



บทที่ 2

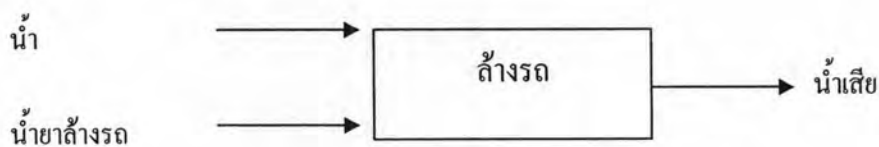
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถานบริการล้างรถ

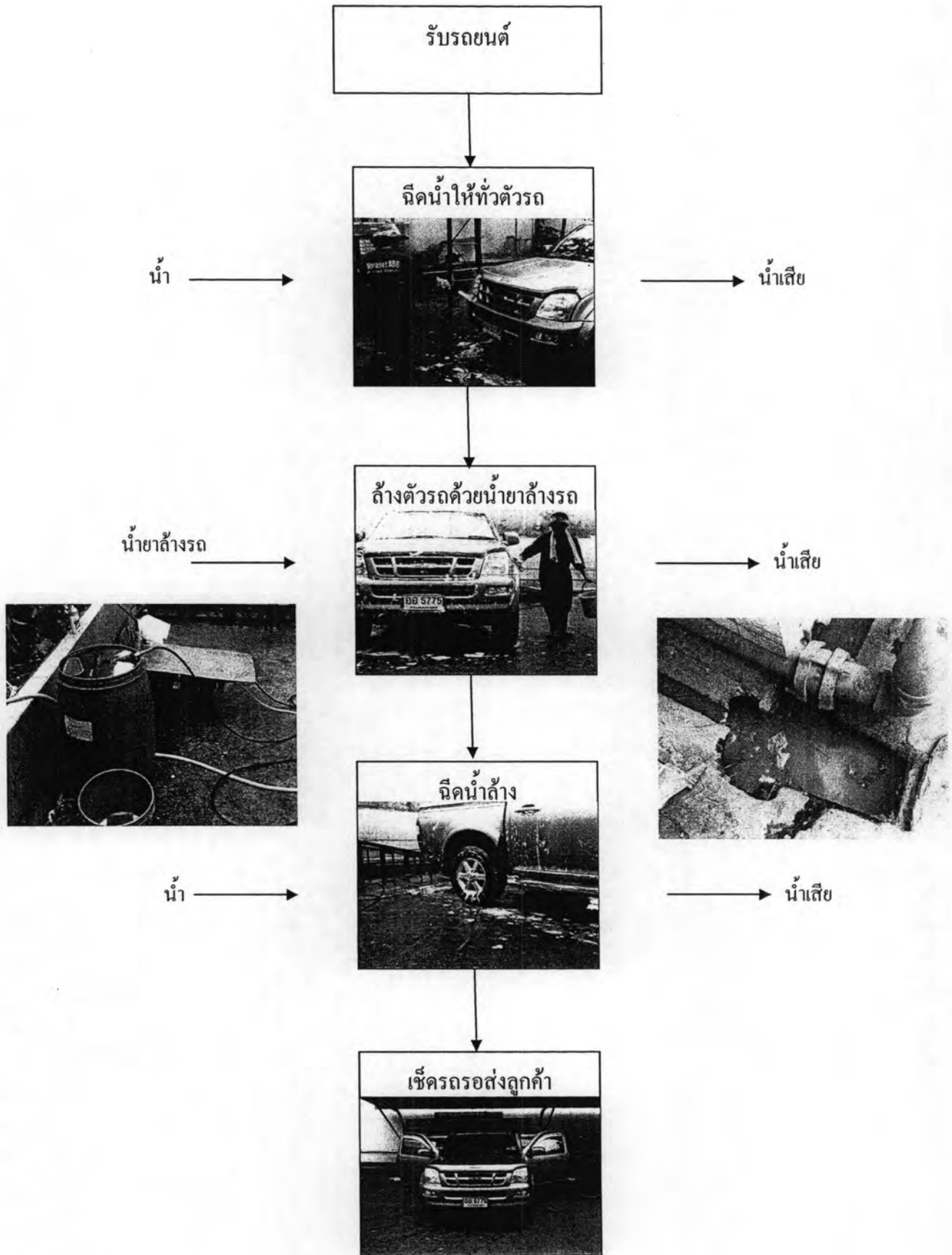
2.1.1 ขั้นตอนการล้างรถ

การใช้ปริมาณน้ำในการล้างรถยนต์ของสถานบริการล้างรถใช้น้ำ 150 – 300 ลิตรต่อคัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) การใช้น้ำในหนึ่งวันทำการขึ้นอยู่กับจำนวนการให้บริการแก่ผู้บริโภค โดยสามารถทราบปริมาณการใช้น้ำจากการวัดมิเตอร์น้ำได้ต่อวัน

การล้างรถ



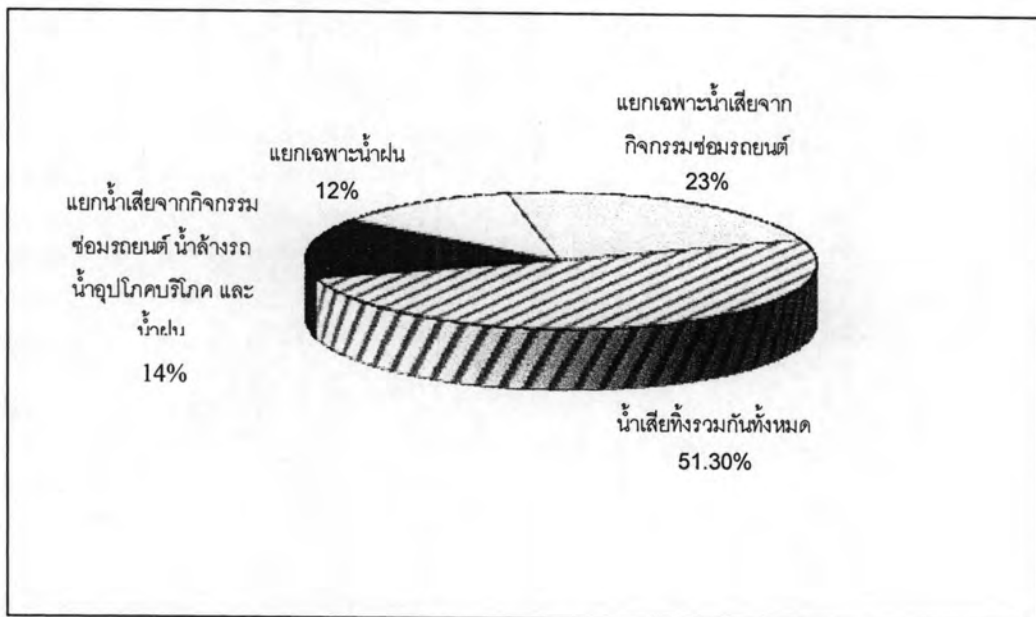
การล้างรถ มีการใช้น้ำ และน้ำยาล้างรถในกระบวนการล้าง ทำให้เกิดเป็นน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของน้ำยาล้างรถเกิดขึ้น ซึ่งในขั้นตอนฉีดน้ำล้างเศษฝุ่นและดินจะเกิดน้ำเสียที่มีส่วนประกอบของ เศษดิน โคลนและฝุ่นเป็นหลักทำให้เป็นสารแขวนลอยในน้ำเสีย ส่วนขั้นตอนการล้างรถด้วยน้ำยาล้างรถและการล้างน้ำยาล้างรถออก น้ำเสียที่เกิดจะมีการปนเปื้อนของสารทำความสะอาดและสารลดแรงตึงผิวซึ่งมีฟอสฟอรัสเป็นสารประกอบ และน้ำที่ไหลนองบริเวณพื้นที่ใช้งานของสถานบริการล้างรถก็จะมีปนเปื้อนเกิดเป็นน้ำเสียอีกด้วย ซึ่งส่วนประกอบของน้ำเสียจากสถานบริการล้างรถจะกล่าวถึงต่อไปในหัวข้อการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำเสีย ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วิธีการล้างรถภายในศูนย์บริการล้างรถในปั้มน้ำมัน

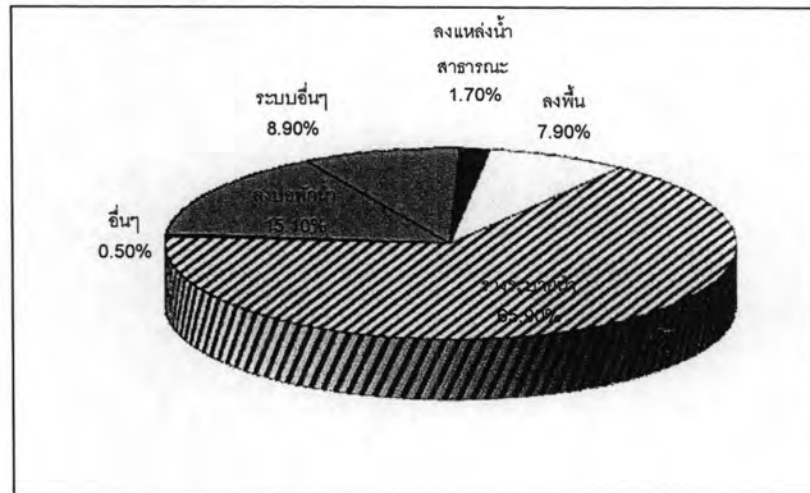
2.1.2 การจัดการน้ำเสีย

ในการรวบรวมน้ำเสียที่เกิดขึ้นในสถานบริการล้างรถนั้น ผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะไม่มีระบบแยกน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนออกจากกัน โดยจากการสำรวจจากกรมควบคุมมลพิษพบว่ามีผู้ประกอบการเพียงร้อยละ 14.7 ที่มีการแยกน้ำเสียจากกิจกรรมซ่อมรถยนต์ออกจากน้ำเสียจากการล้างรถ อูปโภค บริโภคและน้ำฝน ในขณะที่ผู้ประกอบการถึงร้อยละ 51.3 ที่ทิ้งน้ำเสียจากกิจกรรมซ่อมรถยนต์ร่วมกับน้ำเสียจากการล้างรถ อูปโภค บริโภคและน้ำฝน ดังรูปที่ 2.2



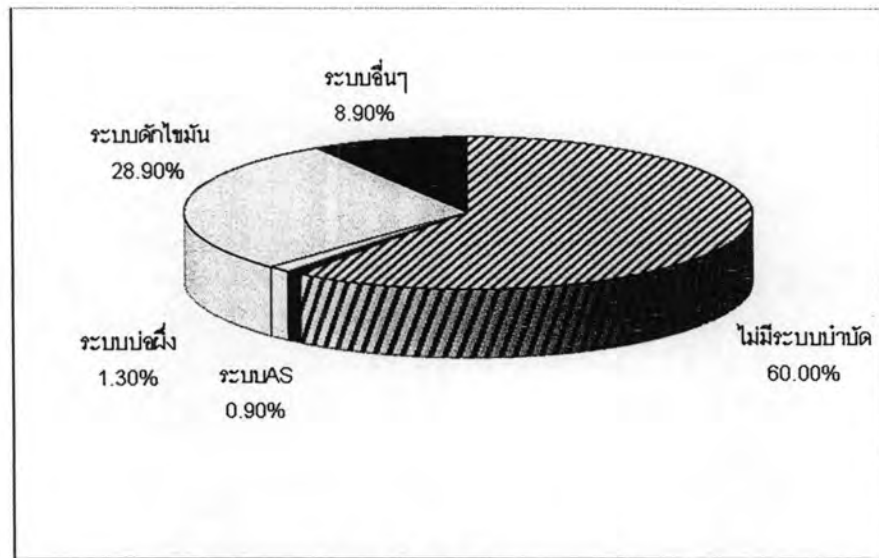
รูปที่ 2.2 การรวบรวมน้ำเสียที่เกิดขึ้นในสถานบริการล้างรถ
(กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

ในการระบายน้ำเสียของสถานประกอบการนั้นส่วนใหญ่จะทิ้งลงสู่รางระบายน้ำที่เชื่อมต่อกับระบายน้ำสาธารณะคิดเป็น 65.9 ดังรูปที่ 2.3 นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ประกอบการร้อยละ 1.7 ที่มีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะโดยตรง ซึ่งมีความเสี่ยงอย่างมากที่จะมีการปนเปื้อนของสารมลพิษสู่ระบบนิเวศน์



รูปที่ 2.3 การระบายน้ำเสียของสถานประกอบการล้างรถ
ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ พ.ศ. 2549

นอกจากนั้นในรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าสถานบริการล้างรถส่วนใหญ่คิดเป็นร้อยละ 60 ไม่มีการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย โดยในส่วนที่มีการติดตั้งระบบบำบัดนั้นส่วนใหญ่จะใช้บ่อดักไขมัน คิดเป็นร้อยละ 28.9 ในขณะที่ระบบบำบัดแบบอื่นๆ ที่มีการใช้งานรองลงมาได้แก่ บ่อฝัง และระบบเอเอส มีการใช้งานน้อยกว่ามาก โดยมีสถานประกอบการใช้ระบบดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 1.3 และ 0.9 ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในสถานบริการล้างรถ
(กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

2.2 สารซักฟอก (detergent) (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2549)

สารซักฟอกเป็นผลิตภัณฑ์เคมีที่มีส่วนประกอบสำคัญคือ สารลดแรงตึงผิว สารลดความกระด้างของน้ำ และสารประกอบอื่นๆ มากกว่า 20 ชนิด เช่น ฟอสเฟอรัส สารเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระหว่างการใช้งาน เนื่องจากบางชนิดมีการสะสมในสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดมลพิษต่อแหล่งน้ำและดินได้ จึงควรพิจารณาถึงลักษณะสารซักฟอกนั้นมีการย่อยสลายได้มากน้อยเพียงใด มีสารเคมีใดเป็นองค์ประกอบและบรรจุในภาชนะอะไรเพื่อช่วยลดการปนเปื้อนของสารเคมีและธาตุอาหารในแหล่งน้ำ ตลอดจนลดภาระค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย

สารซักฟอกควรมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ

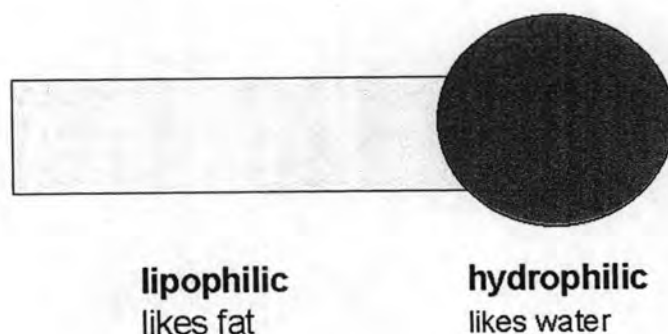
- ย่อยสลายได้ดีในสภาพธรรมชาติทั้งแบบใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจน ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90
- ไม่มีสารก่อมะเร็งสาร ประกอบคลอรีน สาร EDTA สาร APEO สาร NTA ไฮโดรคาร์บอน และฟอร์มาลีน

2.2.1 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2549)

โดยปกติแล้วเรามักจะใช้น้ำในการทำมาความสะอาดทั่วไป น้ำมีคุณสมบัติที่เรียกว่าเป็นสารที่มีความตึงผิว จากโครงสร้างของน้ำพบว่า แต่ละโมเลกุลของน้ำจะเกาะรวมกันเป็นน้ำโมเลกุลใหญ่ แต่ที่พื้นผิวหน้าของน้ำ จะพบว่าโมเลกุลของน้ำถูกล้อมรอบอยู่ด้านเดียว ส่วนอีกด้านจะไม่มีดังนั้น ความตึงผิวจึงเกิดจากแรงระหว่างน้ำกับน้ำและน้ำกับพื้นผิวที่น้ำเกาะอยู่ ถ้าแรงระหว่างน้ำกับพื้นผิวที่น้ำเกาะอยู่มีน้อยกว่าแรงของน้ำกับน้ำ จะทำให้พื้นผิวนั้นไม่เปียก แต่ถ้าตรงกันข้ามพื้นผิวจะเปียก สารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่จะสามารถย่อยสลายได้โดยธรรมชาติ ทั้งนี้ความสามารถในการถูกย่อยสลายจะขึ้นกับโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว รวมทั้งปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เหลืออยู่จากการใช้ สารลดแรงตึงผิวเมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสมนอกจากจะช่วยลดต้นทุนการบำบัดแล้วยังมี ส่วนช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

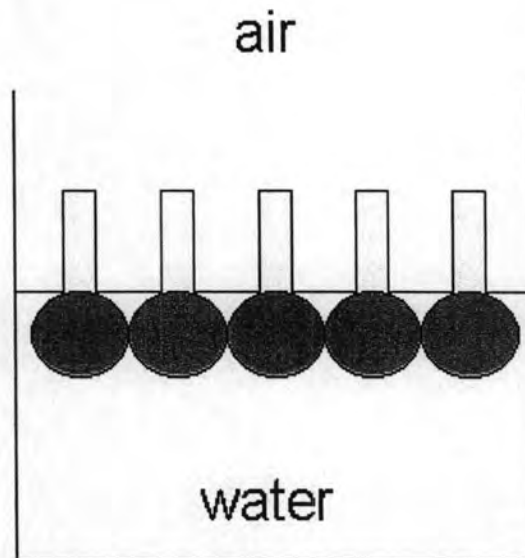
2.2.2 คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิว (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2549)

สารลดแรงตึงผิว หรือ Surfaceactive agent มีชื่อทั่วไปทางวิทยาศาสตร์ “Surfactant” สารลดแรงตึงผิวมาจากภาษาเยอรมันว่า Tensid ตั้งโดยนักเคมีชาวเยอรมันในปี ค.ศ. 1960 สารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วยสองส่วน คือ เป็นส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) รูปที่ 2.5 จากส่วนประกอบสองส่วนที่มีสมบัติตรงข้ามกัน ทำให้ สารลดแรงตึงผิวเข้าไปเชื่อมระหว่างสองเฟสที่ต่างกันให้เข้ากันได้



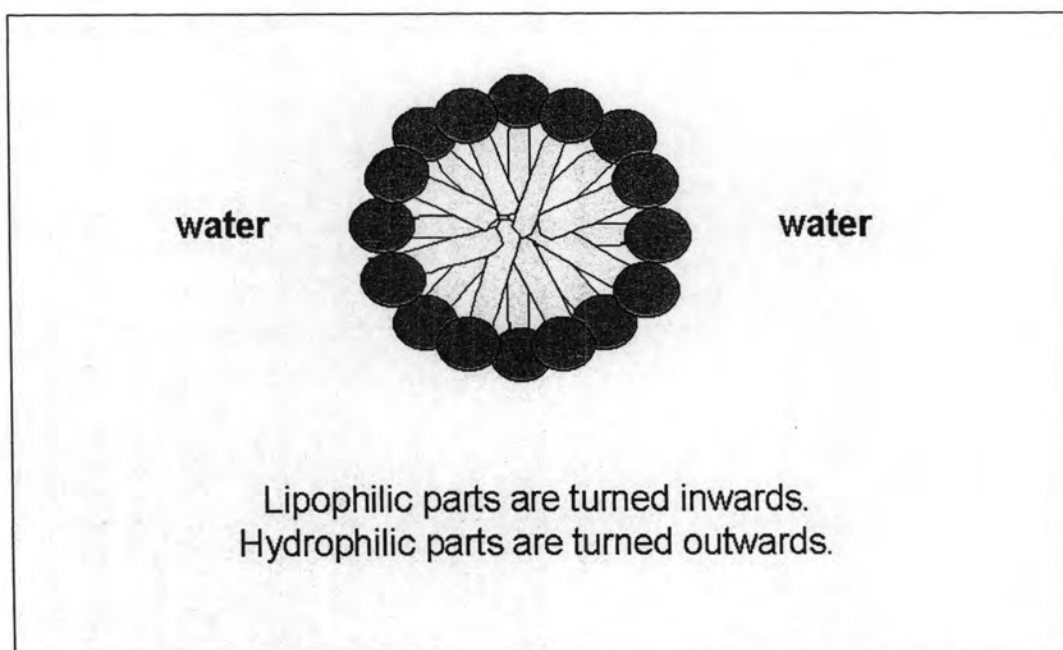
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว
(กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2549)

ส่วนที่ไม่ชอบน้ำมักจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยจะมีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักส่วนใหญ่จะมาจากไขมันและน้ำมันตามธรรมชาติ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และโพลีเมอร์สังเคราะห์ ลักษณะที่สำคัญของสารลดแรงตึงผิวคือเมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวเพียงเล็กน้อยลงในน้ำ สารลดแรงตึงผิวจะไปลดแรงตึงผิวของน้ำเพื่อให้เกิดกระบวนการต่างๆ อย่างขึ้น เช่น การเกิดฟอง การทำให้เปียก และกระบวนการทำความสะอาด เป็นต้น ส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะพยายามหนีน้ำโดยไปเกาะกับพื้นผิวที่ว่าง เช่น อากาศ ส่วนที่ชอบน้ำจะยังคงอยู่ในน้ำ ดังรูปที่ 2.6



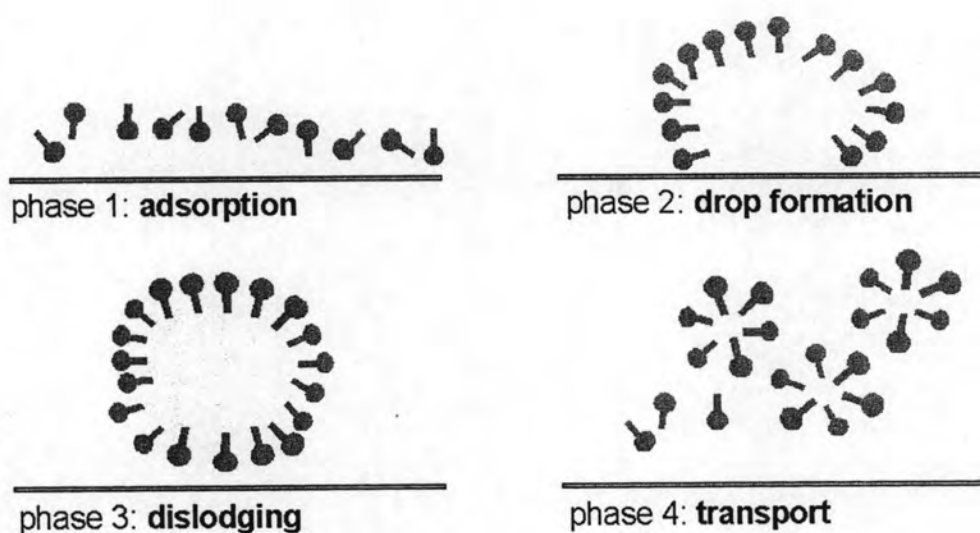
รูปที่ 2.6 โมเลกุลสารลดแรงตึงผิวบนผิวสัมผัสระหว่างน้ำและอากาศ
(กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2549)

เมื่อผิวหน้าของน้ำเต็มไปด้วยสารลดแรงตึงผิวส่วนที่เพิ่มขึ้นมาต้องไปอยู่ในน้ำเพื่อกันไม่ให้ส่วนหัวเจอกัน โมเลกุลสารลดแรงตึงผิวจะเรียงในลักษณะที่เอาส่วนหางมารวมกันตรงกลาง และส่วนหัวจะชี้ออกไปดูเหมือนเป็นก้อนกลมๆ ก้อนที่เกิดจากการรวมตัวแบบนี้ เรียกว่า ไมเซลล์ (micell) ไมเซลล์เหล่านี้มีรูปร่างหลายๆ แบบ อาจจะเป็นก้อนกลมๆ เป็นแท่ง หรือเป็นชั้นๆ ก็ได้ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในน้ำดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 รูปทรงของไมเซลล์ทรงกลม
(กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2549)

การดึงชั้นคราบสกปรกขึ้นมาจากพื้นผิว โดยที่เอาส่วนหาง เกาะจับคราบสกปรก และหันส่วนหัวไปด้านน้ำ โดยวิธีดังกล่าว สิ่งสกปรกที่ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำมัน จะถูกดึงออกมา จากพื้นผิวได้ และจะถูกน้ำชะล้างออกไป ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การขจัดคราบออกจากผิวโดยสารลดแรงตึงผิว
(กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2549)

เมื่อสิ่งสกปรกถูกดึงออกมาจากพื้นผิวแล้วจะถูกสารลดแรงตึงผิวเกาะไว้ให้แขวนลอยอยู่ในน้ำ เพื่อไม่ให้คราบนั้นกลับคืนไปที่พื้นผิวได้อีก ปรากฏการณ์ที่สารลดแรงตึงผิวจับคราบให้แขวนลอยอยู่ในน้ำ เรียกว่าการแขวน (suspension)

สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็นหลายกลุ่ม ขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำ (Hydrophilic) โดยสามารถแยกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1) Anionic surfactant เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic ให้ประจุลบ ส่วนมากแสดงอยู่ในรูป carboxylate, sulfate, sulfonate หรือ phosphate สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ ใช้มากในอุตสาหกรรมประเภท ผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด น้ำยาล้างแชมเปঁนต้น โดยใช้มากถึงร้อยละ 49 ของสารลดแรงตึงผิวทั้งหมด เนื่องจากสามารถใช้ขจัดคราบสกปรกได้ดี

2) Cationic surfactant เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic ให้ประจุบวก ส่วนมากมักจะเป็นพวก quaternary ammonium สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นด่างสูง (pH 10-11) เนื่องจาก ammonium salt จะมีการสูญเสียประจุบวก ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ สารลดแรงตึงผิวประเภท cationic จะทำให้เกิดการระคายเคืองมากกว่า สารลดแรงตึงผิวประเภท anionic

3) Nonionic surfactant สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะต่างจากสารลดแรงตึงผิวประเภท anionic และ cationic ตรงที่เป็น โมเลกุลที่ไม่มีประจุ โดยมีพวก polyether หรือ polyhydroxyl เป็นกลุ่มที่แสดงคุณสมบัติคล้ายพวกที่มีประจุ ใช้มากในผงซักฟอก น้ำยาล้างถ้วยแชมเปঁนต้น สะอาดพื้นผิว เป็นต้น

4) Amphoteric surfactant หรือ Zwitterions เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic สามารถให้ได้ทั้งประจุบวกและลบ โดยจะแสดงคุณสมบัติประเภทใดขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสภาวะแวดล้อม ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นด่าง (pH>7) ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic จะให้ประจุลบ ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นกรด (pH<7) ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic จะให้ประจุบวก และในสภาวะที่เป็นกลางจะไม่เกิดการให้ประจุไฟฟ้าบน hydrophilic สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับผิว หรือผม ในปัจจุบันยังใช้น้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทอื่น

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวทั้ง 4 ชนิดในการทำให้เกิดฟอง ความสามารถในการซักล้าง และการทำให้พื้นผิวอ่อนนุ่ม จะเห็นว่าสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบจะมีคุณสมบัติทำให้เกิดฟองดีที่สุด ส่วนสารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและลบจะมีคุณสมบัติในการทำให้พื้นผิวอ่อนนุ่มดีที่สุด สารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ในปัจจุบันได้มีการนำสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดมาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความสามารถของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 4 ชนิด (Tiger Chemical Company, 1997 ถูกอ้างใน กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

ประเภท / คุณสมบัติ สารลดแรงตึงผิว	การเกิดฟอง	ความสามารถในการ ซักล้าง	ความสามารถในการ ทำให้อ่อนนุ่ม
ประจุลบ	ดีที่สุด	ค่อนข้างดี	ไม่แน่นอน
ไม่มีประจุ	ดี	ดี	ดี
ประจุบวก	ไม่ดี	ปานกลาง	ไม่ดี
ประจุบวกและลบ	ค่อนข้างดี	ดี	ดีที่สุด

โดยสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นส่วนผสมในน้ำยาล้างรถชื่อ CARRETEX ของ บริษัท ลาโกพรีเมียร์ มีลักษณะประเภทไม่มีประจุไฟฟ้า มีคุณสมบัติป้องกันฝุ่นลดการเกาะติดของ สารมีประจุไฟฟ้า ถนอมพื้นผิว มีความสามารถในการเกิดฟองและการทำความสะอาดได้ดี

2.2.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารลดแรงตึงผิว

นอกจากสารลดแรงตึงผิวจะมีบทบาทในกระบวนการทำความสะอาดในชีวิตประจำวันแล้ว สารลดแรงตึงผิวยังมีบทบาทที่สำคัญและนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ รวมทั้งทางด้าน สิ่งแวดล้อม เช่น ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย การนำสารลดแรงตึงผิวไปใช้ประโยชน์นั้นจะต้อง พิจารณาอย่างรอบคอบ ทั้งนี้เพราะสารลดแรงตึงผิวสามารถทำลายสิ่งแวดล้อมได้เช่นกันถ้ามีการใช้ ในปริมาณที่ไม่ถูกต้องและมีการนำสารลดแรงตึงผิวผิดประเภทมาใช้ ตัวอย่างเช่นในการปล่อยน้ำ ซักผ้าหรือน้ำยาล้างจานที่เข้มข้นซึ่งมีสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบลงในแม่น้ำลำคลอง จะทำ ให้เกิดฟองอย่างมาก นอกจากจะทำลายสุนทรียภาพของแม่น้ำลำคลองแล้ว ยังสร้างผลกระทบต่อ สิ่งมีชีวิตในน้ำ และอาจต้องใช้เวลานานที่กระบวนการธรรมชาติโดยแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์จะย่อย สลายสารลดแรงตึงผิวได้หมด US.EPA. ได้กำหนดความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในน้ำดื่มให้ไม่ เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Kawamura, 2000) จากผลของการใช้สารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มขึ้นในทุกๆปี

พบว่าทำให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากน้ำทิ้งจากครัวเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมล้วนมีสารลดแรงตึงผิวจากผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดด้วยกันทั้งสิ้น ผลกระทบที่เกิดจากการที่สารลดแรงตึงผิว เช่น Linear Alkylbenzenesulphonate (LAS) จะไปล้อมจับพื้นผิวสารอินทรีย์ต่างๆที่มีในแหล่งน้ำ เมื่อมีความเข้มข้นมากขึ้น จะทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดการชะงักงัน นอกจากนี้ยังมีอันตรายต่อสัตว์น้ำ โดยจำนวนคาร์บอนมากขึ้นความเป็นพิษยิ่งเพิ่มขึ้น สารประกอบเหล่านี้สามารถทำอันตรายต่อสัตว์น้ำ และยังทำให้แหล่งน้ำเสื่อมโทรมจนสัตว์น้ำไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ นอกจากนี้พวกฟอสเฟตจะทำให้พวกพืชน้ำ เช่น แพลงตอน และสาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มีผลต่อสัตว์ที่อาศัย อยู่ในแหล่งน้ำนั้น ความเป็นพิษจะขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนละลาย ความกระด้างของน้ำ และอุณหภูมิ

2.3 ฟอสฟอรัส (Phosphorus) (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2549)

ฟอสฟอรัสในน้ำอาจอยู่ในรูปต่างๆกันของฟอสเฟตทั้งอาจจะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำหรืออยู่ในรูปของซากพืชซากสัตว์ในน้ำทิ้งจากชุมชนนั้น ส่วนมากจะมีฟอสเฟตปะปนมาจากการซักล้าง โดยใช้ผงซักฟอกหรือจากปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตรบางส่วน เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นในการปล่อยน้ำที่มีประสิทธิภาพฟอสเฟตปะปนอยู่มาก อาจกระตุ้นให้เกิดปัญหาอื่นๆตามมาได้ ฟอสฟอรัสที่พบในธรรมชาติมีแหล่งกำเนิดได้หลายทาง

- เดิมลงไปในน้ำประปา (ในรูป Polyphosphate) เพื่อป้องกันการตกตะกอนภายหลังของ CaCO_3 และเพื่อหลีกเลี่ยงการทำ recarbonation
- ผงซักฟอกจะมี Phosphate และ Polyphosphate เป็นองค์ประกอบ
- ปุ๋ยซึ่งใช้ในการเกษตรถูกน้ำฝนชะล้างจากดินลงสู่แหล่งน้ำ ฟอสฟอรัสจัดเป็น growth limiting nutrient ของพืชน้ำ ดังนั้นการปล่อยน้ำทิ้งที่มีฟอสฟอรัสลงในแหล่งน้ำอาจกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดปัญหา Eutrophication ในแหล่งน้ำได้

สารประกอบฟอสฟอรัสที่พบในน้ำมี 3 ประเภท

- (1) Orthophosphate ได้แก่ ฟอสเฟตที่ละลายน้ำแล้วให้ PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-
- (2) Polyphosphate ได้แก่ สารที่มีฟอสเฟตในโมเลกุลหลายๆหมู่ เช่น $\text{Na}_3(\text{PO}_4)_6$, $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ สารเหล่านี้เป็น dehydrated phosphate จึงถูกไฮโดรไลสในน้ำกลายเป็น Orthophosphate ได้
- (3) Organic phosphates ได้แก่ สารอินทรีย์ต่างๆที่มีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ เช่น nucleic acid, phospholipids, sugar phosphate

ความสำคัญของฟอสฟอรัส

1. ในด้านการปรับปรุงคุณภาพน้ำใช้เป็นตัวควบคุมการกักครอนในระบบประปาบางแห่งเป็นตัวควบคุม pH ช่วยลดความเข้มข้นของอ็อกซิเจนโลหะ ช่วยลดความเป็นด่างเร่งการเจริญของ phytoplankton
2. ในค้ำน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมีฟอสเฟตซึ่งส่วนใหญ่มาจากอาหารและผงซักฟอก นอกจากนี้ K_2HPO_4 และ KH_2PO_4 ยังเป็น buffer ที่ใช้กันแพร่หลายทั้งในระบบบำบัดและการหาค่า BOD
3. ในทางอุตสาหกรรมมีการใช้ฟอสเฟตเป็น “builder” ในผงซักฟอก คิดเป็นฟอสฟอรัสประมาณร้อยละ 12-13
4. ฟอสเฟตที่พบในกากตะกอนจากระบบบำบัด aerobic และ anaerobic จะอยู่ในรูปตะกอนอินทรีย์ และอนินทรีย์ฟอสเฟต

2.3.1 ฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2549)

ฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนมีความเข้มข้นประมาณ 6-10 มิลลิกรัมต่อลิตร สารประกอบของฟอสฟอรัสในน้ำธรรมชาติและน้ำเสียอยู่ในรูปต่าง ๆ กันของฟอสเฟต ได้แก่ ออร์โธฟอสเฟต และ โพลีฟอสเฟต รวมกันประมาณร้อยละ 70-90 ที่เหลือจะเป็นอินทรีย์ฟอสเฟต โดยฟอสเฟตเหล่านี้จะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ หรือในรูปของซากสิ่งมีชีวิตที่ไม่ละลายน้ำ ฟอสฟอรัสในน้ำเสียส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ โดยเกิดจากการสลายตัวของโปรตีนและขับฟอสเฟตออกมากับปัสสาวะ

สารซักฟอกเป็นแหล่งกำเนิดของฟอสเฟตในน้ำ โดยพบว่าในสารซักฟอกมีฟอสฟอรัสประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 12-13 หรือโพลีฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 50 การใช้สารซักฟอกในปัจจุบันมีปริมาณสูงมาก

การกำจัดฟอสฟอรัสดังกล่าวอาจกระทำได้โดยวิธีชีวภาพหรือวิธีเคมี อย่างไรก็ตาม การใช้วิธีเคมีในการกำจัดฟอสฟอรัสเป็นวิธีที่ได้ผลและเชื่อถือได้มากกว่าวิธีชีวภาพ

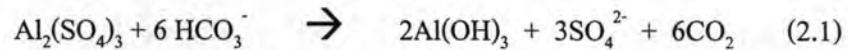
2.3.2 การกำจัดฟอสฟอรัสด้วยวิธีเคมี (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2549)

กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยวิธีเคมีประกอบด้วยปฏิกิริยาตกผลึก (Precipitation) ปฏิกิริยาโคแอกกูเลชันและการดูดซับผิว (Adsorption) สารเคมีที่สามารถใช้ในการกำจัดฟอสฟอรัสได้แก่ สารส้ม (Aluminum Sulfate หรือ Alum) หรือ Sodium Aluminate เกลือของเหล็ก เช่น $FeCl_3$ และ ปูนขาว (Lime)

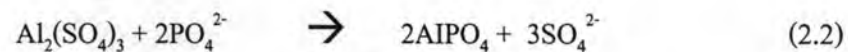
การเติมสารเคมีดังกล่าวจะทำให้เกิดปฏิกิริยาตกผลึกของฟอสเฟตในรูปแบบต่างๆ เช่น AlPO_4 , FePO_4 หรือ $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$ ผลึกฟอสเฟตเหล่านี้เป็นคอลลอยด์ขนาดเล็ก ซึ่งสามารถจับตัวกันเป็นฟล็อกด้วยปฏิกิริยาโคแอกกูเลชันแบบ Sweep Coagulation คอลลอยด์ฟอสเฟตจะเกาะจับกับสารประกอบฟอสเฟต (ที่เกิดจากปฏิกิริยาตกผลึก) ทำให้ได้ฟล็อกขนาดใหญ่ สารอินทรีย์ฟอสฟอรัสจะถูกดูดติดผิวของฟล็อกที่เกิดขึ้น (มันสิน, 2542)

1) การกำจัดฟอสฟอรัสด้วยสารส้ม

เมื่อเติมสารส้มลงไปในน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารส้มและสภาพ่างหรือ HCO_3^- ในน้ำ ทำให้เกิดผลึกของ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ดังสมการที่ 2.1



ถ้าในน้ำมีฟอสเฟตจะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการที่ 2.2



ปฏิกิริยาข้างต้นเป็นการกำจัดฟอสเฟตออกจากน้ำ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ที่เกิดขึ้นจะช่วยให้ในการกำจัดสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งเป็นคอลลอยด์ที่อยู่ในน้ำเสีย หรือเป็นคอลลอยด์ AlPO_4 ที่เกิดในภายหลัง ปริมาณสารส้มจะต้องมีมากพอเพียงสำหรับปฏิกิริยาทั้งสองข้างต้น ตามทฤษฎีจะต้องเติมออลูมิเนียม Al^{3+} ประมาณร้อยละ 87-100 ของปริมาณฟอสเฟตที่ต้องการกำจัด ถ้าสารส้มมี Al^{3+} ร้อยละ 9 จะต้องใช้สารส้มประมาณ 9.5-11 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อกำจัดฟอสเฟต 1 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสารส้มจะทำปฏิกิริยากับ HCO_3^- ที่มีอยู่ตามปกติในน้ำเสีย ปริมาณสารส้มที่ต้องใช้ในการกำจัดฟอสเฟตจึงสูงกว่าค่าที่ต้องการตามทฤษฎีเสมอ ในทางปฏิบัติควรเติม Al^{3+} ประมาณ 2-3 เท่าของปริมาณฟอสฟอรัสที่ต้องการกำจัด ปริมาณที่แท้จริงของสารส้ม (หรือสารเคมีอื่นๆ) จะขึ้นอยู่กับระดับฟอสเฟตที่ต้องการให้เหลือและขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสีย

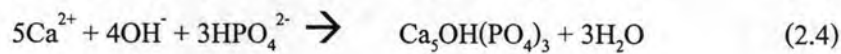
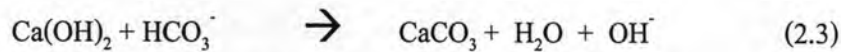
2) การกำจัดฟอสฟอรัสด้วยเหล็ก

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยเหล็ก (เช่น FeCl_3) คล้ายคลึงกับของสารส้ม ฟอสเฟตจะตกผลึกในรูปของ FePO_4 ตามทฤษฎีปรากฏว่าจะต้องใช้ Fe 1.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการกำจัด P ทุกๆ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในทางปฏิบัติจะต้องเติมเหล็กให้มากกว่าค่าตามทฤษฎีไม่น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชน จะต้องใช้เหล็กประมาณ

15-30 มิลลิกรัมต่อลิตร (เท่ากับ FeCl_3 45-90 มิลลิกรัมต่อลิตร) เพื่อกำจัดฟอสฟอรัสให้ได้ร้อยละ 80-90 ควรมีโพสิเมอร์เพื่อให้ฟล็อกของเหล็กฟอสเฟตตกตะกอนได้ง่ายมากขึ้น

3) การใช้ปูนขาวในการกำจัดฟอสฟอรัส

ปูนขาวทำปฏิกิริยากับสภาพค่าง HCO_3^- ในน้ำเสียและสร้างหินปูน (CaCO_3) ซึ่งสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ดังสมการที่ 2.3 และ 2.4 ออร์โธฟอสเฟตถูกกำจัดออกมาในรูปของ Calcium Hydroxyapatite ($\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$)



การกำจัดฟอสฟอรัสด้วยปูนขาวมิได้เกิดขึ้นโดยอาศัยปฏิกิริยาข้างต้นเท่านั้น โพลีฟอสเฟต อาจถูกกำจัดโดยกระบวนการดูดซับผิว (Adsorption) ของ Hydroxyapatite ที่เกิดขึ้น นอกจากนี้เมื่อพีเอชสูง ฟอสฟอรัสยังสามารถดูดซับผิวของหินปูนได้อีกด้วยเนื่องจากความสามารถในการละลายน้ำของ Hydroxyapatite ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสจึงสูงขึ้นตามค่าของพีเอชที่เพิ่มขึ้น อาจกล่าวได้ว่า ออร์โธฟอสเฟตตกผลึกได้ทั้งหมดเมื่อพีเอชสูงกว่า 11.5

สารเคมีที่ใช้กำจัดฟอสฟอรัสอาจเติมให้กับระบบเอเอสได้ที่ตำแหน่งต่างๆ คือถังตกตะกอนขั้นต้น และถังเติมอากาศ นอกจากนี้ การกำจัดฟอสฟอรัส (และไนโตรเจน) อาจจะทำโดยบำบัดน้ำทิ้งสุดท้ายของระบบเอเอสด้วยระบบเคมี ระบบกำจัดฟอสฟอรัสด้วยวิธีเคมี สามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีฟอสฟอรัสเหลือประมาณ 1-3 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมี และตำแหน่งเติมสารเคมี หากต้องการกำจัดฟอสฟอรัสให้ได้มากกว่านี้ จะต้องใช้ถังกรองด้วย

ในกรณีที่มีการเติมสารส้มหรือเหล็กให้กับระบบเอเอส จะต้องระวังมิให้เกิดตะกอนแขวนลอยจากปฏิกิริยาเคมีมากเกินไป และต้องไม่เกิดฟล็อกเคมีมากกว่าฟล็อกชีวภาพ (แบคทีเรีย) ปัจจัยต่างๆ ที่อาจนำมาพิจารณาในการคัดเลือกชนิดของสารเคมีมีดังนี้

1. ขนาดของระบบ
2. ปริมาณฟอสฟอรัสตกค้างในน้ำที่ผ่านการบำบัด
3. ลักษณะของน้ำเสีย
4. ราคาของสารเคมี

5. วิธีจัดการสลัดจ์ที่เกิดขึ้น
6. ความสะดวกในการควบคุมและเดินระบบ
7. ความเชื่อถือได้ของระบบ
8. ผลกระทบที่เกิดจากการใช้สารเคมี เช่น ผลกระทบของซัลเฟตจากการเติมสารส้มหรือคลอรีนจากการเติม $FeCl_3$ เป็นต้น ที่มีต่อแหล่งรับน้ำทิ้ง

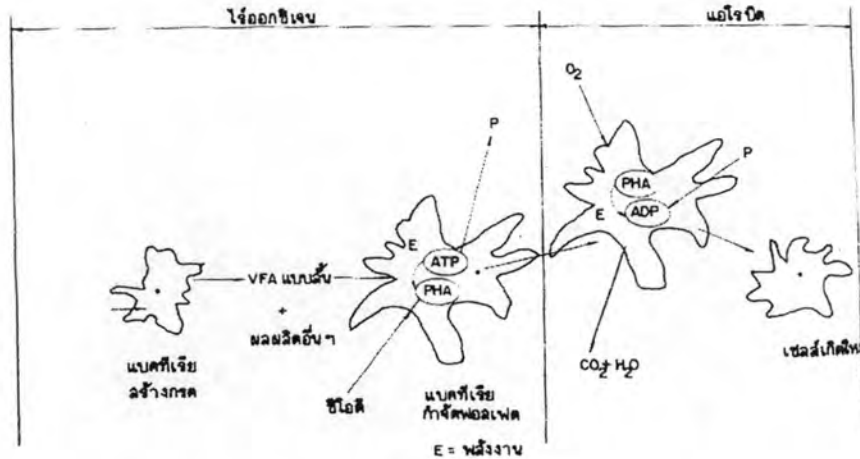
ปริมาณและชนิดของสารเคมี อาจตรวจสอบได้โดยการทำ Jar Test กับน้ำเสียจริงในห้องปฏิบัติการ สามารถคำนวณปริมาณสารเคมีได้อย่างคร่าวๆ จากทฤษฎีหรือสูตรที่มีแนะนำในตำรา แต่ปริมาณสารเคมีที่แท้จริงจะหาได้จากการทดสอบ Jar Test ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น การทดสอบควรกระทำให้ครอบคลุมถึงความแปรปรวนของน้ำเสียด้วย และควรให้ได้ข้อมูลปริมาณสารเคมีที่ใช้ผลิตน้ำทิ้งที่มีปริมาณฟอสฟอรัสตกค้างระดับต่างๆ

2.3.3 การกำจัดฟอสฟอรัสด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2549)

การเลี้ยงเพาะเชื้อแบบไม่ใช้ออกซิเจนตามด้วยถังแบบใช้ออกซิเจนหรือแอโรบิก ทำให้เกิดการคัดพันธุ์แบคทีเรียชนิดพิเศษ ซึ่งสามารถจับฟอสฟอรัสได้มากกว่าปริมาณที่เซลล์ต้องการใช้ในการเจริญเติบโต ลักษณะนี้เรียกว่า Luxury Phosphorus Uptake รูปที่ 2.9 โดยปกติเซลล์แบคทีเรียจะต้องการฟอสฟอรัสประมาณร้อยละ 1.5-2 ของน้ำหนักตัวแห้ง แต่กรณีของ Luxury Uptake แบคทีเรียสามารถจับฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 4-12 ของน้ำหนักตัวแห้ง ดังนั้น การทิ้งสลัดจ์ จึงเท่ากับสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้มากกว่าระบบธรรมดา 2.5-4 เท่า แบคทีเรียชนิดพิเศษนี้ได้แก่ *Acinetobacteria* คำอธิบายถึงกลไกการเกิด Luxury Phosphorus Uptake แสดงอยู่ในถังเลี้ยงเชื้อแบบไร้ออกซิเจนจะมีปฏิกิริยาแบบ Fermentation ซึ่งผลิตกรดอินทรีย์ระเหย (VFA) ชนิดที่มีจำนวนคาร์บอนน้อยๆ เช่น กรดน้ำส้มหรือ Acetic Acid (HAc) แบคทีเรียชนิดพิเศษจะสามารถดูดซึม VFA ดังกล่าวเข้าไปภายในเซลล์และสะสมเป็นอาหารสำรองในรูป PHA หรือ Polyhydroxyalkanoates แบคทีเรียต้องออกแรงในการสะสม PHA โดยใช้พลังงานจากการสลายตัวของ ATP ดังสมการที่ 2.5



ดังนั้นจึงมีการกำจัด BOD (คือ VFA จากน้ำเข้าไปเก็บไว้ในตัวเซลล์) พร้อมกับคาย P ในถังเลี้ยงเชื้อแบบไร้ออกซิเจน



รูปที่ 2.9 กลไกการเกิด Luxury phosphorus uptake (มันสิน, 2542)

ภายในถังเลี้ยงเชื้อแบบแอโรบิกซึ่งอยู่ตามหลังสภาวะที่มีไฮออกซิเจนทำให้แบคทีเรีย กระตุ้นกระเจงและทำการย่อยสลาย PHA เพื่อให้ได้เซลล์ใหม่ ไฮออกซิเจนจะถูกดึงเข้าไปในเซลล์เพื่อ ออกซิไดซ์ PHA เป็นผลทำให้ได้ CO₂, H₂O และเซลล์ใหม่ พร้อมๆ กันก็จะได้พลังงานด้วย พลังงาน จะถูกเก็บไว้ในรูป ATP โดยการดึง P จากภายนอกเซลล์มารวมกับ ADP ดังสมการที่ 2.6



