บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 บึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands)

บึงประดิษฐ์ คือ พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นที่ใดที่หนึ่ง โดยมีจุดประสงค์เพื่อบำบัดน้ำเสียทั้งจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งโดยส่วนมากจะใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากสามารถช่วยลดปริมาณค่าบีโอดี ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และสารแขวนลอยได้ดีมากกว่าร้อยละ 50 –60 ขึ้นไป (Gersberg และคณะ , 1986 ; Theisen และ Martin , 1987 ; Patruno และ Russel , 1994) สำหรับการใช้บึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมก็เป็นสิ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากต้นทุนในการก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการในการดูแลค่อนข้างต่ำ

การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อการบำบัดน้ำเสีย มีหลักการเบื้องต้นเหมือนกับพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ แต่ต่างกันตรงที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้มากขึ้น รวมทั้งในปัจจุบันนี้กำลังได้รับการพัฒนาใช้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากการออกแบบก่อสร้างไม่ซับซ้อน การดูแลรักษาระบบไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีมากนัก และเสียค่าใช้จ่ายน้อย

บึงประดิษฐ์ขนาดเล็กอาจสร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียเพียงอย่างเดียว แต่บึงประดิษฐ์ขนาดใหญ่อาจสร้างเพื่อบำบัดน้ำเสีย และมีผลพลอยได้เป็นที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติของสัตว์และพืช การก่อสร้างทำได้เกือบทุกพื้นที่ อาจปรับปรุงจากพื้นที่ธรรมชาติหรือสร้างขึ้นใหม่โดยการขุดหรือปรับปรุงพื้นที่ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดอาจซึมลงและเพิ่มน้ำใต้ดิน หรืออาจระบายลงสู่แม่น้ำลำคลองได้

2.1.1 ประเภทของบึงประดิษฐ์

การแบ่งประเภทของบึงประดิษฐ์เพื่อการบำบัดน้ำเสีย อาจแบ่งตามลักษณะการไหลของน้ำในบึงประดิษฐ์ ได้เป็น 2 แบบ คือ

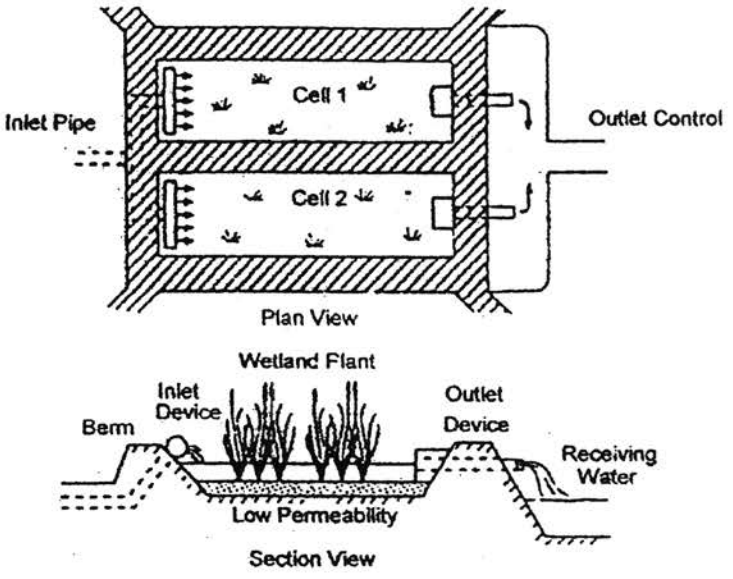
1) แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน (Free Water Surface System)

เป็นบึงประดิษฐ์ที่น้ำเสียไหลผ่านผิวหน้าดินหรือตัวกลาง สัมผัสกับอากาศโดยตรง จากนั้นไหลซึมลงสู่พื้น ประกอบด้วยพืชน้ำหลายชนิด และระดับน้ำไม่ลึกมากนัก โดยเฉลี่ยจะมีความลึกประมาณ 0.3 เมตร พืชเป็นกลุ่มที่มีรากและลำต้นโผล่พ้นน้ำ โดยพืชจะทำให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุและเป็นที่ยึดเกาะของพวกจุลชีพ ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำ รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบที่สำคัญของบึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน คือ ท่อน้ำเข้า บ่อพื้นที่ชุ่มน้ำ พืชน้ำ และทางน้ำออก

2) แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow System)

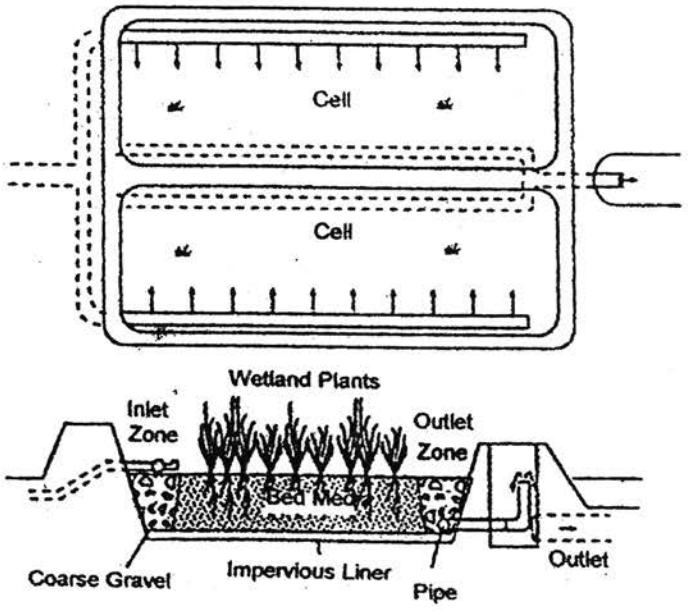
เป็นระบบที่ออกแบบให้น้ำไหลผ่านชั้นตัวกลางของระบบ โดยน้ำเสียจะได้รับการบำบัดเมื่อไหลผ่านตัวกลางและรากพืชซึ่งมีจุลชีพเกาะอยู่ โดยสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลาย ฟอสฟอรัสและโลหะหนักจะถูกจับในชั้นดิน ชั้นตัวกลางจะมีสภาวะไร้ออกซิเจนแต่ออกซิเจนจากรากพืชจะช่วยในการดำรงชีวิตของจุลชีพชนิดใช้อากาศ ซึ่งจุลชีพดังกล่าวจะเกาะอยู่ตามรากพืช โดยตัวกลางที่ใช้จะเป็นพวก หินบด กรวดขนาดต่างๆ หรือดินชนิดต่างๆ อาจมีเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งหรือใช้รวมกันก็ได้ ความหนาของชั้นตัวกลางน้อยกว่า 0.6 เมตร ระดับน้ำในบึงจะควบคุมให้ต่ำกว่าผิวตัวกลางเล็กน้อย ลักษณะของบึงประดิษฐ์แสดงดังรูปที่ 2.2

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆที่สำคัญของบึงประดิษฐ์แบบน้ำอยู่เหนือพื้นดิน

(Kadlec and Knight, 1996)



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบต่างๆที่สำคัญของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน

(Kadlec and Knight, 1996)

2.1.2 องค์ประกอบของบึงประดิษฐ์

1) พืช

พืชน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและเห็นเด่นชัดในพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยในปัจจุบันนิยมใช้พืชพวกโผล่พ้นน้ำมากกว่าใช้พืชลอยน้ำ เนื่องจากพืชลอยน้ำไม่สามารถทนกับอากาศหนาวและศัตรูพืชได้ พืชที่พบทั่วไปในพื้นที่ชุมน้ำคือ ธูปฤาษี (*Typha* spp.) กก (*Scirpus* spp.) อ้อ (*Phragmites* spp.) และหญ้าคมบาง (*Carex* spp.) ตารางที่ 2.1 แสดงการกระจายของพืชเหล่านี้ในโลกและสภาวะที่ต้องการ พืชเหล่านี้มีความสามารถในการเจริญเติบโตในชั้นดินหลายชนิดและในน้ำเสียหลายประเภท (Reed, Middlebrooks and Crites, 1988)

การใช้สารอาหารของพืชเป็นบทบาทที่สำคัญในการกำจัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และมลสารอื่นๆ ในน้ำเสีย เช่น โลหะหนัก สารอินทรีย์ที่กำจัดยาก เป็นต้น อัตราการใช้สารอาหารของพืชถูกกำจัดโดยอัตราการเติบโตสุทธิ และความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อพืช ความเข้มข้นของสารอาหารในพืชมีค่าสูง (มากกว่า 25 กรัมต่อกิโลกรัมเนื้อเยื่อ) ในพืชที่มีอายุน้อยและลดลงเมื่อโตเต็มที่ (Reddy and Debusk, 1987) ความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อและอัตราการนำไปใช้ของพืชแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 2.2

2) ตัวกลาง

ตัวกลาง หมายถึง ชั้นของวัตถุใต้น้ำ ได้แก่ ดิน ทราย และกรวด อาจมีเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งหรือใช้รวมกันก็ได้ ช่องว่างในตัวกลางเป็นช่องทางการไหลสำหรับระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน ตัวกลางนอกจากจะเป็นที่อยู่ของพืชแล้ว ยังเป็นพื้นที่สำหรับสารประกอบต่างๆทำปฏิกิริยากัน นอกจากนี้ยังเป็นที่เกาะอาศัยของจุลชีพอีกด้วย

ลักษณะทางกายภาพของดินหรือตัวกลางมีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสีย ตัวกลางที่เป็นทราย หรือ กรวด ระยะเวลาสัมผัสระหว่างน้ำกับดินจะน้อย ส่วนดินเหนียว แม้ว่าระยะเวลาสัมผัสจะนานแต่พืชก็จะเติบโตหรือแทงรากผ่านได้ยาก จึงไม่เหมาะในการใช้บำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 2.1 ชนิดของพืชที่พบทั่วไปในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Reed et al., 1988)

ชื่อสามัญและชื่อวิทยาศาสตร์	บริเวณที่พบ	อุณหภูมิ (^{0}C)	ความเค็มสูงสุดที่ทนได้ (ppt)	พีเอชที่เหมาะสม
ธูปฤาษี (*Typha* spp.)	ทั่วโลก	10 – 30	30	4 – 10
อ้อ (*Phragmites* spp.)	ทั่วโลก	12 – 33	45	2 – 8
กกบางชนิด (*Juncus* spp.)	ทั่วโลก	16 – 26	20	5 – 7.5
หญ้าทรงกระเทียม (*Scipus* spp.)	ทั่วโลก	16 – 27	20	4 – 9
หญ้าคมบาง (*Carex* spp.)	ทั่วโลก	14 - 32	-	5

ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส และอัตราการนำไปใช้ของพืช (Reddy and Debusk, 1987)

พืช	อัตราการนำไปใช้ (Kg/ha/yr)		ส่วนประกอบในเนื้อเยื่อ (g/Kg)		อัตราการเติบโต (ton/ha/yr)
	N	P	N	P	
ธูปฤาษี	600 – 2630	75 – 403	5 – 24	0.5 – 4	8 – 61
หญ้าทรงกระเทียม	125	18	8 – 27	1 – 3	-
อ้อ	225	35	18 – 21	2 – 3	10 – 60

สำหรับตัวกลางที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ ตัวกลางดินปนทราย และ ตัวกลางทรายปนหินชนวน โดยที่เลือกใช้ตัวกลางดินปนทรายเนื่องจากดินเนื้อละเอียดเป็นตัวกลางที่ดีในการกำจัดฟอสฟอรัสรวมทั้งเป็นที่สะสมสารอาหารและเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช ธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสก็จะมีโอกาสถูกพืชนำไปใช้ได้มากขึ้น ซึ่งก็จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียมีมากขึ้น แต่ถ้าใช้ดินเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียวก็จะทำให้ระบบเกิดการอุดตันได้ง่าย เนื่องจากดินมีอนุภาคเล็กมาก

