



กรมอนามัย
Department of Health

การจัดการเชื้อดื้อยา ต้านจุลชีพในระบบ บำบัดน้ำเสีย

แนวทางปฏิบัติสำหรับบุคลากรสาธารณสุข



สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม
กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข



กรมอนามัย
Department of Health

การจัดการเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสีย
:แนวทางปฏิบัติสำหรับบุคลากรสาธารณสุข

โดย

สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย
กระทรวงสาธารณสุข

ชื่อหนังสือ : การจัดการเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพในระบบบำบัด
น้ำเสีย :แนวทางปฏิบัติสำหรับบุคลากรสาธารณสุข

จัดทำโดย : สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย

กระทรวงสาธารณสุข

โทรศัพท์ 0 2590 4497

โทรสาร 0 2590 4200

พิมพ์ครั้งที่ 1 :

จำนวนพิมพ์ :

พิมพ์ที่ :

คำนำ

การดื้อยาต้านจุลชีพ (Antimicrobial resistance:AMR) เป็นภาวะที่เชื้อก่อโรคสามารถอยู่รอดและเจริญเติบโตได้แม้จะมีการให้ยาฆ่าเชื้อทำให้ยาต้านจุลชีพใช้ไม่ได้ซึ่งโรงพยาบาลเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญโดยเฉพาะระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลซึ่งเป็นปลายทางก่อนที่จะปล่อยน้ำทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้หากมีการจัดการที่ไม่เหมาะสมอาจเป็นแหล่งแพร่กระจายเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพได้ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข จึงได้จัดทำคู่มือฉบับนี้ เพื่อเป็นแนวทางปฏิบัติสำหรับบุคลากรสาธารณสุขในการจัดการเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือฉบับนี้จะช่วยเป็นแนวทางให้กับโรงพยาบาลในการจัดการปัญหาเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพโดยเฉพาะในระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ:ภัยเงียบของเชื้อดื้อยาในสิ่งแวดล้อม	6
บทที่ 2 ภาพรวมเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพ (AMR) : กลไกและผลกระทบ	11
บทที่ 3 แหล่งกำเนิด AMR ในชุมชนและสถานพยาบาล	20
บทที่ 4 ระบบบำบัดน้ำเสีย : ประเภท กลไก และช่องทางแพร่กระจาย AMR	24
บทที่ 5 บทบาทของบุคลากรสาธารณสุขต่อการควบคุม AMR	53
บทที่ 6 แนวทางการจัดการเชื้อดื้อยาในระบบบำบัดน้ำเสีย	57
บทที่ 7 กรณีศึกษาทั้งในและต่างประเทศ	61
บทที่ 8 แนวทางปฏิบัติสำหรับบุคลากรสาธารณสุข	65
บทที่ 9 นโยบาย ยุทธศาสตร์และเครื่องมือสนับสนุน	67
บทที่ 10 บทสรุป ข้อเสนอแนะและแนวโน้มในอนาคต	72

บทที่ 1 บทนำ:ภัยเงียบของเชื้อดื้อยาในสิ่งแวดล้อม

1.1 ความสำคัญของปัญหา

เชื้อดื้อยาด้านจุลชีพ (Antimicrobial Resistance:AMR) ได้รับการยอมรับจากองค์การอนามัยโลก (World Health Organization :WHO) ว่าเป็นหนึ่งในภัยคุกคามด้านสาธารณสุขที่สำคัญที่สุดของศตวรรษที่ 21 โดยคาดว่าภายในปี 2050 จะมีผู้เสียชีวิตจากการติดเชื้อที่ดื้อยาด้านจุลชีพมากถึง 10 ล้านคนต่อปี ซึ่งมากกว่าการเสียชีวิตจากโรคมะเร็งในปัจจุบัน (WHO,2015)

แม้ว่า AMR จะเริ่มต้นจากการใช้ยาต้านจุลชีพในมนุษย์และสัตว์แต่ในช่วงทศวรรษหลังๆ ความสนใจได้ขยายมาสู่มิติของ “สิ่งแวดล้อม” โดยเฉพาะแหล่งน้ำ ท่อระบายน้ำและระบบบำบัดน้ำเสียที่กลายเป็น “จุดรวมตัว” และ “แหล่งแพร่กระจาย” ที่สำคัญของเชื้อดื้อยา

1.2 เชื้อดื้อยาในสิ่งแวดล้อม : ภัยเงียบที่ถูกมองข้าม

ในช่วงที่ผ่านมาการควบคุม AMR มักเน้นอยู่ที่ระบบบริการสุขภาพและปศุสัตว์แต่เริ่มมีหลักฐานเพิ่มขึ้นว่าระบบสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะน้ำทั้งจากโรงพยาบาล ฟาร์มปศุสัตว์ โรงงานผลิตยา แม้แต่การใช้ยาของประชาชนทั่วไป และระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

เป็น “reservoir” หรือแหล่งสะสมของเชื้อดื้อยาและยีนดื้อยา (Antibiotic Resistance Genes: ARGs) มักปนเปื้อนลงสู่ น้ำที่ หาดิน และแม่น้ำลำคลอง

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดไม่สมบูรณ์หรือถูกปล่อยลงแหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่มีการจัดการที่เหมาะสมอาจกลายเป็นช่องทางให้ เชื้อดื้อยา กลับเข้าสู่วงจรธรรมชาติ แล้วแพร่เข้าสู่ห่วงโซ่อาหารหรือ ระบบน้ำใช้ของมนุษย์โดยที่ไม่ทันสังเกตเห็น เชื้อดื้อยาเป็นภัยเงียบ ที่ส่งผลกระทบต่อ ดังนี้

1. สุขภาพมนุษย์

- เชื้อดื้อยาในสิ่งแวดล้อมอาจปนเปื้อนกลับสู่คนผ่านน้ำดื่ม อาหาร หรือการสัมผัสโดยตรง
- การติดเชื้อจากเชื้อดื้อยาทำให้รักษายากขึ้นต้องใช้ยาที่ แรงแรงและแพงกว่า

2. สิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรม

- การสะสมของสารต้านจุลชีพและยีนดื้อยาในแหล่งน้ำ ส่งผลกระทบต่อสมดุลจุลินทรีย์ธรรมชาติทำให้ลดความหลากหลาย ทางชีวภาพ
- ระบบนิเวศ เช่นบ่อบำบัดน้ำเสีย ดินและแหล่งน้ำ สาธารณะ กลายเป็น “แหล่งบ่มเพาะ” เชื้อดื้อยา

3. เศรษฐกิจและสังคม

- ค่าใช้จ่ายในการรักษาผู้ป่วยที่ติดเชื้อดื้อยาที่สูงขึ้น
- อุตสาหกรรมเกษตรและอาหารเสี่ยงต่อการถูกจำกัดการส่งออก หากพบการปนเปื้อนเชื้อดื้อยาในผลิตภัณฑ์

1.3 บทบาทของระบบบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียโดยเฉพาะของเฉพาะของโรงพยาบาล ถือเป็นจุดตัดระหว่างการดูแลสุขภาพและสิ่งแวดล้อมระบบที่ไม่มีการออกแบบให้จัดการเชื้อจุลินทรีย์และยาปฏิชีวนะอย่างเหมาะสมอาจไม่สามารถกำจัดเชื้อดื้อยาได้และกลายเป็นแหล่งแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก

ขีดความสามารถของระบบบำบัดน้ำเสียเดิม เช่น ระบบบ่อบำบัดแบบ Facultative Pond หรือ Activated Sludge มักไม่สามารถย่อยสลายยาต้านจุลินทรีย์หรือยีนดื้อยาได้หมด ข้อมูลจากการศึกษาหลายแห่งในเอเชียแสดงให้เห็นว่ายีนดื้อยาบางชนิดสามารถตรวจพบได้แม้ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว (Kummerer, 2018)

1.4 ความท้าทายของบุคลากรสาธารณสุข

บุคลากรสาธารณสุขเป็นกลุ่มที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุม AMR แต่การดำเนินงานในมิติสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะเรื่องระบบบำบัดน้ำเสียยังไม่ค่อยได้รับความรู้หรือเครื่องมือที่ชัดเจนมากนักทั้งเชิงเทคนิค การเฝ้าระวัง หรือการประสานกับภาคท้องถิ่นและสิ่งแวดล้อม

ด้วยเหตุนี้หนังสือเล่มนี้จึงมีจุดหมายเพื่อเสริมสร้างความเข้าใจและแนวทางปฏิบัติด้านการจัดการเชื้อดื้อยาในระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับบุคลากรสาธารณสุขและนักวิชาการโดยเน้นความเชื่อมโยงระหว่างสุขภาพมนุษย์ สิ่งแวดล้อม และนโยบายสุขภาพ (One Health Approach)

1.5 วัตถุประสงค์ของคู่มือเล่มนี้

- (1) อธิบายกลไกของการเกิดและแพร่กระจายเชื้อดื้อยาในระบบบำบัดน้ำเสีย
- (2) รวบรวมกรณีศึกษาและข้อมูลเชิงวิชาการที่ทันสมัยจากทั้งในและต่างประเทศ

- (3) เสนอแนวทางปฏิบัติที่เหมาะสมสำหรับบุคลากรสาธารณสุขในการจัดการ AMR ในระดับพื้นที่
- (4) สร้างแนวคิดแบบองค์รวม (One Health) ที่บูรณาการสุขภาพมนุษย์ สิ่งแวดล้อม และระบบสุขภาพสาธารณะเข้าด้วยกัน

บทที่ 2 : เชื้อดื้อยาต้านจุลชีพ-กลไกและผลกระทบ

2.1 ความหมายของเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพ

เชื้อดื้อยาต้านจุลชีพ (Antimicrobial Resistance:AMR) คือความสามารถของจุลชีพ (เช่นแบคทีเรีย ไวรัส เชื้อรา และปรสิต) ที่สามารถต้านทานฤทธิ์ของยาต้านจุลชีพที่เคยมีประสิทธิภาพในการรักษาหรือควบคุมการติดเชื้อนั้น ๆ ได้ ซึ่งทำให้การรักษาโรคติดเชื้อมีประสิทธิภาพลดลงเกิดการรักษาล้มเหลวและอาจนำไปสู่การเสียชีวิตได้

ในปัจจุบัน AMR เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบทั้งในระดับบุคคลระบบบริการสุขภาพ สังคม และเศรษฐกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มประเทศรายได้ต่ำและปานกลาง ที่มีการควบคุมการใช้ยาต้านจุลชีพได้ไม่ทั่วถึง

2.2 ประเภทของเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพและแนวโน้มที่น่ากังวล

- * *Escherichia Coli* (*E. coli*) ดื้อยาในกลุ่ม cephalosporins หรือ carbapenems
- * *Klebsiella pneumoniae* ดื้อต่อยา carbapenems
- * *Staphylococcus aureus* ดื้อ methicillin (MRSA)

* *Acinetobacter baumannii* และ *Pseudomonas aeruginosa* คือยาหลายกลุ่ม

* *Enterococcus* spp. คือตัวยา vancomycin (VRE)

เชื้อเหล่านี้ไม่เพียงมีการดื้อยาในโรงพยาบาลเท่านั้นแต่ยังสามารถพบได้ในสิ่งแวดล้อมรวมถึงในแหล่งน้ำเสีย น้ำทิ้ง และตะกอนบำบัดจากโรงพยาบาล

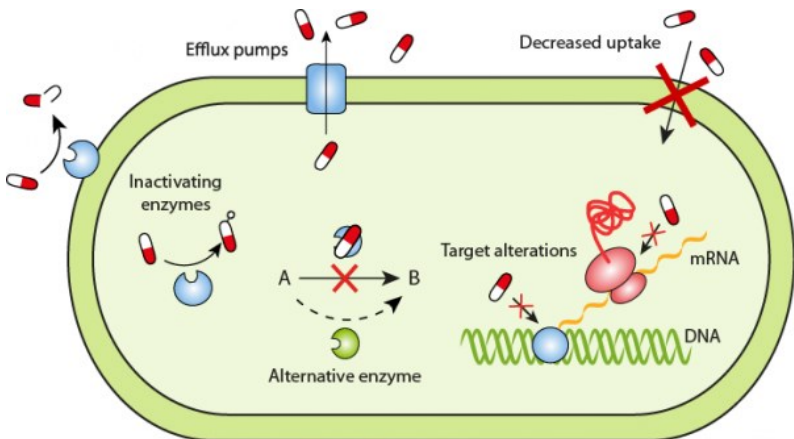
2.3 กลไกการเกิดเชื้อดื้อยาด้านจุลชีพ

เชื้อจุลชีพสามารถพัฒนาให้ดื้อยาได้หลายกลไก โดยกลไกหลักได้แก่:

1. การผลิตเอนไซม์ย่อยสลายยา เช่น β -lactamase ที่สามารถทำลายยาในกลุ่ม penicilins และ cephalosporins
2. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป้าหมายของยา ทำให้ยาไม่สามารถจับกับเป้าหมายได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงของโปรตีน PBP ใน MRSA
3. การลดการซึมผ่านของยาเข้าสู่เซลล์ โดยปิดช่องทาง porin
4. การเพิ่มการขับยาจากเซลล์ ด้วยปั๊ม efflux pump

5.การถ่ายทอดยีนดีเอ็นเอ ผ่านกระบวนการ horizontal gene transfer ได้แก่ conjugation, transformation และ transduction

หมายเหตุ : ระบบบำบัดน้ำเสียสามารถกลายเป็น “สนามทดลอง” ขนาดใหญ่ที่อำนวยความสะดวกให้เกิดการแลกเปลี่ยนยีนดีเอ็นเอในชุมชนจุลชีพต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว



ภาพ 2-1 Antibiotic resistance strategies in bacteria.