ดังนั้นภายในถังแอโรบิก แบคทีเรียจะดึงฟอสเฟตเข้าไปใช้สร้างพลังงานอย่างรวดเร็วและ ในปริมาณที่มากกว่าความต้องการเพื่อใช้สร้างเซลล์ใหม่ รูปที่ 2.11 อธิบายให้เห็นถึงการปล่อย ฟอสฟอรัสในถังไฮออกซิเจนและการจับฟอสฟอรัสในถังแอโรบิก

วิธีการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพที่สามารถนำหลักการมาจัดรูปแบบกระบวนการกำจัด ฟอสฟอรัสทางชีวภาพ ซึ่งสามารถจัดวางเรียงกันได้หลายลักษณะ (เกรียงศักดิ์, 2543) ดังนี้

1) กระบวนการขาดอากาศ-เติมอากาศ A/O (A/O Process)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีถังบำบัดชุดเดียว โดยส่วนแรกของถังบำบัด A/O จะไม่ต้องเติม อากาศแต่ต้องการเพียงการกวนในถังบำบัดเพื่อไม่ให้เกิดการตกตะกอนที่ถมอยู่ก้นถัง บริเวณถึง ส่วนนี้เป็นถังปิดเพราะต้องการให้ขาดอากาศในระบบ ค่า DO ในถังส่วนนี้ควรมีเท่ากับ 0 มิลลิกรัม ต่อลิตร DO สำหรับส่วนที่สองของถังบำบัด A/O จะเป็นส่วนที่ต้องเติมอากาศให้พอเพียงแก่จุลินชีพ

โดยส่วนแรกที่เป็นถังขาดอากาศจะเกิดการคายฟอสฟอรัส สำหรับส่วนหลังที่เป็นถังเติมอากาศจะเกิดการจับใช้ฟอสฟอรัส แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่า BOD_5 และฟอสฟอรัสในถังบำบัดน้ำเสียพบว่าถังขาดอากาศมีประมาณ 2 ชั่วโมง และถังเติมอากาศมีประมาณ 5 ชั่วโมง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะน้ำเสียและ MLSS ในระบบด้วย

2) กระบวนการขาดอากาศ-ขาดอากาศ-เติมอากาศ (Anoxic-Anoxic-Aerobic Process, A²-O)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีถังบำบัดสามถัง จัดวางเรียงอนุกรมกัน โดยเริ่มตั้งแต่ถังน้ำเสียไหลเข้าถังขาดอากาศ 1 ตามด้วยถังขาดอากาศ 2 และไปที่ถังเติมอากาศเป็นถังสุดท้าย โดยมีสัดตั้งจากถังตกตะกอนไหลเวียนกลับในอัตราสูบประมาณ 3 เท่า ของปริมาณน้ำเสียไหลเข้า โดยเวลาเก็บกักของระบบน้ำเสียทั้งหมดประมาณ 3-4 ชั่วโมง (คิดเฉพาะ Q น้ำเสีย) และมีอายุสัดตั้งประมาณ 15 วัน การที่มีถังขาดอากาศอยู่สองถังเพราะให้มั่นใจได้ว่าจะมีการคายฟอสฟอรัสเกิดขึ้นในถังขาดอากาศ ซึ่งจะไปทำให้เกิดการจับใช้ฟอสฟอรัสในถังเติมอากาศต่อไปได้

3) กระบวนการ PhoStrip (PhoStrip Process)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยผลของปฏิกิริยาชีวเคมีแล้วนำวิธีเคมีมาทำการกำจัดฟอสฟอรัสให้ได้ผลสูงสุด กระบวนการ PhoStrip เป็นการกำจัดฟอสฟอรัสโดยอาศัยวิธีทางชีวภาพและวิธีทางเคมีสัดตั้งที่มาจากถังตกตะกอนไหลเข้าถังขาดอากาศเพื่อให้เกิดการคายออกของฟอสฟอรัสจากจุลินทรีย์ละลายลงในน้ำใส ส่วนสัดตั้งจากถังขาดอากาศจะไหลกลับสู่ระบบบำบัดน้ำเสียอีกครั้ง จากนั้นจึงนำปูนขาวเติมผสมกับน้ำใสดังกล่าวที่มีฟอสฟอรัสอยู่มาก ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีคือ เกิดการตกตะกอนผลึกทางเคมี หรือระบบสร้างตะกอน จนได้น้ำใสที่ปราศจากฟอสฟอรัส ซึ่งควรสูบกลับมารวมกับน้ำเสียเข้าระบบอีกครั้ง ส่วนฟอสฟอรัสมากมายที่มีอยู่ในสัดตั้งเคมีจะถูกถ่ายทิ้งออกจากระบบบำบัดเพื่อนำไปสู่ระบบจัดการสัดตั้งเคมีต่อไป เวลาเก็บกักของถังขาดอากาศควรมีประมาณ 8-14 ชั่วโมง เพื่อให้มีเวลาเพียงพอให้กับการคายฟอสฟอรัสออกจากสัดตั้งให้ได้มากที่สุด อัตราไหลของสัดตั้งเข้าระบบถังขาดอากาศจะมีประมาณร้อยละ 15 ของอัตราไหลเข้าของน้ำเสียและเพื่อให้ระบบขาดอากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ควรนำน้ำไหลเสริมเข้าถังขาดอากาศ เช่น น้ำเสีย น้ำทิ้งออก น้ำใสไหลกลับ เป็นต้น โดยควรให้มีอัตราไหลเวียนเข้าถังขาดอากาศประมาณร้อยละ 50-100 ของน้ำไหลเบื้องต้น ค่าคุณภาพน้ำทิ้งออกของระบบบำบัดนี้จะมีฟอสฟอรัสของน้ำทิ้งออกเหลือต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ในการกำจัดฟอสฟอรัสด้วยระบบบำบัดนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณ BOD_5 เข้าระบบน้อยกว่าระบบกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพอื่นๆ

แต่ระบบบำบัดนี้ต้องการสารเคมีในการบำบัดน้ำเสียจึงเกิดสลัดจ์ที่มีปริมาณมากกว่าระบบบำบัดทางชีวภาพอื่นๆ

4) กระบวนการเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor: SBR)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ถังเดิมอากาศเพียงถังเดียว โดยมีลำดับของปฏิกิริยาชีวเคมีคือสถานะแอน็อกซิก ตามด้วยสถานะแอโรบิก หลักการกำจัดฟอสฟอรัสในระบบเอสบีอาร์ก็เหมือนกับของระบบ A/O ระบบเอสบีอาร์สำหรับกำจัดฟอสฟอรัสจะมีลำดับปฏิกิริยา จากลำดับขั้นตอนมีสถานะแอน็อกซิก (Anoxic) และตามด้วยสถานะแอโรบิก (Aerobic) คือมีการคายฟอสฟอรัสของจุลินทรีย์ตามด้วยการจับใช้ฟอสฟอรัสของจุลินทรีย์ตามลำดับ พบว่าคุณภาพน้ำทิ้งออกมีฟอสฟอรัสน้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ระบบบำบัดนี้มีขั้นตอนบำบัดน้ำเสียที่ไม่ยุ่งยากคือมีช่วงเติมช่วงปฏิกิริยาแอน็อกซิก ช่วงปฏิกิริยาแอโรบิก ช่วงตกตะกอนและช่วงปล่อยน้ำทิ้งออก โดยใช้เครื่องควบคุมเวลาทำงานหรือเครื่อง microprocessor ควบคุมการทำงานของระบบนี้ โดยปกติระบบบำบัดนี้จะใช้รอบเวลาทำงานหนึ่งรอบประมาณ 3-24 ชั่วโมง

5) กระบวนการ OWASA (OWASA Process)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีชื่อว่า "OWASA Nitrification Process" เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่พัฒนามาจากระบบโปรยกรองปกติที่นิยมใช้กันอยู่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบกระบวนการ OWASA มีกระบวนการบำบัด โดยมีระบบโปรยกรอง ถังเดิมอากาศ 1 และ 2 ถังขาดอากาศ และถังเดิมอากาศ 3 วางเรียงอนุกรมกัน โดยมีถังหมักและถังแอนแอโรบิกด้วย หลักสำคัญของกระบวนการนี้ประกอบด้วยถังหมักสลัดจ์ขั้นต้น จากนั้นนำสลัดจ์หมักมารวมกับสลัดจ์ไหลเวียนกลับในถังแอนแอโรบิก ซึ่งน้ำในสลัดจ์จากถังหมักจะมีกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA) ค่อนข้างมาก โดยส่วนมากจะเป็นพวก VFA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น Acetic, Propionic เป็นต้น สลัดจ์จากถังหมักจะมารวมกับสลัดจ์ไหลเวียนกลับทำให้ได้จุลินทรีย์ที่สามารถคายฟอสฟอรัสได้มาก เนื่องจากมี BOD₅ จากสลัดจ์ขั้นต้นมาเพิ่มคาร์บอนให้ ซึ่งทำให้ระบบนี้ไม่ต้องขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำเสียเข้ามากนัก ข้อดีของระบบนี้คือสามารถรับน้ำเสียที่มี BOD₅ ต่ำๆ ได้ โดยยังสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้มากเหมือนกับระบบกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพอื่นๆ ระบบนี้สามารถกำจัดน้ำเสียที่มีปริมาณฟอสฟอรัสเข้าระบบ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยหลังการบำบัดน้ำออกจากระบบมีปริมาณฟอสฟอรัสเหลือ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.4 บึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2549)

ระบบบึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบอาศัยธรรมชาติที่กำลังได้รับการพัฒนาใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากการก่อสร้างและออกแบบไม่ซับซ้อนอีกทั้งการดูแลระบบไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีมากนัก และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อย นอกจากนี้ระบบบึงประดิษฐ์ยังเป็นระบบที่ได้รับการยอมรับว่าเข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดี เพราะเป็นการใช้ธรรมชาติของ ดิน ต้นไม้ น้ำ และ จุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสีย

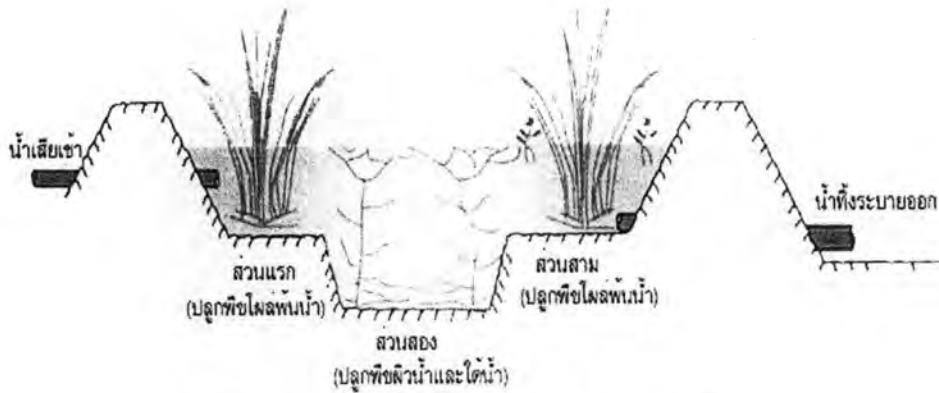
บึงประดิษฐ์เป็นการสร้างเลียนแบบธรรมชาติถูกสร้างขึ้นโดยมีคันขอบดินสูงประมาณ 1 เมตร โดยพื้นที่กันบึงปรับให้ได้ระดับเสมอกันเพื่อขังน้ำ พื้นดินควรมีคุณสมบัติที่ให้พืชน้ำขังเกาะได้ดี เมื่อก่อสร้างงานดินเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงนำพืชน้ำมาปลูก ซึ่งจะมีทั้งพืชที่มีรากเกาะดิน เช่น รูปฤาษี บัว กก อ้อ ฯลฯ พืชที่ลอยอยู่บนผิวน้ำเช่น จอก แหน ผักตบชวา และพืชที่ลอยอยู่ในน้ำเช่น สาหร่าย เป็นต้น

บึงประดิษฐ์ถูกนำมาใช้เป็นระบบในการบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปพบว่าสามารถกำจัดมลสารต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในระบบนี้มลสารถูกกำจัดโดยกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ รวมไปถึงกระบวนการตกตะกอน การดูดซับกับอนุภาคของดิน การนำไปใช้โดยพืชและการเปลี่ยนรูปโดยจุลินทรีย์ ข้อดีของระบบบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสีย คือค่าก่อสร้าง โดยเฉพาะค่าบำรุงรักษาต่ำ ใช้พลังงานน้อย ใช้เทคโนโลยีน้อย ไม่จำเป็นต้องใช้บุคลากรผู้ชำนาญงานในการดำเนินการและการเดินระบบ ระบบมีความยืดหยุ่นสูงเมื่อถูกกระทบกระเทือนจากการเปลี่ยนแปลงของภาวะบรรทุกต่างๆ สามารถควบคุมสิ่งแวดล้อมต่างๆ ของบึงได้ ระบบผูกพันกับสิ่งแวดล้อมอย่างมากและการทดลองใช้กับพืชที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ เช่นสามารถนำพืชที่ปลูกในระบบออกจำหน่ายในท้องตลาดได้ ระบบบึงประดิษฐ์ออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.4.1 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน (Free Water Surface System: FWS)

บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดินนี้ประกอบไปด้วย บ่อดินที่น้ำไหลซึมลงดินได้น้อย จะมีอยู่หลายบ่อวางเรียงขนานกันมีระดับความลึกประมาณ 10–60 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ใน การปล่อยน้ำเสียเข้าระบบควรปล่อยให้ไหลลงอย่างช้าๆผ่านก้านลำต้นพืชและรากพืชต่างๆ ซึ่งเป็นขั้นตอนหลักที่ทำการบำบัดน้ำเสียของระบบนี้ การเติมอากาศในระบบมาจากพืช ลมพัด และการสังเคราะห์แสง ระบบนี้เหมาะสมกับน้ำเสียที่ค่าภาระบีโอดีปานกลาง ซึ่งไม่ควรเกิน 6 กรัมของ บีโอดี/(ตารางเมตร-วัน) ควรมีเวลาเก็บกักประมาณ 4–15 วัน และมีค่าภาระชลศาสตร์เท่ากับ 0.01 – 0.05 ลูกบาศก์เมตร/(ตารางเมตร-วัน) (เกรียงศักดิ์, 2539)

การออกแบบโดยทั่วไปประกอบด้วย บึงที่มีความกว้าง 3-5 เมตร และยาวมากกว่า 100 เมตร การบำบัดน้ำเสียจะเป็นไปในลักษณะตามยาว ปลูกด้วยพืชที่มีรากเกาะดิน มีส่วนที่ไหลพื้นผิวน้ำ การบำบัดน้ำเสียเกิดจากส่วนของต้นพืชที่จมอยู่ในน้ำและซากพืชที่ทับถมที่ผิวหน้าดิน ช่วยให้จุลินทรีย์มาจับและเจริญเติบโต แต่ส่วนสำคัญที่สุดควรคำนึงถึงก็คือ น้ำเสียอาจจะรั่วออกจากทางน้ำ เพราะพื้นดินด้านล่างไม่ได้ปูด้วยวัสดุกันซึม



รูปที่ 2.10 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน

ที่มา: Vymazal (1998)

2.4.2 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (Subsurface System, SFS)

