

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีการออกแบบบ่อบำบัดแบบบ่อกดตัว (Stabilization Ponds)

2.1 ลักษณะของบ่อกดตัว

2.1.1 ประเภทของบ่อกดตัว บ่อกดตัวโดยปกติจะแบ่งตามธรรมชาติการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งพอจะแบ่งได้ดังนี้ บ่อแเอโรบิก บ่อแฟคัลเททีฟหรือบ่อแเอโรบิก – แอนแเอโรบิก บ่อแอนแเอโรบิก และบ่อป่ม (maturation pond)

2.1.1 บ่อแเอโรบิก

บ่อแเอโรบิกมีแบคทีเรียและสาหร่ายแขวนลอยอยู่ เป็นข้อที่มีออกซิเจนทั่วทั้งบ่อ มีสภาพแเอโรบิกตลอดความลึก บ่อแเอโรบิกได้รับออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและการเติมอากาศที่ผิวน้ำ ยกเว้นสาหร่ายแล้ว หมู่จุลินทรีย์ที่อยู่ในบ่อกดตัวคล้ายคลึงกับหมู่จุลินทรีย์ในระบบแอกทีเวเทดสลัดจ์ สาหร่ายและแบคทีเรียมีความสัมพันธ์แบบพึ่งพากัน ออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและการเติมอากาศที่ผิวน้ำจะถูกแบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์แล้วให้ CO_2 และนูทริเอนต์ (nutrients) ออกมา สาหร่ายก็จะใช้ CO_2 และนูทริเอนต์ในการสังเคราะห์แสงเป็นวัฏจักรดังแสดงตามภาพ นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์ที่มีรูปชีวิตสูงกว่าเช่น โรดิเฟอร์ (rodifers) และ โปรโตซัว (protozoa) อยู่ด้วย ซึ่งมีบทบาทที่สำคัญคือการขจัดเกลื่อน้ำเสียที่ออกมาให้สะอาดยิ่งขึ้น

กลุ่มสาหร่าย สัตว์ หรือแบคทีเรียใด ๆ ที่อยู่ในบ่อแเอโรบิก ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อัตราการรับสารอินทรีย์ ระดับการผสมในบ่อ pH นูทริเอนต์ แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิ

บ่อแเอโรบิกนี้แบ่งออกเป็น 2 แบบตามวัตถุประสงค์ของการทำงาน คือ

ก. บ่อแเอโรบิกแบบผลิตออกซิเจนให้มากที่สุด บ่อแบบนี้มีความลึกได้ประมาณ 1 – 1.5 เมตร อาจมีการกวนเป็นระยะ ๆ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด โดยใช้เครื่องสูบน้ำหรือเครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำ

ข. บ่อแเอโรบิกแบบผลิตสาหร่ายให้มากที่สุด บ่อแเอโรบิกแบบนี้ผลิตสาหร่ายให้ได้มากที่สุด หรือบ่อที่มีอัตราการทำงานสูง (high – rate ponds) ใช้สาหร่ายเปลี่ยนน้ำทิ้งให้เป็นสาหร่ายมากที่สุด แล้วเก็บเกี่ยวเพื่อนำโปรตีนไปใช้ วัตถุประสงค์นี้ผิดกับการบำบัดน้ำทิ้งทั่วไป

รูปร่างของบ่อแบบนี้มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ต่อปริมาตรความสูง ความลึกของบ่อประมาณ 0.2 เมตร ถึง 0.6 เมตร สิ่งที่อยู่ในบ่อจะต้องได้รับการกวนครั้งหนึ่งหรือสองครั้งในวันหนึ่ง ๆ เพื่อให้ตะกอนที่ตกอยู่ลอยขึ้นมา และจำเป็นต้องแยกสาหร่ายออกจากน้ำที่ออกขึ้นสุดท้าย บ่ออัตราทำงานสูงนี้เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงแบบหนึ่ง แต่อย่างไรก็มีข้อเสีย คือ ต้องการผู้ที่มีฝีมือควบคุมการทำงานแยกสาหร่าย



รูปที่ 2.1 การทำงานของบ่อคงตัว

2.1.2 บ่อแฟคัลเททีฟ

บ่อแฟคัลเททีฟหรือบ่อแอโรบิก - แอนโรบิก หรือบ่อกึ่งแอโรบิกเป็นบ่อที่ใช้กันมากที่สุด ที่มีชื่อเรียกเพราะว่า ส่วนบนของบ่ออยู่ในสภาพแอโรบิก เนื่องจากการเติมอากาศที่ผิวน้ำและจากกิริยาของสาหร่ายซึ่งให้ออกซิเจน ส่วนล่างของบ่ออยู่ในสภาพแอนโรบิก ที่มีสารอินทรีย์ตกตะกอนแล้วถูกย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก

บ่อแฟคัลเททีฟโดยปกติแล้วรับน้ำทิ้งดิบจากที่อยู่อาศัย ที่ผ่านการบำบัดขั้นเริ่มต้นเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม สามารถใช้บ่อแบบนี้บำบัดน้ำทิ้งที่ผ่านการตกตะกอนจากถังหมักและบ่อเกรอะได้

บ่อแพคัลเททีฟมีความลึกประมาณ 1.00 ม. ถึง 2.00 ม. น้ำทิ้งถูกกักเป็นเวลาหลายวัน เพื่อให้คงตัวและไม่น่ารังเกียจเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งรับน้ำหรือพื้นดิน กระบวนการบำบัดที่เกิดขึ้นมีทั้งทางฟิสิกส์ เคมี และชีววะ เรียกกันว่า การทำความสะอาดตัวเอง (self-purification) ซึ่งเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของสาหร่ายและแบคทีเรียภายใต้อิทธิพลของแสงอาทิตย์ หรือ photosynthesis สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำและถูกทำให้คงตัวและเปลี่ยนเป็นสาหร่ายส่วนหนึ่ง อีกส่วนหนึ่งก็เป็นสารอินทรีย์ที่คงตัวกว่า แล้วหลุดออกไปในกระแสออก

2.1.3 บ่อแอนแอโรบิก

บ่อแอนแอโรบิกใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูง บ่อนี้ถูกออกแบบให้มีอัตรารับสารอินทรีย์สูงมาก จนสาหร่ายและการเติมออกซิเจนที่ผิวหน้าไม่สามารถป้อนออกซิเจนได้ทัน ดังนั้นภายในบ่อจะไม่มีออกซิเจนละลาย (DO) อยู่ ข้อดีที่สุดของบ่อแบบนี้คือ ใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง และมีปริมาณของแข็งสูง ของแข็งเหล่านั้นจะตกลงสู่ก้นบ่อแล้วถูกย่อยสลายแบบแอนโรบิก น้ำที่ออกจากบ่อจะถูกปล่อยลงบ่อแพคัลเททีฟสำหรับการบำบัดขั้นต่อไป

การทำงานของบ่อแบบนี้เป็นเช่นเดียวกับถังหมัก ซึ่งขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกรดและแบคทีเรียที่ทำให้เกิดแก๊สมีเทน ดังนั้นอุณหภูมิของบ่อควรมากกว่า 15 องศาเซลเซียส และ pH ต้องมากกว่า 6 ภายใต้สภาพเช่นนี้ตะกอนสะสมจะมีน้อยที่สุด การเอาตะกอนออกซึ่งจำเป็นเมื่อตะกอนสะสมถึงครึ่งหนึ่งของบ่อ จะทำทุก 3-5 ปี สำหรับน้ำเสียจากที่อยู่อาศัย ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส บ่อหมักนี้จะทำหน้าที่เป็นเพียงบ่อตะกอนเท่านั้น บ่อแบบนี้มีความลึกประมาณ 2 ม. ถึง 5 ม.

ในอดีตบ่อแอนแอโรบิกนี้ไม่เป็นเป็นที่นิยมของวิศวกรผู้ออกแบบ เพราะกลัวกลิ่นที่ปล่อยออกมาและความต้องการการบำรุงรักษาเป็นพิเศษ แต่ในปัจจุบันนี้ ความล้มพันธ์ของการเกิดกลิ่นและอัตราการรับสารอินทรีย์เป็นที่เข้าใจกันดีแล้ว ดังนั้น ปัญหานี้โดยปกติสามารถแก้ไขได้ในขั้นออกแบบนอกจากนี้การใช้บ่อแอนแอโรบิก ทำให้สามารถประหยัดพื้นที่ดินได้อย่างมาก บ่อยครั้งการประหยัดที่ดินจึงเป็นตัวกำหนดการใช้บ่อนี้ในโครงการใหญ่ ๆ (อัตราการไหลมากกว่า 10,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน) ที่ซึ่งมีอุปสรรคในการบำรุงรักษาอย่างพอเพียง

2.1.4 บ่อปม

บ่อปม (maturation pond) ใช้เป็นขั้นที่สองต่อบ่อแพคัลเททีฟ จุดประสงค์ใหญ่ในการใช้คือการทำลายจุลินทรีย์ที่ให้โทษ แบคทีเรียและไวรัสที่มาจากอุจจาระจะตายไปอย่างรวดเร็วเนื่องจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม พวก cysts และ ova ของพยาธิที่อาศัยอยู่ในท้อง ที่มีความหนาแน่น 1.1 จะตกลงสู่ก้นบ่อเนื่องจากเวลากักที่ยาวและตายไป การกำจัด BOD₅

ในบ่อบ่อมีน้อยมาก สำหรับบ่อบ่อสองบ่อต่ออนุกรมกัน แต่ละบ่อต้องมีเวลากัก 7 วัน จึงจะลด BOD₅ จากประมาณ 50 – 70 ก./ลูกบาศก์เมตร ลงมาเหลือน้อยกว่า 25 ก./ตารางเมตร

บ่อบ่อนี้จะเป็นแอโรบิกทั้งหมด สามารถรักษาสภาพแอโรบิกได้ลึกถึง 3 ม. แต่อย่างไรก็ตามโดยปกติแล้วความลึกของบ่อบ่อจะเท่ากับแพคัลเทที่ฟที่นำหน้าอยู่ (1 – 2 ม.) ความลึกนั้นนอกจากสะดวกในการก่อสร้างแล้ว ยังควรใช้ เนื่องจากสามารถทำลายไวรัสได้ดีกว่าบ่อลึก การวัดประสิทธิภาพของบ่อบ่อในการกำจัดจุลินทรีย์ทำให้เกิดโรค อาจทำให้การวัดการกำจัดพีคัลโคลิฟอร์มการออกแบบที่เหมาะสมจะให้ประสิทธิภาพการกำจัดมากกว่า 99.99 %

การใช้งาน

บ่อคองตัวใช้บำบัดสารอินทรีย์ละลายและอนุภาค และกำจัดจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียที่สำคัญในเขตร้อน ในที่ที่มีพื้นที่เพียงพอและราคาไม่สูง ระบบบ่อคองตัวมีข้อดีมากกว่าวิธีอื่น ๆ ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน โดยเฉพาะที่สำคัญคือมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและค่าบำรุงรักษาต่ำ และการกำจัดแบคทีเรียจากอุจจาระที่มีประสิทธิภาพสูง นอกจากนี้ยังใช้บำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมและการเกษตรได้ดี การทำงานของบ่อต้องอาศัยธรรมชาติ