ประกอบกับการศึกษา Chambers และ Mccomb (1992) ที่ได้ทดลองปลูกพืชโผล่พ้นน้ำ 9 ชนิดในดินเหนียวและดินทราย พบว่าพืชที่ปลูกในดินทรายจะมีอัตราการรอดสูงกว่าพืชที่ปลูกในดินเหนียว แต่ดินเหนียวจะมีอัตราการไหลผ่านของน้ำต่ำกว่าดินทราย รวมทั้ง Adcock , Ryan และ Osbone (1995) ได้ศึกษาโดยใช้บึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียใน Syney ประเทศออสเตรเลีย พบว่าพื้นบ่อทีประกอบไปด้วยอนุภาคดินเหนียว พืชพวกอ้อไม่สามารถเจริญได้เนื่องจากแทงรากได้ยาก ส่วนพวกธูปฤาษีเจริญได้บ้างแต่อยู่บริเวณพื้นผิวเท่านั้น ดังนั้นการเลือกใช้ตัวกลางดินปนทรายจึงมีความเหมาะสมมากกว่าการใช้ตัวกลางที่เป็นดินเพียงอย่างเดียว เพราะจะทำให้ระบบไม่เกิดการอุดตันน้ำซึมผ่านได้ดี รวมทั้งพืชสามารถแทงรากได้ง่ายด้วย

ส่วนการที่เลือกใช้ตัวกลางทรายปนหินชนวน เนื่องจากทั้งทรายและหินชนวนจะมีอนุภาคใหญ่ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันกับระบบ และพืชสามารถแทงรากผ่านได้ง่าย รวมทั้งได้มีการทดลองของ Drizo (1997) ซึ่งได้ศึกษา การกำจัดฟอสฟอรัสและแอมโมเนีย ของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลผ่านใต้ดินในแนวราบโดยใช้หินดินดานเป็นตัวกลางทำการทดลองเป็นเวลา 10 เดือน พืชที่ปลูกคือต้นธูปฤาษี จากผลการทดลองปรากฏว่าบึงประดิษฐ์สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 98 – 100 ส่วนไนโตรเจนถูกกำจัดหมด ซึ่งแสดงว่าการใช้หินดินดานเป็นตัวกลางสามารถกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจนได้ดี ส่วนหินชนวนนั้นเป็นหินแปรมาจากหินดินดาน ด้วยเหตุนี้หินชนวนจึงน่าจะมีคุณสมบัติในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียได้ดีเช่นกัน โดยรายละเอียดคุณลักษณะของหินชนวนมีดังนี้

เมื่อหินดินดานเกิดการแปรสภาพ ขั้นต้นจะได้หินชนวน (Slate) โดยหินชนวนเป็นหินแปรริ้วขนานที่มีการเรียงตัวของเม็ดแร่ดิน-ไมกา และมีการเกิดผลึกใหม่เพียงส่วนน้อยทำให้มีชั้นบางเนื้อละเอียดแซะแยกออกได้เป็นแผ่นๆ ผิวรอยแยกเรียบ รอยแยกในหินชนวนมักจะขนานกับชั้นหิน แต่บางแหล่งก็ตัดกับชั้นหิน หินชนวนมีสีต่างๆ กันตามแต่สารที่ประกอบอยู่ เช่น ที่มีสีเทาถึงดำเพราะมีธาตุคาร์บอนจากหินดิน และคาร์บอนยังอาจเปลี่ยนเป็นแกรไฟต์ด้วย หินชนวนที่มีสีแดงและสีม่วงนั้นมาจากมีเหล็กกับแมงกานีสออกไซด์ และที่มีสีเขียวเพราะมีเหล็กเฟอรัสซิกิเกตในหิน

แหล่งหินชนวนในประเทศไทยพบหลายแห่ง เช่น ตามเส้นทางถนนมิตรภาพก่อนถึงปากช่องหรือบริเวณใกล้ผิวดิน หรือ พบปะปนกับหินดินดาน ประโยชน์ เนื่องจากหินชนวนมีลักษณะเนื้อเรียบเป็นแผ่นจึงนิยมนำมาใช้เป็นกระดาษชนวนสำหรับเขียนหนังสือ แผ่นขนาดใหญ่นำไปใช้มุงหลังคา และทำเป็นแผ่นรองพื้นสักหลาดโต๊ะบิลเลียด เป็นต้น

โดยที่ผ่านมามีผู้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับตัวกลางที่ใช้ในบึงประดิษฐ์ดังนี้

ปี 1993 Mann และ Bavor ได้ศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ ซึ่งใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 แล้ว โดยใช้กรวดและเศษของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นตัวกลาง ทำการศึกษาเป็นเวลา 2 ปี พบว่าความจุสูงสุดในการดูดซับฟอสฟอรัสของกรวด , เศษโลหะ และขี้เถ้าเบา มีค่าเท่ากับ 25.8 - 47.5 mg/g , 160 - 420 mg/g และ 260 mg/g ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเศษของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสามารถนำมาใช้เป็นตัวกลางในระบบบึงประดิษฐ์ได้

ต่อมาในปี 1999 รัตนา ตรีรัตนภรณ์ ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์ในการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยปลูกต้นธูปฤาษี ในตัวกลาง 3 ชนิด คือ ทราย, ดินปนทราย และดิน ผลการทดลองพบว่าบึงประดิษฐ์สามารถบำบัดน้ำเสียได้ตามที่มาตรฐานน้ำทิ้งกำหนด พบว่า แคดเมียมจะสะสมอยู่ในทราย, ดินปนทราย และดิน 95.56, 95.53 และ 94.07% ตามลำดับ ส่วนพืชมีแคดเมียมสะสมอยู่ 0.08% 0.06% และ 0.08% ในตัวกลางทราย, ดินปนทราย และดิน ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินสามารถดูดซับแคดเมียมได้มากกว่าทราย

และในปี 2000 วรากร เกิดทรัพย์ ศึกษาการทำงานของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่ออกจากระบบบ่อบำบัดก่อนระบายทิ้ง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบควบคุมซึ่งบรรจุตัวกลางทรายขนาด 1 – 3 มิลลิเมตร กับระบบที่ปลูกพืช 2 ชนิด คือ ธูปฤาษี และเหงือกปลาหมอ ซึ่งปลูกในตัวกลางทรายขนาดเดียวกัน พบว่า ระบบที่ปลูกต้นธูปฤาษีมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าต้นเหงือกปลาหมอ และระบบที่ปลูกธูปฤาษีที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน มีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ 92% ซีโอดี 68% สีจริง (ในหน่วย SU) 65% ไนโตรเจน 89%