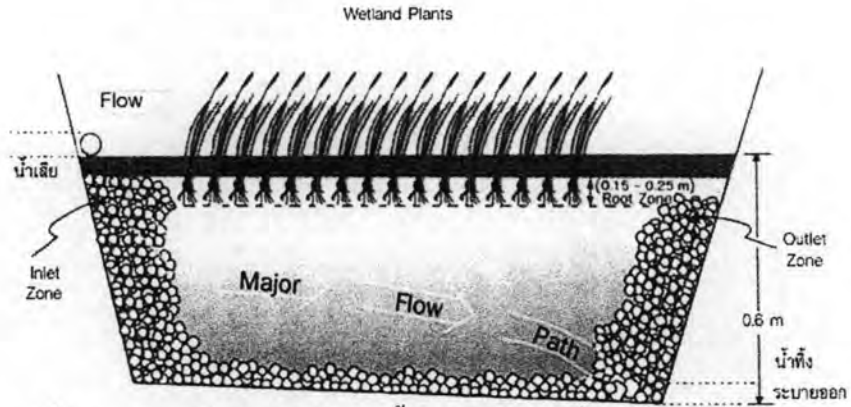
บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินนี้จะบรรจุชั้นตัวกลางเพื่อให้รากพืชยึดเกาะชั้นตัวกลางที่ใช้ได้แก่ หินบด กรวด ทราย และดิน มีความหนาของชั้นตัวกลางประมาณ 60 – 70 เซนติเมตร ด้านล่างลาดด้วยดินเหนียว วัสดุกันซึมอื่นๆ หรือปูด้วยแผ่น โพลีเอทิลีน เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำรั่วซึมไปปนเปื้อนน้ำใต้ดิน ส่วนก้นบึงให้มีความลาดชันประมาณร้อยละ 1 เพื่อให้ น้ำไหลลงโดยไม่มี การกักขังเกิดขึ้น และในบริเวณท้ายน้ำจะมีท่อเพื่อทำหน้าที่รวบรวมและรับน้ำออกจากระบบ น้ำเสียจะถูกบำบัดเมื่อไหลผ่านตัวกลางในสภาพไร้ออกซิเจน และไหลผ่านรากของพืชน้ำที่ปลูกในระบบนี้อาศัย การเติมอากาศด้วยรากพืชเป็นหลัก ซึ่งออกซิเจนจากรากพืชจะช่วยในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ตามรากพืช ช่วยในการบำบัดน้ำเสีย (เกรียงศักดิ์, 2539)

ซึ่งบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ

2.4.2.1 การไหลตามแนวนอน

การออกแบบโดยทั่วไปประกอบด้วยแปลงที่ปลูกด้วยต้นพืชไหลพื้นน้ำ และปูด้านล่างด้วย วัสดุกันซึม เพื่อป้องกันการรั่วซึมไปปนเปื้อนน้ำใต้ดิน ตัวกลางที่ใช้ในระบบอาจเป็นดิน กรวด หรือ

ทราย มีการไหลในแนวนอนจากจุดน้ำเข้าผ่านชั้นตัวกลางและไหลออกที่จุดน้ำออก ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ในช่วงที่น้ำเสียไหลผ่านชั้นรากพืชจะเกิดการบำบัดมลสารให้ลดน้อยลงได้

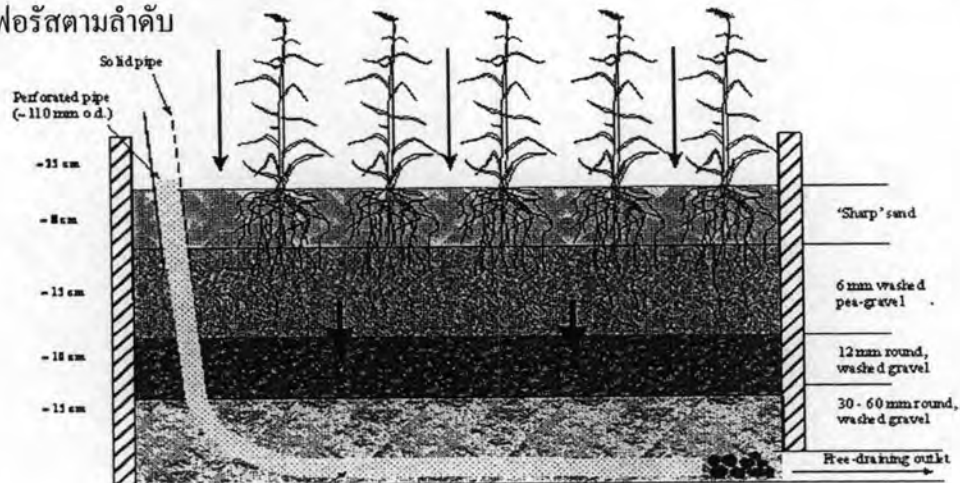


รูปที่ 2.11 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินที่มีการไหลในแนวนอน
ที่มา: Vymazal (1998)

2.4.2.2 การไหลตามแนวตั้ง

การออกแบบประกอบไปด้วย แปลงบึงประดิษฐ์ที่ปลูกด้วยต้นพืชโผล่พ้นน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 การไหลซึมลงชั้นตัวกลางและการให้น้ำแบบครั้งคราว จะช่วยเพิ่มออกซิเจนให้แก่ดินได้มากกว่าการไหลตามแนวนอนหลายเท่า ในช่วงการให้น้ำเข้าระบบ อากาศจะเติมเข้ามายังช่องว่างในดิน จึงเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้แก่ดิน ยิ่งไปกว่านั้นการแพร่ของออกซิเจนผ่านดินเพิ่มให้ดีขึ้นได้ในช่วงหยุดการให้น้ำ

การออกแบบและการเดินระบบ เป็นการจัดให้เกิดสภาพมีอากาศ และไม่มีอากาศเกิดขึ้นสลับกันเพื่อกระตุ้นให้เกิด ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) และการดูดซับฟอสฟอรัสตามลำดับ



รูปที่ 2.12 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินที่มีการไหลตามแนวตั้ง
(Vymazal, 1998)

ปัจจุบันได้มีการศึกษาพัฒนาระบบบึงประดิษฐ์ให้มีความก้าวหน้า และมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จึงเกิดระบบใหม่ที่เรียกว่า “บึงประดิษฐ์แบบผสมผสาน” ซึ่งมีขีดความสามารถสูงกว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้แบบน้ำไหลได้ผิวดินในแนวนอน หรือแนวตั้งเพียงอย่างเดียว

2.4.3 บึงประดิษฐ์แบบผสมผสาน

บึงประดิษฐ์แบบผสมผสานนี้ เป็นระบบบึงประดิษฐ์ที่รวมเอาบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินในแนวนอนและแนวตั้งเข้าด้วยกัน

จากการศึกษามากกว่า 13 ปี ในยุโรปแสดงให้เห็นว่า ระบบการไหลในแนวนอนสามารถกำจัดบีโอดีและสารแขวนลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ไม่สามารถถ่ายเทออกซิเจนได้ในอัตราที่เพียงพอต่อการเกิดไนตริฟิเคชันได้โดยสมบูรณ์ ส่วนระบบการไหลในแนวตั้งได้ถูกพัฒนามากกว่า 11 ปี เพื่อแก้ไขข้อจำกัดที่เกิดขึ้นกับการไหลในแนวนอน ในการออกแบบสามารถออกซิไดซ์แอมโมเนียไนโตรเจนได้เป็นอย่างดี และยังกำจัดบีโอดีได้อีกด้วย แต่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยต่ำ ในระบบผสมผสานนี้ ช่วยให้จุดแข็งและจุดอ่อนของการไหลในแนวตั้งและแนวนอนผสมผสานกันจนเกิดความสมดุล ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดบีโอดีแอมโมเนียไนโตรเจน และสารแขวนลอย ถ้าสามารถเกิดไนตริฟิเคชันได้สมบูรณ์ก็มีความเป็นไปได้ที่จะออกแบบเพื่อกำจัดไนเตรทโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งสามารถทำได้โดยระบบการไหลในแนวนอนเพราะปริมาณออกซิเจนถูกกำจัดในระบบนี้จะมีพื้นที่ที่มีสภาพแอน็อกซิกภายในชั้นตัวกลาง ซึ่งสามารถเอื้ออำนวยต่อการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

2.4.4 พืชที่ใช้ในบึงประดิษฐ์

พืชที่ใช้ในระบบบึงประดิษฐ์ส่วนใหญ่เป็นพืชที่ไหลพื้นน้ำ เช่น กระจับปี่ (Cattail: *Typha*) กก (Bulrush: *Scirpus*) อ้อ (Reed: *Phragmites*) และหญ้าทรงกระเทียม (Sedge: *Carex*) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 และ 2.14 ซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของพืช โผล่พ้นน้ำชนิดต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสีย

ชื่อสามัญ (ชื่อวิทยาศาสตร์)	แหล่งที่ พบ	อุณหภูมิ °C		ระดับความเค็ม สูงที่พืชทนได้ (ppt)*	พีเอชที่ เหมาะสม
		ที่ต้องการ (Desirable)	ที่ดำรงอยู่ได้ (Survival)		
ธูปฤาษี (<i>Typha spp.</i>)	ทั่วโลก	10-30	12-24	30	4-10
อ้อ (<i>Phragmites communis spp.</i>)	ทั่วโลก	12-33	10-30	45	2-8
กกกลม (<i>Juncus spp.</i>)	ทั่วโลก	16-26	-	20	5-7.5
กกสามเหลี่ยม (<i>Scirpus spp.</i>)	ทั่วโลก	16-27	-	20	4-9
หญ้าแห้วหมู (<i>Carex spp.</i>)	ทั่วโลก	14-32	-	-	5

หมายเหตุ : * ppt (part per thousand)

ที่มา : (Reed และคณะ, 1988)

รากของพืช โผล่พ้นน้ำนั้นเป็นส่วนที่สำคัญต่อระบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งจะเจริญเติบโตอยู่ภายในชั้นดินที่ระดับต่ำกว่าผิวดิน 50 เซนติเมตร หรือมากกว่า โดยทั่วไปจะสร้างลำต้นและใบให้สัมผัสกับอากาศ และแผ่ขยายรากและระบบรากพืชภายใต้ชั้นดิน



ธูปฤาษี (*Typha spp.*)



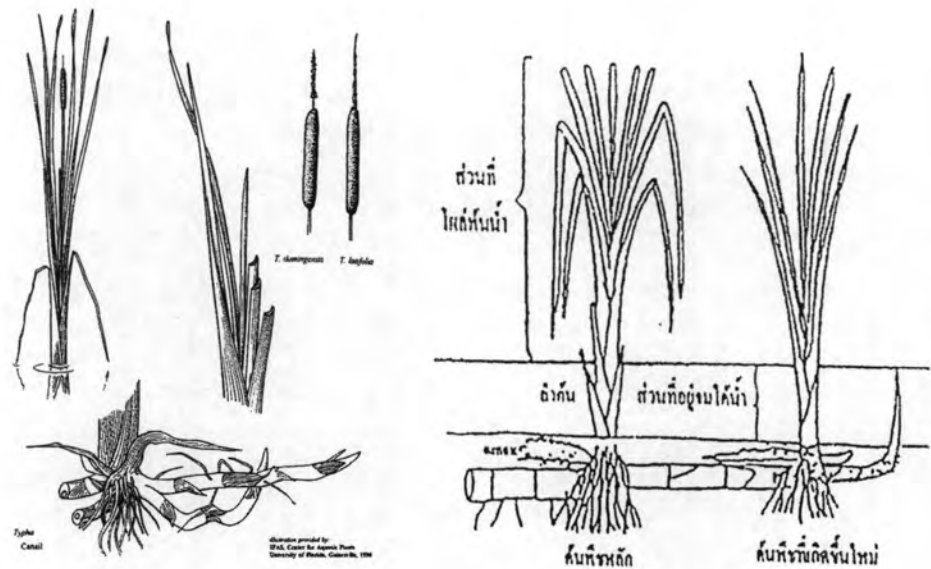
อ้อ (*Phragmites communis spp.*)



กกสามเหลี่ยม (*Scirpus spp.*)

รูปที่ 2.13 พืช โผล่พ้นน้ำ (Emergent Plant)

(Thayalakumaran, 1994)



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบหลักของพืชที่โผล่พ้นน้ำ

(Thayalakumaran, 1994)

ในระบบบึงประดิษฐ์พืชที่โผล่พ้นน้ำมีหน้าที่สำคัญในการบำบัดน้ำเสีย ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ออกซิเจนถูกถ่ายเทผ่านช่องว่างของใบ และลำต้นไปยังรากและระบบรากพืชโดยการแพร่และโดยการไหลพาของอากาศ ออกซิเจนบางส่วนถูกปลดปล่อยจากระบบรากออกสู่ชั้นรากพืชโดยรอบก่อให้เกิดสภาพมีออกซิเจน และช่วยเสริมในการย่อยสลายอินทรีย์สาร รวมถึงการเจริญเติบโตของไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifying Bacteria) อัตราการถ่ายเทออกซิเจนของพืชเหล่านี้ในช่วงประมาณ 5 ถึง 45 กรัมของออกซิเจน/(ตารางเมตร-วัน) ของพื้นที่ผิวของบึงประดิษฐ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพืช และระดับความดันของออกซิเจนในดิน การแพร่และการเคลื่อนผ่านของออกซิเจนจากลำต้น และปล่อยออกจากชั้นรากพืชจะไปเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และเพิ่มอัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน และเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนดูดซับฟอสฟอรัส (Cooper และ Boon, 1987)

ตารางที่ 2.3 หน้าที่ของพืชโผล่พื้นน้ำในการบำบัดน้ำเสียโดยระบบบึงประดิษฐ์

ส่วนประกอบของพืช	หน้าที่ในกระบวนการบำบัด
ส่วนที่อยู่เหนือน้ำ	<ul style="list-style-type: none"> ● ลดความเข้มของแสงเพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของไฟโตแพลงตอน ● ป้องกันอิทธิพลจากสภาพอากาศในฤดูหนาว ● ลดผลกระทบจากลมต่อผิวน้ำ ● ทำให้ระบบมองดูสวยงาม
ส่วนที่อยู่ใต้น้ำ	<ul style="list-style-type: none"> ● สะสมสารอาหาร ● ลดความเร็วกระแสน้ำ เพิ่มอัตราการตกตะกอน ลดการฟุ้งกระจายของตะกอนใต้น้ำ ● เป็นพืชที่ผิวสำหรับการจับตัวของไบโอฟิล์ม ● กรองตะกอนขนาดใหญ่ ● ปลดปล่อยออกซิเจนเพื่อการสังเคราะห์แสง ช่วยเพิ่มการย่อยสลายโดยออกซิเจน
รากและระบบรากพืชในชั้นตะกอนใต้น้ำ	<ul style="list-style-type: none"> ● ดูดซับสารอาหาร ● ทำให้ผิวตะกอนใต้น้ำอยู่ตัวถูกกัดเซาะน้อย ● ป้องกันค้ำกลางอุดตันในระบบการไหลในแนวดิ่ง ● ปลดปล่อยออกซิเจนเพื่อการย่อยสลาย และการเกิดไนตริฟิเคชัน ● ดูดซับสารอาหาร ● ปลดปล่อยแอนติไบโอติก (Antibiotics)

ที่มา : (Brix, 1997)

1) การนำสารอาหารไปใช้โดยพืช

อัตราการกำจัดสารอาหารของพืชน้ำนั้นมีบทบาทสำคัญในการกำจัดสารอาหารในระบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และองค์ประกอบอื่นๆ ในน้ำเสีย เช่น โลหะหนัก สารอินทรีย์ที่กำจัดได้ยาก ฯลฯ ดังแสดงในตารางที่ 2.4 อัตราการนำสารอาหารไปใช้โดยพืชถูกกำจัดโดยขึ้นอยู่กับอัตราการเจริญเติบโตของพืช พืชที่ปลูก ความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อของพืชและลักษณะของตะกอนและน้ำเสีย การนำสารอาหารไปใช้โดยพืชโผล่พื้นน้ำมีปริมาณสูงในพืชที่เพิ่งเริ่มทำการบำบัด หรือมีอายุน้อย (มากกว่า 2.5 กรัมต่อกิโลกรัมของเนื้อเยื่อ) แต่จะน้อยลงเมื่อพืชนั้นใช้งานมานานหรือโตเต็มที่ (Reddy และ Debusk, 1987)

ตารางที่ 2.4 ความเข้มข้นและอัตราการดูดซึมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไปใช้โดยทั่วไปในพืชไร่
พื้นน้ำ

พืชที่ไร่พื้นน้ำ	อัตราการดูดซึมในพืช		สารอาหารในเนื้อเยื่อไม้		มวล/พื้นที่ กก./เฮก แตร์	ผลผลิต ของพืช กก./เฮก แตร์
	ไนโตรเจน กก./เฮก แตร์.ปี)	ฟอสฟอรัส กก./เฮกแตร์. ปี)	ไนโตรเจน ก./กก.	ฟอสฟอรัส ก./กก.		
ธูปฤาษี	600-630	75-403	5-24	0.54	4.3-22.5	8-61
กกสามเหลี่ยม	125	18	8-27	1-3	-	-
อ้อ	225	35	18-21	2-3	6-35	10-60

ที่มา : (Reddy และ Debusk, 1987)