ข้อดีและข้อเสียของบ่อคองตัว

ข้อดี

2.3.1 ระบบบ่อคองตัวสามารถบำบัดน้ำเสียให้สะอาดได้ถึงขั้นที่ต้องการ โดยเสียค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ต้องการการบำรุงรักษาน้อยที่สุด และใช้ผู้ควบคุมที่ไม่ต้องมีฝีมือมากนัก การบำรุงรักษามีเพียงตัดหญ้าตามขอบบ่อให้สม่ำเสมอ และเก็บสลิมที่ลอยอยู่บนผิวหน้าของบ่อเท่านั้น

2.3.2 สามารถกำจัดจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้มากกว่าวิธีการบำบัดแบบอื่น ๆ น้ำทิ้งออกจากบ่ออนุกรม 3 บ่อ โดยปกติจะมีพีคัลโคลิฟอร์มน้อยกว่า 5000 FC/100 มล. ซึ่งน้ำทิ้งออกจากโรงงานบำบัดแบบที่ใช้กันหลังจากถึงฮิวมัส (humus) จะมีประมาณ 5×10^6 FC/100 มล. พวกซิสต์ (cysts) และโอวา (ova) ของพยาธิ โดยธรรมชาติจะมีอยู่ในน้ำทิ้งออกจากโรงงานที่บำบัดแบบที่ใช้กันอยู่ จะไม่ปรากฏในน้ำทิ้งที่ออกจากบ่อบ่อ

2.3.3 ระบบบ่อทนทานต่อการเพิ่มกะทันหันของอัตราสารอินทรีย์และอัตราไหล เนื่องจากเวลาที่กักยาวในบ่อแพคัลเทที่ฟที่รับน้ำทิ้งดิบจากที่อยู่อาศัย ทำให้เชื่อได้ว่าจะมีอัตราที่เจือจางเพียงพอสำหรับการเพิ่มภาระอย่างกะทันหันในช่วงเวลาสั้น ๆ

2.3.4 ระบบบ่อบำบัดน้ำทิ้งต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง สามารถบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและจากการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.5 วิธีการสร้างระบบบ่อบำบัดน้ำทิ้งที่คืนกลับมาใช้เพื่อจุดประสงค์อื่นที่ต้องการในขนาดทั้งหมดที่ต้องทำก็คือ เขาโครงสร้างทางเข้า ทางออก และแผ่นคอนกรีตที่ระดับผิวน้ำออกแล้วถมดินให้ระดับเท่ากัน การขยาดินที่เคยทำบ่อมาก่อนโดยปกติจะให้กำไรอย่างมาก

2.3.6 สาหร่ายที่ผลิตจากบ่อบำบัดน้ำทิ้งสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารที่มีโปรตีนสูง ซึ่งอาจถือเอาประโยชน์ได้โดยการเลี้ยงปลา โดยปลาสามารถเจริญเติบโตได้ดีในบ่อบำบัด จึงสามารถขายปลาทำรายได้ได้มาก ดังนั้น จึงเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการระบบบ่อบำบัด นอกจากนี้ถ้าจะเลี้ยงเปิดในบ่อบำบัดได้

ข้อเสีย

2.3.7 ต้องการพื้นที่มาก คือ ต้องการพื้นที่มากกว่าระบบบำบัดแบบอื่น อย่างมาก จึงไม่เหมาะกับเขตที่มีราคาที่ดินสูง

2.3.8 กรณีที่ใช้บ่อบำบัด อาจมีกลิ่นเหม็นเกิดขึ้นได้ถ้าออกแบบหรือควบคุมไม่ดี บ่อบำบัด อาจจะมีกลิ่นที่นำรังเกียจเมื่ออัตรา BOD_5 ต่อปริมาณของบ่อมากกว่า 0.40 กก. BOD_5 /ลูกบาศก์เมตร - วัน ดังนั้นเมื่อใช้เวลากัก 5 วัน ปัญหาเกี่ยวกับกลิ่นไม่น่าจะเกิดขึ้น แม้น้ำทิ้งจะมีค่า BOD_5 เข้มประมาณถึง 1000 กก./ลูกบาศก์เมตร น้ำทิ้งที่เกิดจากกิจการอุตสาหกรรม และการเกษตร อาจมีปัญหาเกี่ยวกับกลิ่น โดยเฉพาะพวกที่มีซัลเฟตสูง มากกว่าประมาณ 100 กก./ลูกบาศก์เมตร ในกรณีเช่นนี้การควบคุมกลิ่นก็เป็นสิ่งที่จำเป็นซึ่งอาจจะทำได้โดย

ก. เพิ่ม pH ของบ่อให้ได้ประมาณ 8 ดังนั้นซัลไฟด์ส่วนใหญ่ที่เกิดจากการกระบวนการรีดักชัน พวกซัลเฟตของแบคทีเรีย จะอยู่ในรูปของไฮไดรเจนซัลไฟด์ (HS^-) ซึ่งไม่มีกลิ่น ภายใต้สภาวะเช่นนี้ จะไม่มีการปล่อยไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ไม่มีกลิ่นเหม็น

ข. โดยการเวียนน้ำกลับน้ำทิ้งออกจากบ่อแฟคัลเททีฟหรือบ่อบำบัด ไปยังทางเข้าบ่อบำบัดในอัตราส่วน 1 ต่อ 6 (น้ำทิ้งออก 1 ปริมาตรต่อน้ำทิ้งดิบจากที่อยู่อาศัย 6 ปริมาตร)

2.3.9 น้ำทิ้งออกจากระบบบ่อบำบัดอาจมีสาหร่ายปะปนอยู่ โดยเฉพาะจากบ่อแอโรบิก ซึ่งถ้ามีจำนวนมากอาจทำให้เกิดปัญหาในแหล่งรับน้ำได้ จำเป็นต้องป้องกัน มีการแยกสาหร่ายที่มีประสิทธิภาพ

2.3.10 การทำงานขึ้นอยู่กับธรรมชาติ

2.3.11 ต้องกำจัดหญ้า วัชพืช และต้นไม้

2.3.12 อาจเป็นแหล่งเพาะยุง

2.3.13 อาจทำให้เกิดมลพิษกับน้ำใต้ดินได้

การทำงานของบ่อกดตัว

2.4.1 กลไกการทำงานของบ่อกดตัว มีดังต่อไปนี้

(1) การตกตะกอนของแข็งแขวนลอย และอนุภาคคอลลอยด์

(2) การแปลงรูปทางชีวะ การออกซิเดชันและรีดักชันของของเสียอินทรีย์

- การออกซิเดชันแบบแอโรบิก
- การย่อยแบบแอนแอโรบิก
- การสังเคราะห์แสง

(3) การเติมอากาศที่ผิวหน้าและการผสม

2.4.2 การทับถมของตะกอน

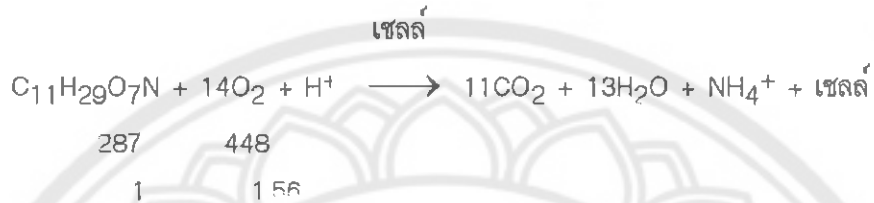
การทับถมของตะกอนเกิดจากการตกตะกอน และการสमानตะกอนทางชีวะ (bioflocculation) เป็นส่วนใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามออกโตฟลอกคูเลชัน และการทับถมที่เกิดโดยสัตว์มีกระดูกสันหลังขนาดเล็ก ก็มีความสำคัญในบางกรณี

การตกตะกอนของน้ำเสียดิบจากชุมชนในแบบทดลองที่ 15 องศาเซลเซียส ประมาณ 90 % ของสารแขวนลอยตกตะกอนในเวลา 3 วัน และ 80 % ของของแข็งละลายจะถูกกำจัดในเวลาประมาณ 10 วัน ขณะที่ในบ่อที่มีสาหร่ายและแบคทีเรียเจริญเติบโตเข้าในช่วงหนึ่ง ประมาณ 85% ของทั้งสารแขวนลอยและของแข็งละลายจะตกลงสู่ก้นบ่อภายใน 4 ชม. ซึ่งให้เห็นว่าการสमानตะกอนทางชีวภาพช่วยเพิ่มความเร็วในการตกได้มาก การสमानตะกอนเกิดได้ทั้งสภาพแอโรบิกและแอนแอโรบิก แต่แบบแอโรบิกจะเกิดมากกว่า

ออกโตฟลอกคูเลชันเกิดจากการเพิ่มอุณหภูมิ และ pH ของน้ำในบ่อในช่วงเวลาที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง ทำให้เกิดการตกผลึกของสารประกอบบางชนิด เช่น $Mg(OH)_2$, $CaSO_4$, NH_4CaPO_4 ทำให้ความกระด้างลดลง สาหร่ายแบคทีเรียและโคลิฟอร์มจะถูกหุ้มและตกไปด้วยกัน (enmeshment) สัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง เช่น Rotifera , Cladocera ที่มีอยู่ในบ่อจะกินสาหร่ายและแบคทีเรีย ทำให้สารแขวนลอยหายไป เมื่ออาหารหมดสัตว์พวกนี้ก็จะตายแล้วตกลงสู่ก้นบ่อ

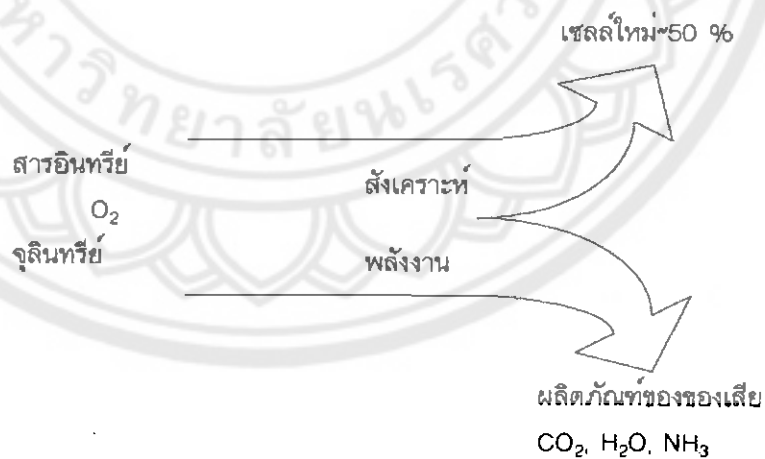
2.4.3 แอโรบิกออกซิเดชัน

ในบ่อกองตัว สารอินทรีย์ถูกออกซิไดซ์โดยแบคทีเรียในสภาวะที่มีออกซิเจนดัง
สมการต่อไปนี้



รูปที่ 2.2

ออกซิเดชันของ NH_3 เป็น NO_3^- - เกิดได้ยากมาก เพราะว่า NH_3 จะหายไปโดย
(1) กลายเป็นแก๊สแยกออกจากน้ำ (2) ถูกใช้ไปโดยสาหร่าย (3) หรือตกตะกอนในระหว่างที่ pH
สูง ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่ต้องการเพื่อให้ออกซิไดส์สารอินทรีย์ สามารถประมาณได้จาก
สมการด้านบน ได้เท่ากับ 1.56 เท่าของน้ำหนักสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดส์



แอโรบิกออกซิเดชัน

รูปที่ 2.3

เมื่อ pH มากกว่า 7 NH_4^+ จะแยกตัวเป็น NH_3 กับ H^+ NH_3 จะแยกตัวออก
จากน้ำ

$$\text{pH} > 7.0$$



2.4.4 การเติมอากาศที่ผิวน้ำ

ปริมาณออกซิเจนที่เติมเข้าไปตรงผิวน้ำขึ้นอยู่กับกาเกิดของผิวน้ำใหม่
สามารถประมาณได้จากสูตรเอมไพริกัลของ Imhoff และ Fair

$$R = 1.99 \times 10^{-4} d (\text{DO}_s - \text{DO}_L)$$

โดยที่

R = ปริมาณออกซิเจนที่ได้รับจากอากาศ (กก./
ตารางเมตร-วัน)

D = ความลึกของบ่อ (ม.)

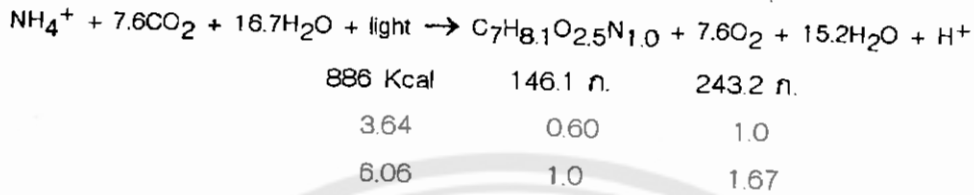
DO_s, DO_L = ออกซิเจนละลายอิ่มตัวของน้ำทั้งและในบ่อ
ตามลำดับเฉลี่ยตลอด ช่วง 24 ชั่วโมง (ก./
ลูกบาศก์เมตร)

2.4.5 การสังเคราะห์แสง

การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายเป็นแหล่งสำคัญของออกซิเจนสำหรับแอโรบิก
ออกซิเดชันสาหร่ายเป็นจุลินทรีย์ที่มีคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) เมื่อได้รับแสง สามารถใช้ CO_2
ผลิตสาหร่ายใหม่ออกมา และในขณะเดียวกันก็ให้ออกซิเจนออกมาด้วย มวลของสาหร่ายจะมี
พลังงานประมาณ 6000 แคลลอรี่ต่อกรัมสาหร่าย

ปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงของสาหร่ายอาจแบ่งออกได้เป็นดังนี้

สำหรับ



รูปที่ 2.4

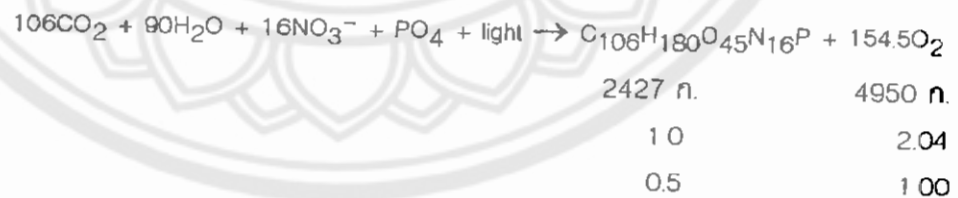
จากปฏิกิริยาด้านบน ได้ว่าในการผลิตออกซิเจน 1 กรัม ต้องใช้พลังงาน 3.64 กิโลแคลอรีและเกิดสาหร่ายใหม่ขึ้นมา 0.60 กรัม ในการกีด H^+ จำนวน 1 โมล จากการใช้ CO_2 จำนวน 7.6 โมล ซึ่งได้จากการแตกตัวของ HCO_3^- ดังสมการดังนี้



เมื่อเทียบกับสมการสองสมการ จะเห็นได้ว่า การสังเคราะห์แสงใช้ CO_2 ปริมาณ 7.6 โมล เกิด OH^- ปริมาณ 7.6 โมล ขณะที่เกิด H^+ ปริมาณ 1 โมล ดังนั้น pH จึงเพิ่มขึ้น หรือในกรณีที่ใช้สูตรสาหร่ายเป็น $\text{C}_{106}\text{H}_{180}\text{O}_{45}\text{N}_{16}\text{P}$ ก็อาจเขียนปฏิกิริยาได้ดังนี้

สำหรับ

รูปที่ 2.5



ปฏิกิริยาด้านบน ให้อัตราส่วนระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ผลิตได้กับสาหร่ายใหม่ที่เกิดขึ้นแตกต่างกันออกไปคือ ในการผลิตออกซิเจน 1 กรัม จะเกิดสาหร่ายใหม่ 0.5 กรัม รังสีจากดวงอาทิตย์เฉลี่ยที่ผิวน้ำบ่อได้รับ จะถูกเปลี่ยนเป็นมวลใหม่ของสาหร่ายเพียงประมาณร้อยละ 4 ถึง 6 เท่านั้น รังสีที่แผ่จากดวงอาทิตย์ที่ผิวน้ำของบ่อได้รับขึ้นอยู่กับเส้นรุ้ง (latitude) และเดือน และลดลงตามสภาพเมฆหรือความกระจ่างของท้องฟ้า

ปริมาณเฉลี่ยของการแผ่รังสีสามารถคำนวณจากสมการ ดังนี้

$$Q_{avg} = Q_{min} + f_{sc} (Q_{max} - Q_{min})$$

โดยที่

Q_{avg} = การแผ่รังสีเฉลี่ย (แคลลอรี่/ตารางเซนติเมตร - วัน)

Q_{min} = การแผ่รังสีต่ำสุด (แคลลอรี่/ตารางเซนติเมตร - วัน)

Q_{max} = การแผ่รังสีสูงสุด (แคลลอรี่/ตารางเซนติเมตร - วัน)

f_{sc} = ปัจจัยความกระจ่างของท้องฟ้า (sky clearance factor)

= ระยะเวลาที่มีแสงแดด / ระยะเวลากลางวัน

ค่าต่ำสุดและสูงสุดของรังสีที่มองเห็นได้ที่ระดับน้ำทะเลที่เส้นรุ้งต่าง ๆ และเดือนต่าง แสดงไว้ดังตารางด้านล่าง จะเห็นได้ว่าเส้นรุ้ง 20 ° เดือนธันวาคมเป็นเดือนวิฤตหรือเป็นเดือนที่มีรังสีต่ำสุด ความกระจ่างของท้องฟ้าแปรอย่างมาจกที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง จำเป็นต้องหาจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของท้องถิ่น

สาหร่ายที่มีมากในบ่อเขียวได้แก่ *Chlamydomonas* , *Phacus* , *Pyrobotrys* ส่วน *Chlorella* , *Scenedesmus* และไดอะตอมหลายชนิดมีความเข้มข้นต่ำ เว้นแต่บ่อมีอัตรารับสารอินทรีย์ต่ำเกินไป

ค่าสูงสุดและต่ำสุดของรังสีจากดวงอาทิตย์ที่มองเห็นได้ (แคลอรี/ซม.²-วัน)

เดือน	สูงสุด (°น หรือ °ค.)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
0	สูงสุด	225	266	271	266	249	236	238	252	269	265	256	253
	ต่ำสุด	210	219	206	188	182	103	137	167	207	203	202	195
10	สูงสุด	223	244	264	271	270	262	265	266	266	248	228	225
	ต่ำสุด	179	184	193	183	192	129	158	176	196	181	176	162
20	สูงสุด	183	213	246	271	284	284	282	272	252	224	190	182
	ต่ำสุด	134	140	168	170	194	148	172	177	176	150	138	120
30	สูงสุด	136	176	218	261	290	296	289	271	231	192	148	128
	ต่ำสุด	76	96	134	151	184	163	178	166	147	113	90	70
40	สูงสุด	80	130	181	181	286	298	288	258	203	152	95	68
	ต่ำสุด	30	53	95	125	162	173	172	147	112	72	42	24
50	สูงสุด	28	70	141	210	271	297	280	236	166	100	40	28
	ต่ำสุด	10	19	58	97	144	176	155	125	73	40	15	7
60	สูงสุด	7	32	107	176	249	294	268	205	126	43	10	5
	ต่ำสุด	2	4	33	79	132	174	144	100	38	26	3	1

ตารางที่ 2.1

2.4.6 การย่อยแอนแอโรบิก

การย่อยแอนแอโรบิกเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งให้เป็นแก๊สมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นการทำงานของแบคทีเรีย 2 พวกใหญ่ ๆ คือ (1) พวกสร้างกรดอินทรีย์ (2) พวกสร้างแก๊สมีเทน



ในการย่อยแบบแอนแอโรบิกนี้จะต้องมีบัฟเฟอร์เพียงพอ มิฉะนั้นกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะทำให้ pH ลดลง จนแบคทีเรียทำให้เกิดแก๊สมีเทนทนไม่ได้ และเกิดการล้มเหลวของกระบวนการเกิดขึ้น

การลด pH ทำให้ H₂S หนีออกสู่อากาศได้ ทำให้มีกลิ่นเหม็นต้องแก้ไขโดยการปรับให้ pH สูงขึ้น

การย่อยแบบแอนแอโรบิกนี้เกิดเซลล์ใหม่น้อย คือ ประมาณ 10% ซึ่งเป็นการลดตะกอนในระบบบ่อ

2.4.7 แบบจำลองการทำงานของบ่อดังตัว

2.4.7.1 CSTR

วิธีที่ง่ายที่สุดในการออกแบบบ่อแฟคัลเททีฟ สมมุติว่าเป็นปฏิกรณ์แบบผสมอย่างสมบูรณ์และสามารถกำจัด BOD เป็นไปตามจลนพลศาสตร์ที่หนึ่ง

$$r_L = -k_1L$$

โดยการทำดุลมวลของบีโอดีที่สถานะคงที่จะได้ว่า

เข้า - ออก + ผลิต = สะสม

$$L_i F - L_e F + (-K_1 L_e) V = 0$$

โดยที่

L_i = บีโอดีเข้า (ก./ลูกบาศก์เมตร)

L_e = บีโอดีออก (ก./ลูกบาศก์เมตร)

F = อัตราไหลของน้ำเสีย (ลูกบาศก์เมตร/วัน)

K_1 = ตัวคงที่อัตราทำปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง (วัน⁻¹)

V = ปริมาตรบ่อ (ลูกบาศก์เมตร)

จัดสมการใหม่จะได้ว่า

$$\frac{L_e}{L_i} = \frac{1}{1 + K_1 (V/F)}$$

โดยที่

V/F = เวลาที่กักน้ำเฉลี่ย τ

2.4.7.2 PFR

ในกรณีที่ปฏิกรณ์เป็นแบบฟลักโฟลคือไม่มีการผสมตามแนวแกนยาว อัตราการทำปฏิกิริยาที่ได้จากสมดุลมวลของบีโอดีเป็นดังนี้

$$r_L = \frac{F}{A_c} \frac{dL}{dx}$$

โดยที่

A_c = พื้นที่หน้าตัดของปฏิกรณ์

Dx = ระยะตามแนวแกนการไหล

เมื่ออัตราการกำจัดบีโอดีประมาณโดยจลรพลศาสตร์อันดับที่หนึ่ง

$$r_L = -k_1 L$$

อินทิเกรตสมการแล้วจัดสมการจะได้

$$L_e = L_1 e^{-k_1 \tau}$$

2.4.7.3 การไหลแบบกระจาย

ในทางปฏิบัติปฏิกรณ์แบบฟลักโฟลมีการผสมตามแนวแกน (axial) ยาวเสมอ เรียกว่าการไหลแบบกระจาย (dispersed or arbitrary flow) ระดับการผสมปกติแสดงในพจน์ของจำนวนกระจาย (dispersion number) ไร้มิติ ซึ่งมีนิยามว่า

$$\delta = \frac{D}{ul}$$

โดยที่

$$\delta = \text{จำนวนกระจาย (ไร้มิติ)}$$

$$D = \text{สัมประสิทธิ์การกระจายตามแนวแกน (ตารางเมตร/ชม.)}$$

$$U = \text{ความเร็วเคลื่อนที่เฉลี่ยของของไหล (ม./ชม.)}$$

$$L = \text{ความยาวเฉลี่ยของทางอนุภาคในปฏิกรณ์ (ม.)}$$

เมื่อไม่มีการกระจายตามแนวแกน (ในกรณีของฟลักโฟลแบบอุดมคติ) $\delta = 0$

และเมื่อมีการกระจายไม่สิ้นสุด (การผสมอย่างสมบูรณ์) $\delta = \infty$

ในปฏิกรณ์ที่มีการไหลแบบกระจาย ($0 < \delta < \infty$) และออกซิเดชันทางชีวะเป็นปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง การกำจัดบีโอดีจะแสดงโดยสมการของ Wehner – Wilhelm

$$\frac{L_e}{L_1} = \frac{4ae^{(1/2\delta)}}{(1+a)^2 e^{(a/2\delta)} - (1-a)^2 e^{(-a/2\delta)}}$$

โดยที่

$$a = \sqrt{1 + 4k_1 \tau \delta}$$

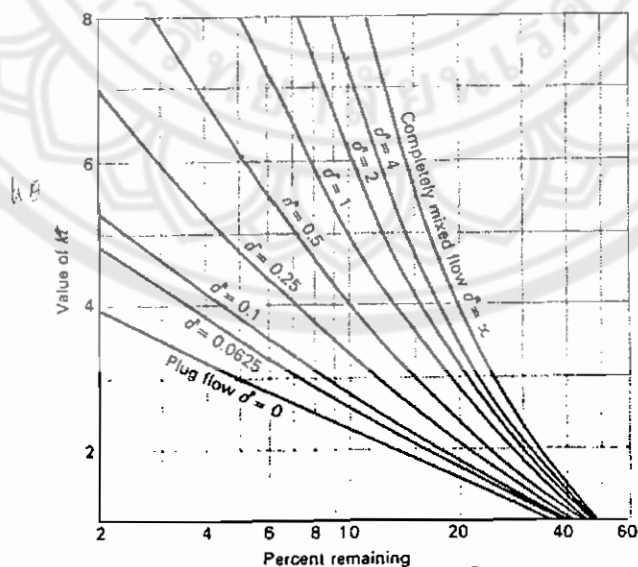
รูปที่ 2.7

จากสมการด้านบน Trurumurthi ได้สร้างกราฟขึ้นมา แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $k_1\tau$ กับ L/L_1 ที่เหลือ สำหรับจำนวนกระจายแปรจาก 0 สำหรับปฏิกรณ์ฟลักโฟลอุดมคติ ถึง ∞ สำหรับปฏิกรณ์แบบผสมอย่างสมบูรณ์ ในรูปชี้ให้เห็นว่า สำหรับคู่ $k_1\tau$ ใดๆ การกำจัด BOD สูงสุดจะเกิดในปฏิกรณ์ฟลักโฟลอุดมคติ และการกำจัด BOD ต่ำสุดจะเกิดในปฏิกรณ์ผสมอย่างสมบูรณ์

สมการ Wehner – Wilhelm สำหรับการจำกัดปิโอดอันดับที่หนึ่ง ในปฏิกรณ์ที่มีการไหลแบบกระจาย ได้ใช้สำหรับการออกแบบบ่อแพลคเททีฟ แม้ว่าในหลักการเหมาะสมสำหรับการออกแบบมากกว่า แต่ในทางปฏิบัติมีประโยชน์ไม่เหมือนสมการการผสมอย่างสมบูรณ์ มีสองเหตุผล คือ

(1) ที่ประสิทธิภาพเดียวกันปฏิกรณ์แบบผสมผสานอย่างสมบูรณ์ต้องการปริมาณมากกว่าปฏิกรณ์แบบเส้นไหลกระจาย ดังนั้น สมมุติฐานการผสมอย่างสมบูรณ์ให้ปัจจัยความปลอดภัยในการออกแบบ เนื่องจากจำนวนกระจายจริง $< \infty$ เสมอ

(2) ค่าอัตราคงที่อัตราการทำปฏิกิริยา k_1 (ตามปกติคำนวณโดยใช้ค่า L_1 , L_0 , F และ τ) ลงในสมการ ซึ่งเป็นทางที่คำนวณได้เมื่อไม่มีการวัดจำนวนการกระจาย ที่คำนวณจากสมการของการผสมอย่างสมบูรณ์ให้ค่าที่น่าเชื่อถือกว่า



Thirumurthi chart สำหรับสมการ Wehner–Wilhelm

การออกแบบ

เนื่องจากระบบนิเวศวิทยาของบ่อคงตัวมีความสลับซับซ้อนมาก การออกแบบจึงเป็นไปแบบเอมพิริคัลเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่เดียวกันก็มีการนำสมการจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งมาใช้ในการออกแบบ

2.5.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบบ่อคงตัวได้แก่ อัตรารับสารอินทรีย์ เวลาพักน้ำ และความลึกของบ่อ

- (1) ตรารับสารอินทรีย์ กำหนดโดยคุณภาพของกระแสออก
อัตรารับสารอินทรีย์ต่อพื้นที่ ($\text{ก. BOD}_5 / \text{ม.}^2 - \text{วัน}$)

$$L_{os} = \frac{L_i F}{A} = \frac{L_i F}{V/d} = L_i d$$

โดยที่

$$\begin{aligned} L_{os} &= \text{อัตรารับสารอินทรีย์ต่อพื้นที่ (ก. BOD}_5 / \text{ม.}^2 - \text{วัน)} \\ L_i &= \text{ความเข้มข้น BOD}_5 \text{ เข้า (ก./ม}^3\text{)} \\ F &= \text{อัตราไหล (ม.}^3\text{/วัน)} \\ d &= \text{ความลึกของบ่อ (ม.)} \\ \tau &= \text{เวลาพัก (วัน)} \\ V &= \text{ปริมาตรของบ่อ (ม.}^3\text{)} \end{aligned}$$

อัตรารับสารอินทรีย์ต่อปริมาตร $\text{ก. BOD}_5 / \text{ม.}^3 - \text{วัน}$

$$L_{ov} = \frac{L_i F}{V} = \frac{L_i}{\tau}$$

โดยที่

$$L_{ov} = \text{อัตรารับสารอินทรีย์ต่อปริมาตร (ก. BOD}_5 / \text{ม.}^3 - \text{วัน)}$$

- (1) ความลึก : กำหนดโดยชนิดของบ่อ
- (2) เวลาพักน้ำ : กำหนดโดยคุณภาพของกระแสออก

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบบ่อกองตัว

	บ่อแอนแอโรบิก	บ่อแฟคัลเททีฟ	บ่อแอโรบิก	บ่อบ่ม
อัตราบำบัดสารอินทรีย์:				
(ก.BOD ₅ /ม. ³ -วัน)	100-400			
(ก.BOD ₅ /ม. ² -วัน)	224-672	34	45	
ความลึก (ม.)	2-5	1-2	0.2-0.6	1-2
เวลาพักน้ำ (วัน)	2-4	7-30	4-6	5-20
pH	6.8-7.2	6.5-9.0	6.5-10.5	6.5-10.5
ประสิทธิภาพกำจัด (%)				
BOD ₅	50	70-90	80-95	60-80
เชื้อโรค				99.99+

ตารางที่ 2.2

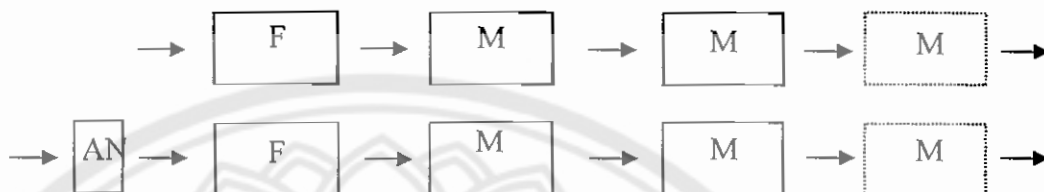
ขั้นตอนในการออกแบบมีดังต่อไปนี้ คือ

- (1) เลือกความลึกของบ่อที่ต้องการ
- (2) คำนวณหาเวลากัก อัตราบำบัดสารอินทรีย์
- (3) คำนวณหาพื้นที่ของบ่อ
- (4) ออกแบบละเอียดต่อไป

ระบบบ่อ

การวางระบบบ่อมี 2 รูปแบบที่เป็นที่ยอมรับในประเทศเขตร้อน ดังภาพประกอบด้านล่าง การสร้างบ่อแฟคัลเททีฟเพียงไม่ถูกต้อง บ่อบ่อมีความสำคัญอย่างยิ่งมีหน้าที่กำจัดจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ระบบหลายบ่อที่ประกอบด้วยบ่อแอนแอโรบิก บ่อแฟคัลเททีฟ และบ่อบ่ม 2 บ่อหรือมากกว่า ที่บ่อบ่อมีเวลากักอย่างน้อยบ่อละ 5 วัน เป็นเกณฑ์ต่ำสุด ถ้าใช้กระแสออกสุดท้ายใน

การชลประทานทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนพีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่เหลืออยู่ ว่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่จะนำกลับไปใช้หรือไม่

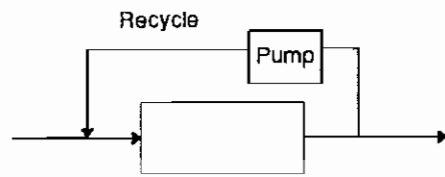


ระบบป้อ AN = ป้อแอนแอโรบิก , F = ป้อแฟคัลเททีฟ , M = ป้อบ่ม

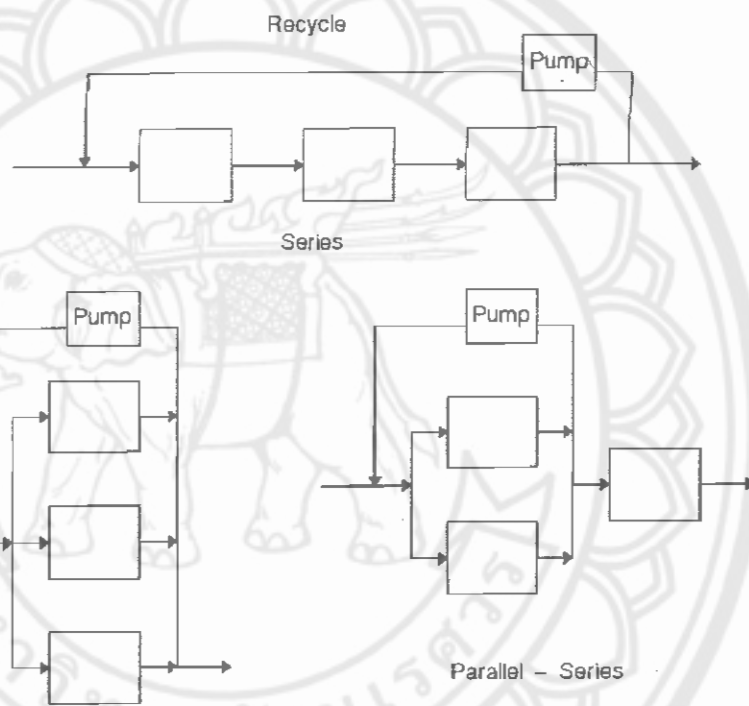
รูปที่ 2.9

การหมุนเวียน

การหมุนเวียนน้ำในระบบจะทำให้เกิดการผสมในป้ออย่างทั่วถึง สำหรับยเติบโตได้เร็วขึ้น และทำลายการแยกชั้นของน้ำในป้อ นอกจากนี้ยังช่วยเจือจางน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบ ทั้งหมดทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดีขึ้น การเวียนน้ำทำได้หลายแบบดังแสดงไว้ในภาพประกอบด้านล่าง



INTRAPOND RECIRCULATION



INTERPOND RECIRCULATION

แบบการหมุนเวียนน้ำ

รูปที่ 2.10

การควบคุมการทำงานและการบำรุงรักษา

การบำรุงรักษาบ่อยง่ายมาก แต่ต้องทำเป็นประจำ ไม่เช่นนั้นจะทำให้เกิดปัญหาการลื่น การรบกวนของแมลงและยุง

(ก) บ่อแฟคัลเททีฟและบ่อบ่ม

การเริ่มต้นให้บ่อทำงาน เติมน้ำเติมบ่อแฟคัลเททีฟและบ่อบ่มด้วยน้ำดิบจากแม่น้ำทะเลสาบ หรือบ่อ เพื่อให้สาหร่ายและแบคทีเรียค่อย ๆ เจริญเติบโต สำหรับบ่อแฟคัลเททีฟขั้นแรกการเติมเชื้อจะทำให้บ่อพัฒนาเร็วขึ้น ถ้าไม่มีน้ำดิบ ก็เติมน้ำทิ้งจากที่อยู่อาศัยที่เจือจางให้มีความลึกน้อย ๆ ในเวลาอันสั้นสาหร่ายจะเจริญเติบโตเติมน้ำ จากนั้นก็ให้บ่อทำงานที่อัตราไหลเต็มที่ได้อาจเติมน้ำเสียจนเต็มแล้วทิ้งไว้ 3 – 4 อาทิตย์ เพื่อให้จุลชีพเจริญเติบโตเต็มที่ ในช่วงนี้จะมีกลิ่นปล่อยออกมา

การบำรุงรักษาส่วนใหญ่ก็จะเป็นการดูแลบ่อ และซ่อมแซมขอบบ่อ คือ

- (1) ตัดหญ้าและวัชพืช เพื่อป้องกันยุงใช้เป็นที่ยาอาศัยเพาะพันธุ์
- (2) กำจัดสแกมออกจากผิวหน้าบ่อแฟคัลเททีฟและบ่อบ่ม เพื่อให้เกิดการสังเคราะห์แสงสูงสุดและไม่ให้แมลงใช้เป็นแหล่งเพาะพันธุ์
- (3) กำจัดช่องแข็งที่สะสมตรงทางเข้าและออก
- (4) เอาตะกอนออกเป็นครั้งคราว
- (5) ซ่อมคันบ่อที่เสียหายเนื่องจากหนูและสัตว์อื่น ๆ

การเปลี่ยนสีของบ่อใช้เป็นตัวบ่งชี้สภาพการทำงานได้ เมื่อบ่อเปลี่ยนจากสีเขียวมาเป็นสีเทา น้ำตาล หรือสีชมพู ก็อาจเป็นเครื่องหมายแสดงว่าบ่อรับน้ำทิ้งในอัตราที่มากเกินไปและเกิดสภาพแอนแอโรบิกเกิดขึ้น ซึ่งอาจติดตามมาด้วยกลิ่นที่น่ารังเกียจ เมื่อเป็นเช่นนี้อาจจะปล่อยน้ำทิ้งลัดทางชั่วคราว จนกระทั่งบ่อนั้นทำงานได้ตามปกติแล้ว จึงผ่านน้ำเสียเข้าตามปกติ ถ้าเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ซ้ำ ๆ กัน ก็สามารถแก้ไขโดยขยายบ่อที่มีอยู่นั้นให้ใหญ่ขึ้นให้พอที่จะรับน้ำทิ้งได้

(ข) บ่อแอนแอโรบิก

การเริ่มต้นให้บ่อทำงาน เติมน้ำเสียดิบแล้วใส่เชื้อสลัดจ์ที่กำลังย่อยที่ได้จากถังย่อยแอนแอโรบิกหรือจากถังหมัก ค่อย ๆ เพิ่มอัตรารับสารอินทรีย์จนถึงค่าออกแบบ รักษาค่าพีเอชของบ่อให้มากกว่า 7 เพื่อให้แบคทีเรียที่ผลิตมีเทนเจริญเติบโต ในช่วงเดือนแรกอาจจำเป็นต้องเติมปูนขาวหรือ soda ash ในช่วงเริ่มต้นของการก่อสร้างระบบท่อ น้ำเสียจะมีความเข้มข้นน้อย หรืออัตราการไหลต่ำ ควรผัน (bypass) น้ำเสียข้ามบ่อแอนแอโรบิก จนกระทั่งน้ำเสีย

มีความเข้มข้นและอัตราการไหลเพียงพอที่จะให้อัตรารับสารอินทรีย์อย่างน้อย 100 ก. BOD₅ / ม.³
- วัน

การควบคุมการทำงานและบำรุงรักษาบ่อแอนแอโรบิก โดยทั่วไปการดูแลเป็นเช่นเดียวกับบ่อแฟคัลเททีฟยกเว้นเรื่องสแกม ไม่จำเป็นต้องกำจัด เพราะสแกมช่วยการทำงานของบ่อแอนแอโรบิก บางทีจำเป็นต้องฉีดยาฆ่าแมลงที่เหมาะสมบนสแกมเพื่อกันการวางไข่ของแมลง นอกจากนี้ยังต้องระมัดระวังควบคุมการทำงานไม่ให้เกิดกลิ่นน่ารังเกียจ โดยควบคุมอัตรารับสารอินทรีย์และ pH

ระหว่างดำเนินการ การปรากฏการแบ่งบานของสาหร่าย (algal bloom) ในบ่อแอนแอโรบิกชี้ให้เห็นว่าอัตราการรับสารอินทรีย์ต่ำไป ภายใต้สภาพเช่นนี้ ออกซิเจนที่สาหร่ายที่ผลิตขึ้นมาสามารถยับยั้งการผลิตมีเทน ต้องปรับสภาพให้เป็นแอนออกซิก (anoxic) โดยเพิ่มอัตรารับสารอินทรีย์ให้ได้อย่างน้อย 100 ก. BOD₅ / ม.³ - วัน ขึ้นบาง ๆ ของสาหร่ายที่ผิวน้ำบ่อตามปกติเป็นพวก Chlamydomonas โดยทั่วไปแล้วไม่มีอันตราย ไม่จำเป็นต้องแก้ไขอย่างใด การมีสีม่วงของบ่อแอนแอโรบิกบางที่เกิดจากการขยายตัวของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง (photosynthetic bacteria) เป็นสภาพที่ยอมรับได้ ไม่ต้องแก้ไข

2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ทำการวิเคราะห์และวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ดังตาราง

ตาราง แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์มาเป็นตัวอย่างพอสังเขป

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
TKN	Kjeldahl
แอมโมเนีย	Distillation and Acid Titration
TP	Acid Digestion and Ascorbic Acid
ไนโตรท	Colorimetric Method (NED)
ไนเตรท	Hydrazine Sulfate

ตารางที่ 2.3



ไนโตรท-ไนโตรเจน และไนเตรท-ไนโตรเจน

1. เครื่องมือ

1.1 เครื่องมือที่ใช้หาปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน เช่น VIS-spectrophotometer โดยใช้ที่ 543 นาโนเมตร และใช้หาความยาวแสงตั้งแต่ 1 เซนติเมตรขึ้นไป

1.2 เครื่องมือที่ใช้หาปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน โดยวิธีไฮดรอกซี

1.2.1 VIS-spectrophotometer สำหรับใช้ที่ 543 นาโนเมตร และสามารถวัดความยาวแสงตั้งแต่ 1 เซนติเมตรขึ้นไป

1.2.2 หลอดทดลองขนาด 20 มิลลิลิตร

1.2.3 ตู้อบ 30 °ซ

2. เครื่องแก้ว

ได้แก่ ขวดรูปชมพู่ ขวดปริมาตร และปิเปต

3. สารเคมี

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการหาปริมาณไนโตรท-ไนโตรเจน

3.1.1 น้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรท

3.1.2 สารละลายซัลฟานิลลาไมด์ ละลายซัลฟานิลลาไมด์ 5 กรัมในสารละลายผสมของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 50 มิลลิลิตรกับน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรท 300 มิลลิลิตร แล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นดังกล่าว

3.1.3 สารละลายเนฟทิลเอทิลลินไดเอมีนไดไฮโดรคลอไรด์ละลาย N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride 500 มิลลิกรัมในน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรท 500 มิลลิลิตร เก็บสารละลายนี้ไว้ในที่มืด และให้เตรียมใช้ใหม่ทุกเดือน หรือทันทีที่สารละลายมีสีน้ำตาล

3.1.4 สารละลายสต็อกไนโตรท ละลายโซเดียมไนเตรทแอนไฮดรัสที่แห้ง; NaNO_2 หรือโปตัสเซียมไนเตรท; KNO_2 (เก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ 24 ชั่วโมง) 0.49265 กรัม หรือ 0.6072 กรัม ตามลำดับ ในน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรทและทำให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่นดังกล่าว ทำการเก็บรักษาสารละลายนี้ด้วยการเติมคลอโรฟอร์มลงไป 2 มิลลิลิตรต่อสารละลาย 1 ลิตร ละลายสารที่เตรียมได้นี้ 1 มิลลิลิตร มีไนโตรท-ไนโตรเจนอยู่ 100 ไมโครกรัม และมีอายุการใช้งานประมาณ 3 เดือน

3.1.5 สารละลายมาตรฐานไนโตรท เจือจางสารละลายสต็อกไนเตรท 10 มิลลิลิตร ให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรท สารละลายที่ได้ 1 มิลลิลิตรมีไนเตรท-ไนโตรเจนอยู่ 1 ไมโครกรัม สารละลายนี้ต้องเตรียมใช้ใหม่ทุกครั้ง

3.1.6 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (1+3) เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นที่ปราศจากไนโตรท 75 มิลลิลิตร

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการหาไนเตรท-ไนโตรเจนด้วยวิธีไฮดรอกซีน

3.2.1 สารละลายซัลฟานิลาไมด์ ละลายซัลฟานิลาไมด์ 5 กรัม ในสารละลายผสมของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 50 มิลลิลิตรกับน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรท 300 มิลลิลิตร แล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นดังกล่าว

3.2.2 สารละลายเนฟทีเอทริลีนไดเอมีนไดไฮโดรคลอไรด์ เตรียมเหมือนข้อ 3.1.3

3.2.3 น้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรท ใช้น้ำกลั่นที่ผ่านการกลั่น 2 ครั้งหรือน้ำกลั่นที่ผ่านกระบวนการดีไอออนไนซ์ที่มีคุณภาพดีที่สุดแล้ววนการเตรียมสารละลายที่จะกล่าวถึงต่อไป น้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรทดังกล่าวเมื่อนำไปหาปริมาณไนเตรทแล้ว ค่า Absorbance ที่วัดได้ต้องไม่เกิน 0.1

3.2.4 สารละลายสต็อกไนเตรท ออบไปดัสเซียมไนเตรท; KNO_3 ในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ละลาย KNO_3 ที่อบแห้งแล้ว 0.7218 กรัม ในน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรทแล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บรักษาสารละลายดังกล่าวด้วยการเติมการเติมคลอโรฟอร์ม 2 มิลลิลิตรต่อสารละลาย 1 ลิตร สารละลายที่ได้นี้ 1.00 มิลลิลิตร มีไนเตรท-ไนโตรเจน 100 ไมโครกรัม และมีอายุการใช้งานอย่างน้อย 6 เดือน

3.2.5 สารละลายมาตรฐานไนเตรท เจือจางสารละลายในข้อ 3 5.00 มิลลิลิตร ให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจาก ไนเตรท สารละลายที่ได้ 1.00 มิลลิลิตร มีไนเตรท-ไนโตรเจน 1.00 ไมโครกรัม

3.2.6 สารละลายฟีนอล ละลายฟีนอล 4.6 กรัม ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรท แล้วทำให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 100 มิลลิลิตร

3.2.7 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.45 กรัม ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรท แล้วทำให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 100 มิลลิลิตร

3.2.8 สารละลายผสมชนิดที่หนึ่ง ผสมสารละลายในข้อ 3.2.5 และ 3.2.6 อย่างละเท่ากัน แล้วคนให้ทั่ว

3.2.9 สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 15.6 มิลลิลิตร
ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรท แล้วทำให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 100 มิลลิลิตร

3.2.10 สารละลายไฮดรารซีนซัลเฟต ละลายไฮดรารซีนซัลเฟต 0.725 กรัม
ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรท แล้วทำให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 100 มิลลิลิตร

3.2.11 สารละลายผสมชนิดที่สอง ผสมสารละลายในข้อ 3.2.9 และ
3.2.10 อย่างละเท่ากัน แล้วคนให้ทั่ว

3.2.11 อะซิโตน

หมายเหตุ สารละลายผสมในข้อ 3.2.8 และ 3.2.10 ให้เตรียมใหม่แล้วใช้ทันที

4. วิธีทำ

4.1 การหาปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำตัวอย่าง

4.1.1 ถ้าน้ำตัวอย่างขุ่นหรือมีสารแขวนลอย ให้กรองน้ำตัวอย่างด้วย
membrane filter ที่มีรูขนาด 0.45 ไมครอน

4.1.2 ปิดตัวอย่างที่ใส่ 10 มิลลิลิตรหรือน้อยกว่า แล้วทำให้มีปริมาตร
ทั้งหมดเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรท ใส่ลงในขวดชมพู

4.1.3 ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีพีเอชมากกว่า 10 หรือมีความเป็นด่างรวม
เกิน 600 มก/ล แคลเซียมคาร์บอเนต ให้ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างให้มีค่าประมาณ 6 ด้วย
สารละลายกรดซัลฟูริก แล้วเติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ลงไป 1 มิลลิลิตร

4.1.4 เติมสารละลายเนฟทิลเอทิลลีนไดเอมีนไดไฮดรอกไซด์ลงไป 1
มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากันทันที ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง

4.1.5 นำสารละลายที่ได้จากข้อ 1.4 ไปทำการวัด absorbance หรือ %
transmission ที่ 543 นาโนเมตร

4.1.6 นำค่า absorbance หรือ % transmission ที่อ่านได้ไปหาความ
เข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจน จาก calibration curve

4.1.7 ในกรณีที่ใช้น้ำตัวอย่างน้อยกว่า 10 มิลลิลิตร ให้คำนวณหา
ปริมาณของ ไนเตรท-ไนโตรเจน จากสูตร

$$\text{มก/ล ของไนเตรท-ไนโตรเจน} = \frac{\text{มก/ล ที่อ่านได้} \times 10}{\text{มล.น้ำตัวอย่าง}}$$

4.2 การหาปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนด้วยวิธีไฮดราซีน

4.2.1 ปิเปตตัวอย่างน้ำ 10 มิลลิลิตร หรือน้อยกว่าแล้วทำให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรท ใส่ลงในหลอดทดลอง

4.2.2 เติมสารละลายสมชนิดที่หนึ่ง 0.5 มิลลิลิตร แล้วตามด้วยสารละลายผสมชนิดที่สอง 0.25 มิลลิลิตร

4.2.3 ปิดปากหลอดด้วยจุกยางหรือฝาปิด แล้วเขย่าให้เข้ากัน

4.2.4 นำไปอบในที่มืดและที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 15-20 ชั่วโมง

4.2.5 นำสารละลายที่ได้จากข้อ 2.4 มาเติมอะซิโตน 0.4 มิลลิลิตร เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 2 นาที

4.2.6 เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ 0.2 มิลลิลิตร เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 2 นาทีแต่ไม่เกิน 8 นาที

4.2.7 เติมสารละลายเนฟทิลลีนไดเอมีนไฮโดรคลอไรด์ลงไป 0.2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

4.2.8 นำสารละลายที่ได้จากข้อ 2.7 ไปทำการวัด absorbance หรือ % transmission ภายหลังจากตั้งทิ้งไว้ 5-10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง ที่ 543 นาโนเมตร ในกรณีที่มีการเจือจางน้ำตัวอย่างให้นำค่าที่อ่านได้ไปปรับให้ถูกต้องโดยใช้สูตรดังแสดงข้างล่างนี้ ทั้งนี้ เนื่องจากในน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรทนั้นยังมีไนเตรทอยู่เล็กน้อย

$$\text{absorbance ของน้ำตัวอย่าง} = \frac{A - (10-X)B}{10}$$

เมื่อ A = absorbance ของน้ำตัวอย่างที่เจือจางแล้ว (ที่อ่านได้)

B = absorbance ของน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรท

X = ปริมาณของน้ำตัวอย่าง, มิลลิลิตร

4.2.9 นำค่า absorbance หรือ % transmission ที่ปรับให้ถูกต้องแล้ว ไปอ่านค่าความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนจาก calibration curve

4.2.10 คำค้นหาปริมาณของไนเตรท-ไนโตรเจนจากสูตรข้างล่างนี้

$$\text{มก/ล ของไนเตรท-ไนโตรเจน} = \frac{\text{มก/ล ที่อ่านได้} \times 10}{\text{มล น้ำตัวอย่าง}} - \text{มก/ล ของไนเตรท-ไนโตรเจน}$$

แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบในสารอินทรีย์

1. เครื่องมือ

1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (วิธีไตเตรต)

1.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการกลั่นน้ำตัวอย่างเพื่อแยกแอมโมเนีย ออกจากสารรบกวน

1.1.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้น้ำกลั่น ซึ่งทำด้วยแก้วบอโรซิเกตทั้งชุดและประกอบด้วยขวดเจดาลขนาด 800 มิลลิลิตร ต่อกับคอนเดนเซอร์ที่วางตัวในแนวตั้งด้วย splash head และมี receiver ต่อกับปลายคอนเดนเซอร์ โดยที่ปลาย receiver ต้องจุ่มได้สารละลายกรดที่ใช้รองรับแอมโมเนีย

1.1.1.2 เตาไฟฟ้าเป็นเตาที่สามารถให้ความร้อนได้สูงถึง 700⁰ซ

1.1.1.3 เครื่องวัดพีเอช

1.1.2 เครื่องแก้วที่ใช้ในการหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ได้แก่ ปิเปต บิวเรต และขวดรูปชมพู่

1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการหาปริมาณเจดาลไนโตรเจน ที่เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์

1.2.1 อุปกรณ์การย่อยสลาย ประกอบด้วยขวดเจดาลขนาด 800 มิลลิลิตรและเตาที่ให้ความร้อนได้สูงถึง 700⁰ซ

1.2.2 อุปกรณ์การกลั่นน้ำตัวอย่างเพื่อแยกแอมโมเนีย ออกจากสารรบกวน เหมือนข้อ 1.1.1

1.2.3 อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในการหาปริมาณไนโตรเจน ได้แก่ ปิเปต บิวเรต และขวดรูปชมพู่

2. สารเคมี

2.1 สารเคมีที่ใช้ในการหาแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

2.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการกลั่นน้ำตัวอย่าง

2.1.1.1 น้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย เตรียมโดยใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งดังนี้ (ใช้น้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียในการเตรียมสารเคมี เจือจางน้ำตัวอย่างและล้างเครื่องแก้ว)

2.1.1.1.1 การแลกเปลี่ยนไอออน ผ่านน้ำกลั่นลงไปคอลัมน์ที่บรรจุ strongly cation-exchange resin ผสมกับ strongly anionic-exchange resin (ให้เลือกใช้เรซินที่สามารถกำจัดเอาสารอินทรีย์ที่เป็นสารรบกวนในการหาแอมโมเนียออกจากน้ำกลั่นด้วย)

2.1.1.1.2 การกลั่น เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1 มิลลิลิตรลงในน้ำกลั่น 1 ลิตร แล้วนำไปกลั่นใหม่โดยทิ้งสารละลายที่กลั่นได้ 100 มิลลิลิตรแรก

2.1.1.2 สารละลายบอโรเนตต์เฟออร์ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล (NaOH 0.4 กรัม ในสารละลาย 100 มิลลิลิตร) 88 มิลลิลิตร ลงในสารละลายโซเดียมเตตราโบเรต ; $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 0.025 โมลาร์ ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 5 กรัม หรือ $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 9.5 กรัมในสารละลาย 1 ลิตร) 500 มิลลิลิตร แล้วเจือจางให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย

2.1.1.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล ละลาย NaOH 240 กรัม ในน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย แล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่นดังกล่าว

2.1.1.4 สารละลายที่ใช้การกำจัดคลอรีนตกค้าง เลือกใช้สารละลายใดสารละลายหนึ่งดังนี้ (สารละลายเหล่านี้ 1 มิลลิลิตรสามารถกำจัดคลอรีนตกค้าง 1 มิลลิกรัมลิตร ในน้ำตัวอย่าง 500 มิลลิลิตร)

2.1.1.4.1 สารละลายโซเดียมซัลไฟท์ ; Na_2SO_3 ละลาย Na_2SO_3 0.9 กรัมในน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย แล้วเจือจางให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 1 ลิตร

2.1.1.4.2 สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ; $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 3.5 กรัม ในน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย แล้วเจือจางให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ต้องเตรียมใช้ใหม่ทุกอาทิตย์

2.1.1.5 สารละลายกรดบอริก 2 % ; H_3BO_3 ละลาย H_3BO_3 20 กรัม ในน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย แล้วเจือจางให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่นดังกล่าว

2.1.1.6 สารละลายกรดซัลฟูริก 0.04 นอร์มัล เจือจาง สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.0 มิลลิลิตร ให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจาก แอมโมเนีย

2.1.1.7 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล และ สารละลายกรดซัลฟูริก 1 นอร์มัล สำหรับใช้ในการปรับพีเอชของน้ำตัวอย่าง

2.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนด้วยวิธีการไตเตรด

2.1.2.1 เหมือนกับสารเคมีที่ใช้ในการกลั่นน้ำตัวอย่างในข้อ 1.1

2.1.2.2 สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม ละลายเมทิลเรด 200 มิลลิกรัม ในสารละลายเอทานอล 95 % ละลายเมทิลลีนบูล 100 มิลลิกรัม ในสารละลายเอทานอล 95 % 50 มิลลิลิตร แล้วผสมสารละลายทั้ง 2 เข้าด้วยกัน สารละลายผสมนี้ต้องเตรียมใช้ใหม่ทุกเดือน

2.1.2.3 สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 นอร์มัล

2.2 สารเคมีที่ใช้ในการหาปริมาณไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบในสารอินทรีย์

2.2.1 เหมือนกับข้อ 2.1

2.2.2 สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น ; H_2SO_4 conc.

2.2.3 สารละลายเมอร์คิวริกซัลเฟต ; $HgSO_4$ ละลายเมอร์คิวริกออกไซด์ สีแดง ; HgO 8 กรัม ในสารละลายกรดซัลฟูริก 6 นอร์มัล 100 มิลลิลิตร

2.2.4 โพตัสเซียมซัลเฟต ; K_2SO_4

2.2.5 คอปเปอร์ซัลเฟต ; $CuSO_4 \cdot 5H_2O$

2.2.6 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 35 % ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 350 กรัม ในน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย แล้วเจือจางทำให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่นดังกล่าว

หมายเหตุ สารเคมีในข้อ 2.2.2-2.2.6 ใช้ในกรณีที่ใช้ปรอทเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์

ส่วนสารเคมีในข้อ 2.2.2 และ 2.2.5 ใช้ในกรณีที่ใช้ทองแดงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าว

3. วิธีทำ

3.1 การหาปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

3.1.1 การกลั่นน้ำตัวอย่างเพื่อแยกแอมโมเนียออกจากสารรบกวน

3.1.1.1 เตรียมอุปกรณ์การกลั่นด้วยการกลั่นน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย 500 มิลลิลิตร ซึ่งได้เติมสารละลายบัพเฟอร์ลงไป 20 มิลลิลิตร และปรับให้มีพีเอช 9.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัลแล้ว (อย่าลืมเติมลูกแก้วหรือ boiling chips ลงไปเล็กน้อยด้วย) ทำการกลั่นสารละลายดังกล่าว จนกระทั่งสารละลายที่ได้จากการกลั่นไม่มีแอมโมเนียปนอยู่จึงหยุด อย่าเพิ่งแยกเอาขวดกลั่นออกจากอุปกรณ์จนกว่าจะทำการกลั่นน้ำตัวอย่าง

3.1.1.2 นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการเอาคลอรีนตกค้างออกแล้วในขณะทำการเก็บน้ำตัวอย่างนั้น 500 มิลลิลิตรหรือน้อยกว่า แล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย (ในกรณีที่มีน้ำมีแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่ำกว่า 100 ไมโครกรัมต่อลิตร ให้ใช้ น้ำตัวอย่าง 1000 มิลลิลิตร) มาทำการปรับให้มีพีเอชประมาณ 7 ด้วยสารละลายกรดหรือสารละลายด่างเจือจาง

3.1.1.3 เติมสารละลายบอเรตบัพเฟอร์ลงไป 25 มิลลิลิตรแล้วปรับให้มีพีเอชเท่ากับ 9.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล

3.1.1.4 เติมลูกแก้วหรือ boiling chips ปริมาณเล็กน้อยลงไป ในสารละลายที่ได้จากข้อ ค. แล้วนำไปกลั่นด้วยอัตราเร็ว 6-10 มิลลิลิตรต่อนาที โดยทำการเก็บสารละลายที่กลั่นได้ได้ผิวสารละลายกรดคลอริก 2 % 50 มิลลิลิตรที่บรรจุในขวดชมพูขนาด 500 มิลลิลิตร ในกรณีที่ต้องการหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนด้วยวิธีพีเนตให้ทำการเก็บสารละลายที่กลั่นได้ภายใต้ผิวของสารละลายกรดซัลฟูริก 0.04 นอร์มัล 50 มิลลิลิตร

3.1.1.5 ทำการเก็บสารละลายที่กลั่นได้อย่างน้อย 250 มิลลิลิตร แล้วลดระดับของขวดรูปชมพู่ที่เก็บสารละลายที่กลั่นได้ลงจนกระทั่งผิวของสารละลายดังกล่าวไม่สัมผัสกับปลายของ receiver ทำการกลั่นต่ออีก 1-2 นาที เพื่อทำความสะอาดอุปกรณ์การกลั่น

3.1.1.6 นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นมาเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย แล้วนำไปทำการหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่งที่เหมาะสม

3.1.2 การหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนด้วยวิธีการไตเตรดการหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนด้วยวิธีการไตเตรดนี้ ต้องทำการกลั่นน้ำตัวอย่างก่อนเสมอ สำหรับปริมาณของน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการกลั่นและการไตเตรดที่ เหมาะสมนั้นมีดังนี้

ตารางที่ 2.4 ปริมาณน้ำตัวอย่างที่แนะนำในการหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

แอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำตัวอย่าง มก/ล	ปริมาณน้ำตัวอย่างที่เหมาะสม มิลลิลิตร
1.0-1.5	1000
2.5-5.0	500
5.0-10.0	250
10.0-20.0	100
20.0-50.0	50
50.0-100.0	25

3.1.2.1 ทำการกลั่นน้ำตัวอย่างตามวิธีการในข้อ 3.1.1

3.1.2.2 หยดสารละลายอินดิเคเตอร์ลงไปนสารละลายที่กลั่นได้ 3 หยด จะได้สารละลายสีเขียว แล้วนำไปไตเตรดกับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 นอร์มัล จนกระทั่งได้สารละลายสีม่วง จดปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไตเตรด

3.1.2.3 นำน้ำที่ปราศจากแอมโมเนียไปดำเนินการด้วยวิธีเดียวกันกับน้ำตัวอย่างทุกประการ

3.1.2.4 คำนวณหาปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ในน้ำตัวอย่าง
จากสูตร

$$\text{แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มก/ล)} = \frac{(A-B) \times N \times 14 \times 1000}{C}$$

เมื่อ A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้ไปในการไตเตรดน้ำ ตัวอย่าง , มิลลิลิตร

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้ไปในการไตเตรดน้ำกลั่น, มิลลิลิตร

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก, นอร์มัล

C = ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง, มิลลิลิตร

3.2 การหาปริมาณไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์เลือกใช้ปริมาณน้ำตัวอย่างให้เหมาะสมดังนี้

ตารางที่ 2.5 ปริมาณน้ำตัวอย่างที่เหมาะสมในการหาปริมาณเจดาลไนโตรเจน

ปริมาณของไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ มก/ล	ปริมาณน้ำตัวอย่างที่เหมาะสม มิลลิลิตร
0-1	500
1-10	200
10-20	100
20-50	50.0
50-100	25.0

3.2.1 ตวงน้ำตัวอย่างปริมาณดังกล่าวใส่ลงในขวดเจดาลขนาด 800 มิลลิลิตร

3.2.2 เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไป 10 มิลลิลิตร

3.2.3 ในกรณีที่ใช้ทองแดงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ให้เติมคอปเปอร์ซัลเฟตลงไป 1 กรัม แต่ถ้าใช้ปรอทเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เติมโปตัสเซียมซัลเฟต 6.7 กรัม และสารละลายปรอทซัลเฟต 1.25 มิลลิลิตร

3.2.4 ใส่ลูกแก้วลงไปเล็กน้อยแล้วแกว่งให้เข้ากัน นำไปต้มโดยใช้เตาไฟฟ้าในตู้ควันหรือที่มีอุปกรณ์ดูดควันกรดออกจนกระทั่งมีควันสีขาวเกิดขึ้น

3.2.5 ทำการต้มต่อไปอีก 30 นาที จะได้สารละลายใสหรือมีสีสตรอบอริ (น้ำตาลแดง)

3.2.6 ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเจือจางให้มีปริมาตรประมาณ 300 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย

3.2.7 ค่อยๆ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 35 % 150 มิลลิลิตรลงไป (ห้ามเขย่า)

3.2.8 นำขวดเจดาลไปต่อกับเครื่องกลั่นแล้วเขย่าสารละลายให้เข้ากัน ทำการกลั่นและเก็บสารละลายที่กลั่นได้ 200 มิลลิลิตร ด้วยวิธีการเดียวกับการกลั่นน้ำตัวอย่างเพื่อหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

3.2.9 นำสารละลายที่กลั่นได้ไปหาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่งที่เหมาะสม ปริมาณของไนโตรเจนที่หาได้นี้เป็นปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนรวมกับไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ซึ่งเรียกว่า ปริมาณเจดาล-ไนโตรเจน

3.2.10 คำนวณหาปริมาณของไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ โดยนำปริมาณเจดาล-ไนโตรเจนไปหักลบกับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของน้ำตัวอย่างเดียวกัน

ฟอสฟอรัส

1. เครื่องมือ

1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการหาปริมาณอโรฟอสเฟต

1.1.1 อุปกรณ์วัดรังสี เลือกใช้ spectrophotometer สำหรับใช้ที่ 880 นาโนมิเตอร์ ที่สามารถให้ความยาวแสงตั้งแต่ 1 เซนติเมตรขึ้นไป

1.2 เครื่องแก้วที่ล้างด้วยกรด ล้างเครื่องแก้วทั้งหมดด้วยผงซักฟอกที่ปราศจากฟอสเฟต แล้วล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจางที่ร้อน จากนั้นจึงล้างกรดออกด้วยน้ำกลั่น ควรเก็บเครื่องแก้วเหล่านี้เอาไว้หาฟอสเฟตโดยเฉพาะ และหลังจากที่ใช้เสร็จแล้วให้ล้างเครื่องแก้วให้สะอาด จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงในเครื่องแก้วเหล่านี้จนเต็มจนกว่าจะใช้ได้อีกครั้ง ถ้าทำการเก็บเครื่องแก้วด้วยวิธีนี้ การล้างด้วยกรดก็ไม่จำเป็นที่จะต้องทำทุกครั้ง

1.3 เตาไฟฟ้าขนาด 30 x 50 เซนติเมตร

1.3.1 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร พร้อมอุปกรณ์ย่อยละลายถ้ามี (ถ้าไม่มีให้ทำการย่อยสลายในตู้ควีน) ใช้ในกรณีทำการหาฟอสฟอรัสรวมด้วยการย่อยด้วยกรดซัลฟูริก-กรดไนตริก

2. สารเคมี

2.1 สารเคมีที่ใช้ในการหาปริมาณฟอสฟอรัสด้วยวิธีเปอร์ซัลเฟต

2.1.1 สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ละลายไตรโซเดียมฟีนอล์ฟทาลีน 5 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

2.1.2 สารละลายกรดซัลฟูริก 5 นอร์มัล เจือจางกรดซัลฟูริกเข้มข้น 70 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรทั้งหมด 500 มิลลิลิตร

2.1.3 สารละลายโปตัสเซียมแอนติโมนิโวลท์ทาร์เตต ละลายโปตัสเซียมแอนติโมนิโวลท์ทาร์เตต $K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot 1/2H_2O$ 1.3715 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร

2.1.4 สารละลายแอมโมเนียโมลิบเดต ละลายแอมโมเนียโมลิบเดต $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ 20 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร

2.1.5 สารละลายกรดแอสคอร์บิก ละลายกรดแอสคอร์บิก 1.76 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้มีอายุการใช้งาน 1 อาทิตย์ ถ้าเก็บที่อุณหภูมิ $4^{\circ}C$

2.1.6 สารละลายผสม ผสมสารละลายต่าง ๆ เข้าด้วยกันตามลำดับดังนี้ สารละลายกรดซัลฟูริก 5 นอร์มัล 50 มิลลิลิตร สารละลายโปตัสเซียมแอนติโมนิโวลท์ทาร์เตต 5 มิลลิลิตร สารละลายแอมโมเนียโมลิบเดต 15 มิลลิลิตร และสารละลายกรดแอสคอร์บิก 30 มิลลิลิตร คนหลังจากเติมสารละลายแต่ละอย่างลงไป มีอายุการใช้งาน 4 ชั่วโมง