3) จุลชีพ

จุลชีพที่พบในบึงประดิษฐ์ ได้แก่ แบคทีเรีย รา สาหร่าย และโปรโตซัว ในกรณีที่มีการปลูกพืชในระบบการเจริญเติบโตของจุลชีพจะเกิดขึ้นในส่วนที่จมอยู่ในน้ำของพืช ในดิน ทราย หรือเกาะบนตัวกลางโดยตรงสำหรับบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน จุลชีพจะเปลี่ยนสารปนเปื้อนในน้ำเสียให้เป็นสารอาหารและพลังงานสำหรับการดำรงชีวิต โดยในระบบบึงประดิษฐ์จะสร้างสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสมสำหรับจุลชีพ เพื่อประสิทธิภาพการกำจัดที่ดี

2.2 กลไกการบำบัด

ในระบบบำบัดแบบพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetlands) สารมลพิษจะถูกกำจัดด้วยกระบวนการที่ซับซ้อนมากมาย ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วยการตกตะกอน การดูดซับโดยอนุภาคของดิน การสะสมในพืช และการเปลี่ยนรูปโดยจุลชีพ พืชในระบบกำจัดสารมลพิษโดยตรงด้วยการออกซิไดซ์สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในการสังเคราะห์แสง (Assimilating) และพืชยังเป็นที่เกาะและช่วยสร้างสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับจุลชีพอีกด้วย กลไกการกำจัดที่สำคัญของบึงประดิษฐ์แสดงในตารางที่ 2.3

2.2.1 การกำจัดสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้จะจมสู่ก้นของบึง ย่อยสลายแล้วซึมลงดิน ส่วนสารละลายอินทรีย์จะถูกกำจัดโดยจุลชีพทั้งที่เกาะติดอยู่กับพืชและที่แขวนลอยอยู่ ในระบบน้ำไหลใต้ดินออกซิเจนจากบรรยากาศจะถูกพืชดูดซับและแพร่ออกในชั้นรากพืชจำพวกธูปฤาษี ซึ่งจะมีชั้นรากลึกประมาณ 30 เซนติเมตร ส่วนรากพืชจำพวกแฝกจะหยั่งลึกถึง 70 เซนติเมตร

ค่าซีโอดี เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณของ Chemical oxidant ที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ ซึ่งค่าซีโอดีจะสูงกว่าบีโอดี โดยพื้นที่ชุ่มน้ำเป็นระบบที่สามารถใช้แหล่งคาร์บอนภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก ดังจะเห็นได้จากการลดลงของค่าบีโอดีและซีโอดี กล่าวคือ พื้นที่ชุ่มน้ำสามารถลดค่าบีโอดีและซีโอดีได้มาก จนอาจต่ำกว่าระดับพื้นฐานบีโอดีและซีโอดีที่พบในน้ำธรรมชาติทั่วไป ทั้งนี้ขึ้นกับสภาวะของพื้นที่ชุ่มน้ำ

ตารางที่ 2.3 กลไกการบำบัดน้ำเสียในบึงประดิษฐ์ (Brix, 1993)

องค์ประกอบในน้ำเสีย	กลไกการบำบัด
ของแข็งแขวนลอย	- การตกตะกอน / การกรอง
บีโอดี	- การย่อยสลายโดยจุลชีพ (aerobic and anaerobic) - การตกตะกอน
ไนโตรเจน	- ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันโดยจุลชีพ - พืชนำไปใช้ - การระเหยของแอมโมเนีย
ฟอสฟอรัส	- ดูดซับโดยดิน (ปฏิกิริยาการดูดซับ-ตกตะกอนโดย aluminium , iron , calcium และ clay minerals ในดิน) - Plant uptake
เชื้อโรค	- การตกตะกอน / การกรอง - การตายตามธรรมชาติ - โดยรังสี UV - โดยสารปฏิชีวนะจากรากพืช

2.2.2 การกำจัดไนโตรเจน

การกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำมีหลายกลไก คือ การนำไปใช้โดยพืช การระเหยในรูปของแอมโมเนีย กระบวนการไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่น การกำจัดขึ้นอยู่กับรูปแบบของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรทโดย nitrifying bacteria ในบริเวณที่มีอากาศ และไนเตรทถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนโดย denitrifying bacteria ในบริเวณที่ไร้ออกซิเจน ก๊าซที่ใช้ในกระบวนการไนตริฟิเคชั่นมาจากทั้งการถ่ายเทจากบรรยากาศลงสู่ผิวน้ำและที่ซึมผ่านจากรากพืช

2.2.3 การกำจัดฟอสฟอรัส

กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสโดยพื้นที่ชุ่มน้ำ คือ การตกตะกอนผลึก และดูดซับโดยตะกอน ส่วนกลไกรอง คือ การดูดซับโดยพืชและการตกตะกอน โดยส่วนใหญ่การกำจัดฟอสฟอรัสเกิดขึ้นที่ชั้นดิน ส่วนพื้นบึงถ้าหากมีส่วนผสมของเหล็ก อะลูมิเนียม และแคลเซียม ก็จะช่วยส่งเสริมการกำจัดให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งหินชนวนที่นำมาใช้เป็นตัวกลาง จะมีสารประกอบอยู่ต่างๆกันตามสีที่ปรากฏ เช่น ที่มีสีเทาถึงดำเพราะมีธาตุคาร์บอนจากหินดิน และคาร์บอนยังอาจเปลี่ยนเป็นแกรไฟต์ด้วย หินชนวนที่มีสีแดงและสีม่วงนั้นมาจากมีเหล็กกับแมงกานีสออกไซด์ และที่มีสีเขียวเพราะมีเหล็กเฟอรัสซิกิเกตในหิน ดังนั้นการใช้ตัวกลางทรายปนหินชนวนจึงน่าจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสดีขึ้น ส่วนพืชจะดูดซับฟอสฟอรัสผ่านทางรากและนำไปใช้ในการสร้างเซล เมื่อพืชตายและย่อยสลายจะคายฟอสฟอรัสออกมาบางส่วน และบางส่วนจะจมอยู่กับซากพืช

2.2.4 การกำจัดเชื้อโรค

กลไกการกำจัดเชื้อโรคในบึงประดิษฐ์ คือ การตายลงตามธรรมชาติ การล่า การตกตะกอนและการดูดซับ แบคทีเรียจะถูกดูดซับโดยอนุภาคในน้ำ และถูกกำจัดไปเมื่ออนุภาคจมลง อีกทั้งอาจถูกดูดซับโดยพืช

