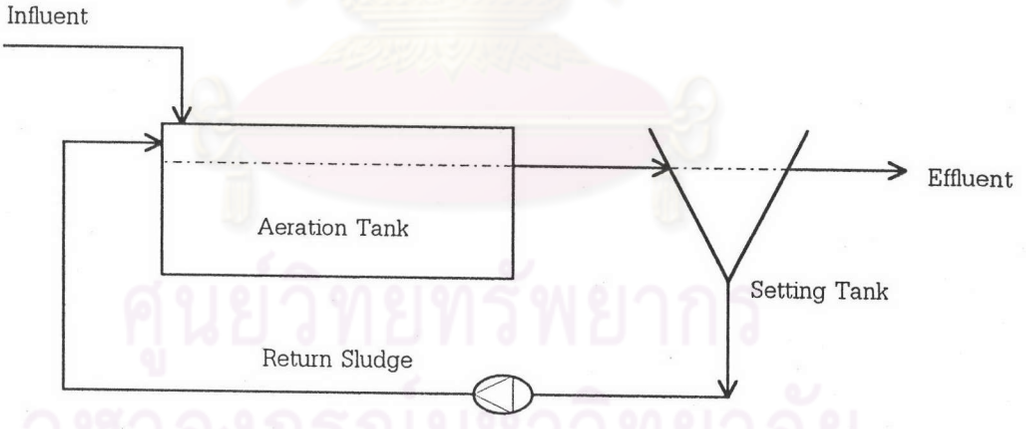
บทที่ 3

พื้นฐานกระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์

3.1 แนะนำกระบวนการ

กระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์ (activated sludge process) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน สามารถกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนออกจากน้ำเสีย การทำงานของกระบวนการจะประกอบไปด้วย การให้ออกซิเจนแก่น้ำเสีย และการให้สัมผัสกับตะกอนจุลินทรีย์ (biological floc) ในถังเติมอากาศ เพื่อให้จุลินทรีย์ย่อยสลายมลสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของเซลล์จุลินทรีย์ จากนั้น ส่วนผสมระหว่างน้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้วและตะกอนจุลินทรีย์ จะไหลไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกน้ำใสส่วนบนทิ้งออกจากระบบ ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งจมอยู่ที่ก้นถังนั้นส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับไปเข้าถังเติมอากาศ และมีตะกอนบางส่วนซึ่งเป็นผลจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เป็นตะกอนส่วนเกินที่จะต้องนำไปทิ้งเพื่อควบคุมอายุตะกอน (sludge age) ของระบบ แผนผังแสดงการทำงานของกระบวนการแสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์

จากรูป 3.1 จะเห็นได้ว่ากระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์ (activated sludge process) มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนด้วยกัน คือ

3.1.1 ถังเติมอากาศ (aeration tank)

ถังเติมอากาศเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของกระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์ โดยเป็นถังที่จำเป็นต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อม ให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การเติมอากาศภายในถังมีจุดประสงค์หลัก 2 ประการคือ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาของคาร์บอนออกซิเดชั่น (carbon oxidation) และเพื่อให้เกิดการผสมกัน (mixing) ระหว่างน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบกับตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้มีลักษณะเป็นน้ำตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอย (mixed liquor suspended solids) อยู่ทั่วไปในถังเติมอากาศ มลสารในน้ำเสียส่วนใหญ่จะถูกบำบัดในถังนี้

ขนาดของถังเติมอากาศขึ้นอยู่กับรูปแบบต่าง ๆ ของกระบวนการ ความเข้มข้นของมลสารอินทรีย์ และประสิทธิภาพที่ต้องการ โดยทั่วไปแล้วจะมีระยะเวลาเก็บกักในถังเติมอากาศนี้ประมาณ 0.5–24 ชั่วโมง ส่วนรูปร่างของถังเติมอากาศ ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของการออกแบบตามกระบวนการที่ต้องการ วัสดุที่ใช้ก่อสร้างจะต้องแข็งแรง และป้องกันการกัดเซาะของน้ำที่ไหลด้วยความเร็วได้ดี เช่น ถังคอนกรีต หรือถังเหล็ก เป็นต้น

3.1.2 ถังตกตะกอนขั้นที่สอง (Secondary Clarifier)

น้ำตะกอน (mixed liquor suspended solids, MLSS) จากถังเติมอากาศจะถูกส่งมายังถังตกตะกอน ซึ่งมักเรียกว่า ถังตกตะกอนขั้นที่สอง (secondary clarifier) เพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้ว โดยในถังตกตะกอนนี้จะต้องมีความเร็วในการไหลของน้ำต่ำจนกระทั่งตะกอนจุลินทรีย์สามารถตกตะกอนได้เองตามแรงดึงดูดของโลก ตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งรวมตัวเป็นก้อนและสามารถตกตะกอนได้ดีนั้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างเช่น อัตราส่วนปริมาณอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ (F/M) อาหารเสริม (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก) ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ เป็นต้น

กระบวนการนี้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง และเป็นที่นิยมใช้กันมากทั่วไป มีขนาดตั้งแต่เล็กจนถึงใหญ่ และได้รับการพัฒนามาเป็นลำดับ เพื่อให้เหมาะสำหรับนำไปใช้งานแต่ละชนิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การเกิดแอกทิเวเตดสลัดจ์

การเกิดแอกทิเวเตดสลัดจ์ มีขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน 3 ขั้นตอน ซึ่งทั้งหมดนี้จะเกิดขึ้นภายในถังเติมอากาศ คือ

3.2.1 ขั้นส่งถ่าย (transfer step)

ขั้นแรก แบคทีเรียในถังเติมอากาศ จะดูดสารอินทรีย์ในน้ำเสียมาไว้ที่ผนังเซลล์ และส่งเอ็นไซม์ที่มีความเหมาะสมกับชนิดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์ให้มีโมเลกุลเล็กลงพอ ที่จะซึมผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ได้ โดยขั้นตอนนี้จะกินเวลาประมาณ 15 – 30 นาที เพื่อให้แบคทีเรียมีเวลาสัมผัสกับน้ำเสียได้เพียงพอและทั่วถึง

3.2.2 ขั้นเปลี่ยนรูป (conversion step)

เมื่อสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกย่อยและดูดซึมเข้าสู่ภายในเซลล์แล้ว แบคทีเรียจะเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ที่อยู่ภายในเซลล์ด้วย กระบวนการออกซิเดชั่น (oxidation) ซึ่งในขั้นนี้แบคทีเรียต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการกระบวนการ และได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ พลังงานและสร้างเซลล์ใหม่ ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ (synthesis) กระบวนการทั้งสองนี้เป็นกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์ของแบคทีเรีย (metabolic process)

3.2.3 ขั้นรวมตะกอน (flocculation step)

เมื่อแบคทีเรียได้ใช้สารอินทรีย์ในขั้นตอนที่สองไปบางส่วน และสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นสารอาหารมีปริมาณจำกัด แบคทีเรียจะมีพลังงานลดลง ขณะเดียวกันแบคทีเรียจะถูกการกวนผสมในถังเติมอากาศ ทำให้เซลล์ของมันชนกัน และเกิดการจับตัวรวมกันเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้นเรียกว่า ฟล้อค (floc) ซึ่งมีความสามารถในการตกตะกอนได้ดีกว่าเซลล์เดี่ยว ๆ ทำให้แบคทีเรียในขั้นนี้สามารถแยกตัวออกจากน้ำที่กำจัดแล้วได้ง่าย

3.3 จุลชีววิทยาของแอกทิเวเตดสลัดจ์

จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ สามารถจำแนกออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

3.3.1 จุลินทรีย์สร้างฟล้อค (floc forming microorganisms) เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญมากในระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ เพราะเป็นจุลินทรีย์หลักที่ใช้ในการกำจัดน้ำเสีย และสามารถจับตัวรวมกันเป็นกลุ่มก้อน แยกตัวออกจากน้ำที่บำบัดแล้วได้ง่าย เรียกว่า ฟล้อค จุลินทรีย์ประเภทนี้ส่วนใหญ่ได้แก่ แบคทีเรีย โปรโตซัวและฟังไจบางชนิด

3.3.2 แซฟโปรไฟท์ (saprophytes) เป็นจุลินทรีย์ที่รับผิดชอบต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนใหญ่ของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ ได้แก่ แบคทีเรีย ซึ่งมักเป็นพวกสร้างฟล้อค แซฟโปรไฟท์สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 ชนิดคือ แซฟโปรไฟท์แบบปฐมภูมิ (primary) ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสับสเตรท (substrate) ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก และแซฟโปรไฟท์แบบทุติยภูมิ (secondary) ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็ก ที่สร้างโดยแซฟโปรไฟท์แบบปฐมภูมิให้สมบูรณ์และได้ผลสุดท้ายของปฏิกิริยาคือ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

3.3.3 จุลินทรีย์ก่อกวน (nuisance microorganism) เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดปัญหาในการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ เช่น แบคทีเรียชนิดที่เป็นเส้นใย หรือฟังไจบางชนิดที่มีรูปร่างยาวคล้ายเส้นใย ทำให้เกิดการจมตัวไม่ลงของตะกอน (sludge bulking)

3.3.4 จุลินทรีย์ทำลายหรือผู้ล่า (predator) เป็นจุลินทรีย์ที่กินจุลินทรีย์ด้วยกันเอง เป็นอาหาร จุลินทรีย์ประเภทนี้มีขนาดใหญ่กว่าหรือมีศักยภาพสูงกว่า โดยจะกินจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กกว่า จุลินทรีย์ทำลายนี้มีความสำคัญกับระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์กล่าวคือ ช่วยทำให้น้ำที่ออกจากระบบใส

3.4 กลไกในการทำงาน

กระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์ประกอบด้วย สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กมากมายหลายชนิดที่ถูกควบคุมให้เจริญเติบโตอยู่ในน้ำ ซึ่งมีออกซิเจนอิสระละลายอยู่และจะต้องมีสารอินทรีย์ที่สามารถใช้เป็นอาหารและแหล่งพลังงานในการดำรงชีพได้อีกด้วย ปฏิกิริยาทางชีวเคมีของกระบวนการสามารถเขียนได้ดังนี้

สารอินทรีย์ + จุลินทรีย์ $\xrightarrow{\text{ออกซิเจน}}$ จุลินทรีย์ตัวใหม่ + คาร์บอนไดออกไซด์ + น้ำ + พลังงาน

มลสาร (pollutants) ที่อยู่ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหาร และเจริญเติบโตขยายพันธุ์ต่อไป ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลอยขึ้นไปในอากาศ ส่วนน้ำจะผสมออกไปกับน้ำที่บำบัดแล้ว พลังงานที่เกิดขึ้นก็จะถูกจุลินทรีย์ใช้ในการดำรงชีวิต สรุปแล้วมลสารซึ่งใหญ่ได้แก่ สารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนมาเป็นมวลจุลินทรีย์ที่หนักกว่าน้ำ และสามารถแยกออกได้ง่ายด้วยการตกตะกอนในถังตกตะกอน น้ำเสียที่ถูกจุลินทรีย์นำสารอินทรีย์ต่าง ๆ มาใช้จนหมดแล้วก็จะเป็นน้ำที่สะอาดพอที่จะปล่อยทิ้งได้โดยไม่เกิดการเน่าเหม็น

การอยู่รวมกันของกลุ่มจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นปรากฏการณ์ทางนิเวศน์วิทยาที่มีความซับซ้อนมาก ได้มีการสร้างแบบจำลองจนพลศาสตร์เพื่อใช้ในการออกแบบกระบวนการ โดยทั่วไป สามารถจำแนกกลไกการอยู่ร่วมกันของจุลินทรีย์ได้เป็น 3 กลไก คือ

1. การใช้สารอาหาร (substrate utilization) และการเจริญเติบโตของเซลล์ (cell growth)
2. การตายของจุลินทรีย์ (death)
3. การสลายตัว (decay) และการกินแบคทีเรียของผู้ล่า (predator)

3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ

3.5.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (substrate concentration)

เนื่องจากสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียจะถูกใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ในกระบวนการแอกทิเวเตดสลัดจ์ ดังนั้น หากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมาก จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบโดยอาจจะทำให้มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง (มีอาหารมาก) ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีลักษณะเติบโตกระจายอยู่ทั่วไป (dispersed growth) แทนที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่ดี (floc) เป็นผลให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำออกขุ่น และมีค่าสารอินทรีย์หรือบีโอดีเหลืออยู่สูง หรืออาจจะเกิดขึ้นในทำนองตรงกันข้ามคือ มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำ (low F/M) หรือมีอาหารน้อยจนทำให้จำนวนจุลินทรีย์เติบโตลดน้อยลง ซึ่งถึงแม้ตะกอนจุลินทรีย์จะตกตะกอนได้เร็วแต่ก็ไม่สามารถจับตะกอนเล็ก ๆ ตกลงมาได้หมด ทำให้น้ำที่ออกจากถังตกตะกอนขุ่น

3.5.2 อาหารเสริม (nutrient)

จุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริม (nutrients) ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก นอกเหนือจากสารอินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งนำมาใช้เป็นพลังงาน ปกติแร่ธาตุเหล่านี้จะมีอยู่ครบในน้ำเสียจากชุมชน (domestic wastewater) แต่อาจจะมีไม่พอในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การขาดอาหารเสริมที่สำคัญเหล่านี้จะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างฟล้อคเติบโตได้ไม่ดี จนทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใย (filamentous) เจริญเติบโตได้มากกว่า ซึ่งจะทำให้ตะกอนเร่งตกตะกอนได้ยากและเกิดเป็นชั้นตะกอนลอยขึ้นมาในถังตกตะกอนและอาจจะล้นไหลออกมากับน้ำทิ้ง จนระบบไม่สามารถทำงานต่อไปอีกได้ นอกจากนี้ การที่จุลินทรีย์หลายชนิดเจริญเติบโตได้ไม่ดีจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานต่าง ๆ ของระบบต่ำลงอีกด้วย ปกติจะควบคุมให้บีโอดี 100 กิโลกรัมต้องมีโนโตรเจน 5 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 1 กิโลกรัม และเหล็ก 0.5 กิโลกรัม

3.5.3 ออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen)

ในถังเติมอากาศจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1 ถึง 2 มก./ลิตร ซึ่งปริมาณของอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้เพื่อรักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงจุลินทรีย์สามารถทำงานได้มากก็จะต้องการออกซิเจนมาก นอกจากนั้น ที่อุณหภูมิสูงออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอิ่มตัว (saturation value) ต่ำ จึงทำให้ต้องให้ออกซิเจน

มาก เมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังเติมอากาศสูง ในทำนองกลับกัน หากอุณหภูมิของน้ำต่ำ ก็ทำให้มีความต้องการเติมอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง ในการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่ค่าเท่ากัน

3.5.4 ระยะเวลาในการบำบัด (retention time)

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศจะต้องมากพอเพียงที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายมลสารต่าง ๆ หากมีระยะเวลาต่ำเกินไป สารที่ย่อยยาก ๆ จะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้ายทำให้มีค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก

สำหรับระยะเวลาในถังตกตะกอนขั้นสองก็เช่นเดียวกัน หากมีน้อยเกินไปก็จะทำให้ตะกอนเร่งตกตะกอนได้ไม่ดี แต่ถ้านานเกินไปก็จะทำให้ตะกอนเร่งขาดออกซิเจนและเน่าได้

3.5.5 ค่าพีเอช (pH)

แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีที่ ค่าพีเอช ระหว่าง 6.5 กับ 8.5 ถ้าพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.5 รา (fungi) จะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรีย ทำให้ประสิทธิภาพต่ำลงและตะกอนเร่งตกตะกอนได้ไม่ดี ส่วนที่ค่าพีเอชสูงก็จะทำให้ฟอสฟอรัสแยกตัวออกมาจากน้ำ (precipitate) และจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทำให้ระบบทำงานได้ไม่ดีเช่นกัน แต่ถ้าพีเอชมีค่าต่ำมากหรือสูงมาก จุลินทรีย์ก็จะตายหมดไม่สามารถดำรงชีพต่อไปได้

3.5.6 สารเป็นพิษ

สารเป็นพิษแบ่งออกได้เป็นสองจำพวกคือ แบบพิษเฉียบพลัน (acute toxicity) ซึ่งจุลินทรีย์จะตายหมด ภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมง และแบบพิษออกฤทธิ์ช้า (chronic toxicity) ซึ่งใช้เวลานานและค่อยๆ ตายลง

สารพิษเฉียบพลันสามารถสังเกตได้ง่าย เนื่องจากมีผลเกิดขึ้นรวดเร็ว สารพิษจำพวกนี้ได้แก่ ไซยาไนด์ อาร์เซนิค เป็นต้น สำหรับสารพิษออกฤทธิ์ช้า เช่น ทองแดงและโลหะหนักต่าง ๆ จุลินทรีย์ก็ได้ เช่น แอมโมเนีย มีค่าความเข้มข้นสูงเกิน 500 มก./ลิตร เป็นต้น

3.5.7 อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการตะกอนเร่ง โดยทั่ว ๆ ไปการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุก 10 ^{O} ซ. จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตอีกเท่าตัวจนถึงที่อุณหภูมิประมาณ 37 ^{O} ซ. จากนั้นอุณหภูมิที่สูงเกินไป จะทำให้จุลินทรีย์เติบโตช้าลง

3.5.8 การกวน (mixing)

ภายในถังเติมอากาศจะต้องมีการกวนอย่างทั่วถึง เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอน และเพื่อให้จุลินทรีย์ได้มีโอกาสสัมผัสกับน้ำเสียที่ส่งเข้ามาบำบัด โดยใช้เป็นสารอาหารในการเจริญเติบโตและลดมลสารต่าง ๆ ให้กลายเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ และจับตัวกันในรูปฟล้อค การกวนที่ถูกต้องจะช่วยป้องกันการไหลลัดวงจร ซึ่งช่วยทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูง

3.5.9 อัตราการไหลของน้ำเสีย (hydraulic flowrate)

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียที่ส่งเข้ามาในระบบบำบัด มีผลโดยตรงต่อการทำงานของกระบวนการทางชีววิทยา และในถังตกตะกอน หากน้ำเสียมีอัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นจะทำให้มีระยะเวลาในการบำบัดน้อยลง มีค่าสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้นและระยะเวลาในการตกตะกอน ในถังตกตะกอนขั้นที่สองลดลงด้วย ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบลดลง ส่วนอัตราการไหลที่น้อยเกินไปก็มีผลเสียเช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงควรมีการควบคุมให้มีการส่งน้ำเสียเข้ามาบำบัดอย่างสม่ำเสมอ ในอัตราที่ใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้ เช่น อาจสร้างเป็นบ่อพักกักเก็บ (equalizing tank) เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย