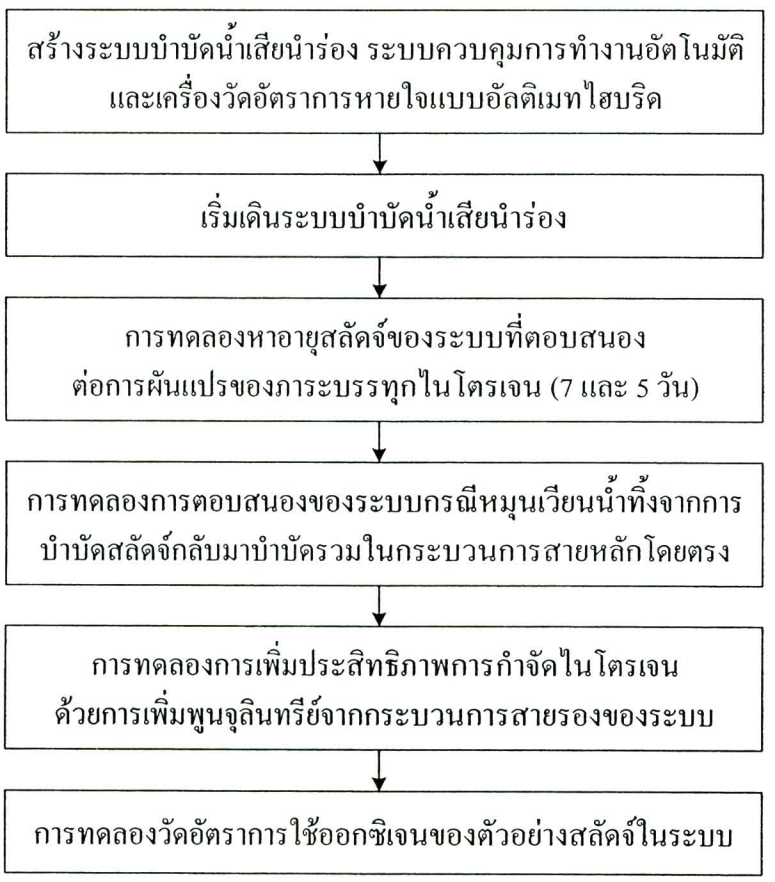
บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการวิจัย

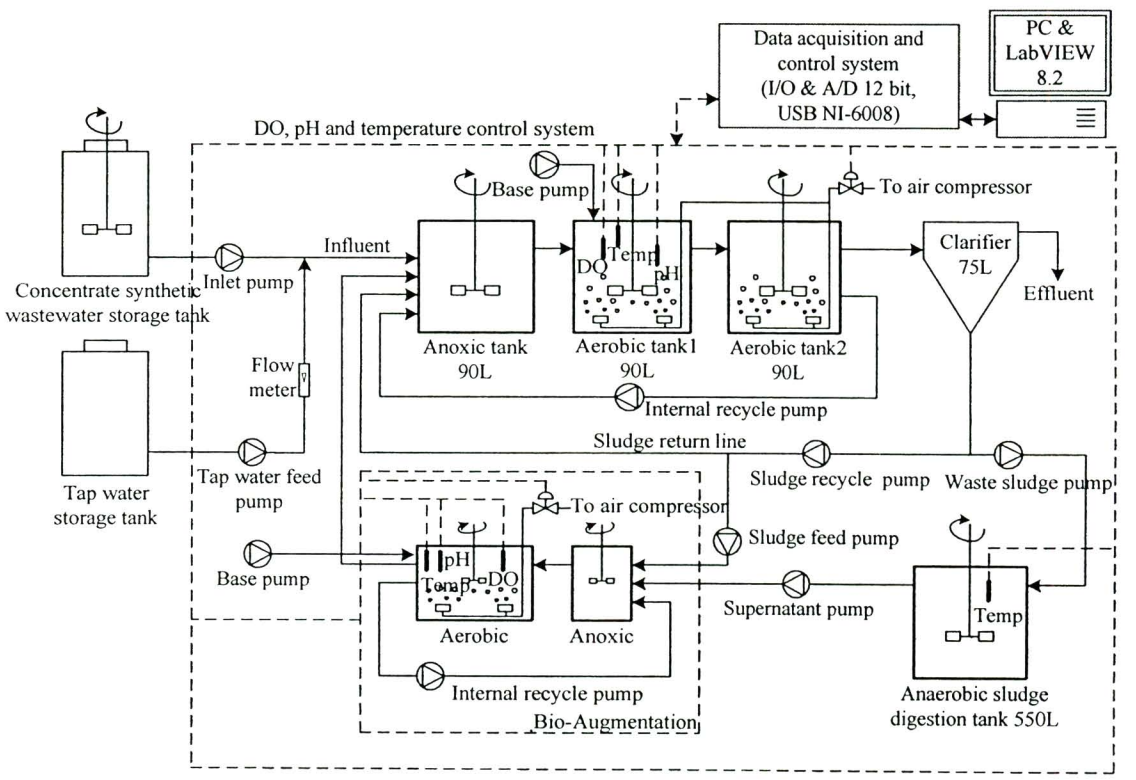
การวิจัยเป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) เพื่อศึกษาการตอบสนองของกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ต่อการผันแปรของภาระบรรทุกในระยะสั้น (Short-term) หรือภายในระยะเวลา 24 ชม. โดยการจำลองสถาณการณ์ที่จะเกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสีย 2 ลักษณะ ได้แก่ สภาวะคงที่และสภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการทดลองวัดอัตราการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ในระบบ ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง แสดงรายละเอียดในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.2 รูปแบบวิธีการและอุปกรณ์การทดลอง