2) การสูญเสียจากการคายระเหย

การคายระเหยเป็นการรวมกันของการระเหยจากพื้นผิวน้ำและน้ำที่สูญเสียจากพืชไร่พื้นน้ำเอง (Kadlec, 1987) การคายระเหยขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ควบคุม เช่น แสงแดด ลม ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศ (Hammer และ Kadlec, 1983) น้ำที่สูญเสียจากการระเหยในฤดูร้อน จะทำให้ปริมาณน้ำในน้ำเสียที่อยู่ในบึงประดิษฐ์ลดลง และทำให้ความเข้มข้นของสารที่ปนเปื้อนที่ยังคงอยู่ในน้ำนั้นมีค่าสูงขึ้น ทำให้เวลากักเก็บน้ำเพิ่มขึ้นซึ่งอาจจะเกิดสถานะขาดออกซิเจนขึ้นได้ (Reed และคณะ, 1988) ในการแก้ปัญหาการสูญเสียจากการคายระเหยแต่ยังคงให้ได้อัตราการไหลตามค่าที่ออกแบบไว้ควรจะนำน้ำที่ออกจากระบบบางส่วนกลับเข้ามาใหม่ในฤดูแล้งที่มีการสูญเสียน้ำเป็นปริมาณมาก (Tchobanoglous และคณะ, 2004)

3) การถ่ายเทออกซิเจน

พืชที่ไร่พื้นน้ำ เช่น กก ธูปฤาษี กกสามเหลี่ยม และต้นอ้อ สามารถดูดซึม ออกซิเจนจากบรรยากาศผ่านและลำต้นที่อยู่เหนือน้ำไหลลงสู่รากได้ ออกซิเจนจะถูกปลดปล่อยออกจากรากและสร้างชั้นที่มีออกซิเจน ดังนั้น ในโซนของดินจะมีสถานะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจนอยู่ พืชไร่พื้นน้ำสามารถถ่ายเทออกซิเจนได้ในช่วง 5 ถึง 45 กรัมของออกซิเจน/(ตารางเมตร-วัน) ของพื้นที่ผิวของบึงประดิษฐ์ได้ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพืชและระดับออกซิเจนที่มีอยู่ในดิน (Cooper และ Boon, 1987)

2.4.5 ดิน

สารอาหารที่ต้องการสำหรับการเจริญเติบโตของพืชส่วนใหญ่จะได้รับมาจากดินยกเว้นคาร์บอน ดินในธรรมชาติที่ธาตุอาหารจะมีลักษณะเป็นโคลนแต่ส่วนใหญ่แล้วพืชจะเจริญเติบโตในตัวยาง (Media) ที่แตกต่างกัน ช่องว่างในดินหรือตัวยางชนิดอื่นจะใช้เป็นช่องทางน้ำไหลแก่ระบบน้ำใต้ดินที่มีการไหลลงสู่เบื้องล่างซึ่งจะมีการบำบัดโดยจุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่ที่รากพืชและดินที่อยู่บริเวณโดยรอบ

ดินอาจจะถูกใช้ให้เป็นพื้นที่ของตัวยางเมื่อต้องการที่จะกำจัดฟอสฟอรัส เนื่องจากการกำจัดฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่ชั้นดินแต่อย่างไรก็ตามดินที่มีศักยภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสได้สูงจะต้องเป็นดินที่มีเนื้อละเอียดและน้ำสามารถซึมผ่านได้ต่ำถึงปานกลางซึ่งอาจจะเป็นตัวจำกัดความจุทางศาสตร์ของดินพื้นส่วนล่างในระบบบึงประดิษฐ์ได้

2.4.6 จุลินทรีย์

ในระบบบึงประดิษฐ์จะพบจุลินทรีย์หลายชนิดที่เป็นประโยชน์เช่นแบคทีเรียโปรโตซัว รา จนถึงสัตว์พวกที่มีกระดูกสันหลัง ในกรณีของพืชโคล์พื้นน้ำในระบบน้ำไหลได้ผิวดิน จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ในส่วนของพืชที่จมอยู่ในน้ำ (รากและต้นที่จมอยู่ในน้ำ) ในชั้นตะกอนที่อยู่ด้านล่างและบนผิวดินตัวยาง (Thayalakumaran, 1994) สิ่งมีชีวิตทั้งพวกที่มีกระดูกสันหลังและไม่มีกระดูกสันหลังมีส่วนสำคัญในการถ่ายเทพลังงาน สารอาหาร และยังช่วยจัดระเบียบห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศน์ของบึงประดิษฐ์อีกด้วย (Roger และคณะ, 1985)

2.4.7 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลได้ผิวดิน

โดยทั่วไปแล้วบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำได้ผิวดินในแนวนอนจะประกอบไปด้วยร่องยาว หรือบ่อที่ปูพื้นข้างล่างด้วยวัสดุที่น้ำไม่สามารถผ่านได้ เพื่อป้องกันการรั่วซึม และภายในบรรจุตัวยางซึ่งให้พืช โคล์พื้นน้ำยึดเกาะและเจริญเติบโต ตัวยางที่ใช้จะมีหินหรือหินบดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 – 15 เซนติเมตร กรวดและดินประเภทต่างๆ ซึ่งภายในบ่ออาจจะบรรจุตัวยางชนิดเดียวหรือบรรจุตัวยางหลายชนิดรวมกัน

น้ำเสียจะไหลผ่านตัวยางและถูกบำบัดในระหว่างที่สัมผัสกับพื้นผิวของตัวยางและชั้นรากของพืชในพื้นที่ผิวดินตัวยางจะมีสถานะที่อึดอัดตลอดเวลาซึ่งจะเกิดสภาพขาดออกซิเจน อย่างไรก็ตาม

ตามพีชสามารถนำเอาออกซิเจนเข้าสู่ระบบรากได้ ดังนั้นจะมีสถานะใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ที่อยู่ในบริเวณใกล้ๆรากพีชด้วย

1) การพิจารณาทางชลศาสตร์

ในสภาพที่ตื้นและเต็มไปด้วยสถานะที่อึดตัวของน้ำในร่องซึ่งไม่มีการรั่วซึมข้างล่าง อัตราการเปลี่ยนแปลงไฮโดรลิกต่อหนึ่งหน่วยความยาว จะถูกสมมุติให้เป็นความลาดชันของพื้นบ่อ ซึ่งสามารถหาอัตราการไหลได้ตามสมการที่ (2.7) (Reed และคณะ, 1988)

$$Q = K_s * A * S \quad (2.7)$$

เมื่อ	Q	=	อัตราการไหล
	K _s	=	สภาพนำทางชลศาสตร์ (Hydraulic Conductivity) ของพื้นที่ 1 หน่วยที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล (ม ³ /ม ² .วัน)
	A	=	พื้นที่ฉากกับทิศทางการไหล (ม. ²)
	S	=	อัตราการเปลี่ยนแปลงของไฮโดรลิกต่อหนึ่งหน่วยความยาว
		=	$\Delta h / \Delta L$

และสามารถหาพื้นที่หน้าตัดที่สถานะอึดตัวของน้ำจากสมการ (3.8) ได้เป็น

$$ac = \frac{Q}{K_s * S} \quad (2.8)$$

$$S = \frac{8.6}{K_s} \quad (2.9)$$

เมื่อ	ac	=	พื้นที่หน้าตัดของบ่อตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำ (ม. ²) และมีค่าเท่ากับ $d_1 \times w_1$
	d ₁	=	ความลึกของน้ำในบ่อ (ม.)
	w ₁	=	ความกว้างของบ่อ (ม.)
	K _s	=	สภาพทางชลศาสตร์ของตัวกลาง (อาจดูได้จากตารางที่ 2.5)

และเมื่อต้องการคำนวณหาเวลาเก็บกักและพื้นที่ผิวของบึงประดิษฐ์สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.10) และ (3.11)

$$t = \frac{L * W * Y * n}{Q} \quad (2.10)$$

$$A_s = L * W \quad (2.11)$$

- เมื่อ
- t = เวลาเก็บกัก, วัน
 - L = ความยาวของบ่อ, ม.
 - W = ความกว้างของบ่อ, ม.
 - A_s = พื้นที่ผิวของบ่อ, ม²
 - Q = อัตราไหลเฉลี่ยของระบบ ((Q_{เข้า} + Q_{ออก})/2), ม.³/วัน
 - Y = ความลึกของน้ำในบ่อ, ม.
 - n = ค่าความพรุนของตัวกลางในบ่อมีค่าอยู่ระหว่าง 0.25 – 0.45 ขึ้นอยู่กับขนาดของกรวด ดูได้จากตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างคุณสมบัติของตัวกลางในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดิน

ชนิดของตัวกลาง	ขนาดสัมฤทธิ์	ความพรุน	สภาพนำทางชลศาสตร์(K _s) ม. ³ /(ม. ² -วัน)	K ₂₀
ทรายละเอียดปานกลาง	1	0.42	420	1.84
ทรายหยาบ	2	0.39	480	1.35
กรวดทราย	3	0.35	500	0.86

ที่มา : (Tchobanoglous และคณะ, 2004)

เมื่อคำนวณหาเวลาเก็บกัก โดยพิจารณาถึงประสิทธิภาพของการกำจัด บีโอดี จะใช้สมการ (2.12)

$$\frac{BOD_{out}}{BOD_{in}} = e^{-K_T t} \quad (2.12)$$

$$K_T = K_{20}(1.1)^{T-20} \quad (2.13)$$

เมื่อ

- K_T = ค่าคงที่ของปฏิกิริยาลำดับหนึ่งที่สูงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ, ต่อวัน
- T = อุณหภูมิในระบบ, °ซ

เมื่อพิจารณาถึงสภาพนำทางชลศาสตร์ จะใช้สมการ (2.14) คำนวณหา t

$$t = \frac{L}{K_s S} \quad (2.14)$$

อัตราการไหลของน้ำอาจใช้ฝายน้ำต้นในการควบคุมการไหลให้ส่วนกันบ่อมีความลาดของบ่อประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ น้ำไหลลง โดยไม่มีการกักขังเกิดขึ้น ส่วนกันบ่อบริเวณปลายท้ายน้ำของบ่อจะมีท่อค้ำเจาะรูรอบท่อเพื่อรับน้ำที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์ เป็นการหลีกเลี่ยงที่จะรบกวนโครงสร้างของตัวกลาง และชั้นรากของพืชและเพื่อให้แน่ใจได้ว่ามีเวลาในการสัมผัสที่เพียงพอสำหรับการบำบัด ค่าความเร็วของการไหลของน้ำผ่านระบบไม่ควรเกิน 8.6 เมตร/วัน ในการออกแบบความลึกของบ่อ ควรจะเลือกให้สอดคล้องกับชนิดของพืชในระบบซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าเสนอแนะในการออกแบบความลึกสำหรับระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน

ชนิดของพืช	ความลึกของบ่อ, ซม.
กกสามเหลี่ยม	76
อ้อ	60
ธูปฤาษี	30

ที่มา : (Reed และคณะ, 1988)

ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ มีขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้

- 1) พิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่ที่จะเลือกใช้เพื่อการบำบัดน้ำเสีย
- 2) ศึกษาว่าควรจะมีระบบบำบัดน้ำเสียขั้นแรกและหรือขั้นที่สองก่อนที่จะนำเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์
- 3) ทำการเลือกชนิดของพืชที่จะปลูกในบึงประดิษฐ์
- 4) ศึกษาหาค่าการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์
- 5) ทำการศึกษาระบบควบคุมแมลงต่างๆ ในบึงประดิษฐ์
- 6) ออกแบบรายละเอียดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์
- 7) พิจารณาถึงการติดตั้งสถานีตรวจสอบประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียแบบประดิษฐ์

2) ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์

ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ไม่ได้เป็นตัวแปรที่กำหนดค่าวิกฤตในการออกแบบระบบบึงประดิษฐ์ แต่เป็นตัวตรวจสอบให้แน่ใจว่าได้ผิวดินมีออกซิเจนพอเพียง โดยทั่วไปแล้วพืชโคล์พื้นน้ำสามารถส่งผ่านออกซิเจนได้ในช่วง 5 – 45 กรัมของออกซิเจน/(เมตร-วัน) ของพื้นที่ผิบบึงประดิษฐ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพของออกซิเจนในบริเวณราก แต่สามารถสมมุติได้ว่าออกซิเจนที่ต้องการมีค่าเป็น 1- 15 เท่าของภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ เป็นค่าสมมุติที่เหมาะสมซึ่งจะป้องกันอัตราการเกิดออกซิเจนสำหรับพืช ไม่ให้มากกว่า 20 ก. ของ O_2 /(ตารางเมตร - วัน)

อย่างไรก็ตามมีการอ้างถึงการออกแบบระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินในแนวตั้งที่มีการส่งผ่านน้ำเสียเป็นช่วงๆว่าไม่เหมาะสมกับการใช้กับสมการการออกแบบระบบประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินในแนวนอนเพราะมีการส่งผ่านออกซิเจนจากรากพืชน้อยมาก แต่พื้นที่หาได้จากสมการสามารถช่วยในการประมาณพื้นที่ที่ต้องการใช้ได้จริง โดยพิจารณาการออกแบบดังกล่าวแนะนำที่ใช้ในการออกแบบระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินในแนวตั้ง (โสมนัส สมประเสริฐ, 2545) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ค่าแนะนำที่ใช้ในการออกแบบระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินในแนวตั้ง

พารามิเตอร์ที่ให้ออกแบบ	หน่วย	ระบบบึงประดิษฐ์
- เวลาเก็บกัก (HRT)	วัน	4-15
- ระดับน้ำ	ม.	0.3-0.8
- อัตราภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์	กก./ (เฮกแตร์-วัน)	<68
- อัตราภาวะชลศาสตร์	ม. ³ / (ม. ² - วัน)	0.014-0.047
- พื้นที่ผิบบึง	เฮกแตร์ / (10 ³ /ม. ³ - วัน)	2.14-7.16

ที่มา : (Tchobanoglous และคณะ, 2004)

3) โครงสร้างของระบบ

โดยส่วนใหญ่โครงสร้างของระบบน้ำไหลได้ผิวดิน มีลักษณะและรายละเอียดต่างๆ เช่น ความลึกของน้ำและตัวกลาง ชนิดของตัวกลาง ความลาดชันของความลึก ระดับของการบำบัดในชั้นดิน และชนิดของพืช ในอดีตระบบน้ำไหลได้ผิวดินส่วนใหญ่มีอัตราส่วนของความยาวต่อความกว้าง เป็น 10:1 หรือมากกว่า ในระบบน้ำไหลได้ผิวดินจะมีความลึกของตัวกลางประมาณ 0.3 – 0.76 เมตร และใช้ทราย กรวด หิน เป็นตัวกลาง พื้นที่ส่วนล่างมีความลาดชัน 0 – 1% ระดับน้ำ

ควรจะต่ำกว่าพื้นผิวบนของตัวกลาง และสามารถควบคุมระดับน้ำได้ดีที่ทางออก (Reed และ Brown, 1992)

4) การบำบัดขั้นต้น

น้ำเสียที่เข้าระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินอย่างน้อยควรผ่านการบำบัดขั้นต้นมาก่อนแล้ว ซึ่งอาจจะผ่านบ่อเกรอะ ถังตกตะกอน การบำบัดขั้นต้นแบบธรรมดา หรือถังปฏิกรณ์ไม่ใช้อากาศขั้นต้น ซึ่งจะมีประโยชน์ในการลดสารอินทรีย์ และจำนวนสารแขวนลอยในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้

2.5 กลไกการบำบัดน้ำเสียโดยบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลในแนวตั้ง

จากการศึกษาโดยส่วนใหญ่ได้ชี้ให้เห็นว่า บึงประดิษฐ์สามารถกำจัดบีโอดี สารแขวนลอย สารอาหาร โลหะหนัก และเชื้อโรค จากน้ำเสียหลากหลายชนิดได้ในปริมาณสูง กลไกการบำบัดประกอบไปด้วย การตกตะกอน การทำงานของจุลินทรีย์ การดูดซับ การย่อยสลายทางเคมีและการดูดซับของดิน (Roger และคณะ, 1985)

2.5.1 การกำจัดบีโอดี

สารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักมากจะถูกกำจัดอย่างรวดเร็วในสภาพที่สงบนิ่ง โดยกระบวนการตกตะกอนและการกรอง สารประกอบอินทรีย์จะถูกย่อยสลายทั้งในสภาพที่มีอากาศและสภาพที่ไม่มีอากาศ ออกซิเจนสำหรับการย่อยสลายในสภาพที่มีอากาศ มาจากกระบวนการแพร่ (Diffusion), กลไกการพาก๊าซ (Convection) และการรั่วไหลของออกซิเจนจากระบบรากพืช ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจนในชั้นตัวกลาง สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายทางชีวภาพเป็นหลัก ส่วนการใช้สารอาหารโดยพืชสามารถมองข้ามไปได้ (Korkusuz และคณะ, 2005)

2.5.2 การกำจัดสารแขวนลอย

สารแขวนลอยถูกกำจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพในระบบบึงประดิษฐ์ เนื่องจากเวลาเก็บกัก (HRT) ที่ยาวนาน และมีสภาพที่สงบนิ่ง การตกตะกอนโดยส่วนใหญ่ของของแข็งเกิดขึ้นภายใน 2 - 3 ม. แรกจากทางน้ำเข้า (Reed และคณะ, 1988) ยิ่งไปกว่านั้นต้นพืชมีแนวโน้มที่จะทำให้

ความเร็วของน้ำเสียที่เข้ามาต่ำลง และช่วยกระจายน้ำเข้าไปทั่วทั้งระบบ ซึ่งช่วยเสริมการตกตะกอนให้ดียิ่งขึ้น (Gray, 1989) พวกคอลลอยด์และของแข็งที่ไม่ตกตะกอนถูกกำจัดอย่างน้อยส่วนหนึ่งโดยการจับติดกับแบคทีเรีย การชนกัน การไหลไปรวมกัน และการติดติดกับวัสดุอื่นๆ เช่น ลำต้นพืช ด้านข้างและก้นร่องดิน (Kessomboon, 1990) การกำจัดสารแขวนลอย และการย่อยสลายมวลสารเป็นผลให้เกิดชั้นของตะกอน (Sludge Layer) สะสมในร่อง (Hammer และ Kadlec, 1983) การเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอย ทำได้โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น, ลดความเร็วของน้ำ และเพิ่มการตกตะกอนและการกรองในระบบบราก (Korkusuz และคณะ, 2005)

2.5.3 การกำจัดไนโตรเจน

ปกติไนโตรเจนในน้ำเสียจะอยู่ในรูปสารอินทรีย์ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของวัฏจักรไนโตรเจน ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนโดยเฉพาะแอมโมเนียสามารถแสดงถึงความต้องการออกซิเจนของกระบวนการไนตริฟิเคชันและยังเป็นสาเหตุให้เกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต (Korkusuz และคณะ, 2005)

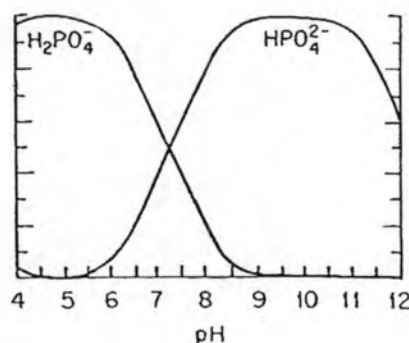
การกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียในระบบบึงประดิษฐ์เกิดขึ้นจากกลไกการนำไนโตรเจนไปใช้โดยพืชและการเก็บเกี่ยวภายหลัง การระเหยของแอมโมเนีย การดูดซับแอมโมเนีย กระบวนการไนตริฟิเคชัน และกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Roger และคณะ, 1985) กลไกหลักในการกำจัดไนโตรเจนคือ กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) (Korkusuz และคณะ, 2005) การบำบัดไนโตรเจนโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับ อัตราการระขลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate) กลไกสำคัญในการบำบัดไนโตรเจนขึ้นอยู่กับรูปแบบของไนโตรเจนที่อยู่ในน้ำเสียนั้นๆ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงปริมาณคาร์บอน อุณหภูมิ ตลอดจนอัตราและระยะเวลาในการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด

2.5.4 การกำจัดฟอสฟอรัส

ระบบบึงประดิษฐ์สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ปกติในระบบนิเวศน์ มีความต้องการสารอาหารในสัดส่วน โมลาร์ของ C:N:P คือ 106:16:1 หรือ 41:7:1 (โดยมวล) การเพิ่มขึ้นของน้ำเสียจะทำให้เกิดความไม่สมดุลย์ของสารอาหาร ฟอสฟอรัสในบึงประดิษฐ์มักอยู่ในรูปสารละลาย แร่ธาตุฟอสฟอรัสและอินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปของแข็ง ในสารละลายการแตกตัวของตระกูลอนินทรีย์จะขึ้นอยู่กับค่าพีเอช (Kadlec และ Knight, 1996) แสดงดังนี้



รูปแบบเหล่านี้กระจายอยู่ในน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การกระจายของตระกูลอนินทรีย์ฟอสเฟตที่สำคัญในน้ำที่อุณหภูมิ 25°C

(Kadlec และ Knight, 1996)

วงจรของฟอสเฟตในบึงประดิษฐ์ค่อนข้างซับซ้อน และมีฟอสเฟตอยู่หลายรูป การใช้สารอาหารโดยพืชไม่ควรนำมาใช้วัดอัตราการกำจัดฟอสเฟตในระบบ เนื่องจากฟอสเฟตที่สะสมในพืชจะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ในกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ การสะสมของฟอสเฟตระยะยาวเป็นผลมาจากการสะสมของซากพืชและสิ่งมีชีวิตเล็กๆ รวมทั้งการทับถมของฟอสเฟตที่อยู่ในสารประกอบที่ย่อยสลายยาก (ศุวศา, 2544)

ในระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลได้ผิวดิน กลไกหลักในการกำจัดฟอสเฟตคือ การดูดซับ (Adsorption) การทำให้เป็นสารประกอบ (Complexation) การตกตะกอน (Sedimentation) และการย่อยสลายทางชีวภาพ (Korkusuz และคณะ, 2005) การกำจัดฟอสเฟต เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีกับตัวกลาง ซึ่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การใช้โดยพืช และการรวมตัวของมวลจุลินทรีย์ ตามลำดับ (Zoubolis และ Prochaska, 2006)

การกำจัดฟอสฟอรัสในระบบบึงประดิษฐ์ที่การไหลในแนวตั้งจะค่อนข้างต่ำ มีค่าประมาณร้อยละ 20-30 ถ้าต้องการให้มีการกำจัดได้สูงขึ้นให้ทำการตกตะกอนทางเคมีในถังตกตะกอนก่อน โดยการเติม Aluminium Polychloride เล็กน้อยในถังตกตะกอน (Brix และ Arias, 2005)

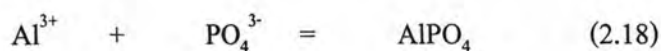
ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสามารถทำให้สูงขึ้นโดยใช้ By-product จากอุตสาหกรรม และวัสดุทางธรรมชาติ เช่น หินปูน (Limestone) กรวด (Gravel) แร่วูลลาสโตไนท์ (Wollastonite) ของเสียจากการทำเหมืองแร่ และทราย ที่มีความเข้มข้นของแคลเซียม (calcium) อะลูมิเนียม (Aluminum) และเหล็ก (Iron) อยู่สูง ส่วนของพีชและจุลินทรีย์ ที่ตายลงจะทำให้ปริมาณของฟอสฟอรัสในระบบเพิ่มขึ้นได้ (Korkusuz และคณะ, 2005) การรวมตัวกันของแคลเซียมกับฟอสเฟตเป็นกลไกหลักในการกำจัดฟอสฟอรัส (Korkusuz และคณะ, 2007) แคลเซียมอยู่ในรูป $Ca_3(PO_4)_2$ ในสภาวะปกติ ($7 < pH < 14$) องค์ประกอบของตัวกลางที่เป็นแคลเซียมมีความสำคัญมากต่อการกำจัดฟอสฟอรัส ซึ่งการดูดซับและการตกตะกอนออร์โธฟอสเฟตไอออนโดยแคลเซียมคาร์บอเนต จะเกิดได้ดีที่ค่าพีเอชสูงๆ (Zouboulis และ Prochaska, 2006) ในการดูดซับและการตกตะกอนฟอสฟอรัส จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมกับไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ได้เป็นไตรแคลเซียมฟอสเฟต

2.5.4.1 การดูดซับฟอสฟอรัสและการตกตะกอน

ความสามารถของดินหรือตะกอนที่จะกักเก็บฟอสฟอรัสไว้ ขึ้นอยู่กับการดูดซับและการตกตะกอนในรูปแบบต่างๆ ของเหล็ก อะลูมิเนียม และแคลเซียม (Dunne และคณะ, 2005)

การดูดซับในที่นี้เกี่ยวข้องกับทั้งการดูดติดบนผิวของของแข็ง และการดูดติดผิวที่เปลี่ยนแปลงไปสู่สถานะของแข็งของอะลูมิเนียม และเหล็กออกไซด์ หรือแร่ธาตุอื่นๆ กระบวนการดูดซับจะขึ้นอยู่กับค่าพีเอช และอัตราการเกิดกระบวนการดูดซับจะลดลงตามเวลา โดยทั่วไปในดินอะลูมิเนียม และเหล็กออกไซด์จะอยู่ในรูปที่ไม่ตกผลึก (Amorphous) จะเกิดในสภาพไร้อากาศ และรูปที่ตกผลึก (Crystalline) จะเกิดในสภาพมีอากาศ ในการดูดซับฟอสฟอรัส อะลูมิเนียม และเหล็กออกไซด์ที่ไม่ตกผลึก มักแสดงปฏิกิริยากับพื้นผิวมากกว่ารูปแบบที่ตกผลึก

กระบวนการตกตะกอนเกี่ยวข้องกับการกำจัดฟอสฟอรัสออกจากสารละลาย โดยการรวมตัวกับไอออนบวกของอะลูมิเนียม (สมการที่ 2.18) เหล็ก และแคลเซียม ตกตะกอนเป็นของแข็งรูปแบบใหม่



ฟอสฟอรัสปริมาณน้อย จะถูกดูดซับในระยะเวลาแรก โดยเกิดปฏิกิริยาที่พื้นผิวของแคลไซต์ ตามด้วยการตกตะกอนของแคลเซียมที่มีพันธะกับฟอสฟอรัส พวกไอออนบวก เช่น โซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) และแมกนีเซียม (Mg) จะมีผลต่อการดูดซับของฟอสฟอรัส โดยจะไปเคลื่อนย้ายแคลเซียมให้เป็นอิสระ กระบวนการตกตะกอนของฟอสฟอรัสในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ของแคลเซียมที่มีพันธะกับฟอสฟอรัส เป็นปัจจัยการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของดินและตะกอนในบึง ที่มีค่าพีเอชมากกว่า 7



2.5.4.2 Isotherm ของการดูดซับฟอสฟอรัส

Isotherm ของการดูดซับฟอสฟอรัส มีประโยชน์ในการระบุปริมาณของกระบวนการดูดซับ ฟอสฟอรัส โดยดินและตะกอน ซึ่งมักจะวัดโดยการผสมดินหรือตะกอนที่รู้ปริมาณ กับสารละลายที่ รู้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส แล้วทำให้สมดุลโดยใช้เครื่อง Shaker เติงเครื่อง 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ คงที่ เป็นการพิจารณาถึงปริมาณต่างๆ ของฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับ และที่ถูกค้นพบในสารละลายที่ ความเข้มข้นต่างๆกัน หลังจากปรับสมดุล (Dunne และคณะ, 2005)

Adsorption Isotherm ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ Langmuir, Freundlich และ Tempkin model ซึ่งปกติแล้วจะใช้ Langmuir และ Freundlich model มากที่สุด

Langmuir model มีข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับ Freundlich model คือ สามารถให้ข้อมูล พารามิเตอร์ของการดูดซับฟอสฟอรัสได้มากกว่า ซึ่งค่าการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุด (S_{\max}) และค่า พลังงานพันธะ (K) สามารถหาโดยใช้สมการที่ 3.20

$$C/S = 1/KS_{\max} + C/S_{\max} \quad (2.20)$$

โดยที่ C	คือ	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)
S	คือ	ปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
S_{\max}	คือ	ค่าสูงสุดของการดูดซับฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
K	คือ	ค่าคงที่ สัมพันธ์กับพลังงานพันธะ (ลิตรต่อมิลลิกรัม)

Freundlich model สามารถอธิบายในรูปแบบ Linear ดังสมการที่ 2.21

$$\text{Log } S = \log K + n \log C \quad (2.21)$$

โดยที่	S	คือ	ปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
	K	คือ	ค่าคงที่ของการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
	n	คือ	ค่าคงที่ (ลิตรต่อมิลลิกรัม)
	C	คือ	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

กลไกในการดูดซับ ตะกอนฟอสฟอรัสจะถูกดูดซับ ยึดเกาะบนพื้นผิวและช่องว่างของรูพรุนของตัวดูดซับ เนื่องจากเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลฟอสฟอรัสกับตัวดูดซับที่เป็นชั้นของตัวกลางในระบบ เมื่อพิจารณาแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นได้ 2 ประเภท คือ การดึงดูดทางกายภาพซึ่งจะอาศัยแรงแวนเดอร์วาลส์ การดูดซับทางเคมี แรงดึงดูดจะเกิดจากพันธะเคมี ลักษณะการดูดซับของระบบบึงประดิษฐ์ เกิดแรงดึงดูดทางกายภาพเป็นส่วนมาก จากการแพร่ กระจายเกิดได้ทั่วยุ่ไปไม่มีบริเวณจำเพาะขึ้นอยู่กับรูพรุนช่องว่างของชั้นตัวกลาง มีการคายสาร คือตัวถูกดูดซับสามารถหลุดออกจากพื้นผิวดูดซับได้ แต่การดูดซับทางเคมีไม่สามารถผันกลับได้จึงเป็นแบบทางกายภาพมากกว่า และเป็นสมมติฐานของ Isotherm แบบ Freundlich model

2.5.5 การกำจัดเชื้อโรค

มีการศึกษาจำนวนมากเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์ที่ชี้ให้เห็นว่าระบบสามารถกำจัดโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้ในช่วงร้อยละ 86-90 Gersberg และคณะ. (1987) รายงานว่ามีปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมดในน้ำเข้าเป็นจำนวน 6.75×10^7 MPN/100 มล. แล้วถูกกำจัดลดลงถึงร้อยละ 99.1 ในน้ำออก

กลไกหลักในการกำจัดเชื้อโรคในระบบบึงประดิษฐ์ คือ การตายตามธรรมชาติ การจับกินกันเอง การตกตะกอน และการดูดซับ พยาธิไส้เดือนและซิสต์ของปรสิตชนิดอื่นๆ ของน้ำน้อยแบคทีเรียจะถูกดูดซับด้วยอนุภาคที่อยู่ในน้ำ และถูกกำจัดเมื่ออนุภาคนั้นตกตะกอน ยิ่งไปกว่านั้นแบคทีเรียบางส่วนอาจถูกดูดซับบนผิวของพืชน้ำที่ปลูกในระบบบึงประดิษฐ์นั้น

มีการศึกษาอีกมากมายที่กล่าวถึงการกำจัดเชื้อโรคในระบบบึงประดิษฐ์นั้นพบว่าขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อโรค เวลาเก็บกัก และอุณหภูมิ (Reed และคณะ, 1988)

Bavor และคณะ. (1987) รายงานว่าการกำจัดแบคทีเรียที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ (Indicator) โดยระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้เวลาเก็บกัก 3-7 วันนั้นมีความสามารถในการกำจัดเท่าเทียมหรือมากกว่าที่กำจัดด้วยระบบบ่อเติมอากาศแบบธรรมดาซึ่งใช้เวลาเก็บกักที่ยาวนานกว่า

2.5.6 การกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก

สารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก สารประกอบอินทรีย์ที่คงตัว รวมไปถึง เซอร์แฟกแตนต์ (Surfactants) ฟีนอลเบนซีน และยาฆ่าแมลงในการเกษตร ซึ่งเป็นพิษและมีการย่อยสลายทางชีววิทยาได้ช้ามาก วิธีหลักในการกำจัดสารเหล่านี้ในระบบบึงประดิษฐ์คือ การทำให้เกิดการระเหย การดูดซับ และการย่อยสลายทางชีวภาพ (Rogers และคณะ, 1985) Polprasert (1989) ได้แสดงข้อมูลสนับสนุนว่าสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากใน Aquatic System จะถูกกำจัดโดยการดูดซับภายในผิวหน้าของระบบและถูกเปลี่ยนไปโดยกระบวนการสลายตัวทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ (Kadlec, 1987) รายงานว่าการดูดซับที่ชั้นตะกอนด้านล่างและส่วนที่จมอยู่ในดินของพืชสามารถช่วยลดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้บางส่วน ในระบบบึงประดิษฐ์สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากนี้จะไปสะสมอยู่ในตะกอนซึ่งค่อยๆ ถูกย่อยสลายไปโดยการทำงานของจุลินทรีย์ อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีจำนวนแบคทีเรียเพิ่มขึ้น ค่าพีเอช อุณหภูมิของน้ำ ลักษณะของอาหาร และระยะเวลาเก็บกักจะมีผลต่ออัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ

2.5.7 การกำจัดโลหะ

ในระบบบึงประดิษฐ์โลหะถูกกำจัดออกจากน้ำเสียโดยการนำไปใช้โดยพืช การตกตะกอนทางเคมี การแลกเปลี่ยนไอออนและการดูดซับกับดินและสารประกอบอินทรีย์ที่ ตกตะกอน (Gearheart, 1992) อย่างไรก็ตามดูเหมือนว่าขีดความสามารถของระบบบึงประดิษฐ์ในการกำจัดโลหะโดยการนำไปใช้โดยพืชและการเก็บเกี่ยวมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Stowell และคณะ, 1981)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การกำจัดฟอสฟอรัสในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์

Yoo และคณะ (2006) ได้ศึกษาถึงลักษณะการดูดซับและการกำจัดฟอสฟอรัส ในพื้นที่ชุ่มน้ำ ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีของดินตะกอน, พารามิเตอร์การดูดซับฟอสฟอรัสละลาย (SRP) เช่น ค่าการดูดซับฟอสฟอรัสสูงสุด (PS_{max}), สมดุลความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (EPC_0) และ

ความสามารถในการกักเก็บฟอสฟอรัสของดินตะกอน การดูดซับโดยดินตะกอนมีความสัมพันธ์กับรูปแบบที่ไม่ตกผลึกของเหล็ก และอะลูมิเนียมอย่างมาก ส่วนรูปแบบที่ตกผลึกจะมีปริมาณน้อย

Zouboulis และ Prochaska (2006) ได้ทำการศึกษาบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลในแนวคิ่ง โดยใช้ตัวกลางที่ผสมระหว่างทราย และ Dolomite ในอัตราส่วน 10:1 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) เพื่อกำจัดฟอสฟอรัส เน้นการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ไม่เน้นบทบาทของพืชและจุลินทรีย์ ระบบทำการติดตั้งกลางแจ้ง ปลูกด้วยต้นอ้อ (*Phragmites australis*) น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อลดความแปรปรวนขององค์ประกอบในน้ำเสีย ซึ่งประกอบด้วยสารที่ย่อยสลายได้ง่ายทางชีวภาพ โดยทำการป้อนอย่างไม่ต่อเนื่อง 2 กะ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะทำการวัดค่าฟอสเฟตละลายในช่วงเวลา มากกว่า 3 เดือน ทำการวัดประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 45 การสะสมของฟอสฟอรัสโดยตัวกลางในบึงประดิษฐ์อยู่ในช่วงร้อยละ 6.5-18.0 เทียบกับตัวกลางที่ยังไม่ได้ใช้งาน ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามความลึกของชั้นตัวกลางและภาระบรรทุก ปริมาณที่สกัดได้ของ Ca Mehlich-III มีค่าเพิ่มขึ้นแสดงถึงการกำจัดฟอสเฟตโดยการดูดซับของออร์โธฟอสเฟต ไอออนบนแคลเซียมคาร์บอเนต และ/หรือ การรวมตัวของออร์โธฟอสเฟต ไอออนกับแคลเซียม ไอออน ตกตะกอนเป็นแคลเซียมฟอสเฟต

Brix และ Arias (2005) การกำจัดฟอสฟอรัสโดยบึงประดิษฐ์ ถูกจำกัดโดยความสามารถของตัวกลางในการดูดซับ การจับหรือการตกตะกอนฟอสฟอรัสที่เข้าระบบ การกำจัดฟอสฟอรัสที่มากขึ้นในบึงประดิษฐ์อาจจะใช้ทรายที่มีแคลเซียม หรือเหล็กอยู่มาก การศึกษานี้มุ่งประเด็นไปที่การประเมินค่าวัสดุที่มีแคลเซียมสูงที่ใช้เป็นตัวกลางในการจับกับฟอสฟอรัส ได้แก่ แคลไซต์ ทราย และเปลือกหอยจากทะเล การทดลองจะหาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุ, Equilibrium isotherm และคอลัมน์ที่ใช้ทดลอง ซึ่งค่า Equilibrium isotherm เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของตัวกลาง ถึงแม้จะมีข้อจำกัดของการหาค่าในการ Full scale แต่วัสดุในคอลัมน์ก็แสดงถึงความสามารถในการจับกับฟอสฟอรัสได้

Heal และคณะ (2005) ได้ศึกษาการใช้ Ochre (มีออกไซด์ของเหล็กเป็นหลัก) ที่ได้จากเหมืองแร่ ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสมากกว่า 26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใช้ในบึงประดิษฐ์เพื่อเพิ่มความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัส ในการทดลอง Ochre กำจัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 90 จากน้ำเสียหลังจากเขย่า (Shaking) 15 นาที

Molle และคณะ (2003) ได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับของแคลไซต์ และคอนกรีตบดทำการทดลองแบบกะ และแบบต่อเนื่อง คอนกรีตบดมีความไวในการตกตะกอนฟอสฟอรัส แต่ก็ทำ

ให้ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity) และค่าพีเอช (pH) ในน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงขึ้น ประสิทธิภาพของแคลไซต์จะขึ้นอยู่กับสมมูลของคาร์บอเนตของสารละลาย การสังเกตที่ผิวของแคลไซต์แสดงให้เห็นถึงการตกตะกอนฟอสเฟตในรูปผลึก กระบวนการตกผลึกดูเหมือนจะเป็นกลไกหลักในการกำจัดฟอสเฟตอย่างหนึ่ง

2.6.2 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์โดยปรับเปลี่ยนการออกแบบ

Molle และคณะ (2006) อธิบายถึงพารามิเตอร์การไหลเข้าของที่แตกต่างกันในด้านคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของชั้นกรอง และเพื่อหาขีดจำกัดการรับอัตราภาระบรรทุกเกิน (hydraulic overloads) ความถี่ในการป้อนน้ำเสีย (Batch feeding frequency) และอัตราการเจริญเติบโตของต้นอ้อ (*Phragmites australis*) โดยทำการเปรียบเทียบสถานะของการป้อนและการหยุดพัก การถอดต้นของชั้นตัวกลางเป็นปัญหาในระยะยาวของระบบนี้ และการที่รับอัตราภาระบรรทุกเกิน ทำให้เสี่ยงต่อการถอดต้นเร็วขึ้น การรักษาสภาพที่มีออกซิเจน (aerobic condition) , ควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบเกาะติด (Attached biomass) และการตกตะกอนที่ผิวหน้าชั้นกรอง เป็นสิ่งที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพ และการควบคุมการตกตะกอนสะสมที่ผิวหน้าชั้นกรอง เมื่อความถี่ของการป้อนต่ำจะมีการระบายน้ำออกได้ดี, คุณภาพน้ำที่ออกต่ำ, อัตราการซึมผ่านสูง และการกำจัดค่าซีโอดีต่ำ เมื่อความถี่ของการป้อนสูงจะมีการระบายน้ำออกได้น้อย คุณภาพน้ำที่ออกดี อัตราการซึมผ่านต่ำ การใช้ ออกซิเจนเป็นข้อดีของระบบ และการกำจัดค่าซีโอดีต่ำ

Korkusuz และคณะ (2005) ทำการศึกษาการใช้บึงประดิษฐ์ที่มีการไหลในแนวตั้ง (Vertical flow constructed wetland) ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนของ Campus of the Middle East technical University (METU), Ankara, ในประเทศตุรกี เพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดของการใช้ตัวกลางที่แตกต่างกัน ได้แก่ ตัวกลางกากแร่จากเตาหลอมเหล็ก (slag-based) และตัวกลางกรวด (gravel-based) ทั้ง 2 ระบบมีพื้นที่เท่ากับ 4.5x6.5x0.6 เมตร (กว้างxยาวxลึก) พื้นที่ผิว 30 ตารางเมตร พื้นล่างปูด้วย Polyethylene หนา 1 มิลลิเมตร ความชันร้อยละ 1 บึงประดิษฐ์แรกบรรจุด้วย slag และทราย บึงประดิษฐ์ที่สองบรรจุด้วย gravel และทราย ใช้ท่อ PVC กระจายน้ำเสียให้ทั่วถึงเท่ากัน พืชที่ใช้เป็นต้นอ้อ (*Phragmites australis*) มีความหนาแน่น 9 ต้นกล้า/ตารางเมตร สูบน้ำเสียจากบ่อพักที่รับน้ำเสียชุมชนและน้ำฝน ไปที่ถังตกตะกอน 2 ถัง น้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนแล้วจะเข้าสู่บึงประดิษฐ์ 1 ครั้ง/วัน อัตราการไหล 3 ลูกบาศก์เมตร/วัน ที่อัตราภาระพลศาสตร์ 0.1 เมตร/วัน

ผลการทดลอง น้ำเสีย มีค่า COD:BOD₅ ratio เท่ากับ 4.3 ข้อมูลทางอุทกนิยมนิเวศวิทยานี้เป็นค่าเฉลี่ยต่อเดือนของอุณหภูมิ, ปริมาณน้ำฝน และอัตราการระเหย ทั้ง 2 บึงประดิษฐ์ เริ่มต้นความสูงเฉลี่ยของพืช 40±9 เซนติเมตร (n=20) ท้ายสุดของการศึกษาสำหรับ slag และ gravel system ความสูง

เฉลี่ยของพีช 149 ± 23 เซนติเมตร และ 120 ± 28 เซนติเมตร อัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 2.72 มิลลิเมตร/วัน และ 2.0 มิลลิเมตร/วัน ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ยของ slag และ gravel ในบึงประดิษฐ์แสดงดังนี้ TSS (63% และ 59%), COD (47% และ 44%), $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ (88% และ 53%), TN (44% และ 39%), $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ (44% และ 1%) และ TP (45% และ 4%) จะเห็นได้ว่ากระบวนการบำบัดของ slag-based ดีกว่า gravel-based ในเทอมของการกำจัดฟอสฟอรัส และการผลิตไนเตรด

Holland และคณะ (2004) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับความลึกของบึงประดิษฐ์และอัตราการไหลที่มีผลต่อลักษณะของเวลาเก็บกัก (Residence time distribution; RTD) ซึ่ง RTD เป็นสิ่งสำคัญทางชลศาสตร์ (Hydraulics) สำหรับการทำให้โคลนและการออกแบบบึงประดิษฐ์อย่างเหมาะสมในการศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นว่าความลึกของน้ำสามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพทางชลศาสตร์ (Hydraulic efficiency) เวลาเก็บกักที่นานกว่าจะเกิดขึ้นเมื่อความลึกเพิ่มมากขึ้นและเป็นผลดีต่อกระบวนการบำบัด

เกียรติศักดิ์ (2546) การวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลได้ผิวดินแบบไหลขึ้นตามด้วยแบบไหลลง ที่อัตราการบรรทุกทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันคือ 5, 10, 15 และ 20 ซม./วัน ในการทดลองนี้ใช้บ่อทดลอง 2 บ่อ แต่ละบ่อรองพื้นด้วยแผ่นพีวีซีกันน้ำซึมผ่านบรรจุด้วยกรวดหยาบและทรายในบ่อที่มีน้ำไหลขึ้นทำการปลูกต้นธูปฤาษี ส่วนบ่อที่มีน้ำไหลลงปลูกต้นกรังกา น้ำเสียถูกป้อนเข้าสู่ระบบแบบต่อเนื่อง โดยสูบน้ำสู่อบ่งที่มีน้ำไหลขึ้นแล้วไหลลง และมีการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่บ่อที่มีน้ำไหลขึ้นในอัตราการหมุนเวียน 100 %

ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนสูงสุดที่อัตราการบรรทุกทางชลศาสตร์ 5 ซม./วัน โดยสามารถกำจัดไนโตรเจนรวมได้ 63.7 % และกำจัดซีโอไซด์ได้ 74 % ซึ่งพบว่าเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในบ่อที่มีน้ำไหลขึ้นและเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในบ่อที่มีน้ำไหลลงอย่างชัดเจน ส่วนอัตราการบรรทุกทางชลศาสตร์ไม่มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสรวม และสารแขวนลอย ในการทดลองนี้ต้นธูปฤาษีสามารถสะสมไนโตรเจนได้ 0.5 -3.8 % ของไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่บ่อที่มีน้ำไหลขึ้น และต้นกรังกาสามารถสะสมไนโตรเจนได้ 0.4-3.7 % ของไนโตรเจนรวมที่เข้าสู่บ่อที่มีน้ำไหลลง

ศักดิ์ชัย (2547) ทำการศึกษาการทำงานของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลได้ผิวดินร่วมกับระบบการระเหยโดยพีชในการบำบัดน้ำเสียบ้านเรือน โดยปลูกต้นธรรมรักษา และต้นเข็ม ในถังที่มีการไหลในแนวตั้ง และในกระเบาะที่มีการไหลในแนวนอนตามลำดับ โดยใช้แบบจำลองในระดับห้องปฏิบัติการ น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริงจากหอพักนิสิตที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้ว

ตัวกลางที่ใช้ได้แก่ทรายปนหิน โดยทำการปรับเปลี่ยนอัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่างกัน 2 ค่า ได้แก่ 8.23 และ 16.46 เซนติเมตรต่อวัน และรูปแบบการให้น้ำเสียเข้าสู่ระบบจากการให้แบบต่อเนื่องเป็นการให้แบบเป็นระยะ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพสูงสุดของถังที่มีการไหลในแนวตั้ง ได้แก่การให้น้ำแบบเป็นระยะ ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 8.23 เซนติเมตรต่อวัน มีประสิทธิภาพในการบำบัด ซีโอดี บีโอดี สารแขวนลอย ทีเคเอ็น แอมโมเนียไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเท่ากับร้อยละ 71.27 63.45 64.92 88.00 88.16 และ 17.64 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำแบบต่อเนื่องที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เดียวกันมีประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงและพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงเมื่ออัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก.

ส่วนประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลได้ผิวดินร่วมกับระบบการระเหยโดยพืช ที่มีการให้น้ำเสียอย่างต่อเนื่องที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 8.23 เซนติเมตรต่อวัน ให้ผลเช่นเดียวกับประสิทธิภาพของถังที่มีการไหลในแนวตั้ง สำหรับประสิทธิภาพสูงสุดของระบบได้แก่การให้น้ำแบบเป็นระยะ ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัด ซีโอดี บีโอดี สารแขวนลอย ทีเคเอ็น แอมโมเนียไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเท่ากับร้อยละ 91.81, 92.08, 91.05, 98.27, 96.48, และ 96.67 ตามลำดับ

ไพสิฐ กาญจนสุนทร (2551) ศึกษาถึงผลของตัวกลางที่มีต่อการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย โดยบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลในแนวตั้ง ตัวกลางที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบ 4 ชนิด หินเกล็ด อิฐแดง อิฐบล็อก และเปลือกหอย การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ระยะที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสโดยตัวกลาง 4 ชนิด และพิจารณาคัดเลือกชุดตัวกลางที่ดีที่สุดมาทดลองต่อในระยะที่ 2 เพื่อศึกษากลไกการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสีย ซึ่งทั้ง 2 ระยะจะใช้พีชคือต้นก้ามกุ้ง น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียชุมชนสังเคราะห์ บ่อน้ำเสียสังเคราะห์ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่ 5 เซนติเมตรต่อวัน อย่างไม่ต่อเนื่อง (เต็ม 2 ชั่วโมง หยุด 2 ชั่วโมง) จากการทดลองในระยะที่ 1 พบว่าระบบบึงประดิษฐ์บึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อกมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐแดง เปลือกหอย และหินเกล็ด ตามลำดับ ผลการทดลองในระยะที่ 2 พบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐบล็อกมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 93 ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้อิฐแดงมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 90