2.2.5 การกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยยาก

สารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยยากหรือสารประกอบอินทรีย์ที่คงตัว ซึ่งประกอบด้วย สารลดแรงตึงผิว ฟีนอล เบนซิน และสารกำจัดวัชพืช ซึ่งล้วนเป็นพิษและสลายตัวทางชีวภาพได้ช้า กลไกที่สำคัญในการกำจัดสารประเภทนี้ในบึงประดิษฐ์ คือ การระเหย การดูดซับ และการย่อยสลายทางชีวภาพ (Roger, Cherry and Guthrie, 1978) การระเหยเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของระบบ การดูดซับเกิดขึ้นบนสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ สารอินทรีย์เหล่านี้สะสมอยู่ในตะกอนแล้วถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ อัตราการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนจุลชีพ พีเอช อุณหภูมิน้ำ ชั้นดิน และเวลาเก็บกักน้ำ

2.2.6 การกำจัดโลหะหนัก

โลหะหนักจำพวกหนึ่งเป็นสารอาหารรองโดยที่พืชต้องการเพียงเล็กน้อย แต่อาจะมีโลหะบางชนิดในน้ำเสียโดยที่มีความเข้มข้นในระดับที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตได้ ดังนั้นโลหะในน้ำเสียจะต้องถูกกำจัดก่อนปล่อยทิ้งเพื่อป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ในพื้นที่ชุ่มน้ำโลหะถูกกำจัดออกจากน้ำเสียโดยการนำไปใช้โดยพืช การตกตะกอนผลึก การแลกเปลี่ยนประจุ และการดูดซับกับตะกอนและสารประกอบอนินทรีย์

2.2.7 การกำจัดสารแขวนลอย

การลดปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำ เป็นผลมาจากกระบวนการที่ซับซ้อนหลายกระบวนการ รวมถึงการเคลื่อนย้ายของแข็งโดยสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยเฉพาะเมื่อน้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำมีความเร็วของน้ำต่ำ มีพืชน้ำปกคลุม มีดินและตัวกลางที่เหมาะสมด้วยแล้ว จะยิ่งช่วยในการกรองและการตกออกมาของของแข็ง การกำจัดสารแขวนลอยจากน้ำของพื้นที่ชุ่มน้ำเป็นกระบวนการซึ่งทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น ซึ่งเป็นหน้าที่สำคัญของพื้นที่ชุ่มน้ำ สารมลพิษในน้ำเสียส่วนหนึ่งจะอยู่ในรูปของสารแขวนลอยหรือสารอินทรีย์เคมีที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ซึ่งของแข็งที่ถูกกำจัดออกมาจากน้ำด้วยกระบวนการต่างๆในพื้นที่ชุ่มน้ำแบบน้ำไหลใต้ผิวดิน ถ้ามีปริมาณมากก็จะทำให้เกิดการสะสมและอุดตัน ดังนั้นการเลือกใช้ตัวกลางที่เกิดการอุดตันได้ยากก็จะเป็นการช่วยลดปัญหาการอุดตันได้ในระดับหนึ่งด้วย

2.3 เกณฑ์ในการออกแบบบึงประดิษฐ์

ตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบบึงประดิษฐ์ ได้แก่ เวลากักเก็บน้ำ ความลึกของน้ำ อัตราภาระบีโอดี ภาระปริมาณน้ำ และพื้นที่ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์ในการออกแบบบึงประดิษฐ์ (Metcalf & Eddy, 1991)

พารามิเตอร์	หน่วย	แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน	แบบน้ำอยู่เหนือผิวดิน
เวลากักเก็บน้ำ	วัน	4 – 15	4 – 15
ความลึกของน้ำ	เมตร	0.10 – 0.60	0.30 – 0.76
อัตราภาระบีโอดี	กก./เฮกเตอร์-วัน	≤ 67	≤ 67
ภาระปริมาณน้ำ	เมตร/วัน	0.014 – 0.047	0.014 – 0.047
พื้นที่	เฮกเตอร์/10^3ม^3-ว.	2.14 – 7.16	2.14 – 7.16

2.3.1 อัตราภาระสารอินทรีย์

อัตราภาระสารอินทรีย์ในระบบบึงประดิษฐ์ จะต้องมีค่าไม่มากจนเกินไป เพื่อป้องกันการเกิดสภาวะไร้อากาศ Metcalf & Eddy (1991) แนะนำว่าอัตราภาระสารอินทรีย์ของบึงประดิษฐ์ไม่ควรเกิน 67 กก.บีโอดี/เฮกเตอร์-วัน ส่วน Tchobanoglous and Culp (1980) กล่าวว่าอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เหมาะสมกับบึงประดิษฐ์ ควรมีค่าอยู่ในช่วง 60 – 80 กก.บีโอดี/เฮกเตอร์-วัน

2.3.2 เวลากักเก็บน้ำ

เวลากักเก็บน้ำและอัตราภาระสารอินทรีย์ มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ สำหรับเวลากักเก็บน้ำที่เหมาะสม ควรอยู่ในช่วง 6 – 7 วัน (Supatpong Mattaraj , 1995)

2.4 ธูปฤาษี

ธูปฤาษี หรือ Cattail (*Typha* spp ; Family Typhaceae) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่พบกระจายทั่วไปในภูมิภาคต่างๆของโลก สำหรับประเทศไทยพบว่าเป็นธูปฤาษีชนิดใบแคบ (narrow leaved cattail, *Typha angustifolia* Linn.) ซึ่งเจริญเติบโตบริเวณหนองน้ำตื้นๆหรือแหล่งน้ำทั่วไป โดยมีอายุข้ามปี ธูปฤาษีเป็นพืชแข็งแรงและทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม

ลำต้นใต้ดินเป็น rhizome แตกกิ่งก้านสาขาแผ่กระจาย ทำให้ระบบรากซึ่งเป็นแบบรากฝอย (fibrous root system) สามารถเจริญแผ่ออกไปได้อย่างกว้างขวางและระบบรากดังกล่าวยังสานกันระหว่างกันใต้ผิวดิน ใบของธูปฤาษีเจริญออกเป็นแผงสองแนวทางด้านข้างใบเดียว แผ่นใบเรียวยาว โคนใบแผ่เป็นกาบอวบหนาหุ้มประคองต้นไว้ ใบแก่อยู่ด้านนอกหุ้มใบอ่อน ขอบใบหนา โคนใบอวบหนากว่าปลายใบ แผ่นใบมีสีเขียวเข้ม เมื่อออกดอก ช่อดอกซึ่งเป็นแบบ spike จะมีลักษณะเหมือนธูปขนาดใหญ่ สามารถสังเกตได้ชัดเจน ใบธูปฤาษีเมื่ออายุมากและเสื่อมสภาพ จะแห้งและร่วงหล่นเน่าสลายในพื้นที่

ธูปฤาษี เป็นพืชน้ำที่ช่วยบำบัดน้ำเสียได้ดีชนิดหนึ่งหนึ่ง เนื่องจากสามารถช่วยลดปริมาณบีโอดี และ ซีโอดี ในน้ำเสียของพืชที่ชุ่มน้ำ และสามารถช่วยกำจัดธาตุอาหารพืช สารฆ่าแมลง และโลหะหนักบางชนิดในน้ำเสีย พื้นที่ผิวของส่วนเหนือดินของธูปฤาษี ซึ่งได้แก่ พื้นที่ใบ พื้นที่ลำต้น และพื้นที่ส่วนขยายพันธุ์ (ช่อดอก) เป็นพื้นที่ที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างบรรยากาศพืชน้ำ และดินได้ โดยผ่านทางปากใบ (stomata) ช่องว่างของเซล (pore) และช่องว่างระหว่างเซล

มีรายงานว่า การปลดปล่อยออกซิเจนออกจากรากพืชที่เจริญเติบโตในพื้นที่ชุ่มน้ำเช่นธูปฤาษีนี้ ก่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนออกซิเจนที่ระดับผิวราก (rhizosphere) ซึ่งก่อให้เกิด 0xidized zone (Armstrong, 1964; Armstrong, 1967; Stephen และ Richardson, 1989) จากนั้นออกซิเจนที่ปลดปล่อยออกมาจึงแพร่เข้าสู่พื้นน้ำและมีส่วนช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำให้ดีขึ้นอันเนื่องมาจากปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้น

กล่าวได้ว่ากลไกการลำเลียงและปลดปล่อยออกซิเจนของธูปฤาษีอาจจำแนกเป็น 2 กลไกหลัก คือ

1) การแพร่ (Diffusion)

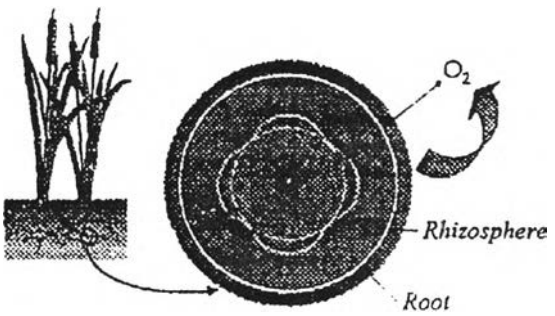
คือการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนน้อยกว่า ในระบบนิเวศของธูปฤาษีในพื้นที่ชุ่มน้ำ ออกซิเจนที่เคลื่อนย้ายนี้อาจพบได้ในการแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศสู่พื้นน้ำ และการแพร่ออกซิเจนเข้าสู่ต้นธูปฤาษีโดยผ่านทางช่องปากใบ (stomata) และ/หรือช่องว่างอื่นๆของต้นธูปฤาษีที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 μ

2) กระบวนการเทอร์โมออสโมซิส (Thermoosmosis)

เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายออกซิเจนอย่างต่อเนื่องผ่านทางช่องว่างของเซลหรือของกลุ่มเซลของธูปฤาษีที่มีขนาดเล็กกว่า 1 μ เป็นการเคลื่อนย้ายของโมเลกุลออกซิเจนผ่านช่องขนาดเล็กมากอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิและความกดอากาศของ 2 ด้านของเซล ทั้งนี้เพื่อการปรับเข้าสู่สมดุลของความกดอากาศปกติ เมื่อแผ่นใบพืชได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิผิวพื้นของแผ่นใบจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการดูดซับพลังงาน ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกแผ่นใบและอุณหภูมิภายในแผ่นความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง 2 ด้านทำให้เกิดความแตกต่างของความกดอากาศระหว่าง 2 ด้าน หากผนังที่กั้นระหว่าง 2 ด้าน นั้นมีช่องขนาดเล็ก (porous partition) อากาศจะเคลื่อนย้ายจากด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (ความกดอากาศสูงกว่า) ไปยังด้านที่มีอุณหภูมิสูงกว่า (ความกดอากาศต่ำกว่า)

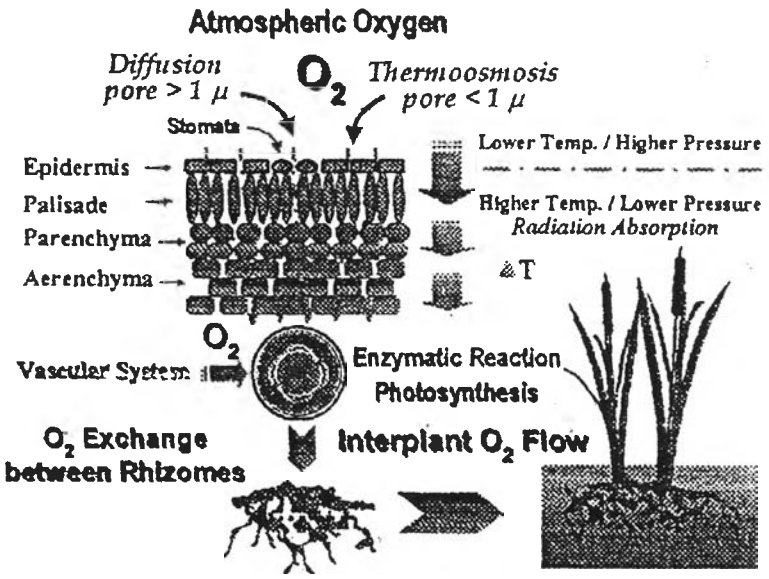
ด้วยเหตุที่โมเลกุลของอากาศจะพยายามรักษาระดับสมดุลของพลังงาน จึงก่อให้เกิดการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของอากาศไปยังเซลที่อยู่ด้านล่างถัดลงไป ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศอย่างต่อเนื่องไปจนถึงระบบราก อากาศที่เคลื่อนย้ายลงไปบริเวณรากอาจเคลื่อนย้ายแลกเปลี่ยนไปยัง rhizome ของต้นธูปฤาษีที่อยู่ข้างเคียงได้เนื่องจากความต่อเนื่องของระบบเซลและท่อลำเลียงที่พัฒนามาจาก rhizome ของต้นแม่ต้นเดียวกัน (Grosse, 1989)