การทดลองเป็นการศึกษาการตอบสนองของระบบภายใต้สภาวะการผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในรอบ 24 ชม. โดยทำการทดลองในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไหลต่อเนื่องเพื่อให้เหมือนกับระบบบำบัดน้ำเสียจริง น้ำเสียชุมชนสังเคราะห์ที่เตรียมไว้จะถูกป้อนระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องชนิดแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ซึ่งประกอบไปด้วย กระบวนการสายหลัก (Main-stream) โดยใช้รูปแบบกระบวนการ MLE (Modified Ludzack-Ettinger) และกระบวนการสายรอง (Side-stream) ประกอบไปด้วย ถังย่อยสลัดจ์แบบแอนแอโรบิกและถังปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์ โดยที่ถังปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์ใช้รูปแบบกระบวนการ MLE เช่นเดียวกับกระบวนการสายหลักแต่มีทิศทางการไหลตรงกันข้าม (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 รูปแบบกระบวนการบำบัดน้ำเสียนำร่องที่รวมกระบวนการสายหลักและกระบวนการสายรอง

การทำงานของอุปกรณ์ในระบบถูกควบคุมด้วยโปรแกรมควบคุมอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นจากโปรแกรมสำเร็จรูป LabVIEW 8.2 (Student edition, National instruments) ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานหรือเดินระบบ ได้แก่ ออกซิเจน อุณหภูมิ และ pH โดยเชื่อมต่อขั้ววัดกับอุปกรณ์

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

แปลงจากสัญญาณระบบอนาล็อก (Analog) เป็นสัญญาณระบบดิจิตอล (Digital) ด้วยUSB NI-6008 (I/O, A/D 12 bit USB-DAQ, National instruments) รายละเอียดการออกแบบถังปฏิกิริยาระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องแสดงในตารางที่ 3.1 (Metcalf and Eddy, 2003)

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องกระบวนการสายหลักและกระบวนการสายรอง

รายละเอียด	ค่าการออกแบบ	
	กระบวนการสายหลัก	กระบวนการสายรอง
อัตราไหลน้ำเสียเข้า (ลิตร/นาที)	0.75	ขึ้นกับการทดลอง
ปริมาตรถังแอนอกซิก (ลิตร)	90	ขึ้นกับการทดลอง
ปริมาตรถังแอโรบิก (ลิตร)	180	ขึ้นกับการทดลอง
ปริมาตรถังตกตะกอน (ลิตร)	75	ขึ้นกับการทดลอง
อัตราส่วนแอนอกซิก/แอโรบิก	1/3	1/3
เวลาเก็บกักถังแอนอกซิก (ชม.)	2	2
เวลาเก็บกักถังแอโรบิก (ชม.)	4	4
เวลาเก็บกักถังตกตะกอน (ชม.)	1	-
ปริมาตรถังย่อยสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก (ลิตร)	-	550
เวลาเก็บกักถังย่อยสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก (วัน)	-	45

3.2.1 การเริ่มเดินระบบและพารามิเตอร์ควบคุมการทำงาน

การเริ่มเดินระบบ (Start up) กระบวนการสายหลักโดยได้นำสลัดจ์เริ่มต้นมาจากระบบบำบัดน้ำเสียชนิดคลองวนเวียน (Oxidation ditch) ของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ ศูนย์อนามัยที่ 5 ตำบลโคกกรวด อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา การเริ่มเดินระบบกระบวนการสายหลักโดยการป้อนน้ำเสียเข้าระบบด้วยความเข้มข้นต่ำกว่าค่าเฉลี่ยร้อยละ 50 เป็นระยะเวลา 5 – 7 วัน โดยไม่มีการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินออกจากระบบ การทำงานของระบบในช่วงนี้เป็นช่วงการปรับตัวของจุลินทรีย์กับสิ่งแวดล้อมใหม่ เช่น อาหารชนิดใหม่ที่เป็นน้ำเสียชุมชนสังเคราะห์และอุณหภูมิประมาณ 28°C ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำคลองในประเทศ พ.ศ. 2545 – 2548 (กรุงเทพมหานคร, สำนักการระบายน้ำ, 2549) หลังจากนั้นเดินระบบตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้กำหนดไว้จนกระทั่ง ระบบปรับตัวเข้าสู่สภาวะคงที่ซึ่งใช้เวลาประมาณ 3 – 4 เท่าของอายุสลัดจ์ของระบบ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544) โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการเดินระบบแสดงรายละเอียด ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์สำหรับควบคุมการเดินระบบ

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์	
	กระบวนการสายหลัก	กระบวนการสายรอง
อุณหภูมิ (°C)	28 ± 0.5	34 ± 1.3
pH	7.5 ± 0.1	7.6 ± 0.2
ออกซิเจนละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)	2.4 ± 0.4	2.5 ± 0.4
อายุสลัดจ์ (วัน)	5 และ 7	0.4
อัตราหมุนเวียนภายใน (ร้อยละ)	100	100
อัตราหมุนเวียนสลัดจ์ (ร้อยละ)	100	-

ในส่วนถังย่อยสลัดจ์ส่วนเกินแบบแอนแอโรบิกได้นำสลัดจ์เริ่มต้นมาจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB (Upflow anaerobic sludge blanket) การเริ่มเดินระบบของถังย่อยสลัดจ์แบบแอนแอโรบิกนี้ได้ดำเนินการพร้อมกับกระบวนการสายหลักเนื่องจากต้องทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินบางส่วนออกจากระบบ อุณหภูมิในถังย่อยสลัดจ์เฉลี่ย 35°C

3.2.2 การเตรียมน้ำเสียชุมชนสังเคราะห์ความเข้มข้นสูง

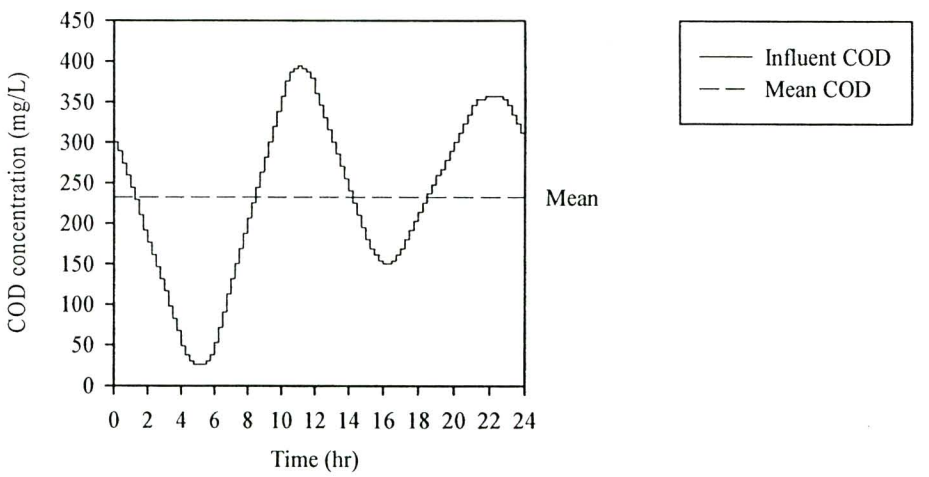
เพื่อลดภาระการทำงานให้น้อลงได้ทำการสังเคราะห์น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองให้มีความเข้มข้นสูง โดยมีองค์ประกอบหลักในน้ำเสียซึ่งมีค่าความเข้มข้นซีโอดี (COD) ทีเคเอ็น (TKN) และฟอสฟอรัส (TP) เฉลี่ยเท่ากับ 4,415, 570 และ 76 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และหลังจากเจือจางด้วยน้ำประปาแล้วมีค่าความเข้มข้นของ COD, TKN และ TP เฉลี่ยเท่ากับ 239, 32.5 และ 4.4 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับลักษณะของน้ำเสียชุมชนจริง (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544; กรมควบคุมมลพิษ และ สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2546; Nopens, Capalozza, and Vanrolleghem, 2001; Henz *et al.*, 2002; Metcalf and Eddy, 2003) ส่วนธาตุอาหารจำเป็นที่ใช้ในปริมาณน้อยจะเติมในสัดส่วนที่จำเป็นต่อการสร้างเซลล์เท่านั้น (ดูรายละเอียดองค์ประกอบน้ำเสียสังเคราะห์ในภาคผนวก ข) น้ำเสียสังเคราะห์ถูกเตรียมขึ้นใหม่และเริ่มต้นป้อนเข้าสู่ระบบที่เวลา 0.00 น. ของทุกรอบวันใหม่

3.2.3 การป้อนน้ำเสียเข้าระบบบำบัดน้ำเสียนำร่อง

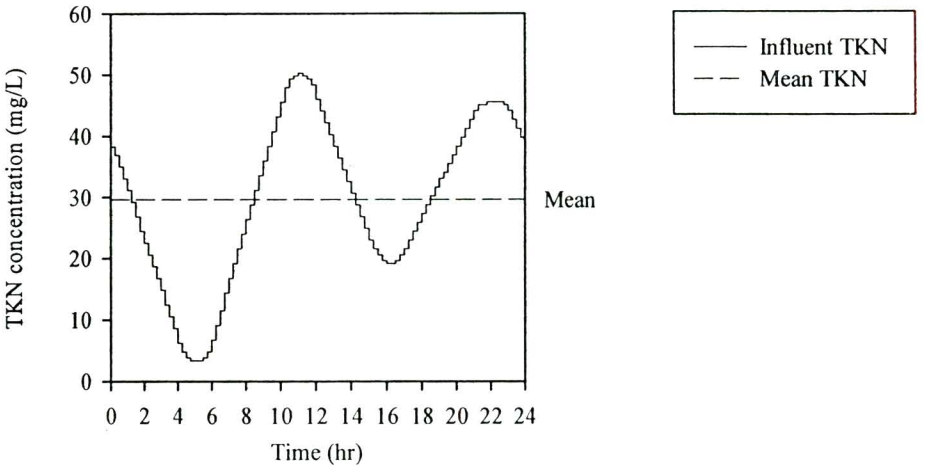
การทดลองได้ออกแบบสภาณการณ์การผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในรอบวันให้มีแนวโน้มการผันแปรเหมือนกับการผันแปรของปริมาณการไหล (Grady *et al.*, 1999; Comas matas, 2000; Metcalf and Eddy, 2003; WEF and ASCE/EWRI, 2006)

และได้ออกแบบให้มีอัตราส่วนความเข้มข้นสูงสุด/ความเข้มข้นเฉลี่ย อัตราส่วนความเข้มข้นต่ำสุด/ความเข้มข้นเฉลี่ย และอัตราส่วนความเข้มข้นสูงสุด/ความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 1.8, 0.1 และ 26.2 ตามลำดับ

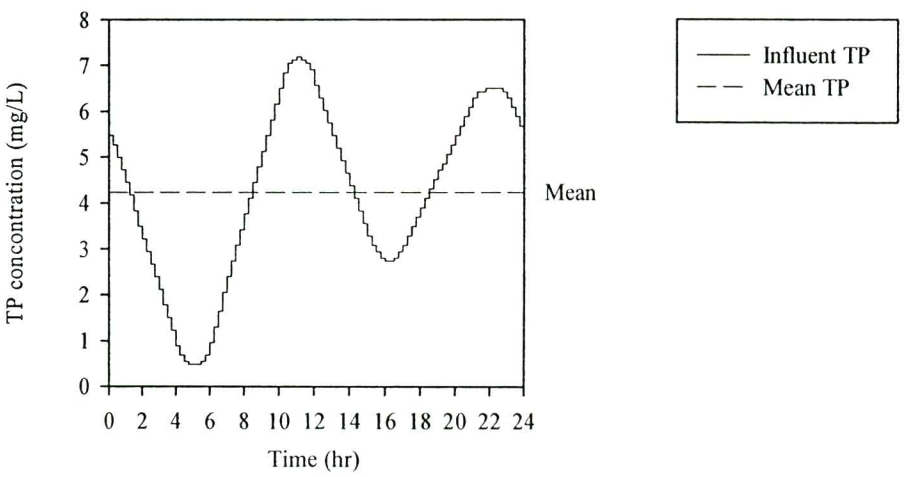
เนื่องจากการทดลองได้กำหนดให้มีการผันแปรเฉพาะในส่วนของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ดังนั้นเพื่อไม่ให้การป้อนน้ำเสียส่งผลกระทบต่อระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ของระบบการป้อนน้ำเสียเข้าระบบได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการป้อนน้ำเจือจาง (น้ำประปา) ด้วยอัตราการไหลคงที่เฉลี่ย 0.71 ลิตร/นาที และในส่วนที่ 2 เป็นการป้อนน้ำเสียชุมชนสังเคราะห์ความเข้นข้นสูงด้วยเครื่องสูบที่ทำงานเป็นห้วง (Pulse) โดยที่ความถี่ของห้วงขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่กำหนดไว้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์และเปลี่ยนระดับความเข้มข้นทุก 15 นาที จนกระทั่งครบ 24 ชม (รูปที่ 3.3 - 3.5) การทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์เครื่องสูบน้ำเสียสังเคราะห์มีอัตราการไหลเฉลี่ย 40 มิลลิลิตร/นาที และการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์เครื่องสูบน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นสูงมีอัตราการไหลเฉลี่ย 45 มิลลิลิตร/นาที และมีช่วงอัตราการไหลต่ำสุด – สูงสุดอยู่ระหว่าง 5 – 75 มิลลิลิตร/นาที การทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบรวมทั้งหมดมีการผันแปรเกิดขึ้นน้อยกว่าร้อยละ 4.7 ของค่าอัตราการไหลเฉลี่ย



รูปที่ 3.3 แนวโน้มการผันแปรความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำเสียเข้าทุก 15 นาที ที่ป้อนเข้ากระบวนการสายหลักด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ข้อมูลได้จากการคำนวณ)



รูปที่ 3.4 แนวโน้มการผันแปรความเข้มข้นของทีเคเอ็นในน้ำเสียเข้าทุก 15 นาที ที่ป้อนเข้ากระบวนการสายหลักด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ข้อมูลได้จากการคำนวณ)



รูปที่ 3.5 แนวโน้มการผันแปรความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำเสียเข้าทุก 15 นาที ที่ป้อนเข้ากระบวนการสายหลักด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ข้อมูลได้จากการคำนวณ)

3.2.4 การทดลองหาอายุสลัดจ์ของระบบที่ตอบสนองต่อสภาวะผันแปรของภาระบรรทุกไนโตรเจน

ขั้นตอนนี้เป็นการทดลองเพื่อหาอายุสลัดจ์ของระบบที่ตอบสนองต่อสภาวะผันแปรของภาระบรรทุกไนโตรเจนที่มีรูปแบบการเดินระบบแบบพื้นฐานเฉพาะกระบวนการสายหลักซึ่งเป็นรูปแบบการเดินระบบพื้นฐานที่ยอมรับโดยทั่วไป โดยเริ่มทำการทดลองที่ค่าอายุสลัดจ์ของระบบเฉลี่ย 7 วัน (ค่าอายุสลัดจ์ที่กำหนดขึ้นครั้งแรกในการเริ่มเดินระบบ) เก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองและตัวอย่างน้ำทิ้งออกใน 2 สภาวะการทดลอง ได้แก่ การทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุก

สารอินทรีย์และหลังจากนั้นเป็นการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ซึ่งในแต่ละเงื่อนไขการทดลองเก็บรวบรวมตัวอย่างน้ำทิ้งออกทุก 2 ชม. ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 วัน (36 ตัวอย่าง) และหลังจากนั้นลดอายุสลัดจ์ของระบบลงไปที่เฉลี่ย 5 วันโดยเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองและตัวอย่างน้ำทิ้งออกในลักษณะเดียวกันกับการทดลองที่อายุสลัดจ์ 7 วัน

การเปลี่ยนเงื่อนไขการทดลองจากสภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ไปเป็นการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้เว้นระยะเวลา 1 วัน เพื่อให้ระบบเปลี่ยนถ่ายเข้าสู่สภาวะการทดลองใหม่และครบรอบของสภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ได้ตั้งค่าไว้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ส่วนการทดลองที่ต้องปรับเปลี่ยนอายุสลัดจ์ของระบบได้ทำการเดินระบบต่อเนื่องอย่างน้อย 2 เท่าของอายุสลัดจ์เพื่อให้ระบบปรับตัวเข้ากับเงื่อนไขของการทดลองใหม่ก่อนทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองและตัวอย่างน้ำทิ้งออกจากระบบ

3.2.5 การทดลองการตอบสนองของระบบกรณีหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับเข้ามาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง

หลังจากได้ค่าอายุสลัดจ์ของระบบที่ตอบสนองต่อสภาวะผันแปรของภาระบรรทุกไนโตรเจนจากการทดลองในหัวข้อที่ 3.2.4 แล้ว ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนและผลกระทบจากการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ส่วนเกินแบบแอนแอโรบิกกลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง ซึ่งเป็นรูปแบบการเดินระบบอีกรูปแบบหนึ่งที่นิยมและยอมรับกันโดยทั่วไปสำหรับการบำบัดน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ส่วนเกินที่เกิดขึ้นภายในระบบบำบัดน้ำเสียชนิดแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ โดยเปรียบเทียบกับการเดินระบบในรูปแบบพื้นฐานเฉพาะกระบวนการสายหลักในการทดลองข้อ 3.2.4 การเดินระบบในขั้นตอนนี้ได้ทำการทดลองใน 2 สภาวะ ได้แก่ การทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์และหลังจากนั้นเป็นการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และเก็บรวบรวมตัวอย่างน้ำทิ้งออกจากระบบทุก 2 ชม. ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 วัน (36 ตัวอย่าง) เช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อ 3.2.4

3.2.6 การทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ด้วยกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์

ในขั้นตอนนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพและศักยภาพของกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ด้วยกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ และสัดส่วนที่เหมาะสมของสลัดจ์จากระบบหมุนเวียนต่อน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ในถังปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์โดยเดินระบบพร้อมกันทั้งกระบวนการสายหลักและกระบวนการสายรอง การทดลองนี้แบ่งสลัดจ์ 1.7 – 42.5 มิลลิลิตร/นาที จากสายท่อหมุนเวียนสลัดจ์ (Sludge return line) ของกระบวนการสายหลักป้อนเข้าถังปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์ (รูปที่ 3.2) เพื่อรวมกับน้ำทิ้งจากถังย่อยสลัดจ์แบบแอนแอโรบิกซึ่งมีอัตราการไหลเข้าสู่ถังปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์คงที่เฉลี่ย 8.5 มิลลิลิตร/นาที การทดลองใน

ขั้นตอนนี้ศึกษาใน 2 สภาวะ ได้แก่ การทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์และหลังจากนั้นเป็นการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์เช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อ 3.2.4 และ 3.2.5

การเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองและตัวอย่างน้ำทิ้งออกการทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ลดลงเหลือ 1 วัน (12 ตัวอย่าง) และการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ลดลงเหลือ 2 วัน (24 ตัวอย่าง) การเปลี่ยนเงื่อนไขการทดลองในสัดส่วนสลัดจ์ต่อน้ำเสียใหม่ได้ทำการเดินระบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลาอย่างน้อยเท่ากับค่าอายุสลัดจ์ที่ใช้ในการเดินระบบก่อนทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและตัวอย่างน้ำทิ้งออกจากระบบ รายละเอียดการทดลองในขั้นตอนนี้แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การทดลองการเพิ่มพูนจุลินทรีย์

การทดลอง	สัดส่วน สลัดจ์ : น้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์	การเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลอง	
		ภายใต้สภาวะคงที่	ภายใต้สภาวะผันแปร
Bio0.2:1	0.2 : 1	x*	x
Bio1:1	1 : 1	x*	x
Bio3:1	3 : 1	x*	x
Bio3:1-2TKN	3 : 1 (ความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำเสียเข้าเพิ่มขึ้น 2 เท่า)	-	x*
Bio3:1-syn	3 : 1 (น้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์สังเคราะห์)	-	x*
Bio5:1	5 : 1	x*	x

หมายเหตุ : * เก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองและตัวอย่างน้ำทิ้งออก 1 วัน (12 ตัวอย่าง)

3.2.7 การทดลองวัดอัตราการใช้ออกซิเจนของตัวอย่างสลัดจ์ในระบบ

การวัดอัตราการหายใจหรืออัตราการใช้ออกซิเจน (Oxygen uptake rate, OUR) ดำเนินการโดยใช้เครื่องวัดอัตราการหายใจแบบอัลติเมทไฮบริด (ดูรายละเอียดของเครื่องวัดอัตราการหายใจแบบอัลติเมทไฮบริดในภาคผนวก ค) การทดลองวัดอัตราการใช้ออกซิเจนเริ่มต้นด้วยการเติมตัวอย่างสลัดจ์ลงไปในเครื่องวัดอัตราการหายใจและเติมอากาศจนกระทั่งตัวอย่างสลัดจ์เข้าสู่สภาวะการหายใจแบบเอ็นโดจีนัส และหลังจากนั้นเติมสารอาหารที่ย่อยได้ง่ายให้กับตัวอย่างสลัดจ์ เช่น อะซิเตทเพื่อวัดอัตราการใช้ออกซิเจนของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรียหรือแอมโมเนียมเพื่อวัด

อัตราการใช้ออกซิเจนของแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย ขณะทำการทดลองควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างสลัดจ์เฉลี่ย 28°C และค่า pH อยู่ระหว่าง 7.5 – 7.8 รายละเอียดการทดลองและพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของจุลินทรีย์ที่แปลผลจากข้อมูลอัตราการใช้ออกซิเจนแสดงในตารางที่ 3.4 (ขั้นตอนการทดลองและตัวอย่างการแปลผลข้อมูลการทดลองโดยละเอียดดูในภาคผนวก ค)

ตารางที่ 3.4 วิธีการทดลองและข้อมูลสำหรับการแปลผลเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของตัวอย่างสลัดจ์

พารามิเตอร์	แหล่งข้อมูล	อ้างอิงวิธีการทดลอง
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_{maxH} และ μ_{maxAOB})	OUR	Kappeler and Gujer (1992)
อัตราการเน่าเปื่อย (b_H และ b_A)	OUR	Spanjers and Vanrolleghem (1995)
สัมประสิทธิ์ผลได้หรือยีลด์ (Y_H และ Y_{AOB})	OUR	Muller, Wentzel, and Ekama (2004) Jubany (2007)
ค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหาร (K_S และ K_{NH})	OUR	Cech *et al.* (1984)

3.2.8 การเตรียมตัวอย่างสลัดจ์

การเตรียมตัวอย่างสลัดจ์ก่อนนำไปวัดอัตราการการใช้ออกซิเจนโดยการเติมอากาศให้กับตัวอย่างสลัดจ์ทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชม. และควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ย 28°C เพื่อให้สลัดจ์อยู่ในสภาวะการหายใจแบบเอ็นโดจีนัสและไม่มีสารอาหารตกค้างในสลัดจ์ และก่อนนำตัวอย่างสลัดจ์ไปทำการทดลองวัดอัตราการใช้ออกซิเจนได้ทำการล้างด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง และน้ำกลั่น 1 ครั้ง เพื่อลดการรบกวนจากสารเคมีที่ตกค้างในสลัดจ์ (Artiga, Gonzalez, Mosquera-Corral, Campos, Garrido, Ficara, and Mendez, 2005)

3.2.9 การเตรียมสารอาหารสำหรับเติมให้กับตัวอย่างสลัดจ์

การทดลองวัดอัตราการใช้ออกซิเจนใช้สารอาหาร 2 ชนิด ได้แก่ สารอาหารที่มีค่าความเข้มข้นซีโอดี 13 กรัม/ลิตร (ละลายโซเดียมอะซิเตท 20 กรัมในน้ำกลั่น 1 ลิตร) และสารอาหารที่มีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียม 1 กรัม/ลิตร (ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 2.97 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร) ก่อนการเติมสารละลายให้กับตัวอย่างสลัดจ์ได้ปรับอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิที่กำหนดสำหรับการทดลอง (28°C) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในตัวอย่างสลัดจ์อย่างฉับพลันซึ่งจะส่งผลต่อการอ่านค่าของขั้ววัดออกซิเจนได้

3.3 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง

เนื่องจากเป็นการทดลองและศึกษาการตอบสนองของระบบในระยะสั้น (Short-term) หรือภายในระยะเวลา 24 ชม. โดยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ควบคุมการเดินระบบและตัวอย่างน้ำทิ้งออกจากระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องทุก 2 ชม. (12 ตัวอย่าง/วัน) ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 วัน (ขึ้นอยู่กับสภาวะและเงื่อนไขของการทดลอง) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าซีโอดี (COD) ทีเคเอ็น (TKN) และฟอสฟอรัส (TP) ส่วนลักษณะน้ำเสียเข้าและของแข็งแขวนลอย (MLSS) ในระบบเก็บตัวอย่างวันละ 1 ครั้ง และทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน (American Public Health Association (APHA), 2005) ข้อมูลจากการทดลองวัดอัตราการใช้ออกซิเจนโดยใช้เครื่องวัดการหายใจแบบอัลติเมทไฮบริดถูกเก็บบันทึกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทุก 3 วินาที

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาแปลผลและเปรียบเทียบทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel และโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ได้แก่ โปรแกรม Origin Pro และโปรแกรม SigmaPlot การประมาณค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของจุลินทรีย์แปลผลจากข้อมูลอัตราการใช้ออกซิเจนโดยใช้หลักการสมดุลมวลและสมการเชิงเส้นตรงบนพื้นฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ 1 (ASM1) (Henze *et al.*, 2000)

3.4 เครื่องมือสำหรับการทำวิจัย

3.4.1 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ซีโอดี

3.4.2 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ไนโตรเจน

3.4.3 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ฟอสฟอรัส

3.4.4 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหย

3.4.5 เครื่องเติมอากาศชนิดอัดความดัน

3.4.6 ชุดเครื่องวัดอัตราการหายใจแบบอัลติเมทไฮบริด

3.4.7 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

3.5 สถานที่ทำการวิจัย

การวิจัยดำเนินการทดลองที่อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 4 และ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

3.6 สรุป

การทดลองได้ออกแบบให้อยู่บนพื้นฐานความต้องการและเพื่อให้เกิดความมั่นใจที่จะสามารถนำรูปแบบกระบวนการไปประยุกต์ใช้งานได้จริง โดยออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องโดยใช้รูปแบบกระบวนการกำจัดไนโตรเจนพื้นฐานที่มีลักษณะเหมือนกับกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบธรรมดาและออกแบบให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อให้สามารถจำลองสถานการณ์การทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียจริงได้ครบทุกส่วน รูปแบบกระบวนการที่ออกแบบขึ้นมาสำหรับการทดลองช่วยให้มองเห็นถึงความเชื่อมโยงของแต่ละหน่วยปฏิบัติการได้เป็นอย่างดี พร้อมกันนี้ ได้เพิ่มระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ ได้แก่ การควบคุมค่าออกซิเจนละลาย ค่าอุณหภูมิ และค่า pH เพื่อให้ระบบทำงานอยู่ภายใต้สภาวะหรือเงื่อนไขที่เหมือนกัน ซึ่งส่งผลให้ผลการทดลองมีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรกเป็นการทดลองเพื่อหาอายุสลัดจ์ของระบบที่ตอบสนองต่อสภาวะผันแปรของภาระบรรทุกไนโตรเจนที่มีรูปแบบการเดินระบบแบบพื้นฐานเฉพาะกระบวนการสายหลัก ขั้นตอนที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการตอบสนองของระบบกรณีหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์แบบแอนโรบิกกลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง ขั้นตอนที่ 3 เป็นการทดลองเพื่อเพิ่มศักยภาพการกำจัดไนโตรเจนภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกด้วยวิธีการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ การทดลองทั้งหมดได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการตอบสนองของระบบใน 2 ลักษณะคือ การเดินระบบภายใต้สภาวะคงที่และภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ขั้นตอนสุดท้าย เป็นการทดลองวัดอัตราการใช้ออกซิเจนของตัวอย่างสลัดจ์ในระบบบำบัดน้ำเสียนำร่อง

อุปกรณ์การทดลองเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่มีรูปแบบกระบวนการ MLE ซึ่งเป็นกระบวนการสำหรับกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ ระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องแบ่งย่อยออกเป็น 2 กระบวนการได้แก่กระบวนการสายหลักและกระบวนการสายรองโดยที่กระบวนการสายหลักจะประกอบด้วยถังแอนอกซิก ถังแอโรบิกและถังตกตะกอนปริมาตร 90, 180 และ 75 ลิตร ตามลำดับ และมีเวลาเก็บกักเฉลี่ย 2, 4 และ 1 ชม. ตามลำดับกระบวนการสายรองประกอบด้วยถังย่อยสลัดจ์ส่วนเกินแบบแอนแอโรบิกปริมาตร 550 ลิตร เวลาเก็บกักเฉลี่ย 45 วัน และถังปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์ได้กำหนดเวลาเก็บกักถังแอนอกซิกและถังแอโรบิกเท่ากับ 2 และ 4 ชม. ปริมาตรของถังปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับสัดส่วนผสมระหว่างสลัดจ์จากระบบหมุนเวียนและน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก

ระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องควบคุมการทำงานด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมและตรวจสอบติดตามการทำงานของระบบพัฒนาขึ้นมาจากโปรแกรมสำเร็จรูป LabVIEW 8.2 (Student edition) พารามิเตอร์ควบคุมการเดินระบบกระบวนการสายหลัก

ได้แก่ อุณหภูมิ 28°C ค่า pH 7.5 และออกซิเจนละลาย 2.4 มิลลิกรัม/ลิตร และพารามิเตอร์ควบคุมการเดินระบบกระบวนการสายรอง ได้แก่ อุณหภูมิ 34°C ค่า pH 7.6 และออกซิเจนละลาย 2.5 มิลลิกรัม/ลิตร

การทดลองวัดอัตราการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ในระบบได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ลักษณะตามชนิดของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียชนิดแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ได้แก่ การทดลองวัดอัตราการใช้ออกซิเจนของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรีย (X_{BH}) และการทดลองวัดอัตราการใช้ออกซิเจนของแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย (X_{AOB}) พารามิเตอร์จลนศาสตร์สำคัญที่สามารถแปลผลได้จากข้อมูลอัตราการใช้ออกซิเจน ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ผลได้หรือยีลด์ (Y) ค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหาร (K) อัตราการเน่าเปื่อย (b) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) โดยในขั้นตอนการทดลองได้ควบคุมพารามิเตอร์ให้เหมือนกับพารามิเตอร์ควบคุมการเดินระบบ ในระบบบำบัดน้ำเสียนำร่อง เช่น ค่า pH 7.5 และอุณหภูมิ 28°C

เครื่องวัดอัตราการหายใจที่ใช้ในการทดลองได้พัฒนาขึ้นมาสำหรับการวิจัยโดยเฉพาะเรียกว่า เครื่องวัดอัตราการหายใจแบบอัลติเมทไฮบริด เครื่องมือวัดชนิดนี้มีข้อดีที่สำคัญได้แก่ สามารถทำการทดลองได้ต่อเนื่องและเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองได้ละเอียดทุก 3 วินาที ซึ่งช่วยทำให้ความถูกต้องการวัดเพิ่มสูงขึ้น การทดลองใช้เวลาสั้นลงและเป็นเครื่องวัดอัตราการหายใจที่ดีกว่าเครื่องวัดอัตราการหายใจที่มีอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน