กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ศึกษาในนามสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเซีย ขอขอบคุณกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ได้ไว้วางใจมอบหมายให้สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเซียดำเนินการศึกษาโครงการพัฒนาแนวทางด้านเทคนิคและสาธิตระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ขึ้น ในการดำเนินการศึกษานี้คณะที่ปรึกษาได้รับคำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์จากคณะกรรมการตรวจการปฏิบัติงาน พร้อมทั้งได้ให้ความร่วมมือและสนับสนุนเป็นอย่างดีตลอดเวลาดำเนินการ คณะผู้ศึกษาจึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นพิเศษต่อบุคคลดังมีรายนามต่อไปนี้

นายอภิชัย ชวเจิญพันธ์ อธิบดีกรมควบคุมมลพิษ นายอดิศักดิ์ ทองไข่มุกต์ รองอธิบดีกรมควบคุมมลพิษ นายสุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา รองอธิบดีกรมควบคุมมลพิษ และคณะกรรมการตรวจการปฏิบัติงานของที่ปรึกษา ได้แก่ ดร.อนุพันธ์ อิฐรัตน์ นางกัญชลี นาวิกภูมิ นายสมชาย ทรงประกอบ นางสาวสุรีรัตน์ ถมยาศิริกุล และนางสาวนวนุช ทองแป้น

ขอขอบพระคุณ ดร.ประสิทธิ์ จันทกลาง, คุณดนัย สารพฤกษ์ และเจ้าหน้าที่ทุกๆท่าน ในองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านกลาง จังหวัดลำพูน ที่ก่อสร้าง ดำเนินการและดูแลรักษาระบบฯ

ขอขอบพระคุณ ดร. ศุวศา กานตวนิชกูร และนักศึกษาจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ให้คำแนะนำและดูแลการเก็บตัวอย่างน้ำ เพื่อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบฯ ซึ่งช่วยให้งานศึกษานี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

สารบัญ i

สารบัญรูปภาพ v

สารบัญตาราง vi

สัญลักษณ์และคำย่อ ix

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 ทฤษฎีของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ 2

2.1 ความหมายของบึงประดิษฐ์ 2

2.2 องค์ประกอบของบึงประดิษฐ์ 6

2.2.1 ชั้นกรอง (Substrata) 6

2.2.2 จุลินทรีย์ (Microbial Organisms) 7

2.3 ชนิดและหน้าที่ของบึงประดิษฐ์ 8

2.3.1 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (Free Water Surface Systems: FWS) 9

2.3.2 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (Subsurface Flow Systems: SF) 10

2.3.3 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง (Vertical Flow Systems: VF) 12

2.4 กลไกการไหลของน้ำในบึงประดิษฐ์ 13

2.4.1 การไกลแบบตามกัน (Plug-Flow) 13

2.4.2 การเติมน้ำเสียแบบเป็นขั้น (Step Feed) 14

2.4.3 การสูบน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับไปยังจุดเริ่มต้นใหม่ (Recirculation) 14

2.5 พืชในบึงประดิษฐ์ 15

2.5.1 หน้าที่ของพืชในบึงประดิษฐ์ 15
2.5.2 ชนิดและลักษณะของพืชในบึงประดิษฐ์ 17
2.5.3 ปัจจัยในการพิจารณาเลือกพืชในบึงประดิษฐ์ 21
2.6 กลไกและประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ 23
2.6.1 กลไกและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวนอน 24
2.6.2 กลไกและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลของบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวดิ่ง 31
2.7 การเปรียบเทียบบึงประดิษฐ์กับบ่อผึ่งและการผสมผสานบึงประดิษฐ์กับบ่อผึ่ง 39

บทที่ 3 การเลือกใช้และการออกแบบระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ 44
3.1 การเลือกใช้ระบบ 44
3.1.1 ประเภทและลักษณะน้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ 45
3.1.2 ประเภทและลักษณะสิ่งปฏิกูลที่บำบัดด้วยระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ 47
3.2 กระบวนการและเกณฑ์การออกแบบทางด้านวิศวกรรมของบึงประดิษฐ์ 50
3.2.1 กระบวนการออกแบบ 50
3.2.2 การพิจารณาเกณฑ์การออกแบบ 60
3.2.3 การออกแบบระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ 65

บทที่ 4 การประมาณราคาค่าก่อสร้าง ค่าเดินระบบและดูแลรักษาระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ 78
4.1 การประมาณราคาเบื้องต้นสำหรับค่าก่อสร้าง ค่าเดินระบบและดูแลรักษาระบบบึงประดิษฐ์ สำหรับบำบัดน้ำเสีย 79
4.2 การประมาณราคาเบื้องต้นสำหรับค่าก่อสร้าง ค่าเดินระบบและดูแลรักษาระบบบึงประดิษฐ์ สำหรับบำบัดสิ่งปฏิกูล 80

บทที่ 5 การเดินระบบ การประเมินประสิทธิภาพ การควบคุมดูแลรักษา ปัญหาและแนวทางแก้ไข 83

5.1 การเดินระบบ 83

5.1.1 การเตรียมบึงประดิษฐ์และการปลูกพืช 83

5.1.2 การเริ่มเดินระบบ 84

5.2 การควบคุมดูแลรักษาระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ 85

5.2.1 การควบคุมดูแลรักษาระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับน้ำเสีย 86

5.2.2 การควบคุมดูแลรักษาระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับสิ่งปฏิกูล 90

5.3 การประเมินผลและประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ 93

5.3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ 94

5.3.2 การเก็บตัวอย่างตะกอน 98

5.3.3 การเก็บตัวอย่างพืช 102

5.3.4 ตัวชี้วัดอย่างง่ายในการประเมินสภาวะของระบบ 103

5.4 ปัญหาและแนวทางแก้ไข 104

5.4.1 ระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับน้ำเสีย 104

5.4.2 ระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับสิ่งปฏิกูล 105

5.5 การตรวจสอบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 106

บทที่ 6 การใช้ประโยชน์จากระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ 108

6.1 การใช้ประโยชน์จากน้ำที่ผ่านการบำบัดทางการเกษตร 109

6.2 การใช้ประโยชน์จากตะกอนที่ผ่านการบำบัด 111

6.3 การใช้ประโยชน์ระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์เมื่อหมดอายุการใช้งาน 119

บรรณานุกรม 121

ภาคผนวก

ก) ตัวอย่างการประมาณราคาค่าก่อสร้างและเดินระบบบึงประดิษฐ์ โครงการพัฒนาและสาธิตรูปแบบการจัดการน้ำเสียแบบติดกับที่ สำหรับแหล่งท่องเที่ยวประเภทเกาะ

ข) ตัวอย่างแบบแปลนระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับน้ำเสียและสิ่งปฏิกูล

ค) ข้อกำหนดรายละเอียดประกอบแบบของระบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดสิ่งปฏิกูล

ง) รายการประมาณราคาระบบบึงประดิษฐ์สำหรับน้ำเสียและสิ่งปฏิกูล

จ) คำถาม – คำตอบ ที่พบบ่อย เกี่ยวกับระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ **หน้า**

2.1 ลักษณะการบำบัดน้ำเสียของบึงธรรมชาติ 4
2.2 ชั้นกรองของระบบบึงประดิษฐ์ 7
2.3 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (Free Water Surface Systems: FWS) 9
2.4 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (Subsurface Flow Systems: SF) 11
2.5 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง (Vertical Flow: VF) 12
2.6 รูปแบบการไหลของน้ำในบึงประดิษฐ์ 15
2.7 การส่งผ่านออกซิเจนในระบบบึงประดิษฐ์ 16
2.8 ลักษณะของพืชลอยน้ำ (Floating plant) 18
2.9 ลักษณะของพืชโผล่เหนือน้ำ (Emergent plant) 19
2.10 ลักษณะของพืชใต้น้ำ (Submerged plant) 20
2.11 กลไกการกำจัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ 26
2.12 กลไกการกำจัดไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ 28
2.13 กลไกในการบำบัดของเสียที่เกิดขึ้นในบ่อผึ่ง 40
2.14 การผสมผสานระหว่างบึงประดิษฐ์และบ่อผึ่งสำหรับบำบัดของเสีย 43
5.1 ลักษณะของถุงพลาสติกที่ใช้เก็บตัวอย่างตะกอน 99
5.2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างตะกอน 102

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงธรรมชาติ 4

2.2 หน้าที่ของพืชโผล่เหนือน้ำในระบบบึงประดิษฐ์ 19

2.3 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชในระบบบึงประดิษฐ์ 21

2.4 องค์ประกอบการเลือกชนิดของพืชในระบบ 22

2.5 ความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสและอัตราการนำไปใช้ในพืช 23

2.6 กลไกการบำบัดน้ำเสียในระบบบึงประดิษฐ์ 24

2.7 ผลการกำจัดค่าบีโอดีและของแข็งแขวนลอยในบึงประดิษฐ์ 27

2.8 ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อโรคในบึงประดิษฐ์ 30

2.9 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยบึงประดิษฐ์ที่มีการเดินระบบแบบ 2 บ่อต่อกัน 33

2.10 ค่าเฉลี่ยปริมาณ TS, TCOD, TKN, NH_4 และ NO_3 ในน้ำที่ซึมผ่านชั้นกรองและประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียของแบบจำลองบึงประดิษฐ์ที่มีการเดินระบบแบบ I-IV 35

2.11 ค่าเฉลี่ยปริมาณ TS, TCOD, TKN, NH_4 และ NO_3 ในน้ำที่ซึมผ่านชั้นกรองและประสิทธิภาพ ในการกำจัดของเสียของแบบจำลองบึงประดิษฐ์ที่มีการเดินระบบแบบ V-VI 36

2.12 สมดุลมวล (Mass Balance) ของของแข็งทั้งหมด (TS) ในแบบจำลองบึงประดิษฐ์หลังจากที่มีการเดินระบบเป็นระยะเวลา 300 วัน 37

2.13 เกณฑ์การออกแบบ กลไก และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของบ่อผึ่งและบึงประดิษฐ์ 41

2.14 การเปรียบเทียบความแตกต่างของระบบบึงประดิษฐ์กับระบบบ่อผึ่งสำหรับระบบขนาดการบำบัดเท่ากัน 42

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 ลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไป 45

3.2 ข้อมูลของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากอาคารประเภทต่างๆ 46

3.3 ค่า BOD_5 ของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท 47

3.4 คุณสมบัติโดยทั่วไปของสิ่งปฏิกูล 48

3.5 คุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลจากเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 49

3.6 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการปูพื้นบ่อ 53

3.7 สรุปค่าเกณฑ์การออกแบบสำหรับระบบบึงประดิษฐ์ แบบที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองและใต้ผิวชั่นกรอง สำหรับน้ำเสีย 61

3.8 เกณฑ์การออกแบบสำหรับระบบบึงประดิษฐ์ แบบที่น้ำไหลในแนวดิ่งสำหรับน้ำเสีย 62

3.9 เกณฑ์การออกแบบสำหรับระบบบึงประดิษฐ์ แบบที่น้ำไหลในแนวดิ่งสำหรับสิ่งปฏิกูล 62

3.10 ค่า C_e/C_o ที่ได้จากการประมาณและที่วัดได้จริงในบึงประดิษฐ์ที่ Listowel, Ontrario 68

3.11 สรุปเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบบึงประดิษฐ์แบบ FWS 68

3.12 ลักษณะของตัวกรองที่ใช้ในบึงประดิษฐ์แบบ SF 73

4.1 ราคาประมาณการค่าก่อสร้าง ค่าดำเนินการ และดูแลรักษาระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสีย 79

4.2 ราคาประมาณการก่อสร้าง ค่าดำเนินการและดูแลรักษาระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดสิ่งปฏิกูล 80

4.3 ราคาค่าก่อสร้างและค่าดำเนินการและดูแลรักษาระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ในประเทศไทย 81

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

5.1 การเตรียมสิ่งปฏิกูลในช่วงแรกของการเริ่มต้นเดินระบบ 84

5.2 การเก็บเกี่ยวพืชแต่ละชนิด 88

5.3 ลักษณะการควบคุมดูแลบึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการบำบัดสิ่งปฏิกูล 92

5.4 ตารางการเก็บและตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างจากระบบบึงประดิษฐ์ 93

5.5 สรุปวิธีการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ 97

5.6 ปริมาณตะกอนที่ต้องทำการเก็บตัวอย่างเปรียบเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100

6.1 คุณสมบัติของตะกอนและน้ำจากระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลด้วยบึงประดิษฐ์ และการปรับปรุงคุณภาพ 108

6.2 ลักษณะทางชีววิทยาของน้ำที่เหมาะสมสำหรับนำกลับมาใช้ในการเกษตร 110

6.3 ค่าความเข้มข้นของพารามิเตอร์อื่นๆในน้ำที่จะนำกลับมาใช้ในการเกษตร 111

6.4 การแบ่งระดับคุณภาพของกากตะกอนตามปริมาณความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนัก 113

6.5 การแบ่งระดับคุณภาพ ของกากตะกอนตามปริมาณเชื้อโรคที่ปนเปื้อน 114

6.6 วิธีการจัดการที่เหมาะสมสำหรับกากตะอนแต่ละประเภท 116

6.7 อัตราความต้องการธาตุอาหารสำหรับพืชบางชนิด 116

6.8 ปริมาณโลหะหนักสูงสุดสำหรับกากตะกอนที่สามารถนำมาใส่ในดินได้ และอัตราการสะสมสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในดิน 119

สัญลักษณ์และคำย่อ

AIT	=	Asian Institute of Technology
BOD_5	=	Biochemical oxygen demand in 5 day
CH_4	=	Methane
COD	=	Chemical oxygen demand
CO_2	=	Carbon dioxide
CW	=	Constructed Wetland
EAWAG	=	Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
FAO	=	Food And Agriculture Organization Of The United Nation
FWS	=	Free water surface flow
HF	=	Horizontal flow
$HgCl_2$	=	Mercuric Chloride
H_2S	=	Hydrogen Sulfide
HRT	=	Hydraulic retention time
H_2SO_4	=	Sulfuric Acid
H : V	=	Horizontal: Ventricle
N_2	=	Nitrogen (gas)
NH_4-N	=	Ammonium nitrogen
NO_3-N	=	Nitrate nitrogen
NO_2-N	=	Nitrite Nitrogen
NH_3	=	Ammonia
N_2O	=	Nitrous Oxide
NTU	=	Nephelometric Turbidity Units
Org-N	=	Organic Nitrogen
O_2	=	Oxygen (gas)
PO_4^{-3}	=	Phosphate

PF	=	Plug Flow
SANDEC	=	Department of Water and Sanitation in Developing Countries
SLR	=	Solid Loading Rate
SF	=	Subsurface Flow
SS	=	Suspended Solid
TDS	=	Total Dissolved Solid
TKN	=	Total Kjedahl Nitrogen
TS	=	Total Solid
UV	=	Ultraviolet
VF	=	Vertical Flow
VSB	=	Vegetated Submerged Bed
WPCF	=	Wedding Professionals of Central Florida
$HgCl_2$	=	Mercuric Chloride

สัญลักษณ์สำหรับสูตรทางคณิตศาตร์

A	=	สัดส่วนของบีโอดีที่ไม่สามารถจมตัวได้กับของแข็งที่สามารถจมตัวได้ในส่วนแรกของ ช่องทางน้ำเข้า (มีค่าเป็นจุดทศนิยม)
A_C	=	$d.W$, พื้นที่หน้าตัดของชั้นกรองที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำ, (ตร.ม.)
A_V	=	พื้นที่ผิวจำเพาะสำหรับให้จุลินทรีย์เจริญเติบโต, (ตร.ม./ลบ.ม.)
A_S	=	พื้นที่ผิวของระบบ (ตร.ม.)
Ce	=	ค่าบีโอดีในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ, (มก./ลิตร)
Co	=	ค่าบีโอดีในน้ำที่เข้าสู่ระบบ, (มก./ลิตร)
d	=	ความลึกของระบบ, (เมตร)
K_T	=	อุณหภูมิ-ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (วัน$^{-1}$)
K_S	=	ค่าการนำการไหลของตัวกรอง, (ลบ.ม./ตร.ม.-วัน)

L	=	ความยาวของระบบ, (เมตร)
n	=	ปริมาตรรวมของช่องว่าง, (มีค่าเป็นจุดทศนิยม)
Q	=	อัตราการไหลเฉลี่ย = $(Q_{น้ำเข้า}+Q_{น้ำออก})/2$
S	=	ความลาดเอียงของพื้นบ่อ, หรือความลาดเอียงของเส้นระดับผิวน้ำ (มีค่าเป็นจุดทศนิยม)
T	=	ระยะเวลาที่น้ำถูกกักพักในระบบ, (วัน)
t	=	ระยะเวลากักพักน้ำในระบบ, (วัน)
W	=	ความกว้างของระบบ, (เมตร)

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันการพัฒนา และประยุกต์ใช้ระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียสำหรับประเทศไทยได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงในการบำบัดสารอินทรีย์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ของแข็งแขวนลอย และโลหะหนัก นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำในการก่อสร้างระบบ การดำเนินระบบ และการดูแลบำรุงรักษา ระบบบำบัดฯ ดังกล่าวอาศัยกระบวนการทางธรรมชาติผสมผสานกับการปลูกพืชซึ่งมีลักษณะคล้ายกับพื้นที่ชุ่มน้ำ ทำให้เป็นส่วนสำคัญในการส่งเสริมการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและความหลากหลายทางชีวภาพ ระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์นอกจากจะใช้บำบัดน้ำเสียชุมชน อุตสาหกรรม และเกษตรกรรมแล้ว ยังสามารถประยุกต์ใช้บำบัดของเสียประเภทสิ่งปฏิกูลจากบ้านเรือนหรือชุมชนเมืองได้อีกด้วย ซึ่งกรมควบคุมมลพิษร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ดำเนินการทดลองระบบสาธิตบำบัดสิ่งปฏิกูลขนาด 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ในพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลบ้านกลาง อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน และได้ผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์และคาดว่าจะสามารถพัฒนาให้เป็นระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลขนาดใหญ่ขึ้น โดยสามารถบำบัดสิ่งปฏิกูลทั้งหมดจากองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านกลางได้ในอนาคต ทั้งนี้ คาดว่าแหล่งชุมชนในพื้นที่อื่นๆ หรือผู้ที่สนใจสามารถศึกษาข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลโดยใช้ระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ และนำไปใช้ปฏิบัติได้อย่างถูกหลักวิชาการ จึงได้จัดทำคู่มือวิชาการระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูล ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหารายละเอียดเกี่ยวกับระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ ตลอดจนการออกแบบ ประมาณราคาก่อสร้าง และการดำเนินระบบและดูแลบำรุงรักษา รวมทั้งการประยุกต์ใช้ในการบำบัดสิ่งปฏิกูลและการนำน้ำทิ้งและกากตะกอนจากระบบฯ ไปใช้ประโยชน์ เป็นต้น

วัตถุประสงค์ของการจัดทำคู่มือวิชาการระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูล

1. เพื่อเผยแพร่ความรู้และเทคนิควิชาการเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลโดยใช้ระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์
2. เพื่อใช้เป็นคู่มือวิชาการสำหรับหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง ภาคเอกชน และประชาชน นำไปใช้ดำเนินการจัดการน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลด้วยบึงประดิษฐ์ที่ถูกหลักวิชาการ

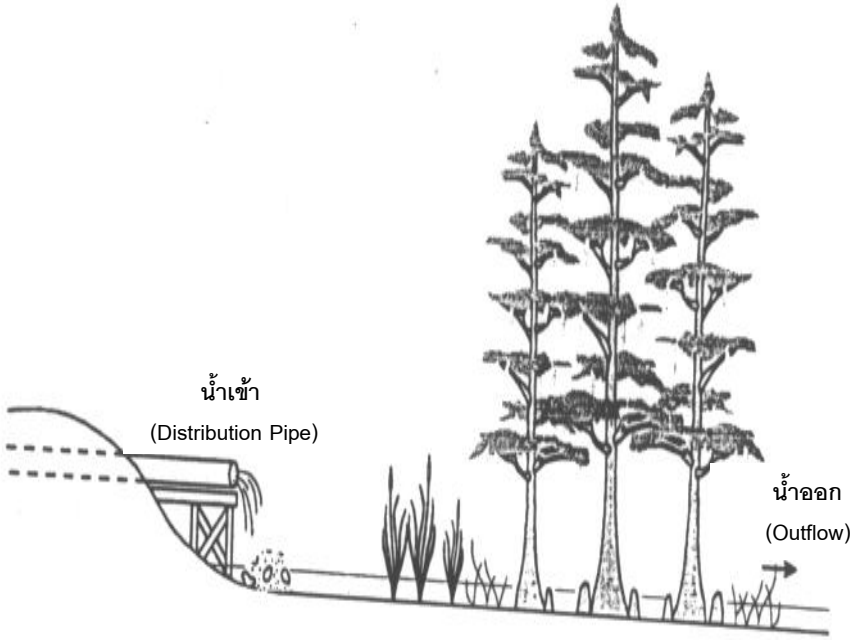
บทที่ 2

ทฤษฎีของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

2.1 ความหมายของบึงประดิษฐ์

บึงหรือพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetlands) หมายถึง พื้นที่ซึ่งมีน้ำท่วมถึงหรือชุ่มไปด้วยน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดินในระยะเวลานานพอที่จะทำให้พื้นที่นั้นคงสภาวะการอิ่มตัวด้วยน้ำไว้ได้ (U.S. EPA 1988) โดยในพื้นที่ชุ่มน้ำนี้ยังเป็นบริเวณที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนพลังงานและสารอาหารระหว่างดวงอาทิตย์กับสิ่งมีชีวิตที่อาศัยภายในบึง นอกจากนี้บึงยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ต่างๆมากมาย เช่น เต่า กบ งู ปลา เป็ด นกอพยพ เป็นต้น ซึ่งเป็นสถานที่ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสามารถรักษาสมดุลให้กับสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปแล้วความลึกของน้ำในบึงจะมีระดับแตกต่างกันไป ประมาณ 1 – 2 เมตร และน้ำจะไหลผ่านเข้าในพืชที่ขึ้นกันอยู่หนาแน่นอย่างช้าๆ พืชส่วนใหญ่ที่พบในบึงต้องเป็นพืชที่ทนต่อสภาพน้ำท่วมและสภาพขาดออกซิเจนของดินได้

โดยทั่วไปแล้วการใช้บึงธรรมชาติในการบำบัดของเสียจะมีรูปแบบของการไหลในแนวนอน ดังแสดงใน **รูปที่** 2.1 โดยบึงธรรมชาติจะสามารถบำบัดของเสียได้ด้วยกระบวนการกรอง, การตกตะกอน, การดูดซับสารอาหารของพืชและการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียโดยระบบบึงธรรมชาติได้แสดงไว้ใน **ตารางที่** 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะการบำบัดของเสียของบึงธรรมชาติ

ตารางที่ 2.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงธรรมชาติ

พารามิเตอร์	ประสิทธิภาพในการบำบัด (ร้อยละ)
สารอินทรีย์	70 – 96
ของแข็งแขวนลอย	60 – 90
ไนโตรเจน	40 – 90

ที่มา: Koottatep et al, 2002

จากข้อมูลประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียโดยระบบบึงธรรมชาติที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 พบว่าระบบบึงธรรมชาติ สามารถใช้เป็นแหล่งรองรับและบำบัดของเสียได้ในระดับหนึ่งโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการออกแบบและก่อสร้างระบบบำบัดขึ้นมาใหม่ อย่างไรก็ตามแหล่งกำเนิดของเสียที่ต้องการบำบัดด้วยบึงธรรมชาติควรต้องตั้งอยู่ใกล้กับบึงมิเช่นนั้นจะมีค่าใช้จ่ายในการรวบรวมและขนถ่ายของเสียมาสู่บึงเพิ่มขึ้น ดังนั้นระยะห่างระหว่างบึงธรรมชาติและแหล่งกำเนิดของเสีย จึงเป็นข้อจำกัดหลักของการเลือกใช้บึงธรรมชาติในการบำบัดของเสีย

บึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands) ได้ถูกสร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเลียนแบบ บึงหรือพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติด้วยการปลูกพืชชนิดต่างๆ เช่น พืชจำพวก อ้อ (*Phragmites*), กก (*Scirpus*) และธูปฤาษี (*Typha*) บนทราย, กรวดหรือดิน ซึ่งใช้เป็นตัวกรอง ในบางครั้งบึงประดิษฐ์อาจถูกออกแบบให้มีรูปร่างแตกต่างกันไป แต่ส่วนใหญ่แล้วจะมีลักษณะเป็นร่องหรือช่องแคบๆ และยาว

การสร้างบึงประดิษฐ์ จะช่วยหลีกเลี่ยงข้อขัดแย้งและปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดจากการใช้บึงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสียได้ นอกจากนี้บึงประดิษฐ์สามารถออกแบบเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้สูงสุด บึงประดิษฐ์จะมีความแตกต่างกับบึงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติตรงที่บึงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะมีข้อจำกัดว่าแหล่งกำเนิดน้ำเสียที่ต้องการบำบัดจะต้องตั้งอยู่ใกล้กับบึง แต่สำหรับบึงประดิษฐ์นั้นสามารถสร้างได้ในเกือบทุกพื้นที่แม้แต่ในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดในเรื่องการใช้ที่ดิน โดยทั่วไปแล้วบึงประดิษฐ์จะมีประสิทธิภาพการทำงานได้ดีกว่าบึงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติที่มีขนาดพื้นที่เท่ากัน เพราะจะมีการปรับระดับดินที่พื้นบ่อและมีการควบคุมระบบการไหลของน้ำภายในบ่อ และสามารถปรับเปลี่ยนหรือดัดแปลงกระบวนการทำงานต่างๆ ภายในบ่อได้ตามความต้องการ โดยอาศัยหลักการจัดการเกี่ยวกับพืชและองค์ประกอบอื่นๆ ของระบบ (Reed *et al.,* 1988)

บึงประดิษฐ์ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ประหยัดและมีประสิทธิภาพดีระบบหนึ่ง ซึ่งใช้ประโยชน์จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างพืชที่ปลูกในระบบกับจุลินทรีย์ในการกำจัดของเสีย โดยทั่วไปแล้วบึงประดิษฐ์ได้ถูกออกแบบและควบคุมให้มีการทำงานโดยมีรูปแบบการไหลของน้ำในแนวนอน (Horizontal-Flow) ซึ่งได้แก่ ระบบที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (Free Water Surface Flow) และระบบที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (Subsurface Flow) ในขณะที่บึงประดิษฐ์ที่มีรูปแบบการไหลของน้ำในแนวดิ่ง (Vertical-Flow) โดยทั่วไปจะใช้ในการกำจัดกากตะกอนหรือของเสียจากบ่อเกรอะซึ่งมีของแข็ง (Solids) เป็นส่วนประกอบอยู่ปริมาณมาก

จากการศึกษาข้อมูลการทำงาน และค่าใช้จ่ายในการลงทุนในแบบจำลองบึงประดิษฐ์ขนาดใช้งานจริงและในพื้นที่จริง พบว่าบึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดของเสียอีกระบบหนึ่งที่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนก่อสร้าง, การควบคุมการทำงานและบำรุงรักษาระบบค่อนข้างต่ำ (Kadlec and Kngiht, 1995 and Cooper *et al.*,1996) ดังนั้นประโยชน์ที่จะได้รับจากการใช้บึงประดิษฐ์ในการบำบัด และนำของเสียกลับมาใช้ใหม่จึงกำลังได้รับความสนใจในปัจจุบันทั้งในแง่ของความสามารถในการรองรับของเสียขั้นต้นที่เกิดขึ้น และการเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่าด้วย ใน 2-3 ปีที่ผ่านมาบึงประดิษฐ์ได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆ รวมไปถึงการนำไปใช้เพื่อกำจัดกากตะกอนที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียอื่นๆ อีกด้วย (Heinss and Koottatep, 1998)

2.2 **องค์ประกอบของบึงประดิษฐ์** (Wetland Component)

องค์ประกอบของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลมีดังต่อไปนี้

2.2.1 **ชั้นกรอง** (Substrata)

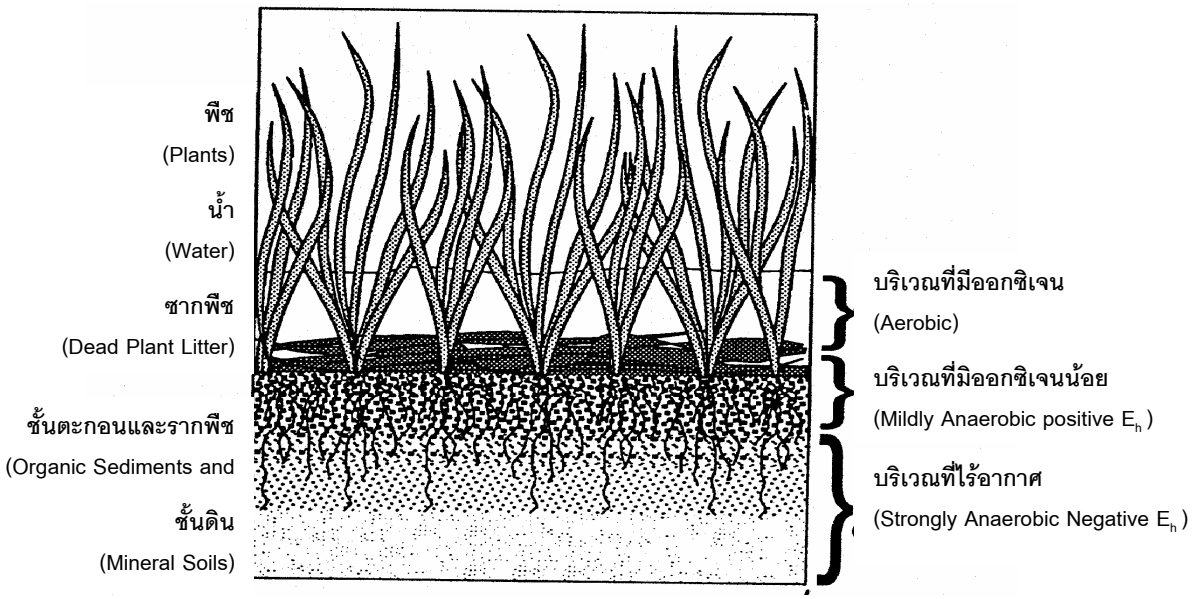
ชั้นกรองที่เลือกนำมาใช้ในบึงประดิษฐ์มักเป็นวัสดุที่มีในธรรมชาติ คือ กรวด หิน และทราย ซึ่งสามารถหาได้ทั่วไปโดยจะใช้เพียงชนิดหนึ่งชนิดใดหรือใช้รวมกันก็ได้ ช่องว่างในชั้นกรองเหล่านี้จะใช้เป็นช่องทางการไหลของน้ำในระบบบึงประดิษฐ์ นอกจากจะเป็นที่อยู่ของพืชและที่ยึดเกาะสำหรับจุลินทรีย์แล้วชั้นกรองยังเป็นพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบต่างๆ ด้วย ลักษณะทางกายภาพของชั้นกรองก็มีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียด้วย ตัวอย่างเช่นชั้นกรองที่เป็นทรายหรือกรวดนิยมนำมาใช้สำหรับบำบัดน้ำเสีย เพราะมีอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันขึ้นกับระบบและพืชสามารถยึดเกาะได้ง่าย

ชั้นกรองของระบบบึงประดิษฐ์นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับแยกตามปริมาณของออกซิเจน ดังแสดงใน**รูปที่** 2.2 ซึ่งได้แก่

- บริเวณที่มีออกซิเจน (Aerobic) เป็นบริเวณผิวน้ำของระบบบึงประดิษฐ์ บริเวณนี้น้ำเสียสามารถแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับอากาศได้

- บริเวณที่มีออกซิเจนน้อย (Mildly Anaerobic) เป็นบริเวณที่อยู่ถัดจากชั้นที่มีออกซิเจน (Aerobic)ชั้นนี้เป็นชั้นที่มีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างน้อยเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีซากพืชสะสมอยู่ อย่างไรก็ตามระบบรากของพืชที่ยึดเกาะอยู่ในชั้นนี้สามารถปล่อยออกซิเจนออกมาสู่ชั้นกรองได้บางส่วน

- บริเวณที่ไร้ออกซิเจน (Strongly Anaerobic) เป็นบริเวณที่อยู่ชั้นสุดท้ายหรือล่างสุดของชั้นกรอง และในบริเวณนี้จะอยู่ในสภาพไร้อากาศ



รูปที่ 2.2 ชั้นกรองของระบบบึงประดิษฐ์

2.2.2 **จุลินทรีย์** (Microbial Organisms)

จุลินทรีย์ที่พบในบึงประดิษฐ์ มีมากมายหลายชนิด เช่น แบคทีเรีย รา สาหร่าย และโปรโตซัว ซึ่งภายในบึงประดิษฐ์นี้สามารถแบ่งชนิดของจุลินทรีย์ได้เป็น 2 ชนิด คือ

- แบคทีเรียชนิดแขวนลอย คือ แบคทีเรียที่เจริญเติบโตและอาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำของระบบบึงประดิษฐ์เป็นแบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ

- แบคทีเรียชนิดเกาะติด คือ แบคทีเรียที่เจริญเติบโตและอาศัยอยู่ในส่วนที่จมอยู่ในน้ำของพืช (ราก, ลำต้น) ในดิน ทราย หรือเกาะบนตัวกลางโดยตรงสำหรับบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน นอกจากนี้จุลินทรีย์ต่างๆ ยังสะสมอยู่ในชั้นตะกอนบริเวณด้านล่างของระบบบึงประดิษฐ์ด้วย

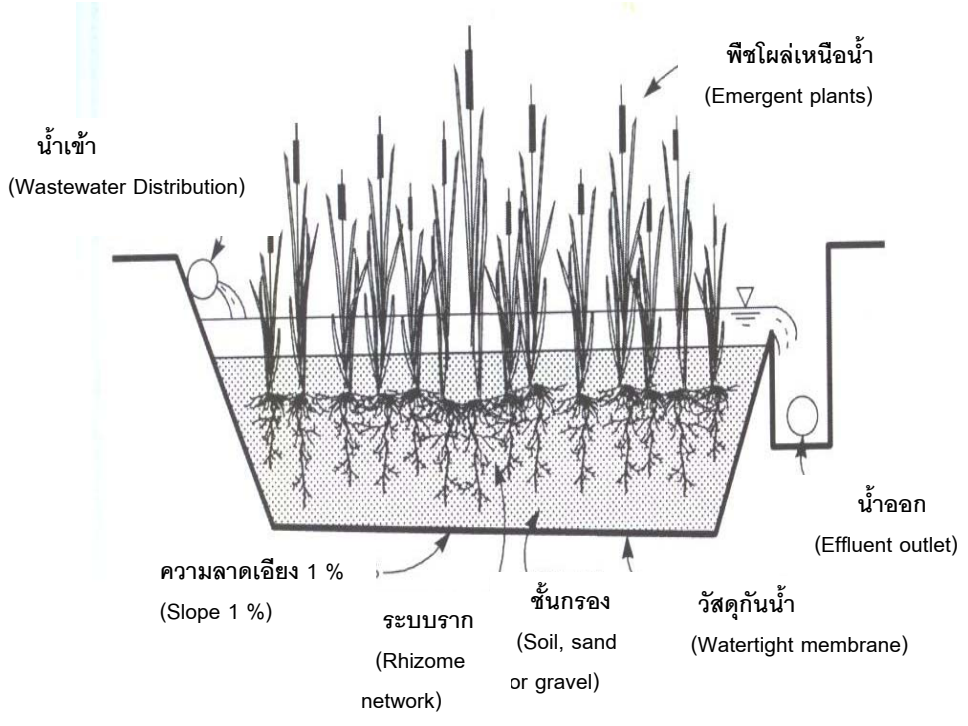
โดยทั่วไปจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสารปนเปื้อนในน้ำเสียให้เป็นอาหาร และพลังงานสำหรับการดำรงชีพซึ่งแหล่งพลังงานหลักของจุลชีพคือสารอินทรีย์และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจะใช้สารอินทรีย์ในการสร้างเซลล์ ในระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์จะมีการจัดสภาวะแวดล้อมให้มีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เหล่านี้ทั้งนี้เพื่อช่วยให้บึงมีประสิทธิภาพการกำจัดของเสียที่ดี

2.3 ชนิดและหน้าที่ของบึงประดิษฐ์

บึงประดิษฐ์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) ประเภทที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (Free Water Surface: FWS) ซึ่งมีระดับความลึกของน้ำไม่มากนัก 2) ประเภทที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (Subsurface Flow: SF) หรือระบบที่ปลูกพืชในชั้นกรอง (Vegetated Submerged Bed: VSB) ซึ่งจะมีน้ำไหลผ่านด้านข้างตัวกรองที่อาจเป็นกรวดหรือทราย และ 3) ประเภทที่น้ำไหลผ่านใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง (Vertical Flow) ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ในการรีดน้ำออกจากกากตะกอน หรือสิ่งปฏิกูลตามอาคารบ้านเรือนซึ่งจะมีของแข็งเป็นส่วน ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ บึงประดิษฐ์ทั้ง 3 ประเภทนี้ สามารถแบ่งตามแนวการไหลเป็น บึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวนอนและบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวดิ่ง

2.3.1 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (Free Water Surface Systems: FWS)

ระบบนี้โดยทั่วไปจะประกอบด้วยแอ่งหรือร่องน้ำ ที่มีการเคลือบหรือฉาบวัสดุกันน้ำที่ทำจากดินเหนียวหรือจากวัสดุทางด้านธรณีวิทยาอื่นๆ ทั้งที่สร้างขึ้นหรือมีอยู่ตามธรรมชาติบนพื้นบ่อเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำ และประกอบไปด้วยดินและวัสดุตัวกรองต่างๆ ที่จะช่วยให้รากพืชสามารถยึดเกาะอยู่ได้ โดยน้ำที่ความลึกระดับหนึ่งจะไหลอยู่เหนือผิวดินหรือชั้นกรอง (**รูปที่** 2.3) ถ้าการกระจายน้ำเข้าสู่ระบบเป็นไปอย่างสม่ำเสมอโดย เฉพาะอย่างยิ่งในบึงประดิษฐ์ที่มีพื้นที่แคบ, ยาว และมีระดับความลึกของน้ำในบ่อไม่มากนัก ประกอบกับน้ำมีการไหลอย่างช้าๆ ผ่านกิ่งก้านของพืชที่แผ่กระจายอยู่ทั่วไปในระบบ จะทำให้เกิดการไหลของน้ำแบบไหลตามกัน (Plug-Flow) ขึ้นซึ่งจะช่วยทำให้ปัญหาการไหลลัดวงจรของระบบลดลงได้ ระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีค่าภาระบีโอดีอยู่ในช่วง 5 – 100 มก./ลิตร (U.S.EPA, 2000)

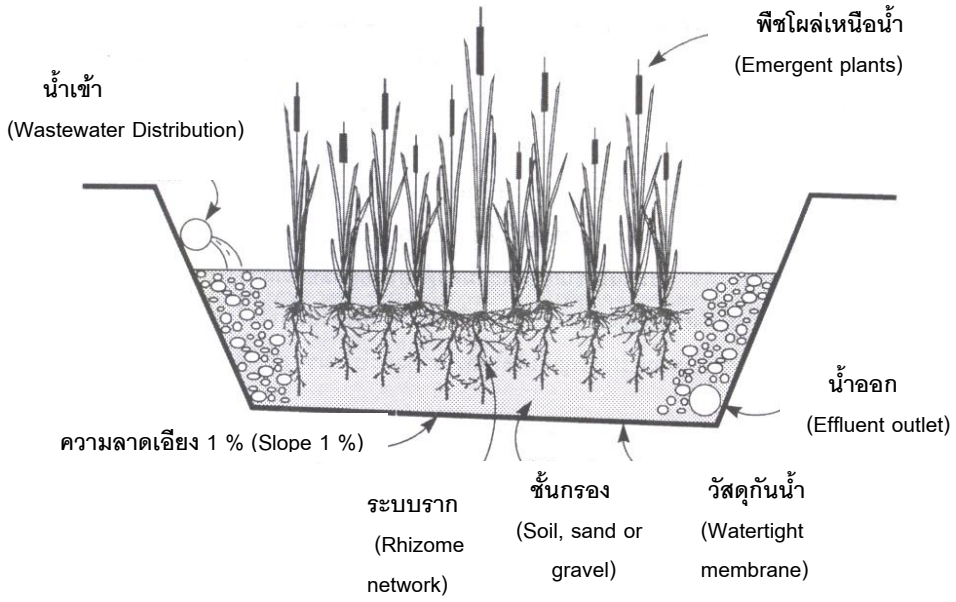


รูปที่ 2.3 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (Free Water Surface Systems: FWS)

- ข้อดีของบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ คือ มีค่าก่อสร้างระบบน้อยกว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอนและบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง เป็นระบบที่ดูแลรักษาง่าย ใช้พลังงานในการเดินระบบน้อย และระบบไม่ผลิตตะกอนที่ต้องบำบัดในขั้นต่อไป นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ต่างๆ ได้
- ข้อจำกัดของบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ คือเป็นระบบที่ต้องใช้พื้นที่มากและมีเวลาเก็บกักที่นานเมื่อน้ำเสียที่เข้าระบบมีปริมาณไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสสูง นอกจากนี้ระบบยังมีข้อจำกัดในการกำจัดฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Fecal coliform) ซึ่งส่งผลทำให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบมักมีปริมาณฟีคอลโคลิฟอร์มเกินกว่าค่ามาตรฐาน

2.3.2 **บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน** (Subsurface Flow Systems: SF)

ระบบนี้โดยทั่วไปประกอบด้วยร่องยาวหรือพื้นดิน ที่เคลือบหรือฉาบด้วยวัสดุกันน้ำไว้ด้านล่างเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำ และตัวกรองเพื่อช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะและพืชเจริญเติบโตได้ (**รูปที่** 2.4) ตัวกรองที่ใช้อาจเป็นหินหรือหินบด (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-15 ซม.) กรวดและดินชนิดต่างๆ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน (Reed *et al*., 1988) การที่น้ำเสียไหลผ่านด้านข้างของตัวกรองจะทำให้น้ำเสียถูกบำบัดในระหว่างสัมผัสกับผิวหน้าของตัวกรองและส่วนรากของพืช บริเวณใต้ชั้นกรองจะอิ่มตัวด้วยน้ำอยู่ตลอดเวลาซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic) ขึ้น อย่างไรก็ตามพืชยังสามารถดึงออกซิเจนเข้าไปยังส่วนรากซึ่งทำให้ จุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศ (Aerobic Microsites) สามารถเจริญเติบโตในส่วนรากและไรโซมของพืชได้ ระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่ภาระสารอินทรีย์ปานกลาง โดยมีความเข้มข้นของบีโอดีอยู่ในช่วง 30 – 175 มก./ลิตร (U.S.EPA, 2000)

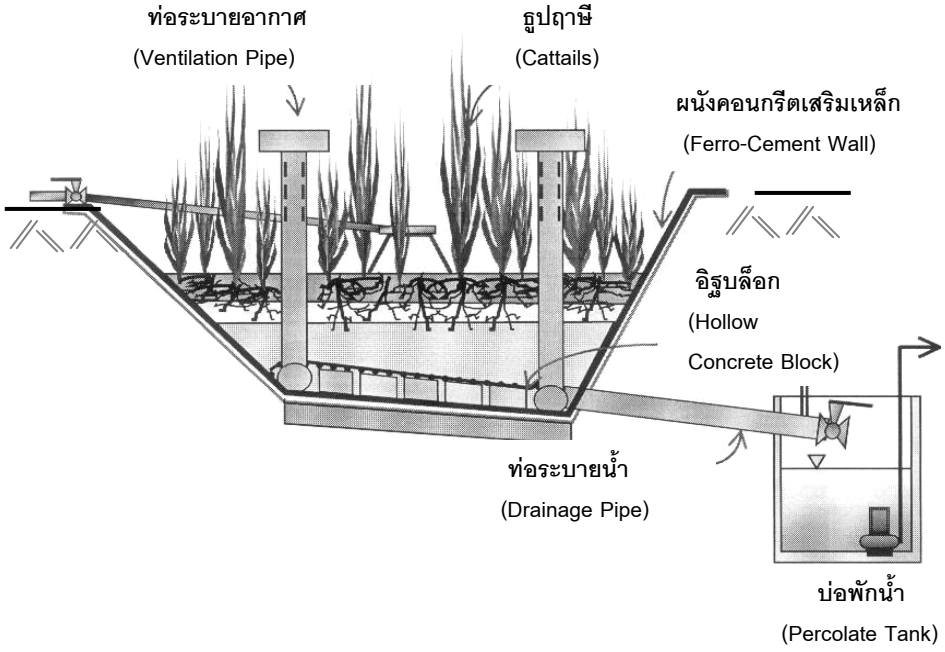


รูปที่ 2.4 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน
(Subsurface Flow Systems: SF)

- บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอนมีข้อดีเช่นเดียวกับระบบบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ กล่าวคือเป็นระบบที่ดูแลรักษาง่าย ใช้พลังงานในการเดินระบบน้อย และไม่ผลิตตะกอนที่ต้องบำบัดในขั้นต่อไป นอกจากนี้ระบบยังสามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้มากกว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระและมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงกว่า
- ข้อจำกัดของบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน คือเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงและยุง นอกจากนี้ระบบยังมีค่าก่อสร้างที่สูงกว่าบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ เพราะต้องคำนึงถึงชั้นกรองและระบบท่อที่จะใช้ภายในระบบ และระบบมีข้อจำกัดในการบำบัดไนโตรเจนเพราะกระบวนการ ไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นได้ยากถ้าบางพื้นที่ในระบบมีสภาพไร้ออกซิเจน ดังนั้นถ้าน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูง จึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มเวลาในการเก็บกักซึ่งจะจึงส่งผลให้ความต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างระบบ เพิ่มมากขึ้น

2.3.3 **บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง** (Vertical Flow: VF)

บึงประดิษฐ์ประเภทนี้จะมีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกันกับบึงประดิษฐ์ประเภทที่ 1 และ 2 คือ ประกอบไปด้วยตัวกรองเพื่อช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะและพืชเจริญเติบโตได้ ตัวกรองที่ใช้อาจเป็นหิน กรวด และทราย อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน น้ำเสียจะไหลผ่านชั้นกรองในแนวดิ่งโดยมีระบบการระบายน้ำอยู่ใต้ชั้นกรอง (Underdrain System) และบึงประดิษฐ์ประเภทนี้ยังมีระบบระบายอากาศ (Ventilation System) เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้มีสภาวะไร้อากาศเกิดขึ้นในส่วนรากของพืช และพื้นที่ว่างเหนือจากบริเวณผิวหน้าชั้นกรองขึ้นไปจะใช้เป็นที่สะสมกากตะกอนของเสียที่ถูกรีดน้ำออกแล้ว ระบบนี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีภาระสารอินทรีย์สูงๆ เช่น สิ่งปฏิกูล ได้ โดยมีความเข้มข้นของบีโอดีที่เข้าระบบอยู่ในช่วง 500 – 70,000 มก./ลิตร (**รูปที่** 2.5) (U.S.EPA, 2000)



รูปที่ 2.5 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง (Vertical Flow: VF)

- ข้อดีของบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง คือเป็นระบบที่ง่ายต่อการควบคุมดูแลและบำรุง รักษา ระบบมีเสถียรภาพในกรณีที่มีความแปรปรวนของสภาวะแวดล้อม นอกจากนี้ระบบอาจเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่าก่อให้เกิดความ

หลากหลายทางชีวภาพขึ้นได้ และพบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสิ่งปฏิกูลได้ดีกว่าการใช้ลานตากตะกอนโดยทั่วไป และความถี่ในการตักเอาชั้นตะกอนออกจากระบบจะน้อยกว่าการใช้ลานตากตะกอน นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำที่ผ่านออกมาจากชั้นกรองยังสามารถทำปฏิกิริยากับจุลินทรีย์ในชั้นกรองและทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียในส่วนที่เป็นของเหลวได้ดีอีกด้วย

- ข้อจำกัดของบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง คือปัญหาการเหี่ยวและร่วงโรยของพืชในระยะเริ่มต้นของการเดินระบบในกรณีที่ใช้ระบบในการบำบัดสิ่งปฏิกูลซึ่งความเข้มข้นสูง

2.4 รูปแบบการไหลของน้ำในบึงประดิษฐ์

บึงประดิษฐ์ได้สามารถออกแบบให้ใช้กับการไหลแบบใดแบบหนึ่งหรือหลายแบบ ซึ่งได้แก่ การไหลแบบตามกัน (Plug Flow), การเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบแบบเป็นขั้น (Step Feed) หรือการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ (Recirculation)

2.4.1 การไหลแบบตามกัน (Plug-Flow)

การไหลแบบตามกัน (**รูปที่** 2.6ก.) ปัจจุบันใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน การไหลแบบนี้ นิยมใช้กับระบบบึงประดิษฐ์ขนาดเล็กและมีความเข้มข้นของภาระสารอินทรีย์ไม่มากนัก

- ข้อดีของการไหลแบบตามกัน คือ มีค่าก่อสร้างต่ำ ใช้พลังงานน้อยและต้องการการควบคุมดูแลรักษาค่อนข้างต่ำ
- ข้อจำกัดของการไหลแบบตามกัน คือ ไม่เหมาะที่จะใช้กับระบบบึงประดิษฐ์ที่มีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง และมีค่าความยาวต่อความกว้าง มากกว่า 10 : 1

2.4.2 **การเติมน้ำเสียแบบเป็นขั้น** (Step Feed)

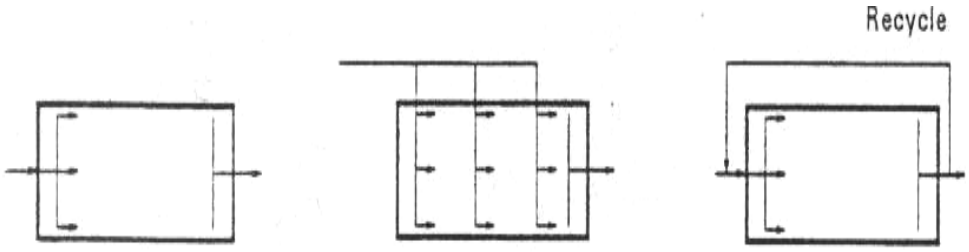
การเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบแบบเป็นขั้น (**รูปที่** 2.6**ข**.) จะมีผลในการกำจัดของแข็งได้ดีเมื่อเป็นระบบไหลตามแนวดิ่ง และรับน้ำออกบริเวณด้านล่างของบ่อ การเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบแบบเป็นขั้นนี้สามารถทำควบคู่ไปกับการสูบน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับเข้าสู่ระบบ (Recirculation) การเติมน้ำเสียแบบนี้นิยมใช้กับระบบบึงประดิษฐ์ที่มีความยาวต่อความกว้าง มากกว่า 10 : 1

- ข้อดีของการไหลแบบเป็นขั้น คือ น้ำเสียที่เข้าระบบมีการกระจายอย่างทั่วถึงบนระบบบึงประดิษฐ์ และมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าการไหลแบบแรก
- ข้อจำกัดของการไหลแบบเป็นขั้น คือ รูปแบบการไหลแบบนี้ต้องการงบประมาณในการก่อสร้างสูง เพราะต้องมีการติดตั้งระบบท่อ ระบบควบคุมการจ่ายน้ำมากกว่าการไหลแบบแรก

2.4.3 **การหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ** (Recirculation)

การสูบน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับไปยังจุดเริ่มต้นใหม่ (**รูปที่** 2.6**ค**.) กำลังได้รับความสนใจและมีแนวโน้มที่จะมีการลงทุนก่อสร้างมากขึ้น เป็นระบบที่มีการเวียนน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับเข้าสู่ระบบใหม่ การสูบน้ำบำบัดแล้วกลับไปยังระบบอีกครั้งจะช่วยเจือจางปริมาณสารอินทรีย์และของแข็งแขวนลอยที่เข้ามาในระบบ และเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด

- ข้อดีของการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ คือ สามารถช่วยลดปัญหาเรื่องกลิ่น ช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และช่วยทำให้ระบบมีระยะเวลากักเก็บน้ำมากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการกำจัดไนโตรเจนตามมา (Steiner and Freeman, 1989)
- ข้อจำกัดของการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ คือ มีค่าใช้จ่ายสูงในการก่อสร้างและการดูแลรักษาระบบ ตลอดจนต้องควบคุมปริมาณน้ำที่ต้องสูบกลับ เพื่อควบคุมปริมาณและระยะพักน้ำที่เข้าระบบ



ก. แบบตามกัน (Plug Flow)　　ข. แบบเป็นขั้น (Step Feed)　　ค. แบบกลับไปยังจุดเริ่มต้นใหม่ (Recirculation)

รูปที่ 2.6 รูปแบบการไหลของน้ำในบึงประดิษฐ์

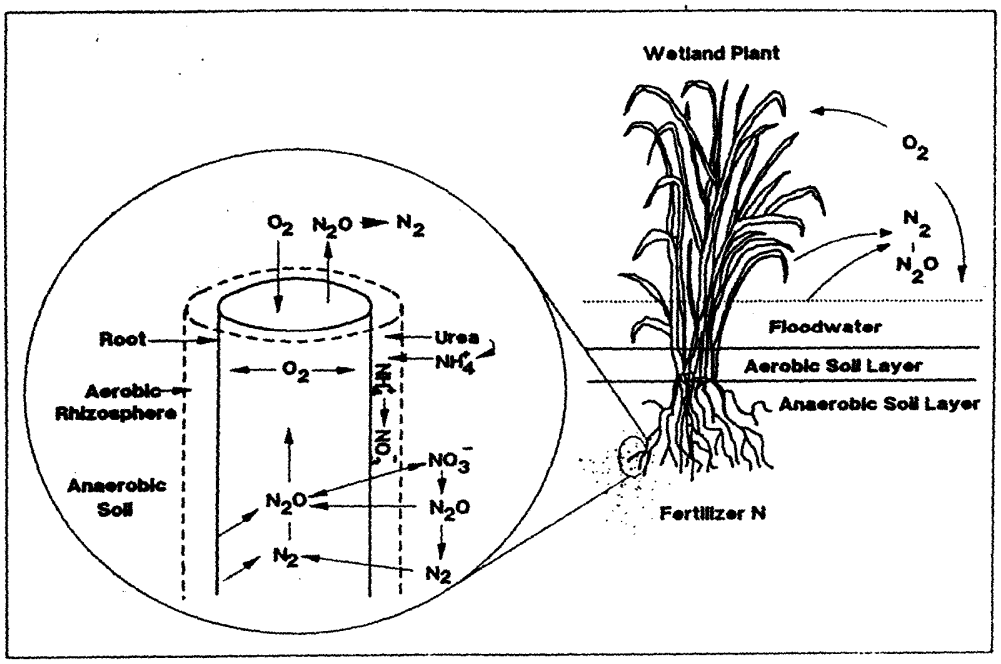
2.5 พืชในบึงประดิษฐ์

พืชในระบบทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ แลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศสู่รากพืช (Root-zone) ทั้งยังช่วยให้แสงแดดกระทบผิวน้ำน้อยลง ซึ่งถือเป็นการป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Algae) ในน้ำทางอ้อม เนื่องจากพืชสามารถนำสารอาหารในน้ำเสียไปใช้ได้เพียงเล็กน้อยจึงไม่มีหน้าที่หลักในการย่อยสลายและดูดซึมสารอาหาร

2.5.1 หน้าที่ของพืชในบึงประดิษฐ์

หน้าที่หลักของพืชในบึงประดิษฐ์ คือการลำเลียงออกซิเจน ระบบรากพืชในบึงประดิษฐ์จะเจริญเติบโตอยู่ในชั้นดินหรือแทรกตัวเข้าไปในชั้นกรองที่ระดับต่ำกว่าพื้นผิวประมาณ 50 – 150 ซม. โดยออกซิเจนจากบรรยากาศจะถ่ายเทเข้าสู่พืชทางใบและลำเลียงออกซิเจนซึ่งใช้หลักการแพร่ (Diffusion) และการไหลพาของอากาศ (Convective) ลงไปยังระบบราก ทำให้สามารถลำเลียงออกซิเจนได้ดีกว่าการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เพียงอย่างเดียว ซึ่งหน้าที่ทั่วๆ ไปของพืชในระบบบึงประดิษฐ์สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- การแพร่กระจายของออกซิเจน ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าพืชน้ำจะปล่อยออกซิเจนจากรากออกสู่บริเวณรอบๆ ลำต้นใต้ดินโดยอาศัยหลักการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำกว่า (**รูปที่** 2.7) ซึ่งการซึมของออกซิเจนออกจากปลายรากทำให้เกิดการออกซิไดซ์ซึ่งจะช่วยลดความเป็นพิษของสารพิษต่างๆ ได้ นอกจากนี้ระบบรากของพืชบางชนิดยังสามารถปล่อยสารปฏิชีวนะซึ่งสามารถทำลายเชื้อโรคบางอย่างในน้ำเสีย หรือปล่อยสารบางอย่างที่สามารถยับยั้งการเติบโตของพืชชนิดอื่นได้ (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544)



รูปที่ 2.7 การส่งผ่านออกซิเจนในระบบบึงประดิษฐ์

- เป็นที่ยึดเกาะสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยส่วนลำต้นและใบของพืชที่อยู่ใต้น้ำจะเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ เนื้อเยื่อของพืชจะมีสาหร่ายที่สังเคราะห์แสงได้เกาะอยู่หนาแน่น รวมทั้งจุลินทรีย์และ โปรโตซัว เช่นเดียวกับรากและลำต้นใต้ดิน นอกจากนี้ยังมีไบโอฟิล์มที่เกาะกับซากพืชที่ตายแล้ว ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในระบบบึงประดิษฐ์เช่นเดียวกัน (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544)

- พืชในระบบจะช่วยลดความเร็วของกระแสน้ำ เพิ่มเวลาในการสัมผัสระหว่างน้ำเสียและพืชให้มากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยทำให้เกิดการตกตะกอนได้ดีขึ้นอีกด้วย

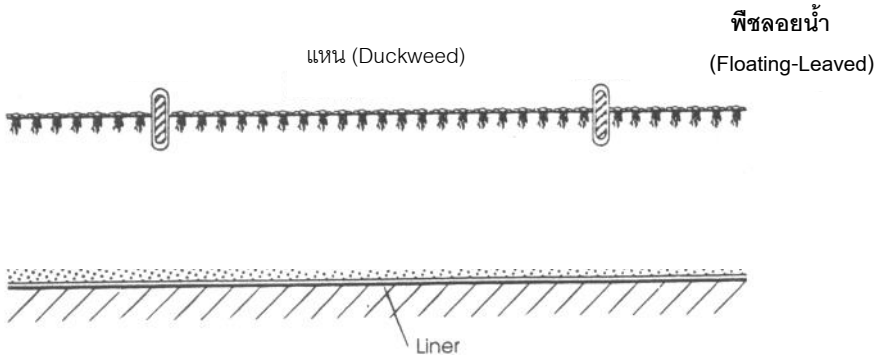
- การดูดซับสารอาหาร พืชจะดูดสารอาหารจำนวนมากทางราก อย่างไรก็ตามลำต้นที่อยู่ใต้น้ำและที่โผล่พ้นน้ำก็สามารถดูดสารอาหารได้เช่นเดียวกัน ซึ่งสารอาหารที่ถูกดูดซับเหล่านี้จะถูกกำจัดต่อไปโดยการตัดและการเก็บเกี่ยวพืชออกจากระบบ ซึ่งพบว่าประกอบด้วยค่าฟอสฟอรัสถึง 30 – 150 กก./เฮคแตร์.ปี หรือ 0.003 – 0.015 กก./ตร.ม.-ปี และไนโตรเจนประมาณ 200 – 2500 กก./เฮคแตร์.ปี หรือประมาณ 0.02 – 0.25 กก./ตร.ม.-ปี (Brix และ Schierup, 1989a) อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณสารอาหารที่ถูกกำจัดจากการเก็บเกี่ยวมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับภาระของเสียที่เข้าสู่ระบบ แต่ถ้าระบบไม่มีการเก็บเกี่ยวพืชออกสารอาหารในพืชจะถูกปลดปล่อยออกมาสู่ระบบอีกครั้งด้วยกระบวนการย่อยสลาย (Decomposition) (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544)

- พืชที่อยู่ในบึงประดิษฐ์ที่มีการควบคุมการไหลของน้ำในแนวดิ่ง จะมีการเจริญเติบโตได้อย่างต่อ เนื่องทำให้มีการแผ่กระจายของรากและไรโซมไปทั่วชั้นกรองและทำให้เกิดช่องว่างขึ้นซึ่งจะช่วยป้องกันการอุดตันของชั้นกรองได้อีกทางหนึ่ง

2.5.2 ชนิดและลักษณะของพืชในบึงประดิษฐ์

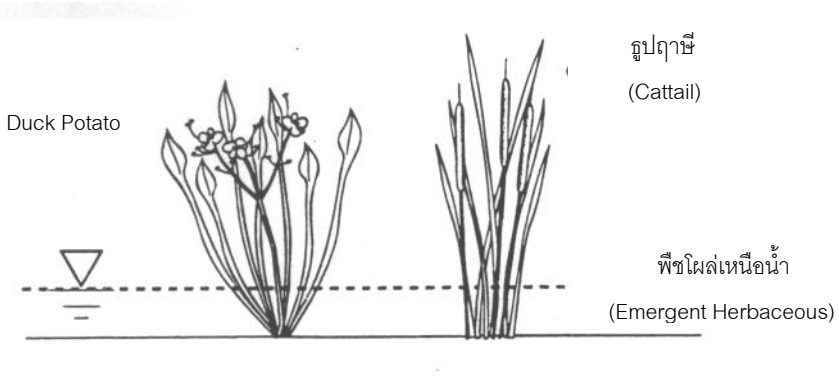
พืชถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับบึงประดิษฐ์ โดยพืชที่ใช้ในบึงประดิษฐ์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ พืชลอยน้ำ (Floating plant), พืชโผล่เหนือน้ำ (Emergent plant) และพืชใต้น้ำ (Submerged plant) ซึ่งพืชแต่ละประเภทจะมีคุณลักษณะและการเจริญเติบโตแตกต่างกันไป ในปัจจุบันนิยมเลือกใช้พืชพวกโผล่พ้นน้ำในบึงประดิษฐ์มากกว่าพืชลอยน้ำ เนื่องจากพืชลอยน้ำไม่สามารถทนกับอากาศหนาวและศัตรูพืช ดังนั้นการเลือกชนิดของพืชสำหรับบึงประดิษฐ์ควรต้องคำนึงถึงลักษณะและความเหมาะสมของพืชแต่ละประเภทด้วย

- พืชลอยน้ำ (Floating plant) เป็นไม้ที่สามารถปรับตัวให้เจริญเติบโตในน้ำและลอยอยู่ได้ หรือมีบางส่วนของต้นโผล่ขึ้นเหนือน้ำ ทั้งในน้ำตื้นๆ หรือลึกเป็นเมตร โดยลำต้นมีลักษณะโป่งพอง ภายในกลวง ใบแผ่แบน หรือมีรากที่เปลี่ยนเป็นนวมรอบๆ ต้น และมีรากฝอยละเอียดอยู่ใต้น้ำดังแสดงใน**รูปที่** 2.8 ตัวอย่างของพืชประเภทนี้ ได้แก่ จอก แหน กระจับ ผักตบชวา ผักบุ้ง ผักแว่น จอกหูหนู เป็นต้น



รูปที่ 2.8 ลักษณะของพืชลอยน้ำ (Floating plant)

- พืชโผล่เหนือน้ำ (Emergent plant) เป็นพืชน้ำที่มีรากเจริญอยู่ในดินใต้น้ำ ใบและดอกชูขึ้นเหนือน้ำ ดังแสดงใน **รูปที่** 2.9 ซึ่งแต่ละชนิดก็เติบโตได้ที่ระดับน้ำต่างๆ กัน ตัวอย่างของพืชประเภทนี้ ได้แก่ บัวชนิดต่างๆ กกบางชนิด และกระจับญี่ปุ่น เป็นต้น พืชชนิดนี้เป็นพืชที่นิยมใช้ในระบบบึงประดิษฐ์เนื่องจากเป็นพืชที่สามารถปรับตัวและทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมได้ดีและสามารถปลูกได้ทั้งในพื้นที่ชุ่มน้ำและพื้นที่น้ำท่วม คุณสมบัติพิเศษของพืชประเภทนี้ คือ ส่วนใบที่อยู่เหนือน้ำสามารถนำหรือลำเลียงออกซิเจนจากชั้นบรรยากาศไปยังส่วนรากพืชได้ ส่งผลทำให้ชั้นกรองในบริเวณที่รากพืชยึดเกาะไม่เกิดสภาพไร้อากาศ หน้าที่และบทบาทสำคัญในกระบวนการบำบัดน้ำเสียของพืชประเภทนี้แสดงไว้ใน **ตารางที่** 2.2



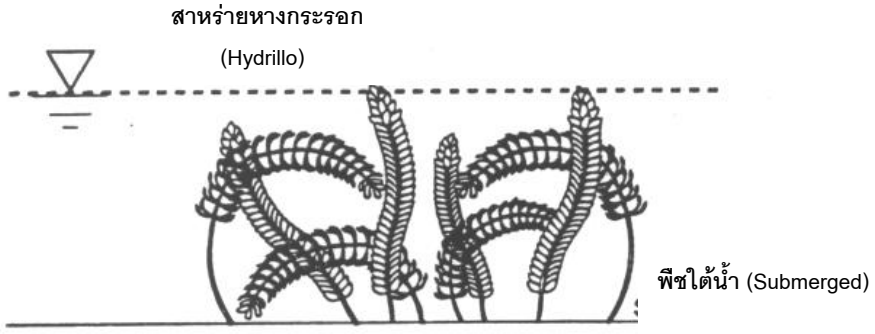
รูปที่ 2.9 ลักษณะของพืชโผล่เหนือน้ำ (Emergent plant)

ตารางที่ 2.2 หน้าที่ของพืชโผล่เหนือน้ำในระบบบึงประดิษฐ์

ส่วนประกอบของพืช	**บทบาทในกระบวนการบำบัด**
ส่วนที่อยู่เหนือน้ำ	- ลดความเข้มของแสง เพื่อลดการเจริญเติบโตของไฟโตแพลงตอน - ป้องกันอิทธิพลจากสภาพอากาศในฤดูหนาว - ลดความเร็วลมเพื่อป้องกันการแขวนลอยของตะกอน - ช่วยให้ระบบดูสวยงาม - สะสมอาหาร
ส่วนที่อยู่ใต้น้ำ	- ลดความเร็วกระแสน้ำ เพิ่มอัตราการตกตะกอน ลดการฟุ้งกระจายของตะกอนใต้น้ำ - กรองตะกอนขนาดใหญ่ - เป็นพื้นที่ผิวสำหรับการจับของไบโอฟิล์ม - ปล่อยออกซิเจนเพื่อการสังเคราะห์แสง ช่วยเพิ่มการย่อยสลายโดยออกซิเจน - ดูดซับสารอาหาร
รากและระบบรากพืชในชั้นตะกอนใต้น้ำ	- ทำให้ผิวตะกอนใต้น้ำถูกกัดเซาะน้อย - ป้องกันการอุดตันของตัวกลางในระบบการไหลในแนวดิ่ง - ปล่อยออกซิเจนเพื่อเพิ่มการย่อยสลายและการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน - ดูดซับสารอาหาร - ปล่อยสารปฏิชีวนะ (Antibiotic)

ที่มา: ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544

- พืชใต้น้ำ (Submerged plant) เป็นพืชที่มีทุกส่วนของต้นอยู่ใต้น้ำ มีรากยึดเกาะกับดิน หรืออินทรีย์วัตถุใต้น้ำ หรือลอยอยู่ในน้ำเพื่อให้ต้นทรงตัวอยู่ได้ในระดับน้ำตั้งแต่ 20 ซม. จนลึกถึง 2 เมตร ดังแสดงใน**รูปที่** 2.10 ตัวอย่างของพืชประเภทนี้ ได้แก่ สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายพุงชะโด ดีปลีน้ำ สันตะวาใบพาย เป็นต้น ถ้าระดับน้ำลึกมากๆ พืชประเภทนี้จะได้รับแสงน้อยและอาจไม่สามารถเจริญเติบโตได้



รูปที่ 2.10 ลักษณะของพืชใต้น้ำ (Submerged plant)

ปัจจุบันพืชส่วนใหญ่ที่นิยมปลูกในบึงประดิษฐ์มักจะเป็นพืชจำพวกธูปฤาษี, อ้อ, กก, แฝก และหญ้าทรงกระเทียม เพราะพืชเหล่านี้สามารถดึงออกซิเจนจากชั้นบรรยากาศได้ดี กล่าวคือ ประมาณ 5 - 45 กรัมออกซิเจน/ตร.ม.-วัน ซึ่งความสามารถในการดึงออกซิเจนจากชั้นบรรยากาศของพืชจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพืชและปริมาณออกซิเจนในดินหรือชั้นกรองด้วย (Reed *et al*., 1988) **ตารางที่** 2.3 แสดงสภาวะแวดล้อมสำคัญที่พืชแต่ละชนิดต้องการและระดับความลึกสูงสุดที่รากพืชสามารถหยั่งถึง

ตารางที่ 2.3 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเติบโตของพืชในบึงประดิษฐ์

ชื่อสามัญ	ชื่อวิทยาศาสตร์	อุณหภูมิ ^{0}C		ความทนทานต่อสภาพความเค็มสูงสุด (ppt[1])	การหยั่งรากของพืช (ซม.)	ช่วง pH ที่เหมาะสม
		ช่วงที่เหมาะสม	ช่วงที่เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ด			
ธูปฤาษี (Cattail)	*Typha* spp.	10-30	12-24	30	30	4-10
ต้นอ้อ (Reed)	*Phragmites communis*	12-23	10-30	45	60	2-8
ต้นกก (Rushes)	*Juncus* spp.	16-26	-	20	-	5-7.5
ต้นแฝก (Bulrush)	*Scirpus* spp.	16-27	-	20	76	4-9
หญ้าทรงกระเทียม (Carex)	*Carex* spp.	14-32	-	-	-	5-7.5

ที่มา: ปรับปรุงมาจาก U.S. EPA, 1988

หมายเหตุ ppt[1] = ส่วนในพันส่วน

2.5.3 ปัจจัยในการพิจารณาเลือกพืชในบึงประดิษฐ์

หน้าที่หลักของพืชในระบบบึงประดิษฐ์ คือ การควบคุมการไหลของน้ำเสีย เป็นที่ยึดเกาะและเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายในระบบ พืชถือไว้ว่าเป็นองค์ประกอบหลักของระบบบึงประดิษฐ์ ดังนั้นการเลือกพืชที่จะใช้ในระบบจึงเป็นสิ่งสำคัญ

ปรกติแล้วพันธุ์ของพืชที่จะปลูกในระบบบึงประดิษฐ์ควรเป็นพืชที่สามารถพบได้ในท้องถิ่น เพราะพืชจะคุ้นเคยกับสภาพภูมิอากาศ และพื้นที่ในบริเวณนั้นจึงสามารถเจริญเติบโตได้ดี อย่างไรก็ตามลักษณะของน้ำเสียที่จะใช้บำบัดก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง เช่น พืชที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสาร อาหารสูงๆ

เช่น สิ่งปฏิกูล หรือน้ำเสียจากการเกษตร คือ ธูปฤาษี, กก, อ้อ และหญ้าคมบาง องค์ประกอบสำหรับการเลือกชนิดของพืชที่จะใช้ในระบบแสดงไว้ใน**ตารางที่** 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบสำหรับการเลือกชนิดของพืชที่ใช้ในระบบ

ปัจจัย	รายละเอียด
พืชท้องถิ่น	เลือกใช้พืชที่มีอยู่ในท้องถิ่นนั้นๆ เนื่องจากมีภูมิอากาศที่เหมาะสมและสามารถหาได้ง่าย พืชจึงสามารถเจริญเติบโตได้ดี ทั้งยังเป็นที่ยอมรับของประชาชนในแถบนั้น
พันธุ์พืชที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว	พืชที่เจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว เป็นพืชที่เหมาะในการบำบัดน้ำเสีย แต่เนื่องจากพืชส่วนใหญ่ที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเป็นพืชที่สามารถรุกรานโดยการทำลายพืชชนิดอื่นที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นในการเลือกใช้พืชควรคำนึงถึงลักษณะของพืชด้วย
มีความทนทานต่อสารอินทรีย์สูงๆ	บึงประดิษฐ์จะต้องรองรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงๆอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นพืชที่เลือกใช้ควรมีความทนทานต่อสารอินทรีย์ต่างๆได้
มีความทนทานต่อสภาพน้ำท่วมได้	พืชที่ใช้ในระบบบึงประดิษฐ์นี้อาจแตกต่างพืชในบึงธรรมชาติ เนื่องจากในบึงธรรมชาติมีช่วงที่เป็นฤดูแล้งไม่มีน้ำปกคลุมด้านบน แต่สำหรับบึงประดิษฐ์ต้องรับน้ำเสียเข้าระบบอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นพืชที่เลือกใช้ควรสามารถปรับตัวได้กับสภาพน้ำท่วม
อัตราการเจริญเติบโต	พืชที่มีการเจริญเติบโตช้า เป็นผลให้ต้องใช้พืชในปริมาณมากเพื่อรักษาความหนาแน่นที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นในช่วงเริ่มเดินระบบควรมีการดูแลพืชให้พืชเจริญเติบโตได้ดี
ประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิต	พืชที่ใช้ควรเป็นพืชที่สามารถใช้เป็นที่อยู่ อาหาร หรือทำประโยชน์ต่างๆให้กับสิ่งมีชีวิตได้
ความหนาแน่นของพืช	การปลูกพืชชนิดเดียวเป็นการเสี่ยงต่อการทำลายของศัตรูพืชได้ การปลูกพืชหลายชนิดในระบบเป็นการแก้ปัญหาศัตรูพืชได้ เนื่องจากหากมีศัตรูพืชชนิดใดมาทำลายพืชชนิดอื่นยังสามารถทำงานต่อไปได้

ที่มา: USEPA, 2000

นอกจากนี้การใช้สารอาหารของพืชก็มีบทบาทสำคัญในการกำจัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และมลสารอื่นๆ ในน้ำเสียด้วย อัตราการใช้สารอาหารของพืชถูกจำกัดโดย

อัตราการเติบโตสุทธิ และความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อ ความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อมีค่าสูง (มากกว่า 25 กรัมต่อกิโลกรัมเนื้อเยื่อ) ในพืชที่มีอายุน้อย และลดลงเมื่อโตเต็มที่ (กลอยกาญจน์, 2544) ความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อและอัตราการนำไปใช้ของพืชแต่ละชนิด แสดงไว้ใน**ตารางที่** 2.5

ตารางที่ 2.5 ความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสและอัตราการนำไปใช้ของพืช

พืช	**อัตราการนำไปใช้ (กก./ตร.ม./ปี)**		**ส่วนประกอบในเนื้อเยื่อ (กรัม/กก.)**		**อัตราการเติบโต (ตัน/ตร.ม./ปี)**
	ไนโตรเจน	**ฟอสฟอรัส**	**ไนโตรเจน**	**ฟอสฟอรัส**	
ธูปฤาษี	0.06 – 0.263	0.0075 – 0.0403	5 – 24	0.5 – 4	0.0008 – 0.0061
หญ้าทรงกระเทียม	0.0125	0.0018	8 – 27	1 – 3	-
อ้อ	0.0225	0.0035	18 – 21	2 – 3	0.01 – 0.06

ที่มา: Reddy and Debusk, 1987

2.6 กลไกและประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

การใช้บึงประดิษฐ์ในการบำบัดของเสียนั้น มลสารต่างๆ จะถูกกำจัดด้วยกระบวนการที่ซับซ้อน เช่น กระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วย การตกตะกอน การดูดซับโดยอนุภาคของชั้นกรอง การสะสมในพืชและการเปลี่ยนรูปโดยจุลินทรีย์ พืชในระบบสามารถกำจัดมลสารต่างๆ ได้ด้วยการออกซิไดซ์สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ กลไกสำคัญที่ใช้ในการบำบัดของเสียในระบบบึงประดิษฐ์แสดงไว้ใน**ตารางที่** 2.6

ตารางที่ 2.6 กลไกการบำบัดน้ำเสียในบึงประดิษฐ์

องค์ประกอบในน้ำเสีย	กลไกการบำบัด
ของแข็งแขวนลอย	- การตกตะกอน - การกรอง
บีโอดี	- การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ - การตกตะกอน
ไนโตรเจน	- ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันโดยจุลชีพ - พืชนำไปใช้ - การระเหยของแอมโมเนีย
ฟอสฟอรัส	- ดูดซับโดยดิน (ปฏิกิริยาการดูดซับ-ตกตะกอนโดยอะลูมิเนียม, เหล็ก, แคดเมียม และแร่ธาตุต่างๆ ในดิน - พืชนำไปใช้
เชื้อโรค	- การตกตะกอน - การกรอง - การตายตามธรรมชาติ - รังสี UV - โดยสารปฏิชีวนะจากการพืช

ที่มา: กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ, 2544

2.6.1 กลไกและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวนอน

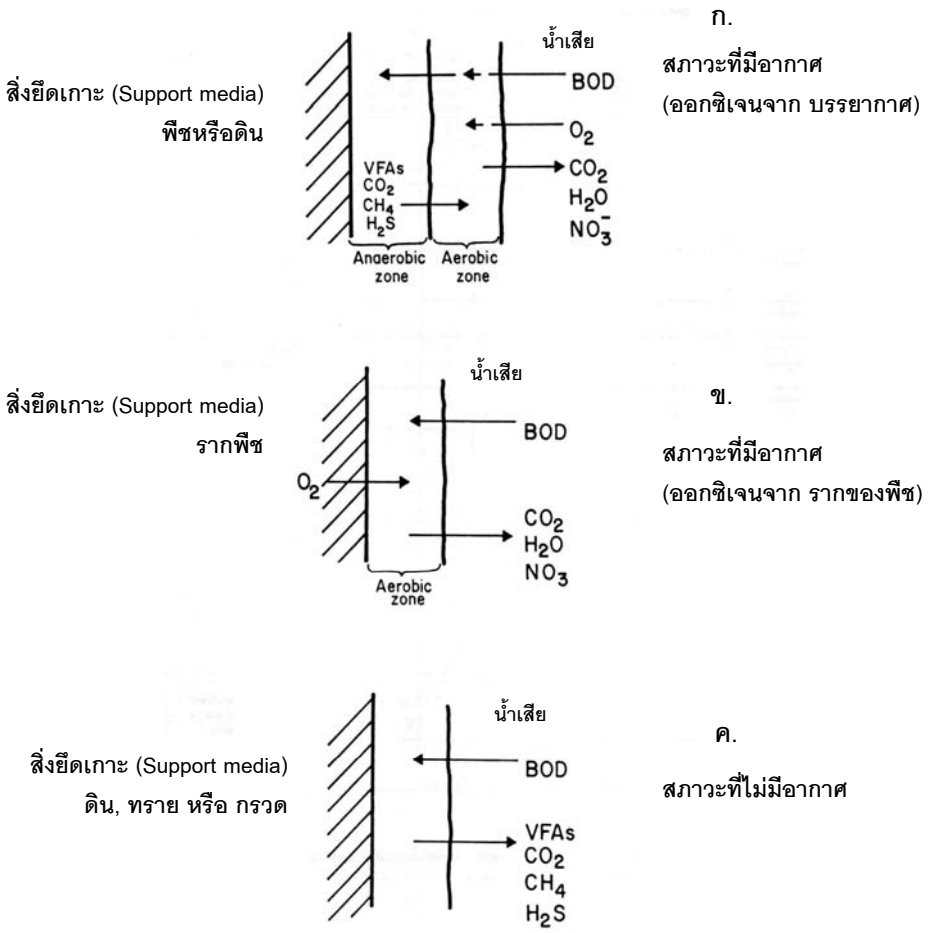
บึงประดิษฐ์สามารถลดค่าสารอินทรีย์, ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โลหะหนัก และเชื้อโรคต่างๆ ได้ดี กลไกพื้นฐานที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้แก่ การตกตะกอน การดูดซับ การย่อยสลายสารอินทรีย์ และสารอาหารด้วยจุลินทรีย์และการดูดซึมสารต่างๆ เข้าไปในพืช (U.S EPA, 1988)

- **กลไกการกำจัดของแข็งแขวนลอย** (Suspended solids) โดยทั่วไป กระบวนการที่ใช้ในการกำจัดสารแขวนลอย คือ การตกตะกอน การกรอง การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ และการดูดติดผิวทางเคมี สำหรับการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นอย่างได้ผลในบึงประดิษฐ์ทั้ง 2 แบบนี้ คือ FWS และ SF ส่วนใหญ่จะถูกกรองออกและตกตะกอนในช่วง 2-3 เมตรแรก หลังจากที่น้ำเสียไหลผ่านช่องทางน้ำเข้า เข้าสู่ระบบซึ่งจะขึ้นอยู่กับความนิ่งและความลึกของระดับน้ำด้วย ในการควบคุมการกระจายน้ำเสียเข้าสู่ระบบด้วยการติดตั้งท่อกระจายน้ำนั้น สามารถควบคุมความเร็วในการไหลของน้ำให้ลด ลง โดยปกติแล้วความเร็วการไหล ณ จุดใดๆของทางน้ำเข้าไม่ควรมีค่ามากกว่า 0.3 เมตร/วินาที ซึ่งช่วยในการกำจัดของแข็งแขวนลอยและช่วยลดภาระของเสียที่เข้ามาในระบบได้ นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันไม่ให้สภาวะไร้อากาศ (Anoxic Condition) เกิดขึ้นที่ส่วนต้นของช่องทางการไหลของน้ำอีกด้วย

- **กลไกการกำจัดสารอินทรีย์** (Organic compounds) สารอินทรีย์ในน้ำเสียส่วนใหญ่ที่เป็นของแข็งจะตกตะกอน ส่วนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ สำหรับขบวนการตกตะกอนของสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในบึงประดิษฐ์ทุกแบบ และจะขึ้นอยู่กับความนิ่งของน้ำในกรณีที่เป็นบึงประดิษฐ์แบบ FWS ส่วนในบึงประดิษฐ์แบบ SF นั้น จะขึ้นอยู่กับปริมาณตะกอนที่สะสมอยู่ในชั้นกรองและอัตราการซึมของน้ำผ่านชั้นกรอง

หลักในการกำจัดบีโอดีในบึงประดิษฐ์แบบ FWS ขึ้นอยู่กับอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบและแหล่งออกซิเจนที่จะใช้ในปฏิกิริยาการกำจัดของเสียโดยจุลินทรีย์ ซึ่งได้มาส่วนหนึ่งจากการแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศลงมาสู่ผิวน้ำ (Reaeration) และปริมาณออกซิเจนที่จะถูกลำเลียงผ่านไปยังส่วนรากของพืช **รูปที่ 2.11** แสดงกลไกการกำจัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ โดยรูปที่ 2.11ก. เป็นบริเวณใกล้ผิวน้ำซึ่งระบบมีการแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับบรรยากาศ เกิดขึ้นที่ส่วนของลำต้นพืชหรือชั้นกรองซึ่งเป็นบริเวณที่มีการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน โดยบีโอดีในน้ำเสียจะถูกบำบัดโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนบริเวณรอบๆต้นพืชก่อนที่จะผ่านเข้าสู่ต้นพืช และเกิดกระบวนการบำบัดโดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนรูปที่ 2.11ข. แสดง

กระบวนการบำบัดบริเวณรากพืช เป็นบริเวณที่ใช้จุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งออกซิเจนส่วนใหญ่มาจากการแพร่กระจายจากบรรยากาศผ่านในต้นพืช และแพร่ออกทางรากของพืช และรูปที่ 2.11ค. แสดงกระบวนการบำบัดบริเวณชั้นกรองที่อยู่ลึกลงไปจากรากพืช เป็นบริเวณที่ใช้จุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ 2.11 กลไกการกำจัดบีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์

- **ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีและของแข็งแขวนลอย** โดย **ตารางที่** 2.7 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีและของแข็งแขวนลอยของบึงประดิษฐ์ ในประเทศแคนาดา สหรัฐอเมริกา และ ออสเตรเลีย

ตารางที่ 2.7 ผลการกำจัดโอดีและของแข็งแขวนลอยในบึงประดิษฐ์

พื้นที่โครงการ	ปริมาณน้ำ ลบ.ม/วัน	ชนิดของบึงประดิษฐ์	BOD_5 (มก./ลิตร)		SS (มก./ลิตร)		% การกำจัด		ภาระของเสียต่อพื้นที่ผิว ลบ.ม./เฮคตาร์/วัน
			น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำผ่านการบำบัด	น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำผ่านการบำบัด	BOD_5	SS	
Listowel, Ontario	17	FWS[a]	56	10	111	8	82	93	-
Santee, CA	-	SF[b]	118	30	57	5.5	75	90	-
Sydney, Australia	240	SF	33	4.6	57	4.5	86	92	-
Arcata, CA	11,350	FWS	36	13	43	31	64	28	907 (0.09)
Emmitsburg, MD	132	SF	62	18	30	8.3	71	73	1.5 (0.0001)
Gustine, CA	3,785	FWS	150	24	140	19	84	86	412 (0.04)

หมายเหตุ [a] = Free Water Surface System [b] = Subsurface Water Flow System

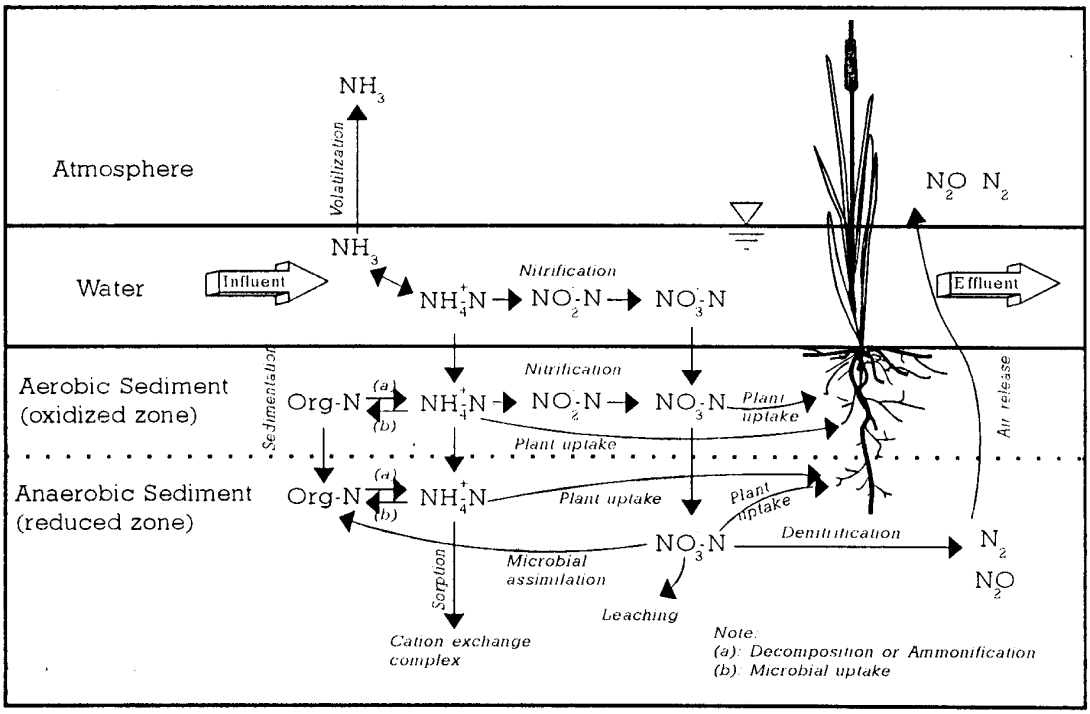
( ) = ลบ.ม./ตร.ม./วัน

- **กลไกการกำจัดไนโตรเจน (Nitrogen)** โดยส่วนใหญ่แล้วไนโตรเจนจะถูกกำจัดด้วยกลไกการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) ส่วนกลไกอื่นๆ ในการกำจัดไนโตรเจน เช่น การดูดซึมไนโตรเจนเข้าไปในพืช และการระเหยของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียสามารถกำจัดไนโตรเจนได้ไม่มากนักเมื่อเทียบกับกลไกแรก

ในระบบบึงประดิษฐ์ส่วนมากจะพบไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม (NH_4^+-N) ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ในสภาวะที่มีพีเอชและอุณหภูมิสูง กระบวนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic nitrogen) ไปเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_4^+-N) เป็นขั้นตอนแรกของการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจน จากนั้นจะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_4^+-N) ไปเป็นไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^--N) โดยมีไนไตรท์ไนโตรเจน (NO_2^--N) เป็นสารที่อยู่ระหว่างการเกิดปฏิกิริยานี้ ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นจะเกิดในน้ำหรือดินที่มี

ออกซิเจนเพียงพอ (Aerobic) ซึ่งจะรวมถึงบริเวณรอบๆ รากพืชด้วย แต่ถ้าระบบอยู่ในสภาพที่ไร้อากาศหรือออกซิเจน (Anoxic) กระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) จะเกิดขึ้นและไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^--N) จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์ไนโตรเจน (NO_2^--N) และ ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ในที่สุด กลไกการกำจัดไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์ได้แสดงไว้ใน**รูปที่** 2.12

- **ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน** ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในบึงประดิษฐ์มีค่าอยู่ในช่วง 25% – 85% (U.S. EPA, 1988)



รูปที่ 2.12 กลไกการกำจัดไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์

- **กลไกการกำจัดฟอสฟอรัส** (Phosphorus) การกำจัดฟอสฟอรัสในบึงประดิษฐ์จะเกิดขึ้นได้ไม่มากนักเพราะข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาที่น้ำเสียสัมผัสกับดิน ดังนั้นกลไกหลักในการกำจัดฟอสฟอรัส คือ การดูดซึมฟอสฟอรัสเข้าไปในพืช และระยะเวลาที่น้ำเสียได้สัมผัสกับดิน (U.S. EPA, 1988)

- **ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส** จากการศึกษาวิจัยการบำบัดน้ำเสียจากอาคารพักอาศัยในเมือง Aarikese ประเทศเอสโทเนีย พบว่า ระยะเวลาในการกักเก็บมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดประมาณ 14% ที่ระยะเวลาสัมผัสประมาณ 6 วัน (Kuusemets *et al*., 2001) และจากการศึกษาวิจัยการบำบัดน้ำเสียโดยใช้บึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนขนาดเล็ก ในประเทศฝรั่งเศส พบว่า สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ถึง 40% ที่ระยะเวลาสัมผัส 6 - 8 วัน อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของบึงประดิษฐ์ที่มีทิศทางการไหลของน้ำในแนวดิ่ง โดยใช้ทรายเป็นวัสดุกรอง ที่อัตราภาระบีโอดีเท่ากับ 3.8 กรัม บีโอดี/ตารางเมตร-วัน พบว่า สามารถกำจัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ถึง 74 % (Steiner and Freeman, 1989)

ในกรณีที่ต้องการให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสสูงขึ้น การใช้ส่วนผสมระหว่างชั้นกรองที่มีเหล็กและอลูมิเนียมจะได้รับความนิยมค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามชั้นกรองที่จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีต้องเป็นชั้นกรองที่มีเนื้อละเอียด โดยอาจจะมีการเติมทรายเข้าไปเพื่อช่วยปรับค่าการนำการไหล ดังนั้นการเติมเหล็กหรืออลูมิเนียมเข้าไปในชั้นกรอง หรือในน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบจะช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบดีขึ้น (Steiner and Freeman, 1989)

- **กลไกการกำจัดเชื้อโรค** (Pathogen) เชื้อโรคส่วนใหญ่ที่พบอยู่ในบึงประดิษฐ์ ได้แก่ หนอนพยาธิ, แบคทีเรีย และไวรัส เชื้อโรคจำพวกแบคทีเรียและไวรัสจะถูกกำจัดได้ด้วยกลไกต่างๆ ได้แก่ การกินกันและกัน, การตกตะกอน, การดูดซึม และการตายที่เกิดตามธรรมชาติ (Natural died off) เนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น แสงอุลตร้าไวโอเลต (UV) จากดวงอาทิตย์, อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมต่อการขยายพันธุ์ของเชื้อโรค เป็นต้น (U.S EPA, 1988)

- **ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อโรค** โดย **ตารางที่** 2.8 แสดงข้อมูลประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโรคของบึงประดิษฐ์ทั้ง 2 แบบ ในประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดา

ตารางที่ 2.8 ประสิทธิภาพการกำจัดเชื้อโรคในบึงประดิษฐ์

พื้นที่ (พืชที่ปลูก)	ฤดูหนาว			ฤดูร้อน		
	น้ำเข้าสู่ระบบ	น้ำออกจากระบบ[a]	% การกำจัด	น้ำเข้าสู่ระบบ	น้ำออกจากระบบ[a]	% การกำจัด
Santee, CA (bullrush)[b]						
Total coliform, no./100 mL	$5x10^7$	$1x10^5$	99.80	$6.5x10^7$	$3x10^5$	99.54
Bacteriophage, PFU/mL	1,900	15	99.21	2,300	26	98.87
Iselin, PA (cattails & grasses)[c]						
Fecal coliform, no./100 mL	$1.7x10^6$	6,200	99.64	$1.0x10^6$	723	99.93
Arcata, CA (bullrush)[d]						
Fecal coliform, no./100 mL	4,300	900	79.07	1,800	80	95.56
Listowel, Ont. (cattails)[d]						
Fecal coliform, no./100 mL	556,000	1,400	99.75	198,000	400	99.80

ที่มา: ปรับปรุงมาจาก Reed *et al*., 1988

หมายเหตุ

[a] = Undisinfected [b] = Gravel bed, subsurface flow

[c] = Sand bed, subsurface flow [d] = Free water surface

- **กลไกการกำจัดโลหะหนัก** กลไกหลักในการกำจัดโลหะหนัก (Heavy metals) ในบึงประดิษฐ์ คือ การตกผลึกของตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation) และการดูดซับ (Absorption) การตกผลึกของตะกอนโลหะหนักในบึงประดิษฐ์สามารถเกิดขึ้นได้หากมีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจากสภาพที่เป็นกรดให้มีสภาพเป็นกลาง (U.S.EPA, 1993 และ 1995)

- **ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก** พบว่าสามารถกำจัดสารโลหะหนักละลายน้ำ (Dissolved Heavy Metal) ได้แก่ สารละลายอะลูมิเนียม แคดเมียม โครเมียม ทองแดง และสังกะสี ได้มากกว่าร้อยละ 90 ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก ตะกั่ว นิเกิล และแมงกานีสได้ร้อยละ 99, 94, 84 และ 94 ตามลำดับ จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดง, สังกะสี และแคดเมียม ของบึงประดิษฐ์ที่มีระยะเวลากักพักน้ำ 5.5 วัน ใน Santee, California พบว่ามีค่าเท่ากับ 99, 97 และ 99% ตามลำดับ (U.S. EPA, 1988) อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในชั้นกรองด้วย

2.6.2 กลไกและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย และสิ่งปฏิกูลของบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวดิ่ง

ก) กลไกการบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลของบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวดิ่ง

- **กลไกการกำจัดของแข็งแขวนลอย (Suspended solids) และสารอินทรีย์ (Organic compounds)** กลไกการกำจัดของแข็งแขวนลอย และสารอินทรีย์ของบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวดิ่งจะมีลักษณะเดียวกันกับในบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวนอน กล่าวคือ ของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์จะถูกกรองและย่อยสลายภายในชั้นกรอง แต่จะพบว่ากระบวนการในการกำจัดสารอินทรีย์ของการบำบัดในแนวดิ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าการบำบัดในแนวนอน ทั้งนี้

เนื่องมาจากน้ำเสียในระบบบำบัดในแนวดิ่งจะมีการกระจายตัวได้ทั่วผิวชั้นกรองจึงทำให้สามารถใช้ชั้นกรองในการบำบัดอย่างเต็มที่

- **กลไกการกำจัดไนโตรเจน** (Nitrogen) ไนโตรเจนจะถูกกำจัดด้วยกลไกการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่น เช่นเดียวกับระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวนอน ลักษณะเด่นของการบำบัดในแนวดิ่งคือ การมีปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่นเกิดขึ้นอย่างชัดเจน โดยในช่วงแรกเป็นการบำบัดแบบไนตริฟิเคชั่น จากนั้นก็จะเกิดการบำบัดแบบดีไนตริฟิเคชั่นซึ่งจะสังเกตได้จากปริมาณไนเตรทที่เพิ่มสูงขึ้น

- **กลไกการกำจัดฟอสฟอรัส** (Phosphorus) การกำจัดฟอสฟอรัสในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวดิ่ง ใช้หลักการตกตะกอน การดูดซับโดยตะกอน และการดูดซับโดยพืช โดยการกำจัดฟอสฟอรัสในบึงประดิษฐ์แบบในแนวดิ่ง 2 บ่อต่อกันจะช่วยให้เกิดการสัมผัสระหว่างน้ำเสียกับชั้นกรองมากขึ้น

- **กลไกการกำจัดเชื้อโรค** (Pathogen) การกำจัดเชื้อโรคในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวดิ่ง เกิดจากการตายลงเองตามธรรมชาติ การล่า การตกตะกอน และการดูดซับ เช่นเดียวกับระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลในแนวนอน ระบบบำบัดในแนวดิ่งจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อโรคได้ดีเพราะน้ำเสียมีการกระจายตัวทั่วผิวหน้าชั้นกรอง โดยเฉพาะในช่วงการปล่อยน้ำเข้าสู่บึงประดิษฐ์เป็นช่วงๆ ซึ่งจะทำให้ที่ผิวหน้าชั้นกรองมีลักษณะแห้งสลับกับเปียก ซึ่งทำให้เชื้อโรคที่ผิวหน้าชั้นกรองถูกทำลายโดยความร้อนและรังสีอุลตร้าไวโอเลต

ข) ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวดิ่ง

ตัวอย่างบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวดิ่งที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ เป็นบึงประดิษฐ์ที่มีการเดินระบบแบบ 2 บ่อ ต่อกัน สำหรับบำบัดน้ำเสียจากนิคม

อุตสาหกรรมอิสเทอร์นซีบอร์ด โดยมีค่าการดำเนินภาระทางชลศาสตร์ที่ 100 - 400 ลบ.ม./ไร่-วัน และภาระสารอินทรีย์ที่ 60 - 250 กก.บีโอดี/เฮคแตร์-วัน หรือประมาณ 0.006 – 0.025 กก.บีโอดี/ตร.ม.-วัน โดยพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดดังแสดงไว้ใน **ตารางที่** 2.9

ตารางที่ 2.9 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยบึงประดิษฐ์ที่มีการเดินระบบแบบ 2 บ่อต่อกัน

พารามิเตอร์	Standard*	**น้ำเสีย**	**น้ำที่ผ่านการบำบัด**		**ประสิทธิภาพ**
			ขั้นที่ 1	**ขั้นที่** 2	(%)
บีโอดี (BOD), mg/L	$\leq$ 20	88	19	4	95.5
ซีโอดี (COD), mg/L	$\leq$ 120	229	52	19	91.7
ของแข็งแขวนลอย (SS), mg/L	$\leq$ 50	98	16	10	89.8
ทีเคเอ็น (TKN), mg/L	$\leq$ 100	24	15	5	79.2
แอมโมเนีย (NH_3-N), mg/L	N.A.	14	11	3	78.6
ไนเตรท (NO_3-N), mg/L	N.A.	0.01	0.53	4.75	-
ฟอสฟอรัส (TP), mg/L	N.A.	7.0	3.7	1.6	77.1
ของแข็งละลายน้ำ (TDS), mg/L	$\leq$ 5,000	915	1,011	984	-
ฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal coliforms), MPN/100 mL	N.A.	$10x10^6$	$2.1x10^6$	2	99.9

หมายเหตุ : การวิเคราะห์จาก 47 ตัวอย่างสำหรับพารามิเตอร์ต่างๆยกเว้น ประมาณฟีคอลโคลิฟอร์ม ที่ได้ทดสอบ 6 ตัวอย่าง

* มาตรฐานน้ำทิ้ง, กรมโรงงาน

N.A. = ไม่มีข้อมูล

ผลของการบำบัดโดยรวมใน**ตารางที่** 2.9 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของการบำบัดพารามิเตอร์ในรูป BOD, COD, SS, TKN, NH_3-N, TP และ Fecal coliform มีค่ามากกว่า 77 % เมื่อพิจารณาในแต่ละพารามิเตอร์ของการบำบัด โดยเริ่มจากการบำบัด

สารอินทรีย์ พบว่า สามารถบำบัดสารอินทรีย์ ในรูปของ BOD และ COD ได้มากถึง 95.5% และ 91.7 % ตามลำดับ โดยมีค่าความเข้มข้นของ BOD และ COD เป็น 4 และ 19 มก./ล.ที่การบำบัดขั้นที่ 2 และยังพบอีกว่ามากกว่า 78 % ของค่าความเข้มข้น BOD และ COD ได้ถูกบำบัดในบึงประดิษฐ์ขั้นที่ 1 การบำบัดของแข็งแขวนลอยก็เช่นเดียวกันกับการบำบัดสารอินทรีย์ พบว่า สามารถบำบัดได้มากถึง 89.8% และมีค่าความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยเป็น 16 และ 10 มก./ล. ที่ การบำบัดขั้นที่ 1 และขั้นที่ 2 ตามลำดับ ในส่วนของการบำบัดไนโตรเจน พบว่า สามารถบำบัด NH_3-N และ TKN ได้ถึง 78.6% และ 79.2 % โดยมีค่าความเข้มข้นเป็น 3 และ 5 มก./ล. ตามลำดับ

ค) ประสิทธิภาพการบำบัดสิ่งปฏิกูลของบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวดิ่ง

ตั้งแต่ปี 2539 ถึงปัจจุบัน สถาบัน Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) และสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียได้ร่วมกันทำการศึกษาวิจัยในหัวข้อ “การบำบัดสิ่งปฏิกูลโดยใช้บึงประดิษฐ์และบ่อผึ่ง” เพื่อทดสอบการทำงานของบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำในแนวดิ่งสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง (สิ่งปฏิกูล) โดยของเสียที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ สิ่งปฏิกูลในเขตกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 2.10 ค่าเฉลี่ยปริมาณ TS, TCOD, TKN, NH_4 และ NO_3 ในน้ำที่ซึมผ่านชั้นกรอง และประสิทธิภาพในการกำจัดของเสีย ✞ ของแบบจำลองบึงประดิษฐ์ที่มีการเดินระบบแบบ I-IV

ตัวอย่าง	รูปแบบการเดินระบบ	บ่อบำบัดที่	SLR กก. ของแข็ง/ตร.ม.-ปี	ความถี่ จำนวน/สัปดาห์	พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์*, มก./ล.				
					TS	TCOD	TKN	NH_4	NO_3
สิ่งปฏิกูล**					16,300	16,000	830	340	8
น้ำที่ซึมผ่านชั้นกรอง	I	1	250	2	3,340(81)	810(97)	110(95)	100(90)	260
		2	125	2	3.610(80)	570(96)	62(98)	44(93)	190
		3	80	2	2,980(83)	110(98)	10(99)	5(98)	200
	II	1	250	1	2,640(80)	300(97)	62(93)	46(85)	180
		2	125	1	2,840(80)	230(98)	60(96)	56(80)	180
		3	80	1	3,640(78)	210(98)	45(98)	32(92)	210
	III	1	250	2	2,720(88)	780(95)	110(94)	87(88)	200
		2	125	2	2,700(84)	460(97)	100(96)	36(91)	190
		3	80	2	2,670(86)	910(94)	95(99)	49(79)	260
	IV	1	500	2	2,900(81)	1,020 (93)	182(87)	190(69)	180
		2	250	2	3,600(76)	800(94)	140(90)	100(79)	220
		3	160	2	3,800(80)	1,720 (88)	250(79)	190(52)	190

หมายเหตุ

✞ ประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียที่แสดงไว้นี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของสิ่งปฏิกูลที่ใช้ในแบบจำลองที่มีการเดินระบบแต่ละแบบ

* ค่าเฉลี่ยของข้อมูลได้จากการเก็บตัวอย่างแบบผสมรวม (Composite Sampling) จำนวน 12 ตัวอย่าง จากการเดินระบบแต่ละแบบ

** ข้อมูลได้จากค่าเฉลี่ยของสิ่งปฏิกูลที่ใช้ในการเดินระบบแบบ I-IV จำนวน 72 ตัวอย่าง ระหว่างเดือนเมษายน 2540-มกราคม 2541

( ) ค่าประสิทธิภาพการบำบัด

ตารางที่ 2.11 ค่าเฉลี่ยปริมาณ TS, TCOD, TKN, NH_4 และ NO_3 ในน้ำที่ซึมผ่านชั้นกรอง และประสิทธิภาพในการกำจัดของเสีย✞ ของแบบจำลองบึงประดิษฐ์ที่มีการเดินระบบแบบ V-VI

ตัวอย่าง	รูปแบบการเดินระบบ	บ่อบำบัดที่	SLR กก. ของแข็ง/ตร.ม.-ปี	ความถี่จำนวนครั้ง/สัปดาห์	จำนวนวันที่กักพักน้ำไว้	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์*, มก./ลิตร				
						TS	TCOD	TKN	NH_4	NO_3
สิ่งปฏิกูล**						18,500	16,000	1,000	440	6
น้ำที่ซึมผ่านชั้นกรอง	V	1	500	1	-	4,960 (82)	1,880 (94)	240 (82)	170 (52)	250
		2	250	1	-	6.030 (77)	850 (96)	120 (87)	110 (70)	320
		3	160	1	-	4,320 (77)	1,250 (91)	150 (83)	110 (68)	270
	VI	1	250	1	6	2,000 (86)	270 (98)	100 (89)	80 (81)	20
		2	250	1	2	2,400 (84)	400 (97)	150 (85)	100 (77)	53
		3	250	1	0	2,700 (81)	620 (96)	200 (80)	140 (69)	120

หมายเหตุ

✞ ประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียที่แสดงไว้นี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปฏิกูลที่ใช้ในแบบจำลองที่มีการเดินระบบแต่ละแบบ

* ค่าเฉลี่ยของข้อมูลได้มาจากการเก็บตัวอย่างแบบผสมรวม (Composite Sampling) จำนวน 10-12 ตัวอย่างจากการเดินระบบแต่ละแบบ

** ข้อมูลได้จากค่าเฉลี่ยของสิ่งปฏิกูลที่ใช้ในการเดินระบบแบบ V-VI จำนวน 60 ตัวอย่าง ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2541-กุมภาพันธ์ 2542

( ) ค่าประสิทธิภาพการบำบัด

ตารางที่ 2.10 และ **ตารางที่** 2.11 สามารถสรุปได้ว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS), ซีโอดีทั้งหมด (TCOD), เจลดาห์ลไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) และแอมโมเนี่ยม (NH_4) มากกว่า 80% ในขณะที่ความเข้มข้นของไนเตรท (NO_3)

มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 6 - 8 มก./ล. เป็น 20 - 320 มก./ล. โดยรายละเอียดของผลการทดสอบและประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลองบึงประดิษฐ์ในสภาวะต่างๆ ได้อธิบายไว้ดังนี้

- **ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็ง** (Solids), **การทำให้กากตะกอนแห้ง** (Sludge drying) **และสมดุลมวลสาร** (Mass balance) การบำบัดโดยบึงประดิษฐ์สำหรับการกำจัดของแข็งที่ภาระการบำบัด 80 – 500 กก.ของแข็งทั้งหมด/ตร.ม.-ปี นั้น ความถี่ที่ใช้ในการเติมของเสียเข้าสู่ระบบไม่ได้มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมด (TS) อย่างมีนัยสำคัญ แต่พบว่าปัจจัยการอยู่รอดของพืชเป็นตัวชี้ว่าที่อัตราการบำบัดที่ 250 กก.ของแข็งทั้งหมด/ตร.ม.-ปี พืชสามารถเติบโตได้ดี

สมดุลมวลสาร (Mass balance) ของปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ในบ่อบำบัดแต่ละบ่อหลังจากสิ้นสุดการเดินระบบได้ 300 วัน ได้แสดงไว้ใน**ตารางที่** 2.12 พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งทั้งหมดในของเสียที่ถูกรีดน้ำออกแล้วมีค่าเท่ากับ 38-52% ของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เติมเข้ามาในระบบ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี เช่น การที่องค์ประกอบธาตุในสารอินทรีย์เปลี่ยนไปเป็นสารอนินทรีย์ซึ่งสามารถถูกนำไปใช้ในวัฏจักรของสิ่งมีชีวิต (Mineralization), การย่อยสลายตัวทางชีวภาพ (Biodegradation) และการสะสมตัว (Accumulation) ของของแข็งในชั้นกรอง

ตารางที่ 2.12 สมดุลมวล (Mass Balance) ของของแข็งทั้งหมด (TS) ในแบบจำลองบึงประดิษฐ์หลังจากที่มีการเดินระบบเป็นระยะเวลา 300 วัน

ดุลยภาพมวล	บ่อบำบัดที่ 1		บ่อบำบัดที่ 2		บ่อบำบัดที่ 3	
	กก.ของแข็ง/ตร.ม.	%*	กก.ของแข็ง/ตร.ม.	%	กก.ของแข็ง/ตร.ม.	%
สิ่งปฏิกูล	187	-	115	-	112	-
ชั้นของเสียที่ถูกรีดน้ำออกแล้ว	93	50	60	52	43	38
น้ำที่ซึมผ่านชั้นกรอง	20	11	14	12	13	12
ค่าที่ไม่ได้ทำการตรวจวัด	74	39	41	36	56	20

หมายเหตุ * เปอร์เซ็นต์ของของแข็งทั้งหมดในสิ่งปฏิกูล

สำหรับการทดสอบระยะเวลาการกักพักน้ำที่ซึมผ่านชั้นกรองให้ขังอยู่ 6, 2 และ 0 วัน ในบ่อบำบัดที่ 1, 2 และ 3 ในตารางที่ 2.11 พบว่า ระยะเวลาในการกักพักน้ำที่ซึมผ่านชั้นกรองไม่ได้มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าความสามารถในการกรองของบึงประดิษฐ์ไม่ได้เพิ่มมากขึ้นเมื่อน้ำที่ซึมผ่านชั้นกรองถูกกักพักไว้

- **ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์** (Organic compounds) ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดีทั้งหมด 94-99% ความเข้มข้นของซีโอดีทั้งหมด (TCOD) ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างน้ำที่ซึมผ่านชั้นกรองมีค่าเท่ากับ 105-805 มก./ล. (ตารางที่ 2.10) และพบว่าความถี่ในการเติมของเสียเข้าสู่ระบบไม่ได้มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีทั้งหมด (TCOD) แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีทั้งหมด (TCOD) จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการกรองของชั้นกรองมากกว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการทางชีวภาพในระยะเวลาการกักพักน้ำ (HRT) สั้นๆ สาเหตุอื่นที่ทำให้กระบวนการย่อยสลายตัวทางชีวภาพเกิดขึ้นได้น้อย คือ ความสามารถในการสลายตัวทางชีวภาพของสิ่งปฏิกูลในกรุงเทพมหานครมีค่าต่ำ ซึ่งพบว่าสัดส่วนของบีโอดีต่อซีโอดี (BOD:COD) มีค่าเพียง 0.12

- **ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน** (Nitrogen) จากผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.10 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน มีค่ามากกว่า 93% ตัวอย่างน้ำที่ซึมผ่านชั้นกรองมีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจน (N) อยู่ระหว่าง 45-250 มก./ลิตร และพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียม (NH_4) 80-92% ความเข้มข้นของไนเตรท (NO_3) ในน้ำซึมผ่านชั้นกรองเพิ่มขึ้นจาก 8 ถึง 200 มก./ลิตร ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และพบว่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในน้ำที่ซึมผ่านชั้นกรองมีค่าอยู่ระหว่าง 2-4 มก./ลิตร ซึ่งอาจมีส่วนช่วยทำให้จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrifying Bacteria) มีการเจริญเติบโตได้ดีอีกด้วย จากผลการทดลองครั้งนี้ พบว่าผลดีของการ

ควบคุมการทำงานของบึงประดิษฐ์ให้มีการไหลของน้ำในแนวดิ่ง คือจะทำให้มีปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดขึ้น

จากตารางที่ 2.11 พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนจะมีค่าสูงที่สุดในระบบที่มีการเดินระบบที่อัตราภาระของแข็ง 250 กก.ของแข็งทั้งหมด/ตร.ม.-ปี และยังพบอีกว่ามีความเข้มข้นของไนเตรทไนโตรเจน (NO_3) มีค่าน้อยที่สุดที่การกักพักน้ำที่ 6 วัน

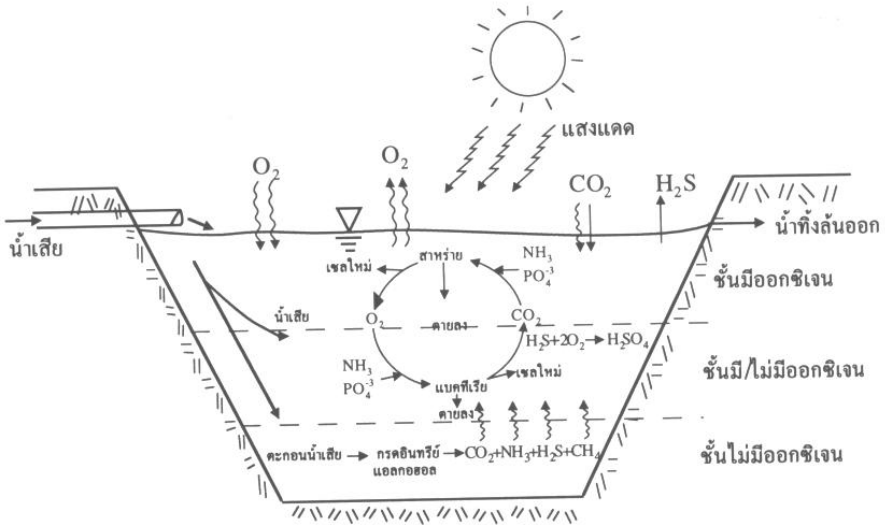
โดยสรุปแล้วค่าที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบบึงประดิษฐ์สำหรับสิ่งปฏิกูลมีค่าเป็น 250 กก.ของแข็งทั้งหมด/ตร.ม.-ปี และใช้เวลาในการกักเก็บ 6 วัน โดยมีการเติมน้ำเสียเข้าระบบ 1 ครั้งต่อสัปดาห์

2.7 การเปรียบเทียบบึงประดิษฐ์กับบ่อผึ่งและการผสมผสานบึงประดิษฐ์กับบ่อผึ่ง

บ่อผึ่ง (Pond) มีความสามารถในการรองรับและบำบัดของเสียได้เช่นเดียวกับบึงประดิษฐ์ แต่กลไกหรือกระบวนการในการบำบัดของเสียในบ่อผึ่งจะไม่ซับซ้อนและมีประสิทธิภาพดีเท่ากับบึงประดิษฐ์ เพราะบ่อผึ่งไม่มีชั้นกรองและพืชภายในบ่ออย่างบึงประดิษฐ์ ดังนั้นกลไกในการบำบัดของเสียในบ่อผึ่งจึงอาศัยหลักการตามธรรมชาติ เช่น การย่อยสลายของของเสีย การสังเคราะห์แสงเพื่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือการหมักเพื่อให้เกิดก๊าซมีเทน ซึ่งทำให้ใช้เวลาในการเก็บกักของเสียในบ่อผึ่งค่อนข้างนานเมื่อเปรียบเทียบกับบึงประดิษฐ์และระบบบำบัดแบบอื่น กลไกการบำบัดของเสียในบ่อผึ่งอาจเป็นทั้งแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจนภายในบ่อเดียวกันดังแสดงใน**รูปที่** 2.13 ซึ่งสามารถแบ่งกลไกการบำบัดภายในบ่อออกเป็น 3 ชั้น ดังนี้

- ชั้นผิวบน คือชั้นที่เกิดปฏิกิริยาชีวเคมีจากแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจน (Aerobic bacteria) และจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย โดยในชั้นนี้จะมีการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างผิวน้ำกับชั้นบรรยากาศเกิดขึ้น

- ชั้นกลาง คือชั้นที่แบคทีเรียทั้งชนิดที่จำเป็นต้องใช้และไม่ใช้ออกซิเจนในการเจริญเติบโตที่อาศัยอยู่ ในชั้นนี้ของเสียบางส่วนจะถูกบำบัดและดึงมาใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ใหม่ของแบคทีเรีย
- ชั้นล่างสุด คือชั้นที่เกิดปฏิกิริยาชีวเคมีจากแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic bacteria) เป็นบริเวณที่มีการสะสมของตะกอนจากน้ำเสีย แบคทีเรียและสาหร่ายที่ตายแล้ว ดังนั้นจึงเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศและมีก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ก๊าซไข่เน่า (H_2S) และก๊าซมีเทน (CH_4) เกิดขึ้น



รูปที่ 2.13 กลไกในการบำบัดของเสียที่เกิดขึ้นในบ่อผึ่ง

แม้ว่ากระบวนการบำบัดของเสียในบ่อผึ่งและบึงประดิษฐ์จะมีลักษณะเหมือนกัน คือใช้หลักการทางธรรมชาติ อย่างไรก็ตามบึงประดิษฐ์จะใช้พืชเป็นองค์ประกอบหลักในการบำบัดของเสีย ในขณะที่กลไกในการบำบัดของเสียในบ่อผึ่งจะเกิดจากการทำงานของแบคทีเรียเป็นหลัก ซึ่งเกณฑ์การออกแบบ กลไกและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและการเปรียบเทียบความแตกต่างของระบบบึงประดิษฐ์กับระบบบ่อผึ่ง ได้แสดงไว้ใน**ตารางที่** 2.13 และ**ตารางที่** 2.14 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.13 เกณฑ์การออกแบบ กลไกและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของบ่อผึ่งและบึงประดิษฐ์

พารามิเตอร์	บ่อผึ่ง	บึงประดิษฐ์
เกณฑ์การออกแบบ		
- Loading Rate (เฮกแตร์/ลบม.วัน)	3 – 14	2.14 – 7.16
- ความลึก (เมตร)	1.2 – 2.5	0.1 – 0.6
- เวลาเก็บกัก (วัน)	80 – 180	4 – 15
กลไกการบำบัดน้ำเสีย		
- การย่อยสลายโดยจุลชีพ	+	+
- ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน	+	+
- โดยรังสี UV	+	+
- การตกตะกอน	+	+
- การกรอง	-	+
- พืชนำไปใช้	-	+
ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย		
- สารอินทรีย์	50 – 80 %	70 – 96 %
- ไนโตรเจน	10 – 50 %	25 – 85 %
- ฟอสฟอรัส	10 – 50 %	10 – 75 %
- ตะกอนแขวนลอย	50 – 60 %	60 – 90 %

ที่มา: Koottatep et al, 2002

หมายเหตุ + = เกิดกลไกภายในระบบ

\- = ไม่เกิดกลไกภายในระบบ

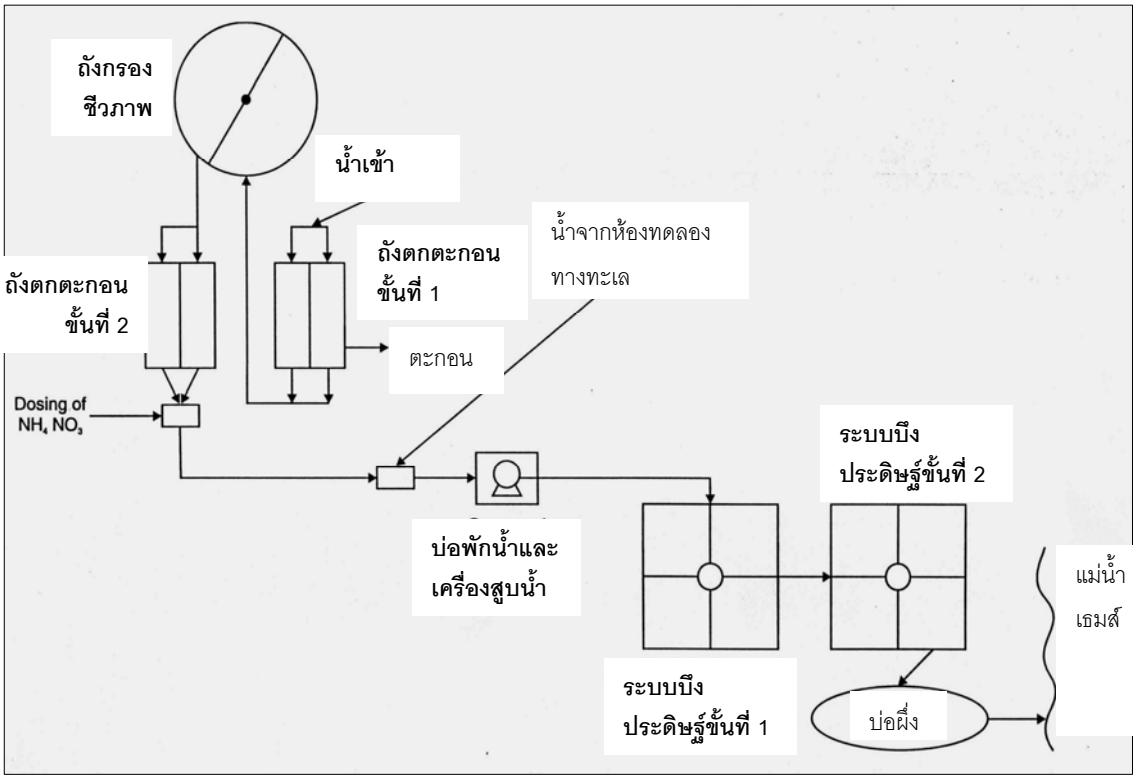
เฮกแตร์ = 10,000 ตารางเมตร

ตารางที่ 2.14 การเปรียบเทียบความแตกต่างของระบบบึงประดิษฐ์กับระบบบ่อผึ่งสำหรับระบบขนาดการบำบัดเท่ากัน

ข้อพิจารณา	ระบบบึงประดิษฐ์	ระบบบ่อผึ่ง
1. พื้นที่	ใช้พื้นที่น้อยกว่าระบบบ่อผึ่ง	ใช้พื้นที่มากกว่าระบบบึงประดิษฐ์
2. ราคาค่าก่อสร้าง	แพงกว่าระบบบ่อผึ่ง เพราะต้องทำการใส่ชั้นกรองและปลูกพืช	ถูกกว่าระบบบึงประดิษฐ์ เพราะโครงสร้างมีเฉพาะตัวบ่อ
3. การดูแลรักษา	ต้องทำการตัด หรือเก็บเกี่ยวพืชตามอายุของพืช	ต้องทำการลอกเอาแหน ผักตบหรือพืชชนิดอื่นๆ ออกอยู่เสมอๆ เพราะถ้ามีมากเกินไปจะทำให้เกิดการกันแสงแดด ทำให้กระบวนการบำบัดทำงานได้ไม่เต็มที่
4. คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบ	ใส สามารถเอาไปทำประโยชน์ต่อได้	เขียว เพราะในน้ำจะมีสาหร่ายหลุดออกมาด้วย
5. การใช้ประโยชน์ของพื้นที่ภายหลังก่อสร้างระบบเสร็จ	ใช้เป็นพื้นที่สำหรับพักผ่อนหรือเป็นสวนสาธารณะได้ด้วย เพราะมีต้นไม้ และลักษณะทางภูมิทัศน์ที่เหมาะสม ประกอบกับต้นพืชที่ปลูกสามารถให้ดอกและเป็นที่อยู่ของสัตว์พวกนก ทำให้พื้นที่บำบัดมีความสวยงาม	สามารถจัดทำเป็นพื้นที่สำหรับการผักผ่อนหรือสวนได้เหมือนกัน แต่ต้องจัดรูปแบบทางภูมิสถาปัตย์ และต้องปลูกต้นไม้อีกมากเพื่อต้องการร่มเงา เพราะเป็นพื้นที่เปิด โล่ง

จากตารางที่ 2.13 พบว่าบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียสูงกว่าบ่อผึ่ง ทั้งนี้เพราะมีกลไกในการบำบัดมากกว่า อย่างไรก็ตามการผสมผสานระหว่างบ่อผึ่งและบึงประดิษฐ์อาจเป็นวิธีหนึ่ง ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียและลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและดูแลรักษาระบบได้ด้วยการใช้บ่อผึ่งสำหรับบำบัดของเสียขั้นสุดท้ายเพื่อปรับสภาพน้ำก่อนที่จะปล่อยออกสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ซึ่ง

ตัวอย่างการผสมผสานระหว่างบึงประดิษฐ์และบ่อผึ่งสำหรับบำบัดของเสียแสดงไว้ใน **รูปที่** 2.14



รูปที่ 2.14 การผสมผสานระหว่างบึงประดิษฐ์และบ่อผึ่งสำหรับบำบัดของเสีย ประเทศอังกฤษ

บทที่ 3

การเลือกใช้ และการออกแบบระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

กระบวนการออกแบบและเกณฑ์การออกแบบทางด้านวิศวกรรมของบึงประดิษฐ์ สมการการออกแบบและเกณฑ์การออกแบบในบทนี้ได้ทำการพิสูจน์มาจากกรณีศึกษาต่างๆซึ่งเหมาะสมกับพื้นที่บางพื้นที่ ดังนั้นค่าในการออกแบบเมื่อจะนำมาใช้ควรจะมีการตรวจสอบอีกครั้งในพื้นที่นั้นๆ โดยทำการทดสอบแบบจำลองสาธิตก่อน ที่จะมีการดำเนินการในระบบการทำงานขนาดใหญ่ เมื่อระบบบึงประดิษฐ์ได้ถูกเลือกให้เป็นระบบบำบัดกระบวนการออกแบบที่ต้องคำนึงถึง มีดังต่อไปนี้

1) การเลือกใช้ระบบ
2) การบวนการและเกณฑ์การออกแบบทางด้านวิศวกรรมของบึงประดิษฐ์

รายละเอียดของกระบวนการต่างๆ ข้างต้นได้ถูกอธิบายในลำดับต่อจากนี้

3.1 การเลือกใช้ระบบ

เกณฑ์ทั่วไปในการเลือกชนิดของบึงประดิษฐ์ในการบำบัดของเสีย จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหรือลักษณะของของเสีย ปริมาตรของเสีย คุณภาพน้ำหรือตะกอนที่ต้องการหลังการบำบัด รวมถึงขนาดพื้นที่ที่จะใช้ในการก่อสร้างระบบ ซึ่งก็จะส่งผลต่อการออกแบบขนาดของบึงประดิษฐ์ด้วย ถ้าภาระบำบัด (Loading rate) ที่จะเข้าสู่ระบบไม่สูงมากและไม่มีข้อกำจัดเรื่องขนาดพื้นที่ อาจเลือกใช้ระบบบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (FWS) ได้เพราะระบบบึงประดิษฐ์แบบ FWS มีค่าก่อสร้างระบบน้อยกว่าที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (SF) และบึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวกรองในแนวดิ่ง (VF) แต่ถ้าต้องการให้ระบบสามารถรองรับภาระบำบัดสูงขึ้นและมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้นอาจเลือกใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบ SF ส่วนบึงประดิษฐ์แบบ VF พบว่าสามารถใช้บำบัดของเสียที่มีความเข้มข้นและภาระบำบัดค่อนข้างสูงได้ดีและพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดสิ่งปฏิกูลได้ดีกว่าการใช้ลานตากตะกอนโดยทั่วไป

3.1.1 ประเภทและลักษณะน้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

บึงประดิษฐ์สามารถบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆ ที่มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น น้ำทิ้งจากชุมชน หรือโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไป น้ำทิ้งที่ระบายออกจากอาคารประเภทต่างๆ และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท ได้มีการรวบรวมและแสดงไว้ใน**ตารางที่** 3.1 , 3.2 **และ** 3.3

ตารางที่ 3.1 ลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไป

องค์ประกอบ	**มก./ลิตร**	**กรัม/(คน.วัน)**
บีโอดี (BOD)	110 – 440	80 – 120
ซีโอดี (COD)	1.75 x BOD	1.75 x BOD
ทีโอซี (TOC)	0.8 x BOD	0.8 x BOD
ของแข็งทั้งหมด (TS)	350 – 1200	170 – 220
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)	100 – 350	70 – 145
ของแข็งที่ตกตะกอนได้ (Settleable Solids)	5 – 20	-
ไขมัน (Grease)	50 – 150	10 – 30
สารประกอบไนโตรเจนทั้งหมด (TN)	20 – 85	6 – 12
- สารอินทรีย์ไนโตรเจน	0.4 x Total - N	0.4 x Total - N
- แอมโมเนีย	0.6 x Total - N	0.6 x Total - N
- ไนเตรท	(0.0 – 0.05) x Total - N	(0.0 – 0.05) x Total - N
สารประกอบฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	4 – 15	0.6 – 4.5
- สารอินทรีย์ฟอสฟอรัส	0.3 x Total - P	0.3 x Total - P
- สารอนินทรีย์ฟอสฟอรัส	0.7 x Total - P	0.7 x Total - P
Total alkalinity, $CaCO_3$	50 – 200	20 – 30
คลอไรด์ (as Cl)	20 – 50	4 – 8
ซัลเฟต (as SO_4)	15 – 30	-

ตารางที่ 3.1 ลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไป (ต่อ)

องค์ประกอบ	มก./ลิตร	กรัม/(คน.วัน)
ไนเตรท (as NO_3)	20 – 40	-
ฟอสเฟต (as PO_4)	20 – 40	-
โซเดียม (as Na)	40 – 70	-
โพแทสเซียม (as K)	7 – 15	-
แคดเมียม (as $CaCO_3$)	15 – 40	-
แมงกานีส (as $CaCO_3$)	15 – 40	-
โบรอน (as $CaCO_3$)	0.1 – 0.4	-
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)	100 – 300	-

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทของอาคาร	หน่วย	ปริมาณ BOD (กรัม/(หน่วย.วัน))	ประเภทของอาคาร	หน่วย	ปริมาณ BOD (กรัม/(หน่วย.วัน))
อาคารชุด	ห้องชุด	48	โรงพยาบาล	เตียง	94
โรงแรม	ห้อง	123	โรงมหรสพ	ที่นั่ง	0.57
หอพัก	ห้อง	76	ภัตตาคาร	ตร.ม.	53
สถานบริการ	ห้อง	26	ตลาด	ตร.ม.	21
หมู่บ้านจัดสรร	บ้าน	63	สำนักงาน	ตร.ม.	0.09

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539

ตารางที่ 3.3 ค่า BOD_5 ของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท

ประเภทของโรงงาน	BOD_5 (มก./ลิตร)	ประเภทของโรงงาน	BOD_5 (มก./ลิตร)
โรงงานบรรจุอาหารกระป๋อง	750	โรงงานนมวัว	1,000 – 2,000
โรงงานน้ำตาล	450 – 1,600	โรงงานลูกกวาด	1,560
โรงงานแป้งต่างๆ	330	โรงงานผลิตน้ำอัดลม	480
โรงงานผลิตกาแฟ	1,500 – 10,000	โรงงานเบียร์	800 – 1,200
โรงงานฆ่าสัตว์ทั่วไป	2,000	โรงงานผลิตยา	270
โรงงานซักผ้า	700	โรงงานผลิตภัณฑ์ยางทั่วไป	200
โรงงานผลิตภัณฑ์ยางสังเคราะห์	25 – 1,600	โรงงานไม้อัด	2,000
โรงงานชุบโลหะ	8	โรงงานบรรจุนมขวด	230
โรงงานนมผง	480	นมเปรี้ยว	64,000
หางนม	73,000	นมสด	102,500
โรงงานผลิตไอศครีม	910	โรงงานเนยเหลว	3,160
โรงงานเนื้อสัตว์ทั่วไป	1,300	โรงงานฟักไก่ไข่	200
โรงงานผลิตข้าวสำเร็จรูป	1,100	โรงงานขนมปัง	3,000
โรงงานผลิตเหล้า	34,000	เลือดสัตว์ทั่วไป	32,000
โรงฆ่าไก่	400 – 800	โรงงานผลิตภัณฑ์ผ้าสังเคราะห์	1,500
โรงงานย้อมผ้า	100 – 1,300	โรงงานกระดาษ	100 – 1,000

ที่มา: เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539

3.1.2 ประเภทและลักษณะสิ่งปฏิกูลที่บำบัดด้วยระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

สิ่งปฏิกูลที่เกิดจากบ่อเกรอะหรือระบบบำบัดที่ใกล้เคียง โดยทั่วไปมักประกอบไปด้วยน้ำเสียจากห้องน้ำ โถส้วม และชักโครก ซึ่งมาจากหลายๆ แหล่งกำเนิดเช่น บ้านเรือน โรงเรียน ร้านอาหาร ภัตตาคาร โรงแรม คุณสมบัติโดยทั่วไปของสิ่งปฏิกูลโดยทั่วไปแสดงไว้ใน**ตารางที่** 3.4

จากการสำรวจคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลของกรุงเทพมหานคร โดยทั่วไปพบว่ามีช่วงค่าความผันผวนของคุณสมบัติต่างๆ สูงมาก ทั้งนี้สิ่งที่มีผลต่อคุณสมบัติมากที่สุดก็คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการกดชักโครก ปริมาณน้ำที่ซึมออกจากบ่อเกรอะหรือบ่อซึม และระยะเวลาที่สิ่งปฏิกูลถูกหมักอยู่ในถัง ตัวอย่างคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลจากเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ที่ตรวจวิเคราะห์ในระหว่างเดือนกรกฎาคม 2541 ถึงธันวาคม 2544 ได้แสดงไว้ใน**ตารางที่** 3.5

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติโดยทั่วไปของสิ่งปฏิกูล

พารามิเตอร์	**สิ่งปฏิกูลทั่วไป (หน่วย มก. / ลิตร)**		
	ค่าเฉลี่ย	**ค่าต่ำสุด**	**ค่าสูงสุด**
ของแข็งทั้งหมด (TS)	34,106	1,132	130,475
ของแข็งทั้งหมดที่ระเหยได้ (TVS)	23,100	353	71,402
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)	12,862	310	93,378
ของแข็งแขวนลอยที่ระเหยได้	9,027	95	51,500
บีโอดี (BOD)	6,480	440	78,600
ซีโอดี (COD)	31,900	1,500	703,000
ทีเคเอ็น (TKN)	588	66	1,060
แอมโมเนีย	97	3	116
สารประกอบฟอสฟอรัสทั้งหมด	210	20	760
ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity)	970	522	4,190
ไขมัน (Grease)	5,600	208	23,368
พีเอช (pH)	7.8	1.5	12.6
โลหะหนัก (Heavy Metals)			
อะซีนิก (Arsenic)	0.141	0	3.5
แบเรียม (Barium)	5.76	0.005	202
แคดเมียม (Cadmium)	0.097	0.005	8.1
โครเมียม (Chromium)	0.49	0.01	34
โคบอลท์ (Cobalt)	0.406	< 0.003	3.45
คอปเปอร์ (Copper)	4.84	0.01	261
ไซยาไนด์ (Cyanide)	0.469	0.001	1.53
เหล็ก (Iron)	39.3	0.2	2740
ตะกั่ว (Lead)	1.21	< 0.025	118

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลโดยทั่วไป (ต่อ)

พารามิเตอร์	สิ่งปฏิกูลทั่วไป (หน่วย มก. / ลิตร)		
	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
แมงกานีส (Manganese)	6.09	0.55	17.1
ปรอท (Mercury)	0.005	0.0001	0.742
นิคเกิล (Nickel)	0.526	0.01	37
ซิลเวอร์ (Silver)	0.099	< 0.003	5
ทิน (Tin)	0.076	< 0.015	1
สังกะสี (Zinc)	9.97	< 0.001	444

ที่มา: U.S. EPA. (1995)

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลจากเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

พารามิเตอร์	ช่วง	ค่ากึ่งกลาง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Eh , mV	-90 to -292	-212	-206	42
พีเอช	6.6 – 8.12	7.5	7.45	0.3
สภาพนำไฟฟ้า (Conductivity), mS/cm	2.04 – 5.25	3.4	3.5	0.6
ของแข็งทั้งหมด (TS), มก./ล.	5,720 – 28,040	13,710	14,049	4,684
ของแข็งระเหยทั้งหมด (TVS), มก./ล.	4,040 –21,810	10,162	10,384	3,586
ของแข็งแขวนลอย (SS), มก./ล.	3,150 –25,020	11,820	11,925	4,332
ของแข็งแขวนลอย (VSS), มก./ล.	2,430 – 16,120	9,034	9,337	3,297
ซีโอดี (COD), มก./ล.	5,416 –34,500	14,485	15,547	5,980
ซีโอดี ละลายน้ำ (DCOD), มก./ล.	116 - 600	231	239	80
ทีเคเอ็น (TKN), มก./ล.	370 – 1,602	988	993	263
แอมโมเนียม (NH_4-N), มก./ล.	190 – 875	395	412	121

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลจากเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร (ต่อ)

พารามิเตอร์	ช่วง	ค่ากึ่งกลาง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อินทรีย์ไนโตรเจน (Org-N), มก./ล.	42 – 1,296	593	603	244
ไนเตรท (NO_3-N), มก./ล.	2 - 21	9	9.5	4.4
ฟอสฟอรัสทั้งหมด(TP), มก./ล.	1,482 - 692	1,015	980	203
Reactive P, มก./ล.	160 - 100	133	138	18

ที่มา: Koottatep et. al. 2002

3.2 กระบวนการและเกณฑ์การออกแบบทางด้านวิศวกรรมของบึงประดิษฐ์

3.2.1 กระบวนการออกแบบ

ก) การคัดเลือกชนิดของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

บึงประดิษฐ์ ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมี 2 แบบ คือระบบไหลท่วมผิวชั้นกรอง และระบบไหลใต้ผิวชั้นกรอง ซึ่งมีอยู่ 2 รูปแบบย่อยที่แยกตามแนวการไหล คือ การไหลในแนวนอน และการไหลในแนวดิ่ง ถึงแม้ว่าจะไม่มีข้อสรุปที่เด่นชัดในเรื่องของความเหมาะสมระหว่างระบบไหลใต้ชั้นผิวกรองกับระบบไหลท่วมผิวชั้นกรอง แต่พบ ว่าระบบการไหลใต้ผิวชั้นกรอง ได้ถูกนำมาใช้กันมากขึ้นในปัจจุบันเนื่องจากข้อได้เปรียบบางประการ (Reed and Brown, 1992) กล่าวคือ เป็นระบบที่มีผลกระทบน้อย ไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่น ทนต่อสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง ประสิทธิภาพการบำบัดต่อพื้นที่สูง สำหรับระบบไหลท่วมผิวชั้นกรองมีข้อได้เปรียบ ดังนี้คือค่าก่อสร้างและค่าการดำเนินระบบที่ต่ำกว่า ปัญหาด้านการอุดตันมีน้อย ถ้าพื้นที่ใดไม่มีการเปลี่ยนแปลงด้านอุณหภูมิมากนัก ก็จะพบรูปแบบนี้มีก่อสร้างอย่างแพร่หลายในหลายๆ พื้นที่

ข) การคัดเลือกพื้นที่

พื้นที่สำหรับก่อสร้างบึงประดิษฐ์สามารถสร้างได้ทุกที่ที่มีพื้นที่พอเพียงที่จะสร้าง แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดควรจะพิจารณาตามข้อพิจารณาต่างๆ ดังนี้

- **สภาพทางภูมิศาสตร์ (พื้นที่)**

สภาพพื้นที่เป็นส่วนสำคัญสำหรับขั้นตอนการคัดเลือกพื้นที่ด้วยเพราะปัจจัยการขุด การถมคืน การระบายน้ำ การเข้าถึง และการทะลายของดิน เมื่อทำการก่อสร้างบึงประดิษฐ์ โดยปกติแล้วพื้นที่แหล่งกำเนิดน้ำเสียจะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของพื้นที่ การพิจารณาถึงราคาค่าก่อสร้างสามารถประหยัดลงได้โดยการเลือกพื้นที่ ที่เหมาะสมต่อการไหลตามแรงโน้มถ่วง อันเนื่องมาจากการขุดทำบึงประดิษฐ์เป็นการลงทุนหลักของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ดังนั้นพื้นที่ที่มีความลาดประมาณ 1% หรือมากกว่า จะเป็นพื้นที่ที่เหมาะสำหรับการออกแบบระบบบึงประดิษฐ์

- **อุทกวิทยาและสภาพอากาศ**

ปริมาณน้ำฝน การซึม การระเหยและการใช้น้ำของพืช เป็นปัจจัยประการหนึ่งที่มีผลกระทบต่อระบบบึงประดิษฐ์ เพราะจะมีผลต่อเวลาการกักเก็บและลักษณะของน้ำ ปริมาณของน้ำฝนที่มากจะส่งผลต่อการฟุ้งกระจายและการหลุดออกมาของสารแขวนลอยมากขึ้น ในขณะที่กระแสลมสามารถทำให้เกิดความเสียหายต่อพืชในบึงประดิษฐ์ได้ อุณหภูมิที่เย็นมากในบางประเทศจะส่งผลต่อปฏิกิริยาต่างๆในบึงประดิษฐ์ โดยเฉพาะปฏิกิริยาชีวภาพ คงจะเหลือแต่ปฏิกิริยาทางฟิสิกส์-เคมีที่ยังคงสามารถทำงานได้ Bowmer (1987) ได้อธิบายถึงสภาพอากาศที่เลวร้าย (อากาศร้อน) อาจจะส่งผลทำให้เกิดการระเหยและการใช้น้ำของพืชต่อวันเท่ากับหรือมากกว่าปริมาณน้ำที่เข้าระบบ ในกรณีนี้บึงประดิษฐ์จะทำหน้าที่เสมือนถังพักน้ำชั่วคราวและเป็นที่ที่ทำให้ความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำสูงขึ้น ดังนั้นปริมาณฝนและสภาพอากาศจะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบ ข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา

จะเป็นตัวช่วยที่ทำให้ทราบถึงสิ่งที่ต้องเตรียมรับมือข้างต้น ในส่วนของการระเหยของน้ำ และการใช้น้ำของพืช สามารถหาได้โดยวิธีการทดลองและทฤษฎีของ Thornthwaite บึงประดิษฐ์สามารถให้ประสิทธิภาพสูงไม่เฉพาะแต่ที่อุณหภูมิสูงเท่านั้น แต่ยังสามารถทำงานได้ดีในช่วงกว้างของอุณหภูมิยังผลต่อการบำบัดมวลสารในบึงประดิษฐ์ ดังนั้นปัจจัยทางด้านอุทกวิทยาและสภาพอากาศจะมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบมากหรือน้อยขึ้นกับความรุนแรงของแต่ละปัจจัย

- **ลักษณะของชั้นดินและวัสดุที่ใช้ในการเคลือบหรือฉาบที่พื้นบึงประดิษฐ์**

ในการที่จะลดการซึมของน้ำผ่านไปสู่ดิน การเลือกพื้นที่ก่อสร้างบึงประดิษฐ์ ควรเป็นพื้นที่ที่มีสภาพดินที่มีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้น้อยกว่า 10^{-6} ซม./วินาที ซึ่งมีลักษณะเป็นดินเหนียวที่ได้รับการบดอัด แต่ถ้าพื้นที่ก่อสร้างมีสภาพดินไม่เหมาะสมตามเกณฑ์ข้างต้น จำเป็นต้องมีการปูพื้นบึงประดิษฐ์เพื่อป้องกันการปนเปื้อนไปสู่น้ำใต้ดิน

วัสดุที่ใช้ในการเคลือบหรือฉาบบึงประดิษฐ์ควรมีความแข็งแรง, หนาและเรียบ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้รากพืชสามารถยึดเกาะได้ โดยความหนาน้อยที่สุดควรมีค่า 0.3 – 0.6 เมตร แผ่นพลาสติกสังเคราะห์ PVC และ PE ได้ถูกนำมาใช้ปูพื้น ด้วยเพราะคุณสมบัติที่กันน้ำ ราคาไม่สูงนักเมื่อเทียบกับการปูพื้นด้วยคอนกรีต ถ้าดินในบริเวณที่จะก่อสร้างบึงประดิษฐ์ประกอบด้วยหินที่เป็นเหลี่ยมมุมไม่เรียบ การรองพื้นบ่อด้วยทรายหรือแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) ก่อนและหลังแผ่นพลาสติกจะช่วยป้องกันการฉีกขาดของพลาสติกจากหินหรือการเจาะทะลุของรากพืชได้ และถ้าจะใช้บึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำทิ้งจากเหมืองแร่ (Mine drainage) ควรมีการทดสอบการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำทิ้งกับดินเหนียวหรือวัสดุปูพื้นสังเคราะห์ด้วย เพราะดินเหนียวและวัสดุปูพื้นสังเคราะห์อาจทำปฏิกิริยาและถูกทำลายโดยน้ำทิ้งที่มีสภาพความเป็นกรดจากเหมืองแร่ได้

โดยทั่วไปการปูวัสดุกันซึมที่ผนังและก้นบ่อแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

O การใช้ดินที่มีอัตราการไหลซึมต่ำ (Low Permeable Soil Liner) ประกอบด้วยชั้นดินเหนียวบดอัดหนา 60 ซม. และมีค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำ

สูงสุด 10^{-6} ซม./วินาที และมีชั้นรวบรวมน้ำเสียสำหรับระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลในแนวดิ่งเพื่อระบายน้ำออกจากระบบ นอกจากนี้ต้องมีชั้นดินปกคลุมอย่างน้อย 30 ซม.

o การใช้วัสดุกันซึมผสม (Composite Liner) จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับวัสดุกันซึมประเภทแผ่นวัสดุสังเคราะห์ชั้นเดียว แตกต่างกันเพียงค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำของดินที่อยู่ชั้นล่างแผ่นวัสดุสังเคราะห์จะมีค่าไม่เกิน 10^{-6} ซม./วินาที

o การใช้แผ่นวัสดุสังเคราะห์ชั้นเดียวกับดินที่มีอัตราการไหลต่ำ (Single geosynthetic liner with low permeable soil) ประกอบด้วยชั้นแผ่นวัสดุสังเคราะห์ประเภท HDPE หนา 1.5 มม. ขึ้นไป ด้านบนของแผ่นวัสดุสังเคราะห์จะมีชั้นรวบรวมน้ำเสียสำหรับระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลในแนวดิ่งเหนือวัสดุกันซึมไม่เกิน 30 ซม. ส่วนชั้นล่างของวัสดุสังเคราะห์เป็นดินบดอัดหนา 60 ซม. มีค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำที่อิ่มตัว ไม่มากกว่า 10^{-5} ซม./วินาที

ตารางที่ 3.6 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการปูพื้นบ่อ

วิธีการปูพื้นบ่อ	ข้อดี	ข้อจำกัด
1. การปูพื้นบ่อด้วยดินเหนียวบดอัดแน่น	- สะดวกและง่ายในกรณีที่พื้นที่นั้นมีดินเหนียว	- บางพื้นที่ไม่สามารถหาดินเหนียวที่บดอัดแล้วมี ค่า สัมประสิทธิ์การไหลไม่มากกว่า $1x10^{-6}$ - ก่อสร้างได้ช้าเพราะต้องบดอัดดินเป็นชั้นหนา 60 ซม.
2. การปูพื้นบ่อด้วยคอนกรีต	- เหมาะสำหรับพื้นที่ขนาดเล็ก - เทคโนโลยีแบบการก่อสร้างทั่วๆไปสามารถทำได้ - แข็งแรง ใช้ได้นาน	- ไม่เหมาะสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ - แพง
3. การปูพื้นบ่อด้วยแผ่นใยสังเคราะห์และแผ่นพลาสติก	- สามารถทำงานได้เร็ว - ราคาถูกกว่าการปูพื้นบ่อด้วยคอนกรีต - เหมาะสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่	- ต้องใช้เทคโนโลยีและความชำนาญในการปู - ไม่คุ้มถ้าต้องทำบนพื้นที่ขนาดเล็ก

ที่มา: ปรับปรุงจาก Pollution Control Department, 2000

- **ลักษณะการใช้ที่ดินในปัจจุบันและการเข้าถึงพื้นที่**

พื้นที่ที่เหมาะสำหรับใช้ก่อสร้างระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ ควรเป็นพื้นที่เปิดกว้างหรือเป็นพื้นที่ใช้สำหรับการเกษตรโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ที่ตั้งอยู่ใกล้บึงธรรมชาติ และเพื่อป้องกันปัญหาน้ำท่วมในการออกแบบควรยกคันบ่อให้สูงกว่าระดับดินเดิม นอกจากนี้ระดับก้นบ่อของระบบบึงประดิษฐ์ จะต้องอยู่สูงกว่าระดับน้ำใต้ดินไม่น้อยกว่า 1 เมตร ยกเว้นในกรณีที่มีการออกแบบพิเศษ เพื่อควบคุมป้องกันแรงดันขึ้น (uplift) ของน้ำใต้ดินต่อระบบบึงประดิษฐ์ สำหรับระยะห่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ในประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดระยะห่างระหว่างระบบบึงประดิษฐ์และแหล่งน้ำธรรมชาติ ดังนั้นข้อมูลที่นำมาอ้างอิงจึงนำมาการจากเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ของสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย ซึ่งควรตั้งอยู่ห่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติไม่น้อยกว่า 300 เมตร

การใช้ที่ดินในปัจจุบันหรืออนาคต หรือ ราคาที่ดิน เป็นสิ่งจำเป็นต่อการเลือกพื้นที่อย่างเหมาะสม และควรพิจารณาความคิดเห็นของผู้อาศัยรอบๆบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง และควรปลูกต้นไม้จัดทำเป็นแนวกั้นขนาดใหญ่ ประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์มักขึ้นกับเวลาการกักเก็บในบึงประดิษฐ์ ความสำคัญของบึงประดิษฐ์คือการกำหนดบึงประดิษฐ์ให้ได้เวลาการกักเก็บตามต้องการ ซึ่งพื้นที่ควรสามารถขยายต่อได้ในอนาคต

การเข้าถึงพื้นที่เป็นสิ่งสำคัญสำหรับบึงประดิษฐ์ด้วยเป็นการเข้าถึงของผู้คนยวดยาน อุปกรณ์สำหรับก่อสร้าง และการบำรุงรักษา

ค) ชั้นกรอง พืช โครงสร้างของบึงประดิษฐ์และอุปกรณ์เครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง

- **ชั้นกรองและพืช**

ชั้นกรองที่เลือกนำมาใช้ในบึงประดิษฐ์เป็นวัสดุที่มีในธรรมชาติ คือพวกกรวดหิน และทราย ซึ่งสามารถหาได้ทั่วไป สำหรับพืชนั้นส่วนใหญ่ที่มักปลูกในบึงประดิษฐ์ได้แก่ พืชจำพวกธูปฤาษี อ้อ กก แฝก และหญ้าทรงกระเทียม เป็นต้น ซึ่งควรเลือกตาม

พื้นที่นั้นๆ ว่ามีพืชชนิดใดเป็นพืชท้องถิ่นจะทำให้ปลูกง่ายและโตเร็ว อีกประการที่สำคัญ คือ ถ้าได้พืชที่สามารถให้ประโยชน์ได้ภายหลังจากเก็บเกี่ยวแล้วก็จะทำให้ได้ผลตอบแทนจากระบบบำบัดได้

- **บึงประดิษฐ์**

บึงประดิษฐ์สามารถสร้างได้โดยการขุด หรือการทำคันบ่อ หรือผสมกันทั้ง 2 ระบบ คันบ่อมักจะถูกสร้างจากดินที่เป็นวัสดุขนาดละเอียดพอที่จะบดอัดแล้วอยู่ตัว และสามารถกั้นน้ำไม่ให้ไหลผ่านได้ คันบ่อควรมีความสูงพอที่จะบรรจุน้ำในปริมาณที่ต้องการ และควรที่จะมีระยะที่เพิ่มขึ้นไปอีก (Free board) เพื่อที่จะสามารถรองรับอัตราการไหลที่มากขึ้นอีก ทั้งยังสามารถใช้ปรับระยะความสูงของน้ำเพื่อให้เกิด ความมั่นคงในระยะยาว คันบ่อควรจะมีความลาดเอียงไม่ชันกว่า 2:1 (แนวนอน : แนวตั้ง) และมีการป้องกันการกัดเซาะบนแนวคันบ่อ และควรมีทางน้ำล้นฉุกเฉินเตรียมไว้ด้วย ในกรณีมีหลายๆ บ่อ คันบ่อสามารถถูกใช้เป็นตัวแบ่งบ่อตามความต้องการตามอัตราส่วน ความกว้างต่อความยาวของบ่อ สำหรับในพื้นที่ที่มีความชันบ่อจะถูกสร้างตามพื้นที่เป็นขั้นๆ ตามลักษณะพื้นที่ คันบ่อยังสามารถถูกใช้เป็นตัวควบคุมทิศทางการไหล การลัดวงจรของน้ำ ก้นบ่อ โดยปรกติแล้วไม่ได้เป็นจุดวิกฤตมากนัก ยกเว้นว่าจะถูกออกแบบให้เป็นชั้นระบายน้ำ ดังนั้นก้นบ่อควรมีความลาด 1-3% จากต้นทาง

สำหรับพื้นที่ขั้นต่ำและพื้นที่สูงสุดที่ระบบสามารถสร้างได้นั้น ไม่มีการระบุไว้ในข้อมูลจากที่ต่างๆ เพราะในการออกแบบหาขนาดของพื้นที่ของระบบบึงประดิษฐ์นั้นขึ้นกับปริมาณน้ำที่ต้องการบำบัด เมื่อได้พื้นที่จากการคำนวณแล้ว การวางผังของระบบให้เข้ากับพื้นที่ เป็นปัจจัยหนึ่งในการแบ่งพื้นที่ ปกติแล้วจะมีการแบ่งพื้นที่เป็นแปลงตามขนาดกำลังของการบำรุงรักษา ตลอดจนการเก็บเกี่ยวพืช ซึ่งขึ้นกับความสามารถของแต่ละพื้นที่ อย่างน้อยที่สุดควรมีการแบ่งเป็น 2 แปลง ทำงานขนานกันไป แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นในการแบ่งพื้นที่จะต้องมีการทำคันบ่อเพื่อแบ่งหรือเป็นทางสำหรับการเข้าไปบำรุงรักษา ซึ่งในกรณีที่มีพื้นที่จำกัดการแบ่งพื้นที่อาจจะไม่เหมาะสม หรือมีค่าก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในการออกแบบจำนวนบ่อและพื้นที่จึงขึ้นกับ ลักษณะการดำเนินระบบ และความต้องการของผู้ออกแบบ

- **โครงสร้างการควบคุมการไหล**

ระดับน้ำจะถูกควบคุมโดย โครงสร้างการควบคุม ซึ่งควรจะเป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการปรับระดับ ควรจะสามารถปรับเปลี่ยนได้ หลังจากเริ่มระบบไปแล้ว โครงสร้างทางน้ำเข้า ควรต้องมีความเป็นอิสระ สามารถปรับและกระจายการไหลได้อย่างสม่ำเสมอ สามารถรองรับอัตราการไหลสูงสุดและควรจะง่ายต่อการใช้และการเข้าถึง และต้องเป็นกลไกในการลดการไหลลัดวงจรของน้ำ มักจะมีทางเดินหรือชานพักเป็นองค์ประกอบ พร้อมกับท่อพีวีซี เป็นตัวกระจายน้ำ ถ้าบึงประดิษฐ์เป็นโครงสร้างที่เข้าถึงง่ายและอยู่ท่ามกลางชุมชน โครงสร้างควบคุมควรจะมีโครงแบบปิด เพื่อจะป้องกันความเสียหายหรือสูญหายของอุปกรณ์ และต้องสามารถป้องกันความเสียหายอันเกิดจากสัตว์ต่างๆ

- โครงสร้างทางน้ำเข้า

อาคารทางน้ำเข้าระบบไหลท่วมผิวชั้นกรอง (FWS) ปกติจะเป็นรูปทรงที่ธรรมดาและเป็นลักษณะ open-end-pipe มีช่องทางน้ำ หรือประตูระบายน้ำ ซึ่งปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบ อัตราส่วนของความกว้าง/ความยาวที่น้อย เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการกระจายการไหล โครงสร้างทางน้ำเข้าของระบบไหลใต้ผิวชั้นกรอง (SF) จะประกอบไปด้วย ระบบท่อย่อยทั้งบนผิวและใต้ผิว หรือระบบท่อเปิดและอาคารแบ่งน้ำ ระบบท่อย่อยใต้ผิวจะไม่ทำให้เกิดสาหร่ายหรือเมือก ซึ่งจะอุดตันบริเวณข้างหน้าจุดปล่อย แต่จะเป็นระบบที่ยากต่อการปรับ หรือบำรุงรักษา ด้วยเพราะข้อจำกัดนี้ ระบบท่อย่อยบนผิวจึงถูกแนะนำให้ใช้เป็นโครงสร้างทางน้ำเข้าของระบบบึงประดิษฐ์แบบการไหลในแนวนอน เหตุผลอีกประการหนึ่งคือระบบท่อย่อยบนผิวสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการไหลย้อนกลับของน้ำเสีย ปกติน้ำท่วมผิวจะประมาณ 12 - 24 นิ้ว ประกอบกับการใช้หินใหญ่ขนาด 8 -16 ซม. เป็นจุดรับน้ำเพื่อให้เกิดการไหลผ่านที่รวดเร็ว ป้องกันการกักขังบริเวณจุดเริ่มต้น การแบ่งให้เท่าๆ กันเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำเนินระบบแบบบ่อขนาน รูปแบบมาตรฐานทั่วๆ ไป จะประกอบด้วย บ่อแบ่งน้ำและท่อกระจายน้ำ โดยมีช่องเปิดเท่าๆ กันที่ระดับเดียวกัน การติดตั้งประตูน้ำอาจจะไม่

สะดวกต่อการทำงานเพราะต้องปรับทุกวัน ดังนั้นการใช้บ่อแบ่งน้ำจึงจะง่ายต่อการดำเนินระบบ ประกอบกับราคาไม่สูงนัก สามารถทดแทนได้ง่าย

สำหรับโครงสร้างทางน้ำเข้าของบึงประดิษฐ์ในแนวดิ่ง (VF) รูปแบบของท่อและการกระจายน้ำทั่วผิวหน้าเป็นรูปแบบที่นิยมใช้กัน เพื่อกระจายภาระการบำบัดให้ทั่วผิวหน้าชั้นกรอง

- โครงสร้างทางน้ำออก

ระบบบึงประดิษฐ์แบบท่วมผิว ปกติระดับน้ำจะถูกควบคุมโดยทางน้ำออกซึ่งจะสามารถเป็นรูปแบบเวียร์ ทางน้ำล้น หรือท่อที่สามารถปรับระดับได้ รูปแบบของเวียร์ที่มีลักษณะเป็นกล่อง ใช้ stoplogs เป็นตัวกั้นน้ำ สามารถปรับระดับได้ง่าย รูปแบบทางน้ำล้นก็เป็นแบบหนึ่งที่ใช้กันแต่มักจะปรับระดับไม่ได้ เมื่อต้องการระดับน้ำที่เปลี่ยนไปอาจจะทำให้ยากต่อการปรับเปลี่ยน โดยปกติระบบเวียร์และทางน้ำล้น มักจะออกแบบให้รองรับอัตราการไหลสูงสุดที่เป็นไปได้ สำหรับระบบท่อปรับระดับ หรือข้ออ่อน ควรจะเป็นท่อที่มีขนาดไม่น้อยกว่า 12 นิ้ว เพื่อป้องกันการอุดตันจากเศษวัสดุพวกพืชหรืออื่นๆ ระบบบึงประดิษฐ์แบบใต้ผิวมีโครงสร้างทางน้ำออกประกอบไปด้วยท่อย่อยรับน้ำ (Manifold) เวียร์ หรือ ประตูระบายน้ำ ท่อย่อยรับน้ำควรจะตั้งอยู่ระดับก้นบ่อ เพื่อให้สามารถควบคุมระดับน้ำได้หมด รวมถึงการระเหยน้ำออกด้วย การใช้โครงสร้างทางน้ำออกให้ปรับระดับได้ เป็นแนวทางที่จะแนะนำ เพื่อที่จะมีความต่างศักย์ทางชลศาสตร์ที่เหมาะสมและยังสามารถได้ประโยชน์สูงสุดต่อการดำเนินระบบ และการบำรุงรักษาอีกด้วย ในระยะเริ่มแรกควรดำเนินระบบแบบท่วมขังก่อน เพื่อให้พืชได้เติบโตและป้องกันพวกหญ้าขึ้นบนบ่อ การออกแบบระบบใต้ผิวสามารถควบคุมให้ระดับท่วมขังถึง 6 นิ้ว เพื่อป้องกันหญ้า สำหรับท่อรับน้ำที่อยู่ใต้ชั้นนั้นควรจะต้องระวังเป็นอย่างยิ่ง เมื่อมีการทับถมด้วยชั้นวัสดุหินทราย ในช่วงระหว่างการก่อสร้าง และการชะล้างก่อนการเดินระบบเป็นสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่ง เพื่อป้องกันการอุดตันในระหว่างการก่อสร้าง ในส่วนของท่อที่จะปล่อยน้ำลงสู่ทางน้ำสาธารณะควรตรวจสอบดูว่า มีระดับที่สูงพอเพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับเข้าสู่ระบบ

สำหรับโครงสร้างทางน้ำออกของระบบแบบแนวดิ่ง จะคล้ายระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิว โดยจะมีท่อรับน้ำที่มีรูพรุนด้านล่างรับน้ำไปยังบ่อรับน้ำ ภายในบ่อรับน้ำจะเป็นลักษณะท่ออ่อนเพื่อควบคุมระดับน้ำ หรืออุปกรณ์ควบคุมระดับอย่างอื่นตามแต่จะออกแบบ ขณะที่ของการบำบัดสิ่งปฏิกูลจะเป็นประตูน้ำอยู่ภายในบ่อรับเพื่อปิดและเปิดระบายน้ำหลังจากบำบัดเสร็จ

- **อุปกรณ์และเครื่องจักรกลที่เกี่ยวข้อง**

อุปกรณ์เครื่องจักรกลที่เกี่ยวข้องกับระบบบึงประดิษฐ์สำหรับน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลที่เหมือนกัน มีเพียงเครื่องสูบน้ำเท่านั้น ที่จำเป็นต้องใช้ในการสูบน้ำหรือสิ่งปฏิกูลเข้าระบบ หรือสูบน้ำออกจากระบบ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับรูปแบบของการออกแบบและระดับของแต่ละหน่วยบำบัด ปกตินิยมใช้เครื่องสูบน้ำแบบชนิดจุ่มสำหรับน้ำเสีย และนิยมใช้เครื่องสูบตะกอนสำหรับสูบสิ่งปฏิกูล

สำหรับอุปกรณ์เครื่องจักรที่เพิ่มเติมขึ้นมาของการบำบัดสิ่งปฏิกูล คือการติดตั้งท่อระบายอากาศจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนเพื่อเป็นการช่วยในการไหลของน้ำจากบนลงล่าง และช่วยในการแลกเปลี่ยนอากาศจากด้าน ล่างกับบรรยากาศภายนอก และการติดตั้งระบบกวนสิ่งปฏิกูลด้วยใบพัดพร้อมมอเตอร์เพื่อใช้ในการผสมระหว่างตะกอนและน้ำก่อนสูบเข้าสู่ระบบ

ง) การพิจารณาการออกแบบขั้นต้น

- **ข้อพิจารณาในการออกแบบ**

จากการศึกษางานวิจัยและงานที่ตีพิมพ์จำนวนมาก การออกแบบที่สมดุลของบึงประดิษฐ์ สำหรับการใช้งานที่หลากหลายยังไม่ได้มีการชี้ชัด บึงประดิษฐ์หลายๆแห่งยังไม่ได้มีการตรวจสอบในระยะยาว ทำให้ข้อมูลทางด้านสถิติไม่เพียงพอ เท่าที่มีการตรวจสอบในปัจจุบัน ประสิทธิภาพของระบบฯ จะขึ้นอยู่กับสถานที่ ลักษณะน้ำเสีย ปริมาณฝน การออกแบบ สภาพภูมิประเทศ ฤดูกาล เป็นต้น

โดยทั่วไปการออกแบบบึงประดิษฐ์ จะพยายามให้เสมือนเป็นบึงธรรมชาติ กระบวนการต่างๆภายในบึงประดิษฐ์เป็นสิ่งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ Mitsch (1992) ได้ให้คำแนะนำในการออกแบบดังนี้

1) ออกแบบให้ง่าย เพราะกระบวนการที่ซับซ้อน บ่อยครั้งจะนำไปสู่ระบบที่ไม่สามารถทำงานได้

2) ออกแบบให้มีการบำรุงรักษาน้อยที่สุด

3) ออกแบบระบบโดยใช้พลังงานจากธรรมชาติเช่น การไหลแบบแรงโน้มถ่วง

4) ออกแบบรองรับสภาพอากาศที่เลวร้ายและมีการคำนึงถึง พายุ น้ำท่วม และความแห้งแล้ง

5) ออกแบบด้วยลักษณะภูมิสถาปัตย์ และผสมผสานเข้ากับสภาพธรรมชาติของพื้นที่

6) หลีกเลี่ยงรูปแบบที่มากเกินไปทางด้านวิศวกรรม เช่น รูปทรงสี่เหลี่ยม โครงสร้างที่ดูแล้วไม่อ่อนไหว

7) ให้เวลากับการเริ่มการบำบัดเพราะบึงประดิษฐ์มีลักษณะการบำบัดตามธรรมชาติ ดังนั้น การเข้าสู่สภาพที่ดีที่สุดของระบบ อาจจะต้องใช้เวลาเป็นปีและต้องพยายามไม่ให้เกิดการไหลลัดวงจรซึ่งบ่อย ครั้ง เป็นสาเหตุให้ ระบบทำงานไม่ได้ผล

8) ออกแบบระบบให้คำนึงถึงสภาพการทำงานมากที่สุด ไม่ใช่แค่รูปแบบเพราะถ้าหากว่าเมื่อรูปแบบของระบบปรับเปลี่ยนไป แต่สภาพการทำงานโดยรวมยังทำงานได้ดี ก็ถือได้ว่าระบบฯยังสามารถทำงานได้อยู่

- **การวางแผนการออกแบบ**

ขั้นตอนการวางแผนขั้นต้น เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบบึงประดิษฐ์ เพราะบึงประดิษฐ์สามารถออกแบบได้หลายทาง เพื่อให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้ตามต้องการ ดังนั้นรูปแบบของทางเลือกต่างๆจำเป็นต้องเตรียมไว้เพื่อรองรับกับความหลากหลายของพื้นที่ นอกจากนี้ขั้นตอนการวางแผนยังคงเกี่ยวข้องกับปริมาณและลักษณะของน้ำเสีย คุณภาพและมาตรฐานของน้ำทิ้ง การคัดเลือกพื้นที่ การคัดเลือก

รูปแบบและลักษณะพิเศษต่างๆ และจะนำไปสู่การออกแบบทางวิศวกรรม รวมไปถึงปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ การออกแบบเป็นลำดับขั้นที่สำคัญประการหนึ่ง เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการบำบัด ดังนั้นการออกแบบจะต้องพยายามให้ใกล้เคียงกับลักษณะของบึงธรรมชาติ และมีการเพิ่มรูปร่างลักษณะพิเศษต่างๆ เพื่อป้องกันการรบกวนจากธรรมชาติ สำหรับการออกแบบบนพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ทางธรรมชาติหรือมีทรัพยากรที่ควรอนุรักษ์จะต้องคำนึงถึงรูปแบบเดิมของพื้นที่ การลดจำนวนดินที่ต้องเคลื่อนย้าย การเพิ่มรูปลักษณ์ที่น่าดู การคำนึงถึงภูมิสถาปัตย์ ชนิดของพืช แนวป้องกันทัศนียภาพ การวางแผนควรจะคำนึงถึงการสร้างระบบชีววิทยาและระบบชลศาสตร์ ควรจะมีเป้าหมายที่ชัดเจนและไม่ยากเกินที่จะบรรลุ อีกทั้งยังสามารถต่อขยายได้ในอนาคต การวางแผนจะต้องรวมรายละเอียดและการดำเนินงาน เมื่อระบบไม่สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ตั้งไว้ตอน ต้น การวางแผนที่ดีจะต้องมีรูปแบบอื่นๆ ที่สามารถปรับและประยุกต์ใช้งานได้

3.2.2 **การพิจารณาเกณฑ์การออกแบบ**

ค่าการออกแบบของบึงประดิษฐ์ที่ได้จากรูปแบบการไหลในแนวนอน และแนวดิ่งของน้ำเสียได้มีการรวบ รวมจากที่ต่างๆ และได้ถูกแสดงไว้ใน **ตารางที่** 3.7 และ **ตารางที่** 3.8 สำหรับ**ตารางที่** 3.9 แสดงค่าการออกแบบของบึงประดิษฐ์สำหรับสิ่งปฏิกูล

ตารางที่ 3.7 สรุปค่าเกณฑ์การออกแบบสำหรับระบบบึงประดิษฐ์แบบที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองและใต้ผิวชั้นกรอง สำหรับน้ำเสีย

ตัวแปร	หน่วย	ชนิดของระบบ		ที่มา
		FWS	SF	
ภาระอินทรีย์สาร	กก/เฮคแตร์/วัน	<110 (0.011)	<133 (0.0133)	Reed et al. (1988)
(บีโอดี)	(กก/ตร.ม.-วัน)	<112 (0.0112)	<133 (0.0133)	USEPA (1988)
		100 – 110	80 – 120	WPCF (1990)
		(0.01 – 0.011)	(0.008 – 0.12)	
		<67 (0.0067)	< 67 (0.0067)	Metcalf and Eddy (1991)
		< 80 (0.008)	< 75 (0.0075)	Crites (1994)
		< 100 (0.01)	< 100 (0.01)	Reed and Brown (1995)
ภาระชลศาสตร์	ซ.ม./วัน	2.5 – 5	6 – 8	WPCF (1990)
		1.4 – 4.7	1.7 – 4.7	Metcalf and Eddy (1991)
		0.7 – 6	-	Crites (1994)
เวลาการกักเก็บ	วัน	5 – 10	5 – 10	WPCF (1990)
		4 – 15	4 – 15	Metcalf and Eddy (1991)
		5 – 14	2 – 7	Crites (1994)
ความสูงของน้ำ	เมตร	ธูปฤาษี > 0.15	NA	USEPA (1988)
		อ้อ > 1.5		
		กก 0.0075 – 0.25		
		< 0.5	NA	WPCF (1990)
		0.09 – 0.6	NA	Metcalf and Eddy (1991)
		0.1 – 0.5	NA	Crites (1994)

ตารางที่ 3.8 เกณฑ์การออกแบบสำหรับระบบบึงประดิษฐ์แบบที่น้ำไหลในแนวดิ่งสำหรับน้ำเสีย

ตัวแปร	ช่วงค่าการออกแบบ	หน่วย
ภาระสารอินทรีย์ (บีโอดี)	60 – 250 (0.006 - 0.025)	กก. บีโอดี /เฮคแตร์-วัน (กก.บีโอดี/ตร.ม.-วัน)
ภาระชลศาสตร์	6 - 25	ซ.ม./วัน
เวลาการกักเก็บ	2 - 6	วัน

ที่มา: Koottatep *et al*., 2002

ตารางที่ 3.9 เกณฑ์การออกแบบสำหรับระบบบึงประดิษฐ์แบบที่น้ำไหลในแนวดิ่งสำหรับสิ่งปฏิกูล

ตัวแปร	ช่วงค่าของการออกแบบ	หน่วย
อัตราการขับถ่ายสิ่งปฏิกูลของมนุษย์	0.7 – 1.0	ลิตร/คน/วัน
ความเข้มข้นของของแข็งในสิ่งปฏิกูล	0.8 – 1.8	%
ภาระการบำบัดของบึงประดิษฐ์	125 – 250	กก.ของแข็ง/ตร.ม./ปี
ภาระชลศาสตร์	0.3 – 0.4	ลบ.ม./ตร.ม.-สัปดาห์
รูปแบบการนำสิ่งปฏิกูลเข้าระบบ	1 – 2	ครั้ง/สัปดาห์
เวลาในการกักเก็บ	2 – 6	วัน

ที่มา: Koottatep *et al*., 2002

ข้อพิจารณาของค่าการออกแบบ สำหรับระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์จะประกอบไปด้วย ภาระการบำบัด ภาระทางชลศาสตร์ เวลาการกักเก็บ และความสูงของน้ำ ดังได้มีการอธิบายในลำดับต่อจากนี้

- **ภาระการบำบัด**

ภาระการบำบัดของน้ำเสียนิยมแสดงในรูปภาระอินทรีย์สาร กก/เฮคแตร์-วัน หรือ กก/ตร.ม.-วัน ที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ (บีโอดี) ที่ต้องบำบัดต่อพื้นที่ต่อเวลา แม้ว่าภาระการบำบัดสารอินทรีย์จะไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการบำบัดธาตุอาหาร หรือ มลสารอื่นที่ไม่ใช่บีโอดี แต่ภาระอินทรีย์สารก็เป็นตัวแปรที่จะใช้ในการออกแบบเพื่อให้ระบบสามารถเป็นระบบที่มีอากาศหมุนเวียนตลอดยังผลให้ไม่เกิดปัญหายุงและกลิ่นตามมา อัตราการบำบัดภาระอินทรีย์สารสูงสุดจะขึ้นอยู่กับ 1) อัตราการปลดปล่อยออกซิเจนของพืชซึ่งประมาณ 20 กรัมต่อตร.ม./วัน 2) ความต้องการของออกซิเจนในการใช้บำบัดจะประมาณที่ 1.5 เท่าของภาระอินทรีย์สาร 3) ค่าสัมประสิทธิของสมการการใช้ออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 2 (Reed et al., 1988)

ในขณะที่ภาระการบำบัดของสิ่งปฏิกูลจะใช้ภาระการบำบัดของแข็งเพราะสิ่งปฏิกูลเป็นของเสียที่มีความเข้มข้นสูง ประกอบกับอยู่ในถังเซปติกเป็นเวลานานทำให้เหลือเฉพาะสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากเป็นเหตุผลประการที่หนึ่ง และอีกเหตุผลหนึ่งก็คือ การบำบัดด้วยบึงประดิษฐ์ในแนวดิ่งสำหรับสิ่งปฏิกูลใช้กลไกการกรองเป็นหลักสำคัญในการบำบัด ดังนั้นการใช้ภาระของแข็งเป็นภาระการบำบัดจึงเหมาะสมกว่าการใช้ภาระอินทรีย์สารสำหรับการออกแบบ

- **ภาระทางชลศาสตร์**

ภาระทางชลศาสตร์จะหมายถึงปริมาณน้ำที่ถูกบำบัดต่อพื้นที่ต่อเวลา โดยปกติอยู่ในรูป ลบ.ม.ต่อพื้นที่ต่อเวลา จากข้อมูลการศึกษาบึงประดิษฐ์ 25 แห่งในเดนมาร์ก (Brix and Schierup, 1989a and 1989b) พบว่าค่าภาระทางชลศาสตร์มีความเกี่ยวเนื่องอย่างมีนัยสำคัญกับการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแต่ไม่มีนัยสำคัญต่อการบำบัด บีโอดี และ ของแข็งแขวนลอย

- **เวลาการกักเก็บ**

เวลาการกักเก็บเป็นตัวแปรหลักในการควบคุมระบบเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดี โดยทั่วไปแล้วถ้ามีเวลาการกักเก็บนานเกินไปก็จะทำให้เกิดภาวะไร้ออกซิเจนในระบบ ขณะที่ถ้ามีเวลาการกักเก็บสั้น การย่อยสลายของอินทรีย์สารหรือมลสารก็ยังไม่เป็นผล การกำหนดเวลาการกักเก็บของบึงประดิษฐ์ จึงนับได้ว่ายากด้วยเหตุผลหลายๆประการ คือ พืชที่ตายในบึงประดิษฐ์ การเจริญเติบโตของพืชในบึงประดิษฐ์ การสะสมของตะกอน และการลัดวงจรของกระแสน้ำ การระเหยและการใช้น้ำของพืช

- **ความสูงของน้ำ**

ความสูงของน้ำเป็นปัจจัยที่มีเฉพาะบึงประดิษฐ์รูปแบบไหลท่วมผิวชั้นกรอง ด้วยเพราะระดับน้ำท่วมขังจะมีความสำคัญต่อการเลือกพืชและการดูแลรักษาพืชในระบบ ในการเริ่มต้นระบบจึงมักจะเริ่มที่ความสูงประมาณ 0.15 เมตร หลังจากนั้นสามารถปรับระดับความสูงของน้ำ เพิ่มขึ้นเป็นระยะ 0.3-0.6 เมตร ขึ้นกับพืชแต่ละชนิด (Gearheart, 1992) ระยะความสูงของน้ำที่เหมาะสมของพืชที่เลือกใช้จะเป็นระยะความสูงน้ำสำหรับการออกแบบบึงประดิษฐ์

- **ความลาดเอียงของบ่อ**

ค่าความลาดเอียงที่ 0.5% หรือน้อยกว่า, ถูกกำหนดไว้เพื่อให้เกิดความมั่นคงในการก่อสร้างและเป็นค่าที่แนะนำให้ใช้สำหรับการสร้างบึงประดิษฐ์แบบ FWS บางครั้งค่าความลาดเอียงมีไว้เพื่อใช้สำหรับระบายน้ำออกจากบ่อเพื่อการบำรุงรักษาและมีส่วนช่วยในการควบคุมการเจริญเติบโตของยุงได้ ความลาดเอียงของพื้นบึงประดิษฐ์แบบ SF ควรเท่ากับ 2% หรือน้อยกว่า ขึ้นอยู่กับค่าการนำการไหลเริ่มต้นของตัวกรองที่ใช้ โดยค่าการนำการไหลที่เหมาะสมควรมีค่ามากกว่า 250 ม./วัน และได้มีการกำหนดระดับความสูงของชั้นกรองในบึงประดิษฐ์แบบ SF ไว้เพื่อให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น นอกจากนี้การมีน้ำขังอยู่บนชั้นกรองยังเป็นการควบคุมปัญหาเรื่องวัชพืชด้วย และ

พบว่าที่ค่าความลาดเอียงมากกว่า 4% จะทำให้การไหลของน้ำเกือบทั้งหมดบนชั้นกรองเกิดปัญหาเรื่องการเกิดร่องน้ำได้ (Steiner and Freeman, 1989)

3.2.3 การออกแบบระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

ก) บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (FWS)

การกำจัดบีโอดีในถังปฏิกิริยาที่มีการไหลของน้ำแบบตามกัน (Plug-Flow) ของบึงประดิษฐ์ สามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองขั้นที่ 1 ดังนี้ (Reed *et al*., 1988)

$$\frac{Ce}{Co} = exp\ (-K_T t) \qquad (1)$$

เมื่อ,

Ce = ค่าบีโอดีในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ, (มก./ลิตร)

Co = ค่าบีโอดีในน้ำที่เข้าสู่ระบบ, (มก./ลิตร)

K_T = อุณหภูมิ-ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาขั้นที่1 (วัน$^{-1}$)

T = ระยะเวลาที่น้ำถูกกักพักในระบบ, (วัน)

สำหรับในระบบที่ไม่มีการกำหนดรูปแบบการไหลของน้ำที่แน่นอน, ระยะเวลาที่น้ำถูกกักพักในระบบจะสามารถหาได้จาก

$$t = L.W.d/Q \qquad (2)$$

เมื่อ,

L = ความยาวของระบบ, (เมตร)

W = ความกว้างของระบบ, (เมตร)

d = ความลึกของระบบ, (เมตร)

Q = อัตราการไหลเฉลี่ย = $(Q_{น้ำเข้า}+Q_{น้ำออก})/2$

ในบึงประดิษฐ์แบบ FWS, สัดส่วนของปริมาตรถังที่น้ำไหลผ่านจะขึ้นอยู่กับจำนวนพืชในระบบ ดังนั้นระยะเวลาที่น้ำจะถูกกักพักไว้ในระบบจริงสามารถหาได้โดยใช้

เปอร์เซ็นต์ปริมาตรรวมของช่องว่าง *(n)* ซึ่งจะบอกถึงขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่เหลือเพื่อให้น้ำไหลผ่านได้

$$n = V_V / V \qquad (3)$$

เมื่อ V_V และ V คือ ปริมาตรของช่องว่างที่น้ำสามารถไหลผ่านได้และปริมาตรทั้งหมดตามลำดับ

ส่วนค่า *dn* จะมีค่าเท่ากับระดับความลึกของน้ำในกรณีที่ไม่มีพืชเจริญเติบโตในระบบ ดังนั้นระยะเวลาที่น้ำถูกกักพักอยู่ในระบบจริงจึงสามารถหาได้จาก

$$t = L.W.dn/Q \qquad (4)$$

Reed *et al*. (1988) ได้พัฒนาแบบจำลองหลักๆ ที่ใช้ในการออกแบบบึงประดิษฐ์แบบ FWS โดยการใช้ความสัมพันธ์กันของตัวแปรในสมการที่ 2 และ 3 รวมกับสมการที่ 1 ดังนี้:

$$\frac{Ce}{Co} = \frac{A \exp\left[-0.7K_T(A_V)^{1.75}LWdn\right]}{Q} \qquad (5)$$

เมื่อ,

Ce = ค่าบีโอดีในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ, (มก./ลิตร)

Co = ค่าบีโอดีในน้ำที่เข้าสู่ระบบ, (มก./ลิตร)

A = สัดส่วนของบีโอดีที่ไม่สามารถจมตัวได้กับของแข็งที่สามารถจมตัวได้ในส่วนแรกของช่องทางน้ำเข้า (มีค่าเป็นจุดทศนิยม)

K_T = อุณหภูมิ-ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (วัน$^{-1}$)

A_V = พื้นที่ผิวจำเพาะสำหรับให้จุลินทรีย์เจริญเติบโต, (ตร.ม./ลบ.ม.)

T = ระยะเวลาที่น้ำถูกกักพักในระบบ, (วัน)

L = ความยาวของระบบ, (เมตร)

W = ความกว้างของระบบ, (เมตร)

d = ความลึกของระบบ, (เมตร)

n = ปริมาตรรวมของช่องว่าง, (มีค่าเป็นจุดทศนิยม)

Q = อัตราการไหลเฉลี่ย = $(Q_{น้ำเข้า}+Q_{น้ำออก})/2$

ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา K_T (วัน$^{-1}$) ในน้ำที่มีอุณหภูมิ T (^{0}C), สามารถหาได้จาก

$$K_T = K_{20}(1.1)^{(T-20)} \quad (6)$$

เมื่อ K_{20} คือค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 ^{0}C
ค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์ตัวอื่นๆ ในสมการที่ 5 มีดังนี้

A = 0.52

K_{20} = 0.0057 วัน$^{-1}$

A_V = 15.7 m^2/m^3

n = 0.75

ในกรณีที่ความลาดชันของพื้นบึงประดิษฐ์หรือความลาดเอียงของเส้นระดับผิวน้ำ *(S)* มีค่ามากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์, จำเป็นจะต้องมีการปรับค่าที่ใช้ในการออกแบบดังนี้

$$\frac{Ce}{Co} = \frac{A\ exp\ [-\ 0.7K_T(A_V)^{1.75}LWdn]}{4.63S^{1/3}Q} \quad (7)$$

ตารางที่ 3.10 แสดงค่าโดยทั่วไปที่ใช้ในสมการการออกแบบกับค่าที่วัดได้จริงใน Listowel, Ontario ประเทศแคนาดา และ**ตารางที่** 3.11 แสดงเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบบึงประดิษฐ์แบบ FWS ซึ่งค่าในตารางนี้จะสามารถนำไปใช้ได้ก็ต่อเมื่อสัดส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของระบบ (L/W) ต้องมีค่าอย่างน้อย 10:1 ซึ่งถือว่าจำเป็นสำหรับการออกแบบบึงประดิษฐ์แบบ FWS เพื่อให้มั่นใจได้ว่ารูปแบบการ

ไหลของน้ำภายในระบบจะเป็นแบบไหลตามกัน (Plug-Flow) และเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้สูงสุด

ตารางที่ 3.10 ค่า C_e/C_o ที่ได้จากการประมาณและที่วัดได้จริงในบึงประดิษฐ์ที่ Listowel, Ontrario

Distance along	Fall		Winter		Spring		Summer	
Channel, m	Predicted	Actual	Predicted	Actual	Predicted	Actual	Predicted	Actual
0	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
67	0.38	0.40	0.40	0.40	0.47	0.30	0.38	0.36
134	0.27	0.23	0.31	0.20	0.42	0.28	0.27	0.41
200	0.20	0.19	0.24	0.19	0.38	0.22	0.20	0.30
267	0.14	0.18	0.18	0.17	0.34	0.23	0.14	0.27
334 (final effluent)	0.10	0.15	0.15	0.17	0.30	0.26	0.10	0.17

ที่มา Reed *et al*., 1988

ตารางที่ 3.11 สรุปเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบบึงประดิษฐ์แบบ FWS

เกณฑ์การออกแบบ	**ค่ามาตรฐาน**
ภาระสารอินทรีย์ (กก. บีโอดี$_5$/ตร.ม.-วัน)	< 0.0112
ระยะเวลาที่น้ำถูกกักพักในระบบ (วัน)	3 – 15
พื้นที่ผิวจำเพาะสำหรับให้จุลินทรีย์เจริญเติบโต (A_V ในสมการที่ 5 หรือ 7)	15.7
ปริมาตรรวมของช่องว่าง (*n* ในสมการที่ 5 หรือ 7)	0.75
สัดส่วนความยาวต่อความกว้าง *(L/W)*	≥ 10:1
ความลึกของน้ำ (ซม.)	
ฤดูร้อน	< 10
ฤดูหนาว	< 45

ที่มา: Reed *et al*., 1988

แทนค่าตัวแปรต่างๆ ในสมการที่ 5 หรือ 7 และจัดกลุ่มใหม่เพื่อใช้หาระยะเวลาในการกักพักน้ำ หรือเพื่อหาค่าพื้นที่ผิวของบึงประดิษฐ์แบบ FWS โดยใช้สมการดังนี้

ระยะเวลาในการกักพักน้ำหาได้จาก

$$t = \frac{(\ln C_o - \ln C_e) - 0.6539}{65\ K_T} \quad (8)$$

ถ้าค่าความลาดเอียงของพื้นบ่อหรือค่าความลาดเอียงของเส้นระดับผิวน้ำ *(S)* มีค่ามากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์

$$t = \frac{(\ln C_o - \ln C_e) - 0.6539}{301\ K_T S^{1/3}} \quad (9)$$

และการออกแบบพื้นที่ผิวของบึงประดิษฐ์ หาได้จาก

$$A = \frac{Q\ (\ln C_o - \ln C_e - 0.6539)}{65\ K_T d} \quad (10)$$

ถ้าค่าความลาดเอียงของพื้นบ่อหรือค่าความลาดเอียงของเส้นระดับผิวน้ำ *(S)* มีค่ามากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์

$$A = \frac{Q\ (\ln C_o - \ln C_e - 0.6539)}{301 K_T S^{1/3} d} \quad (11)$$

สมการที่ 8 ถึง 11 สามารถนำไปใช้ได้กับบึงประดิษฐ์แบบ FWS ที่มีเกณฑ์การออกแบบเป็นไปตามที่กำหนดไว้ใน**ตารางที่** 3.11 สำหรับการออกแบบบึงประดิษฐ์ขนาดใหญ่ที่ไม่มีการปลูกพืชภายในระบบ ควรใช้สมการในรูปทั่วไปเช่นสมการ ที่ 5 หรือ 7 ในการออกแบบ

ตัวอย่างที่ 1 การออกแบบบึงประดิษฐ์แบบ FWS เพื่อให้มีการบำบัดน้ำทิ้งขั้นที่ 2 ในสภาวะอากาศอบอุ่นซึ่งมีอุณหภูมิประจำปีเฉลี่ย 25 ^{o}C ปริมาณน้ำที่ใช้ออกแบบเท่ากับ 760 ลบ.ม/วัน น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบเป็นน้ำเสียจากระบบบ่อผึ่งกึ่งไร้อากาศ (Facultative Pond) ซึ่งมีค่าบีโอดี$_5$ 130 มก./ลิตร และต้องการให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่าบีโอดี$_5$ เท่ากับ 10 มก./ลิตร

วิธีการ

(1) สมมุติให้ความลาดเอียงที่พื้นบึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการระบายน้ำทิ้งออกจากระบบเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ และใช้สมการ 3.8 ในการคำนวณระยะเวลากักพักน้ำที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C

$$K_T = K_{20}(1.1)^{T-20} = 0.0057(1.1)^{(25-20)} = 0.0092 \text{ วัน}^{-1}$$

$$t = [(\ln 130 - \ln 10)-0.6539)]/[(65)(0.0092)] = 3.2 \text{ วัน}$$

(2) สำหรับบึงประดิษฐ์ในสภาวะอากาศอบอุ่น ใช้ระดับความลึกของน้ำเท่ากับ 10 ซม. และใช้สมการที่ 10 เพื่อคำนวณหาพื้นที่ผิว

$$A = \frac{Q\,(\ln C_o - \ln C_e - 0.6539)}{65 K_T d}$$

$$= \frac{(760 \text{ ลบ.ม. /วัน})(\ln 130 - \ln 10 - 0.6539)}{(65)(0.0092)(0.10 \text{ ม.})}$$

$$= 24{,}287 \text{ ตร.ม.}$$

(3) ใช้อัตราส่วนของความกว้างต่อความยาว (L/W) เท่ากับ 10:1 เพื่อหาความกว้างและความยาวของบึงประดิษฐ์ โดยสมมุติให้มีบ่อมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม

$$A = LW = (10W)W$$

ฉะนั้น บ่อจะมีความกว้าง (W) เท่ากับ 15.5 เมตร และยาว (L) 155 เมตร โดยจะมีพื้นที่บ่อ 10 ช่อง เท่าๆ กันโดยแต่ละช่องจะมีความยาวเท่ากับ 155 เมตร

(4) จากค่าที่ใช้ในการออกแบบและประสบการณ์ในการควบคุมดูแลระบบสามารถยืนยันได้ว่าค่าความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยและไนโตรเจนในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบจะมีค่าอยู่ในระดับที่น่าพอใจ ไนโตรเจนบางส่วนที่มีเหลืออยู่ในระบบจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียซึ่งในกรณีที่มีการกวดขันหรือเข้มงวดเกี่ยวกับปริมาณไนโตรเจนในน้ำทิ้งควรจะมีการพิจารณาออกแบบให้มีการหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบอีกครั้ง ส่วนปริมาณน้ำที่จะหมุนเวียนกลับเข้าสู่ระบบนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากการคายระเหยน้ำของพืช (ET) ในพื้นที่นั้นๆ และในขณะเดียวกันจำเป็นที่จะต้องคงสภาพให้ระบบมีระยะเวลาในการกักพักน้ำเท่ากับ 3.2 วัน

ข) บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (SF)

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าแหล่งที่มาของออกซิเจนในชั้นกรอง (ดิน, กรวด, หิน และตัวกรองอื่นๆ) คือ ออกซิเจนที่ส่งผ่านมาทางระบบรากพืช และเนื่องจากบึงประดิษฐ์แบบ SF เกือบทุกแห่งถูกออกแบบให้มีการไหลของน้ำผ่านชั้นกรองในแนวนอน ดังนั้นการซึมของออกซิเจนจากบรรยากาศลงไปสู่ระบบโดยตรงจึงเกิดขึ้นได้น้อย การเลือกชนิดของพืชที่จะนำมาปลูกในระบบจึงถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ควรนำมาพิจารณาความ สามารถในการหยั่งรากของพืชแต่ละชนิด (ตารางที่ 2.3) มีส่วนช่วยในการกำจัดสารอินทรีย์ เพราะพืชจะช่วยทำให้ระบบมีบริเวณที่มีออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น

การหยั่งรากของพืชมีความสำคัญมากในแง่ของการลำเลียงออกซิเจน การกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนตลอดความลึกของชั้นกรอง ศักยภาพในการบำบัดสูงสุดและความสามารถในการรองรับภาระปริมาณน้ำมากที่สุดของระบบตามที่ได้ออกแบบไว้อาจจะไม่เกิดขึ้น ถ้ารากและไรโซมของพืชจะไม่สามารถหยั่งไปได้ถึงระดับความลึกที่กำหนดไว้ Reed *et al*. (1988) ได้แนะนำให้ใช้ค่าระดับความลึกในการหยั่งรากของพืชที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 ในการออกแบบความลึกของบึงประดิษฐ์แบบ SF

การกำจัดสารอินทรีย์ในบึงประดิษฐ์แบบ SF สามารถอธิบายได้โดยใช้รูปแบบการทำงานขั้นที่ 1 เช่น เดียวกับที่อธิบายไว้ในสมการที่ 1 ซึ่งใช้ในการออกแบบบึงประดิษฐ์แบบ FWS สมการที่ 1 สามารถจัดรูปใหม่เพื่อใช้ในการคำนวณพื้นที่ผิวในระบบ SF ได้ดังนี้

$$\frac{Ce}{Co} = exp\ (-K_T t) \qquad (11)$$

$$A_S = \frac{Q\ (lnC_o - lnC_e)}{K_T dn} \qquad (12)$$

เมื่อ,

Ce = ค่าบีโอดีในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ, (มก./ลิตร)

Co = ค่าบีโอดีในน้ำที่เข้าสู่ระบบ, (มก./ลิตร)

K_T = อุณหภูมิ-ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา ($วัน^{-1}$)

t = ระยะเวลากักพักน้ำในระบบ, (วัน)

Q = อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านเข้าสู่ระบบ, (ลบ.ม/วัน)

d = ความลึกของส่วนที่จมใต้น้ำ, (เมตร)

n = ปริมาตรรวมของช่องว่าง, (มีค่าเป็นจุดทศนิยม)

A_S = พื้นที่ผิวของระบบ (ตร.ม.)

ในส่วนของพื้นที่หน้าตัดสำหรับให้น้ำไหลผ่านเข้าไปในระบบ SF สามารถคำนวณได้จาก Darcy's law:

$$A_C = \frac{Q}{k_S S} \qquad (13)$$

เมื่อ,

A_C = $d.W$, พื้นที่หน้าตัดของชั้นกรองที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำ, (ตร.ม.)

d = ความลึกของชั้นกรอง, (เมตร)

W = ความกว้างของชั้นกรอง, (เมตร)

K_S = ค่าการนำการไหลของตัวกรอง, (ลบ.ม./ตร.ม.-วัน)

S = ความลาดเอียงของพื้นบ่อ, หรือความลาดเอียงของเส้นระดับผิวน้ำ (มีค่าเป็นจุดทศนิยม)

และพบว่าพื้นที่หน้าตัดและความกว้างของชั้นกรองไม่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (สภาพอากาศ) และภาระสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ แต่ตัวแปรเหล่านี้จะถูกควบคุมจากค่าการนำไฟฟ้าของตัวกรอง

ค่า KT สามารถหาได้จากสมการที่ 6 ในกรณีที่ทราบค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 ^{0}C (K_{20}) ในกรณีที่เป็นบึงประดิษฐ์แบบ SF **ตารางที่** 3.12 แสดงค่าปริมาตรรวมของช่องว่างของตัวกรอง (n), ค่าการนำการไหล และค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 20 ^{0}C (K_{20})

ตารางที่ 3.12 ลักษณะของตัวกรองที่ใช้ในบึงประดิษฐ์แบบ SF

ชนิดของตัวกรอง	**ค่า** Max. 10% grain size, **(มม.)**	**ปริมาตรรวมช่องว่างของตัวกรอง** (n)	**ค่าการนำการไหล** (k_S), **ลบ.ม./ตร.ม.- วัน**	K_{20}
ทรายขนาดกลาง	1	0.42	420	1.84
ทรายหยาบ	2	0.39	480	1.35
ทรายกรวด	8	0.35	500	0.86

ที่มา: U.S. EPA, 1988

เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการทำลายโครงสร้างของชั้นกรองและไรโซม หรือเพื่อให้มั่นใจว่าระยะเวลาที่ใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียเกิดขึ้นอย่างเพียงพอ ความเร็วของน้ำ (Q/A_C ซึ่งมีค่าเท่ากับ $K_S S$ จากสมการที่ 13) ที่ผ่านเข้ามาในพื้นที่หน้าตัดของชั้นกรองควรมีค่าไม่เกิน 8.6 เมตร/วัน (Reed *et al.*, 1988)

ตัวอย่าง 2 การออกแบบบึงประดิษฐ์แบบ SF เพื่อให้มีการบำบัดน้ำทิ้งขั้นที่ 2 ในสภาวะอากาศอบอุ่นซึ่งมีอุณหภูมิประจำปีเฉลี่ยเท่ากับ 25 ^{o}C ปริมาณน้ำที่ใช้ออกแบบเท่ากับ 760 ลบ.ม/วัน, น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบเป็นน้ำเสียจากระบบบ่อผึ่งกึ่งไร้อากาศ ซึ่งมีค่าบีโอดี$_5$ 130 มก./ลิตร และต้องการให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่าบีโอดี$_5$ เท่ากับ 10 มก./ลิตร (หมายเหตุ: ข้อกำหนดต่างๆ เหมือนกันกับตัวอย่างที่ 1 ดังนั้นจึงสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้) และพืชเจริญเติบโตในระบบได้ดี คือพืชจำพวกธูปฤาษี

วิธีการ

(1) กำหนดให้พืชจำพวกธูปฤาษีมีการเจริญเติบโตได้ดีในระบบ จากตารางที่ 2.3 พบว่าความลึกที่ระบบไรโซมของธูปฤาษีสามารถหยั่งถึงมีค่าเท่ากับ 30 ซม. ดังนั้นความลึกของชั้นกรอง *(d)* ควรมีค่าเท่ากับ 30 ซม.

(2) ใช้ความลาดเอียงเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อความสะดวกในการก่อสร้าง

(3) ใช้ทรายกรวดเป็นตัวกรอง จากตารางที่ 1.9 k_S = 500 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน และตรวจสอบความเหมาะสมที่ความลาดเอียง 1 เปอร์เซ็นต์ โดย

k_S = (500 ม^3/ม^2-วัน)(0.01) = 5.0 เมตร/วัน ซึ่งน้อยกว่า 8.60 เมตร/วัน (OK)

(4) จากตารางที่ 1.9, K_{20} = 0.86 หาค่า K_T ได้โดยใช้สมการที่ 6

$K_T = K_{20}(1.1)^{(T-20)} = 0.86(1.1)^{(25-20)} = -1.39$

(5) หาพื้นที่หน้าตัดของชั้นกรองโดยใช้สมการที่ 13

$A_C = Q/(k_S S) = 760/5.0 = 152$ ตร.ม.

(6) หาความกว้างของชั้นกรอง

$W = A_C/d = 152/0.3 = 507$ เมตร

(7) หาพื้นที่ผิวของระบบจากสมการที่ 12

$$= \frac{Q\ (lnC_o - lnC_e)}{K_T dn}$$

$$= \frac{(760\ \text{ตร.ม./วัน})(\ln 130 - \ln 10)}{(1.39 \times 0.3 \times 0.35)}$$

$$= 13{,}356\ \text{ตร.ม.}$$

(8) หาความยาวของชั้นกรอง (L) และระยะเวลาในการกักพักน้ำ (t) ในระบบ

$L = A_S/W = 13{,}356/507 = 26.3$ เมตร

$t = LWdn/Q = [(26.3)(507)(0.3)(0.35)]/760 = 1.84$ วัน

ค) บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง (VF)

- **ตัวอย่างการคำนวณสำหรับน้ำเสีย**

ตัวอย่างที่ 3 การออกแบบระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสียแบบไหลในแนวดิ่งสำหรับน้ำเสีย 100 – 150 ลบ.ม./วัน

เกณฑ์การออกแบบ

- ภาระทางชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate, HLR) 0.1 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน
- อัตราภาระอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) 0.06 – 0.025 กก.บีโอดี/ลบ.ม.-วัน
- ความหนาชั้นทรายหยาบ 10 ซม.
- ความหนากรวดขนาด ½" – 1" 15 ซม.
- ความหนากรวดขนาด 1" – 2" 40 ซม.

วิธีการ

สำหรับบึงประดิษฐ์ขนาด 100 – 150 ลบ.ม./วัน (ออกแบบให้สามารถรับน้ำเสียสูงสุด 150 ลบม./วัน)

พื้นที่ระบบบึงประดิษฐ์ = ปริมาณน้ำเสีย / ภาระทางชลศาสตร์

= (150 ลบ.ม./วัน) / (0.1 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน)

= 1,500 ตร.ม.

ออกแบบขนาดพื้นที่ระบบบึงประดิษฐ์ = 10 X 25 (กว้าง X ยาว) จำนวน 6 บ่อ

- **ตัวอย่างการคำนวณสำหรับสิ่งปฏิกูล**

ตัวอย่างที่ 4 การออกแบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดสิ่งปฏิกูล แบบไหลแนวดิ่ง (VF) ของประชากร 10,000 คน

- ประชากร = 10,000 คน
- อัตราการผลิตสิ่งปฏิกูลต่อปี = 300 ลิตร/คน
- ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมดในสิ่งปฏิกูล = 15,000 มก./ ล.
  (15 กก. ของแข็งทั้งหมด/ลบ.ม.)

1. การหาปริมาณสิ่งปฏิกูลต่อปี

$$10{,}000 \text{ คน} \times 300 \text{ ลิตร/คน} \times \frac{1}{1000 \text{ ล./ลบ.ม.}} = 3{,}000 \text{ ลบ.ม./ ปี}$$

2. การหาปริมาณของแข็งทั้งหมดต่อปี

3,000 ลบ.ม./ ปี x 15 กก. ของแข็งทั้งหมด/ ลบ.ม.

= 45,000 กก. ของแข็งทั้งหมด/ ปี

3. การหาปริมาณพื้นที่

ภาระการบำบัด = 250 กก. ของแข็งทั้งหมด/ ตร.ม.- ปี

พื้นที่ที่ต้องการ = 45,000 กก. ของแข็งทั้งหมด/ ปี x $\frac{1}{\text{250 กก. ของแข็งทั้งหมด/ ตร.ม.- ปี}}$

= 180 ตร.ม.

พื้นที่เพิ่มเติมในส่วนของ ระบบการเตรียมสิ่งปฏิกูล และเก็บสิ่งปฏิกูล ซึ่งประมาณเป็นพื้นที่ 50 % ของพื้นที่บ่อบำบัดบึงประดิษฐ์

ดังนั้นพื้นที่ทั้งหมด = 180x1.5 = 270 ตร.ม.

4. การหาปริมาณตะกอนสะสม

ปริมาณสิ่งปฏิกูล (1.5%) = 3,000 ลบ.ม./ ปี

ปริมาณตะกอนแห้ง (เฉลี่ย) = 30 %

ปริมาตรตะกอนแห้ง = $\frac{1.5x3,000}{30}$ ลบ.ม./ ปี

= 150 ลบ.ม./ ปี

บทที่ 4

การประมาณราคาค่าก่อสร้าง ค่าดำเนินระบบและดูแลรักษาระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

ในการพิจารณาราคาของระบบบึงประดิษฐ์สามารถพิจารณาได้ใน 3 ส่วน คือ ราคาค่าก่อสร้างระบบ ราคาค่าดำเนินระบบและดูแลรักษา ราคาค่าที่ดิน โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

- ค่าที่ดิน โดยปกติแล้วค่าที่ดินจะอยู่ในช่วง 80 % ของค่าก่อสร้างทั้งหมด ดังนั้นจึงเหมือนว่าในบริเวณใดก็ตามที่มีราคาค่าที่ดินสูงระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์อาจจะไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ ในขณะที่พื้น ที่ที่ไม่มีปัญหาเรื่องที่ดิน การเลือกใช้ระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์จะสามารถทำได้

- ค่าก่อสร้างสำหรับระบบบึงประดิษฐ์จะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้กับอิทธิพลของอายุการใช้งาน เช่น พื้นบ่อที่ปูด้วยคอนกรีตอาจมีอายุการใช้งานถึง 20 ปี ขณะที่พื้นบ่อที่ปูด้วยแผ่นพีอีอาจใช้งานได้แค่ 10 ปี จึงทำให้ราคาแตกต่างกัน โดยราคาของพื้นคอนกรีตจะสูงกว่าพื้นพีอี ในขณะที่อายุการใช้งานของวัสดุอื่นเช่น ท่อและอุปกรณ์เครื่องจักร จะมีอายุการใช้งานประมาณ 10 ปี สำหรับอุปกรณ์ที่ไม่ทนทานต้องเปลี่ยนอยู่เสมอเช่น วาล์ว ปั๊ม อาจมีอายุการใช้งานแค่ 6 ปี

- ค่าการดำเนินระบบและการบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ขึ้นกับความรู้ ความชำนาญของบุคลากรที่ต้องการให้ดูแลระบบ ระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์เป็นระบบที่ต้องการคนดูแลน้อย ไม่ต้องมีความรู้มากนัก เป็นชาวบ้านหรือชาวสวนธรรมดาก็สามารถดูแลระบบได้ ประกอบกับความต้องการพลังงานในการเดินระบบที่น้อยโดยใช้พลังงานเฉพาะการสูบน้ำเข้าสู่ระบบเท่านั้น ดังนั้นค่าใช้จ่าย

ส่วนนี้จึงไม่มากนัก สำหรับการดูแลพืชของระบบบึงประดิษฐ์ก็ต้องเตรียมค่าใช้จ่ายไว้ในส่วนนี้เช่นกัน

4.1 การประมาณราคาเบื้องต้นสำหรับค่าก่อสร้าง ค่าเดินระบบและดูแลรักษาระบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสีย

ราคาการประมาณการค่าก่อสร้าง และค่าดำเนินระบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสียสำหรับภาระบำบัดที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แสดงไว้ใน**ตารางที่** 4.1 และตัวอย่างรายละเอียดค่าก่อสร้างและค่าเดินระบบฯ ทั้ง 3 ระดับภาระบำบัด สำหรับแหล่งท่องเที่ยวประเภทเกาะ ได้แสดงไว้ใน**ภาคผนวก ก**

ตารางที่ 4.1 ราคาประมาณการค่าก่อสร้าง ค่าดำเนินการ และดูแลรักษาระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์	ราคาค่าก่อสร้าง (บาท)	ราคาค่าดำเนินระบบและดูแลรักษา (บาทต่อเดือน)	พื้นที่ของระบบ (ตร.ม.)	หมายเหตุ
1.ระบบบึงประดิษฐ์บำบัดน้ำเสีย ขนาด 30 -50 ลบ.ม./วัน	801,625	2,500	600	พื้นบ่อปูด้วย พีอี
2.ระบบบึงประดิษฐ์บำบัดน้ำเสีย ขนาด 50 -100 ลบ.ม./วัน	1,593,250	4,200	1,200	พื้นบ่อปูด้วย พีอี
3.ระบบบึงประดิษฐ์บำบัดน้ำเสีย ขนาด 100 -150 ลบ.ม./วัน	2,384,875	6,600	1,800	พื้นบ่อปูด้วย พีอี

ที่มา: 1,2,3 ราคาประมาณการโครงการพัฒนาและสาธิตรูปแบบการจัดการน้ำเสียแบบติดกับที่สำหรับแหล่งท่องเที่ยวประเภทเกาะ, กรมควบคุมมลพิษ 2547

4.2 การประมาณราคาเบื้องต้นสำหรับค่าก่อสร้าง ค่าเดินระบบและดูแลรักษาระบบบึงประดิษฐ์สำหรับสิ่งปฏิกูล

ราคาการประมาณการค่าก่อสร้าง และค่าดำเนินระบบบึงประดิษฐ์สำหรับสิ่งปฏิกูลสำหรับภาระบำบัดที่แตกต่างกัน 2 ระดับ ได้แสดงไว้ใน**ตารางที่** 4.2

ตารางที่ 4.2 ราคาประมาณการค่าก่อสร้าง ค่าดำเนินการและดูแลรักษาระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดสิ่งปฏิกูล

ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์	ราคาค่าก่อสร้าง (บาท)	ราคาค่าดำเนินระบบและดูแลรักษา (บาทต่อเดือน)	พื้นที่ของระบบ (ตร.ม.)	หมายเหตุ
1. ระบบบึงประดิษฐ์บำบัดสิ่งปฏิกูล ขนาด 5,000 ลบ.ม./ปี	5,500,000	5,200	1,800	พื้นบ่อปูด้วย พีอี
2. ระบบบึงประดิษฐ์บำบัดสิ่งปฏิกูล ขนาด 10,000 ลบ.ม./ปี	10,000,000	7,500	3,000	พื้นบ่อปูด้วย พีอี

ที่มา: 1,2 ราคาประมาณการสำหรับส่วนต่อขยายของโครงการบำบัดสิ่งปฏิกูลด้วยบึงประดิษฐ์สำหรับ อบต.บ้านกลาง

สำหรับข้อมูลราคาค่าก่อสร้าง ค่าดำเนินการ และดูแลรักษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลของประเทศไทย ได้ถูกรวบรวมและแสดงไว้ใน**ตารางที่** 4.3

ตารางที่ 4.3 ราคาค่าก่อสร้าง ค่าดำเนินการ และดูแลรักษาระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ในประเทศไทย

ระบบบำบัดบึงประดิษฐ์	ราคาค่าก่อสร้าง (บาท)	ราคาค่าดำเนินระบบและดูแลรักษา (บาทต่อเดือน)		พื้นที่ของระบบ (ตร.ม.)	หมายเหตุ
1.ระบบบึงประดิษฐ์บำบัดน้ำเสีย นิคมอุตสาหกรรมอิสเทิร์นซีบอร์ด ขนาด 200 ลบ.ม./วัน	789,680	- ค่าแรง - ค่าไฟฟ้า รวม	7,500 1,200 8,700	1,200	- บ่อปูพื้นด้วย พีอี - ราคาค่าก่อสร้างเป็นราคาที่คิดรวม Factor F แล้ว
2. ระบบบึงประดิษฐ์บำบัดสิ่งปฏิกูล อบต.บ้านกลาง จังหวัดลำพูน ขนาด 1,000 ลบ.ม./ปี	1,436,345	- ค่าแรง - ค่าไฟฟ้า รวม	800 700 1,500	900	- บ่อปูพื้นด้วยคอนกรีต - ราคาค่าก่อสร้างเป็นราคาที่คิดรวม Factor F แล้ว

ที่มา: 1. นิคมอุตสาหกรรมอิสเทิร์นซีบอร์ด จังหวัดระยอง

2. โครงการพัฒนาแนวทางด้านเทคนิคและสาธิตระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์, กรมควบคุมมลพิษ 2547

หมายเหตุ: 1. FACTOR F คือ หลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางในงานก่อสร้างของทางราชการประเภทหนึ่ง ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานก่อสร้าง คือ ค่าอำนวยการ ค่าดอกเบี้ย ค่ากำไรและค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม กำหนดโดยคณะกรรมการควบคุมราคากลาง เพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องในการจัดทำราคากลางงานก่อสร้างใช้หลักเกณฑ์เดียวกันในการกำหนดราคากลางงานก่อสร้าง

2. การคำนวณ Factor F ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง.

จากข้อมูลราคาในตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 พบว่า ราคาค่าก่อสร้างระบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสียขึ้นอยู่กับรูปแบบของงานก่อสร้าง โดยการก่อสร้างแบบง่ายๆ เป็นบ่อขุด ปูพื้นด้วยแผ่นพีอี ชั้นเดียว และใส่ชั้นกรองที่มีตามท้องถิ่น พบว่าจะมีราคาค่าก่อสร้างต่ำกว่าการก่อสร้างตามแบบมาตรฐานของโครงการพัฒนาและสาธิตรูปแบบการจัดการน้ำเสียแบบติดกับที่สำหรับแหล่งท่องเที่ยวประเภทเกาะ

(กรมควบคุมมลพิษ 2547) ประมาณ 5 เท่า ส่วนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและดูแลรักษาระบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสียพบว่ามีค่าประมาณ 1.50 – 2.00 บาทต่อ ลบ.ม.

ในส่วนของระบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดสิ่งปฏิกูล ราคาค่าก่อสร้างมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1,000 – 1,500 บาท/ลบ.ม.(ต่อปี) โดยการปูพื้นบ่อด้วยแผ่นพีอี จะทำให้ราคาถูกลงจากการปูพื้นบ่อด้วยคอนกรีตประมาณ ลบ.ม.ละ 100 บาท สำหรับค่าดำเนินระบบและดูแลรักษาพบว่าราคาอยู่ในช่วง 9 -18 บาท/ลบ.ม. โดยระบบขนาดใหญ่จะเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบและดูแลรักษาที่ต่ำกว่า

บทที่ 5

การเดินระบบ การประเมินประสิทธิภาพ การควบคุมดูแลรักษา ปัญหาและแนวทางแก้ไข

5.1 การเดินระบบ

ในการดำเนินระบบของระบบบึงประดิษฐ์ปรกติแล้วระบบบึงประดิษฐ์เป็นระบบที่อาศัยพืชและชั้นกรองในการบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นจึงต้องสังเกตว่าพืชมีการเจริญเติบโตพร้อมที่จะรับน้ำเสียหรือไม่ และที่สำคัญก่อน น้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์ควรจะมีระบบบำบัดเบื้องต้นก่อน เช่น ถังดักไขมัน ตะแกรงดักขยะ หรือถังเซ็ปติก เมื่อน้ำเสียไหลเข้าในบึงประดิษฐ์ สารอินทรีย์บางส่วนในน้ำเสียจะถูกกรองและถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่กับพืชหรือชั้นกรอง โดยน้ำที่ได้รับการบำบัดจะไหลซึมลงสู่ด้านล่างของชั้นกรอง จากนั้นจะไหลออกที่ท่อรับน้ำ และในที่สุดน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจะถูกปล่อยออกสู่แหล่งรับน้ำธรรมชาติหรือซึมลงสู่ดิน ขั้นตอนของการเตรียมบึงประดิษฐ์และการเริ่มเดินระบบมีดังนี้

5.1.1 การเตรียมบึงประดิษฐ์และการปลูกพืช

โดยทั่วไปแล้วการเตรียมบึงประดิษฐ์และการปลูกพืชสำหรับบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูล มีขั้นตอนไม่แตกต่างกัน โดยจะมีขั้นตอนและรายละเอียดดังนี้

1) หลังจากได้ใส่วัสดุกรองลงในบึงประดิษฐ์แล้ว ให้ทำการขังน้ำไว้ในระบบประมาณ 1 สัปดาห์
2) คัดเลือกพืชที่จะใช้ในบึงประดิษฐ์ ตัดเอาเฉพาะส่วนลำต้น เหง้า และรากแช่น้ำไว้
3) ปลูกพืชที่แช่น้ำไว้แล้วในบึงประดิษฐ์ ตามจำนวนที่เหมาะสม ปกติถ้าใช้ต้นธูปฤาษีจะประมาณ 10 -12 ต้น ต่อตารางเมตร ต้นอ่อนจะค่อยๆ แตกหน่อขึ้นมากอละ 1-2 ต้น

4) รอให้พืชโต ประมาณ 1 เดือนจึงเริ่มเดินระบบ

5.1.2 การเริ่มเดินระบบ

ก) สำหรับน้ำเสีย

การเริ่มเดินระบบ เริ่มจากการปล่อยน้ำเสียเข้าระบบในอัตรา 1 ใน 4 ของน้ำเสียที่ต้องการบำบัดจริงในหนึ่งวัน แล้วค่อยๆ เพิ่มอัตราการไหลโดยเปลี่ยนเป็น 2 ใน 4 และ 3 ใน 4 ของน้ำเสียที่ต้องการบำบัดจริง จนกระทั่งปล่อยน้ำเสียเท่ากับค่าการออกแบบภายในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน แล้วทำการบำบัดต่อเนื่องกันไปพร้อมกับการสังเกตการเติบโตของพืช

ข) สำหรับสิ่งปฏิกูล

ขั้นตอนการเริ่มเดินระบบสำหรับบำบัดสิ่งปฏิกูลค่อนข้างยุ่งยากกว่าการบำบัดน้ำเสีย เพราะสิ่งปฏิกูลมีความสกปรกมากว่าน้ำเสียถึง 10 เท่า ดังนั้นในการเริ่มเดินระบบอาจมีปัญหาได้ถ้าพืชไม่ได้รับการปรับตัวให้คุ้นกับสิ่งปฏิกูลก่อน ขั้นตอนการเริ่มเดินระบบสามารถลำดับได้ดังนี้

1) ขั้นตอนการเตรียมสิ่งปฏิกูล เมื่อรถขนถ่ายสิ่งปฏิกูลนำสิ่งปฏิกูลมาบำบัดที่ระบบจะเริ่มจากการคัดแยกขยะและเก็บสิ่งปฏิกูลไว้ในบ่อเตรียมสิ่งปฏิกูล โดยเมื่อเริ่มเดินระบบบึงประดิษฐ์ สิ่งปฏิกูลจะถูกเตรียมตามความเข้มข้นต่างๆ ดัง**ตารางที่** 5.1

ตารางที่ 5.1 การเตรียมสิ่งปฏิกูลในช่วงแรกของการเริ่มต้นเดินระบบ

เวลา	% การเตรียมสิ่งปฏิกูล	หมายเหตุ
สัปดาห์ที่ 1	25 %	สังเกตดูอาการใบเหลือง และเหี่ยว ถ้าพบให้ ลด % การเตรียม จนกว่าพืชสามารถปรับตัวได้ (ต้นอ่อนไม่แสดงอาการเหลืองหรือเหี่ยว) แล้วจึงเริ่มเพิ่ม % สิ่งปฏิกูลจนถึง 100 %
สัปดาห์ที่ 2	50 %	
สัปดาห์ที่ 3	75 %	
สัปดาห์ที่ 4 เป็นต้นไป	100 %	

2) การบำบัดขั้นที่ 1

ในแต่ละครั้งของการบำบัด สิ่งปฏิกูลจะถูกสูบเข้าระบบในอัตรา 250 กก. ของแข็ง/ตร.ม.-สัปดาห์ โดยในครั้งแรกของการเดินระบบฯจะเริ่มจากการขังน้ำธรรมดาไว้ที่ระบบผิวหน้าของบึงประดิษฐ์

จากนั้นจะสูบสิ่งปฏิกูลที่เตรียมไว้ของสัปดาห์ที่ 1 เข้าระบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งสิ่งปฏิกูลจะกระจายอย่างทั่วถึงทั้งผิวหน้าของระบบ จากนั้นจะปล่อยน้ำออกจากระบบโดยทำการเปิดวาล์วลดลงมาอยู่ที่ระดับต่ำกว่าผิวหน้าระบบเล็กน้อยแล้วจึงปิดวาล์ว ขั้นตอนของการบำบัดขั้นที่ 1 นี้ จะใช้เวลา 6 วัน แล้วจึงทำการปล่อยน้ำออกจากระบบเพื่อบำบัดในขั้นต่อไป สำหรับรอบต่อไปของการเดินระบบจะเริ่มจากสิ่งปฏิกูลถูกสูบเข้าระบบอีกครั้ง กระบวนการบำบัดจะดำเนินเป็นรอบๆต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ

3) การบำบัดขั้นที่ 2

น้ำที่ได้รับการบำบัดจะถูกปล่อยออกจากขั้นที่ 1 แล้วถูกสูบไปเข้าระบบบึงประดิษฐ์ขั้นที่ 2 ในขั้นตอนนี้กระบวนบำบัดภายในบึงประดิษฐ์จะเริ่มทำงานอีกครั้ง ซึ่งระยะเวลาของการพักน้ำไว้ในบึงประดิษฐ์ขั้นที่ 2 มีระยะเวลาเป็นอีก 6 วัน เช่นเดียวกับบึงประดิษฐ์ขั้นที่ 1 น้ำที่ได้รับการบำบัดแล้วจากขั้นที่ 2 นี้จะ ได้คุณภาพน้ำพอที่ปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือ นำไปใช้ประโยชน์ในการเกษตร

5.2 การควบคุมดูแลรักษาระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

การควบคุมและการบำรุงรักษาเป็นขั้นตอนที่มีความจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพของระบบฯ ทั้งนี้จะขึ้นกับอัตราการบำบัดและลักษณะของน้ำเสีย ซึ่งการควบคุมทำได้โดยการปรับค่าอัตราการไหล ระดับน้ำ การตรวจสอบคุณภาพน้ำ รวมไปถึงพารามิเตอร์ทางด้านชีววิทยาอื่นๆ ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ต้องดูแลประจำวัน สำหรับกิจกรรมที่ไม่ต้องการการดูแลบ่อยนัก ประกอบด้วย การซ่อมบำรุงเครื่องสูบน้ำเสีย คันบ่อ หรืออาคารควบคุม การจัดการพืช

การดูแลระบบเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งต่อการดำเนินระบบให้ได้ผลดี การควบคุมระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์มีความคล้ายคลึงกับระบบบ่อทั่วๆไป คือ ถ้า

การควบคุมการทำงานของระบบผิดไปจะทำให้ผลลัพธ์ไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้ได้คุณภาพน้ำที่ไม่ได้มาตรฐาน ดังนั้นระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ควรจะมีการดูแลอย่างน้อยที่สุดในเรื่องการไหลเข้าและออกของน้ำเสีย ทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นข้อมูลเริ่มต้นที่สำคัญมากต่อการบำบัด ฯ แต่โดยปกติแล้ว ความถี่และข้อมูลอื่นๆอาจจะต้องมีมากขึ้นซึ่งจะขึ้นกับขนาดและความสามารถของระบบฯ ความพร้อมของจำนวนผู้ดูแล อุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง ปัจจัยอื่นๆตามลักษณะพื้นที่ รวมไปถึงลักษณะอากาศ

พืชที่ปกคลุมบนบึงประดิษฐ์ ควรจะมีการบันทึกและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนพืชในบึงประดิษฐ์ ทุกๆ 3 เดือน นอกจากนี้ควรจะทำการเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินบันทึกชนิดและจำนวนด้วย ซึ่งในการดูแลระบบในระยะยาวจะพบว่าพืชและสิ่งมีชีวิตจะมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างไร

การดูแลระบบเป็นประจำที่จุดทางน้ำเข้าและออก หรือกลางบ่อ อาจจะทำได้ยากและมีผลกระทบต่อบึงประดิษฐ์โดยทำให้เกิดการลัดวงจรของน้ำในบึงประดิษฐ์ ดังนั้นการจัดทำโครงสร้างที่จะสามารถเข้าไปเก็บตัวอย่างได้โดยไม่ต้องกระทบกับส่วนต่างๆของบึงประดิษฐ์ หรือเพื่อเป็นการป้องกันภัยอันเกิดจากแมลงหรือสัตว์ต่างๆที่มีในบึงประดิษฐ์ จึงมีความจำเป็นที่ควรต้องมีสำหรับระบบขนาดใหญ่ แต่ถ้าไม่สามารถจัดสร้างได้ การเข้าถึงจุดเก็บตัวอย่างหรือการดูแลจุดต่างๆในบึงประดิษฐ์ ควรจะใช้การเข้าถึงที่ขวางกับทางน้ำไหล รายละเอียดในการควบคุมดูแลรักษาได้แยกเป็นการควบคุมสำหรับน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลดังนี้

5.2.1 การควบคุมดูแลรักษาระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับน้ำเสีย

ก) การควบคุมภาระการบำบัด

ในการบำบัดน้ำเสียของบึงประดิษฐ์ ภาระการบำบัดเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งต่อประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ ด้วยเพราะภาระการบำบัดคือปริมาณของเสียที่จะได้รับการบำบัด หากเข้าสู่ระบบมากเกินไป ทำให้การบำบัดไม่ได้ตามที่ออกแบบไว้ก็จะเป็นผลเสียต่อระบบ ข้อเสนอแนะสำหรับการควบคุมภาระการบำบัด

ก็คือ การมีระบบบำบัดเบื้องต้น ซึ่งจะช่วยในการรองรับภาระบำบัดที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้น (Peak load) วิธีการลดภาระการบำบัดอีกประการหนึ่งคือ การกระจายน้ำเข้าบึงประดิษฐ์ โดยการมีจุดกระจายน้ำหลายๆ จุดจะช่วยในการลดภาระบำบัดที่จะต้องจ่ายลงจุดเดียวในปริมาณสูงได้ และผู้ดูแลระบบฯ ควรรักษาปริมาณภาระการบำบัดให้คงที่และไม่เกินกว่าค่าจากการออกแบบ

ข) การควบคุมระดับน้ำและอัตราการไหล

ปริมาณการไหลจะส่งผลกระทบต่อลักษณะทางชลศาสตร์ ปริมาณภาระการบำบัด เวลาการกักเก็บ ความเร็วการไหลของน้ำ และความแตกต่างของระดับน้ำตามแนวยาวของบ่อ ระดับน้ำในบ่อจะส่งผลกระทบต่อเวลาการกักเก็บ การแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศสู่น้ำ การเจริญเติบโตของพืชและปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ การรักษาปริมาณระดับน้ำที่ไม่สูงมากนักจะช่วยทำให้การแลกเปลี่ยนออกซิเจนจากบรรยากาศสู่พืชทำได้มากขึ้น อีกทั้งยังผ่านลงไปสู่ระบบรากและบริเวณรอบๆรากพืชอีกด้วยการควบคุมระดับน้ำและอัตราการไหล โดยปกติแล้วจะถูกกระทำผ่านวาล์ว ประตูน้ำ หรือ เวียร์ โครงสร้างเหล่านี้ต้องถูกตรวจสอบอยู่เสมอว่าอยู่ในลักษณะที่สามารถทำงานได้ดี

ค) การเก็บเกี่ยวหรือตัดพืช

การเกี่ยวพืชออกจากบึงประดิษฐ์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สภาพภูมิอากาศ, ชนิดของพืช และปริมาณของเสียที่ปะปนมากับน้ำเสีย การเกี่ยวพืชออกจากบึงประดิษฐ์เพื่อวัตถุประสงค์ในการกำจัดของเสียที่ถูกดูดซึมเข้าไปในพืชนั้นไม่ค่อยเห็นผลเด่นชัดนัก แต่อาจจะเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการให้ออกซิเจนของพืชดีขึ้น ต้นแก่หรือตายของพืชจะถูกเอาออกจากระบบทำให้ไม่เป็นภาระต่อระบบ และการเกี่ยวพืชออกเป็นการลดความแออัดของพืชซึ่งจะเป็นการควบคุมสภาพของบึงประดิษฐ์ให้อยู่ในสภาพที่ไม่รก **ตารางที่** 5.2 แสดงการเก็บเกี่ยวของพืชแต่ละชนิด ในกรณีที่มีแบ่งการเดินระบบ

เป็นส่วนๆ ควรมีการตากและเกี่ยวพืชออกจากบ่อสลับกันไป ในบางกรณีการเอาพืชที่แห้งไปใช้ในกิจกรรมอื่น จะสามารถใช้ประโยชน์จากวัสดุที่ได้จากระบบบำบัด

ตารางที่ 5.2 การเก็บเกี่ยวพืชแต่ละชนิด

ชนิดของพืช	ช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยว	หมายเหตุ
1. ต้นธูปฤาษี	- ปกติเมื่อต้นธูปเริ่มแสดงว่ามีอายุมาก เช่น เหลือง ใบออกเป็นสีน้ำตาล ออกดอก หรือเริ่มล้ม หรือมีความสูงประมาณ 2.5-3 ม. - อายุของต้นธูปโดยเฉลี่ยสำหรับ น้ำเสีย ประมาณ 6 เดือน สำหรับสิ่งปฏิกูล ประมาณ 4 เดือน ซึ่งควรจะทำการเก็บเกี่ยว	- การเก็บเกี่ยวในช่วงหน้าแล้งกับหน้าฝนนั้น วิธีการเก็บเกี่ยวไม่แตกต่างกัน แต่ภายหลังการเก็บเกี่ยว ต้นพืชจะโตช้าในหน้าแล้ง ดังนั้นจึงต้องการน้ำมาก โดยเฉพาะต้นธูปในบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดสิ่งปฏิกูล - การเก็บเกี่ยว จะทำการตัดต้นธูปทั้งหมดในแปลงนั้น ทั้งต้นเล็กและต้นใหญ่ ให้เหลือสูง ประมาณ 30 ซม.จากผิวตัวกรอง แต่ให้สูงกว่าระดับน้ำในกรณีของระบบไหลท่วมผิว
2. ต้นพุทธรักษา	- ลักษณะของต้นเมื่อโตเต็มที่ใบจะเริ่มแห้งและจะเริ่มล้ม - ระยะเวลาที่ต้นจะแก่เต็มที่ประมาณ 3-4 เดือน มีความสูงประมาณ 1-1.5 ม.	- การเก็บเกี่ยว จะทำการตัดต้นพุทธรักษาบริเวณโคนต้น ให้ตัดเฉพาะต้นที่แก่เท่านั้น ปกติต้นที่ถูกตัดเดิมจะตายไป ต้นใหม่จะเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา รอบๆต้นเดิม
3. ต้นกก	- ลักษณะของต้นเมื่อโตเต็มที่ต้นจะเริ่มล้ม - ระยะเวลาที่ต้นจะแก่เต็มที่ประมาณ 3-4 เดือน มีความสูงประมาณ 1.5-2 ม.	- การเก็บเกี่ยว จะทำการตัดต้นกกบริเวณโคนต้น โดยตัดทั้งกอ ปกติต้นใหม่จะงอกขึ้นมาแทนกอที่ถูกตัดไป

ที่มา: ปรับปรุงจาก Brix H. and Schierup H. 1989b.

ง) การควบคุมยุง

ปัญหาเรื่องยุงในบึงประดิษฐ์อาจเกิดขึ้นได้เมื่อภาระอินทรีย์สารที่เข้ามาในระบบมีค่าเกินกว่าที่ระบบจะบำบัดได้ และอาจเกิดขึ้นเมื่อมีสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Condition) เกิดขึ้นภายในบ่อ วิธีการที่ใช้ในการควบคุมปัญหาเรื่องยุงได้แก่ การมีการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นที่มีประสิทธิภาพเพื่อช่วยลดภาระอินทรีย์สารก่อนเข้าสู่ระบบ, การเติมน้ำเสียเข้าระบบแบบเป็นขั้นโดยการกระจายน้ำ และหมุนเวียนน้ำกลับเข้าระบบที่มีประสิทธิภาพ, การดูแลจัดการเรื่องพืช, การควบคุมยุงตามวิธีการทางธรรมชาติโดยใช้ปลาหางนกยูง (*Gambusia affinis*) ควบคุมยุงรวมกับวิธีอื่นๆ ที่กล่าวข้างต้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการควบคุมยุงโดยธรรมชาติเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด

จ) การควบคุมกลิ่น

โดยปกติแล้วระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์จะไม่ค่อยก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นมากนัก ซึ่งกลิ่นที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดเนื่องมาจากปฏิกิริยาหรือกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ และจากการเน่าหรือย่อยสลายตัวของพืชที่ปลูกในบึงประดิษฐ์เอง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วปัญหาเรื่องกลิ่นจะไม่เกิดขึ้นในบึงประดิษฐ์ที่ใช้บำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง (Secondary wastewater effluents) แต่จะเกิดขึ้นหากมีการบำบัดน้ำเสียในอัตราที่สูงเกินความสามารถของบึงประดิษฐ์ และเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการหมักในบึงประดิษฐ์ เนื่องมาจากสภาพไร้ออกซิเจนในบึงประดิษฐ์ ดังนั้นการลดปริมาณสารอินทรีย์ที่จะเข้าสู่บึงประดิษฐ์ หรือการเอาเศษพืชที่ตายแล้วออกจากบึงประดิษฐ์ หรือการลดพื้นที่ว่างในบึงโดยการปลูกพืชเพิ่ม เป็นหลายๆ วิธีที่ควบคุมกลิ่นได้ การไหลแบบปั่นป่วนทางน้ำออก เช่น การไหลเป็นขั้นบันได ปกติแล้วจะเป็นการเพิ่มออกซิเจนกับน้ำ แต่ก็เป็นจุดหนึ่งที่ทำให้เกิดกลิ่นถ้าภายในระบบมีองค์ประกอบ H_2S เกิดขึ้น

ในกรณีที่ระบบมีกลิ่นเกิดมากทั้งๆที่ได้เตรียมการป้องกันไว้แล้ว การป้องกันการกระจายตัวของกลิ่นไม่ให้ไปตามทิศทางลมเป็นสิ่งที่จำเป็น เหมือนกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่น หรือหลุมฝังกลบ โดยการจัดทำแนวกันลมจากการปลูกต้นไม้ล้อมรอบพื้นที่ที่เกิดกลิ่น โดยเฉพาะบ่อเตรียมสิ่งปฏิกูล แต่ถ้าสามารถทำเป็นระบบปิดได้ในส่วนของ

บ่อเตรียมสิ่งปฏิกูลนี้จะสามารถป้องกันการแพร่กระจายกลิ่นได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ต้องดูในเรื่องของงบประมาณเข้ามาเกี่ยวข้อง

ฉ) การดูแลรักษาบ่อ

บ่อเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับบึงประดิษฐ์ ในการดูแลรักษาควรดูแลไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นกับวัสดุปูพื้นบ่อเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วซึม และควรหมั่นดูแลไม่ให้มีหญ้ารกบริเวณคันบ่อเพราะจะทำให้หญ้าลงไปเติบโตในบึงประดิษฐ์ได้

5.2.2 การควบคุมดูแลรักษาระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับสิ่งปฏิกูล

การควบคุมดูแลระบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดสิ่งปฏิกูล สามารถทำได้เช่นเดียวกันกับระบบ บึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสีย กล่าวคือการควบคุมและการบำรุงรักษาระบบขึ้นอยู่กับอัตราการบำบัด ลักษณะของสิ่งปฏิกูลและอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบฯ ค่าอัตราการไหล ระดับน้ำ คุณภาพน้ำ รวมไปถึงพารามิเตอร์ทางด้านชีววิทยาอื่นๆ ซึ่งจำเป็นต้องดูแลตรวจสอบอยู่เสมอ สำหรับการซ่อมบำรุงเครื่องสูบน้ำเสีย คันบ่อ อาคารควบคุมและการจัดการพืชเป็นกิจกรรมที่ไม่ต้องการการดูแลบ่อยนัก ส่วนรายละเอียดของการควบคุมระบบบึงประดิษฐ์ สำหรับบำบัดสิ่งปฏิกูลที่ต่างออกไปจากระบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสียมีดังต่อไปนี้

ก) การควบคุมภาระการบำบัด

ในการบำบัดสิ่งปฏิกูลของบึงประดิษฐ์ ภาระการบำบัดเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งต่อประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์ ด้วยเพราะภาระการบำบัดคือปริมาณของเสียที่จะได้รับการบำบัด หากเข้าสู่ระบบมากเกินไป ทำให้การบำบัดไม่ได้ตามที่ออกแบบไว้ก็จะเป็นผลเสียต่อระบบ ภาระบำบัดที่ใช้ในการควบคุมระบบคือ 250 กก.ของแข็ง/ตร.ม.-สัปดาห์ ซึ่งในทางปฏิบัติการบำบัดที่อัตรา 8 ลบ.ม./สัปดาห์ (สำหรับพื้นที่ผิว 25 ตร.ม.) พบว่าสามารถทำงานได้โดยไม่มีปัญหา และถ้าพบว่า

สิ่งปฏิกูลมีความเข้มข้นสูงเกินกว่า 20,000 มก./ล. ให้ลดปริมาณสิ่งปฏิกูลที่จะเติมเข้าไปในระบบฯลง หรืออาจทำการเจือจางแล้วเติมในปริมาณเท่าเดิม การกระจายสิ่งปฏิกูลเข้าบึงประดิษฐ์ก็เป็นอีกประการหนึ่งที่จะช่วยลดภาระการบำบัดได้ โดยการกระจายสิ่งปฏิกูลหลายๆ จุดจะช่วยในการลดภาระบำบัดมากกว่าการกระจายเข้าเพียงจุดเดียว แต่ทั้งนี้ผู้ดูแลระบบฯ ควรรักษาปริมาณภาระการบำบัดให้คงที่และไม่เกินกว่าค่าจากการออกแบบ

ข) การเก็บเกี่ยวหรือตัดพืช

การเกี่ยวพืชออกจากบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดสิ่งปฏิกูลพบว่าจะต้องทำการตัดบ่อยครั้งกว่าพืชในระบบบึงประดิษฐ์ที่บำบัดน้ำเสีย เนื่องจากพืชในระบบต้องรองรับสภาพของเสียที่สูงกว่าปกติ เมื่อสังเกตเห็นว่าพืชในบึงประดิษฐ์แสดงสัญญาณว่า ออกดอก แก่จัด หรือเหี่ยวเหลือง ให้ทำการเกี่ยวหรือตัดได้ สำหรับต้นพืชที่ได้จากการเก็บเกี่ยวก็สามารถนำไปทำประโยชน์ได้หลายอย่าง อาทิเช่น การนำไปผสมกับตะกอนที่ได้จากระบบฯ ทำเป็นปุ๋ย เช่นเดียวกับพืชที่ได้จากบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสีย

ค) การควบคุมกลิ่น

กลิ่นเป็นปัญหาที่สร้างความรำคาญ โดยปกติแล้วจะมีกลิ่นเกิดขึ้น ในช่วงเวลาการกวนในขั้นตอนการเตรียมสิ่งปฏิกูลเข้าสู่ระบบ แต่จะมีกลิ่นไม่มากนักเนื่องจากสิ่งปฏิกูลถูกหมักเป็นเป็นเวลานานในถังเซปติกจากบ้านเรือน ทำให้องค์ประกอบที่เกิดกลิ่น เช่น H_2S ได้ลดไปมากแล้ว แต่ยังคงมีอยู่ ในการควบคุมกลิ่นสามารถทำได้โดยการลดการปั่นป่วนอย่างสูงบริเวณบ่อเตรียมสิ่งปฏิกูล โดยทำการปั่นเป็นช่วงเวลาสั้นๆ

สำหรับการควบคุมดูแลอื่นๆ ของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล ที่ต่างออกไปจากระบบบำบัดน้ำเสียได้ถูกสรุปไว้ใน**ตารางที่** 5.3

ตารางที่ 5.3 ลักษณะการควบคุมดูแลบึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการบำบัดสิ่งปฏิกูล

ลักษณะและการดูแล	รายละเอียด	หมายเหตุ
ระยะ Free board	0.8 – 1.0 ม.	สำหรับการสะสมของตะกอนสิ่งปฏิกูล
ระบบการจ่าย	กระจายสม่ำเสมอตรงกลางบ่อ และตรวจสอบการอุดตันของระบบจ่าย	พยายามให้กระจายออก 4 ทาง และไหลออกโดยไม่อุดตัน
การเตรียมสิ่งปฏิกูล	แยกขยะออกก่อน	เลือกใช้ตะแกรงที่เหมาะสมกับขนาดของขยะ
การเก็บเกี่ยวพืช	หนึ่ง ถึง สามครั้งต่อปี ทำการตัดเกี่ยวต้นพืชให้เหลือความสูงไว้ประมาณ 30 ซม. จากนั้นทำการตัดแต่งเอาพืชที่ตายออก บางครั้งอาจต้องมีการปลูกซ่อมในพื้นที่ ที่พืชตายโดยทำการแยกหน่อจากต้นข้างเคียงมาปลูก	จำนวนครั้งขึ้นกับการที่พืชโตเต็มที่ ซึ่งสังเกตจากการออกดอก ต้นเริ่มแก่ โดยในภาวะเช่นนี้ประสิทธิภาพของระบบจะลดลง
การดูแลหญ้า	หญ้าจะชอบขึ้นในบึงประดิษฐ์ ด้วยเพราะเป็นแหล่งอาหารที่ดีดังนั้นในการเก็บเกี่ยวพืชแต่ละครั้งจะต้องถอนเอาหญ้าที่อยู่ในระบบออกไปด้วย	ควรระวังไม่ให้บึงประดิษฐ์ได้รับเศษหญ้าหรือ สปอร์ จากกิจกรรมที่จะเป็นเหตุให้มีหญ้าในบึงประดิษฐ์เช่น การตัดหญ้าสนามเป็นต้น
การบำบัดขั้นสุดท้าย	ระบบบ่อผึ่งแบบมีตัวกลาง ระบบบึงประดิษฐ์ขั้นที่ 2 ระบบหินกรอง ระบบการกระจายสู่ดิน	ขึ้นกับมาตรฐานคุณภาพน้ำที่ต้องการ หรือการนำน้ำกลับไปใช้ใหม่ ในการเกษตร
การเอาตะกอนออก	ตะกอนที่อยู่บนผิวหน้าระบบบึงประดิษฐ์เมื่อระบบเต็มแล้ว (7-10 ปี) จะถูกตักออกไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นต่อไป สำหรับชั้นกรอง ให้ทำการขังน้ำแล้วเริ่มเดินระบบใหม่ หรือให้ทำการรื้อ ล้างแล้วใส่กลับเข้าไปใหม่	ตะกอนที่ได้สามารถนำไปทำเป็นปุ๋ย หรือใช้ผสมกับดินได้

5.3 การประเมินผลและประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

การประเมินผลและการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ ทำได้เหมือนกับระบบอื่นๆ ซึ่งตารางการเก็บและตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างจากระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ได้แสดงไว้ใน **ตารางที่** 5.4

ตารางที่ 5.4 ตารางการเก็บและตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างจากระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

พารามิเตอร์	ตัวอย่าง	ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง
1. คุณภาพน้ำเข้าและออกจากระบบ		
1.1 Conductivity, pH	น้ำเข้าและน้ำออก	รายสัปดาห์
1.2 ซีโอดี, ของแข็งทั้งหมด	น้ำเข้าและน้ำออก	รายเดือน
2. พารามิเตอร์พิเศษ		
2.1 ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส	น้ำเข้าและน้ำออก	รายเดือน
2.2 โลหะหนัก Zn, Cu, Mn	น้ำเข้าและน้ำออก	ทุกๆ 3 เดือน
2.3 เชื้อโรค และไข่พยาธิ (สำหรับสิ่งปฏิกูล)	น้ำเข้าและน้ำออก	ทุกๆ 3 เดือน
3. อัตราการบำบัด น้ำเสียและสิ่งปฏิกูล	น้ำเข้าและน้ำออก	รายสัปดาห์
4. ตัวอย่างตะกอน (ไข่พยาธิ,N,P,K,Zn)	สุ่มจากตะกอนทั้งหมด	รายครึ่งปี
6. ตัวอย่างพืช (N,P,K,Zn)	สุ่มจากพืชทั้งหมด	รายครึ่งปี

ตารางที่ 5.4 เป็นการสรุปแผนการเก็บตัวอย่างจากระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งพารามิเตอร์ต่างๆควรถูกเก็บวิเคราะห์ที่ตำแหน่งน้ำเข้าและออกอย่างน้อยที่สุด 1 ครั้งต่อเดือน ยกตัวอย่างเช่น pH, Conductivity, COD, TSS, NO_3-N, NH_4-N, TKN, TP สำหรับคุณสมบัติทางด้านโลหะหนักและเชื้อโรค อาจจะมีการเก็บวิเคราะห์ไม่บ่อยครั้งเนื่องจากลักษณะน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลมีปริมาณโลหะหนักและเชื้อโรคไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หรือการเก็บตัวอย่าง ควรมีการจัดเก็บให้อยู่ในรูปของตารางบันทึก เพื่อที่จะสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลง หรือแนวโน้มของ

การเปลี่ยนแปลงของข้อมูล ซึ่งจะสามารถนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลอื่นๆ เช่น อากาศ หรือปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อลักษณะการทำงานของระบบบำบัด ดังนั้น ข้อมูลจากการควบคุมดูแลระบบจะสามารถบอกแนวทางการจัดการ หรือการเตรียมพร้อมเพื่อที่จะรองรับการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นจากลักษณะที่จะส่งผลกระทบต่อระบบฯ รายละเอียดของการเก็บตัวอย่างได้แสดงไว้ในลำดับต่อจากนี้

5.3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญ เนื่องจากน้ำที่เก็บมาได้จะเป็นตัวแทนของน้ำที่เข้าหรือออกจากระบบนั้น หากเก็บตัวอย่างไม่ถูกต้องจะทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ไม่ถูกต้องไปด้วย การเก็บตัวอย่างน้ำควรมีแบบแผนที่แน่นอนและควรมีการบันทึกรายละเอียดต่างๆ ครบถ้วนตามสมควร เพราะถ้าไม่มีรายละเอียด เพียงพอแล้ว การค้นหาหรือวินิจฉัยขั้นแรกอาจครอบคลุม หรือถ้าตัวอย่างไม่เป็นตัวแทนของแหล่งน้ำที่แท้จริงก็อาจทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้ จึงจำเป็นต้องมีการเตรียมเครื่องมือให้พร้อม และมีวิธีการเก็บที่เหมาะสม การเก็บตัวอย่างน้ำที่ดีและถูกต้องควรพิจารณาสิ่งต่างๆดังต่อไปนี้

ก) ภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำ

ขวดที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำโดยทั่วไปมักใช้เป็นขวดโพลีเอทิลีน (Polyethylene) หรือขวดแก้วอย่างหนา ควรมีขนาดใหญ่ประมาณ 500 – 1000 ลบ.ซม. ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่จะทำการวัด มีฝาเกลียวปิดมิดชิด และควรใช้ขวดที่มีปากกว้างเพื่อให้ทำความสะอาดได้ง่ายและสามารถเก็บตัวอย่างน้ำได้อย่างรวดเร็ว ปากขวดไม่ควรเล็กกว่า 5 ซม. โดยปกติขวดพลาสติกที่มีคุณภาพดีจะใช้เก็บตัวอย่างได้เหมาะสมกว่าขวดแก้ว เนื่องจากมีน้ำหนักเบากว่าและไม่แตกง่าย อย่างไรก็ตามลักษณะของภาชนะที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำจะต้องเลือกให้เหมาะสมสำหรับดัชนีแต่ละชนิด ก่อนใช้ขวดเก็บตัวอย่างทุกครั้งควรล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้ง เมื่อเก็บตัวอย่างน้ำเสร็จแล้ว ควรปิดฝาให้

สนิท ปิดฉลาก (Label) ไว้ทุกใบ โดยฉลากจะต้องแจ้งข้อมูลที่จำเป็นให้ละเอียด สิ่งที่ควรบันทึกรายละเอียดไว้มีดังนี้

ตัวอย่างน้ำของ.....
จุดที่เก็บ.....
วิธีการเก็บ.....
อุณหภูมิ..... พีเอช..... ดีโอ..... (ถ้ามี)
วิธีการเก็บรักษา.....
เวลา..... วันที่.....

ผู้เก็บ.....

ข) ขนาดหรือปริมาณของตัวอย่างน้ำ

ปริมาตรของตัวอย่างน้ำที่เก็บจะมากหรือน้อยเท่าใดขึ้นอยู่กับปริมาตรที่ใช้ในการวิเคราะห์ของแต่ละพารามิเตอร์ซึ่งควรเก็บให้มากกว่าที่ต้องการเล็กน้อยเพราะในกรณีที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นเนื่องจากกาวิเคราะห์หรือต้องการยืนยันผล จะได้มีน้ำตัวอย่างเพียงพอในการวิเคราะห์ซ้ำ และในบางครั้งต้องใช้ตัวอย่างน้ำกลั้ว (Rinse) ภาชนะที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วย ปริมาตรที่น้อยที่สุดและวิธีการเก็บรักษาที่ควรเก็บของน้ำตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ในแต่ละพารามิเตอร์ แสดงในตารางที่ 5.5

ค) จุดเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำซึ่งเป็นตัวแทนของน้ำทั้งหมดจะต้องคำนึงถึงจุดเก็บตัวอย่างในการควบคุมระบบ ใช้การเก็บตัวอย่างจุดที่น้ำเข้าและออกจากระบบ

ง) ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำควรเป็นเวลาเดียวกันแล้วทำการตรวจวิเคราะห์ทันที เพื่อมิให้สภาพน้ำที่เก็บมาเปลี่ยนแปลงไป ถ้าเป็นการตรวจวิเคราะห์ทางกายภาพ สี กลิ่น ความขุ่น อุณหภูมิ ความนำไฟฟ้า ควรทำในขณะที่เก็บหรือในทันทีที่ตัวอย่างถึงห้องปฏิบัติการ ระยะเวลามากที่สุดในการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำก่อนวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 5.5

จ) การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ

ตัวอย่างน้ำที่เก็บมาเพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพนั้นบางดัชนีต้องวิเคราะห์ในภาคสนาม ได้แก่ ความเป็นกรด – ด่าง, อุณหภูมิ ความนำไฟฟ้าและความเป็นด่าง เพราะดัชนีเหล่านี้มีค่าเปลี่ยนแปลงได้ง่ายต้องทำการวิเคราะห์ ณ จุดเก็บตัวอย่างทันที เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าของแหล่งน้ำนั้นจริง ๆ ส่วนดัชนีอื่น ๆ สามารถที่จะนำมาทำการวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการได้ โดยการรักษาคุณภาพน้ำไว้ก่อน เพื่อไม่ให้ส่วนประกอบของน้ำเปลี่ยนแปลงไปทั้งทางเคมีและทางกายภาพ

วิธีการรักษาสภาพมีดังนี้

- การแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จุดประสงค์คือ ลดการทำงานของพวกจุลินทรีย์ และลดอัตราเร็วของการเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี
- การเติมสารเคมี เช่น กรดไนตริก (HNO_3) หรือกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) เข้มข้นเป็นการรักษาสภาพน้ำตัวอย่าง โดยการควบคุมค่าพีเอช (พีเอช < 2) วัตถุประสงค์คือป้องกันการดูดซับอิออนที่ผิวภาชนะ และการตกตะกอนและช่วยยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ด้วย

รายละเอียดของการเก็บตัวอย่างน้ำ แสดงใน**ตารางที่** 5.5

ตารางที่ 5.5 สรุปวิธีการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ เพื่อนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ดัชนี	**ปริมาตรที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ (ลบ.ซม.)**	**ภาชนะที่ใช้บรรจุ**	**วิธีการเก็บรักษา**	**ระยะเวลาที่สามารถเก็บไว้ก่อนวิเคราะห์การวิเคราะห์**
ความเป็นกรด	100	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส	24 ชม.
ความเป็นด่าง	100	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส	24 ชม.
บีโอดี	1,000	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส	24 ชม.
ออกซิเจนละลาย	300	แก้ว (ขวดบีโอดี)	ไม่มี	ต้องวิเคราะห์ทันที
ความกระด้าง	100	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส	7 วัน
ไนโตรเจน (แอมโมเนีย, ไนเตรท และไนโตรเจน)	400	พลาสติก,แก้ว	เติม $HgCL_2$ 40 mg/l แล้วแช่เย็นที่ 4 ซ. หรือ เติม H_2SO_4 เข้มข้นmg/l แล้วแช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส	24 ชม.
พีเอช	50	พลาสติก, แก้ว	วิเคราะห์ทันที หรือแช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส	6 ชม.
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	50	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส	24 ชม.
ฟอสฟอรัสละลาย	50	พลาสติก, แก้ว	กรองในขณะเก็บแล้วแช่เย็น 4 องศาเซลเซียส	24 ชม.
ความเค็ม	200	แก้ว	วิเคราะห์ทันที หรือใช้กระดาษไขปิดให้แน่น	6 เดือน
ความขุ่น	100	พลาสติก, แก้ว	แช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส เก็บไว้ในที่มืด	

ที่มา: Standard methods for examination of water and wastewater, 2000

ฉ) ข้อเสนอแนะในการเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างของแต่ละพารามิเตอร์มีวิธีการและเทคนิคแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่งน้ำ และขึ้นอยู่กับดัชนีที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งวิธีการเก็บบางดัชนีอาจใช้ขวดจ้วงตักได้เลย หากเก็บตัวอย่างที่มีความลึกไม่มากนักแต่ในบริเวณที่น้ำลึกต้องใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำ

ข้อเสนอแนะในการเก็บตัวอย่างโดยทั่ว ๆ ไป มีวิธีการดังนี้คือ

- ในการเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละครั้ง ก่อนเก็บตัวอย่าง ต้องทำการล้างหรือทำความสะอาดขวดที่จะใช้เก็บตัวอย่างน้ำ โดยใช้ตัวอย่างน้ำที่จะเก็บกลั้ว (rinse) ขวดเก็บตัวอย่างก่อน 2 - 3 ครั้ง
- เติมตัวอย่างน้ำลงในขวดเก็บตัวอย่าง ปริมาตรของตัวอย่างที่เก็บบางพารามิเตอร์ เช่น ไนเตรทและฟอสฟอรัสรวม ไม่ควรเก็บตัวอย่างน้ำเต็มขวด เพราะต้องเหลือที่ว่างไว้สำหรับเติมสารเคมีรักษาสภาพและสำหรับเขย่าให้ผสมกันก่อนทำการวิเคราะห์ ยกเว้นตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์หาปริมาณ บีโอดี, ออกซิเจนละลาย ความเป็นด่าง และความเป็นกรด ที่ต้องเก็บตัวอย่างเต็มขวด และปิดฝาให้สนิท เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้อากาศเหลืออยู่บนผิวน้ำละลายเข้าไปในตัวอย่าง เป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับตัวอย่าง และจะทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้
- ขวดเก็บตัวอย่างต้องปิดฝาอยู่ตลอดเวลา และวางหงายขึ้น อย่างวางคว่ำบนพื้น เพราะจะเกิดการปนเปื้อนได้ และเมื่อเก็บน้ำตัวอย่างแล้วต้องรีบปิดฝาขวดทันที

5.3.2 การเก็บตัวอย่างตะกอน

การเก็บตัวอย่างตะกอนเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการประเมินสมบัติทางเคมีของตะกอน เช่น ธาตุอาหาร หรือสารประกอบต่างๆ เพื่อสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ สำหรับการเก็บตัวอย่างตะกอนในระบบบึงประดิษฐ์นั้นส่วนมากมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็น

การตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของตะกอน เช่น ปริมาณไข่พยาธิ โลหะหนัก หรือสารประกอบต่างๆ ที่สะสมอยู่ในกากตะกอน เพื่อทราบถึงคุณลักษณะของกากตะกอนก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านต่างๆ

ก) ภาชนะบรรจุตัวอย่างตะกอน

โดยทั่วไปแล้วภาชนะที่ใช้บรรจุ หรือเก็บตัวอย่างตะกอนจะเป็นขวดพลาสติกที่มีฝาปิดมิดชิดหรือถุง พลาสติกที่มีซิบล็อคด้านบน **(รูปที่** 5.1) เพราะจะช่วยป้องกันการปนเปื้อนและเพื่อป้องกันการผสมรวมของตะกอนเก็บจากจุดเก็บที่ต่างกัน เมื่อเก็บตัวอย่างตะกอนเสร็จแล้วควรทำการปิดภาชนะบรรจุตัวอย่างให้สนิทและปิดฉลาก (Label) ซึ่งแสดงข้อมูลและจุดเก็บตัวอย่างทุกครั้ง



รูปที่ 5.1 ลักษณะของถุงพลาสติกที่ใช้เก็บตัวอย่างตะกอน

ข) ขนาดหรือประมาณของตัวอย่างตะกอน

ขนาดหรือปริมาณของตัวอย่างตะกอนที่ต้องทำการเก็บนั้นไม่ได้มีการกำหนดไว้อย่างแน่นอน เพราะจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่ต้องการตรวจวัดและความแม่นยำของผลการวิเคราะห์ที่ต้องการ หากต้องการเก็บตัวอย่างให้ทั่วถึงและเป็นตัวแทนที่ดีนั้นควรมีการเก็บตัวอย่างหลายๆ จุด และเก็บในปริมาณที่มากพอสำหรับการตรวจวิเคราะห์

ตารางที่ 5.6 แสดงปริมาณของตะกอนที่ต้องทำการเก็บสำหรับทำการตรวจวิเคราะห์เทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ตารางที่ 5.6 ปริมาณของตะกอนที่ต้องทำการเก็บตัวอย่างเปรียบเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตะกอน (มม.)	น้ำหนักของตะกอน (กก.)	ปริมาตรของตะกอน (มล.)
2 – 4	1	1000
0.05 – 2	0.125 – 0.5	500
0.002 – 0.05	0.125 – 05	250
< 0.002	0.125 – 0.5	250

ที่มา: ปรับปรุงจาก Krumbein and Pettijohn, 1938

ค) จุดเก็บตัวอย่างตะกอน

การเลือกจุดหรือตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างของตะกอนในระบบบึงประดิษฐ์สามารถทำได้โดยการแบ่งพื้นที่ในบึงประดิษฐ์ออกเป็นส่วนๆ แล้วให้ใส่หมายเลขกำกับไว้ในแต่ละส่วนจากนั้นให้ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนโดยควรเก็บตะกอนประมาณ 15 จุด ต่อพื้นที่หนึ่งส่วน เพื่อให้ได้ตัวแทนที่ดีของตะกอนในแต่พื้นที่

ง) ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตะกอน

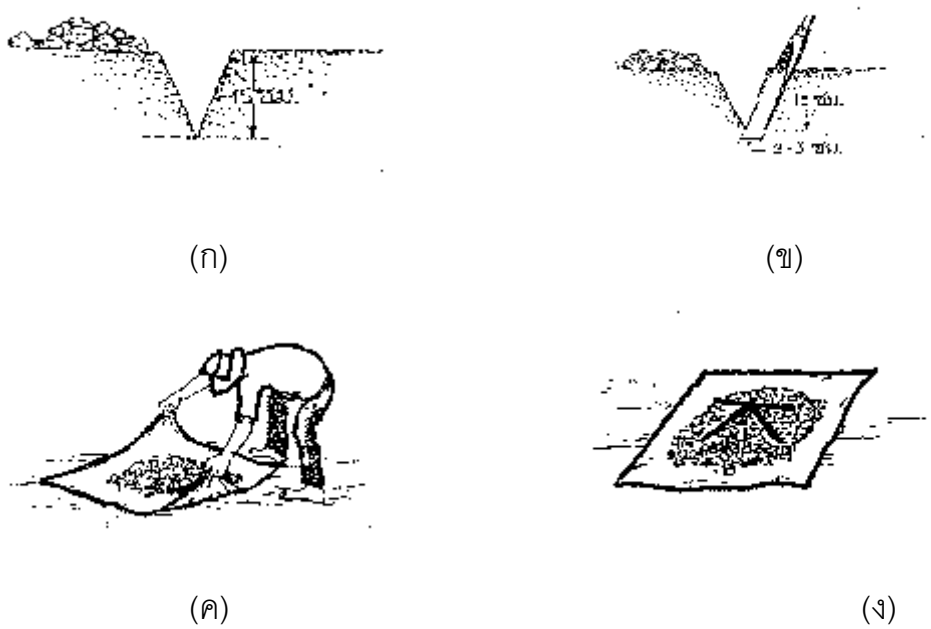
การเก็บตัวอย่างตะกอนทั่วไปแล้วไม่มีช่วงเวลาที่เฉพาะเจาะจงในการเก็บโดยปรกติแล้วมักเก็บช่วงที่ตะกอนไม่ได้รับผลกระทบจากฤดูต่างๆ เช่น ฤดูฝน หรือฤดูแล้ง นอกจากนี้ควรเก็บในช่วงเวลาเดียวกับที่มีการเก็บตัวอย่างพืชเพื่อสามารถเปรียบเทียบหรือหาความสัมพันธ์ของผลการวิเคราะห์ควบคู่กันได้

จ) การเก็บรักษาตัวอย่างตะกอน

ตัวอย่างตะกอนที่เก็บและแบ่งเรียบร้อยแล้วควรเก็บใส่ขวดหรือถุงพลาสติกที่ปิดมิดชิด เขียนป้ายข้างภาชนะที่บรรจุให้ชัดเจน ถ้าเป็นตัวอย่างตะกอนที่จะมาทำการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียหรือไนเตรท จำเป็นต้องนำตัวอย่างตะกอนมาทำการแยกสกัด (Extract) แล้วเก็บสิ่งที่แยกสกัดได้ไว้ในตู้เย็นถ้ายังไม่สามารถทำการตรวจวิเคราะห์ได้ในทันที

ฉ) ข้อเสนอแนะในการเก็บตัวอย่างตะกอน

- การเก็บตะกอน แต่ละจุดควรทำดังนี้ คือ ใช้พลั่วหรือจอบขุดดินเป็นหลุมรูปคมขวานลึกประมาณ 15 เซนติเมตร (**รูปที่** 5.2**ก**) หลังจากนั้นใช้พลั่วแซะตะกอนด้านหนึ่งของหลุมที่ขุดแล้วเกลี่ยเป็นแผ่นหนาประมาณ 2-3 เซนติเมตร ลึกประมาณ 15 เซนติเมตร (**รูปที่** 5.2**ข**) ตะกอนที่ได้นี้เป็นดินหนึ่งจุดในจำนวน 15 จุด ที่ต้องทำการเก็บในแต่ละแปลง จากนั้นให้ใส่ตัวอย่างตะกอนที่เก็บในแต่ละจุดรวมกันในกระป๋องพลาสติก
- ทำการคลุกเคล้าตัวอย่างตะกอนในกระป๋องพลาสติกให้เข้ากันแล้วเทลงบนผ้าพลาสติกและทำการคลุกเคล้าให้เข้ากันอีกครั้งโดยยกมุมพลาสติกทีละ 2 มุมที่อยู่ตรงข้ามกัน ทำสลับมุมกัน 3-4 ครั้ง (**รูปที่** 5.2**ค**) หลังจากนั้นกองดินเป็นรูปฝาชีแล้วใช้มือขีดเป็นรูปกากบาด (+) บนยอดฝาชี (**รูปที่** 5.2**ง**) ซึ่งจะทำให้กองตะกอนถูกแบ่งเป็น 4 ส่วน จากนั้นให้ทำการเก็บตัวอย่างจากกองตะกอนนี้เพียงหนึ่งส่วนให้ได้ปริมาณตะกอนประมาณครึ่งกิโลกรัม แล้วบรรจุตัวอย่างที่เก็บใส่ในภาชนะที่จัดเตรียมไว้เพื่อนำไปทำการตรวจวิเคราะห์ต่อไป



(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 5.2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างตะกอน
(ที่มา: http://www.ocsb.go.th/udon/All%20text/1.Article%2001/01-Article%20P8.8a.htm)

5.3.3 การเก็บตัวอย่างพืช

วัตถุประสงค์หลักในการเก็บตัวอย่างพืชในระบบบึงประดิษฐ์ คือการตรวจสอบความหนาแน่นของต้นพืชภายในระบบ ซึ่งทำได้โดยการคำนวณหาน้ำหนักแห้งต่อหน่วยพื้นที่ นอกจากนี้การวิเคราะห์ตัวอย่างพืชก็เป็นวิธีการหนึ่งที่จะใช้ประเมินความต้องการธาตุอาหารและความอุดมสมบูรณ์ของพืชในระบบได้

ตัวอย่างพืชที่จะต้องนำมาวิเคราะห์ควรเป็นตัวแทนของพืชที่ปลูกในแปลงนั้นๆ อย่างแท้จริง ส่วนของพืชที่ต้องทำการเก็บคือ ราก ลำต้น และใบ ทั้งนี้จะต้องจดรายละเอียดเรื่องอายุและระยะการเจริญเติบโตของพืชขณะที่เก็บตัวอย่างไว้ด้วย เพราะปริมาณธาตุอาหารในพืชจะเปลี่ยนแปลงไปตามอายุและส่วนประกอบต่างๆ ของพืช

ในการเก็บตัวอย่างพืชควรป้องกันการปนเปื้อนจากสารต่างๆ ซึ่งได้แก่ ดิน ฝุ่น หรือสารเคมี แต่ถ้าหากมีการปนเปื้อนของตัวอย่างพืชเกิดขึ้น ให้ล้างตัวอย่างพืชให้สะอาดด้วยการจุ่มในสารละลายกรดเจือจางซึ่งมักจะใช้ 0.1N HCl แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่นอีก 2 ครั้ง ผึ่งให้แห้ง การล้างตัวอย่างพืชอาจจะทำให้ธาตุบางชนิดที่ละลายน้ำได้ง่ายถูกชะล้างออกไป ดังนั้นถ้าหากตัวอย่างไม่มีการปนเปื้อนมากนักจะไม่แนะนำให้ล้างตัวอย่าง โดยอาจใช้ผ้าสะอาดชุบน้ำเช็ดก็พอ จากนั้นจึงนำพืชไปทำการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น สังกะสี (Zn), แมงกานีส (Mn), คอปเปอร์ (Cu) เป็นต้น

5.3.4 ตัวชี้วัดอย่างง่ายในการประเมินสภาวะของระบบ

ตัวชี้วัดสภาวะของระบบบึงประดิษฐ์เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในการประเมินสภาวะหรือการทำงานของระบบเป็นอย่างมาก เพราะหากระบบไม่อยู่ในสภาวะที่พร้อมในการบำบัดน้ำเสียจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการบำบัด ตัวชี้วัดสภาวะการทำงานของระบบที่ดีควรสามารถสังเกตเห็นได้หรือสามารถตรวจสอบได้อย่างง่าย สำหรับในระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ พืชเป็นดัชนีหลักที่สามารถใช้ประเมินสภาวะหรือประสิทธิภาพการทำงานของระบบเพราะพืชเป็นองค์ประกอบหลักที่ใช้ในการบำบัดของเสีย ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์สามารถพิจารณาได้จากสุขภาพและลักษณะของพืชในระบบซึ่งสามารถสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพืชได้ดังนี้

- สีของใบพืช เป็นสิ่งที่สามารถสังเกตได้อย่างง่ายและเป็นสิ่งที่แสดงถึงสุขภาพของพืชได้มากที่สุด โดยสีของพืชที่มีความแข็งแรง คือ สีเขียวเข้ม หากใบพืชเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อนหรือเหลือง แสดงว่าพืชอาจได้รับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงเกินไป ควรทำการตรวจสอบและปรับเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าระบบให้เจือจางลง
- ความสูงของต้นพืช เป็นสิ่งที่แสดงถึงการเจริญเติบโตของพืชภายในระบบ หากพืชเจริญเติบโตได้ดีก็จะส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ
- ความหนาแน่นของต้นพืชภายในระบบ โดยทั่วไปแล้วในช่วงแรกของการเดินระบบ พืชจะมีการกระจายด้วยความหนาแน่นประมาณ 20 ต้นต่อตารางเมตร ดังนั้นเมื่อเดินระบบไปได้ระยะหนึ่งแล้วควรมีการตรวจวัดความหนาแน่นของต้นพืชภายใน

ระบบอย่างสม่ำเสมอ และหากพบว่าต้นพืชตายหรือมีปริมาณน้อยลงควรทำการปลูกพืชเพิ่มเข้าไปในระบบ

5.4 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

5.4.1 ระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับน้ำเสีย

ความผิดปกติหรือการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงานของบึงประดิษฐ์ที่ต่างไปจากเดิมนั้น สามารถเกิด ขึ้นได้ตลอดและอาจเกิดขึ้นได้มากกว่าที่คาดการณ์เอาไว้ ปัญหาที่พบโดยทั่วไปในบึงประดิษฐ์ ได้แก่

1) ปัญหาเกี่ยวกับพืชที่นำมาปลูกไม่สามารถเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณตามที่ต้องการได้ อาจเนื่องมา จากการเลือกใช้ชนิดของพืชไม่เหมาะสม สภาพของดินไม่เหมาะสม หรือถูกรบกวนจากสัตว์ที่กินพืชเหล่านี้เป็นอาหาร เป็นต้น ดังนั้นในการออกแบบระบบจึงควรคำนึงถึงลักษณะภูมิศาสตร์และภูมิอากาศของพื้นที่นั้นๆ ให้เหมาะสมกับพืชที่จะใช้ในระบบบึงประดิษฐ์ ข้อแนะนำในการเลือกพืชคือควรเลือกพืชที่สามารถพบได้ทั่วไปในแถบพื้นที่นั้นๆ

2) ปัญหาการเหี่ยวและร่วงโรยของพืชในระยะเริ่มต้นของการเดินระบบ (Start-up) อาจแก้ไขได้โดยการปรับเปลี่ยนอัตราภาระของการบำบัด และความถี่ในการเติมของเสียเข้าสู่ระบบให้มีความเหมาะสมกับประเภทและความต้องการของพืชที่ปลูกไว้ในระบบ

3) ปัญหาพืชเจริญเติบโตได้ยากและมีเส้นใยของเชื้อราเกิดขึ้น โดยสามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป สามารถแก้ไขได้โดยการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบหรือควบคุมความลึกของน้ำให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่จะใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ใช้หลักการเจือจาง การหมุนเวียนน้ำกลับเข้าสู่ระบบ

4) ปัญหาตะกอนที่มากเกินไป เป็นผลให้ภาระของเสียที่เข้าสู่ระบบสูงและความสามารถในการเก็บกักน้ำลดลง นอกจากนี้ยังส่งผลให้ระยะเวลากักพักน้ำไม่เพียงพอ จากปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ด้วยการควบคุมภาระของแข็งในน้ำเสียหรือเพิ่มปริมาตรการเก็บกักน้ำโดยการเพิ่มความลึกของน้ำในบึงประดิษฐ์แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความลึกน้ำที่พืชต้องการสำหรับการเจริญเติบโตด้วย

5.4.2 ระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับสิ่งปฏิกูล

ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบในบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดสิ่งปฏิกูลมีลักษณะคล้ายคลึงกับปัญหาที่เกิดขึ้นกับบึงประดิษฐ์สำหรับน้ำเสีย แต่มีรายการเพิ่มเติมดังนี้

1) ปัญหาการปรับตัวของพืชช้า ปกติการปรับตัวของพืชในการใช้บำบัดสิ่งปฏิกูลมักใช้เวลา 1-3 เดือน แต่ในบางครั้งอาจจะใช้เวลายาวนานกว่านั้น ด้วยเพราะสิ่งปฏิกูลจากแต่ละแหล่งมีคุณสมบัติไม่เหมือนกันทีเดียว ทำให้การปรับตัวบางครั้งอาจใช้เวลานานถึง 6 เดือน ดังนั้นในแนวทางการแก้ไขควรเข้าใจในลักษณะของพืชว่าสามารถทนได้กับสิ่งปฏิกูลที่บำบัดในแต่ละอัตราการบำบัดหรือยัง และไม่ควรรีบร้อนในการบำบัดที่ 100 % ของอัตราการบำบัด

2) ปัญหาการเหี่ยวและเหลืองของพืชในระยะเริ่มต้นของการเดินระบบ (Start-up) อาจแก้ไขได้โดยการปรับเปลี่ยนอัตราภาระของแข็ง (Solid Loading Rate: SLR) โดยทำการเจือจาง หรือบำบัดในความถี่ของการเติมสิ่งปฏิกูลเข้าสู่ระบบให้มีความเหมาะสมกับประเภทและความต้องการของพืชที่ปลูกไว้ในระบบ

3) ปัญหาหญ้าภายในระบบ เมื่อเดินระบบไปนานๆ จะมีหญ้าเกิดขึ้นในระบบซึ่งจะเป็นปัญหากับพืชที่อยู่ในระบบที่จะไม่สามารถเติบโตได้ดี ทางแก้ไขคือ ต้องดูแลเป็นระยะๆ ในการถอนเอาหญ้าออก ซึ่งสามารถทำได้โดย ทุกๆรอบของการเก็บเกี่ยวพืชออกจากระบบให้ถอนหญ้าที่เกิดขึ้นออกไปด้วย

4) ปัญหาต้นพืชเหี่ยวเฉาด้วยเพราะไม่ได้รับน้ำจากการบำบัดหรืออากาศร้อนมาก ทำให้ผิวหน้าของระบบแห้งและพืชขาดน้ำ ในการแก้ไขควรทำการรดน้ำช่วยโดยทำการรดน้ำในตอนเย็นหรือเช้า

5.5 การตรวจสอบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลเป็นของเสีย ถ้ามีการรั่วซึมสู่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือน้ำใต้ดิน ก็จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นวิธีการตรวจสอบการรั่วซึมหรือการป้องกันผลกระทบอันจะเกิดจากการรั่วซึมสามารถทำได้ดังนี้ คือ

1) การวัดอัตราการไหลของน้ำเข้าและออกจากระบบ โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มเดินระบบ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณน้ำที่เข้าและออกจากระบบรวมทั้งปริมาณน้ำที่หายไปจากระบบ เมื่อข้อมูลแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณน้ำที่หายไปจากระบบมากกว่าปกติ แสดงว่าระบบเกิดการรั่วซึม ซึ่งในการเดินระบบแบบปกติ อาจมีการสูญเสียของน้ำ เนื่องจากการระเหยหรือคายน้ำของพืชในบึงประดิษฐ์

2) การวัดคุณภาพน้ำใต้ดินบริเวณโดยรอบบึงประดิษฐ์ เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถบอกว่าคุณภาพน้ำใต้ดินเปลี่ยนไปอันเนื่องมาจากการรั่วซึมของระบบ แต่วิธีนี้อาจจะไม่ได้ผลที่ดีและยุ่งยากด้วยเพราะพื้นที่โดยรอบของบึงประดิษฐ์มีขนาดใหญ่ ประกอบกับเมื่อน้ำรั่วซึมจากระบบก็จะผ่านการกรองจากชั้นดิน ทำให้คุณภาพน้ำใต้ดินที่วัดได้อาจไม่สามารถบอกได้ ดังนั้นควรจะมีจุดตรวจวัดน้ำใต้ดินหลายจุด โดยการติดตามตรวจสอบน้ำใต้ดิน จะต้องติดตั้งบ่อติดตามตรวจสอบอย่างน้อย 3 บ่อ ตั้งอยู่ในทิศทางลาดเอียงลง (Downgradient) ของทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน โดยระยะห่างระหว่างบ่อเฝ้าตรวจจะห่างกันไม่เกิน 150 เมตร จำนวนอย่างน้อย 2 บ่อ และในทิศทางลาดเอียงขึ้น (Upgradient) บ่อเฝ้าตรวจจะตั้งห่างจากบ่อเฝ้าตรวจที่ตั้งอยู่ในทิศทางลาดเอียงลง ระยะไม่เกิน 450 เมตร จำนวน 1 บ่อ

3) การตรวจสอบน้ำผิวดิน จะทำการตรวจสอบน้ำผิวดินที่อาจได้รับผลกระทบจากการระบายสิ่งปนเปื้อน ในแหล่งน้ำที่ไหลจะต้องทำการตรวจเหนือน้ำและปลายน้ำของระบบบึงประดิษฐ์ ส่วนในแหล่งน้ำที่นิ่งจะต้องกำหนดจุดตรวจไม่น้อยกว่า 1 จุด ในบริเวณใกล้ระบบบึงประดิษฐ์

การประเมินผลและปฏิบัติการแก้ไข สามารถประเมินโดยเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของดัชนีคุณภาพน้ำก่อนเริ่มโครงการ หรือค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำของทางราชการ โดยน้ำบาดาล สามารถตรวจสอบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคตามประกาศกระทรวง อุตสาหกรรม ออกตามความในพรบ. น้ำบาดาล และสำหรับน้ำผิวดิน สามารถตรวจสอบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เมื่อแน่ใจแล้วว่าระบบเกิดการรั่วซึม ให้ทำการหยุดเดินระบบ รื้อเอาชั้นกรองออกแล้วตรวจหาจุดรั่วซึมของบ่อ จากนั้นจึงทำการซ่อมแซมแล้วเริ่มระบบใหม่ จะเห็นได้ว่ามีความยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายมากในการรื้อระบบ ดังนั้นในการออกแบบและการก่อสร้างควรทำอย่างมีมาตรฐานเพื่อป้องการรั่วซึมที่อาจจะเกิดขึ้น

บทที่ 6

การใช้ประโยชน์จากระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์

จากข้อมูลประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย และสิ่งปฏิกูลของระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ที่แสดงไว้ใน**ตารางที่** 2.9, 2.10 และ 2.11 พบว่าบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลอยู่ในเกณฑ์ดี แต่ยังพบว่าตะกอนและน้ำที่ได้จากการบำบัดสิ่งปฏิกูลของบึงประดิษฐ์ ยังมีเชื้อโรค ไข่พยาธิ และสารโลหะหนักปะปนอยู่ด้วย ดังนั้นในการใช้ประโยชน์จากตะกอนและน้ำจากระบบฯ จึงต้องทำการปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไป ใช้ประโยชน์ดังแสดงใน**ตารางที่** 6.1

ตารางที่ 6.1 คุณสมบัติของตะกอนและน้ำจากระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลด้วยบึงประดิษฐ์และการปรับปรุงคุณภาพ

ตัวอย่าง	คุณสมบัติ	การปรับปรุงคุณภาพ
ตะกอน	- N, P, K = 3, 1.5, 0.2 % - ไข่พยาธิ (Viable) = 6 ใบ/ก. - โลหะหนัก Zn, Cu, Mn = 3,000, 400, 300 มก./กก.	- ตะกอนที่ได้จากระบบฯควรได้รับการกองทิ้งไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ปี ก่อนเอามาใช้หรือผสมกับปูนขาว - การนำไปใช้กับพืชต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม
น้ำ	- NO_3-N = 20 - 100 มก./ล. - PO_4-P = 2 - 5 มก./ล. - Faecal coliforms = $1x10^6$ - Conductivity = 1-3 mS/cm	- พักน้ำไว้ในบ่อผึ่งเพื่อฆ่าเชื้อ - เจือจางน้ำให้มีความเค็มที่เหมาะสม สำหรับพืชทั่วไป conductivity ควรจะน้อยกว่า 0.7 mS/cm

ที่มา: FAO,1985

6.1 การใช้ประโยชน์จากน้ำที่ผ่านการบำบัดทางการเกษตร

ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานของน้ำที่ผ่านจากระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำไปใช้ในการเกษตร แต่จากการศึกษาข้อมูลของหลายๆ ประเทศและองค์การอนามัยโลกพบว่า สามารถแบ่งพารามิเตอร์ออกเป็น 2 กลุ่มคือพารามิเตอร์ด้านที่ส่งผลต่อสุขอนามัยของมนุษย์ และพารามิเตอร์ด้านที่ส่งผลต่อการเกษตร

พารามิเตอร์ด้านที่ส่งผลต่อสุขอนามัยของมนุษย์

- ระดับความเสี่ยงสูง ได้แก่พารามิเตอร์ ไข่พยาธิ (*Ancylostoma, Ascaris, Thrichuris and Taenia*)
- ระดับความเสี่ยงปานกลาง ได้แก่พารามิเตอร์ แบคทีเรีย (*Cholera vibrio, Salmonella typhosa, Shigella and possible others*)
- ระดับความเสี่ยงน้อย ได้แก่พารามิเตอร์ ไวรัส

พารามิเตอร์ด้านที่ส่งผลต่อการเกษตร (พืชและดิน)

- ความเค็ม
- พีเอช
- โลหะหนักและธาตุอาหาร

สำหรับเกณฑ์การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้เพื่อการเพาะปลูกได้แสดงไว้ใน **ตารางที่** 6.2 – 6.3

ตารางที่ 6.2 ลักษณะทางชีววิทยาของน้ำที่เหมาะสมสำหรับนำกลับมาใช้ในการเกษตร

ประเภท	ประเภทของการใช้น้ำ	กลุ่มคนที่เกี่ยวข้อง	พยาธิตัวกลม (ค่าเฉลี่ยของจำนวนไข่พยาธิ/ลิตร)	ฟีคอลโคลิฟอร์ม (ค่าเฉลี่ย/100 มิลลิลิตร)	กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่คาดว่าจะสามารถบำบัดน้ำให้มีลักษณะทางชีววิทยาตามเกณฑ์ที่กำหนด
A	การใช้น้ำในการเพาะปลูกพืชที่ใช้เป็นอาหารโดยไม่ต้องมีการปรุงให้สุก, สนามกีฬา, สวนสาธารณะ	คนงาน	<1	1,000	บ่อผึ่งที่มีการออกแบบให้ต่ออนุกรมกันจะสามารถบำบัดน้ำให้มีคุณภาพทางชีววิทยาตามที่กำหนด หรือการใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียแบบอื่น
B	การใช้น้ำในการเพาะปลูกพืชประเภทธัญพืช, พืช, อุตสาหกรรม, หญ้าสำหรับเลี้ยงสัตว์และต้นไม้	คนงาน	<1	ไม่มีมาตรฐานกำหนด	บ่อผึ่งที่มีระยะเวลากักพักน้ำเท่ากับ 8 – 10 วัน หรือการใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียแบบอื่น
C	การใช้น้ำเหมือนกับประเภท B ในกรณีที่น้ำไม่มีการสัมผัสกับคนงานหรือชุมชน	ไม่มี	ไม่มีมาตรฐานกำหนด	ไม่มีมาตรฐานกำหนด	ต้องมีการบำบัดน้ำก่อนที่จะมีการนำกลับมาใช้ ซึ่งอย่างน้อยควรมีการตกตะกอนเบื้องต้น

ที่มา: WHO, 1989

ตารางที่ 6.3 ค่าความเข้มข้นของพารามิเตอร์อื่นๆ ในน้ำที่จะนำกลับมาใช้ในการเกษตร

องค์ประกอบ	ค่าที่กำหนด	หมายเหตุ
พีเอช (pH)	6.0 – 9.0	มักเกิดผลกระทบในทางอ้อม เช่น มีผลต่อการเกิดพิษของโลหะหนัก
บีโอดี (BOD)	< 30 มก./ลิตร	-
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)	500 – 2,000 มก./ลิตร	500 – 1,000 มก./ลิตร เป็นผลกระทบต่อพืชที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลง
ความขุ่น (Turbidity)	< 1 NTU	-
ปริมาณคลอไรด์ที่หลงเหลือ (Cl_2 Residual)	1 มก./ลิตร.นาที	-
ปริมาณคลอรีนคงเหลือ Free Chlorine Residual	< 1 มก./ลิตร	-

ที่มา: WHO, 1989

6.2 การใช้ประโยชน์จากตะกอนที่ผ่านการบำบัด

ตามแนวทางการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย (โครงการจัดทำแนวทางการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ได้มีการจำแนกระดับคุณภาพของกากตะกอน ตามปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักและปริมาณเชื้อโรคที่ปนเปื้อน **ดังตารางที่** 6.4 และ **ตารางที่** 6.5 โดยแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการกากตะกอนแต่ละประเภท แสดงใน **ตารางที่** 6.6

การจัดการกากตะกอนโดยการนำไปใส่ดินเพื่อการเกษตร นับว่าเป็นวิธีการจัดการกากตะกอนที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย ซึ่งมีพื้นที่ทางการเกษตรอยู่มาก นอกจากนี้ยังเป็นการใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารที่มีอยู่ในกากตะกอนอีกด้วย สำหรับกากตะกอนที่ผ่านการบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบึงประดิษฐ์ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนอยู่

ประมาณ 3% และฟอสฟอรัส 1.2% หากมีการจัดการอย่างเหมาะสมและถูกวิธีแล้ว ก็จะสามารถลดค่าใช้จ่ายสำหรับปุ๋ยเคมีลงได้ อย่างไรก็ตามการนำกากตะกอนใส่ดินอย่างถูกวิธี นั้นจะต้องพิจารณาถึงสารที่เป็นพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะหนัก และเชื้อโรคที่มีอยู่ในกากตะกอนประกอบด้วย โดยกากตะกอนที่สามารถนำมาใส่ในดินได้จะต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยทางด้านเชื้อโรคและโลหะหนักที่ระบุไว้ใน **ตารางที่** 6.4 และ **ตารางที่** 6.5 ปกติแล้วการหาอัตราการใส่กากตะกอนมักจะคำนวณโดยใช้ความต้องการธาตุไนโตรเจน (N) หรือฟอสฟอรัส (P) อย่างใดอย่างหนึ่งเป็นฐานในการคำนวณ นอกจากนี้ยังจะต้องคำนึงถึงเกณฑ์ ข้อบังคับสำหรับปริมาณโลหะหนักที่มีในกากตะกอนประกอบด้วย

อัตราการใส่กากตะกอนลงดิน เพื่อใช้เป็นปุ๋ยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของธาตุอาหารที่มีในกากตะกอนนั้นๆ คุณภาพของดิน และความต้องการธาตุอาหารของพืชที่จะทำการปลูกดังแสดงใน**ตารางที่** 6.7 โดยทั่วไปปริมาณกากตะกอนที่สามารถใส่ดินได้ จะถูกจำกัดโดยความต้องการธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส รวมทั้งปริมาณโลหะหนักสะสมจากตะกอนที่ใส่ลงไปทุกๆปี ในการพิจารณาอัตราการใส่กากตะกอนลงในพื้นดินเพื่อการเกษตรสามารถสรุปได้ดังนี้

- กากตะกอนที่จะนำมาใส่จะต้องมีปริมาณโลหะหนักไม่เกิดค่าที่กำหนดใน **ตารางที่** 6.8 โดยพิจารณาอัตราการสะสมโลหะหนักสูงสุดในกากตะกอนที่จะนำมาใส่ในดิน (Pollutant Concentration Limit) และอัตราการสะสมโลหะหนักสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในดิน (Maximum Concentration in Soil)
- ความต้องการธาตุอาหารของพืชจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูกและปริมาณธาตุอาหารที่อยู่ในดินเดิม หากในปีก่อนหน้ามีการใส่กากตะกอนลงในดินแล้วจะต้องพิจารณาปริมาณธาตุอาหารที่หลงเหลืออยู่จากกากตะกอนที่ใส่ในปีก่อนหน้าด้วย
- อัตราการใส่กากตะกอนในแต่ละปี คำนวณจากความต้องการไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเป็นหลัก เพื่อกำหนดอัตราสูงสุดที่จะใส่กากตะกอนได้ ทั้งนี้จะต้องไม่ทำให้โลหะหนักสะสมที่อยู่ในดิน สูงเกินกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมให้มีในดินได้

- ในกรณีที่ต้องมีการใส่ปุ๋ยเพิ่มเติมให้คำนวณจากค่า N P K ที่พืชต้องการและปริมาณ N P K ที่มีอยู่ในกากตะกอนประกอบ

โดยปกติแล้วในกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และสิ่งปฏิกูลทั่วไปจะมีปริมาณโลหะหนักค่อนข้างน้อยอยู่แล้ว ดังนั้นพารามิเตอร์ที่เป็นตัวกำหนดอัตราใส่กากตะกอนคือค่าความต้องการธาตุอาหารของพืชทางการเกษตร (Agronomic Rate) มากกว่าข้อกำหนดทางด้านโลหะหนัก

ตารางที่ 6.4 การแบ่งระดับคุณภาพของกากตะกอนตามปริมาณความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนัก

โลหะหนัก (มก./กก.) น้ำหนักแห้ง)	**ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน**		
	ต่ำ (H1)	**ปานกลาง (H2)**	**สูง (H3)**
สารหนู	20	60	>60
แคดเมียม	30	20	>20
โครเมี่ยม	100	1,000	>1,000
ทองแดง	100	900	>900
ตะกั่ว	150	1,000	>1,000
ปรอท	1	10	>10
นิกเกิล	60	400	>400
เซเลเนียม	3	50	>50
สังกะสี	200	3,000	>3,000

ที่มา : โครงการจัดทำหลักเกณฑ์และแนวทางการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย กรมควบคุมมลพิษ, 2546

ตารางที่ 6.5 การแบ่งระดับคุณภาพ ของกากตะกอนตามปริมาณเชื้อโรคที่ปนเปื้อน

ปริมาณเชื้อโรคในกากตะกอน	ปริมาณเชื้อโรคหรือการบำบัดเบื้องต้น
ต่ำมาก (P1)	• มีปริมาณ Salmonella น้อยกว่า 1 โคโลนี/50 กรัม ในกากตะกอนแห้ง และมีปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดน้อยกว่า 100 โคโลนี/กรัมในกากตะกอนแห้งหรือ • ทำการย่อยและหมักในถังให้ความร้อนมากกว่า 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วันหรือ • ทำการหมักแบบกองแถวพลิกกลับ 5 ครั้งและรักษาอุณหภูมิให้มากกว่า 55 องสาเซลเซียลเป็นเวลา 15 วันหรือ • ทำการรักษาสภาพให้มี pH สูงกว่า 12 เป็นเวลา 3 วันให้ความร้อนที่อุณหภูมิมากกว่า 53 องศา เซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และทำให้แห้งจนกว่าจะมีปริมาณของแข็งมากกว่าร้อยละ 50 หรือ • ให้ความร้อนโดยใช้อากาศร้อนหรือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่อุณภูมิที่อุณภูมิมากกว่า 80 องศาเซลเซียส และทำให้แห้งจนมีปริมาณของแข็งมากกว่าร้อยละ 90 ทำการเก็บไว้ในที่แห้งจนกว่าจะนำไปใช้หรือ • ทำการย่อยและทำให้แห้งจนมีปริมาณของแข็งมากกว่าร้อยละ 10 และเก็บไว้เป็นระยะเวลามากกว่า 3 ปี
ต่ำ (P2)	• มีปริมาณ Salmonella น้อยกว่า 10 โคโลนี/50 กรัม ในกากตะกอนแห้ง และมีปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดน้อยกว่า 1,000 โคโลนี/กรัมในกากตะกอนแห้งหรือ • ทำการหมักที่อุณหภูมิมากกว่า 53 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วันหรือ • ทำการหมักที่อุณหภูมิมากกว่า 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วันหรือ • ให้ความร้อนโดยใช้อากาศร้อนหรือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่อุณหภูมิมากกว่า 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและทำให้แห้งจนมีปริมาณของแข็งมากกว่าร้อยละ 75 หรือ • ทำการย่อยแบบเทอร์โมฟิลิคที่ใช้อากาศ (55-60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน โดยมีอัตราลดลงของแข็งที่ระเหยได้ มากกว่าร้อยละ 38 และของแข็งทั้งหมดมากกว่าร้อยละ 50 หรือ • ทำการตากแดดที่มีความหนาของกากตะกอนไม่เกิน 20 ซม. เป็นเวลาอย่างน้อย 1 เดือน โดย มีการพลิกกลับกากตะกอนไปมาอย่างทั่วถึง

ตารางที่ 6.5 การแบ่งระดับคุณภาพ ของกากตะกอนตามปริมาณเชื้อโรคที่ปนเปื้อน (ต่อ)

ปริมาณเชื้อโรคในกากตะกอน	ปริมาณเชื้อโรคหรือการบำบัดเบื้องต้น
ปานกลาง (P3)	• มีปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดน้อยกว่า 2,000,000 โคโลนี/กรัม ในกากตะกอนแห้ง • ทำการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน โดยมีอัตรการลดลงของของแข็งที่ระเหยได้มากกว่าร้อยละ 38 หรือ • ทำการย่อยแบบไม่ใช้อากาศที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วันโดยมีอัตราการลดลงของแข็งที่ระเหยได้มากกว่าร้อยละ 38 หรือ • ทำการย่อยแบบใช้อากาศที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 วันโดยมีอัตราการลดลงของแข็งที่ระเหยได้มากกว่าร้อยละ 38 หรือ • ทำการย่อยแบบใช้อากาศที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วันโดยมีอัตราการลดลงของแข็งที่ระเหยได้มากกว่าร้อยละ 38 หรือ • ทำการย่อยแบบใช้อากาศที่อุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน โดยที่อุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียสอย่างน้อยเป็นเวลา 4 ชั่วโมง
สูง (P4)	• มีปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดน้อยกว่า 2,000,000 โคโลนี/กรัม ในกากตะกอนแห้ง • ไม่มีการบำบัดหรือบำบัดได้ไม่ถึงเกณฑ์ หรือไม่มีข้อมูล

ที่มา : โครงการจัดทำหลักเกณฑ์และแนวทางการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย กรมควบคุมมลพิษ, 2546

ตารางที่ 6.6 วิธีการจัดการที่เหมาะสมสำหรับกากตะกอนแต่ละประเภท

ประเภทของการนำไปใช้	ปริมาณเชื้อโรค	ปริมาณโลหะหนัก
ไม่มีจำกัด	ต่ำมาก (P1)	ต่ำ (H1)
การนำไปใส่ดิน		
- การเกษตรกรรม	ต่ำ (P2)	ปานกลาง (H2)
- ปรับสภาพภูมิทัศน์	ต่ำ (P2)	ปานกลาง (H2)
- พื้นที่ป่าไม้	ปานกลาง (P3)	ปานกลาง (H2)
- ฟื้นฟูพื้นที่ร้าง เช่นพื้นที่เหมือง	ปานกลาง (P3)	ปานกลาง (H2)
นำไปหมัก	ปานกลาง (P3)	ปานกลาง (H2)
นำไปฝังกลบแบบถูกสุขลักษณะ	สูง (P4)	สูง (H3)
นำไปจัดการโดยวิธีทางความร้อน เช่นการเผา	สูง (P4)	สูง (H3)

ที่มา : โครงการจัดทำหลักเกณฑ์และแนวทางการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย กรมควบคุมมลพิษ, 2546

ตารางที่ 6.7 อัตราความต้องการธาตุอาหารสำหรับพืชบางชนิด

ชนิดพืช	ปริมาณธาตุอาหารที่ต้องการ (กก/ไร่/ปี)		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
พืชไร่			
ข้าวเจ้า	18	4.2	20
ข้าวโพด	28-40	3.2-6.4	18-32
ข้าวบาร์เล่ย์	20-26	2.4-4.0	3.2-19
ข้าวฟ่าง	22-40	2.4-6.4	11-27
ข้าวโอ๊ต	18	2.7	19.2
ข้าวสาลี	26-28	2.4-4.8	3.2-26
มันฝรั่ง	37	3.2	39-52
ยาสูบ	15	4.7-6.3	18-24
ถั่วเหลือง	40-52	1.6-4.5	4.8-19
อ้อย	16-40	4.2	72
ฝ้าย	12-29	2.4-4.5	6.4-16

ตารางที่ 6.7 อัตราความต้องการธาตุอาหารสำหรับพืชบางชนิด (ต่อ)

ชนิดพืช	ปริมาณธาตุอาหารที่ต้องการ (กก/ไร่/ปี)		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
ผัก (ต่อ 1 ฤดูปลูก)			
กะหล่ำปลี	32	8-10	15-18
บรอคเคอรี่	32	8-10	15-18
แครอท	32	8-10	15-18
คื่นช่าย	36	8-12	15-23
แตงกวา	27	6-8	12-15
ผักกาดหอม	37	8-10	15-18
หอมใหญ่	27	8-10	15-18
ต้นหอม	22	6-8	12-15
ผักชี	22	8-10	15-18
พริกไทย	36	8-10	15-23
หัวไชท้าว	16	6.3-8.0	12-15
ฟักทอง	27	6.3-8.0	12-15
ข้าวโพดหวาน	36	8.0-9.5	15-18
มะเขือเทศ	36	8.0-9.5	15-23
แตงโม	27	8.0-9.5	15-18
หญ้าสำหรับสนามกีฬาและสวนสาธารณะ			
หญ้าบาเฮีย	16	1.7-3.4	6.5-13
หญ้าเบอร์มิวดาร์	32-40	1.7-3.4	6.5-19.5
หญ้าทั่วไป	16-24	1.7-6.8	6.5-13
พื้นที่สำหรับเพาะกล้าอ่อนไม้ประดับ	54	3.7-7.8	15-30
ไม้ยืนต้นทั่วไปในสวนสาธารณะ	18	0.7-1.1	4.3-9.2
พื้นที่ป่าปลูกไม้เนื้อแข็ง	16-32		
พื้นที่ป่าปลูกไม้เนื้ออ่อน	16-32		

ที่มา : โครงการจัดทำหลักเกณฑ์และแนวทางการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย กรมควบคุมมลพิษ, 2546

แต่อย่างไรก็ตามมีข้อแนะนำสำหรับการใช้ประโยชน์จากน้ำและตะกอนจากระบบฯ ดังนี้

- การนำไปใช้โดยตรงกับพืชบริโภคจะต้องระวังปัญหาที่จะมีผลกระทบต่อผู้บริโภค ในการใช้ตะกอนกับน้ำจากระบบฯ จะต้องคำนึงถึงผลกระทบอันจะเกิดเนื่องจาก เชื้อโรค ไข่พยาธิ และโลหะหนัก ที่จะมีการปนเปื้อนกับผลผลิตที่ได้ ถึงแม้ว่าจะผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพมาแล้วก็ตาม จากการศึกษาวิจัยพบว่าเชื้อโรคโดยเฉพาะ ฟิคัลโคลิฟอร์ม สามารถอยู่ในตะกอนหรือดินได้หลายเดือน ขึ้นกับสภาพของดินหรือตะกอน เช่น อุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในร่างกายคนและสัตว์ ความชื้นสูง ความสามารถในการมีชีวิตอยู่ก็จะสูงถึง 2-3 เดือน (Schwartzbrod et al, 1995) ในขณะที่ไข่พยาธิสามารถอยู่ในดินหรือตะกอนได้นานกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งไข่พยาธิตัวกลม (Ascaris) สามารถอยู่ในดินหรือตะกอนได้นาน หลายปีถ้าอยู่ในสภาพที่ไข่สามารถทนได้ แต่ปกติไข่จะไม่มีการฟักตัวเพราะในดินหรือในตะกอนมีสภาพที่ไม่เหมาะสมคล้ายในร่างกายคน หรือสัตว์ (Schwartzbrod et al, 1995) ดังนั้นการนำผลผลิตที่ได้มาบริโภค จึงค่อนข้างมีข้อจำกัดสูง ประกอบกับมาตรฐานสำหรับเรื่องนี้ยังไม่ได้มีการกำหนดในประเทศไทย แต่อย่างไรก็ตามในอนาคตเมื่อคุณภาพของผลผลิตที่ได้อยู่ในระดับที่แน่ใจได้ว่าไม่มีการปนเปื้อน การนำมาบริโภคโดย สัตว์ หรือ คน ก็สามารถเป็นไปได้ทั้งทางตรงหรือทางอ้อม

- การนำไปใช้ทางอ้อมกับพืชบริโภค หมายถึงการนำส่วนผสมของตะกอนหรือน้ำที่ได้จากระบบฯ ไปผสมกับปุ๋ยหรือน้ำที่จะใช้กับพืชเป็นแนวทางที่มีความเป็นไปได้กว่าแนวทางแรก เนื่องจากเป็นการลดปริมาณที่จะส่งผลกระทบผลผลิตและการนำไปบริโภค

- การนำไปใช้โดยตรงหรือทางอ้อมสำหรับพืชดอก หรือไม้ประดับ ที่ไม่ต้องระวังเรื่องเชื้อโรคหรือไข่พยาธิมากนักจะสามารถนำเอาตะกอน และน้ำที่ผ่านการปรับสภาพแล้วไปใช้ได้เลยกับพื้นที่สำหรับพืชดอก หรือไม้ประดับ ซึ่งเป็นแนวทางที่มีความเป็นไปได้สูงสุดในการใช้ประโยชน์จากตะกอนหรือน้ำที่ได้จากระบบฯ แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นต้องตรวจสอบคุณสมบัติอื่นๆ ว่าเหมาะสมกับพืชชนิดใด

ตารางที่ 6.8 ปริมาณโลหะหนักสูงสุดสำหรับกากตะกอนที่สามารถนำมาใส่ในดินได้และอัตราการสะสมสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในดิน

โลหะหนัก	ขีดจำกัดโลหะหนักสูงสุดในกากตะกอนที่สามารถนำมาใส่ในดินได้ (Pollution Concentration Limits) (มก./กก กากตะกอนแห้ง)	อัตราการสะสมโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในดินแห้ง (Maximum Concentration in Soil) (มก./กก ดินแห้ง)**
สารหนู (As)	60**	50***
แคดเมียม (Cd)	20*	3***
โครเมียม (Cr)	1,000*	100
ทองแดง(Cu)	900*	100
ตะกั่ว (Pb)	1,000**	150
ปรอท (Hg)	10*	1
นิกเกิล (Ni)	400*	60
เซเลเนียม (Se)	50**	5
สังกะสี (Zn)	3,000*	200

ที่มา : * ผลการศึกษาของ AIT และ กทม., 1998

** ใช้แนวทางที่กำหนดใน Western Australia Standard , 2002

*** จากงานวิจัยต่อเนื่องของ AIT

6.3 การใช้ประโยชน์ระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์เมื่อหมดอายุการใช้งาน

ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปแล้วอายุการใช้งานของบึงประดิษฐ์จะขึ้นอยู่กับปริมาณภาระของเสียที่เติมเข้าสู่ระบบ ความสามารถในรองรับและกำจัดของเสียและการเจริญเติบโตหรือเพิ่มจำนวนของพืชที่อยู่ในระบบ แต่ได้มีการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียโดยทั่วไปของบึงประดิษฐ์ลดลงเพียงเล็กน้อย หลังจากที่มีการเดินระบบไปนานถึง 20 ปี นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียในรูป BOD_5, ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และไนโตรเจนของบึงประดิษฐ์ที่มีการใช้งานในระยะยาวจะไม่ลดน้อยลงถ้าภาระของเสียที่เติมเข้าสู่ระบบมีค่าไม่เกินหรือต่ำกว่าในเกณฑ์ออกแบบไว้ จึงอาจกล่าวได้ว่าบึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการบำบัดของเสียไม่มีการจำกัดเรื่องอายุของการใช้งาน กล่าวคือสามารถใช้งานระบบได้อย่างต่อเนื่องถ้ามีการจัดการและ

ควบคุมดูแลรักษาระบบอย่างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามในการใช้งานบึงประดิษฐ์ในระยะยาวควรมีการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบอยู่เสมอ

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ, 2545. โครงการจัดทำแนวทางการประเมินประสิทธิภาพระบบระบายน้ำและบำบัดน้ำเสีย เพื่อการออกแบบและตรวจรับโครงการ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ

กรมควบคุมมลพิษ, 2545. โครงการจัดทำ คู่มือการออกแบบระบบรวบรวมน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ

กรมควบคุมมลพิษ, 2546. โครงการจัดทำหลักเกณฑ์และแนวทางการจัดการกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ

กรมควบคุมมลพิษ, 2547. โครงการพัฒนาและสาธิตรูปแบบการจัดการน้ำเสียแบบติดกับที่ สำหรับแหล่งท่องเที่ยวประเภทเกาะ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ

กรบควบคุมมลพิษ, 2547. คู่มือปฏิบัติการ ในการดูแลและเดินระบบฝังกลบขยะมูลฝอย, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ

กรมควบคุมมลพิษ และ สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2003. การบำบัดน้ำเสียบางวิธี การนำน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์และการทดสอบพิษวิทยาสำหรับน้ำทิ้ง, สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ

บรรณานุกรม

กรุงเทพมหานคร, 2542. The study for the Master Plan on Sewage Sludge Treatment/Disposal and Reclaimed Wastewater reuse in Bangkok in the Kingdom of Thailand. Vol. III Supporting Report (Final Report). Japan International Cooperation Agency.

กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ. 2544. การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, 2537. วิธีวิเคราะห์ดินและพืช.กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร

กองควบคุมสิ่งปฏิกูล สำนักรักษาความสะอาด กรุงเทพมหานคร, 2543. รายงานประจำปี 2543. กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539. การบำบัดน้ำเสีย, มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ

พงศ์ศิริ พชรปรีชา, 2538. หลักการและวิธีการวิเคราะดินและพืช, ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศุวศา กานตวนิชกูร. 2544. การกำจัดไนโตรเจนโดยระบบ Combined Constructed Wetland ในเขตอากาศร้อน. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บรรณานุกรม

Asian Institute of Technology, 1998. *Feasibility Study on Agricultural Use and Land Application of Sewage and Nightsoil Sludge for Bangkok Metropolitan*, Final Report, Thailand.

Bowmer, K.H. 1987. Herbicides in surface water. *In:* Herbicides, D.H. Hut-son and T.R. Roberts, eds., John Wiley & Sons Ltd, Chichester,

Brix H. and Schierup H. 1989a. Sewage treatment in constructed reed beds-Danish experiences. Water Science and Technology, 21

Brix H. and Schierup H. 1989b. The use of aquatic macrophytes in water pollution control. Ambio Cooper, P.F., Job, G.D., Green, M.B., and Shutes, R.B.E. (1996). *Reed Beds and Constucted Wetlands for Wastewater Treatment*, WRc Swindon, Wiltshire.

Crites, R.W. 1994. Design criteria and practice for constructed wetlands. Wat. Sci. Tech. 29 (4):1 – 6.

Crites, R. and Tchobanoglous, G., 1998 *Small and Decentralized wastewater Management Systems*, McGraw-Hill Inc, New York.

FAO., 1985. Guidelines on efficacy data for the registration of pesticides for plant protection. Rome

บรรณานุกรม

Gearheart, R.A. 1992. Use of constructed wetlands to treat domestic wastewater, City of Arcata, California. Water Science & Technology Vol 26

Institute of Food and Agricultural Sciences., 2002 UF/IFAS Standardized Fertilization Recommendations for Agronomic Crops. University of Florida.

Kim H. Tan, 1996. Soil Sampling Preparation, and Analysis, University of Georgia Athens, Georgia

Krumbein, W.C. and Pettijohn, F.J. 1938. Manual of Sedimentary Petrography, New York, Appleton Century Co., Inc.

Kuusemets, Ü Mander, K. Lõhmus and M. Ivask. 2001. Nitrogen and phosphorus variation in shallow groundwater and assimilation in plants in complex riparian buffer zones, Water Science & Technology Vol 44 No 11-12

Metcalf and Eddy. 1991. Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse. 3rd ed. New York : McGraw-Hill

Mitsch, W. J. 1992. Landscape design and the role of created, restored and natural riparian wetlands in controlling nonpoint source pollution. Ecological Engineering 1(1992): 27-47.

บรรณานุกรม

N. Staelens, C.Polprasert, T. Koottatep, and P. Parkpian, 2002. *Fate of Metals and Heavy Metals in Constructed Wetlands for Septage Dewatering*, AIT, Thailand.

Pollution Control Department, 2000. Regulation and guideline of municipal solid waste management

Reed, S.C., Middlebrooks, E.J., and Crites, R.W.,1988. *Natural System for Waste Management and Treatment*, McGraw-Hill Inc., New York.

Reed, S C, Middlebrookes, E J and Crites, R W., 1995. Natural Systems for Waste Management and Treatment and Treatment, 2nd Edition. McGraw-Hill, New York

Reddy, K. R., AND Debusk, W.F. 1987. Nutrient storage capabilities of aquatic and wetland plants. In R.H. Kadlec, and R.L. Knight. Treatment wetland. Michigan : Lewis Publishers.

Schwartzbrod J. and Gaspard P.G., 1995. Helminth eggs in wastewater: quantification technique, Water Science & Technology Vol 31 No 5-6

Steiner, G.R. and R.J. Freeman, Jr. 1989. Configulation and Substrate Design Considerations for Constructed Wetlands Wastewater Treatment. Chapter 29. pp. 363-377. in D.A. Hammer (Ed .), Constructed Wetlands for Wastewater

Treatment: Municipal, Industrial, and Agricultural. Chelsea, MI: Lewis Publishers.

T. Koottatep, C. Polprasert, N. T. K. Oanh, N. Surinkul, A. Montangero and M. Strauss, 2002. Constructed Wetlands for Septage Treatment – Towards Effective Faecal Sludge Management. AIT, Thailand.

U.S. EPA., 1988 Design Manual. Constructed Wetlands and Aquatic Plant System for Municipal Wastewater Treatment. Office of Research and Development. Center for Environmental Research Information. Cincinnati, OH. EPA/625/1-88/022.

U.S. EPA., 1993. Nitrogen Control Manual. Office of Research and Development. EPA/625/R-93/010.

U.S. EPA., 1995. United States Environmental Protection Agency, Process Design Manual: Land Application of Sewage Sludge and Domestic Septage. Cincinneti, Ohio.

U.S. EPA., 2000. Onsite Wastewater Treatment Systems Manual. EPA/625/R-00/008.

U.S. EPA., 2000. Wastewater Technology Fact Sheet, Wetland: Subsurface Flow. EPA/832/F-00/023.

บรรณานุกรม

U.S. EPA., 2000. Wastewater Technology Fact Sheet, Wetland: Free Water Surface. EPA/832/F-00/024.

U.S. EPA., 2000. Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. EPA/625/R-99/010

Water and River Commission, Department of Environmental Protection, 2002. Western Australian Guidelines for Direct Land Application of Biosolid Products.

WHO., 1989. Health guidelines for the uses of wastewater in agriculture and aquaculture. Geneva, Switzerland. (WHO scientific group technical report series 778)

WPCF. 1990. Natural Systems for Wastewater Treatment. Water Pollution Control Federation Manual of Practice FD-16. Alexandria, Virginia.

http://www.ocsb.go.th

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการประมาณราคาค่าก่อสร้างและเดินระบบบึงประดิษฐ์
สำหรับบำบัดน้ำเสีย จากโครงการพัฒนาและสาธิตรูปแบบการจัดการน้ำเสีย
แบบติดกับที่ สำหรับแหล่งท่องเที่ยวประเภทเกาะ

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างแบบแปลนระบบการบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลด้วยบึงประดิษฐ์

ภาคผนวก ค

ข้อกำหนดรายละเอียดประกอบแบบ ของระบบบึงประดิษฐ์ สำหรับบำบัดสิ่งปฏิกูล

รายละเอียดเฉพาะระบบ

เป็นบ่อขุดเพื่อรองรับปริมาณสิ่งปฏิกูล 15 – 20 ลบ.ม./สัปดาห์ ประกอบด้วย ส่วนของบ่อที่ปูพื้นด้วยแผ่นยางสังเคราะห์ (Geomembrane) และแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) ชั้นกรอง และชนิดของพืชที่เลือกใช้ โดยบ่อบึงประดิษฐ์นั้นมีขนาดกว้าง x ยาว x สูง ตามแบบรายละเอียด ชั้นล่างสุดเป็นชั้นรวบรวมน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วทำจากอิฐบล็อค (Hollow Block) วางเรียงกันเป็นชั้นทั่วทั้งพื้นบ่อ จากนั้นเป็นชั้นกรอง ซึ่งประกอบด้วยวัสดุ 2 ชนิด คือ ชั้นกรองกรวด และชั้นกรองทราย โดยมีพืชที่เลือกใช้ คือ ต้นธูปฤาษี (Cattail Plant) สำหรับบึงประดิษฐ์ขั้นที่ 1 และ ต้นธรรมรักษา (Hericonia plant) สำหรับบึงประดิษฐ์ขั้นที่ 2

1) **บ่อบำบัด**

บ่อบึงประดิษฐ์	:	เป็นบ่อขุด
ขนาดบ่อ	:	ตามแบบรายละเอียด
จำนวน	:	ตามปริมาณน้ำในแบบรายละเอียด
ผนังและพื้นบ่อ	:	เป็นคอนกรีต หรือแผ่นยางสังเคราะห์ร่วมกับแผ่นใยสังเคราะห์

แผ่นใยสังเคราะห์

วัสดุผลิต	:	100% Polypropylene or 100% Polyester
คุณลักษณะทางกายภาพ	:	เส้นใยยาวต่อเนื่องแบบไม่ถักทอ ยึดด้วยกรรมวิธีเข็มบดอัด
กำลังรับแรงดึง	:	ไม่น้อยกว่า 15 kN/m
ค่ากำลังรับแรงเจาะทะลุ	:	ไม่น้อยกว่า 2350 N

แผ่นยางสังเคราะห์

วัสดุผลิต	:	HDPE ทำจาก โพลิเอทีลิน หรือ เอทีลินโคโพลิเมอร์
คุณลักษณะทางกายภาพ	:	มีสีสม่ำเสมอ ไม่มีคราบเหนียวหรือข้อบกพร่องที่อาจมีผลเสีย
กำลังรับแรงดึง	:	ไม่น้อยกว่า 54 kN/mm (Strength at break)
ค่าต้านทานการฉีกขาด	:	ไม่น้อยกว่า 228 N (Tear resistance)
ความหนาแน่น	:	ไม่น้อยกว่า 0.94 g/cc

2) **บ่อเตรียม**

บ่อเตรียม	:	เป็นบ่อขุด
ขนาดบ่อ	:	3x3x2 ม.
จำนวน	:	2 บ่อ
ผนังและพื้นบ่อ	:	เป็นบ่อคอนกรีตฉาบเรียบนอกและใน พร้อมขัดมัน

3) **บ่อรับน้ำ**

บ่อรับน้ำ	:	เป็นบ่อขุด
ขนาดบ่อ	:	1.5x1.5x1.6
จำนวน	:	4 บ่อ
ผนังและพื้นบ่อ	:	เป็นบ่อคอนกรีตฉาบเรียบนอกและใน พร้อมขัดมัน

รายละเอียดเฉพาะอุปกรณ์

(1) **ท่อ**

วัสดุผลิต	:	โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) ชั้น 13.5 ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย
ขนาดท่อ	:	ตามแบบรายละเอียด
ข้อต่อ	:	โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) ชั้น 13.5 ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย
จำนวน	:	ตามแบบรายละเอียด

(2) **ชั้นรับน้ำ**

วัสดุ	:	อิฐบล็อคกลวง
ขนาดของอิฐบล็อค	:	กว้างxยาวxสูง 20x40x20 ซม.
จำนวน	:	ตามแบบรายละเอียด

(3) **วัสดุกรอง**

วัสดุกรอง	:	ประกอบด้วยวัสดุ 2 ชนิด ได้แก่ กรวด และทราย
ขนาดของทราย	:	1 มม. โดยมีปริมาตรรวมตามแบบรายละเอียด
ขนาดของกรวด	:	กรวดเบอร์ ½”-1” โดยมีปริมาตรรวมตามแบบรายละเอียด
		กรวดเบอร์ 1”-2” โดยมีปริมาตรรวมตามแบบรายละเอียด

(4) **ชนิดของพืชที่จะปลูก**

ชนิดของพืช	:	ฐูปฤาษีสำหรับบึงประดิษฐ์ขั้นที่ 1
		ธรรมรักษาสำหรับบึงประดิษฐ์ขั้นที่ 2
จำนวนต้นต่อพื้นที่	:	20 ต้น/ ตร.ม.

(5) **เครื่องสูบสิ่งปฏิกูล**

ชนิด	:	เครื่องสูบน้ำเสียแบบ Progressive Cavity Pump
อัตราการสูบ	:	1.5 ลบ.ม./ชม.
ความดันน้ำ	:	10 ม.
กำลังมอเตอร์	:	0.75 กิโลวัตต์

ระบบทดกำลัง	:	เกียร์มอเตอร์
ไฟฟ้า	:	380 โวล์ท
จำนวน	:	1 ชุด

(5) เครื่องสูบน้ำ

ชนิด	:	เครื่องสูบน้ำเสียแบบจุ่ม (Submersible Pump)
อัตราการสูบ	:	200 ลิตร/นาที
ความดันน้ำ	:	8 เมตร
จำนวน	:	4 ชุด
กำลังมอเตอร์	:	0.5 กิโลวัตต์
ไฟฟ้า	:	220 โวล์ท

(6) เครื่องกวน

ชนิด	:	ใบกวนสแตนเลสต่อกับมอเตอร์และเกียร์
ความเร็วรอบ	:	200 รอบต่อนาที
จำนวน	:	2 ชุด
กำลังมอเตอร์	:	1 กิโลวัตต์
ไฟฟ้า	:	380 โวล์ท

ภาคผนวก ง

รายการประมาณราคาระบบบึงประดิษฐ์
สำหรับบำบัดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูล

ตารางที่ ง -1 ผลการคำนวณราคาทางเศรษฐศาสตร์งานก่อสร้างระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสีย

รายการ	ค่า	หน่วย
ค่าใช้จ่ายรายเดือน		
- ค่าแรงงาน	7,500	บาท/เดือน
- ค่าไฟฟ้า	1,200	บาท/เดือน
รวม	**8,700**	**บาท/เดือน**
ค่าลงทุน		
- ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบ	325,000	บาท
- ค่าใช้จ่ายสำหรับงานก่อสร้างเฉพาะอื่นๆ	300,000	บาท
รวม	**625,000**	**บาท**
การคำนวณราคาทางเศรษฐศาสตร์		
- ค่าอำนวยการ 11.42 %	71,375	บาท
- ดอกเบี้ย 1.17%	7,312.50	บาท
- กำไร 5.50%	34,375	บาท
ราคาค่าก่อสร้าง รวมค่าอำนวยการ ดอกเบี้ย กำไร	**738,062.50**	**บาท**
- ภาษี 7.00%	51,664.38	บาท
รวมค่าลงทุนการก่อสร้าง	**789,726.88**	**บาท**

ที่มา: นิคมอุตสาหกรรมอิสเทิร์นซีบอร์ด จังหวัดระยอง

ตารางที่ ง -2 ผลการคำนวณราคาทางเศรษฐศาสตร์งานก่อสร้างระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ สำหรับบำบัดสิ่งปฏิกูล อบต. บ้านกลาง จังหวัดลำพูน

รายการ	ค่า	หน่วย
ค่าใช้จ่ายรายเดือน		
- ค่าแรงงาน	800	บาท/เดือน
- ค่าไฟฟ้า	700	บาท/เดือน
รวม	**1,500**	**บาท/เดือน**
ค่าลงทุน		
- ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบ	442,000	บาท
- ค่าใช้จ่ายสำหรับงานก่อสร้างเฉพาะอื่นๆ	695,000	บาท
รวม	**1,137,000**	**บาท**
การคำนวณราคาทางเศรษฐศาสตร์		
- ค่าอำนวยการ 11.40 %	129,618	บาท
- ดอกเบี้ย 1.17%	13,302.90	บาท
- กำไร 5.50%	62,535	บาท
ราคาค่าก่อสร้าง รวมค่าอำนวยการ ดอกเบี้ย กำไร	**1,342,455.90**	**บาท**
- ภาษี 7.0%	93,971.91	บาท
รวมค่าลงทุนการก่อสร้าง	**1,436,427.81**	**บาท**

ภาคผนวก จ

คำถาม – คำตอบ จากการจัดสัมมนาร่างคู่มือวิชาการฯ

คำถาม – คำตอบ จากการจัดสัมมนาร่างคู่มือวิชาการฯ

1. พื้นที่ขั้นต่ำ และพื้นที่สูงสุดที่ระบบสามารถก่อสร้างได้ในระบบที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจริง ขนาดของบ่อที่ใหญ่ที่สุดไม่ควรเกินเท่าไร หากจำเป็นต้องใช้พื้นที่มากต้องมีการแบ่งพื้นที่อย่างไร

ตอบ พื้นที่ขั้นต่ำและพื้นที่สูงสุดที่ระบบสามารถก่อสร้างได้นั้น จะต้องประเมินจากการออกแบบหาขนาดของพื้นที่ของระบบบึงประดิษฐ์ตามข้อกำหนอการออกแบบและปริมาณน้ำที่ต้องการบำบัด เมื่อได้พื้นที่จากการคำนวณแล้ว การวางผังของระบบให้เข้ากับพื้นที่ เป็นปัจจัยหนึ่งในการแบ่งพื้นที่ ปกติแล้วจะมีการแบ่งพื้นที่เป็นแปลงตามขนาดกำลังของการบำรุงรักษา ตลอดจนการเก็บเกี่ยวพืช ซึ่งขึ้นกับความสามารถของแต่ละพื้นที่ อย่างน้อยที่สุดควรมีการแบ่งเป็น 2 แปลง ทำงานขนานกันไป แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นในการแบ่งพื้นที่จะต้องมีการทำคันบ่อเพื่อแบ่งหรือเป็นทางสำหรับการเข้าไปบำรุงรักษา ซึ่งกรณีพื้นที่มีจำกัดการแบ่งพื้นที่อาจจะไม่เหมาะสม หรือมีค่าก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในการออกแบบจำนวนบ่อและพื้นที่จึงขึ้นกับ ลักษณะการดำเนินระบบและความต้องการของผู้ออกแบบ

2. รายละเอียดการปูพื้นบ่อ วิธีการปูพื้นบ่อมีกี่วิธี แต่ละวิธีมีข้อดี ข้อจำกัดแตกต่างกันอย่างไร

ตอบ การปูพื้นบ่อของระบบบึงประดิษฐ์ใช้ลักษณะเดียวกับการปูพื้นของระบบฝังกลบขยะ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธีใหญ่คือ

1) การปูพื้นบ่อด้วยคอนกรีต
2) การปูพื้นบ่อด้วยแผ่นใยสังเคราะห์และแผ่นพลาสติกเมมเบรน
3) การปูพื้นบ่อด้วยดินเหนียวบดอัดแน่น

ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดี ข้อเสีย แตกต่างกันดังแสดงในรายละเอียดการปูพื้นบ่อ ในหน้า 37

3. การเก็บเกี่ยวของพืชแต่ละชนิด ว่าควรเก็บเกี่ยวเมื่อพืชมีความสูงเท่าไร อายุเท่าไรและเก็บเกี่ยวควรทำอย่างไร

ตอบ การเก็บเกี่ยวของพืชแต่ละชนิดนั้น มีความแตกต่างกัน ขึ้นกับความสูงและอายุของต้นพืชและปริมาณสารอาหารที่พืชได้รับ ซึ่งสามารถพิจารณาจากรายละเอียด หน้า 63

4. การจัดการปัญหากลิ่น ในหัวข้อการควบคุมกลิ่นได้กล่าวถึงการป้องกันการเกิดกลิ่น แต่หากมีปัญหากลิ่นเกิดขึ้นแล้วต้องทำอย่างไร

ตอบ ในกรณีที่ระบบอาจมีกลิ่นเกิดขึ้นทั้งๆที่ได้เตรียมการป้องกันไว้แล้ว การป้องกันการกระจายตัวของกลิ่นไม่ให้ไปตามทิศทางลมเป็นสิ่งที่จำเป็น เหมือนกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่น หรือหลุมฝังกลบ โดยการจัดทำแนวกันลมจากการปลูกต้นไม้ล้อมรอบพื้นที่ที่เกิดกลิ่น โดยเฉพาะบ่อเตรียมสิ่งปฏิกูล แต่ถ้าสามารถทำเป็นระบบปิดได้ในส่วนของบ่อเตรียมสิ่งปฏิกูลนี้จะสามารถป้องกันการแพร่กระจายกลิ่นได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ต้องพิจารณาในเรื่องของงบประมาณที่เพิ่มขึ้น

5. ระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ สามารถบำบัดเชื้อโรคที่อาศัยอยู่ในน้ำ โดยการใช้ออกซิเจนด้านบนของระบบบึงประดิษฐ์ได้หรือไม่

ตอบ บริเวณด้านบนของระบบบึงประดิษฐ์บริเวณผิวน้ำมีการแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับบรรยากาศก็จริง แต่ไม่มีประสิทธิภาพสูงมากนัก กลไกหลักที่เกิดขึ้นในการบำบัดเชื้อโรคของระบบบึงประดิษฐ์ คือ การตกตะกอนและการกรอง นอกจากนี้เชื้อโรคในระบบจะเกิดการตายเองตามธรรมชาติ

6. หัวข้อการตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่บอกว่า ควรมีการตรวจวัดอยู่ตรงตำแหน่งใดบ้าง

ตอบ การตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยการตรวจสอบน้ำใต้ดินนั้นควรมีการตรวจวัดหลายจุด ซึ่งรายละเอียดว่าต้องตรวจวัดจุดใดบ้างนั้น สามารถหาได้จากคู่มือวิชาการฯ หน้า 77

7. เชื้อโรคและพยาธิสามารถอยู่ในกากตะกอนได้นานเท่าไร

ตอบ เชื้อโรคโดยเฉพาะ ฟิคัลโคลิฟอร์ม สามารถอยู่ในตะกอนหรือดินได้หลายเดือน ขึ้นกับสภาพของดินหรือตะกอน เช่น อุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในร่างกายคนและสัตว์ ความชื้นสูง ความสามารถในการมีชีวิตอยู่ก็จะสูงถึง 2-3 เดือน ในขณะที่ไข่พยาธิสามารถอยู่ในดินหรือตะกอนได้นานกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไข่พยาธิตัวกลม สามารถอยู่ในดินหรือตะกอนได้นาน หลายปีถ้าอยู่ในสภาพที่ไข่สามารถทนได้ แต่ปกติไข่จะไม่มีการฟักตัวเพราะในดินหรือในตะกอนที่มีสภาพที่ไม่เหมาะสมคล้ายในร่างกายคน หรือสัตว์

8. ในการออกแบบจะรู้ได้อย่างไรว่า บึงประดิษฐ์ประเภทไหนเหมาะสมกับน้ำเสียลักษณะอย่างไร

ตอบ สำหรับระบบบึงประดิษฐ์ประกอบด้วย 3 ชนิด 1) ประเภทที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระ (Free Water Surface: FWS) ซึ่งมีระดับความลึกของน้ำไม่มากนัก 2) ประเภทที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (Subsurface Flow: SF) หรือระบบที่ปลูกพืชในชั้นกรอง (Vegetated Submerged Bed: VSB) ซึ่งจะมีน้ำไหลผ่านด้านข้างตัวกรองที่อาจเป็นกรวดหรือทราย และ 3) ประเภทที่น้ำไหลผ่านใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง (Vertical Flow) โดยแต่ละชนิดจะเหมาะกับลักษณะน้ำเสียที่แตกต่างกัน ชนิดแรกประเภทที่น้ำไหลท่วมผิวชั้นกรองอย่างอิสระและ ชนิดที่ 2 ประเภทที่น้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน จะเหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่สูงมาก และชนิดสุดท้ายประเภทที่น้ำไหลผ่านใต้ผิวชั้นกรองในแนวดิ่ง เหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงกว่า แต่อย่างไรก็ตาม ควรมีการทดลองเบื้องต้นหรือตรวจสอบเอกสารวิชาการที่เกี่ยวข้องก่อนที่จะตัดสินใจเลือกระบบที่เหมาะสมกับน้ำเสียแต่ละชนิด

9. ตัวแปรต่างๆที่สามารถดูด้วยสายตาได้ และสามารถบอกถึงประสิทธิภาพของระบบขณะนั้นได้ มีอะไรบ้าง

ตอบ สำหรับระบบบึงประดิษฐ์ตัวแปรต่างๆ ที่สามารถดูได้ด้วยสายตา และสามารถบอกได้ถึงประสิทธิภาพของระบบขณะนั้นได้ คือ พืช ซึ่งสามารถสังเกตจากความแข็งแรง ความหนาแน่น และสีของต้นพืช เนื่องจากในระบบนี้ใช้พืชในเป็นปัจจัยหลักในการบำบัดน้ำเสีย หากพืชในระบบมีความแข็งแรงก็สามารถดูดสารอาหารและถ่ายเทออกซิเจนจากบรรยากาศสู่รากได้สะดวก แต่อย่างไรก็ตาม ควรมีการตรวจวิเคราะห์ คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดประกอบด้วย

10. ตัวแปรต่างๆ ที่ต้องมีการตรวจวิเคราะห์ระหว่างดำเนินระบบ ควรตรวจจุดไหนบ้าง และช่วงเวลาใด

ตอบ ตัวแปรต่างๆ ที่ต้องมีการตรวจวิเคราะห์ระหว่างดำเนินระบบ ตรวจจุดและความถี่การตรวจวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในร่างคู่มือฯ บทที่ 5 ในหัวข้อการประเมินผลและประสิทธิภาพของระบบบึงประดิษฐ์