3.วิธีทำ

3.1 การย่อยสลายด้วยเปอร์ซัลเฟต

3.1.1 ปล่อยให้ตัวอย่าง 50 มิลลิลิตรหรือน้อยกว่า แล้วทำให้มีปริมาตรเท่ากับ 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.1.2 หยดสารละลายฟีนอลฟทาไลน์ลงไป 1 หยด ถ้ามีสีชมพูเกิดขึ้นให้เติมสารละลายกรดซัลฟูริกลงไปทีละหยดจนกระทั่งสีชมพูนั้นหายไป

3.1.3 เติมสารละลายกรดซัลฟูริก 1 มิลลิลิตร และแอมโมเนียเปอร์ซัลเฟต 0.4 กรัม หรือโปตัสเซียมเปอร์ซัลเฟต 0.5 กรัม

3.1.4 ต้มให้เดือดพอประมาณ จนกระทั่งมีปริมาตรเหลืออยู่ 10 มิลลิลิตร ทำให้เย็นแล้วเจือจางให้มีปริมาตรประมาณ 30 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น หรือนำไปให้ความร้อนใน autoclave หรือ pressure cooker ที่ 98-131 KPa. 30 นาที แล้วทำให้เย็น

3.1.5 หยดด้วยสารละลายฟีนอลฟทาไลน์ลงไป 1 หยด แล้วทำการสะเทินด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จนกระทั่งได้สีชมพู

3.1.6 เทสารละลายที่ได้ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจน ถึงขีดบอกปริมาตร

3.1.7 นำสารละลายที่ได้มา 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายซัลฟูริก 5 นอร์มัล

จนกระทั่งสีชมพูหายไป

3.1.8 เติมสารละลายผสมลงไป 8.0 มิลลิลิตร แล้วแกว่งขวดให้สารละลายผสมกัน

3.1.9 ทำการวัด absorbance หรือ % transmission หลังจากตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที ที่ 880 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นที่เติมสารละลายผสมเป็น reference

3.1.10 คำนวณหาปริมาณของฟอสฟอรัสในรูปของสารอินทรีย์จากสูตรดังนี้

$$\text{ฟอสฟอรัส (มก/ล)} = \frac{\text{มก. ฟอสฟอรัส} \times 100}{\text{มล. ของน้ำตัวอย่าง}}$$

2.3 ระบบการจ่ายน้ำประปา

หลังจากที่ได้ผลิตน้ำประปาแล้ว จะนำน้ำประปาไปแจกจ่ายทั่วบริเวณของชุมชนด้วยท่อประปาขนาดเหมาะสม มีระบบวาล์วประเภทต่างๆ ติดตั้งอยู่ตามท่อประปาทั่วบริเวณแล้วแต่ความเหมาะสม วัตถุประสงค์ของท่อประปามีประสิทธิภาพเพียงใด เช่น มีการตรวจสอบว่ามีกรั่วไหลของน้ำประปาออกจากท่อประปาหรือไม่ และมีการตรวจสอบว่าท่อประปามีความเสียหายของผิวท่อมากน้อยเพียงใด ซึ่งถ้ามีความเสียหายมากจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการไหลของน้ำประปาภายในท่อประปาได้

วิธีการจ่ายน้ำประปา

ระบบแจกจ่ายน้ำประปาเป็นการแจกจ่ายน้ำประปา ตั้งแต่โรงผลิตน้ำประปาแจกจ่ายไปยังชุมชนทั่วถึงทุกอาคาร โดยวิธีแจกจ่ายน้ำประปามีอยู่ด้วยกันได้หลายวิธี ซึ่งจะขึ้นกับสภาพของพื้นที่ในบริเวณนั้น วิธีแจกจ่ายน้ำประปามีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ซึ่งจะกล่าวดังต่อไปนี้

วิธีการแรงโน้มถ่วงของโลก

วิธีนี้อาศัยหลักการว่า ระดับน้ำจากแหล่งอยู่สูงกว่าชุมชนมากเพียงพอ ที่ทำให้น้ำประปาไหลจากแหล่งไปตามท่อประปาได้อย่างดี คือมีทั้งความเร็วของน้ำไหลและความดันของน้ำภายในท่ออย่างเหมาะสมไม่มากหรือน้อยจนเกินไป วิธีนี้โดยมากจะอาศัยความสูงของระดับดินปกติ และทอดสูง เพื่อเป็นจุดที่ปล่อยน้ำประปาเพื่อแจกจ่ายไปรอบๆ บริเวณ วิธีแจกจ่ายน้ำประปานี้เป็นวิธีที่น่าไว้ใจที่สุดวิธีหนึ่ง เพราะถ้าเกิดกระแสไฟฟ้าดับ ระบบแจกจ่ายน้ำประปาแบบนี้จะยังคงสามารถจ่ายน้ำได้ช่วงเวลาหนึ่ง อาจได้นานถึงหนึ่งหรือสองวัน ทั้งนี้ขึ้นกับขนาดความจุของทอดสูง

วิธีสูบน้ำโดยตรง

วิธีอาศัยเพียงเครื่องสูบน้ำ ทำการสูบน้ำประปาไปตามท่อประปาของระบบโดยตรง ความเร็วของน้ำไหล และความดันของน้ำภายในท่อจะถูกควบคุมโดยเครื่องสูบน้ำและขนาดท่อประปาที่ออกแบบไว้แล้ว ระบบจ่ายน้ำประปาวิธีนี้ไม่ต้องใช้หอถังสูง แต่จะมีถังเก็บน้ำประปาไว้เพื่อให้เครื่องสูบน้ำได้สูบน้ำไปแจกจ่ายตามชุมชน โดยอาจมีความดันภายในท่อประปาไม่คงที่มีการแปรเปลี่ยนบ่อยครั้ง ถ้าเกิดกระแสไฟฟ้าดับก็ไม่สามารถแจกจ่ายน้ำประปาไปตามชุมชนได้เลยในทันที ทำให้เป็นข้อเสียหลักของระบบนี้

วิธีการจ่ายน้ำประปาโดยใช้ทั้งหอถังสูงร่วมกับเครื่องสูบน้ำ

วิธีนี้คือการนำวิธีแรกและวิธีที่ 2 มาใช้ร่วมกัน วิธีนี้เป็นที่นิยมมาก การแจกจ่ายน้ำประปาจะอาศัยทั้งเครื่องสูบน้ำสูบน้ำไปยังท่อประปาพร้อมกันนั้นอีก ณ ตำแหน่งจะมีหอถังสูงทำหน้าที่แจกจ่ายน้ำประปาไปด้วย ข้อดีของระบบนี้คือสามารถแจกจ่ายน้ำประปาด้วยปริมาณมากๆ ทั้งจากเครื่องสูบน้ำและหอถังสูงพร้อมๆกัน โดยมีถังเก็บน้ำประปาอยู่ 2 แห่ง วิธีนี้สามารถเลือกวิธีแจกจ่ายน้ำประปาไปยังท่อประปาได้ อย่างเช่นในช่วงที่ต้องการประมานน้ำใช้มากก็อาจใช้ทั้ง 2 ระบบ หรือในช่วงที่ต้องการปริมาณน้ำใช้น้อยก็อาจใช้เพียงระบบเดียว

ระบบจ่ายน้ำแบบต่อเนื่อง (Continuous System)

ระบบนี้จะทำการจ่ายน้ำประปาตลอดเวลาวิธีนี้เหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องการน้ำประปาใช้ตลอดเวลา มีแหล่งน้ำดิบที่พอเพียงตลอดเวลา และมีโรงผลิตน้ำประปาที่สามารถผลิตได้เพียงพอจ่ายน้ำได้ตลอดเวลา ต่อไปนี้เป็นข้อดีของระบบจ่ายน้ำประปาแบบต่อเนื่อง

1. ผู้ใช้น้ำไม่ต้องสร้างถังเก็บกักน้ำประปา
2. จะมีน้ำใช้สำหรับการดับเพลิงในตลอดเวลา
3. น้ำประปาจะไม่อยู่เสมอภายในท่อประปาและยากที่จะได้รับสิ่งที่เป็นเบื้อนจากภายนอกท่อประปา เนื่องจากมีความดันของน้ำภายในท่อประปาสูงตลอดเวลา

ระบบสูบน้ำแบบเดินๆหยุดๆ

ระบบนี้อาจจ่ายน้ำประปาเพียง 2 – 3 ชั่วโมงในแต่ละวันก็ได้ เช่น จ่ายน้ำให้ในช่วงเช้าหรือช่วงเย็น ระบบนี้จะใช้ก็ต่อเมื่อมีประมานน้ำดิบในแหล่งน้ำไม่เพียงพอสำหรับการจ่ายน้ำประปาให้ตลอดเวลา ต่อไปนี้เป็นข้อเสียของระบบจ่ายน้ำประปาแบบเดินๆหยุดๆ

1. ผู้ใช้น้ำต้องสร้างถังเก็บกักน้ำประปาไว้ใช้สำรอง
2. ขนาดท่อประปาจะมีขนาดใหญ่กว่าระบบจ่ายน้ำประปาแบบต่อเนื่อง

3. จะมีการติดตั้งวาล์วและข้อต่อต่างๆมากกว่าของระบบจ่ายน้ำแบบต่อเนื่อง
4. จะไม่มีน้ำสำหรับดับเพลิงในช่วงจ่ายน้ำประปา

ถังเก็บกักน้ำประปา

ถังเก็บกักน้ำประปามีความจำเป็นอย่างมาก ที่สามารถเก็บกักน้ำประปาได้พอเพียงตลอดเวลา ทั้งเมื่อมีเหตุขัดข้องบางประการ เนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่น ระบบจ่ายน้ำประปาเกิดขัดข้องระบบผลิตน้ำประปาเกิดขัดข้อง เป็นต้น วัตถุประสงค์ของการเก็บกักน้ำประปาด้วยถังเก็บกักน้ำประปามีดังต่อไปนี้

1. ต้องการเก็บกักน้ำประปาไว้สำหรับการดับเพลิง
2. ต้องการเก็บรักษาระดับความดันของน้ำในท่อประปาได้ตลอดเวลา
3. ต้องการเก็บกักน้ำประปาสำรองไว้เมื่อมีการใช้น้ำประปามากกว่าปกติ

ตามปกติขนาดความจุของถังเก็บกักน้ำประปาจะขึ้นอยู่กับจำนวนชั่วโมงที่จ่ายน้ำประปา อัตราการสูบน้ำจ่ายน้ำประปา และการแปรเปลี่ยนปริมาณความต้องการใช้น้ำประปาของชุมชนนั้น ทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับสภาพการใช้น้ำประปาของแต่ละชุมชน ในหัวข้อนี้จะอธิบายเกี่ยวกับถังน้ำบนพื้นดิน และหอถังสูง

ถังน้ำบนพื้นดิน (Surface Storage Tank)

ถังน้ำบนพื้นดินในที่นี้ หมายถึง ถังเก็บกักน้ำไว้เพื่อจ่ายน้ำประปาไปทั่วชุมชนของแต่ละชุมชน สำหรับขนาดของถังน้ำบนพื้นดินอาจพิจารณาใช้ค่าปริมาณน้ำใช้ โดยเฉลี่ยต่อวันเป็นขนาดความจุของถังเก็บกักน้ำประปา ซึ่งอาจต้องการเก็บกักไว้ใช้ 1 วัน 2 วันหรือมากกว่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้น้ำประปาของชุมชนนั้นๆ