อัตราการลำเลียงออกซิเจนอาจแตกต่างกันในแต่ละขณะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอายุของพืชและระดับความแตกต่างของอุณหภูมิทั้ง 2 ด้าน หากระดับความแตกต่างของอุณหภูมิผิวพื้นมีมาก อัตราการเคลื่อนย้ายออกซิเจนก็มีมากขึ้นด้วย (Grosse, 1989)



รูปที่ 2.3 การปลดปล่อยออกซิเจนสู่บริเวณระบบรากของธูปฤาษี

(Stephen และ Richardson, 1989)



รูปที่ 2.4 กลไกการเคลื่อนย้ายและการเปลี่ยนออกซิเจนจากบรรยากาศ

ไปยังบริเวณระบบรากของธูปฤาษี (มูลนิธิชัยพัฒนา, 2542)

2.5 งานวิจัยที่ผ่านมา

Thayalakumaran (1994) ศึกษาการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อบำบัดโครเมียมและนิเกิลในน้ำเสียโดยใช้ต้นธูปฤาษี สามารถกำจัดโครเมียมและนิเกิลได้สูงถึงร้อยละ 99 และ สามารถลดค่าซีโอดีที่ละลายได้ สารแขวนลอยทั้งหมด และไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 64 , 89 และร้อยละ 85 ตามลำดับ

Bernard และ Lauve (1995) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการดูดซึมแร่ธาตุในต้น *Phalaris arundinacea* ระหว่างพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติกับระบบบึงประดิษฐ์ที่รับน้ำเสียจากหลุมฝังกลบขยะ พบว่ามวลเหนือพื้นดินในระบบบึงประดิษฐ์มีค่าสูงกว่าพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ โดยต้น *Phalaris arundinacea* ในระบบบึงประดิษฐ์สามารถดูดซับไนโตรเจนได้ ปีละ 10 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ

Yin และ Shen (1995) ศึกษาการใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวตัวกลาง ในการบำบัดน้ำเสียในที่ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า – 4 ^{0} C พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดบีโอดี ร้อยละ 89 – 97 ซีโอดี ร้อยละ 78 – 87 ของแข็งแขวนลอย ร้อยละ 77- 88 ไนโตรเจนทั้งหมด ร้อยละ60 – 90 ฟอสฟอรัสทั้งหมด ร้อยละ 73 – 91 และโลหะหนักร้อยละ 72- 99 โดยใช้อัตราภาระบรรทุกน้ำ 3 – 4 cm/day

Urbance-Bercic และ Bulc (1995) ศึกษาการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นที่มีอ้อ เพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนขนาดเล็กในสโลวะเกีย ศึกษาการลดลงของสารอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจนซึ่งปรากฏว่าสามารถลดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับรอ้ยละ 85.6 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 17.1 และซีโอดีร้อยละ 94.4

Thomas, Glover และ Kaiaroopan (1995) ได้ศึกษาทดลองใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่ประกอบด้วยพืชน้ำ 2 ชนิด คือ *Schoenoplectus Schoenoplectus validus* และ *Juncus ingena* ในการบำบัดน้ำเสียชุม พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างพืช 2 ชนิดในการบำบัด กล่าวคือประสิทธิภาพการลดบีโอดีและซีโอดีอยู่ในช่วง ร้อยละ 71 - 75 สารแขวนลอยร้อยละ 85 แอมโมเนียร้อยละ 17 - 24 และไนเตรทร้อยละ 65 - 80

Martin และ Johnson (1995) พบว่ากระบวนการทางกายภาพ จุลชีวะและเคมีที่เกิดขึ้นในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบน้ำไหลใต้ผิวดิน และมีการเติมอากาศสามารถบำบัดน้ำเสียจากขยะ (leachate) โดยสามารถลดค่าต่าง ๆ คือ ไนโตรเจน สารแขวนลอย ฟอสเฟต ออร์กานิกคาร์บอน ซีโอดี และโลหะคือเหล็กและแมงกานีสได้ร้อยละ 64-99

Vrhovs , Kukanja และ Bulc (1996) ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำบำบัดน้ำเสียจากโรงานแปรรูปอาหาร พบว่าสามารถลดค่าซีโอดีร้อยละ 92 บีโอดีร้อยละ 89 ออร์โธฟอสเฟตร้อยละ 96 แอมโมเนียร้อยละ 86 และไนเตรทร้อยละ 65

Buddhawong (1996) ทดลองใช้พืช 2 ชนิดคือ กกกลม *Cyperus corymbosus* และแห้วทรงกระเทียม *Eleocharis dilcis* ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่จังหวัดสกลนคร ใน 3 ระดับความลึกของน้ำ คือ 0.15 , 0.30 และ 0.45 เมตร พบว่ากกกลมที่ระดับความลึกของน้ำ 0.5 เมตร มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการลดค่าออร์โธฟอสเฟต ฟอสฟอรัส แอมโมเนียไนโตรเจน ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจนทั้งหมด และบีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 60

Vymasal (1996) ได้สำรวจบึงประดิษฐ์แบบน้ำใต้ดินสำหรับนำบ่อน้ำเสียใน Czech Republic โดยในการสำรวจในปี 1993 พบว่ามีการสร้างมาแล้ว 28 ระบบ และมีการใช้งานตั้งแต่ปี 1989 โดยยังมีอีก 54 ระบบ ที่กำลังออกแบบโดยที่ใช้อยู่ส่วนใหญ่คือ บึงประดิษฐ์ แบบน้ำไหลใต้ดินในแนวราบ ซึ่งดีกว่าการใช้เครื่องจักรกล โดยพื้นที่ที่ใช้มีค่าอยู่ระหว่าง 20 – 6,000 ตารางเมตร ประชากรในช่วง 4 - 1200 คน พืชทั่วไปที่ใช้ คือ พืชสกุลอ้อ ตัวกลางที่ใช้ คือ กรวด ทราย หรือใช้ทั้ง 2 อย่างผสมกัน โดยประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีและของแข็งแขวนลอยอยู่มีค่าสูง ส่วนแร่ธาตุประสิทธิภาพการกำจัดยังต่ำอยู่

ลักษณี คณานิธินันท์ (1996) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของพืชพ้นน้ำ 4 ชนิดคือ กกกลม ธูปฤาษี อ้อ และแห้วทรงกระเทียม ในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์เพื่อการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ รวมถึงการเติบโตและการอยู่รอดของพืชทั้ง 4 ชนิด พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมของ กกกลม แห้วทรงกระเทียม ธูปฤาษี และต้นอ้อ เป็นร้อยละ 98.21, 95.96, 95.90 และ 94.87 ตามลำดับ รวมทั้งได้ศึกษาถึงการสะสมโครเมียมในดินและพืช ปรากฏว่าดินและพืชมีปริมาณโครเมียมเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยดินมีปริมาณโครเมียมใกล้เคียงกันทุกบ่อ และมีค่าเฉลี่ยสูงสุด 29.156 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง สำหรับพืชพบว่าแห้วทรงกระเทียมมีปริมาณการสะสมโครเมียมเมื่อสิ้นสุดการทดลองสูงสุด คือ 397.150 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

Koottatep และ Polprasert (1997) ได้ศึกษาบทบาทการดูดซับของพืชในการกำจัดไนโตรเจนในระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลผ่านเหนือพื้นดินในแถบเขตร้อน ซึ่งทำในพื้นที่ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่โดยปลูกต้นธูปฤาษี 35 ต้น/m^2 พบว่าในระหว่าง 8 สัปดาห์ผลของการดูดซับไนโตรเจนของพืชอยู่ในช่วง 7.1 – 7.5 Kg/(ha.day) ประสิทธิภาพในการกำจัด TKN อยู่ในช่วงร้อยละ 40 – 70 และ COD อยู่ในช่วงร้อยละ 71 – 83

Green et al. (1997) ได้ศึกษาการกำจัด E.coli และโคลิฟร์อมทั้งหมดของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน โดยทำการศึกษาจากบึงประดิษฐ์ทั้งที่ใช้งานจริงและในห้องทดลอง ทั้งสองระบบปลูกต้นอ้อบนตัวกลางที่เป็นกรวดขนาด 5 - 10 มม. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการบำบัดขั้นที่สอง จากการตรวจสอบการกำจัด E.coli และโคลิฟอร์มทั้งหมดในบึงประดิษฐ์ที่ใช้งานจริงเป็นเวลา 2 ปี พบว่าในฤดูฝนประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลง แต่การกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และแอมโมเนีย ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง

Tjasa, Danijel และ Vlasta (1997) ศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน ขนาด 450 ตารางเมตร ปลูกกก ต้นอ้อ (*Phragmites australis*) น้ำชะมูลฝอยที่ใช้ทำการทดลองมีความเข้มข้นของซีโอดี 1,240 มก./ล. บีโอดี 60 มก. /ล. แอมโมเนียไนโตรเจน 88 มก./ล. ของแข็งแขวนลอย 400 มก./ล. และเหล็ก 10 มก./ล. ป้อนเข้าระบบบึงประดิษฐ์ที่ภาระปริมาณน้ำ 3 ซม./วัน พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 68 บีโอดีร้อยละ 46 แอมโมเนียไนโตรเจนร้อยละ 81 และเหล็กร้อยละ 80

Maschinski และคณะ (1999) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่ปลูกพืชท้องถิ่นที่ขึ้นอยู่ทางตะวันตกเฉียงใต้ของสหรัฐอเมริกา 16 ชนิด โดยระบบใหญ่ประกอบด้วยระบบขนาดเล็ก 3 ระบบต่อกันแบบอนุกรม พบว่าพืช 15 ใน 16 ชนิด สามารถอยู่รอดได้อย่างน้อยใน 1 ระบบขนาดเล็ก โดยอัตราการอยู่รอดจะขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งของพืชในระบบ, ความลึกของน้ำ และลักษณะเฉพาะของพืชแต่ละชนิด ซึ่งระบบสามารถกำจัดมลพิษต่างๆทางเคมีได้ รวมทั้งสามารถกำจัดแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคได้ด้วย

Lee, Stansbury และ Zhang (1999) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิต่ำต่อการกำจัดแอมโมเนียของระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้กรวดเป็นตัวกลาง โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไนโตรเจน 45 มก./ล. และไม่มีการปลูกพืช อุณหภูมิที่ใช้ คือ 5, 11.5, 15 และ 23 องศาเซลเซียส ซึ่งทำการทดลองในห้องที่ควบคุมสภาพแวดล้อม พบว่าระบบสามารถกำจัดแอมโมเนียได้ร้อยละ 45 , 44 , 56 และ 65 ตามลำดับ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Billore และคณะ (1999) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลผ่านใต้ดินในแนวราบ โดยใช้น้ำเสียจากที่อยู่อาศัยของชุมชนเล็กๆในอินเดียกลางซึ่งผ่านการบำบัดขั้นต้นก่อน ตัวกลางที่ใช้คือกรวดใส่ลงบนพื้นดินเหนียว ใช้หญ้าท้องถิ่น Phragmites karka หลังจากให้น้ำเสียผ่านระบบ 5 เดือน พบว่าอัตราการกำจัด NH_4-N และ TSS มีค่าร้อยละ 78 ส่วน ฟอสฟอรัส บีโอดี และ ทีเคเอ็น มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 58 – 65 และน้ำออกมีระดับของ DO เพิ่มขึ้นร้อยละ 34 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลผ่านใต้ดินเป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายต่ำและมีประสิทธิภาพในการกำจัด แอมโมเนีย ฟอสฟอรัส บีโอดี และ ทีเคเอ็น ได้มากกว่าร้อยละ 50

Kantawanichkul และคณะ (1999) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวดิ่ง ซึ่งใช้หญ้าแฝก Vetiveria zizanioides Nash ซึ่งเป็นหญ้าโดยทั่วๆไปในเมืองไทย โดยใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกร แล้วเปรียบเทียบกับระบบที่ปลูกต้น Vetiveria zizanioides Nash และ Cyperus flabeliformis ที่ใช้น้ำเสียจากชุมชนที่อยู่อาศัย พบว่าพืชทั้งสองชนิดเหมาะสำหรับระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวดิ่งที่อยู่ในพื้นที่แถบเขตร้อน ภายใต้อัตราภาระบรรทุกน้ำ 121 mm/day และ COD 198 Kg/ha.day