Courtesy of E. Wistrand-Yuen.

กลไกการกลายพันธุ์ของเชื้อแบคทีเรียต่อยาปฏิชีวนะ

Acquired Resistance เกิดขึ้นจากการกลายพันธุ์ภายหลังสัมผัสกับยาปฏิชีวนะขณะที่แบคทีเรียเคยไวต่อการรักษามาก่อน ทำให้

เกิดการสร้างกลไกการต่อต้านยาปฏิชีวนะลักษณะใดลักษณะหนึ่ง
ต่อไปนี้

(Acquired Resistance Mechanisms)

Restrict access of the antibiotic: เซลล์แบคทีเรียป้องกันไม่ให้ยา
ผ่าน หรือจำกัดปริมาณที่ผ่านเข้า cell. ตัวอย่าง: Gram-negative
bacteria เปลี่ยนแปลง outer layer (membrane) ทำให้ยาผ่าน
เข้าไม่ได้

Get rid of the antibiotic: เซลล์แบคทีเรียกำจัดยาปฏิชีวนะที่เข้าสู่
cell แล้วให้ออกจาก cell โดยใช้ปั๊มในผนังเซลล์

ตัวอย่าง: Pseudomonas aeruginosa bacteria กำจัดยากลุ่ม
fluoroquinolones, beta-lactams, chloramphenicol, และ
trimethoprim ที่เข้าไปใน cell

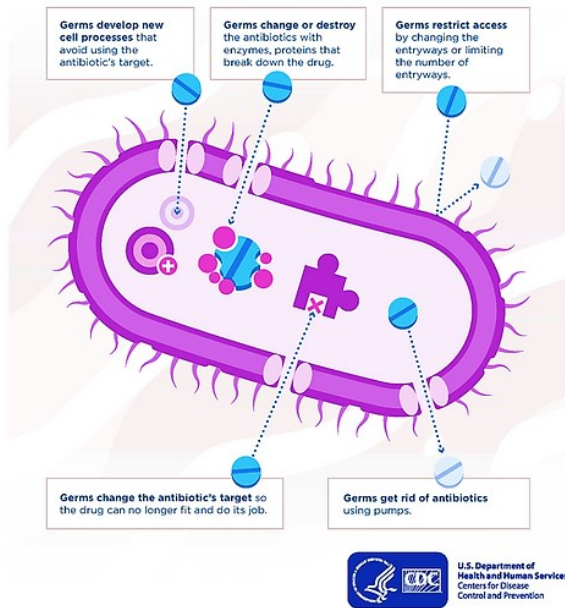
Change or destroy the antibiotic: เซลล์โรคสร้างเอ็นไซม์เพื่อ
ทำลายคุณสมบัติของยาปฏิชีวนะ

ตัวอย่าง: Klebsiella pneumoniae bacteria สร้างproduce
enzymes “carbapenemases” ซึ่งทำลายยากลุ่ม
carbapenem และbeta-lactam อื่นๆ

Change the targets for the antibiotic: เซลล์แบคทีเรียเปลี่ยน
พันธูกรรม ทำให้ไม่สามารถออกฤทธิ์ที่ตำแหน่ง Target ที่ยาไปจับ
ได้

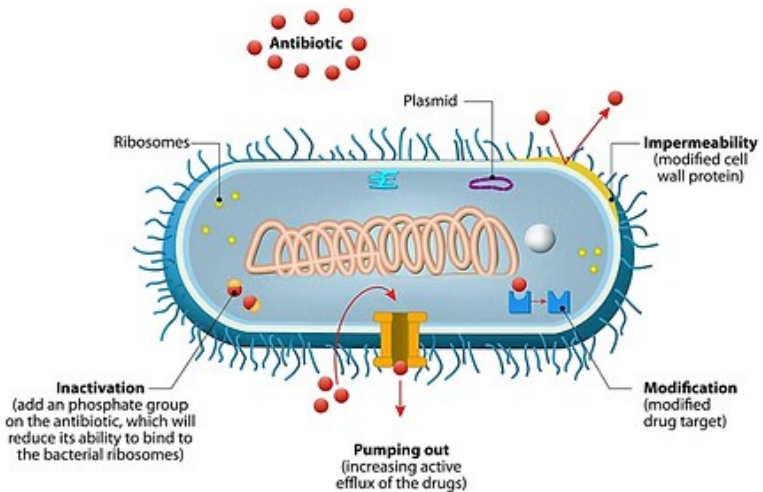
ตัวอย่าง: Escherichia coli ที่มียีน mcr-1 ไปเพิ่มสารประกอบไปที่
ด้านนอกของผนังเซลล์ ทำให้ยา colistin ไม่สามารถออกฤทธิ์ที่
ตำแหน่ง Target ได้

Bypass the effects of the antibiotic: เชื้อแบคทีเรียเปลี่ยนแปลง
พันธุกรรม ทำให้ยาไม่สามารถล็อก Target ตำแหน่งที่ใช้ออกฤทธิ์
ได้ตัวอย่าง: Staphylococcus aureus bacteria bypass target
ของยา trimethoprim



ภาพ 2-2 กลไกการกลายพันธุ์ของเชื้อแบคทีเรียต่อยาปฏิชีวนะ

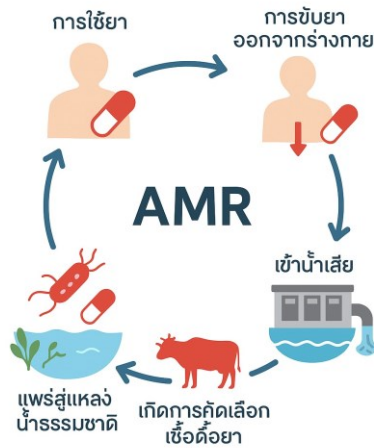
MECHANISMS OF ANTIMICROBIAL RESISTANCE



ภาพ 2-2 กลไกการกลายพันธุ์ของเชื้อแบคทีเรียที่เรียดื้อต่อยาปฏิชีวนะ

2.4 แหล่งสะสมและการแพร่กระจายของยีนดื้อยาในสิ่งแวดล้อม

ยีนดื้อยา (Antibiotic Resistance Genes: ARGs) ไม่ใช่เพียงอยู่ในแบคทีเรียที่ก่อโรค แต่ยังอยู่ในจุลชีพไม่ก่อโรคทั่วไปในธรรมชาติ และสามารถถูกส่งผ่านกันได้อย่างอิสระ การระบายสิ่งปฏิกูลหรือน้ำเสียจากโรงพยาบาล ฟาร์มปศุสัตว์และชุมชนโดยไม่มีการบำบัดที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญ



ภาพ 2-3 วงจรการแพร่กระจายของ AMR ในสิ่งแวดล้อม

2.5 ผลกระทบของเชื้อดื้อยาต่อระบบสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

ก.ผลกระทบต่อมนุษย์

- * การรักษาโรคติดเชื้อมีประสิทธิภาพลดลง
- * เพิ่มอัตราการตายและความรุนแรงของโรค
- * เพิ่มค่าใช้จ่ายด้านสาธารณสุขและการรักษาพยาบาล
- * กระทบต่อการผ่าตัด การปลูกถ่ายอวัยวะและเคมีบำบัด

ข.ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

- * การปนเปื้อนเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพและยีนดื้อยาในแหล่งน้ำ ดิน และสัตว์น้ำ
- * ส่งผลกระทบต่อความหลากหลายของจุลชีพในระบบนิเวศ
- * ทำให้แหล่งน้ำกลายเป็นแหล่งแพร่กระจายเชื้อก่อโรคที่ควบคุมได้ยาก

2.6 สถานการณ์ปัจจุบันและความเร่งด่วนในการแก้ปัญหา

ข้อมูลจากการเฝ้าระวังเชื้อดื้อยาในประเทศไทยและในระดับสากลบ่งชี้ว่า อัตราการพบเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพหลายชนิดยังคงเพิ่มขึ้นทุกปีทั้งในโรงพยาบาลและในสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะในประเทศที่มีระบบบำบัดน้ำเสียไม่ทั่วถึงหรือขาดการควบคุมการใช้ยาอย่างเหมาะสม

การแก้ไขปัญหา AMR จึงไม่ใช่ภารกิจของภาคสาธารณสุขเพียงอย่างเดียว แต่ต้องบูรณาการระหว่าง สาธารณสุข-สิ่งแวดล้อม-ปศุสัตว์-ชุมชน ตามแนวทาง One Health

2.7 บทสรุป

เชื้อดื้อยาต้านจุลชีพเป็นปัญหาซับซ้อนที่เกี่ยวข้องกับกลไกทางชีวภาพ การใช้ยา และระบบนิเวศสิ่งแวดล้อมการทำความเข้าใจกลไกการเกิดและแพร่กระจายของเชื้อดื้อยาเป็นรากฐานสำคัญของการวางระบบป้องกัน ควบคุมและลดผลกระทบทั้งต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

บทที่ 3 : แหล่งกำเนิดเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพในชุมชนและ สถานพยาบาล

3.1 บทนำ

เชื้อดื้อยาต้านจุลชีพ (AMR) ไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะในโรงพยาบาลหรือหน่วยงานด้านสุขภาพเท่านั้น แต่ยังมีกระจายและพัฒนาในหลากหลายบริบทของสังคม โดยเฉพาะในชุมชน โรงงานอุตสาหกรรมปศุสัตว์และระบบสิ่งแวดล้อม เชื้อดื้อยาต้านจุลชีพที่เกิดขึ้นจากแหล่งต่าง ๆ เหล่านี้สามารถไหลเวียนและกระจายเข้าสู่ห่วงโซ่สุขภาพและสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดความยากลำบากในการควบคุมและบำบัด

3.2 แหล่งกำเนิด AMR ในชุมชน

3.2.1 การใช้ยาปฏิชีวนะอย่างไม่เหมาะสม

- * การซื้อยาปฏิชีวนะโดยไม่ใช้ใบสั่งแพทย์
- * การหยุดใช้ยาก่อนครบระยะเวลา
- * การใช้ยาที่ไม่ตรงกับชนิดของเชื้อ

3.2.2 การเลี้ยงสัตว์และเกษตรกรรม

- * ใช้ยาปฏิชีวนะเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของสัตว์

- * ปด้อยน้ำเสียจากฟาร์มที่มีการใช้ยาปฏิชีวนะสูงสิ่งแวดล้อม
- * ปนเปื้อนในอาหาร เช่น เนื้อสัตว์ที่มีสารตกค้าง

3.2.3 น้ำเสียและสิ่งแวดล้อมทั่วไป

- * การระบายน้ำเยจจากครัวเรือนที่ปนเปื้อนยา
- * มูลฝอยยาและสารเคมีทางการแพทย์
- * แหล่งน้ำธรรมชาติที่ได้รับผลจากกิจกรรมชุมชน

3.3 แหล่งกำเนิด AMR ในสถานพยาบาล

3.3.1 การใช้ยาปฏิชีวนะในโรงพยาบาล

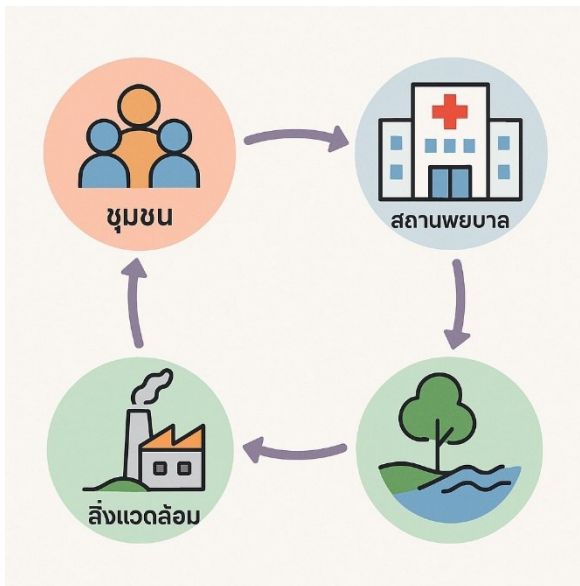
- * การให้ยาปฏิชีวนะอย่างกว้างขวางใน ICU
- * การใช้ยาร่วมกันหลายชนิด (polypharmacy)
- * การใช้ยาปฏิชีวนะเชิงป้องกันในผู้ป่วยหลังผ่าตัด

3.3.2 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล

- * น้ำเสียจากหอผู้ป่วย ห้องผ่าตัด ห้องปฏิบัติการ
- * การใช้เครื่องมือแพทย์ซ้ำโดยไม่ได้ฆ่าเชื้ออย่างถูกต้อง
- * การดูแลผู้ป่วยดื้อยาโดยไม่มีมาตรฐานการควบคุมการแพร่กระจาย

3.4 ความเชื่อมโยงของแหล่งกำเนิดกับการปนเปื้อนใน สิ่งแวดล้อม

การศึกษาหลายฉบับชี้ให้เห็นว่า “โรงพยาบาลและชุมชนสามารถเป็นทั้งแหล่งกำเนิดและแหล่งแพร่เชื้อ AMR “ ซึ่งหากระบบบำบัดไม่สามารถทำลายยาปฏิชีวนะและยีนต้านทานยา (ARGs) ได้อย่างมีประสิทธิภาพย่อมก่อให้เกิดการแพร่กระจายไปยังแหล่งน้ำ ดิน และแม้แต่ผลผลิตเกษตร



ภาพ 3-1 แหล่งกำเนิดเชื้อดื้อยาและความเชื่อมโยง

3.5 ตัวอย่างกรณีศึกษา

ประเทศ	แหล่งกำเนิดหลัก	ผลการตรวจสอบ
อินเดีย	น้ำทิ้งจาก โรงพยาบาล	พบยีน blaNDM-1 ในแม่น้ำ
เวียดนาม	ฟาร์มสุกร	พบยาปฏิชีวนะ ตกค้างในดิน
ไทย	ชุมชนและ โรงพยาบาล	พบเชื้อE.coli คือ ยาในน้ำคลอง

3.6 บทสรุป

แหล่งกำเนิด AMR ในชุมชนและสถานพยาบาลมีความซับซ้อนและเชื่อมโยงกันอย่างแนบแน่น การเข้าใจแหล่งกำเนิดอย่างถ่องแท้เป็นจุดเริ่มต้นสำคัญของการวางแผนควบคุมและลดการแพร่กระจายของเชื้อดื้อยา การจัดการควรอาศัยความร่วมมือระหว่างภาคสาธารณสุข สิ่งแวดล้อมและชุมชนท้องถิ่น

บทที่ 4 ระบบบำบัดน้ำเสีย : ประเภท กลไกและช่องทางการ แพร่กระจาย AMR

4.ความสำคัญของระบบบำบัดน้ำเสียในการควบคุมเชื้อดื้อยา ต้านจุลชีพ

ระบบบำบัดน้ำเสียเป็นแนวป้องกันสุดท้ายที่ช่วยลดการปลดปล่อยเชื้อจุลชีพและยาต้านจุลชีพตกค้าง (Antibiotic residues) ลงสู่สิ่งแวดล้อมหากระบบนี้ไม่มีประสิทธิภาพ จะกลายเป็นจุดกระจายเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพ (AMR) และยีนดื้อยา สู่ชุมชนผ่านแหล่งน้ำผิวดินพื้นที่เพาะปลูกและห่วงโซ่อาหาร (Rizzo et al.,2013)

4.2 ประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียหลัก

ประเภท	กลไกหลัก	ตัวอย่างระบบ
ระบบแอโรบิก (Aerobic)	จุลชีพใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย	Activated Sludge, Trickling Filter
ระบบแอนแอโรบิก (Anaerobic)	จุลชีพไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย	Anaerobic Digester, UASB

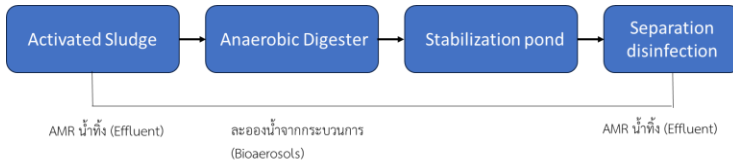
ระบบผสม (Combined)	ใช้ทั้งจุลชีพใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน	SBR (Sequencing Batch Reactor), MBR
ระบบธรรมชาติ (Natural)	พึ่งกระบวนการธรรมชาติ	Stabilization Pond, Constructed wetlands

ระบบเหล่านี้ระดับประสิทธิภาพที่แตกต่างกันในการลดปริมาณจุลชีพและยาตกค้างแต่ไม่สามารถกำจัดยีนดื้อยาได้อย่างสมบูรณ์ (Michael et al.,2013)

4.3 กลไกการกำจัดเชื้อดื้อยาด้านจุลชีพและยาตกค้างในระบบ

- * Sedimentation : ตกตะกอนสิ่งสกปรกและแบคทีเรีย
 - * Biodegradation : จุลชีพย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและยา
 - * Adsorption : ยาด้านจุลชีพบางชนิดเกาะกับตะกอน
 - * Disinfection : ใช้คลอรีน โอโซน หรือ UV ฆ่าเชื้อจุลชีพ
- แต่ยีนดื้อยาซึ่งอยู่ในสารพันธุกรรมที่ลอยอิสระหรืออยู่ในจุลชีพที่ไม่ไวต่อการฆ่าเชื้อ อาจยังคงอยู่และถูกปล่อยออกไป (Zhang et al., 2015)

4.4 ช่องทางการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสีย



ภาพ 4-1 ช่องทางการแพร่กระจายเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพ
ในระบบบำบัดน้ำเสีย

1. น้ำทิ้ง (Effluent) : แม้ผ่านการบำบัดแล้วแต่ยังตรวจพบเชื้อดื้อยาในน้ำทิ้ง (Marti et al.,2014)
2. ตะกอนน้ำเสีย (Sludge) : ใช้เป็นปุ๋ยและวัสดุเติมในดินอาจมีการสะสมของ ARGs
3. ละอองน้ำ (Bioaerosols) : เกิดจากกระบวนการเติมอากาศหรือกวน อาจแพร่เชื้อทางอากาศ
4. การรั่วไหลของระบบ : การออกแบบ/บำรุงรักษาไม่ดี อาจมีการรั่วซึมสู่แหล่งน้ำ

1. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งแบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 3 รูปแบบ คือ บ่อแอนแอโรบิก (Anaerobic Pond) บ่อแฟคัลเททีฟ

(Facultative Pond) บ่อแอโรบิก (Aerobic Pond) และหากมีบ่อหลายบ่อต่อเนื่องกัน บ่อสุดท้ายจะทำหน้าที่เป็นบ่อบ่ม (Maturation Pond) เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม บ่อปรับเสถียรสามารถบำบัดน้ำเสียจากชุมชน หรือโรงงานบางประเภท เช่น โรงงานผลิตอาหาร โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น และเป็นระบบที่มีค่าก่อสร้างและค่าดูแลรักษาต่ำ วิธีการเดินระบบไม่ยุ่งยากซับซ้อน ผู้ควบคุมระบบไม่ต้องมีความรู้สูง แต่ต้องใช้พื้นที่ก่อสร้างมากจึงเป็นระบบที่เหมาะสมกับชุมชนที่มีพื้นที่เพียงพอและราคาไม่แพง ซึ่งโดยปกติระบบบ่อปรับเสถียรจะมีการต่อกันแบบอนุกรมอย่างน้อย 3 บ่อ

บ่อแอนแอโรบิก (Anaerobic Pond)

บ่อแอนแอโรบิกเป็นระบบที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงโดยไม่ต้องการออกซิเจน บ่อนี้จะถูกออกแบบให้มีอัตรารับสารอินทรีย์สูงมาก จนสาหร่ายและการเติมออกซิเจนที่ผิวหน้าไม่สามารถผลิตและป้อนออกซิเจนได้ทัน ทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนละลายน้ำภายในบ่อ จึงเหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และปริมาณของแข็งสูง เนื่องจากของแข็งจะตกลงสู่ก้นบ่อและถูกย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก น้ำเสียส่วนที่ผ่านการบำบัดจากบ่อนี้จะระบายต่อไปยังบ่อแฟคคัลเททีฟ (Facultative Pond) เพื่อบำบัดต่อไป การทำงานของบ่อแบบนี้ จะขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกรดและแบคทีเรียที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน ดังนั้นอุณหภูมิของ

บ่อควรมากกว่า 15 องศาเซลเซียส และค่าพีเอช (pH) มากกว่า 6 เช่นเดียวกับบ่อแอนแอโรบิก แต่ก๊าซที่ลอยขึ้นมาจะถูกออกซิไดซ์ โดยออกซิเจนที่อยู่ช่วงบนของบ่อทำให้ไม่เกิดกลิ่นเหม็น อย่างไรก็ตาม ถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบสูงเกินไป จนออกซิเจนในน้ำไม่เพียงพอ เมื่อถึงเวลากลางคืนสาหร่ายจะหายใจเอาออกซิเจนและปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ลดต่ำลง และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำลง จนอาจเกิดสภาวะขาดออกซิเจน และเกิดปัญหากลิ่นเหม็นขึ้นได้

บ่อแอโรบิก (Aerobic Pond)

บ่อแอโรบิกเป็นบ่อที่มีแบคทีเรียและสาหร่ายแขวนลอยอยู่ เป็นบ่อที่มีความลึกไม่มากนักเพื่อให้ออกซิเจนกระจายทั่วทั้งบ่อและมีสภาพเป็นแอโรบิกตลอดความลึก โดยอาศัยออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย และการเติมอากาศที่ผิวหน้า และยังสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ส่วนหนึ่งโดยอาศัยแสงแดดอีกด้วย

บ่อบ่ม (Maturation Pond)

บ่อบ่มมีสภาพเป็นแอโรบิกตลอดทั้งบ่อ จึงมีความลึกไม่มากและแสงแดดส่องถึงก้นบ่อใช้รองรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว เพื่อพอกน้ำทิ้งให้มีคุณภาพน้ำดีขึ้น และอาศัยแสงแดดทำลายเชื้อโรคหรือจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม

ระบบบ่อปรับเสถียรที่นิยมใช้กันจะประกอบด้วยหน่วยบำบัด ดังนี้

บ่อแอนแอโรบิก (ส่วนใหญ่จะใช้ในกรณีที่น้ำเสียมีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง ๆ บ่อแฟคคัลเททิฟ บ่อแอโรบิก และบ่อบ่ม โดยต่อกันแบบอนุกรม

ข้อดี

ระบบบ่อปรับเสถียรสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็นน้ำเสียจากชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม บางประเภท เช่น โรงงานผลิตอาหาร หรือน้ำเสียจากเกษตรกรรม เช่น น้ำเสียจากการเลี้ยงสุกร เป็นต้น การเดินระบบก็ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน ดูแลรักษาง่าย ทนทานต่อการเพิ่มอย่างกะทันหัน (Shock Load) ของอัตรารับสารอินทรีย์ และอัตราการไหลได้ดี เนื่องจากมีระยะเวลาเก็บกักนาน และยังสามารถกำจัดจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้มากกว่าวิธีการบำบัดแบบอื่น ๆ โดยไม่จำเป็นต้องมีระบบฆ่าเชื้อโรค

ข้อเสีย

ระบบบ่อปรับเสถียรต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างมาก ในกรณีที่ใช้บ่อแอนแอโรบิกอาจเกิดกลิ่นเหม็นได้ หากการออกแบบหรือควบคุมไม่ดีพอ นอกจากนี้ น้ำทิ้งอาจมีปัญหามลพิษปนอยู่มาก โดยเฉพาะจากบ่อแอโรบิก

2. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon หรือ AL)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการเติมออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศ (Aerator) ที่ติดตั้งแบบทุ่นลอยหรือยึดติดกับแท่นก็ได้ เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำให้มีปริมาณเพียงพอ สำหรับจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เร็วขึ้นกว่าการปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียในรูปของค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) ได้ร้อยละ 80-95 โดยอาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) โดยมีเครื่องเติมอากาศซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่เพิ่มออกซิเจนในน้ำแล้วยังทำให้เกิดการกวนผสมของน้ำในบ่อด้วย ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงภายในบ่อ

หลักการทำงานของระบบ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ สามารถบำบัดน้ำเสียได้ทั้งน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่มีความสกปรกค่อนข้างมาก และน้ำเสียจากอุตสาหกรรม โดยปกติจะออกแบบให้บ่อมีความลึกประมาณ 2-6 เมตร ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (Detention Time)

ภายในบ่อเติมอากาศประมาณ 3-10 วัน และเครื่องเติมอากาศจะต้องออกแบบให้มีประสิทธิภาพสามารถทำให้เกิดการผสมกันของตะกอนจุลินทรีย์ ออกซิเจนละลายในน้ำ และน้ำเสีย นอกจากนี้จะต้องมีบ่อป่ม (Polishing Pond หรือ Maturation Pond) รับน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศเพื่อตกตะกอนและปรับสภาพน้ำทิ้งก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้จะต้องควบคุมอัตราการไหลของน้ำภายในบ่อป่มและระยะเวลาเก็บกักให้เหมาะสมไม่นานเกินไป เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณของสาหร่าย (Algae) ในบ่อป่มมากเกินไป

ส่วนประกอบของระบบ

ระบบบ่อเติมอากาศส่วนใหญ่จะประกอบด้วยหน่วยบำบัด ดังนี้

1. บ่อเติมอากาศ (จำนวนบ่อขึ้นอยู่กับการออกแบบ)
 2. บ่อป่มเพื่อปรับสภาพน้ำทิ้ง (จำนวนบ่อขึ้นอยู่กับการออกแบบ) และ
 3. บ่อเติมคลอรีนสำหรับฆ่าเชื้อโรค จำนวน 1 บ่อ
- อุปกรณ์ที่สำคัญของระบบบ่อเติมอากาศ ได้แก่ เครื่องเติมอากาศ ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ออกซิเจนแก่น้ำเสีย เครื่องเติมอากาศแบ่งออกได้ 4 แบบใหญ่ ๆ คือ เครื่องเติมอากาศที่ผิวหน้า (Surface Aerator) เครื่องเติมอากาศเทอร์ไบน์ (Turbine Aerator)

เครื่องเติมอากาศใต้น้ำ (Submersible Aerator) และเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด (Jet Aerator)

เครื่องเติมอากาศที่ผิวหน้า (Surface Aerator) จะทำหน้าที่ตีน้ำที่ระดับผิวน้ำให้กระจายเป็นเม็ดเล็ก ๆ ขึ้นมาเพื่อสัมผัสกับอากาศเพื่อรับออกซิเจนในขณะเดียวกันก็จะเป็นการกวนน้ำให้ผสมกันเพื่อกระจายออกซิเจน และมลสารในน้ำเสียให้ทั่วบ่อ

เครื่องเติมอากาศเทอร์ไบน์ใต้น้ำ (Submerged Turbine Aerator) มีลักษณะการทำงานผสมกันระหว่างระบบเป่าอากาศและระบบเครื่องกลเติมอากาศ กล่าวคือ อากาศหรือออกซิเจนจะเป่ามาตามท่อมาที่ใบพัดตีน้ำ จากนั้นอากาศจะถูกใบพัดเทอร์ไบน์ (Turbine) ตีฟองอากาศขนาดเล็กกระจายไปทั่วถึงเติมอากาศ เครื่องเติมอากาศชนิดนี้มีความสามารถในการให้ออกซิเจนสูง แต่มีราคาแพงและต้องการการบำรุงรักษามากกว่าแบบอื่น

เครื่องเติมอากาศใต้น้ำ (Submersible Aerator) มีลักษณะผสมกันระหว่างเครื่องสูบน้ำ (Pump) เครื่องดูดอากาศ (Air Blower) และเครื่องตีอากาศให้ผสมกับน้ำ (Disperser) อยู่ในเครื่องเดียวกัน แต่มีข้อจำกัดด้านการกวน น้ำ (Mixing)

เครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดน้ำ (Jet Aerator) มี 2 แบบ คือแบบแรกใช้หลักการการทำงานของ Venturi Ejector และแบบที่สองจะเป็นการสูบน้ำ ลงบนผิวน้ำ การทำงานของแต่ละแบบมีดังนี้

แบบ Venturi Ejector

อาศัยเครื่องสูบน้ำแบบใต้น้ำฉีดน้ำผ่านท่อที่มีรูปร่างเป็น Venturi เพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำจนกระทั่งเกิดแรงดูดอากาศจากผิวน้ำลงมาผสมกับน้ำก็จะถ่ายเทออกซิเจนลงไปใต้น้ำ การใช้เครื่องเติมอากาศแบบนี้เหมาะสำหรับน้ำเสียที่ไม่มีเศษขยะหรือของแข็งขนาดใหญ่เพื่ออาจเข้าไปอุดตันในท่อ Venturi ได้ง่าย

แบบสูบน้ำลงบนผิวน้ำ (Water Jet Aerator)

เป็นการสูบน้ำจากถังเติมอากาศมาฉีดด้วยความเร็วสูงลงที่ผิวน้ำ ซึ่งจะเกิดการกระจายของอากาศลงไปตามแรงฉีดเข้าไปใต้น้ำ

ข้อดีของบ่อเติมอากาศ

ได้แก่ ค่าลงทุนก่อสร้างต่ำประสิทธิภาพของระบบสูง สามารถรับการเพิ่มภาระมลพิษอย่างกระทันหัน (Shock Load) ได้ดี มีกากตะกอนและกลิ่นเหม็นเกิดขึ้นน้อย การดำเนินการและบำรุงรักษาง่าย สามารถบำบัดได้ทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม

ข้อเสียของระบบ

คือ มีค่าใช้จ่ายในส่วนของค่ากระแสไฟฟ้าสำหรับเครื่องเติมอากาศ และค่าซ่อมบำรุงและดูแลรักษาเครื่องเติมอากาศ

3. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland)

บึงประดิษฐ์ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยกระบวนการทางธรรมชาติกำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว แต่ต้องการลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสก่อนระบายออกสู่แหล่งรองรับน้ำทิ้ง นอกจากนี้ระบบบึงประดิษฐ์ก็ยังสามารถใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียในขั้นที่ 2 (Secondary Treatment) สำหรับบำบัดน้ำเสียจากชุมชนได้อีกด้วย ซึ่งข้อดีของระบบนี้ คือ ไม่ซับซ้อนและไม่ต้องใช้เทคโนโลยีในการบำบัดสูง

บึงประดิษฐ์ มี 2 ประเภทได้แก่ แบบ Free Water Surface Wetland (FWS) ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับบึงธรรมชาติ และแบบ Vegetated Submerged Bed System (VSB) ซึ่งจะมีชั้นดินปนทรายสำหรับปลูกพืชน้ำและชั้นหินรองก้นบ่อเพื่อเป็นตัวกรองน้ำเสีย

หลักการการทำงานของระบบ

เมื่อน้ำเสียไหลเข้ามาในบึงประดิษฐ์ส่วนต้น สารอินทรีย์ส่วนหนึ่งจะตกตะกอนจมตัวลงสู่ก้นบึง และถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ส่วนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจะถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ที่

เกาะติดอยู่กับพีชน้ำหรือชั้นหินและจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ระบบนี้จะได้รับออกซิเจนจากการแทรกซึมของอากาศผ่านผิวน้ำหรือชั้นหินลงมา ออกซิเจนบางส่วนจะได้จากการสังเคราะห์แสงแต่มีปริมาณไม่มากนัก สำหรับสารแขวนลอยจะถูกกรองและจมตัวอยู่ในช่วงต้น ๆ ของระบบ การลดปริมาณไนโตรเจนจะเป็นไปตามกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ส่วนการลดปริมาณฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นดินส่วนพื้นบ่อ และพีชน้ำจะช่วยดูดซับฟอสฟอรัสผ่านทางรากและนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ นอกจากนี้ระบบบึงประดิษฐ์ยังสามารถกำจัดโลหะหนัก (Heavy Metal) ได้บางส่วนอีกด้วย

ส่วนประกอบของระบบ

1. ระบบบึงประดิษฐ์แบบ Free Water Surface Wetland (FWS)

เป็นแบบที่นิยมใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งหลังจากผ่านการบำบัดจากบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) แล้ว ลักษณะของระบบแบบนี้จะเป็นบ่อดินที่มีการבודัดดินให้แน่นหรือปูพื้นด้วยแผ่น HDPE ให้ได้ระดับเพื่อให้ น้ำเสียไหลตามแนวนอนขนานกับพื้นดิน บ่อดินจะมีความลึกแตกต่างกันเพื่อให้เกิดกระบวนการบำบัดตามธรรมชาติอย่างสมบูรณ์ โครงสร้างของระบบแบ่งเป็น 3 ส่วน (อาจเป็นบ่อเดียวกันหรือหลายบ่อขึ้นกับการออกแบบ) คือ

ส่วนแรก เป็นส่วนที่มีการปลูกพืชที่มีลักษณะสูงโผล่พ้นน้ำและรากเกาะดินปลูกไว้ เช่น กก แฝก ฐปฤษี เพื่อช่วยในการกรองและตกตะกอนของสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้ ทำให้กำจัดสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ได้บางส่วน เป็นการลดสารแขวนลอยและค่าบีโอดีได้ส่วนหนึ่ง

ส่วนที่สอง เป็นส่วนที่มีพืชชนิดลอยอยู่บนผิวน้ำ เช่น จอก แหน บัว รวมทั้งพืชขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ เช่น สาหร่าย จอก แหน เป็นต้น พื้นที่ส่วนที่สองนี้จะไม่มีการปลูกพืชที่มีลักษณะสูงโผล่พ้นน้ำเหมือนในส่วนแรกและส่วนที่สาม น้ำในส่วนนี้จึงมีการสัมผัสอากาศและแสงแดดทำให้มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายซึ่งเป็นการเพิ่มออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่ใช้ ออกซิเจนย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้เป็นการลดค่าบีโอดีในน้ำเสีย และยังเกิดสภาพไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ด้วย

ส่วนที่สาม มีการปลูกพืชในลักษณะเดียวกับส่วนแรก เพื่อช่วยกรองสารแขวนลอยที่ยังเหลืออยู่ และทำให้เกิดสภาพดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) เนื่องจากออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ลดลง ซึ่งสามารถลดสารอาหารจำพวกสารประกอบไนโตรเจนได้

ระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้จะมีข้อดีกว่าแบบ Free Water Surface Wetland คือ เป็นระบบที่แยกน้ำเสียไม่ให้ถูกรบกวนจากแมลงหรือสัตว์ และป้องกันไม่ให้อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดโรคมานับเปื้อนกับคนได้ ในบางประเทศใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้ในการ

บำบัดน้ำเสียจากบ่อเกรอะ (Septic Tank) และปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) หรือใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบแอกติเวเต็ดจ์สลัดจ์ (Activated Sludge) และระบบอาร์บีซี (Rotating Biological Contactor:RBC) หรือใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ระบายออกจากอาคารดักน้ำเสีย (Combined Sewer Overflow: CSO) เป็นต้น

ส่วนประกอบที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์แบบนี้ คือ

พืชที่ปลูกในระบบ จะมีหน้าที่สนับสนุนให้เกิดการถ่ายเทก๊าซออกซิเจนจากอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่น้ำเสีย และยังทำหน้าที่สนับสนุนให้ก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น ก๊าซมีเทน (Methane) จากการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic) สามารถระบายออกจากระบบได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้โดยการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืช

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้ระบบบึงประดิษฐ์

ปัญหาทางด้านเทคนิคมีน้อย เนื่องจากเป็นระบบที่อาศัยธรรมชาติเป็นหลัก ส่วนใหญ่ปัญหาที่พบคือ พืชที่นำมาปลูกไม่สามารถเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณตามที่ต้องการได้ อาจเนื่องมาจาก

การเลือกใช้ชนิดของพืชไม่เหมาะสม สภาพของดินไม่เหมาะสม หรือถูกรบกวนจากสัตว์ที่กินพืชเหล่านี้เป็นอาหาร เป็นต้น

ประโยชน์ที่ได้จากบึงประดิษฐ์

ประโยชน์ทางตรง : สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ของแข็งแขวนลอย และสารอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้คุณภาพแหล่งรองรับน้ำทิ้งดีขึ้น

ประโยชน์ทางอ้อม : ทำให้เกิดความสมดุลของระบบนิเวศและสภาพแวดล้อม เป็นที่อยู่อาศัยและแหล่งอาหารของสัตว์และนกชนิดต่าง ๆ และเป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจและศึกษาทางธรรมชาติ

4. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge Process)

เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถบำบัดได้ทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่การเดินระบบประเภทนี้จะมีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากจำเป็นจะต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ ให้

เหมาะสมแก่การทำงานและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

ในปัจจุบัน ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีการพัฒนาใช้งานหลายรูปแบบ เช่น ระบบแบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mix) กระบวนการปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Process) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) หรือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) เป็นต้น

หลักการทำงานของระบบ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ถังเติมอากาศ (Aeration Tank) และถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) โดยน้ำเสียจะถูกส่งเข้าถังเติมอากาศ ซึ่งมีสลัดจ์อยู่เป็นจำนวนมากตามที่ต้องการแบบไว้ สภาวะภายในถังเติมอากาศจะมีสภาพที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบแอโรบิก จุลินทรีย์เหล่านี้จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในที่สุด น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลต่อไปยังถังตกตะกอนเพื่อแยกสลัดจ์ออกจากน้ำใส สลัดจ์ที่แยกตัวอยู่ที่ก้นถังตกตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับเข้าไปในถังเติมอากาศใหม่เพื่อรักษาความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังเติมอากาศให้ได้ตามที่กำหนด และอีกส่วนหนึ่งจะเป็นสลัดจ์ส่วนเกิน (Excess

Sludge) ที่ต้องนำไปกำจัดต่อไป สำหรับน้ำใสส่วนบนจะเป็นน้ำทิ้งที่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

5. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch ; OD)

เป็นระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ (Activated Sludge) ประเภทหนึ่ง ที่ใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และเจริญเติบโตเพิ่มจำนวน ก่อนที่จะถูกแยกออกจากน้ำทิ้งโดยวิธีการตกตะกอน การเดินระบบบำบัดประเภทนี้จะมีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากจำเป็นจะต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ ให้เหมาะสมต่อการทำงานและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด

หลักการทำงานของระบบ

การทำงานของระบบคลองวนเวียนจะเหมือนกับระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์โดยทั่วไป คือ อาศัยจุลินทรีย์มากมายหลายชนิด โดยจุลินทรีย์ที่สำคัญได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา และโปรโตซัว เป็นต้น ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะเป็นสภาวะแอโรบิก โดยจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียเป็นแหล่งอาหารและพลังงาน เพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ในระบบ จากนั้นจึงแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียที่ผ่านบำบัดแล้ว โดย

วิธีการตกตะกอนในถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) เพื่อให้ได้น้ำใส (Supernatant) อยู่ส่วนบนของถังตกตะกอน ซึ่งมีคุณภาพน้ำดีขึ้น และสามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

ส่วนประกอบของระบบ

ระบบคลองวนเวียนจะมีลักษณะแตกต่างจากระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบอื่น คือ ถังเติมอากาศจะมีลักษณะเป็นวงกลมหรือวงรี ทำให้ระบบคลองวนเวียนจึงใช้พื้นที่มากกว่าระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบอื่น โดยรูปแบบของถังเติมอากาศแบบวงกลมหรือวงรี ทำให้น้ำไหลวนเวียนตามแนวยาว (Plug Flow) ของถังเติมอากาศ และการกวนจะใช้เครื่องกลเติมอากาศ ซึ่งตีน้ำในแนวนอน (Horizontal Surface Aerator) จากลักษณะการไหลแบบตามแนวยาวทำให้สภาวะในถังเติมอากาศแตกต่างไปจากระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed Activated Sludge) โดยค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ ในถังเติมอากาศจะลดลงเรื่อย ๆ ตามความยาวของถัง จนกระทั่งมีค่าเป็นศูนย์ เรียกว่าเขตแอน็อกซิก (Anoxic Zone) ซึ่งจะมีระยะเวลาไม่ช้านี้ไม่เกิน 10 นาที การที่ถังเติมอากาศมีสภาวะเช่นนี้ทำให้เกิดไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ขึ้นในถังเดียวกัน ทำให้ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนได้ดีขึ้นด้วยระบบคลองวนเวียนส่วนใหญ่จะประกอบด้วยหน่วยบำบัด ดังนี้

- รางดักกรวดทราย (Grit Chamber)

- บ่อปรับสภาพการไหล (Equalizing Tank)
- บ่อเติมอากาศแบบคลองวนเวียน
- ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank)
- บ่อสูบลบตะกอนหมุนเวียน และ
- บ่อเติมคลอรีน

ข้อดี

ระบบคลองวนเวียนเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง และสามารถบำบัดไนโตรเจนได้ดี

ข้อเสีย

ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและการดำเนินการสูง ใช้พื้นที่มากกว่าระบบแอกติเวเต็ดจ์สลัดจ์ประเภทอื่น ผู้ควบคุมระบบจะต้องมีความรู้ความเข้าใจระบบเป็นอย่างดี หากไม่มีการดูแลที่ดีพอจะทำให้อุปกรณ์เช่น เครื่องเติมอากาศชำรุดได้ง่าย

6. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor)

หลักการทำงานของระบบ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) ลักษณะสำคัญของระบบเอสเอสแบบนี้คือการเติมอากาศ (Aeration)

และการตกตะกอน (Sedimentation) จะดำเนินการเป็นไปตามลำดับภายในถังปฏิกริยาเดียวกัน โดยการเดินระบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ ใน 1 รอบการทำงาน (Cycle) จะมี 5 ช่วงตามลำดับขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเติมน้ำเสีย (Fill) รับน้ำเสียจากขบวนการที่เกิดน้ำเสียเข้ามาในถังปฏิกรณ์ซึ่งมีจุลินทรีย์อยู่ในถังเพื่อเติมสารอาหาร เวลาที่ใช้ในการเติมน้ำเสียโดยทั่วไปประมาณร้อยละ 25 ของเวลาทั้งหมดใน 1 วัฏจักร

ขั้นตอนที่ 2 การเกิดปฏิกริยา (React) เป็นช่วงการเกิดปฏิกริยาที่สมบูรณ์จะมีการเติมอากาศซึ่งน้ำเสียไหลเข้ามายังถังเติมอากาศหรือถังปฏิกริยาพร้อมกับ

เครื่องเติมอากาศทำงานให้ออกซิเจนในน้ำเสียอย่างเพียงพอและปั่นป่วนถึงถังบ่อ เพื่อให้จุลินทรีย์นำออกซิเจนไปใช้เพื่อทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) ออกมาทำให้ระบบไม่มีกลิ่นเหม็นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ระยะเวลาที่ใช้ในปัจจุบันประมาณร้อยละ 35 ของเวลา 1 วัฏจักร

ขั้นตอนที่ 3 การตกตะกอน (Settle) กระบวนการนี้ซึ่งเป็นช่วงที่เครื่องเติมอากาศหยุดการเติมอากาศตามเวลาที่กำหนดไว้เพื่อให้เกิดการตกตะกอนให้ของแข็งจมลงและแยกตัวออกจากน้ำ ทำให้น้ำส่วนบนใส เป็นการแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียที่บำบัด

แล้วระยะเวลาของการตกตะกอนไม่ควรยาวนานเกินไปเพราะจะทำให้ตะกอนลอยตัวระยะเวลาที่ใช้ประมาณร้อยละ 20 ของเวลา 1 วัฏจักร

ขั้นตอนที่ 4 การระบายน้ำใสออก (Draw) เป็นช่วงเวลาที่มีการระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ส่วนน้ำใสที่ผ่านการบำบัดแล้วออกทิ้งจนถึงระดับน้ำต่ำสุดตามที่กำหนดไว้ระยะเวลาที่ใช้ในการระบายน้ำออกประมาณร้อยละ 15 ของเวลา 1 วัฏจักร

ขั้นตอนที่ 5 ระยะเวลาพัก (Idle) ช่วงเวลาหลังจากที่ระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังปฏิกิริยาและก่อนที่จะเติมน้ำเสียเข้าถังใหม่อีกครั้งเป็นช่วงที่ระบบอยู่นิ่งๆจุดประสงค์ของ Idle ในระบบหลายถังคือเพื่อเตรียมเวลาสำหรับถังปฏิกิริยาแรกให้มีช่วงการเติมน้ำเสีย (Fill) ที่สมบูรณ์ก่อนที่น้ำเสียจะเข้าสู่ถังอื่นระยะเวลาที่ใช้ประมาณร้อยละ 5 ของเวลา 1 วัฏจักร

ระยะเวลาทั้งหมดในหนึ่งวัฏจักร อาจแปรผันได้ตั้งแต่ 3 – 24 ชั่วโมง การระบายตะกอนเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญในระบบเอสปีอาร์แต่จะไม่มีกำหนดช่วงเวลาและขั้นตอนที่แน่นอน โดยปกติแล้วการระบายตะกอนจะทำในช่วงการพัก (Idle) และไม่ได้ระบายตะกอนออกถูกรอบการทำงานสามารถลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียนี้ได้ดังนี้

1) น้ำเสียที่ไหลลงสู่บ่อรวบรวมน้ำเสีย จะผ่านตะแกรงหยาบสำหรับดักขยะ ก่อนถูกสูบไปยังบ่อบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ปั๊มน้ำเสียแบบจุ่มที่ทำงานตามระดับความสูงของน้ำเสียภายในบ่อ

2) น้ำเสียจะไหลลงสู่บ่อบำบัดในส่วนที่มีแผงกั้นน้ำ (Steeling baffle) ซึ่งช่วยลดความเร็วของน้ำเสียที่ไหลเข้ามายังบ่อบำบัด เนื่องจากน้ำเสียสามารถไหลเข้าบ่อได้ตลอดเวลาไม่ว่าบ่อบำบัดจะทำงานในช่วงเวลาใดก็ตาม ดังนั้นประโยชน์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการลดความเร็วของน้ำก็คือ ทำให้ตะกอนไม่เกิดการ ฟุ้งกระจาย เมื่อน้ำเสียไหลเข้าระบบในช่วงของการตกตะกอน

3) ภายในบ่อบำบัดแบ่งช่วงเวลางานออกเป็น 3 ช่วงคือช่วงการเติมอากาศ (Aeration period) ช่วงการตกตะกอน (Settle period) และช่วงการระบายน้ำใส (Decant period)

4) ช่วงการเติมอากาศ ช่วงการเติมอากาศนี้เครื่องเติมอากาศจะทำงานประมาณ 60 นาที (เวลาปรับเปลี่ยนตามสภาพการทำงานที่เกิดขึ้นของระบบ) เพื่อเติมออกซิเจนให้กับจุลินทรีย์ เพื่อใช้ในการย่อยสลายสิ่งสกปรกในน้ำเสีย

5) ช่วงการตกตะกอน จะเกิดขึ้นหลังจากผ่านช่วงการเติมอากาศหรือเริ่มเดินระบบใหม่โดยใช้เวลาประมาณ 60 นาที (เวลาสามารถปรับเปลี่ยนตามสภาพการทำงานที่เกิดขึ้นของระบบ) เพื่อให้ตะกอนตกลงสู่ก้นบ่อ เพื่อที่จะสามารถระบายน้ำใสที่อยู่ส่วนบนของบ่อได้ในกรณีที่ประมาณ (ระดับ) น้ำในบ่อมีเพียง

พอที่จะสามารถระบายได้ แต่ถ้าปริมาณน้ำมีไม่เพียงพอก็จะกลับเข้าสู่ช่วงการเติมอากาศอีกครั้งหนึ่ง

6) ช่วงการระบายน้ำใส ถ้าปริมาณน้ำในบ่อมีเพียงพอที่จะระบายออก เมื่อผ่านช่วงการตกตะกอนแล้วน้ำใสที่อยู่ส่วนบนของบ่อก็จะถูกดึงออกจากบ่อ (ระบบ) ด้วยชุดกลไกการลบน้ำที่ถูกควบคุมการเปิด-ปิดด้วยโซลินอยด์วาล์วและสวิทช์ลูกลอย น้ำใสที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วจะถูกดึงออกจากบ่อบำบัดเข้าสู่บ่อสัมผัสคลอรีน พร้อมกับเติมสารละลายคลอรีน (Sodium Hypochloride 10%) ในช่วงที่มีการระบายน้ำใสออกเพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคที่มีอยู่ในน้ำก่อนปล่อยลงสู่แหล่งเก็บกักน้ำหรือลำคลองสาธารณะต่อไป

7) ในกรณีที่เกิดตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดมากเกินไปจนจำเป็นก็ต้องสูบออกจากบ่อบำบัดไปยังบ่อตากตะกอน (ลานตากตะกอน) เพื่อนำตะกอนแห้งที่มีความหนาประมาณ 20-30 เซนติเมตร ไปกำจัดทิ้งต่อไป ส่วนน้ำเสียที่ซึมผ่านลงสู่ก้นบ่อก็จะไหลกลับไปยังบ่อรวบรวมน้ำเสียอีกครั้ง

องค์ประกอบหลักของระบบ

1. บ่อสูบน้ำเสีย
2. บ่อเติมอากาศ - ตกตะกอน
3. บ่อสัมผัสคลอรีนหรือบ่อฆ่าเชื้อโรค
4. ลานตากตะกอน

ข้อดีของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor)

1. ระบบเอสปีอาร์จะรวมส่วนของถังพักถังเติมอากาศและถังตกตะกอนในถังเดียวกันทำให้ลดพื้นที่ก่อสร้าง
2. ระบบสามารถรับการเปลี่ยนแปลงภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading) ได้ดีโดยน้ำเสียที่เข้าระบบถูกเจือจางลงโดยน้ำในถังปฏิกิริยาซึ่งที่ทำการบำบัดแล้วในรอบการทำงานที่ผ่านมา
3. ระบบสามารถควบคุมให้เกิดไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชันหรือการกำจัดฟอสฟอรัสได้โดยไม่ต้องเติมสารเคมีแต่อาศัยการควบคุมวัฏจักรของการบำบัด
4. เสียค่าบำรุงรักษาน้อยเพราะใช้อุปกรณ์น้อย

ข้อเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor)

1. การทำงานของระบบต้องอาศัยผู้ควบคุมที่มีความเชี่ยวชาญและประสบการณ์
2. มีการสิ้นเปลืองพลังงาน
3. หัวกระจายอากาศอุดตันง่ายจากการทับถมของตะกอนในช่วงตกตะกอน

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SBR (Sequencing Batch Reactor) จึงเป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่น้อย สะดวก ประหยัดและใช้ต้นทุนต่ำเพราะถังเติมอากาศกับถังตกตะกอนอยู่ในถังเดียวกัน เป็นระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพ สารอินทรีย์ซึ่งเป็นสาเหตุของการเน่าเสียของน้ำจะถูกจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังเติมอากาศย่อยสลาย โดยในกระบวนการย่อยสลายดังกล่าวจะต้องใช้ออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ จึงต้องทำการเติมอากาศให้เพียงพอเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถนำ O_2 ไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้แต่เป็นการเติมอากาศเป็นช่วงๆ

7. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor; RBC)

ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาให้น้ำเสียไหลผ่านตัวกลางลักษณะทรงกระบอกซึ่งวางจุ่มอยู่ในถังบำบัด ตัวกลางทรงกระบอกนี้จะหมุนอย่างช้า ๆ เมื่อหมุนขึ้นพื้นน้ำและสัมผัสอากาศ จุลินทรีย์ที่อาศัยติดอยู่กับตัวกลางจะใช้ออกซิเจนจากอากาศย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่สัมผัสตัวกลางขึ้นมา และเมื่อหมุนจมลงก็จะนำน้ำเสียขึ้นมาบำบัดใหม่ สลับกันเช่นนี้ตลอดเวลา

หลักการการทำงานของระบบ

กลไกการทำงานของระบบในการบำบัดน้ำเสียอาศัย จุลินทรีย์แบบใช้อากาศจำนวนมากที่ยึดเกาะติดบนแผ่นจานหมุนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยการหมุนแผ่นจานผ่านน้ำเสีย ซึ่งเมื่อแผ่นจานหมุนขึ้นมาสัมผัสกับอากาศก็จะพาเอาฟิล์มน้ำเสียขึ้นสู่อากาศด้วย ทำให้จุลินทรีย์ได้รับออกซิเจนจากอากาศ เพื่อใช้ในการย่อยสลายหรือเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์เหล่านั้นให้เป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และเซลล์จุลินทรีย์ ต่อจากนั้นแผ่นจานจะหมุนลงไปสัมผัสกับน้ำเสียในถังปฏิกริยาอีกครั้ง ทำให้ออกซิเจนส่วนที่เหลือผสมกับน้ำเสีย ซึ่งเป็นการเติมออกซิเจนให้กับน้ำเสียอีกส่วนหนึ่ง สลับกันเช่นนี้ตลอดไปเป็นวัฏจักร แต่เมื่อมีจำนวนจุลินทรีย์ยึดเกาะแผ่นจานหมุนหนามากขึ้น จะทำให้มีตะกอนจุลินทรีย์บางส่วน หลุดออกจากแผ่นจานเนื่องจากแรงเฉือนของการหมุน ซึ่งจะรักษาความหนาของแผ่นฟิล์มให้ค่อนข้างคงที่โดยอัตโนมัติ ทั้งนี้ตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยที่ไหลออกจากถังปฏิกริยานี้ จะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์และน้ำทิ้ง ทำให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบนี้มีคุณภาพดีขึ้น

ส่วนประกอบของระบบ

ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพเป็นระบบบำบัดน้ำเสียอีกรูปแบบหนึ่งของระบบบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) ซึ่งองค์ประกอบหลักของระบบประกอบด้วย 1) ถังตกตะกอนขั้นต้น

(Primary Sedimentation Tank) ทำหน้าที่ในการแยกของแข็งที่มากับน้ำเสีย 2) ถังปฏิกริยา ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และ 3) ถังตกตะกอนชั้นที่สอง (Secondary Sedimentation Tank) ทำหน้าที่ในการแยกตะกอนจุลินทรีย์และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว โดยในส่วนของถังปฏิกริยาประกอบด้วยแผ่นจานพลาสติกจำนวนมากที่ทำจาก polyethylene (PE) หรือ high density polyethylene (HDPE) วางเรียงขนานซ้อนกัน โดยติดตั้งฉากกับเพลานวนอนตรงจุดศูนย์กลางแผ่น ซึ่งจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจะยึดเกาะติดบนแผ่นจานนี้เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ หนาประมาณ 1-4 มิลลิเมตรหรือที่เรียกระบบนี้อีกอย่างว่าเป็นระบบ fixed film ทั้งนี้ชุดแผ่นจานหมุนทั้งหมดวางติดตั้งในถังคอนกรีตเสริมเหล็ก ระดับของเพลาก็จะอยู่เหนือผิวน้ำเล็กน้อย ทำให้พื้นที่ผิวของแผ่นจานจมอยู่ในน้ำประมาณร้อยละ 35 - 40 ของพื้นที่แผ่นทั้งหมด และในการหมุนของแผ่นจานหมุนชีวภาพอาศัยชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนเพลาลงและเฟืองทดรอบ เพื่อหมุนแผ่นจานในอัตราประมาณ 1 - 3 รอบต่อนาที

ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ จะประกอบด้วยหน่วยบำบัด ดังนี้

- บ่อปรับสภาพการไหล (Equalizing Tank)
- ถังตกตะกอนชั้นต้น (Primary Sedimentation Tank)
- ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ
- ถังตกตะกอนชั้นที่ 2 (Secondary Sedimentation Tank) และ

-บ่อเติมคลอรีน

ข้อดี

- 1) การเริ่มเดินระบบ (Start Up) ไม่ยุ่งยาก ซึ่งใช้เวลาเพียง 1 – 2 สัปดาห์
- 2) การดูแลและบำรุงรักษาง่าย ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้ความชำนาญมากนัก
- 3) ไม่ต้องมีการควบคุมการเวียนตะกอนกลับ
- 4) ใช้พลังงานในการเดินระบบน้อย เนื่องจากใช้พลังงานไฟฟ้าใช้สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เท่านั้น ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษาต่ำด้วย

ข้อเสีย

- 1) ราคาเครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีราคาแพง เนื่องจากต้องใช้วัสดุอย่างดีเป็นส่วนประกอบ
- 2) เพลากลั่นหมุนที่ต้องรับทั้งแรงอัดและแรงบิดชำระบ่อยครั้ง
- 3) แผ่นจานหมุนชีวภาพชำระเสียหายง่าย หากสัมผัสสิ่งก่อสร้างไวโอลีตและสารพิษเป็นเวลานานอย่างต่อเนื่อง

4.5 ประสิทธิภาพและข้อจำกัด

แม้ระบบบำบัดน้ำเสียหลายประเภทจะสามารถลดจำนวนเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพได้สูงถึง 90-99 % แต่ก็กำจัด ARGs และสาร

ด้านจุลชีพตกค้างยังไม่ครอบคลุมทั้งหมด โดยเฉพาะในระบบ
ธรรมชาติหรือระบบเก่าในโรงพยาบาลระดับอำเภอหรือชุมชน
ขนาดเล็ก (Rodriguez-Mozaz et al.,2015)

4.6 แนวโน้มการพัฒนา

- * การใช้เทคโนโลยีขั้นสูง : เช่น MBR, Advanced Oxidation Process (AOP), Ozone-Biofiltration
- * การประเมิน ARGs เป็นดัชนีมาตรฐาน : เพื่อประเมินคุณภาพน้ำ
ทิ้งและกากตะกอน
- * การเฝ้าระวังในระบบบำบัด : ใช้ molecular tools เพื่อตรวจจับ
ARGs และ Mobile Genetic Elements

บทที่ 5

: บทบาทของบุคลากรสาธารณสุขต่อการควบคุม AMR

5.1 ความสำคัญของบุคลากรสาธารณสุขในบริบทของ AMR

เชื้อดื้อยาต้านจุลชีพ เป็นปัญหาสาธารณสุขระดับโลกที่ส่งผลกระทบต่อทุกภาคส่วนโดยเฉพาะระบบบริการสุขภาพ บุคลากรสาธารณสุขจึงมีบทบาทสำคัญทั้งในด้านการป้องกัน การควบคุม และการให้ความรู้แก่ชุมชนตลอดจนการมีส่วนร่วมในการจัดการสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำเสียจากสถานพยาบาลที่เป็นแหล่งแพร่กระจายเชื้อดื้อยา

5.3 บทบาทหลักของบุคลากรสาธารณสุข

1. การเฝ้าระวังและติดตามสถานการณ์

- * ตรวจสอบอุบัติการณ์ของการติดเชื้อดื้อยาในสถานพยาบาล
- * รายงานข้อมูลเชิงระบบให้หน่วยงานส่วนกลางเพื่อใช้ในการวางแผนระดับชาติ

2. การใช้ยาอย่างสมเหตุสมผล (Rational Use of Antimicrobial)

- * สนับสนุนแนวทางการใช้ยาต้านจุลชีพอย่างถูกต้อง

* ประสานกับแพทย์ เภสัชกร และทีมควบคุมการติดเชื้อ

3. การจัดการระบบสุขาภิบาลและน้ำเสียในสถานพยาบาล

* ให้คำแนะนำในการจัดการน้ำเสียอย่างถูกต้อง

* ประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนเชื้อดื้อยาในสิ่งแวดล้อม

4. การให้ความรู้แก่ชุมชนและผู้ป่วย

* จัดกิจกรรมรณรงค์และให้ความรู้เกี่ยวกับอันตรายของ AMR

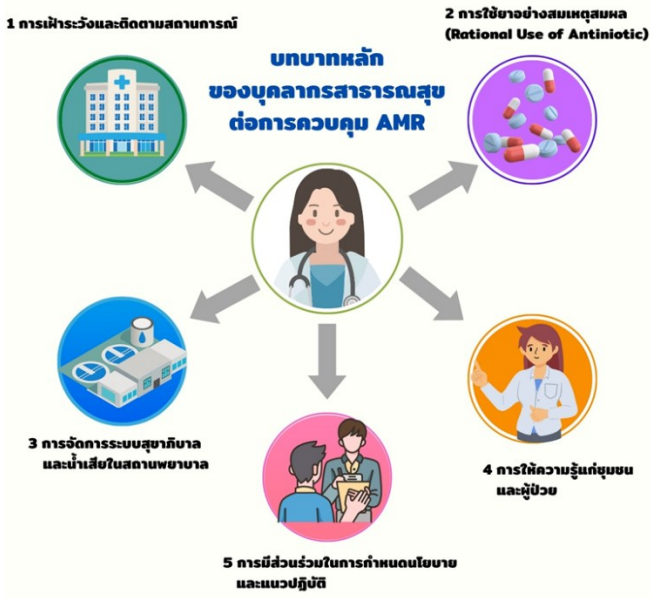
* ส่งเสริมการไม่ซื้อยาปฏิชีวนะโดยไม่จำเป็น

5. การมีส่วนร่วมในการกำหนดนโยบายและแนวปฏิบัติ

* เข้าร่วมเวทีประชุมด้านนโยบาย

* นำเสนอข้อมูลเชิงประจักษ์เพื่อสนับสนุนมาตรการควบคุม

เชื้อดื้อยา



ภาพ 5-1 บทบาทหลักของบุคลากรสาธารณสุข
ต่อการควบคุม AMR

5.3 ความท้าทายในการดำเนินบทบาท

- * ขาดทรัพยากรบุคคลและงบประมาณสนับสนุน
- * ความไม่เข้าใจของประชาชนเกี่ยวกับการใช้ยาปฏิชีวนะ
- * ขาดการบูรณาการระหว่างภาคส่วน เช่น สาธารณสุข สิ่งแวดล้อม และเกษตร

5.4 แนวทางสนับสนุนบทบาทบุคลากรสาธารณสุข

- * พัฒนาศักยภาพผ่านการอบรมเฉพาะด้าน AMR
- * ส่งเสริมการวิจัยและเก็บข้อมูลเชิงระบบ
- * ประสานความร่วมมือกับหน่วยงานสิ่งแวดล้อม เทศบาล และภาคเอกชน

บทที่ 6 : แนวทางการจัดการเชื้อดื้อยาในระบบบำบัดน้ำเสีย

6.1 บทนำ

การแพร่กระจายของเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพผ่านระบบบำบัดน้ำเสียเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่เร่งให้เกิดวิกฤต AMR ทั่วโลก โดยเฉพาะในโรงพยาบาลและสถานพยาบาลที่มีการใช้ยาต้านจุลชีพในปริมาณสูง น้ำเสียจากสถานที่เหล่านี้มักปนเปื้อนทั้งเชื้อดื้อยาและยาตกค้าง การจัดการอย่างมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องบูรณาการมาตรการด้านเทคนิค การบริหารจัดการ และการกำกับดูแล

6.2 หลักการสำคัญในการจัดการ

1.การป้องกัน (Prevention)

- * ลดการใช้ยาต้านจุลชีพโดยไม่จำเป็น
- * คัดแยกน้ำเสียที่มีความเสี่ยงสูง (เช่น จากหอผู้ป่วยติดเชื้อ) ก่อนเข้าสู่ระบบรวม

2.การกำจัด (Removal/Destruction)

- * เลือกเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียที่สามารถลดทั้งเชื้อและยาตกค้าง

*ใช้กระบวนการฆ่าเชื้อชั้นปลาย เช่น คลอรีน โอโซน รังสีอัลตราไวโอเล็ต หรือการกรองเมมเบรน

3.การเฝ้าระวัง (Surveillance)

* ตรวจสอบติดตามปริมาณเชื้อดื้อยาและยีนดื้อยาในทุกขั้นตอนบำบัด

* ใช้ฐานข้อมูลร่วมระหว่างหน่วยงาน

4.การบูรณาการกับชุมชน (Community Integration)

* ให้ความรู้แก่ชุมชนเกี่ยวกับการใช้ยาอย่างเหมาะสม

* มีระบบรับข้อร้องเรียนและตอบสนองต่อปัญหามลพิษ

6.3 เทคโนโลยีบำบัดที่แนะนำ

ประเภทเทคโนโลยี	กลไกหลัก	ประสิทธิภาพต่อ AMR	ข้อจำกัด
คลอรีน (Chlorination)	ออกซิเดชัน ทำลายผนัง เซลล์และDNA	ลดเชื้อและ ARGs ได้ดีมาก ควบคุมความ เข้มข้น	เกิดสาร พลอยได้ที่ เป็นพิษ

โอโซน (Ozonation)	ออกซิเดชัน พลังงานสูง ทำลายจุลชีพ	ลด ARGs ได้สูง	ต้นทุนสูง
รังสี UV	ทำลาย DNA และ RNA ของ เชื้อ	มีประสิทธิภาพ เฉพาะน้ำใส	ไม่กำจัด สารเคมี ตกค้าง
เมมเบรนฟิเตรชัน (UF/RO)	กรองเชิง กายภาพ	แยกเชื้อและ ARGs ได้เกือบ สมบูรณ์	ต้นทุนการ บำรุงรักษา สูง

6.4 แนวทางการปฏิบัติ (Best Practices)

- * ติดตั้งระบบ pre-treatment สำหรับน้ำเสียจากหอผู้ป่วยที่ใช้ยา
มาก
- * เลือกเทคโนโลยีบำบัดให้สอดคล้องกับปริมาณน้ำเสียและ
งบประมาณ
- * ตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งอย่างต่อเนื่องอย่างน้อยเดือนละครั้ง
- * บูรณาการระบบข้อมูล AMR ระหว่างโรงพยาบาลหน่วยงาน
ท้องถิ่นและหน่วยงานสาธารณสุข

6.5 สรุป

การจัดการซื้อตัวยาในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นงานที่ต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องและครอบคลุมหลายมิติตั้งแต่การลดการใช้ยาที่ต้นทาง การเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสม การเฝ้าระวังเชิงรุกไปจนถึงการมีส่วนร่วมของชุมชนเพื่อป้องกันไม่ให้ซื้อตัวยาและยีนตัวยาแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม

บทที่ 7 กรณีศึกษาทั้งในและต่างประเทศ

7.1 บทนำ

กรณีศึกษาการจัดการเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสียถือเป็นแหล่งเรียนรู้สำคัญที่ช่วยให้บุคลากรสาธารณสุขและวิศวกรสิ่งแวดล้อมสามารถนำแนวทางที่ประสบความสำเร็จไปประยุกต์ใช้ในบริบทของตนเอง โดยในบทนี้จะยกตัวอย่างทั้งจากประเทศไทยและต่างประเทศ เพื่อให้เห็นภาพรวมของวิธีการเทคโนโลยี และการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ

7.2 กรณีศึกษาภายในประเทศ

7.2.1 โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

- * เทคโนโลยีที่ใช้ : ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization ponds) ร่วมกับการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน
- * ผลลัพธ์ : ลดปริมาณ *Escherichia coli* และยีนดื้อยา blaCTX-M ได้มากกว่า 80%
- * ข้อดี : ลงทุนต่ำ ดูแลรักษาง่าย
- * ข้อจำกัด : ประสิทธิภาพลดลงในฤดูฝนจากการเจือจาง

7.2.2 โรงพยาบาลศูนย์ขอนแก่น

* เทคโนโลยีที่ใช้ : ระบบ SBR (Sequencing Batch Reactor)

ร่วมกับรังสี UV

* ผลลัพธ์ : ลดเชื้อดื้อยา *Klebsiella pneumoniae* ได้มากกว่า 90 %

* ข้อดี : ควบคุมคุณภาพน้ำได้ดีต่อเนื่อง

* ข้อจำกัด : ต้องการบุคลากรที่มีทักษะในการควบคุมระบบ

7.3 กรณีศึกษาต่างประเทศ

7.3.1 สวีเดน -โรงพยาบาลSahlgrenska University Hospital

* เทคโนโลยีที่ใช้ : การบำบัดขั้นสูงด้วยโอโซนและการกรองด้วยเมมเบรน

* ผลลัพธ์ : ลด ARGs ได้มากกว่า 95 %

* ข้อดี : ประสิทธิภาพสูง เหมาะกับน้ำเสียความเสี่ยงสูง

* ข้อจำกัด : ต้นทุนติดตั้งและบำรุงรักษาสูง

7.3.2 ญี่ปุ่น – Tokyo Medical and Dental University Hospital

* เทคโนโลยีที่ใช้ : ระบบ MBR (Membrane Bioreactor) ร่วมกับการใช้คลอรีนช่วงสุดท้าย

* ผลลัพธ์ : ลดปริมาณเชื้อดีดื้อยา *Pseudomonas aeruginosa* และ ARGs หลักได้เกือบทั้งหมด

* ข้อดี : ได้คุณภาพสูง สามารถนำน้ำกลับมาใช้ซ้ำบางส่วน

* ข้อจำกัด : ต้องการระบบบำรุงรักษาเชิงป้องกันอย่างเข้มงวด

7.4 บทเรียนที่ได้จากกรณีศึกษา

1. การเลือกเทคโนโลยีต้องเหมาะสมกับบริบท-ไม่จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงเสมอไป หากระบบพื้นฐานสามารถควบคุมความเสี่ยงได้
2. การบำรุงรักษามีความสำคัญพอ ๆ กับการติดตั้งระบบที่ดีแต่ขาดการดูแลจะเสื่อมประสิทธิภาพเร็ว
3. การมีข้อมูลเฝ้าระวังต่อเนื่องช่วยปรับปรุงระบบ - การตรวจวิเคราะห์เชื้อและARGsอย่างสม่ำเสมอทำให้สามารถปรับการดำเนินงานได้ทันเวลา
4. การบูรณาการหลายมาตรการมักให้ผลดีกว่ามาตรการเดียว - เช่น การใช้SBR ร่วมกับ UV หรือMBR ร่วมกับคลอรีน

7.5 สรุป

จากกรณีศึกษาทั้งในและต่างประเทศ จะเห็นว่าการจัดการเชื้อดื้อยาในระบบบำบัดน้ำเสียสามารถทำได้หลายวิธีโดยความสำเร็จขึ้นอยู่กับ การออกแบบระบบให้เหมาะสมกับบริบท ความพร้อมของบุคลากรและการเฝ้าระวังประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง การนำบทเรียนเหล่านี้มาประยุกต์ใช้จะช่วยลดความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายของ AMR สู่สิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 8

แนวทางปฏิบัติสำหรับบุคลากรสาธารณสุข

8.1 การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment)

- * การเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากจุดสำคัญ เช่น จุดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม
- * การส่งตรวจวิเคราะห์เชื้อดื้อยา เช่น ESBL E.coli ,การตรวจ ARGs
- *การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินระดับความเสี่ยงต่อสุขภาพชุมชน

8.2 การเฝ้าระวัง (Surveillance & Monitoring)

- * จัดระบบเฝ้าระวังคุณภาพน้ำเสียในโรงพยาบาล
- *ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ เช่น PCR,qPCR,หรือวิธีเพาะเชื้อ
- *รายงานผลต่อส่วนกลางตามระบบ One Health

8.3 การควบคุมและลดความเสี่ยง (Control & Mitigation)

- *การใช้สารเคมีฆ่าเชื้อ (chlorination,ozonation,UV)ให้เหมาะสม
- *การลดการใช้ยาปฏิชีวนะที่ไม่จำเป็นในสถานพยาบาล
- *การจัดการส้วมและสิ่งปฏิกูลอย่างถูกต้องสุขลักษณะ

8.4 การสื่อสารความเสี่ยงและการมีส่วนร่วมของชุมชน (Risk Communication)

- * ให้ความรู้ชุมชนเกี่ยวกับผลกระทบของ AMR ในน้ำเสีย
- * ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนในการเฝ้าระวังและจัดการน้ำเสีย
- * การสร้างเครือข่ายร่วมกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหรือหน่วยงานท้องถิ่น

8.5 การพัฒนาศักยภาพบุคลากร (Capacity Building)

- * จัดการฝึกอบรมบุคลากรสาธารณสุขเกี่ยวกับ AMR และระบบบำบัดน้ำเสีย
- * สนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรม
- * เชื่อมโยงกับนโยบายระดับประเทศและสากล
(WHO, UNEP, FAO, OIE)

บทที่ 9

นโยบายและยุทธศาสตร์ระดับประเทศที่เกี่ยวข้อง

9.1 บทนำ

การจัดการเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพ (AMR) ในระบบบำบัดน้ำเสียไม่ได้เป็นเพียงประเด็นด้านเทคนิคหรือวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องอย่างลึกซึ้งกับนโยบายสาธารณสุข สิ่งแวดล้อมและกฎหมายทั้งนี้ ประเทศไทยได้มีการกำหนดนโยบายและยุทธศาสตร์ระดับชาติที่สอดคล้องกับแนวทางขององค์การอนามัยโลก (WHO) เพื่อควบคุมและลดการแพร่กระจายของ AMR

9.2 นโยบายและยุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

9.2.1 ยุทธศาสตร์การจัดการเชื้อดื้อยาต้านจุลชีพแห่งชาติ (พ.ศ. 2560-2564 และแผนต่อเนื่อง พ.ศ. 2565-2569)

*เป้าหมาย : ลดอัตราการป่วยและเสียชีวิตจากการติดเชื้อดื้อยา และลดการใช้ยาต้านจุลชีพอย่างไม่เหมาะสม

*มาตรการสำคัญที่เกี่ยวข้องกับน้ำเสีย :

1. ส่งเสริมการเฝ้าระวังเชื้อดื้อยาในสิ่งแวดล้อม
2. กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงพยาบาล

3.บูรณาการข้อมูลจากหน่วยงานด้านสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม

9.2.2 แผนแม่บทการจัดการสิ่งปฏิกูลและน้ำเสียของประเทศ (กรมควบคุมมลพิษ)

* เป้าหมาย : จัดการน้ำเสียจากชุมชนและสถานพยาบาลให้ได้
มาตรฐานก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

*แนวทาง :

* การบำบัดขั้นสูง (Advanced Treatment) สำหรับน้ำ
เสียความเสี่ยงสูง

* การสนับสนุนงบประมาณสำหรับโรงพยาบาลขนาดเล็ก
ให้ปรับปรุงระบบบำบัด

* การพัฒนาคู่มือเทคนิคและมาตรฐานบำบัดน้ำเสีย

9.2.3 พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม แห่งชาติ พ.ศ. 2535

* สาระสำคัญ : กำหนดให้โรงพยาบาลและแหล่งกำเนิดมลพิษต้อง
ปฏิบัติตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

* กลไกบังคับใช้: การตรวจสอบและการดำเนินคดีกรณีปล่อยน้ำเสียเกินมาตรฐาน

9.2.4 ความร่วมมือระหว่างประเทศ

* One Health Approach : ไทยเข้าร่วมความร่วมมือกับ WHO,FAO และ OIE ในการควบคุม AMR

*โครงการเฝ้าระวัง AMR ในสิ่งแวดล้อม (Environmental AMR Surveillance) : ร่วมมือกับประเทศในอาเซียน เช่น สิงคโปร์ มาเลเซีย เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลและเทคโนโลยีบำบัด

9.3 บทบาทหน่วยงานหลัก

หน่วยงาน	บทบาท
กระทรวงสาธารณสุข	กำหนดนโยบายด้าน AMR , เฝ้าระวังเชื้อดื้อยาใน สถานพยาบาล
กรมควบคุมมลพิษ	ออกมาตรฐานน้ำทิ้ง,ตรวจสอบ คุณภาพสิ่งแวดล้อม
กรมอนามัย	ให้คำแนะนำด้านสุขาภิบาล และระบบบำบัด

สำนักงานคณะกรรมการ อาหารและยา	ควบคุมการใช้ยาต้านจุลชีพ
องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น	ดูแลระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน และสนับสนุนโรงพยาบาลใน พื้นที่

9.4 ช่องว่างและความท้าทาย

- 1.ขาดมาตรฐานการตรวจและเฝ้าระวังยีนดื้อยา (ARGs) ใน
สิ่งแวดล้อม
- 2.ขาดงบประมาณสำหรับการติดตั้งระบบบำบัดขั้นสูงใน
โรงพยาบาลขนาดเล็ก
- 3.การบังคับใช้กฎหมายยังไม่เข้มงวดเพียงพอ
- 4.ขาดการบูรณาการข้อมูลระหว่างกระทรวงสาธารณสุขกับ
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

9.5 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

- * จัดทำมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งเฉพาะสำหรับ AMR
- * ส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในโรงพยาบาลความเสี่ยงสูง

*พัฒนาระบบเฝ้าระวัง AMR ในสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง

*สนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับการลดการแพร่กระจายของ AMR

9.6 สรุป

นโยบายและยุทธศาสตร์ระดับประเทศเป็นกรอบสำคัญในการขับเคลื่อนการจัดการเชื้อดื้อยาในระบบบำบัดน้ำเสีย การดำเนินการให้ได้ผลจำเป็นต้องมีทั้งการกำหนดมาตรฐานที่ชัดเจน การบังคับใช้กฎหมายที่เข้มแข็งและการบูรณาการข้อมูลระหว่างหน่วยงานเพื่อให้ประเทศไทยสามารถลดการแพร่กระจายของ AMR ได้อย่างยั่งยืน

บทที่ 10

บทสรุป ข้อเสนอแนะและแนวโน้มในอนาคต

10.1 บทสรุป

การดื้อยาต้านจุลชีพ (Antimicrobial Resistance : AMR) เป็นหนึ่งในวิกฤติด้านสาธารณสุขระดับโลกที่กำลังทวีความรุนแรงมากขึ้น โดยมีผลกระทบทั้งต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้ได้ชี้ให้เห็นว่าระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นหนึ่งในแหล่งสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการคงอยู่และแพร่กระจายของเชื้อดื้อยาและยีนดื้อยา (ARGs) ไปสู่ชุมชนและสิ่งแวดล้อมภายนอก

จากการทบทวนองค์ความรู้พบว่า

- **กลไกดื้อยา** มีความซับซ้อน ทั้งการดื้อยาตามธรรมชาติ การถ่ายทอดยีนดื้อยาและการเกิดขึ้นใหม่จากแรงกดดันการใช้ยา
- **แหล่งกำเนิด AMR** อยู่ทั้งในสถานพยาบาล ฟาร์มปศุสัตว์ ชุมชนและสิ่งแวดล้อม

- ระบบบำบัดน้ำเสีย มีทั้งที่สามารถกำจัดเชื้อและยีนดื้อยาได้บางส่วนแต่หลายระบบยังไม่สามารถลดการปนเปื้อน AMR ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- บุคลากรสาธารณสุข มีบทบาทสำคัญในการเฝ้าระวังให้ ความรู้และสร้างมาตรการร่วมกับหน่วยงานต่าง ๆ
- นโยบายและยุทธศาสตร์ ทั้งระดับประเทศและนานาชาติ ได้เริ่มขับเคลื่อนแต่ยังต้องการเครื่องมือสนับสนุนเพิ่มเติม

10.2 ข้อเสนอแนะ

1. ด้านนโยบาย

- * จัดทำ Blueprint การจัดการ AMR ในน้ำเสีย ระดับประเทศ
- * พัฒนามาตรฐานคุณภาพน้ำที่รวมการตรวจสอบ AMR และ ARGs
- * ส่งเสริมความร่วมมือระหว่างประเทศ (Regional และ Global Action Plan)

2.ด้านเทคนิคและระบบบำบัด

* สนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีบำบัดใหม่ เช่น Membrane bioreactor, Advanced oxidation,UV-C/Ozone hybrid

* ส่งเสริมการใช้งานระบบ Monitoring & Early Warning System สำหรับ AMR ในสิ่งแวดล้อม

3.ด้านบุคลากรและชุมชน

* พัฒนาศักยภาพบุคลากรสาธารณสุขและเจ้าหน้าที่ท้องถิ่น

* สร้างความรู้ความเข้าใจแก่ประชาชนในการลดการใช้ยาปฏิชีวนะเกินจำเป็น

* สนับสนุนการมีส่วนร่วมของภาคประชาสังคมและภาคเอกชน

4.ด้านวิชาการและข้อมูล

* จัดตั้งฐานข้อมูล AMR สิ่งแวดล้อมระดับชาติ

* สนับสนุนงานวิจัยเชิงระบบนิเวศ (Eco – health research) ที่บูรณาการมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

10.3 แนวโน้มในอนาคต

* การตรวจวินิจฉัยรวดเร็ว (Rapid Diagnostic Tools): ใช้เทคนิค molecular biology และ AI ช่วยวิเคราะห์การแพร่กระจาย AMR ในเวลาสั้น

* เทคโนโลยีบำบัดรุ่นใหม่ (Next – generation Treatment) : เน้นระบบบำบัดที่ใช้พลังงานน้อยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น Biochar, Nanomaterials, Phage-based treatment

* การเชื่อมโยงข้อมูล Big data และ One Health : การเฝ้าระวัง AMR จะใช้ฐานข้อมูลขนาดใหญ่เชื่อมโยงมนุษย์-สัตว์-สิ่งแวดล้อมแบบ real-time

* การขับเคลื่อนนโยบายโลก : WHO, FAO, UNEP และ OIE จะร่วมกันกำหนดยุทธศาสตร์ที่ครอบคลุมมากขึ้น โดยเน้นการจัดการ AMR ในน้ำเสียเป็นองค์ประกอบหลัก

* การสร้างความร่วมมือข้ามภาคส่วน : ภาคธุรกิจ เทคโนโลยีและสังคมจะมีบทบาทร่วมในการจัดการปัญหา AMR มากขึ้น

10.4 สรุปภาพรวม

การจัดการเชื้อดื้อยาในระบบบำบัดน้ำเสียไม่สามารถแก้ไขได้โดยหน่วยงานใดหน่วยงานหนึ่งแต่ต้องอาศัยการบูรณาการของนโยบาย - เทคโนโลยี - บุคลากร - ชุมชน - ความร่วมมือระหว่างประเทศ หากสามารถขับเคลื่อนตามข้อเสนอแนะและแนวโน้มในอนาคตได้อย่างต่อเนื่อง จะช่วยลดการแพร่กระจาย AMR และเสริมสร้างความมั่นคงด้านสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อมของประเทศในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

1. ReAct Globally. Resistance mechanisms.
<https://www.reactgroup.org/toolbox/understand/antibiotic-resistance/resistance-mechanisms-in-bacteria/> ข้อมูลวันที่ 3 ตุลาคม 2568
2. สำนักงานการแพทย์ กรุงเทพมหานคร. เชื้อดื้อยาเกิดขึ้นได้อย่างไร.
<https://amr.msdbangkok.go.th/how-antibiotic-resistance-happens/>. เข้าถึงข้อมูลวันที่ 3 ตุลาคม 2568
3. World Health Organization. (2015). Global action plan on antimicrobial resistance. WHO.
4. Kümmerer, K. (2018). Antibiotics in the aquatic environment—A review—Part I. Chemosphere, 75(4), 417–434.
5. Berendonk, T. U., et al. (2015). Tackling antibiotic resistance: the environmental framework. Nature Reviews Microbiology, 13(5), 310–317.

6. Thailand National Strategic Plan on Antimicrobial Resistance 2017–2021. (2017). กระทรวงสาธารณสุข.
7. Marti, E., Jofre, J., & Balcazar, J. L. (2014). Prevalence of antibiotic resistance genes and bacterial community composition in a river influenced by a wastewater treatment plant. *Science of the Total Environment*, 447, 267–272.
8. Michael, I., Rizzo, L., McArdeell, C. S., Manaia, C. M., Merlin, C., Schwartz, T., ... & Fatta-Kassinos, D. (2013). Urban wastewater treatment plants as hotspots for antibiotic-resistant bacteria and genes spread into the environment: a review. *Science of the Total Environment*, 447, 345–360.
9. Rizzo, L., Manaia, C., Merlin, C., Schwartz, T., Dagot, C., Ploy, M. C., ... & Fatta-Kassinos, D. (2013). Urban wastewater treatment plants as hotspots for antibiotic-resistant bacteria and genes spread into the

environment. *Science of the Total Environment*, 447, 345–360.

10. Rodriguez-Mozaz, S., Chamorro, S., Marti, E., Huerta, B., Gros, M., Sanchez-Melsio, A., ... & Barcelo, D. (2015). Occurrence of antibiotics and antibiotic resistance genes in hospital and urban wastewaters and their impact on the receiving river. *Water Research*, 69, 234–242.

11. Zhang, Y., Marrs, C. F., Simon, C., & Xi, C. (2009). Wastewater treatment contributes to selective increase of antibiotic resistance among *Acinetobacter* spp. *Science of the Total Environment*, 407(12), 3702–3706.

ที่ปรึกษา

แพทย์หญิงอัมพร	เบญจพลพิทักษ์	อธิบดีกรมอนามัย
นายแพทย์ธิตี	แสวงธรรม	รองอธิบดีกรมอนามัย
นางฉวีรนุช	อภาจารัส	ผู้อำนวยการ สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม
นางอุทัยวรรณ	บุตรแพ	หัวหน้ากลุ่มสุขาภิบาล สิ่งแวดล้อม

ผู้จัดทำ

นายทัยธัช	หิรัญเรือง	สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม
นางสาวพนิตา เจริญสุข		กองประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ
นางสาวสัจมาน	ตรีนเจริญ	สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม
นางสาวอรุษา	เต็มศรีรัตน์	สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม