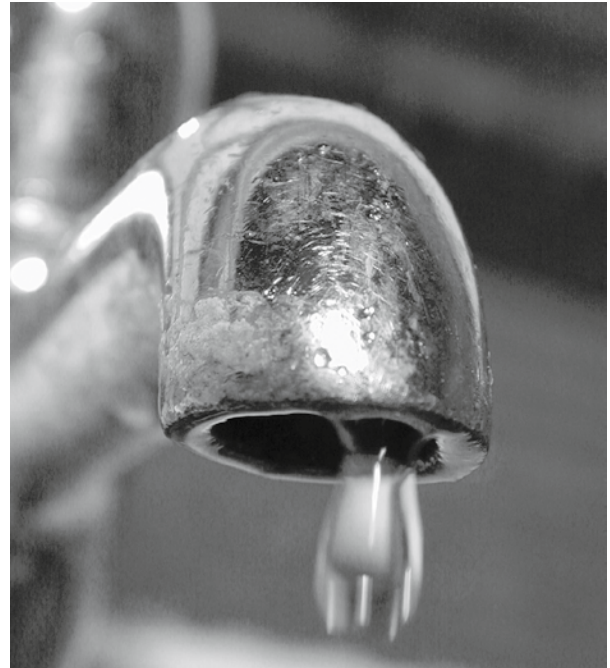


Activated Sludge

ระบบชีวภาพบำบัดแบบใช้อากาศ

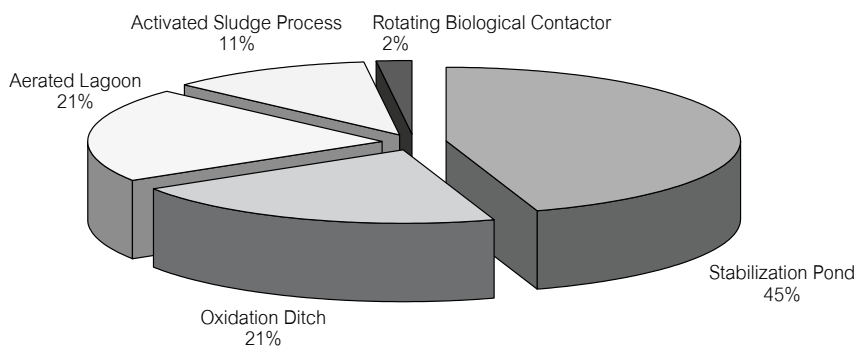
ระบบแอคติเวตเต็ดสลัดจ์อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์เป็นหลัก ดังนั้นการควบคุมสภาพแวดล้อม อาทิ ค่าออกซิเจนละลาย อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นต้น เพื่อให้จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญมาก นอกเหนือจากการควบคุมการทำงานของเครื่องมือ - อุปกรณ์ หากไม่สามารถควบคุมให้สามารถทำงานได้ตามปกติ อาจก่อให้เกิดปัญหาตามมาได้



กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา (biological treatment) อาศัยหลักการทำงานคล้ายกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เป็นการนำสิ่งมีชีวิตเป็นตัวช่วยในการเปลี่ยนสภาพของเสียในน้ำให้อยู่ในสภาพที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะมลพิษต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ เป็นกระบวนการที่เกิดจากจุลินทรีย์ซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติใช้สารอินทรีย์หรือสิ่งสกปรกที่เจือปนในน้ำเสียเป็นอาหาร เมื่อเกิดการย่อยสลาย สารอินทรีย์ก็จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และเซลล์จุลินทรีย์จำนวนมาก ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์หรือความสกปรกในน้ำลดลงหรือหมดไป

ระบบบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพแบบใช้อากาศ ที่นิยมใช้ในประเทศไทยมีด้วยกันหลายระบบ เช่น ระบบแอคติเวตเต็ดสลัดจ์ (activated sludge, AS) ระบบคลองวนเวียน (oxidation ditch, OD) ระบบจานหมุนชีวภาพ (rotating biological contactors, RBC) ระบบบ่อผึ่ง (oxidation pond, OP) และระบบสระเติมอากาศ (aerated lagoon, AL) เป็นต้น

กรมควบคุมมลพิษ (2547) ได้สำรวจและรวบรวมประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนรวม พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนรวมที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ ระบบบ่อปรับเสถียร ซึ่งอาศัยการบำบัดทางชีวภาพตามธรรมชาติ มากที่สุด (สูงถึง 45 เปอร์เซ็นต์) ตามด้วยระบบสระเติมอากาศ และระบบคลองวนเวียน (21 เปอร์เซ็นต์เท่ากัน) และระบบแอคติเวตเต็ดสลัดจ์ (11 เปอร์เซ็นต์) ดังแสดงในรูปประกอบที่ 1



▲ รูปประกอบที่ 1 สัดส่วนชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียที่เลือกใช้ เพื่อการบำบัดน้ำเสียชุมชนในประเทศไทย (สำรวจโดยกรมควบคุมมลพิษ, 2547)



ระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ เป็นระบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นจนเป็นระบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย พร้อมทั้งมีการประยุกต์ระบบให้สอดคล้องต่อการใช้งานได้มากขึ้น ระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ มีรูปแบบปฏิกิริยาแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการจัดวางและรูปแบบของถังเติมอากาศ แต่ทุกแบบมีหลักการเหมือนกันคือ ระบบจะต้องประกอบด้วยถังปฏิกิริยา ซึ่งเป็นถังเติมอากาศ (aeration tank) และถังตกตะกอน (sedimentation tank) น้ำทิ้งจะถูกสูบเข้าถังเติมอากาศ เพื่อทำปฏิกิริยากับแบคทีเรียอัตราการทำลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียจะถูกเร่งให้เร็วขึ้นโดยการเพิ่มปริมาณออกซิเจนและปริมาณแบคทีเรีย ดังนั้นแบคทีเรียจะสลายสารอินทรีย์และสิ่งสกปรกในน้ำเสียเป็นอาหารและเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว ปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศจะมีมากจนจับเป็นตะกอนขึ้นใหญ่ ๆ มีสีน้ำตาลเข้ม น้ำผสมระหว่างน้ำทิ้งกับตะกอนแบคทีเรียในถังเติมอากาศเรียกว่า *Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)* จะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน เพื่อแยกตะกอนแบคทีเรียออกจะได้ น้ำทิ้งที่ใส และมีค่าความสกปรกต่ำจนผ่านมาตรฐานน้ำทิ้ง ส่วนตะกอนที่จมอยู่ก้นถังตกตะกอนส่วนใหญ่ถูกสูบเข้าถังเติมอากาศ เพื่อรักษาปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศให้คงที่ ตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปกำจัดต่อไป

ในอดีตระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ ที่นิยมใช้กันมากคือระบบแบบเติมอากาศแบบสมบูรณ์ (complete - mixed) แบบขั้นตอนเดียว ซึ่งมีถังเติมอากาศที่สามารถหมุนให้ตะกอนเข้ากับน้ำเสียเป็นเนื้อเดียวกันได้ตลอดทั้งถัง อาจเป็นถังสี่เหลี่ยมหรือทรงกลมก็ได้ ระบบนี้จะมีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียได้สูง โดยสามารถลดค่า BOD₅ (biochemical oxygen demand) ของน้ำเสียได้ร้อยละ 80-95 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการและปัจจัยควบคุมการทำงานของระบบ แต่ระบบนี้ จะทำให้เกิด

ตะกอนเหลือทิ้งจำนวนมาก และมักพบปัญหาตะกอนสายใยและตะกอนยกตัวในถังตกตะกอน

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น ระบบคลองวนเวียนซึ่งเป็นระบบแอกติเวเตดสลัดจ์อีกประเภทหนึ่ง (ดูรูปประกอบที่ 2) ที่ผู้ออกแบบเลือกใช้ โดยจะออกแบบให้น้ำเสียไหลภายในคลองวนเวียนตามแนวยาวอย่างช้า ๆ (ไหลแบบ plug flow) สามารถเลือกที่จะติดตั้งเครื่องเติมอากาศเพียงบางจุด (เว้นช่วงการเติมอากาศตามระยะทาง) เพื่อช่วยให้จุลินทรีย์สามารถทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ และเนื่องจากสามารถเลือกเติมอากาศได้ จึงเหมาะที่จะออกแบบให้ระบบสามารถบำบัดธาตุอาหารได้พร้อมกับบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอน อีกทั้งระบบนี้ช่วยลดการเกิดปัญหาตะกอนลอย อันเนื่องจากแบคทีเรียสายใยได้อีกด้วย



▲ รูปที่ 2 ตัวอย่างคลองวนเวียน สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในประเทศไทย

สำหรับในประเทศไทย ระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ที่นิยมใช้คือ ระบบเติมอากาศแบบยืดระยะเวลา หรือ Extended Aeration Activated Sludge (EAAS) ที่มีระยะเวลาการเติมอากาศนานกว่าธรรมดา ทำให้ถังเติมอากาศของระบบนี้จะมีขนาดใหญ่กว่าระบบอื่น ๆ แต่สามารถแก้ไขข้อด้อยของระบบแบบ Complete Mixed คือ จะลดปริมาณตะกอนที่ต้องทิ้งและความจำเป็นที่จะต้องควบคุมการทำงานอย่างใกล้ชิด โดยระบบนี้นิยมใช้ในระบบบำบัดขนาดเล็ก ที่มีปริมาณน้ำเสียไม่มากนัก (ธีระ แกรอด, 2539)

หลักการการทำงานของระบบแอกติเวเตดสลัดจ์

ระบบแอกติเวเตดสลัดจ์อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์เป็นหลัก ดังนั้นการควบคุมสภาพแวดล้อม อาทิ ค่าออกซิเจนละลาย อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นต้น เพื่อให้จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างมาก นอกเหนือจากการควบคุมการทำงานของเครื่องมือ - อุปกรณ์ หากไม่สามารถควบคุมให้สามารถทำงานได้ตามปกติ อาจก่อให้เกิดปัญหาตามมาได้ ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นในด้านการทำงานของระบบแอกติเวเตดสลัดจ์โดยทั่วไปแล้ว จะพบปัญหาหลักสองประการด้วยกัน คือ

1. ระบบไม่สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ และธาตุอาหารได้
2. บางส่วนของตะกอนจุลินทรีย์ไม่สามารถตกตะกอนได้ หรือตกตะกอนได้ช้ามาก ทำให้ไม่สามารถลดปริมาณสารแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดลงได้

สารอินทรีย์คาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำเสียอาจแบ่งได้เป็นสารอินทรีย์คาร์บอนที่พร้อมต่อการย่อยสลาย (readily biodegradable carbon) และสารอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ช้า (slowly biodegradable carbon) สำหรับสารอินทรีย์คาร์บอนที่พร้อมต่อการย่อยสลาย จะเป็นกลุ่มคาร์บอนที่ถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหาร (อย่างรวดเร็ว) เพื่อวัตถุประสงค์สองประการ คือ เพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำหรับดำรงชีวิตและเจริญเติบโต และเป็นแหล่งวัตถุดิบในการสร้างเซลล์ใหม่

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียสัมพันธ์กับจุลินทรีย์แบบใช้อากาศสามารถอธิบายได้โดยปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง (first order reaction) และสมการของ Monod ดังสมการที่ (1)

$$\mu_{obsS} = \mu_{max} \cdot \frac{S_s}{S_s + K_s} \quad (1)$$

โดยที่

- μ_{obsS} = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์ (ต่อวัน)
- μ_{max} = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์ (ต่อวัน)
- S_s = ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (กก./ลบ.ม.)
- K_s = ค่าคงที่การอิ่มตัว (กก./ลบ.ม.)

และจากสมการของ Monod ผลกระทบจากค่าความเข้มข้นของออกซิเจนที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยก็สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (2)

$$\mu_{obsO} = \mu_{max} \cdot \frac{S_{O_2}}{S_{O_2} + K_{s,O_2}} \quad (2)$$

โดยที่

- μ_{obsO} = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์ (ต่อวัน)
- S_{O_2} = ความเข้มข้นของออกซิเจน
- K_{s,O_2} = ค่าคงที่การอิ่มตัวของออกซิเจน

ผลกระทบจากค่าความเข้มข้นของออกซิเจนและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่ออัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยสามารถอธิบายได้จากสมการของ Monod ดังสมการที่ (3)

$$\mu_{obsO} = \mu_{max} \cdot \frac{S_s}{S_s + K_s} \cdot \frac{S_{O_2}}{S_{O_2} + K_{s,O_2}} \quad (3)$$

นอกจากนั้นแล้วสมการของ Monod ยังใช้อธิบายความต้องการธาตุอาหารได้อีกด้วย ดังสมการ (4) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากขาดไนโตรเจน หรือฟอสฟอรัส การทำงานของระบบฯ จะถูกยับยั้ง และส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดต่ำลง หรือไม่สามารบบำบัดได้ในที่สุด

$$\frac{S_{NH_4}}{S_{NH_4} + K_{s,NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{S_{PO_4} + K_{s,PO_4}} \quad (4)$$

จะเห็นว่า ปัจจัยหลักในการควบคุมการทำงานของระบบบำบัดแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ให้มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์นั้น คือ ปริมาณสารอินทรีย์ และปริมาณออกซิเจน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการบำบัดสารอินทรีย์ในระบบ ซึ่งหากค่าสารอินทรีย์ หรือ BOD₅ มีไม่เพียงพอ คือ อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำ (มีอาหารน้อย) จนทำให้จำนวนจุลินทรีย์เจริญเติบโตลดน้อยลง และไม่สามารถที่จะรักษาความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศได้ จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดต่ำลง และหยุดทำงานในที่สุด สำหรับกรณีที่มีสารอินทรีย์มากเกินไป หรือ มีค่า BOD₅ สูงเกินไป จะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะไร้อากาศ (มีการใช้ออกซิเจนไปอย่างรวดเร็ว จนไม่สามารถรักษาสภาพมีอากาศได้)

สำหรับค่าออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen, DO) หรือที่เรียกว่า ค่าดีไอนั้น ในอดีตผู้ออกแบบระบบฯ มักแนะนำให้เติมอากาศให้มีค่าคงที่ไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตรอยู่ตลอดเวลา เพื่อป้องกันปัญหาแบคทีเรียสายใย หากผู้ควบคุมระบบไม่สามารถควบคุมการเติมอากาศให้เหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ ก็จะทำให้เกิดปัญหาทั้งสองประเภท คือ

1. ปริมาณออกซิเจนละลายในถังเติมอากาศมีค่าที่ลดลงในช่วงเวลา ทำให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นจากแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณซัลเฟตจำนวนมากในน้ำเสีย (เช่นโรงงานผลิตภัณฑ์จากยางพารา) หรือ ค่าบีโอดีสูงในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (บำบัดไม่หมด)

2. เติมอากาศมากเกินไป ทำให้เกิดปัญหาตะกอนยกตัวในถังตกตะกอน (sludge rising) นอกจากนี้จะทำให้มีปริมาณสารแขวนลอยในน้ำทิ้งเกินค่ามาตรฐานแล้ว ยังสิ้นเปลืองพลังงานในการเติมอากาศอีกด้วย

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์

พารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ มี 4 ตัวด้วยกัน คือ

1. อายุตะกอน (sludge age) ในระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ หรือเรียกว่า Sludge Retention Time (SRT) เป็นระยะเวลาที่จุลินทรีย์อยู่ในระบบบำบัด ซึ่งสามารถคำนวณได้ โดยการหารน้ำหนักของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศด้วยน้ำหนักของแข็งที่ระบายออกในแต่ละวัน การควบคุม หรือเปลี่ยนแปลงค่าอายุ

ตะกอน ทำได้โดยการปรับอัตราการนำตะกอนส่วนเกินไปทิ้ง หากนำไปทิ้งมาก ค่าอายุตะกอนก็จะลดลง และหากนำไปทิ้งน้อย ค่าอายุตะกอนก็จะเพิ่มขึ้น โดยค่าอายุตะกอนของระบบแอกติเวเตดสลัดจ์แบ่งตามรูปแบบของกระบวนการได้ 3 ประเภทคือ อัตราการบำบัดสูง อัตราการบำบัดธรรมดาและ อัตราการบำบัดต่ำ ค่าแนะนำกำหนดให้ควรมีค่าอายุตะกอนอยู่ในช่วงน้อยกว่า 3 วัน 5-15 วัน และมากกว่า 20 วัน ตามลำดับ (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2542)

หากแต่พบว่า ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ มักไม่มีการควบคุมอายุตะกอน แต่จะควบคุมค่าความเข้มข้นของปริมาณตะกอน ซึ่งวัดด้วยค่าความสามารถในการตกตะกอน หรือ ค่า SV_{30} ด้วยการตกตะกอนในถังเดิมอากาศ ใส่กระบอกตวงขนาดหนึ่งลิตร ทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที (ดังแสดงในรูปประกอบที่ 3) แทน โดยจะควบคุมที่ประมาณ 800-900 มิลลิลิตรต่อลิตร ขึ้นอยู่กับแต่ละระบบ



▲ รูปประกอบที่ 3 การวัดค่า SV_{30}

2. ระยะเวลาในการบำบัด หรือ ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียในระบบ (hydraulic retention time, HRT) เป็นอีกปัจจัยที่สำคัญมาก สำหรับระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ ค่าระยะเวลาการเก็บกักต้องมากพอที่จะบำบัดสารอินทรีย์ได้ แต่ไม่มากเกินไป จนกลายเป็นการเติมอากาศที่มากเกินไป ทำให้เปลืองพลังงาน ซึ่งระยะเวลาในการบำบัดที่แนะนำจะอยู่ในช่วง 4-8 ชั่วโมง จะมากหรือน้อยกว่าค่าแนะนำนั้น ขึ้นกับแต่ละชนิดของระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ด้วย

3. Food per Microorganism หรือ F/M Ratio คือ สัดส่วนปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบในแต่ละวันต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบ (คำนวณจากปริมาตรของถังเดิมอากาศเท่านั้น) มีความสัมพันธ์กับค่าอายุตะกอน เป็นอีกพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแบ่งชนิดของระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ (เป็นแบบ high-or low rate) และกำหนดประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์

4. อัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ (organic loading) คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบในแต่ละวัน คิดเทียบกับ



ขนาดของถังเดิมอากาศ ซึ่งจะมีค่าเป็นสัดส่วนกับค่า F/M Ratio มีหน่วยเป็น กิโลกรัมบีโอดี ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

สำหรับพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัด ได้แก่ ค่าความเข้มข้นของ MLSS สัดส่วนของตะกอนสุบกกลับ ค่าความเป็นกรด - ด่าง และอุณหภูมินั้น จะต้องควบคุมให้เหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรีย

สำหรับระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ที่ใช้กันมากในประเทศไทย มักจะคำนึงถึงเฉพาะการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ โดยไม่ได้คำนึงถึงการบำบัดไนโตรเจนที่มีมากในน้ำเสีย โดยเฉพาะน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ผู้ออกแบบมักจะออกแบบให้เป็นระบบบำบัดแบบขั้นตอนเดียว ซึ่งเป็นระบบบำบัดแบบแอกติเวเตดสลัดจ์แบบดั้งเดิม (conventional activated sludge process) หากต้องการให้กำจัดธาตุอาหาร คือ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ไปพร้อมกับบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนด้วยนั้น จะต้องออกแบบให้มีหน่วยบำบัดเพิ่มเติม หรือควบคุมการเติมอากาศแบบไม่คงที่ (เปลี่ยนแปลงตามเวลา หรือตามระยะทาง) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันขึ้น หากในระบบไม่มีความสามารถในการบำบัดไนโตรเจน น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบแอกติเวเตดสลัดจ์ ก็ยังคงจะสร้างปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อมต่อไป

อ่านต่อฉบับหน้า

เอกสารอ้างอิง

1. Pollution control department, *Ministry of Natural Resources and Environment* (2004).
2. Domestic Wastewater management in Thailand. *Technical Workshop on Sustainable Technology for Wastewater Treatment in Developing Countries*. Asian Institute of Technology, Bangkok Thailand 18-19 November 2004
3. วีระ เกรอด. 2539. *วิศวกรรมน้ำเสีย การบำบัดทางชีวภาพ*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
4. มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2542. *เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.