอดจนถึงการดับไฟเมื่อเกิดไฟไหม้ น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญทั้งสิ้น

นอกจากนี้แหล่งน้ำยังเป็นที่พักผ่อนหย่อนใจ สำหรับท่องเที่ยว ตกปลา วาดน้ำ ตลอดจนถึงการใช้ประกอบอาชีพ เช่น การประมงอีกด้วย

น้ำจึงมีอิทธิพลต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์มาก เป็นองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับชีวิตอันดับที่สองรองจากออกซิเจน มนุษย์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้เมื่อขาดอาหารเป็นเดือนๆ จากสถิติโลกครั้งสุดท้ายมนุษย์สามารถอดอาหารได้นานถึง 64 วันจึงตาย แต่ถ้าขาดน้ำเพียง 2-3 วัน มนุษย์อาจจะตายทันที ทั้งนี้เพราะน้ำเป็นตัวที่มีบทบาทสำคัญต่อร่างกายมนุษย์มาก(โกมล ศิวะบวร และคณะ, 2534) กล่าวคือ

1. เซลล์ในร่างกายมนุษย์ต้องการน้ำ เพื่อไปทำให้โครงสร้างของเซลล์คงรูปอยู่ได้ และสามารถทำงานได้อย่างปกติ
2. น้ำเป็นตัวนำอาหารไปเลี้ยงกล้ามเนื้อต่างๆ และในเวลาเดียวกันน้ำก็เป็นตัวนำของเสียออกมาจากกล้ามเนื้อนั้นๆด้วย และขับถ่ายออกมาจากร่างกายมนุษย์ ในรูปของเหงื่อ และปัสสาวะ เป็นต้น
3. น้ำช่วยในการเสริมสร้างและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ของกล้ามเนื้อ ช่วยหล่อลื่นข้อต่างๆของร่างกาย ช่วยย่อยอาหาร ช่วยให้โลหิตไหลเวียนทั่วร่างกาย

4. ช่วยรักษาและควบคุมอุณหภูมิของร่างกายให้อยู่ในระดับปกติ หากร้อนเกินไปก็จะระบายความร้อนออกมาในรูปของเหงื่อ เป็นต้น

น้ำเมื่อผ่านการใช้ประโยชน์มาแล้วจะเสื่อมคุณภาพหรือมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากมีสิ่งสกปรกต่างๆเข้าปนเปื้อน จึงจัดว่าเป็นน้ำเสีย

การเสียของน้ำแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ของน้ำ จึงมีการเปลี่ยนแปลงได้หลายลักษณะดังนี้ (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2537)

1. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (physical change) เช่น การมีสีเนื่องจากแร่ธาตุต่างๆ การมีสารแขวนลอยหรือขุ่น การมีฟองที่เกิดจากผงซักฟอก การมีสารกัมมันตรังสี
2. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรภาพ (physiological change) เช่น การเปลี่ยนของรสที่เกิดจากสารเคมี หรือการสลายตัวของสารอินทรีย์ในน้ำด้วย จุลินทรีย์
3. การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ (biological change) เช่น การมีจุลินทรีย์ต่างๆปนเปื้อน เนื่องจากน้ำเสียมีสารอินทรีย์ต่างๆปะปนอยู่ด้วย จุลินทรีย์จะนำสารต่างๆเหล่านี้ไปใช้เพื่อการเจริญ และทวีจำนวนต่อไปทำให้น้ำเสียมียุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก
4. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี (chemical change) เช่น การมีของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ หรืออนินทรีย์จากชุมชน หรือโรงงานอุตสาหกรรมเข้าปนเปื้อน ทำให้น้ำมีความเป็นกรดหรือด่างมากเกินไป หรือมีกลิ่นเหม็นเน่าถ้าหากมีโลหะหนักต่างๆปะปนอยู่ด้วย เช่นปรอทหรือตะกั่วจะทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์น้ำได้

เมื่อน้ำเสียถูกปล่อยลงสู่ลำน้ำ การเสื่อมสลาย และการสลายตัวจะเกิดขึ้นจนกว่าจะสมบูรณ์ นั่นคือ เมื่อดำน้ำได้รับน้ำเสียจะเกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จนกว่าจะกลับสู่สภาวะเดิมเหมือนก่อนได้รับน้ำเสีย กระบวนการนี้โดยทั่วไปเรียกว่า การบริสุทธิด้วยตนเอง (self-purification) ในกระบวนการนี้จะมีปฏิกิริยาทั้งทางกายภาพ เคมี และชีว

ปฏิกิริยาทางกายภาพมีการตกตะกอนของของแข็งแขวนลอย การฟอกสีโดยแสงแดด และการละลายของออกซิเจนตามธรรมชาติ ส่วนปฏิกิริยาทางเคมีและชีวจะซับซ้อนมากขึ้น ในที่นี้ถึง

มีชีวิตจะใช้ของแข็งอินทรีย์เป็นอาหารแล้วให้ของเสียออกมา และขณะเดียวกัน สิ่งมีชีวิตชนิดที่มีขึ้นภายหลังจะใช้ของเสียข้างต้นเป็นอาหาร กระบวนการสลายตัวจะมีต่อไปจนกระทั่งสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนได้ถูกเปลี่ยนเป็นเกลืออนินทรีย์อยู่ตัว เช่น ไนเตรต ซัลเฟต ฟอสเฟต เป็นต้น เกลือเหล่านี้ต่อไปจะถูกใช้เป็นอาหารสำหรับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น เช่น สาหร่าย ซึ่งในกระบวนการเจริญเติบโตจะให้ออกซิเจนเป็นของเสียออกมา ปฏิกริยาเหล่านี้จะเปลี่ยนน้ำในแหล่งน้ำสู่ภาวะที่สะอาดซึ่งถือว่าการทำบริสุทธิ์ด้วยตนเองได้สมบูรณ์แล้ว (วิทยา เพียรวิจิตร, 2525)

ปัญหาเรื่องน้ำเสียมีประวัติความเป็นมาคู่กันไปกับการเจริญเติบโตของชุมชน ทั้งนี้เพราะว่าน้ำเสียเป็นผลผลิตอย่างหนึ่งในการดำเนินชีวิตประจำวันของคน เมื่อครั้งประชากรยังมีน้อยและกระจัดกระจาย ก็ไม่เป็นปัญหาอะไรมากนัก เพราะปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยสู่ลำน้ำยังไม่เกินความสามารถของแหล่งน้ำตามธรรมชาติจะรับไว้ได้ในกระบวนการบริสุทธิ์ด้วยตนเอง

ปัจจุบันน้ำเสียเป็นปัญหาใหญ่ที่ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจ เพราะเป็นเรื่องที่ใกล้ตัวเราจากเดิมที่เคยคิดว่าน้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ไม่จำกัด ปัจจุบันความคิดนี้ต้องเปลี่ยนไป เนื่องจากนับวันจะหาน้ำสะอาดได้ยากมาก อีกทั้งสภาพบ้านเมืองในประเทศไทยได้เปลี่ยนไปจากประเทศเกษตรกรรมเป็นประเทศอุตสาหกรรม มีการตั้งนิคมอุตสาหกรรมมากขึ้น ทำให้น้ำเสียอุตสาหกรรมมีมากขึ้นเป็นเงาตามตัว (ทัศนาศ เพชรวิชราไพบูลย์, 2539) นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการย้ายถิ่นของประชากรเข้าสู่เขตเมือง เป็นสาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งที่ทำให้เกิดปริมาณน้ำเสียเพิ่มมากขึ้นทั้งจากบ้านพักอาศัย อาคาร และสำนักงานต่างๆ น้ำเสียเหล่านี้จะถูกปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลอง และแหล่งน้ำตามธรรมชาติในชุมชนเขตเมือง และก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำในที่สุด (ประยูร ฟองสถิตย์กุล และพรสวรรค์ ศรีสวัสดิ์, 2539)

น้ำเสียแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆตามแหล่งกำเนิด (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2518) คือ

1. น้ำเสียจากแหล่งชุมชน (sewage) ได้แก่ น้ำทิ้งจากบ้านพักอาศัย อาคาร ร้านค้า ตลาด โรงมหรสพ โรงแรม ฯลฯ เกิดจากกิจกรรมต่างๆในการดำรงชีวิตของมนุษย์ อาทิเช่น การชำระร่างกาย การซักเสื้อผ้า การประกอบอาหาร การขับถ่าย ฯลฯ สิ่งสกปรกต่างๆในน้ำทิ้งประเภทนี้ส่วนมากเป็นสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร สบู่ ผงซักฟอก อุจจาระ ปัสสาวะ ฯลฯ

2. น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (industrial wastewater) ได้แก่ น้ำทิ้งที่เกิดจากขบวนการต่างๆ ในขบวนการอุตสาหกรรม เช่น การล้างวัตถุดิบ การล้างเครื่องจักร การระบายความร้อน ฯลฯ สิ่งตกปรกในน้ำทิ้งประเภทนี้มีทั้งสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ ขึ้นกับลักษณะการใช้งาน และชนิดของโรงงานอุตสาหกรรม

ปัญหาน้ำเสีย มีผลกระทบต่อมนุษย์หลายด้าน พหุจะสรุปผลเสียหายนามนุษย์และสังคมได้หลายด้าน (ไพศาล ภูไพบูลย์, 2529) คือ

1. ด้านการประมง
2. ด้านการผลิตน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค
3. ด้านการเกษตร
4. ด้านความสวยงามและการพักผ่อนหย่อนใจ
5. ด้านการสาธารณสุข

ดังจะได้กล่าวถึงผลกระทบต่อมนุษย์ในกรณีที่เกิดปัญหาน้ำเสียในรายละเอียดดังนี้

ด้านการประมง

น้ำเสียทำให้สัตว์น้ำต่างๆตายหรือค่อยๆลดจำนวนลง เนื่องจากสัตว์น้ำเหล่านั้นไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ และไม่สามารถแพร่พันธุ์ตามธรรมชาติได้ น้ำเสียที่เกิดจากสารเป็นพิษ อาจทำให้ปลาตายทันที และก็อาจทำลายพืช และสัตว์น้ำเล็กๆที่เป็นอาหารของปลาและตัวอ่อน ทำให้ปลาขาดอาหาร ในที่สุดปลาก็จะลดจำนวนลงทุกที เช่น กรณีน้ำเสียที่แม่น้ำแม่กลอง เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากโรงงานน้ำตาลปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำ ทำให้ปลาตายเป็นแพ น้ำเสียปริมาณมากที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดน้ำเสียเหล่านั้น ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายในแม่น้ำลำคลองลดลงอย่างรวดเร็ว จนปลาไม่อาจจะมีชีวิตอยู่ได้เพราะขาดออกซิเจน นอกจากนี้น้ำเสียยังทำลายการเพาะวางไข่ของปลา เนื่องจากการตกตะกอนของสารแขวนลอยในน้ำเสีย ไปปกคลุมพื้นที่วางไข่ของปลา ซึ่งเป็นการหยุดยั้งการแพร่พันธุ์ของปลา

นอกจากนี้ความร้อนจากน้ำทิ้ง ทำให้อุณหภูมิในแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงไปจากธรรมชาติ อาจทำให้สัตว์น้ำทั้งหลายปรับตัวได้ยาก หรือน้ำมันจากโรงงาน หรือสาเหตุอื่นที่ถูกทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลอง ทำให้ขัดขวางการเพิ่มออกซิเจนละลายตามธรรมชาติ ฉะนั้นออกซิเจนจะลดน้อยลงทุกทีเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำอย่างยิ่ง

ด้านการผลิตน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค

เมื่อปริมาณแหล่งน้ำเสียมีเพิ่มขึ้น คุณภาพของน้ำตกลง บ่อมกระทบกระเทือนต่อการจัดหา น้ำเพื่อใช้ในการทำน้ำประปา เพราะแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค ส่วนใหญ่มาจากแม่น้ำ และ แหล่งน้ำบาดาล ซึ่งปัญหาน้ำเสียทำให้แหล่งน้ำเหล่านี้มีคุณภาพเลวลง ต้องเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นในการผลิตน้ำเพื่อการบริโภค เพราะค่าใช้จ่ายที่ต้องทำให้คุณภาพน้ำได้มาตรฐาน ต้องผ่านขบวนการ มากขึ้นกว่าเดิม รวมทั้งการแสวงหาน้ำจากแหล่งน้ำที่บริสุทธิ์ก็หายาก

นอกจากนั้น ความต้องการน้ำในอุตสาหกรรมบางอย่าง จำเป็นต้องได้น้ำที่บริสุทธิ์ เช่น ใน โรงงานกระดาษ น้ำที่ใช้ต้องมีปริมาณเหล็กและแมงกานีสน้อย น้ำที่ใช้ในโรงงานรีดเหล็ก ต้อง อาศัยน้ำที่มีปริมาณคลอรีนต่ำกว่ามาตรฐานน้ำดื่ม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ขบวนการพิเศษ เพื่อให้ ได้น้ำตามเกณฑ์ที่ต้องการ จึงต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ต้องสิ้นเปลืองเศรษฐกิจ

ด้านการเกษตร

น้ำเสียที่มีปริมาณกรด ค่าง หรือเกลืออนินทรีย์สูง หรือมีสารที่เป็นพิษ จะทำให้มีคุณภาพไม่ เหมาะสมต่อการเกษตร ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม จะมีผลเสียต่อการทำ เกษตรกรรม หรืออาจเกิดจากผลการทำเกษตรกรรม เช่น การชลประทาน สร้างเขื่อนกักเก็บน้ำไว้ใช้ ขณะใช้น้ำเพื่อการเกษตรน้ำจะระเหยเป็นไอ ปริมาณของเกลืออนินทรีย์ ซึ่งไม่ระเหยก็จะตกค้างอยู่ ในดิน เมื่อมีการสะสมมากๆ เข้าพื้นดินบริเวณนั้นจะเป็นดินเค็ม ไม่เหมาะแก่การเพาะปลูกตาม ธรรมชาติ เมื่อน้ำฝนช่วยชะล้างให้เกลืออนินทรีย์ลดจำนวนลง ซึ่งขณะเดียวกันก็จะพัดพาเอาเกลือ แร่ชนิดอื่นที่เป็นประโยชน์ค่อพืชไปด้วย เช่น เกลือแอมโมเนียมซัลเฟต คุณค่าของดินจะลดลง โดยไปเพิ่มปริมาณเกลือในแม่น้ำอีก นอกจากนี้ การชลประทานมีการกักเก็บน้ำไว้ใช้จะลดอัตราการ ไหลของน้ำในแม่น้ำเป็นผลให้อัตราการเจือจางของน้ำโสโครก จากอาคาร บ้านเรือน โรงงาน อุตสาหกรรม ลดลง จึงทำให้ความสกปรกของแหล่งน้ำเพิ่มมากขึ้น แหล่งน้ำที่เคยใช้ในการบริโภค อุปโภค ก็ใช้ไม่ได้ต่อไป จึงเห็นว่า เป็นผลที่กระทบต่อกันไปเป็นทอดๆ ทำให้ทวีความรุนแรงขึ้น เรื่อยๆ

ด้านความสวยงามและการพักผ่อนหย่อนใจ

แม่น้ำลำธารที่ใสสะอาด เป็นความสวยงามตามธรรมชาติ ผู้คนใช้ในการพักผ่อนหย่อนใจ เช่น ว่ายน้ำ ตกปลา เล่นเรือ และอื่นๆ น้ำเสียจะส่งผลกระทบต่อทัศนียภาพ และทำลายแหล่งพักผ่อนหย่อนใจเหล่านั้น อีกทั้งยังเป็นที่รังเกียจของผู้คนที่อาศัยบริเวณนั้น และผู้สัญจรไปมา แต่ก่อน ประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นเวนิสตะวันออก เนื่องจากมีคลองมากมายหลายสาย แต่ปัจจุบันคลองถูก

ถมเป็นถนนไปก็มาก เมื่อแม่น้ำล้นคลองเกิดปัญหาน้ำเสียตกปรกทั่วไป อันส่งผลไปถึงความไม่สะอาดของบ้านเมือง และยังส่งผลถึงสุขภาพทางกายและทางใจของประชาชนด้วย

ด้านการสาธารณสุข

น้ำเสียเป็นสื่อของโรคต่างๆ โดยโรคระบาดที่เกี่ยวกับทางเดินอาหารเกิดจากน้ำเป็นสื่อนำโรค หรือ water born disease ซึ่งหมายถึงโรคที่เกิดโดยการนำของน้ำ ซึ่งมีสิ่งอื่นๆ เชื้อปนอยู่ สิ่งเจือปนอาจเป็นพวกเชื้อแบคทีเรีย หรือพวกจุลินทรีย์ที่เป็นอันตราย หรือสารเคมีที่เป็นพิษปนมาในน้ำเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ทำให้เกิดโรคร้ายไข้เจ็บ สร้างความเดือดร้อนรำคาญให้แก่ประชาชนที่ต้องอาศัยแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค

น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนโดยทั่วไปแยกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ (ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2536) คือ

1. น้ำจากการขับถ่ายของเสีย (toilet wastes) มีถึงขับถ่ายจากร่างกาย อุจจาระ ปัสสาวะ ปนอยู่
2. น้ำจากการซักล้าง (sullage) เกิดจากกิจกรรมอื่นนอกจากการขับถ่ายของเสีย เช่น การประกอบอาหาร การชำระล้างร่างกาย การซักล้าง เป็นต้น

น้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ ซึ่งมีสารประกอบในรูปไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอยู่มาก ประมาณ 60 % ของไนโตรเจนในน้ำเสียใหม่จะอยู่ในรูปของอินทรีย์ไนโตรเจน และอีก 40 % จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียซึ่งเกิดจากการย่อยสลายโปรตีน และการย่อยสลายยูเรียโดยจุลินทรีย์ โดยทั่วไปในน้ำเสียใหม่จะมีสารอินทรีย์ไนโตรเจน ที่อยู่ในรูปไนเตรต และไนไตรต์เพียงเล็กน้อยเท่านั้นคือ ประมาณ 1 % ปกติน้ำเสียชุมชนจะมีไนโตรเจนอยู่ในช่วง 17-100 มิลลิกรัม/ลิตร ฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนจะอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ฟอสเฟตหลายแบบ ได้แก่ ออโรฟอสเฟต (PO_4^{3-}) คอนเดนส์ฟอสเฟต ได้แก่ ไพโรฟอสเฟต ไตรโพลีฟอสเฟต ไตรเมตาฟอสเฟต และอินทรีย์ฟอสเฟต ได้แก่ ฟอสโฟไลปิด น้ำตาลฟอสเฟต นิวคลีโอไทด์ แหล่งใหญ่ของน้ำเสียจากอาคาร คือ ของเสียต่างๆจากร่างกายมนุษย์ และสารที่ใช้ซักล้างซึ่งส่วนใหญ่ คือ ผงซักฟอก น้ำเสียจากชุมชนจะมีค่าฟอสฟอรัสอยู่ประมาณ 3-15 มิลลิกรัม/ลิตร (ประยูร ฟองสทิพย์ กุล และ พรสวรรค์ ศรีสวัสดิ์, 2539)

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารสำคัญมีความจำเป็นต่อเซลล์ที่มีชีวิต เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของ ATP กรดนิวคลีอิก (DNA RNA) และ ฟอสโฟไลปิดบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ ฟอสฟอรัสสามารถ

สะสมในรูป volutin granules (polyphosphate granules) ในเซลล์ได้ทั้งในโปรคาริโอต และยูคาริโอต ฟอสฟอรัสจัดเป็นสารอาหารที่จำกัดการเจริญของพืชน้ำ (Bitton, 1994)

สารฟอสฟอรัสที่พบในแหล่งน้ำแบ่งเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆคือ

1. สารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตที่ละลายน้ำ

ฟอสฟอรัสในรูปนี้ ได้แก่ ออโรฟอสเฟตซึ่งในแหล่งน้ำธรรมชาติพบว่า $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-} มีมากกว่า PO_4^{3-} และ H_3PO_4 นอกจากนั้นฟอสเฟตโมเลกุลใหญ่จัดเป็นอินทรีย์ฟอสเฟตที่ละลายน้ำด้วย

2. สารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ

สารประกอบฟอสฟอรัสส่วนนี้เป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่สลายออกมาจากเซลล์สิ่งมีชีวิต เช่น phosphoproteins phospholipids เป็นต้น

3. สารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ถูกจับบนผิวน้ำ

สารแขวนลอยจะประกอบด้วยสารประกอบฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำเช่น ฟอสฟอรัสที่ติดอยู่กับเหล็ก แคลเซียม และอะลูมิเนียม ฟอสฟอรัสรูปนี้จะละลายได้มากขึ้นหรือน้อยลงจะขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลาย โดยถ้าสารละลายเป็นด่างสารแขวนลอยเหล่านี้จะไม่ละลาย

4. สารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่แขวนลอยในน้ำ

สารประกอบฟอสฟอรัสส่วนนี้คือสิ่งมีชีวิต หรือสิ่งมีชีวิตที่เพิ่งตายลงแขวนลอยอยู่ในน้ำ รวมทั้งสารประกอบในเซลล์ที่ออกมาภายนอกเมื่อเซลล์แตก ฟอสฟอรัสรูปนี้จะมีปริมาณมากที่สุดในแหล่งน้ำ อินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะเลื้อย และจะถูกเปลี่ยนเป็นรูปอนินทรีย์โดยกระบวนการที่ช้ามาก (เพราพรธม แสงสกุล, 2529)

สารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัส เช่น phytin inositolphosphates กรดนิวคลีอิก phospholipids สามารถเปลี่ยนเป็น ออโรฟอสเฟตได้โดยจุลินทรีย์หลายชนิด เช่น *Bacillus subtilis* *Arthrobacter* *Streptomyces* *Aspergillus* และ *Penicillium* โดยอาศัย enzyme Phosphatase ในการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัส (Bitton, 1994)

เชื่อกันว่าสารประกอบฟอสฟอรัสเป็นตัวการที่ทำให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำ โดยเฉพาะในแหล่งน้ำนิ่ง เช่น ทะเลสาบ และอ่างเก็บน้ำ โดยสาหร่ายในแหล่งน้ำเหล่านี้จะใช้ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จนทำให้แหล่งน้ำมีสีเขียวคล้ำไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำนั้นได้อย่างเหมาะสม (จารุรัตน์ วรรณิตรากุล และคณะ, 2536)

ปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของประเทศไทย จึงไม่มีผู้ให้ความสนใจในการกำจัดฟอสฟอรัสจากน้ำเสียก่อนทิ้ง จากข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำท่าที่ผ่านมา ชี้ให้เห็นว่าฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำต่างๆ มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ แม่น้ำสายใหญ่ที่ไหลผ่านชุมชนได้รับการปนเปื้อนจากฟอสฟอรัสทั้งสิ้น เช่น แม่น้ำเจ้าพระยาจากจังหวัดอยุธยาถึงปากน้ำ มีฟอสฟอรัสในระดับสูงกว่า 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งอาจเกิดยูโทรฟิเคชันได้ถ้าอยู่ในสภาพน้ำนิ่ง แต่เนื่องจากเป็นกระแสน้ำไหลจึงไม่มีเหตุการณ์ดังกล่าว ส่วนในอ่างเก็บน้ำและแหล่งน้ำนิ่งหลายแห่ง ก็มีสารประกอบฟอสฟอรัสปนเปื้อนสูงมาก เพราะเป็นแหล่งรองรับสิ่งขับถ่ายจากมนุษย์ รวมทั้งการระบายของเสียจากกิจกรรมต่างๆ นอกจากนั้นฝั่งทะเล เช่น หัวหิน ศรีราชา และ สุราษฎร์ธานี ซึ่งถูกใช้เป็นนาุ้ง และเป็นแหล่งท่องเที่ยวก็พบสารประกอบฟอสฟอรัส และเคยมีปัญหายูโทรฟิเคชันมาแล้ว

สำหรับกรุงเทพมหานคร น้ำในคลองต่างๆมีสารประกอบฟอสฟอรัสในปริมาณสูงมาก คือ อยู่ในช่วง 5.9-36.2 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งนี้เนื่องจาก คลองเหล่านี้อยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น น้ำในคลองบางแห่งมีสีเขียวคล้ำจนสังเกตได้ บางแห่งมีสีดำและส่วนใหญ่ไม่มีออกซิเจนละลายน้ำ

แหล่งน้ำขนาดใหญ่ตั้งอยู่ใจกลางชุมชน เช่น บึงแก่นนครและบึงทุ่งสร้าง จังหวัดขอนแก่น ลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา ล้วนแล้วแต่มีการปนเปื้อนจากฟอสฟอรัสประมาณ 0.1-0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์ที่อาจเกิดยูโทรฟิเคชันได้ (ธงชัย พรวัฒนศักดิ์ และคณะ, 2539)

ยูโทรฟิเคชัน ปัญหาของแหล่งน้ำนิ่งธรรมชาติที่เกิดจากไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสีย จะเกิดขึ้นกับแหล่งน้ำในชั้นยูโทรฟิค (Eutrophic zone) ซึ่งเป็นชั้นความลึกของน้ำที่มีแสงสว่างเพียงพอที่พืชจะทำการสังเคราะห์แสง ยูโทรฟิเคชันจะทำให้แหล่งน้ำดินเงิน เมื่อพืชน้ำตายลงจะเป็นการเพิ่มสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ ส่งผลให้จุลินทรีย์ในแหล่งน้ำเพิ่มจำนวนมากขึ้นไปด้วย

จึงเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจนก่อเกิดปัญหามลพิษทางน้ำ และส่งผลถึงสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำนั้น (ประยูร ฟองสถิตย์กุล และพรสวรรค์ ศรีสวัสดิ์, 2539)

ยูโทรฟิเคชันเป็นมภาวะที่เกิดขึ้นทั่วโลกมิใช่เพียงแต่ในประเทศไทย การควบคุมไม่ให้เกิดยูโทรฟิเคชันก็โดยการควบคุมปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้ง ซึ่งอาจใช้วิธีการทางเคมี หรือวิธีการทางชีวภาพก็ได้

โดยทั่วไปการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งทางเคมีและชีวภาพอาศัยหลักดังนี้

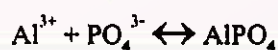
1. ตกตะกอนด้วยเคมีโดยอาศัยการควบคุม pH ให้เป็นด่าง และเติม Ca Fe Al
2. จุลินทรีย์ในน้ำเสียใช้ฟอสฟอรัสเพื่อการเจริญเติบโตของเซลล์
3. จุลินทรีย์สะสมฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์ในรูปของ polyphosphate
4. จุลินทรีย์ช่วยให้การตกตะกอนด้วยสารเคมีดีขึ้นเนื่องจากให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำให้สภาพน้ำ

เป็นด่าง

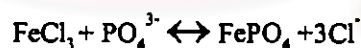
การตกตะกอนฟอสฟอรัสด้วยสารเคมี

โดยทั่วไปจะใช้ aluminium salts, iron salts สารส้ม ปูนขาว สารเคมีเหล่านี้เมื่อเติมลงในบ่อน้ำบำบัด จะทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสเกิดเป็นตะกอนของโลหะฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ เช่น

aluminium ทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสเกิดเป็น aluminium phosphate



เฟอร์ริกคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสเกิดเป็นเฟอร์ริกฟอสเฟต



ตะกอนของโลหะฟอสเฟตที่เกิดขึ้นสามารถแยกออกได้โดยใช้ดังตกตะกอน (Bitton, 1994)

การกำจัดฟอสเฟตด้วยวิธีตกตะกอนด้วยสารเคมีกำจัดฟอสฟอรัสได้ประมาณ 70-95 % (จารุรัตน์ วรนิศรากุล และคณะ, 2536) หลายประเทศที่มีปัญหาเรื่องฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งและใช้วิธีเคมีในการบำบัด แต่พบข้อเสียที่เหมือนกันคือ สารเคมีราคาแพง และก่อให้เกิดกากตะกอนเคมีจำนวนมากซึ่งต้องเป็นภาระในการกำจัดทิ้งอีก (Momba and Cloete, 1996)

กระบวนการทางชีวภาพ

คือการใช้จุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่มีฟอสฟอรัสอยู่ โดยจุลินทรีย์จะใช้ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบหนึ่งในการสร้างเซลล์ใหม่และเป็นแหล่งพลังงาน นอกจากนี้

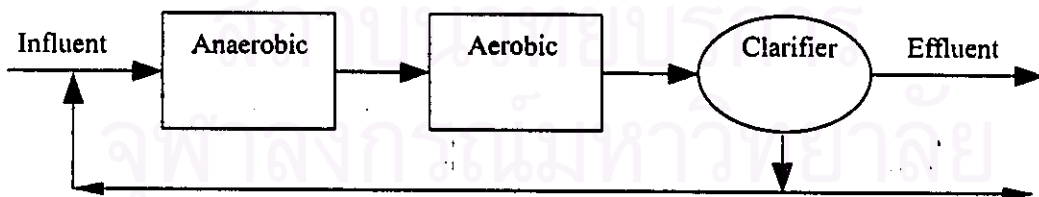
จุลินทรีย์ยังสามารถเก็บสะสมฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์เป็นจำนวนมากเป็นพิเศษ (luxury uptake) ในช่วงระยะเวลาหนึ่งได้อีกด้วย (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคณะ, 2539) เมื่อมีการกำจัดเซลล์จุลินทรีย์ก็เป็นการนำฟอสเฟตออกจากน้ำทิ้งไปด้วย

ข้อดีของการบำบัดทางชีวภาพคือ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำกว่ากระบวนการทางเคมี กระบวนการที่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพได้นั้นมีด้วยกันหลายกระบวนการ คือมีทั้งกระบวนการที่สามารถกำจัดได้เฉพาะฟอสฟอรัสอย่างเดียว และกระบวนการที่สามารถกำจัดได้ทั้งฟอสฟอรัสและไนโตรเจน(ชฎารัตน์ อนันต์ และธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2539)

1. กระบวนการที่กำจัดสารประกอบฟอสฟอรัสอย่างเดียวสามารถแบ่งได้เป็น 2 กระบวนการด้วยกันคือ

1.1 กระบวนการ Phoredox

กระบวนการ Phoredox ประกอบด้วยถังแอนแอโรบิกตามด้วยถังแอโรบิก ดังรูปที่ 1 ซึ่งการปล่อยฟอสฟอรัสจะเกิดขึ้นในถังแอนแอโรบิก และเมื่อน้ำเสียผ่านไปยังถังออกซิกก็จะเกิดการจับใช้สารประกอบฟอสฟอรัส จากนั้นน้ำเสียที่มีสลัดจ์ (sludge) ที่สะสมสารประกอบฟอสฟอรัสเป็นพิเศษนี้ก็จะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนชั้นที่สอง จุดซึ่งเกิดการจมตัวและถูกเวียนกลับเข้าระบบอีกครั้ง โดยที่สลัดจ์ส่วนหนึ่งจะถูกกำจัดออกจากระบบโดยการระบายทิ้งเพื่อควบคุมอายุสลัดจ์ (solid retention time, SRT) ซึ่งก็ทำให้ฟอสฟอรัสถูกกำจัดออกไปด้วยพร้อมๆกัน สำหรับกระบวนการ Phoredox นี้จะออกแบบโดยใช้อายุสลัดจ์สั้นๆและอัตราภาระอินทรีย์ (organic loading) สูงๆเพื่อให้อัตราการผลิตสลัดจ์เกิดได้มากและทิ้งออกไปมากด้วย

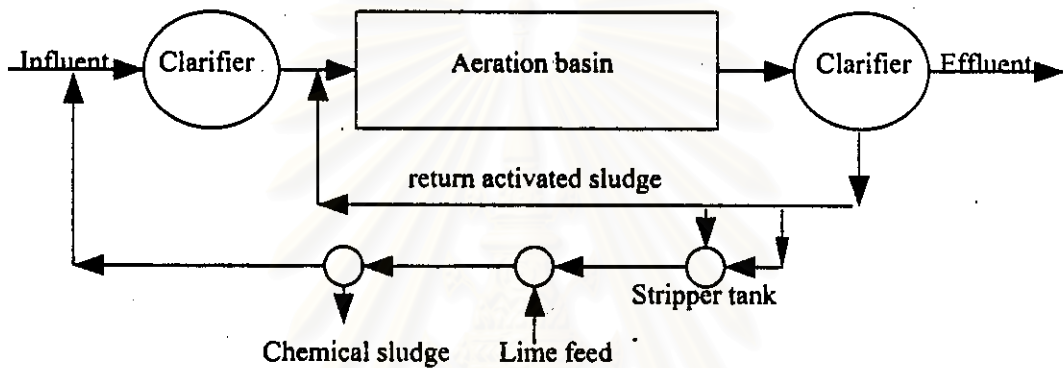


รูปที่ 1 กระบวนการ Phoredox

1.2 กระบวนการ Phostrip

กระบวนการ Phostrip เป็นกระบวนการกำจัดสารประกอบฟอสฟอรัสที่ใช้วิธีกำจัดทางชีววิทยาและทางเคมีร่วมกัน ดังรูปที่ 2 ระบบบำบัดหลักของกระบวนการนี้ก็คือ

กระบวนการแยกแอมโมเนียแอมโมเนียม (activated sludge) ซึ่งประกอบไปด้วยถังแอมโมเนียกับถังตกตะกอนขั้นที่สอง ส่วนการกำจัดฟอสฟอรัสนั้นจะกำจัดออกจากน้ำเสียที่ออกจากจุดเวียนสลับกลับของถังตกตะกอนขั้นที่สอง โดยจะนำน้ำสลัดจ์นี้เข้าสู่ถัง stripper ภายในถัง stripper จะมีสภาพเป็นแอมโมเนีย ดังนั้นก็จะเกิดการปล่อยสารประกอบฟอสฟอรัสออกจากเซลล์ น้ำเสียที่มีฟอสฟอรัสความเข้มข้นสูงเป็นส่วนประกอบนี้จะถูกนำไปบำบัดโดยวิธีทางเคมี คือใช้ปูนขาวทำให้ตกตะกอนซึ่งสลัดจ์ที่ได้นี้จะถูกนำไปกำจัดต่อไป ส่วนน้ำเสียที่อยู่ด้านบนก็จะถูกเวียนกลับเข้าสู่ระบบ

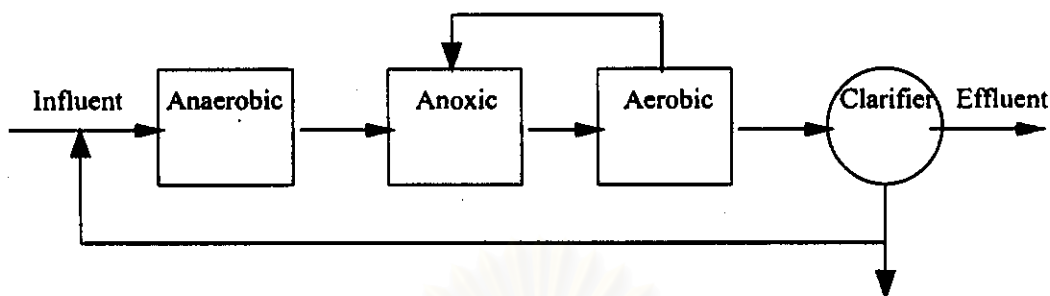


รูปที่ 2 กระบวนการ Phostrip

2. กระบวนการที่สามารถกำจัดได้ทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมี 4 กระบวนการด้วยกัน คือ

2.1 กระบวนการ Three-Stage Phoredox

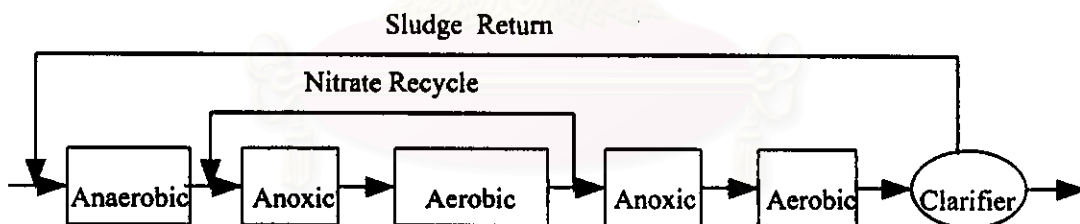
กระบวนการ Three-Stage Phoredox ประกอบด้วยถังแอมโมเนีย/แอน็อกซิก/ออกซิก ดังรูปที่ 3 กระบวนการนี้จะเพิ่มถังแอน็อกซิกขึ้นระหว่างถังแอมโมเนียกับถังออกซิก ทั้งนี้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นสภาพที่น้ำเสียที่ขาดแคลนออกซิเจนอิสระ มีเพียงออกซิเจนในรูปของไนเตรตหรือไนไตรต์เท่านั้น ที่ไนตริฟายอิงแบคทีเรีย จากถังแอมโมเนียจะสามารถนำไปใช้ได้ในการกำจัดไนโตรเจน นี่ก็เป็นทางหนึ่งที่ลดปริมาณไนเตรตที่จะถูกเวียนกลับไปยังถังแอมโมเนีย ซึ่งถ้าหากความเข้มข้นของไนเตรตมีมากเกินไป ก็จะมีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสลดลง



รูปที่ 3 กระบวนการ Three-Stage Phoredox

2.2 กระบวนการ Modified Bardenpho

กระบวนการ Modified Bardenpho จะประกอบด้วย 5 ขั้นตอนด้วยกันดังรูปที่ 4 ซึ่งถังแอนแอโรบิก/แอน็อกซิก และถังออกซิกนั้น จะใช้เพื่อการกำจัดฟอสฟอรัส ไนโตรเจน และคาร์บอน สำหรับถังแอน็อกซิกถังที่สองนั้นมีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เพื่อกำจัดไนเตรดที่มาจากถังแอโรบิกถังแรก ส่วนถังแอโรบิกถังสุดท้าย จะใช้ในการถ่ายเทก๊าซไนโตรเจนที่ยังเหลืออยู่ ออกจากสารละลาย และป้องกันไม่ให้เกิดสภาพแอนแอโรบิกไปเกิดในถังตกตะกอนขั้นที่สอง

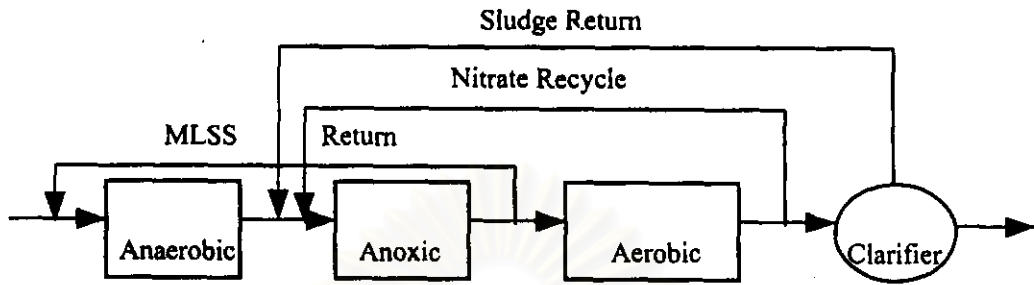


รูปที่ 4 กระบวนการ Five-Stage Bardenpho

2.3 กระบวนการยูซีที (University of Cape Town Process)

กระบวนการยูซีทีรวม 3 ดังหลัก ที่ใช้ในการกำจัดสารประกอบฟอสฟอรัสและไนโตรเจน คือ ส่วนแอนแอโรบิก/แอน็อกซิก/ออกซิก ดังรูปที่ 5 การเวียนสลับของกระบวนการนี้จะเวียนเข้าสู่ถังแอน็อกซิกแทนที่จะเข้าถังแอนแอโรบิก จากนั้นจึงเวียนจากถังแอน็อกซิกไปยังถังแอนแอโรบิก ทั้งนี้เพื่อลดภาวะไนเตรดที่จะไปรบกวนการกำจัดสารประกอบฟอสฟอรัสในส่วนของแอนแอโรบิก สำหรับถังแอน็อกซิกนั้น จะเป็นส่วนที่รับการเกิดสภาพสลับสัปดาห์ เนื่องจาก

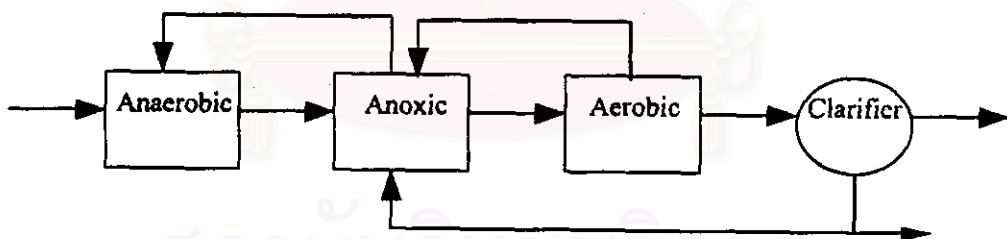
ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ดังนั้นการแยกส่วนนี้ออกจากส่วนที่จะเวียนตะกอนกลับสู่ถังแอนแอโรบิกก็จะทำให้ ในเตรตส่วนเกินที่จะถูกเวียนมายังส่วนนี้ ไม่ไปรบกวนกระบวนการ



รูปที่ 5 กระบวนการ ยูซีที

2.4 กระบวนการ วิโอพี (The Virginia Initiative Plant Process)

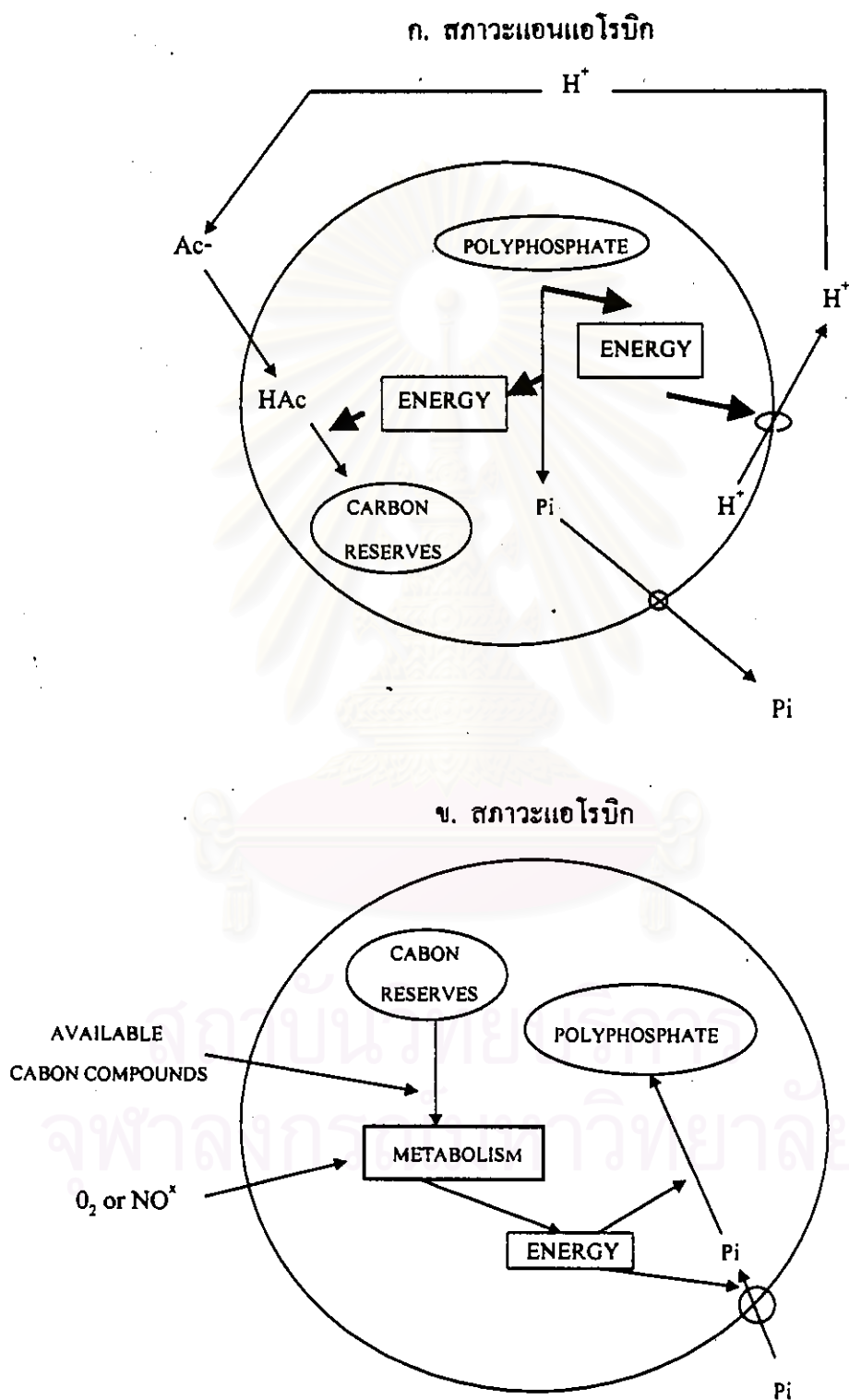
กระบวนการวิโอพี แสดงดังรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่ากระบวนการนี้มีลักษณะคล้ายกับกระบวนการ Three-Stage Phoredox และกระบวนการยูซีทียกเว้นวิธีการเวียนสลัดจ์ของระบบ โดยการเวียนสลัดจ์จากถังแอนโรบิกจะเวียนเข้าสู่ทางเข้าถังแอน็อกซิกและน้ำสลัดจ์จากถังแอน็อกซิกก็จะเวียนเข้าสู่ทางเข้าถังแอนแอโรบิกต่อไป



รูปที่ 6 กระบวนการ วิโอพี

การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพนั้น โดยหลักการแล้วจะต้องออกแบบระบบให้มีระยะไร้อากาศ (anaerobic) สลับกับขั้นตอนการให้อากาศ (aerobic) ระบบบำบัดทางชีวภาพชนิด Three-Stage Phoredox เป็นระบบบำบัดที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้งเพราะมีถัง Anoxic ทำให้ระบบ Three-Stage Phoredox สามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ดี โดยไม่ต้องเติมสารเคมี (ประยูร ฟองสถิตย์กุล และ พรสวรรค์ ศรีสวัสดิ์, 2539)

การกำจัดฟอสฟอรัสโดยการเกิด Luxury phosphorus uptake นั้นสามารถอธิบายได้ใน 2 สถานะแวดล้อมคือ ในสถานะแอนแอโรบิก กับสถานะแอโรบิกดังแสดงในรูปที่ 7 (Comeau et al., 1986)



รูปที่ 7 กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสภายใต้สถานะแอนแอโรบิกและแอโรบิก (Comeau et al., 1986)

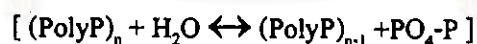
สภาพแอนแอโรบิก ดึงคัดพันธุ์ (biological selector) จะมีสภาวะแวดล้อมที่เป็นประโยชน์ต่อการแข่งขันของแบคทีเรียที่สะสมฟอสเฟตได้มากเป็นพิเศษเพราะแบคทีเรียเหล่านี้สามารถใช้ประโยชน์จากสารอาหารได้ก่อนแบคทีเรียชนิดอื่นๆ ในสภาพที่ไร้ออกซิเจน

Sedlak ในปี 1991 กล่าวว่า ภายในถังเลี้ยงเชื้อแบบไร้ออกซิเจน ในขั้นแรกจะเกิดการหมัก (fermentation) โดยจุลินทรีย์ที่เป็น facultative จะเปลี่ยนบีโอดีตะตายเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid, VFAs) ชนิดที่มีจำนวนคาร์บอนน้อยๆ เช่น กรดน้ำส้ม (acetic acid, HAc) ต่อมาแบคทีเรียที่สะสมฟอสเฟตได้เป็นพิเศษจะดูดซึมแหล่งคาร์บอน (VFAs) เหล่านี้เข้าไปในเซลล์เพื่อใช้ในกระบวนการเมตาโบลิซึม และส่วนหนึ่งจะเก็บไว้เป็นอาหารสำรองในรูปของ PHB หรือ โกลโคเจน (Suzuki and Yoon, 1989)

สภาพแอนโรบิก PHB ที่เก็บสะสมไว้ภายในเซลล์ก่อนหน้านี้จะถูกย่อยสลายโดยการดึงออกซิเจนจากภายนอกมาใช้ ทำให้ได้เซลล์ใหม่และพลังงานเกิดขึ้นพร้อมๆ กับปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย พลังงานใหม่นี้จะถูกใช้ในการดึงออโรฟอสเฟตจากภายนอกเซลล์มารวมกับ ADP ภายในเซลล์และเก็บสะสมพลังงานในรูปของ ATP ไว้ใช้ในโอกาสต่อไป

Toerien และคณะ (1990) รายงานว่าในสภาพไร้อากาศจะเกิดการหมักเกิดกรดไขมันขึ้นจำนวนมาก จุลินทรีย์ที่สะสมสารประกอบโพลีฟอสเฟตไว้เป็นแหล่งพลังงานจะปลดปล่อยฟอสเฟตออกมา (phosphate release) โดยมีเอนไซม์หลักคือ

Polyphosphatase

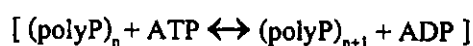


PP:AMP Phosphotransferase



หลังจากนั้นเมื่อจุลินทรีย์เข้าสู่ขั้นตอนการให้อากาศ จุลินทรีย์จะปรับสภาพให้สะสมฟอสเฟตในรูปโพลีฟอสเฟตในเซลล์ในปริมาณที่มากกว่าปกติโดยอาศัยเอนไซม์หลักคือ

Polyphosphate kinase



ซึ่งเมื่อมีการตกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากระบบก็เป็นการนำฟอสเฟตออกจากร่างไปด้วย (ธงชัย พรหมสวัสดิ์ และคณะ, 2539)

การสะสมฟอสฟอรัสจำนวนมากของเซลล์จุลินทรีย์สังเกตุพบครั้งแรกโดย Vaker และคณะ ในปี 1967 จุลินทรีย์ที่สามารถสะสมฟอสฟอรัสในเซลล์ได้เกิดความจำเป็นของเซลล์ เราเรียกว่า โพลีฟอสเฟตแบคทีเรียในสกุล *Acinetobacter* *Pseudomonas* *Aerobacter* *Moraxella* *Escherichia coli* *Mycobacterium* *Beggiatoa* โพลีฟอสเฟตแบคทีเรียเหล่านี้ สามารถที่จะสะสมฟอสฟอรัสได้มากกว่าปริมาณที่เซลล์ปกติจำเป็นต้องใช้ในการเจริญ เซลล์ปกติจะใช้ฟอสฟอรัสระหว่าง 1-3% ของน้ำหนักเซลล์แห้ง ฟอสฟอรัสที่สะสมไว้ในเซลล์จะอยู่ในรูปเม็ดโพลีฟอสเฟต (polyphosphate granules) ซึ่งสามารถสังเกตุได้ภายใต้กล้อง Bright-field หรือ Phase contrast เมื่อย้อมด้วยสี Neisser's stain (Meganck and Faup, 1988) และสังเกตุได้ภายใต้กล้อง Compound microscope เมื่อย้อมเซลล์ด้วย Albert's stain (Smith et al., 1954)

เม็ดโพลีฟอสเฟตนี้จัดเป็นสารอนินทรีย์ฟอสเฟตซึ่งเรียกว่า metachromatic granules หรือ volutin granules เป็นสารอาหารที่แบคทีเรียสะสมไว้เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งฟอสเฟต สังเกตุพบครั้งแรกใน *Corynebacterium diphtheriae* และ *Corynebacterium xerosis* นอกจากนี้ยังพบการสะสม volutin granules ในยีสต์ รน และสาหร่ายอีกด้วย (Dugrid et al., 1954)

ต่อมาในปี 1975 Fuhs และ Chen แยกเชื้อแบคทีเรียจากตะกอนสลัดจ์พบว่าแบคทีเรียสายพันธุ์หลัก คือ *Acinetobacter* sp. และพบการสะสม PHB และสารประกอบโพลีฟอสเฟตในเซลล์ โดย PHB จะสะสมในระยะไร้อากาศ และนำมาใช้เป็นพลังงานสำหรับการสะสมสารประกอบโพลีฟอสเฟตในขั้นตอนการให้อากาศ

poly- β -hydroxybutyrate (PHB) เป็นอาหารสะสมประเภทกรดไขมัน พบประมาณ 7-30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเซลล์ ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานของเซลล์ พบได้ในแบคทีเรียหลายสกุลเช่น *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azotobacter* และ *Acinetobacter*

ในปี ค.ศ. 1980 Deinema และคณะ แยกเชื้อ *Acinetobacter* sp. ได้จากตะกอนสลัดจ์ ศึกษาพบว่าสามารถสะสมสารประกอบโพลีฟอสเฟตได้ระหว่าง 10-20 % ของน้ำหนักเซลล์แห้ง และเจริญได้ดีในสภาวะกรดไขมันต่ำ แอลกอฮอล์และกรดแล็กติกต่ำ ซึ่งสารเหล่านี้สามารถที่จะเกิดขึ้นได้จากการหมักของ facultative anaerobic bacteria

ในปี ค.ศ. 1983 Buchan แยกเชื้อ *Acinetobacter* sp. ได้จากตะกอนสลัดจ์ และศึกษาถึงกลไกการสะสมสารประกอบโพลีฟอสเฟตในเซลล์ พบว่าเซลล์จะปล่อยฟอสเฟตออกมาก่อนในระยะ

ไร้อากาศ และจะสะสมสารประกอบ โพลีฟอสเฟตในเซลล์อย่างมากหลังจากให้อากาศอย่างต่อเนื่อง ร่วมกับการกระตุ้นของผลผลิตจากการหมักของน้ำทิ้งในระยะไร้อากาศ

ในปี ค.ศ. 1991 Shin และ Park พบปรากฏการณ์คล้าย Buchan (1983) แต่พบว่าความเข้มข้นของเซลล์สูงจะทำให้เซลล์สามารถสะสมสารประกอบโพลีฟอสเฟตได้มากขึ้น

ในปี ค.ศ. 1996 Momba และ Cloete พบว่าในกรณีของ *Acinetobacter junii* นอกจากการมีเซลล์เข้มข้นมากแล้วการอยู่ในระยะการเจริญคงที่ (stationary phase) ก็จะทำให้แบคทีเรียสะสมสารประกอบโพลีฟอสเฟตได้อีกด้วย

นอกจากผลงานของนักวิทยาศาสตร์หลายท่านที่พบว่า *Acinetobacter* sp. เป็นแบคทีเรียสายพันธุ์หลักที่มักจะแยกได้จากตะกอนสลัดจ์ที่นำมาจากบ่อบำบัดที่ออกแบบให้กำจัดฟอสเฟตได้แล้ว มีผลงานของ Cloete และ Steyn ปี 1988 ใช้เทคนิค Combined Membrane Filter-Immunofluorescent ศึกษาจำนวน *Acinetobacter* sp. รายงานแย้งว่า *Acinetobacter* sp. ไม่ใช่แบคทีเรียสายพันธุ์หลัก และพบน้อยกว่า 10% ของแบคทีเรียทั้งหมดที่แยกได้จากตะกอนสลัดจ์

ในปี ค.ศ. 1989 Hirashi และคณะ ศึกษาจำนวน *Acinetobacter* sp. ด้วยวิธี Respiratory Quinone Profile ได้ผลการทดลองสอดคล้องกับงานของ Cloete และ Steyn (1988)

ในปี ค.ศ. 1983 Brodisch และ Joyner ศึกษาจำนวนแบคทีเรียในบ่อบำบัดที่กำจัดฟอสเฟตได้ พบว่า *Acinetobacter* มีอยู่เป็นส่วนน้อย แต่พบว่ามีจำนวนของ *Acromonas* และ *Pseudomonas* มากกว่า 50% บริเวณถังให้อากาศ

อย่างไรก็ตามพบว่าบ่อบำบัดที่ Brodisch และ Joyner ใช้ศึกษามีช่วงเวลาที่ตะกอนสลัดจ์กักอยู่ในระยะไร้อากาศ (anaerobic retention time) ยาวกว่าบ่อบำบัดที่ Buchan ศึกษาในปี 1981 ซึ่งมีช่วงเวลาที่ตะกอนสลัดจ์กักอยู่ในระยะไร้อากาศเพียงครึ่งชั่วโมง ซึ่งครั้งนั้นพบ *Acinetobacter* มากถึง 40% ของแบคทีเรียทั้งหมด

Auling และคณะในปี 1991 รายงานว่า *Acinetobacter* จะพบมากในระบบที่น้ำทิ้งมีอัตราภาระอินทรีย์ต่ำ

Streicher และคณะในปี 1990 รายงานว่า โพลีฟอสเฟตแบคทีเรียชนิดใดจะพบมากเป็นพิเศษขึ้นกับส่วนประกอบของน้ำเสียและการออกแบบจัดการควบคุมระบบ

ถึงแม้ว่า *Acinetobacter* จะเป็นแบคทีเรียที่พบเป็นจำนวนมากบ้างน้อยบ้างก็ตาม แต่เป็นที่รู้กันทั่วไปว่าเป็นโพลีฟอสเฟตแบคทีเรียชนิดหนึ่งซึ่งสามารถสะสมฟอสเฟตได้ดี

Acinetobacter sp. เป็นแบคทีเรียแกรมลบ ลักษณะเซลล์เป็นแท่ง (rod) สั้นมาก ขนาดเฉลี่ยระยะการเจริญ (log phase) กว้าง 0.9-1.6 ไมโครเมตร, ยาว 1.5-2.5 ไมโครเมตร เมื่อถึงระยะการเจริญคงที่รูปร่างเกือบจะเป็นรูปกลม (coccus) โดยปกติมักพบเป็นคู่หรือเป็นสายที่มีความยาวต่างกันไป ไม่สามารถสร้างสปอร์ เจริญเติบโตได้ดีในอาหารสมบูรณ์ทั่วไป (complex media)

สมบัติทางชีวเคมี คือ Oxidase-negative, Catalase-positive สามารถใช้แอมโมเนีย หรือไนโตรเจนเป็นแหล่งไนโตรเจนได้ ไม่ต้องการปัจจัยเสริมการเจริญ (growth factor) ไม่สามารถหมักน้ำตาลกลูโคสต้องการออกซิเจนในการเจริญ (non fermentative bacteria, NFB) เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 33-35 องศาเซลเซียส พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ เช่น ดิน น้ำ น้ำทิ้ง สามารถก่อโรคฉวยโอกาสในโรงพยาบาลได้ (nosocomial infections)

ปัจจุบัน *Acinetobacter* มีเพียง species เดียวคือ *Acinetobacter calcoaceticus* แต่มีทั้งสายพันธุ์ที่สร้างกรดและไม่สร้างกรด สายพันธุ์ที่สร้างกรดมีชื่อพ้อง (synonyms) เช่น *Herellea vaginicola*, *Bacterium anitratum*, *Neisseria winogradskyi*, *Achromobacter anitratum*, *Moraxella glucidolyticus*, *Micrococcus cereificans* เป็นต้น ในขณะที่สายพันธุ์ที่ไม่สร้างกรดมีชื่อพ้องเช่น *Alcaligenes haeneolyrans*, *Moraxella lwoffii*, *Mima polymorpha*, *Acinetobacter citroulcaligenes* (Lautrop, 1974)

ในระบบบำบัดทางชีวภาพหัวเมืองท่องเที่ยวชายทะเลต่างๆ เช่น พัทยา ภูเก็ต ฯลฯ จะมีการปนเปื้อนของน้ำทะเลเสมอ เนื่องจากท่อคักน้ำทิ้ง มักจมอยู่ใต้น้ำทะเลขณะน้ำขึ้นสูงสุด (สุจินต์ พนาปวุฒิกุล, 2536) อีกทั้งความคิดที่จะนำน้ำทะเลมาใช้แทนน้ำจืดในส่วนที่อาจทำได้ เช่น ใช้เป็นน้ำซักโครก ทำให้น้ำทิ้งชุมชนปนเปื้อนน้ำทะเลมากขึ้น ในน้ำทะเลทั่วไปมีความเค็มประมาณ 3.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำทะเลเป็นน้ำที่มีแร่ธาตุต่างๆ ละลายปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก แร่ธาตุเหล่านี้จะมีปริมาณแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำที่ไหลลงสู่ทะเล ส่วนประกอบของแร่ธาตุบางชนิดในน้ำทะเลที่มีความเค็ม 3.5 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของน้ำทะเลที่ความเค็ม 3.5 เปอร์เซนต์

แร่ธาตุ	กรัมต่อกิโลกรัม
คลอไรด์	19.353
โซเดียม	10.77
ซัลเฟต	2.721
แมกนีเซียม	1.294
แคลเซียม	0.413
โพแทสเซียม	0.387
ไบคาร์บอเนต	0.142
โบรไมด์	0.067
สตรอนเชียม	0.008
โบรอน	0.004
ฟลูออไรด์	0.001

(ที่มา : Round 1985 The Ecology of Algae หน้า13)

ความเค็มที่เกิดขึ้นจากการปนเปื้อนของน้ำทะเลตลอดถึงการนำน้ำทะเลมาใช้ในบางส่วน ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำทิ้ง ทั้งทางด้านการลดบีโอดี รวมทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส อันจะมีผลกระทบโดยตรงต่อสภาวะแวดล้อมอันเป็นจุดขายของเมืองท่องเที่ยว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาประชากรและประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตของ *Acinetobacter* sp. ในระบบบำบัดน้ำเสียชนิดทวนเค็ม และศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกิจกรรมการกำจัดฟอสเฟตของ *Acinetobacter* sp. ในระบบบำบัดน้ำเสียชนิดทวนเค็ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย