



การคาดการณ์การสะสมของสารไตรคลอโรเอทธิลีน (TCE) ในสิ่งแวดล้อม
โดยใช้ Fugacity Approach

โดย
นางสาวโณมสุตา โสมกุล

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การคาดการณ์การสะสมของสารไตรคลอโรเอทรีน (TCE) ในสิ่งแวดล้อม โดยใช้ Fugacity Approach

โดย

นางสาวโณมสุตา โสมกุล

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**THE PREDICTION ACCUMULATION OF TRICHLOROETHYLENE (TCE) IN
ENVIRONMENT BY FUGACITY APPROACH METHOD**

By

Chomsuda Somkul

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Environmental Science

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2008

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้การค้นคว้าอิสระเรื่อง “ การคาดการณ์การ
สะสมของของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) ในสิ่งแวดล้อม โดยใช้ Fugacity Approach ” เสนอโดย
นางสาวโสมสุดา โสมกุล เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตังกูร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์

คณะกรรมการตรวจสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญญา สิริวิทยาปกรณ)
...../...../.....

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มลิวรรณ บุญเสนอ)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์)
...../...../.....

49311309 : สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : การสะสม/ สารไตรคลอโรเอทิลีน/ สิ่งแวดล้อม

โสมสุดา โสมกุล: การคาดการณ์การสะสมของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) ในสิ่งแวดล้อม โดยใช้ Fugacity Approach. อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ: ผศ.ดร.พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์. 99 หน้า.

การสะสมของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) ลงสู่ดิน น้ำ อากาศ พืชและสัตว์ โดยใช้ Fugacity Approach ในพื้นที่กรณีศึกษา “โครงการส่งเสริมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาและพึ่งตนเองอย่างยั่งยืน ตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง” ในมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ซึ่งเป็นการศึกษากรณีที่มีการหกหรือรั่วของสารไตรคลอโรเอทิลีนสู่สิ่งแวดล้อม ที่มีพื้นที่ของกรณีศึกษาเท่ากับ 197.7 ตารางเมตร และมีปริมาตรของดิน 120.6 ลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ส่วนปริมาตรในอากาศมีค่าเท่ากับ 4.62×10^6 ลูกบาศก์เมตร และจากการสำรวจประชากรของพืชและสัตว์พบว่าพุทธรักษาและปลานิลเป็นประชากรที่มีจำนวนมากที่สุด จากการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันพบว่าปริมาณไขมันพืช (ปริมาณไขมันเท่ากับ 0.68%) และปลา (ปริมาณไขมันเท่ากับ 0.8%) ตามลำดับ โดยดินในกรณีศึกษามีลักษณะของดินเป็นดินเหนียวและดินร่วนเหนียว

ในการศึกษากรณีที่มีการหกหรือรั่วของสารไตรคลอโรเอทิลีนสู่สิ่งแวดล้อม สมมติให้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารไตรคลอโรเอทิลีนมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 5.57×10^{-3} โมล หลังจากการใช้ Fugacity Approach คำนวณความเข้มข้นเฟสของสารในดิน ตะกอนดิน สารแขวนลอย น้ำ อากาศ พืช และสัตว์ พบว่าสารไตรคลอโรเอทิลีนมีความเข้มข้นมากที่สุดในเฟสของสารในอากาศ (5,319.60 โมล) โดยสาเหตุที่สารไตรคลอโรเอทิลีนมีความเข้มข้นมากที่สุดในเฟสของสารในอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับเฟสอื่นๆ เนื่องจากสารไตรคลอโรเอทิลีนสามารถระเหยได้ง่ายที่สภาพอุณหภูมิห้อง ความเข้มข้นรองลงมาคือเฟสของสารในตะกอนดิน ดิน น้ำ พืช ปลาและสารแขวนลอยมีค่าเท่ากับ 101.67, 24.56, 0.20, 2.92×10^{-3} และ 3.63×10^{-4} โมล ตามลำดับ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2551
ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ

49311309 : MAJOR : ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORDS : ACCUMULATION/ TRICHLOROETHYLENE/ ENVIRONMENT

CHOMSUDA SOMKUL : THE PREDICTION MOVEMENT OF TRICHLOROETHYLENE (TCE) ON THE EFFECT WITH ENVIRONMENT BY FUGACITY APPROACH METHOD. AN INDEPENDENT STUDY ADVISOR : ASSOC.PROF. PONGSAK NOOPHUN, Ph.D. 99 pp.

Accumulation of Trichloroethylene (TCE) into soil, water, air and biota was predicted by using Fugacity Approach at area of Project Study Knowledge for Development Assistance to Endure Follow Tendency of Fair the King Economy, Silpakorn University, Sanamchundra Palace Campus. In this study, Trichloroethylene was assumed to dump by accident to the site study. The total area and volume of this site were 197.7 m^2 and 120.6 m^3 respectively. The total volume of air above this site study was $4.62 \times 10^6 \text{ m}^3$. *Canna generalis* and *Oreochromis niloticus* were the most populous of plant (the amount of fat=0.68%) and fish (the amount of fat=0.80%) respectively. The most type of soil in the area of project was clay and clay loam.

The initial Trichloroethylene concentration in this case study was assumed at 5.57×10^3 mole. After Fugacity Model was used to predict Trichloroethylene concentration into soil phase, water phase, air phase and biota phase the greatest Trichloroethylene concentration 5,319.60 mole was in air phase. The reason of Trichloroethylene concentration in air phase was highest concentration comparison with other phases because Trichloroethylene was able to evaporate in room temperature. Trichloroethylene concentrations in sediment, soil phase, water phase, Vegetation phase, Biota phase and suspended solids phase 101.67, 101.67, 24.56, 0.20, 2.92×10^{-3} and 3.63×10^{-4} mole, respectively.

Department of Environmental Science Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2008
Student's signature
An Independent Study Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือและสนับสนุนจากบุคคลหลายๆ ฝ่าย ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระและรองศาสตราจารย์ ดร. มลิวรรณ บุญเสนอที่ช่วยกรุณาให้คำปรึกษาและแนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาในช่วงที่ทำการค้นคว้าอิสระตลอดมา พร้อมได้รับความอนุเคราะห์โปรแกรม Fugacity Approach ที่สอนให้เข้าใจจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัทธีรา แสนมณีและ รองศาสตราจารย์ ดร. มลิวรรณ บุญเสนอ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญญา สิริวิทยาปกรณ์ ประธานกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ และรองศาสตราจารย์ ดร. มลิวรรณ บุญเสนอ กรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการเป็นกรรมการการสอบการค้นคว้าอิสระ พร้อมกับให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ ตลอดจนช่วยตรวจรายละเอียดต่างๆ ในการค้นคว้าอิสระฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์การดำเนินเอกสารข้อมูล และอำนวยความสะดวกต่างๆ ในการค้นคว้าอิสระครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณแม่บังอร บุญวรรณ และครอบครัวศรัทธาณรักษ์ที่เป็นกำลังใจ พร้อมทั้งสนับสนุนเรื่องการเงินและการศึกษาการค้นคว้าอิสระในครั้งนี้ตลอดมา และขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการการค้นคว้าอิสระครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงได้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
อธิบายคำย่อ	ฏ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
สมมติฐานของการศึกษา.....	3
ขอบเขตของการศึกษา	4
ขั้นตอนการศึกษา	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์	6
บทบาทสำคัญของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE)	7
คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE)	9
ค่าการละลายน้ำของสาร (Water Solubility; WS)	10
ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารระหว่างชั้นออกทานอลกับน้ำ (Octanol/Water Partition Coefficient; K_{ow})	11
ค่าเฮนรี (Henry' s law Constant; H).....	12
ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับในดิน (Soil Sorption; K_d).....	12
ขนาดอนุภาคของดิน	13
ค่ามาตรฐานของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE)	14
การปนเปื้อนของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) เข้าสู่สิ่งแวดล้อม	15
พุทธรักษา (<i>Canna generalis</i>)	16

บทที่	หน้า
ปลาไนล์ (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	17
Fugacity Approach	18
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
3 วิธีการศึกษา.....	25
การหาค่าปริมาตรของสิ่งแวดล้อมในแต่ละเฟส	25
การหาปริมาตรของดิน	25
การหาปริมาตรน้ำ (สระแก้ว)	29
การหาปริมาตรของอากาศ.....	31
การหาปริมาตรของสารแขวนลอย	31
การหาปริมาตรของตะกอนดินในสระแก้ว.....	32
การหาปริมาตรของพืช	32
การหาปริมาตรของปลา	32
การหาค่าความหนาแน่นในเฟสต่างๆ	33
การหาความหนาแน่นรวมของดิน	33
การหาความหนาแน่น (Bulk density) ของตะกอนดิน.....	34
การหาความหนาแน่นของสารแขวนลอย	35
การหาความหนาแน่นของพืช.....	36
การหาความหนาแน่นของสัตว์.....	37
การหาค่าปริมาณออร์แกนิกคาร์บอนของดิน ตะกอนดินและสารแขวนลอย	38
การหาค่าปริมาณไขมัน (%)	39
การหาปริมาณไขมันของปลาไนล์.....	39
การหาปริมาณไขมันของพืชรักยา.....	41
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	42
ดิน (Soil).....	42
ตะกอนดิน (Sediment).....	42
สารแขวนลอย (Suspended solids).....	43
อากาศ (Air).....	43
น้ำ (Water)	45

บทที่	หน้า
พืช (Vegetation).....	45
สัตว์ (Biota).....	46
5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	52
สรุป และอภิปรายผล.....	52
ข้อเสนอแนะ	54
แนวทางการแก้ไขปัญหา.....	54
บรรณานุกรม	58
ภาคผนวก	63
ภาคผนวก ก มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ.2547)	64
ภาคผนวก ข มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 พ.ศ. 2543.....	68
ภาคผนวก ค มาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปีตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 พ.ศ. 2550.....	72
ภาคผนวก ง การคำนวณปริมาตรของดิน น้ำ อากาศ สารแขวนลอย ตะกอนดิน พืชและปลาในพื้นที่กรณีศึกษา.....	74
ภาคผนวก จ การคำนวณความหนาแน่นของดิน สารแขวนลอย ตะกอนดิน พืชและปลาในพื้นที่กรณีศึกษา.....	85
ภาคผนวก ฉ การคำนวณปริมาณออร์แกนิกคาร์บอนในดิน ตะกอนดินและ สารแขวนลอยในพื้นที่กรณีศึกษา	90
ภาคผนวก ช การคำนวณปริมาณไขมันของพืชและปลาในพื้นที่กรณีศึกษา.....	95
ประวัติผู้วิจัย	98

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารไตรคลอโรเอทิลีน.....	10
2	การจำแนกขนาดของเม็ดดิน	13
3	สมการค่า Fugacity Capacity (Z)	20
4	คุณสมบัติของดินแยกตามชนิดของดิน	27
5	ผลการตรวจสอบระดับความสูงตามอุณหภูมิของบรรยากาศ	44
6	สังคมพืชที่พบในพื้นที่กรณีศึกษา.....	45
7	ปริมาณไขมันของพุทธรักษาแต่ละส่วน	46
8	ผลการนับจำนวนสังคมสัตว์ในพื้นที่กรณีศึกษา	46
9	ชนิด ขนาด จำนวนและน้ำหนักปลาที่จับได้บริเวณพื้นที่กรณีศึกษา	47
10	ลักษณะสิ่งแวดล้อม	48
11	ค่า Z ของแต่ละเฟส.....	48
12	ค่า $Z_i V_i$ ของแต่ละเฟส.....	49
13	ค่า C_i ของแต่ละเฟส	50
14	ค่ามวลของสาร (M_i) ของแต่ละเฟส	50
15	สารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) ไปสะสมในส่วนต่างๆ ของสิ่งแวดล้อม	51
16	ค่า Standard Curve ของสาร Sucrose.....	92

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนที่กรณศึกษาบริเวณแหล่งน้ำในสระแก้ว	6
2	ปริมาณการนำเข้าสารไตรคลอโรเอทรีนในประเทศไทย	8
3	ตารางสามเหลี่ยมแสดงสัดส่วนสัมพันธ์ของอนุภาคดิน	14
4	การเคลื่อนที่ของสารไตรคลอโรเอทรีนสู่หน้าดิน	15
5	รูปแบบการเคลื่อนย้ายของสารไตรคลอโรเอทรีน	16
6	พุทธรักษา (<i>Canna generalis</i>)	17
7	ปลานิล (<i>Oreochromis niloticus</i>)	18
8	ความสัมพันธ์ระหว่าง Fugacity Capacity กับ Physical Properties	19
9	Fugacity Approach ระดับที่ 1	20
10	พื้นที่กรณศึกษา มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์	25
11	การวัดพื้นที่กรณศึกษา	26
12	ขอบเขตของบริเวณกรณศึกษา	28
13	กรณศึกษาบริเวณแหล่งน้ำในสระแก้ว มหาวิทยาลัยศิลปากร	30
14	โถดูดความชื้น (Desiccator)	34
15	Soil Core สำหรับเก็บตัวอย่างดิน	34
16	ตู้อบควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103-105 °C	35
17	เตาเผาควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 550 °C	36
18	การกำหนดขนาดแปลงตัวอย่าง	36
19	การ Sampling grid สังกะสี	37
20	การชั่งตัวอย่างใส่ Boat Sampler	39
21	เครื่อง Total organic carbon analyzer รุ่น Phoenix 8000	39
22	การสกัดไขมันของปลานิลด้วย Soxhlet	40
23	อ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 80 °C	40
24	การย่อยสลายสารไตรคลอโรเอทรีนด้วยวิธี โคเมแทบอลิซึม	56
25	ขอบเขตของพื้นที่กรณศึกษา	75

คำอธิบายคำย่อ

คำย่อ		คำเต็ม
VOCs	=	Volatile Organic Compounds
NAPL	=	Nonaqueous Phase Liquid
DNAPLs	=	Dense Nonaqueous Phase Liquid
cm	=	Centimeter
cm ³	=	Cubic centimeter
g	=	Gram
kg	=	Kilogram
m ²	=	Square meter
m ³	=	Cubic meter
mg	=	Milligram
ml	=	Milliliter
mm	=	Millimeter
OC	=	Organic Carbon
TOC	=	Total Organic Carbon

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) เป็นสารในกลุ่ม Chlorinated Aliphatic Hydrocarbons เมื่อนำมาพิจารณาทางกายภาพจัดเป็นสารอินทรีย์ที่มีสถานะเป็นของเหลว มีส่วนที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำและมีน้ำหนักมากกว่าน้ำหรือ Dense Nonaqueous Phase Liquid (DNAPL) รวมถึงเป็นสารในกลุ่มสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้อย่างง่ายในสภาพอุณหภูมิห้องและเป็นสารประเภทที่ละลายน้ำได้น้อย (Nonaqueous Phase Liquid; NAPL) เนื่องจากถูกนำเข้าไปใช้ประโยชน์ในการชะล้างทำความสะอาดไขมันบนแม่พิมพ์โลหะหรือกำจัดคราบทำความสะอาดอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของโลหะที่ใช้ในกระบวนการผลิตของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมไฟฟ้า อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมผลิตโลหะ รวมถึงถูกนำมาใช้เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น สี กาว แล็กเกอร์ หมึกพิมพ์ ใช้เป็นของเหลวเพื่อนำยาแลกเปลี่ยนความร้อนน้ำยาแอร์ และน้ำยาทำความสะอาดที่มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นสารไตรคลอโรเอทิลีนจึงมีบทบาทสำคัญต่อภาคอุตสาหกรรมอย่างมาก ซึ่งการผลิตสารไตรคลอโรเอทิลีนภายในประเทศไทยไม่สามารถผลิตได้ จึงเป็นเหตุให้ต้องนำเข้าสารไตรคลอโรเอทิลีนในปริมาณสูงขึ้นแต่ปริมาณสารไตรคลอโรเอทิลีนจำนวนมหาศาลที่ถูกนำเข้ามาเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ กลับกลายเป็นปัญหาใหญ่หากไม่มีการจัดการที่ดี อาทิเช่น การกำจัดที่ถูกต้องหากเกิดกรณีการหกรั่วไหลหรือมีวิธีการกำจัดภาชนะบรรจุที่ไม่ถูกต้องย่อมก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้สารไตรคลอโรเอทิลีนยังจัดเป็นของเสียอันตรายที่สามารถก่อมะเร็งสำหรับมนุษย์ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการเฝ้าระวังปัญหาการปนเปื้อนสารไตรคลอโรเอทิลีนในพื้นที่โดยสามารถคาดการณ์เหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นจริงได้ในอนาคตโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Fugacity Approach ซึ่งใช้ประเมินการสะสมของสารโดยเฉพาะมลพิษที่เป็นสารอินทรีย์ที่สามารถระเหยได้ และสามารถอธิบายเกี่ยวกับการแพร่ของสารระหว่างเฟส (Partitioning Process) ในสภาพความเป็นจริงของสิ่งแวดล้อมแบ่งออกได้เป็น 4 เฟส (ดิน น้ำ อากาศและสิ่งมีชีวิต) โดยเลือกใช้ Fugacity Model ระดับที่ 1 (Level 1) ในการคาดการณ์เนื่องจากในกรณีศึกษาเป็นการประเมินโดยไม่คำนึงถึงปฏิกิริยาของมลพิษที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมที่ศึกษา

และมลพิษมีการแพร่และเข้าสะสมในเฟสต่างๆ ถึงจุดสมดุลแล้ว รวมถึงคำนึงเฉพาะมลพิษที่ถูกปล่อยเข้าสู่บริเวณที่ศึกษาเท่านั้น ไม่รวมถึงมลพิษจากแหล่งอื่นๆ ที่อาจทำให้ปริมาณของมลพิษภายในบริเวณที่ศึกษาเพื่อนำมาใช้คาดการณ์แนวโน้มของสารที่จะออกจากเฟสใดเฟสหนึ่งของสิ่งแวดล้อมโดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้น (Concentration, C) และ Fugacity Capacity (Z) ของสารในเฟสแต่ละเฟส ซึ่งได้เลือกใช้พื้นที่โครงการ “ส่งเสริมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาและพึ่งตนเองอย่างยั่งยืนตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง” ในมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม เป็นกรณีศึกษาที่ประกอบด้วยโครงการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ โครงการผลิตน้ำส้มควันไม้ โครงการวิจัยน้ำมันสังเคราะห์และก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก โครงการผลิตสีคุณภาพราคาประหยัดสำหรับงานศิลปะ เนื่องจากในโครงการต่างๆ พบว่ามีใช้ตัวทำละลายหลายชนิดที่เป็นสารอินทรีย์ระเหยง่าย โดยเฉพาะโครงการผลิตสีคุณภาพราคาประหยัดสำหรับงานศิลปะที่มีการใช้ตัวทำละลายที่เป็นของเหลวระเหยง่ายเพื่อเป็นตัวกลางให้ผงสีแขวนลอยอยู่ในสภาพของเหลวและช่วยปรับความหนืดของสีรวมถึงใช้ในการผลิตหมึกพิมพ์ ซึ่งสามารถใช้สารไตรคลอโรเอทิลีนเป็นส่วนประกอบในการผลิตสีและหมึกพิมพ์ได้ โดยในปัจจุบันพบว่าสารไตรคลอโรเอทิลีนที่เกิดการหกหรือรั่วไหลอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่มีการประกอบกิจการอุตสาหกรรมไฟฟ้า อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมผลิตโลหะ ดังนั้นจึงได้เลือกทำการศึกษาในพื้นที่กรณีศึกษาที่มีการนำสารไตรคลอโรเอทิลีนไปใช้และจัดเก็บไว้และเพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่อาจจะเกิดการปนเปื้อนสารไตรคลอโรเอทิลีนลงสู่ดินและน้ำใต้ดินหากสารที่บรรจุอยู่ในถังสารเคมีนั้นเกิดการหกหรือรั่วลงสู่พื้นดิน โดยในปัจจุบันพบปัญหาการปนเปื้อนของสารไตรคลอโรเอทิลีนขยายตัวออกเป็นวงกว้างส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้วในหลายพื้นที่ของประเทศไทยอาทิเช่น เหตุการณ์การลักลอบฝังกลบของเสียอันตรายบริเวณพื้นที่ตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา จากการตรวจสอบของธัญชัย วรรณสุขและคณะ (2550) พบว่าของเสียอันตรายดังกล่าวเป็นถังบรรจุสารเคมีประเภทสารอินทรีย์ระเหยและโลหะหนักขนาด 200 ลิตร จำนวน 8,786 ถัง กองทิ้งไว้ในพื้นที่กลางแจ้งเป็นเหตุให้เกิดการปนเปื้อนสารไตรคลอโรเอทิลีนในชั้นดินสูงเกินค่ามาตรฐานมากจึงเป็นเหตุให้ให้สารไตรคลอโรเอทิลีนเคลื่อนตัวลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินที่ระดับความลึกถึง 40 เมตร โดยชุมชนใช้น้ำบาดาลที่ระดับลึก 60 เมตรจึงอาจมีผลต่อชุมชนหากไม่มีการบำบัดพื้นที่ดังกล่าวสารไตรคลอโรเอทิลีนอาจเคลื่อนที่ไปได้ลึกถึงที่ระดับ 60 เมตร จึงมีความเสี่ยงสูงที่อาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพชีวิตของประชาชนในพื้นที่และบริเวณใกล้เคียงได้ในอนาคตอันใกล้นี้ ส่วนอีกหนึ่งเหตุการณ์เกิดจากปัญหาการเก็บรักษาสารไตรคลอโรเอทิลีนในบริเวณพื้นที่โรงงานผลิตเครื่องประดับสตรี

โรงงานผลิตแผ่นเซรามิกสำหรับฝังวงจรอิเล็กทรอนิกส์และโรงงานผลิตสายนาฬิกาโลหะจากการสำรวจของมีศักดิ์ มิลินทวิสมัยและคณะ (2544) พบว่าการเก็บรักษาสารไตรคลอโรเอทิลีนหลังจากการนำมาใช้ส่วนใหญ่เก็บไว้ในโรงเก็บสารเคมีหรือถังเก็บสารเคมีแต่มีบางส่วนจะถูกจัดเก็บไว้ในถังสารเคมีที่ตั้งทิ้งไว้ในพื้นที่กลางแจ้งและขาดระบบควบคุมการนำไปใช้ที่ถูกต้องจึงก่อให้เกิดการปนเปื้อนสู่ดินเกินค่ามาตรฐาน และอาจส่งผลกระทบต่อผู้น้ำใต้ดินในระยะยาวได้ จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้เห็นได้ว่าสังคมในปัจจุบันขาดการดูแลและเอาใจใส่อย่างจริงจังโดยในอดีตไม่มีผู้ทำการตรวจสอบพื้นที่ต่างๆ ที่มีการลักลอบทิ้งหรือเกิดการหกรั่วไหลของสารไตรคลอโรเอทิลีนในพื้นที่จนเกิดผลกระทบต่อผู้ที่อาศัยในพื้นที่และบริเวณใกล้เคียงแล้วจึงเข้าไปตรวจสอบซึ่งถือว่าเป็นการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุมากกว่าการป้องกันปัญหาไม่ให้เกิดขึ้นเพื่อเป็นการป้องกันปัญหาดังแต่ต้นก่อนที่จะกลายเป็นปัญหาที่ยากต่อการแก้ไขและเป็นแนวทางแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนสารไตรคลอโรเอทิลีน เนื่องจากหากสารไตรคลอโรเอทิลีนเกิดการปนเปื้อนสู่ดินและน้ำใต้ดินแล้วการแก้ไขปัญหานั้นย่อมต้องจัดการบำบัดที่ต้องใช้ทุนทรัพย์และเวลาเป็นจำนวนมาก อีกทั้งต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศในการแก้ไขและบำบัด รวมถึงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและมนุษย์อีกด้วย

2. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อคาดการณ์การสะสมของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) หากมีการหกหรือรั่วลงสู่บริเวณพื้นที่กรณีศึกษาโครงการ “ส่งเสริมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาและพึ่งตนเองอย่างยั่งยืน ตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง” ประกอบด้วยโครงการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์โดยบริเวณใกล้เคียงเป็นโครงการผลิตน้ำส้มควันไม้ โครงการวิจัยน้ำมันสังเคราะห์และก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก โครงการผลิตสีคุณภาพราคาประหยัดสำหรับงานศิลปะ มหาวิทยาลัยศิลปากร และอาคารเก็บสารเคมีของภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีแหล่งน้ำสระแก้วอยู่ใกล้เคียงพื้นที่โครงการจึงอาจเกิดปัญหาการปนเปื้อนสู่ดินและน้ำใต้ดินได้

3. สมมติฐานของการศึกษา

การใช้ Fugacity Approach ระดับที่ 1 สามารถนำมาใช้คาดการณ์การสะสมของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) ลงสู่ดินและน้ำใต้ดินในบริเวณพื้นที่กรณีศึกษาโครงการ “ส่งเสริมการ

เรียนรู้เพื่อพัฒนาและพึ่งตนเองอย่างยั่งยืน ตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง” มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ได้

4. ขอบเขตของการศึกษา

ข้อมูลที่ได้จากกรณีศึกษาพื้นที่โครงการ “ส่งเสริมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาและพึ่งตนเองอย่างยั่งยืน ตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง” มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ใช้เป็นข้อมูลเพื่อป้อนลงใน Fugacity Approach ระดับที่ 1 ภายใต้สภาวะสมดุล โดยใช้ข้อมูลเกี่ยวข้องกับอากาศ (Air) ของกรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลเกี่ยวข้องกับดิน (Soil) ในพื้นที่โครงการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ ข้อมูลเกี่ยวข้องกับน้ำ (Water) ตะกอนดิน (Sediment) และสารแขวนลอย (Suspended Solids) ในแหล่งน้ำของสระแก้ว รวมถึงใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างประชากรที่มีความหนาแน่นมากที่สุดเป็นตัวแทนของพืช (Vegetation) และสัตว์ (Biota) คือ พุทธรักษา และปลานิล ตามลำดับ

5. ขั้นตอนการศึกษา

- 5.1 ค้นหาข้อมูลและเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง
- 5.2 ติดต่อขอแผนผังมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
- 5.3 ติดต่อขอข้อมูลอุณหภูมิตามระดับความสูงทางอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา
- 5.4 หาปริมาณของเฟสอากาศ น้ำ ดิน ตะกอนดิน สารแขวนลอย สัตว์ (ปลานิล) และพืช (พุทธรักษา) ในพื้นที่กรณีศึกษาโครงการ “ส่งเสริมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาและพึ่งตนเองอย่างยั่งยืนตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง” วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
- 5.5 หาความหนาแน่น (ρ) ของเฟสดิน ตะกอนดิน สารแขวนลอย สัตว์ และพืชในพื้นที่โครงการ “ส่งเสริมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาและพึ่งตนเองอย่างยั่งยืน ตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง” มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
- 5.6 หาปริมาณไขมันในสัตว์ (ปลานิล) และพืช (พุทธรักษา)
- 5.7 หาปริมาณออร์แกนิกคาร์บอน (f_{oc}) ของเฟสดิน ตะกอนดิน และสารแขวนลอย

5.8 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Fugacity Approach

5.9 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.10 เขียนรายงานการค้นคว้าอิสระ

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

6.1 สามารถใช้ Fugacity Approach ระดับที่ 1 คาดการณ์การสะสมของสารไตรคลอโรเอทิลีนในเฟสต่างๆ หากมีการหกหรือรั่วไหลของสารไตรคลอโรเอทิลีนลงในพื้นที่บริเวณ “โครงการส่งเสริมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาและพึ่งตนเองอย่างยั่งยืน ตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง” มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

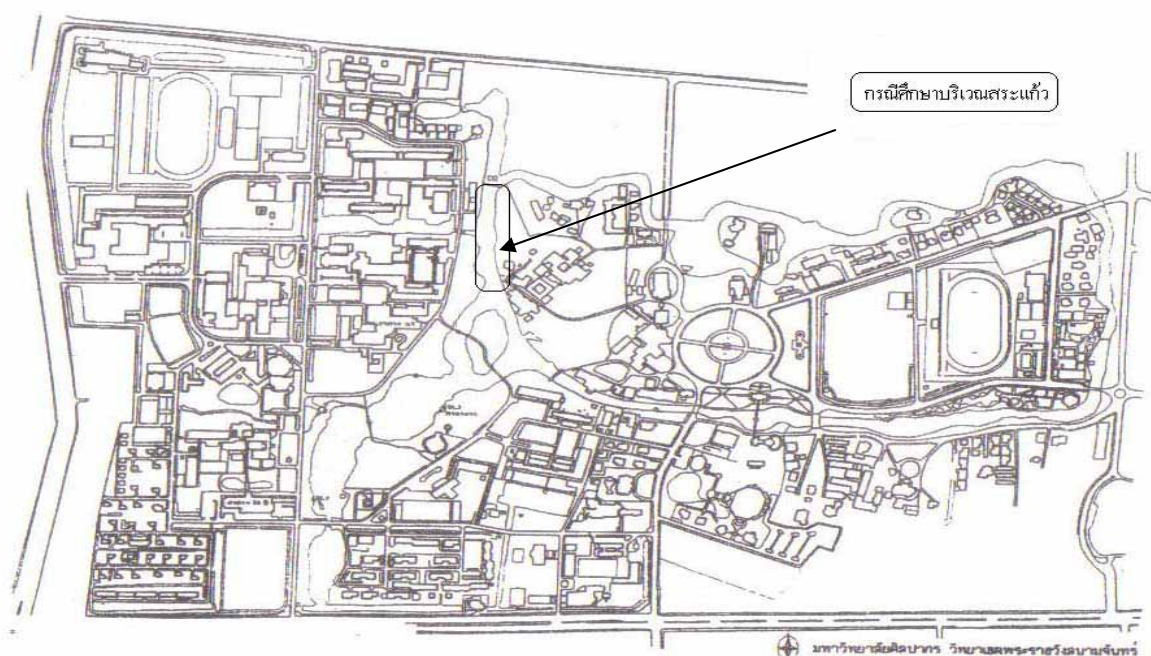
6.2 สามารถใช้ Fugacity Approach ระดับที่ 1 อธิบายการสะสมของสารไตรคลอโรเอทิลีนหากมีการหกหรือรั่วไหลของสารไตรคลอโรเอทิลีนในพื้นที่กรณีศึกษาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาในเฟสอากาศ น้ำ ดิน ตะกอนดิน สารแขวนลอย พืช และสัตว์ได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

ฯพณฯ ศาสตราจารย์ หม่อมหลวงปิ่น มาลากุล เป็นผู้ก่อตั้งมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม ที่มีเนื้อที่ 888 ไร่ 3 งาน 24 ตารางวา (ม.ล. ปิ่น มาลากุล, 2536-2537) โดยมีแหล่งน้ำอยู่ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยศิลปากรคือ สระแก้วที่เป็นสัญลักษณ์ที่โดดเด่นเนื่องจากเป็นแหล่งน้ำขนาดใหญ่ใจกลางมหาวิทยาลัยศิลปากรที่สามารถไหลติดต่อถึงกันได้ โดยพื้นที่ “โครงการส่งเสริมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาและพึ่งตนเองอย่างยั่งยืนตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง” มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ มีพื้นที่ติดกับแหล่งน้ำของสระแก้วด้วยดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนที่กรณีศึกษาบริเวณแหล่งน้ำในสระแก้ว

2. บทบาทสำคัญของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE)

สารไตรคลอโรเอทิลีนสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายในสภาวะอุณหภูมิห้องโดยไอระเหยของสารไตรคลอโรเอทิลีนที่มีความเข้มข้นสูงสามารถถูกติดไฟได้เองหากสัมผัสกับความร้อนสูงหรือเปลวไฟ และประกายไฟ รวมถึงสภาพที่มีการระบายอากาศไม่ดีสามารถทำให้เกิดก๊าซที่เป็นพิษและมีฤทธิ์กัดกร่อน ดังนั้นสารไตรคลอโรเอทิลีนจึงจัดว่าเป็นของเสียอันตรายสอดคล้องกับเกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์ (2546) อธิบายว่าหากของเสียใดมีลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งใน 4 ประการสามารถจัดว่าเป็นของเสียอันตรายคือ

1. ติดไฟได้ (Ignitability) เป็นของเหลวที่มีจุดวาบไฟ (Flash Point) ต่ำกว่า 60°C แต่ไม่ใช่ของเหลวที่สามารถเกิดติดไฟได้ ณ สภาวะปกติ อาจเกิดจากการขาดดู เสียคทาน หรือดูดซึมความชื้นหรือกัดกร่อนได้ (Corrosivity)

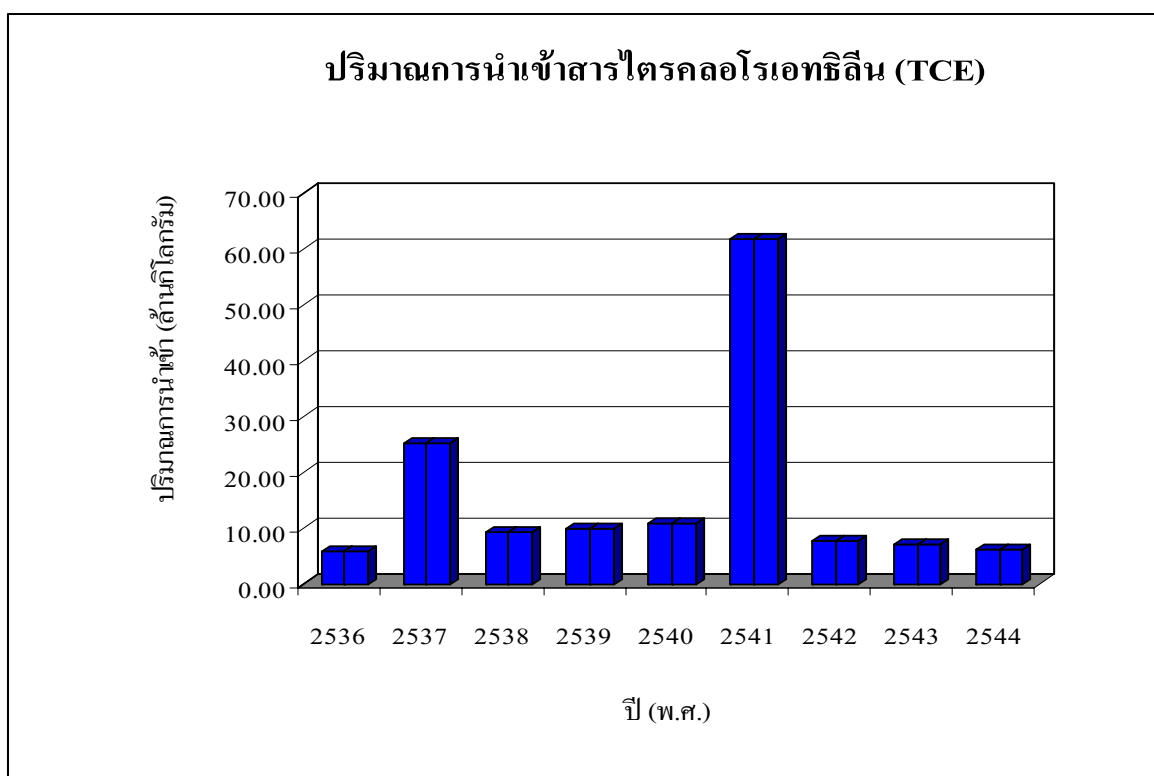
2. เป็นของเหลวที่มี pH น้อยกว่า 2 หรือมากกว่า 12.5 และเป็นของเหลวที่สามารถกัดกร่อนเหล็กกล้าได้ลึกกว่า 6.35 มิลลิเมตรต่อปี

3. เกิดปฏิกิริยาเคมี (Reactivity) เป็นของเสียที่สามารถเกิดความร้อนแรงขึ้นได้ เพราะเป็นสารที่ไม่เสถียรสามารถเกิดขึ้นได้หากพบกับน้ำ บางชนิดอาจจะระเบิดทำให้เกิดควันพิษ อาจเกิดระเบิดอย่างรุนแรงเมื่อถูกความร้อนภายใต้ความดัน หรือที่อุณหภูมิปกติ ความดันปกติ

4. ความเป็นพิษ (Toxicity) ของสารที่สามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทั้งแบบเฉียบพลันหรือเรื้อรังทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารและคุณสมบัติของสาร

ในภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีการนำเข้าสู่สารไตรคลอโรเอทิลีนเพื่อใช้ประโยชน์ในการกำจัดคราบทำความสะอาดอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของโลหะในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมไฟฟ้า อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมผลิตโลหะ โดยสารไตรคลอโรเอทิลีนจัดว่าเป็นสารในกลุ่มนี้ด้วยเนื่องจากสารไตรคลอโรเอทิลีนมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย (Solvent) ที่นิยมใช้กันมากในงานล้างแห้ง งานล้างไขมันออกจากผิวโลหะ สามารถใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตสี หมึกพิมพ์ กาว ของเหลวทำน้ำยาแอร์และน้ำยาแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ทั้งในบ้านเรือนและภาคอุตสาหกรรม ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะนำมาใช้โดยขาดความรู้และความเข้าใจในการจัดการที่ถูกต้อง ดังนั้นกรมควบคุมมลพิษ (2547) จึงจัดให้สารไตรคลอโรเอทิลีนเป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 2 ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 มีความหมายว่าการผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องแจ้งพนักงานเจ้าหน้าที่ก่อนและต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดด้วย จากการศึกษาปริมาณการนำเข้าสารไตรคลอโรเอทิลีนในประเทศไทยพบว่ามีปริมาณสูงขึ้นคือ ในปี พ.ศ. 2536-2544 มีปริมาณนำเข้าที่แตกต่างกันอย่างมาก โดยปี พ.ศ. 2536 มีปริมาณการนำเข้า 5.91 ล้านกิโลกรัม ในปีพ.ศ. 2537 ปริมาณ

เพิ่มขึ้น 4 เท่าตัวเป็น 25.11 ล้านกิโลกรัม ในปีถัดมา พ.ศ. 2538 ปริมาณกลับลดลงมาเหลือเพียง 9.32 ล้านกิโลกรัมและเพิ่มขึ้นเป็น 10.93 ล้านกิโลกรัม ในปีพ.ศ. 2541 เพิ่มขึ้นกว่า 6 เท่าตัวเป็น 61.66 ล้านกิโลกรัม ในปีต่อมาปริมาณกลับลดลงอย่างรวดเร็วเหลือเพียง 7.58 ล้านกิโลกรัม เนื่องจากมีการนำเข้าปริมาณมากในปีที่ผ่านมา ปีพ.ศ. 2543 และพ.ศ. 2544 มีปริมาณการนำเข้า 7.13 ล้านกิโลกรัมและ 6.20 ล้านกิโลกรัมตามลำดับดังภาพที่ 2 จึงเห็นได้ว่าปริมาณการนำเข้าระหว่างปี พ.ศ. 2536-2544 มีแนวโน้มการนำเข้าสารไตรคลอโรเอทิลีนของประเทศไทยเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จึงส่งผลให้เกิดปริมาณของเสียอันตรายเพิ่มปริมาณสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นหากไม่มีจัดการกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการย่อมสามารถเกิดการปนเปื้อนสู่ดินและน้ำใต้ดินแล้วส่งผลกระทบต่อทรัพยากรทางธรรมชาติและทรัพยากรมนุษย์ที่ต้องอาศัยดินและน้ำในการดำรงชีวิตประจำวันได้



ภาพที่ 2 ปริมาณการนำเข้าสารไตรคลอโรเอทิลีนในประเทศไทย

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2547)

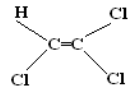
สำหรับในกรณีศึกษาได้เลือกพื้นที่โครงการดังกล่าว เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการผลิต ไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ และบริเวณใกล้เคียงเป็นโครงการผลิตน้ำส้มควันไม้ ส่วนฝั่งตรงข้ามเป็นพื้นที่โครงการวิจัยน้ำมันสังเคราะห์และก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก โครงการผลิตสี

และหมึกพิมพ์คุณภาพราคาประหยัดสำหรับงานศิลปะ มหาวิทยาลัยศิลปากร และมีอาคารเก็บสารเคมีของคณะวิทยาศาสตร์ ซึ่งอาจเกิดการหกหรือรั่วไหลของสารไตรคลอโรเอทิลีนในพื้นที่ รวมถึงเป็นแหล่งระบายน้ำทิ้งจากอาคารที่มีทางเชื่อมต่อกัน ดังนั้นพื้นที่ “โครงการส่งเสริมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาและพึ่งตนเองอย่างยั่งยืนตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง” มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จึงเหมาะที่จะใช้เป็นพื้นที่กรณีศึกษา

3. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE)

สารไตรคลอโรเอทิลีนจัดเป็นสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compound: VOCs) เนื่องจากเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ สามารถระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิห้องเพราะมีความดันไอ (Vapor Pressure) เท่ากับ 20 มิลลิเมตรปรอท ที่ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 760 ทอร์ (101.3 kPa) และมากกว่า 1 ทอร์ (0.13 kPa) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (Derwent, 1995) ซึ่งไม่เกิน 260 องศาเซลเซียส (Hunter and Oyama, 2000) และมีคลอรีนเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างทางเคมี (Chemical Structure) ดังภาพที่ 3 โดยสารไตรคลอโรเอทิลีนเป็นตัวทำละลายที่ใช้กันมากและขาดความรอบคอบในการใช้ การกำจัดทำให้ตรวจพบสารไตรคลอโรเอทิลีนในดินและน้ำใต้ดินเสมอ (Joseph *et al.*, 1997) ซึ่งสารไตรคลอโรเอทิลีนมีสถานะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว และละลายน้ำได้ดี (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) สามารถสรุปคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารไตรคลอโรเอทิลีนดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารไตรคลอโรเอทิลีน

Chemical Structure	
Compound Name	Trichloroethylene
Molecular Formula*	C_2HCl_3
Molecular Weight (กรัม/โมล) *	131.39
T_m (องศาเซลเซียส) *	-73.0
T_b (องศาเซลเซียส) *	87.0
$\log K_{ow}$ at 25 องศาเซลเซียส ****	2.42
$\log C_w^{sat}$ at 25 องศาเซลเซียส (โมล·ลิตร ⁻¹) *	2.04
Henry's Law Constant (บาร์·ลบ.ม./โมล) *****	971
Specific Gravity at 20.4 องศาเซลเซียส **	1.465
Vapor Pressure at 20 องศาเซลเซียส (มิลลิเมตรปรอท)**	60
Vapor Density at 25 องศาเซลเซียส **	4.53
Water Solubility at 25 องศาเซลเซียส (มิลลิกรัม/ลิตร)***	1100

ที่มา: * Schwarzenbach *et al.*, 1992

** Domongo *et al.*, 1976

*** Mackay *et al.*, 1993

**** Schwarzenbach *et al.*, 1992 , Abernethy and Mackay, 1987

***** Mackay and Shiu, 1990

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารไตรคลอโรเอทิลีนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายสู่สิ่งแวดล้อมในแต่ละเฟสของสิ่งแวดล้อม

3.1 ค่าการละลายน้ำของสาร (Water Solubility; WS)

สารที่มีมวลโมเลกุลสูงขึ้นค่าการละลายน้ำของสาร (WS) จะมีแนวโน้มน้อยลง จากการประเมินค่าการละลายของสารในน้ำ พบว่าสารที่มีค่าการละลายของสารในน้ำสูงจะส่งผลให้สารมีการเคลื่อนที่ (Mobility) สูง มีความคงทนต่อสิ่งแวดล้อม (Persistence) ต่ำ โดยสารจะไม่ถูกดูดซับหรือถูกดูดซับ (Adsorption) ในดินหรือตะกอนดินน้อย ทำให้สามารถถูกย่อยสลายโดย จุลินทรีย์ (Biodegradation) จึงไม่เกิดการสะสม (Accumulation) และไม่ถูกส่งผ่านห่วงโซ่อาหาร (Food Chain Contamination) ในสิ่งแวดล้อม หากสารที่มีค่าการละลายน้ำต่ำจะมีพฤติกรรมตรงข้ามกับ

สารที่ละลายน้ำได้ดี มีหน่วยเป็นโมล-ลิตร⁻¹ เมื่อพิจารณาค่าการละลายน้ำของสารไตรคลอโรเอทิลีนพบว่ามีความเท่ากับ 1100 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส Mackay and Shiu (1981); Schwarzenbach *et al.* (1992); Abernethy and Mackay (1987) แสดงให้เห็นว่าสารไตรคลอโรเอทิลีนมีการเคลื่อนที่ (Mobility) สูง จึงไม่ถูกดูดซับหรือถูกดูดซับ (Adsorption) ในดินหรือตะกอนดินน้อย ทำให้สารมีความคงทนต่อสิ่งแวดล้อม (Persistence) สามารถถูกย่อยสลายได้ง่ายด้วยจุลินทรีย์ (Biodegradation) ส่งผลให้ไม่เกิดการสะสม (Accumulation) และส่งผ่านห่วงโซ่อาหาร (Food Chain Contamination)

3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารระหว่างชั้นออกทานอลกับน้ำ (Octanol/Water

Partition Coefficient; K_{ow})

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารระหว่างชั้นออกทานอลกับน้ำเป็นสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารระหว่าง Octanol และน้ำ ณ จุดสมดุลและอุณหภูมิคงที่สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$K_{ow} = C_o / C_w \quad \text{ที่จุดสมดุลและอุณหภูมิคงที่}$$

โดยที่

C_o คือความเข้มข้นของสารในออกทานอล (โมล/ลิตรของออกทานอล)

C_w คือความเข้มข้นของสารในน้ำ (โมล/ลิตรของน้ำ)

ออกทานอลเป็นสารที่มีโครงสร้างโมเลกุลใกล้เคียงกับไขมันในร่างกายของสิ่งมีชีวิตสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารในชั้นออกทานอลต่อความเข้มข้นของสารในชั้นน้ำที่จุดสมดุลและที่อุณหภูมิคงที่ (มลิวรณ บุญเสนอ, 2544) โดยค่า K_{ow} จะแปรผกผันกับค่าการละลายน้ำของสาร (S) ถ้าสารละลายในไขมันได้มากสารจะมีค่า K_{ow} สูงและค่าการละลายน้ำของสารต่ำ ซึ่งส่วนใหญ่มลพิษมักเป็นสารในกลุ่มที่ไม่มีขั้วจึงละลายน้ำได้น้อยแต่ละลายในไขมันได้ดี หากสารมีค่า K_{ow} สูงจะถูกดูดซับได้ดี (Adsorption) ทั้งในดินและไขมันจึงทำให้สารเหล่านี้คงทนในธรรมชาติ (Persistence) ได้นาน เกิดการสะสมในสิ่งมีชีวิต (Bioaccumulation) และถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหารได้ นอกจากนั้นสารสามารถสะสมในสิ่งมีชีวิตทำให้ความเป็นพิษของสาร (Toxicity) ในสิ่งมีชีวิตสูงขึ้นด้วย ในทางตรงข้ามถ้าสารมีค่าต่ำจะพบว่าการดูดซับ (Adsorption) เกิดไม่ดีทำให้ง่ายต่อการถูกย่อยสลายโดยสิ่งมีชีวิต (Biodegradation) จากข้อมูลของ Ney (1990) ได้ทำการประเมิน K_{ow} ที่มีค่าสูงคือมีค่า $K_{ow} > 1,000$ จะถูกสะสมได้ดีในไขมัน ส่วนค่า K_{ow} อยู่ระหว่าง 500-1,000 จะไม่ทราบพฤติกรรมที่แน่นอน และค่า $K_{ow} < 500$ จะมีการละลายน้ำได้ดีและสลายตัวได้ง่ายจึงไม่เกิดการสะสมในสิ่งมีชีวิต หากพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารระหว่างชั้นออกทานอลกับน้ำ (K_{ow}) ของสารไตรคลอโรเอทิลีนพบว่ามีความเท่ากับ $\log k_{ow}$ 2.42

หรือ K_{ow} เท่ากับ 263.03 (Schwarzenbach *et al.*, 1992 and Abernethy and Mackay, 1987) จึงจัดว่าเป็นสารที่มีค่า K_{ow} ต่ำทำให้การดูดซับ (Adsorption) เกิดไม่ดี รวมถึงถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยสิ่งมีชีวิต (Biodegradation) และสารมีความคงทนในธรรมชาติ (Persistence) ต่ำ

3.3 ค่าเฮนรี (Henry's Law Constant; H)

ค่า Henry's Law Constant เป็นอัตราส่วนระหว่างความดันไอของสารบริสุทธิ์ (VP) กับค่าการละลายน้ำที่จุดอิ่มตัวของสาร (S) หน่วย $L \text{ atm mol}^{-1}$ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$H = VP / S$$

โดยที่

VP คือ ความดันไอของสารบริสุทธิ์ (atm; บรรยากาศ)

S คือ ค่าการละลายน้ำที่จุดอิ่มตัวของสาร (โมล/ลิตร)

ค่า Henry's Law Constant สัมพันธ์กับความดันไอของสาร โดยสารมีค่า Henry's Law Constant สูงความดันไอก็จะสูง ทำให้สารสามารถระเหยได้ดีและแพร่กระจายในอากาศได้ง่ายจึงระเหยอยู่ในอากาศส่งผลกระทบต่อผู้ที่รับสารเข้าไปทางการหายใจหรือผิวหนัง เมื่อพิจารณาพบว่าสารไตรคลอโรเอทิลีนมีค่าความดันไอเท่ากับ 60 มิลลิเมตรปรอท (Domongo *et al.*, 1976) สามารถจัดเป็นสารที่มีค่าความดันไอสูง และมีค่า Henry's Law Constant เท่ากับ 971 บาร์ ลูกบาศก์เมตร/โมล (Mackay and Shiu, 1990)

3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับในดิน (Soil Sorption; K_d)

การดูดซับสารในดินเกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของสารระหว่างดินและน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$K_d = C_s / C_e$$

โดยที่

C_s คือความเข้มข้นของสารในดิน (ไมโครกรัมของสารที่ถูกดูดซับ/กรัมของดิน)

C_e คือความเข้มข้นของสารในน้ำ (ไมโครกรัมของสารที่ละลายน้ำ/กรัมของน้ำหรือไมโครกรัมของสารที่ละลายน้ำ/ลิตร)

การดูดซับของสารอินทรีย์ระเหยในดินส่วนใหญ่เป็นการดูดซับด้วยสารอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) ดินที่มีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนสูงสามารถดูดซับเอาสารอินทรีย์ระเหยที่ปนเปื้อนไว้ได้มากและดินที่มีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนต่ำก็จะสามารถดูดซับสารอินทรีย์ระเหยไว้ได้น้อยจึงทำให้ค่าการดูดซับสารในดินของสารอินทรีย์ระเหยในดินชนิดต่างกันอย่างมาก

เนื่องจากดินในแต่ละพื้นที่จะมีส่วนประกอบของสารอินทรีย์คาร์บอนที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) เป็นร้อยละของสารอินทรีย์คาร์บอนที่มีอยู่ในดินทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ในดินต่างชนิดกันจะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก จึงสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ (จุฑาทิพย์ ศรีภูม้น, 2548) ซึ่งการดูดซับสารในดินมีการนำเอาเปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ของธาตุคาร์บอนมาคำนวณได้เป็นค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ (Adsorption Coefficient, K_{oc}) ดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

$$K_{oc} = \frac{K_d \times 100}{\% \text{ oc}}$$

โดยที่

% oc คือร้อยละของสารอินทรีย์ของธาตุคาร์บอนที่มีอยู่ในดิน

4. ขนาดอนุภาคของดิน

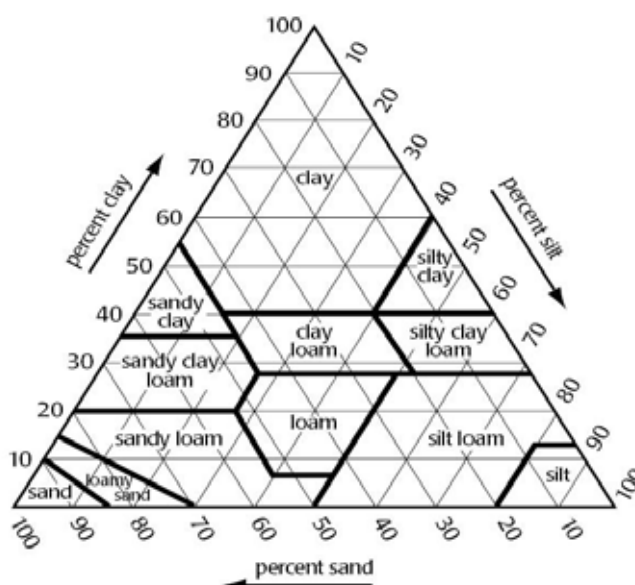
วัตถุดิบกำเนิดดินคือ วัสดุต่างๆ ที่เป็นอินทรียสารและอนินทรียสารที่เกาะตัวกันอย่างหลวมๆ จากนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นดินโดยมีปัจจัยในการสร้างตัวของดินที่สำคัญคือ สภาพภูมิอากาศ พืชพรรณ ความต่างระดับความสูง หรือสภาพภูมิประเทศ (เอิบ เขียวรัตน์, 2541) ซึ่งการแบ่งขนาดและการเรียงตัวของเม็ดดินสามารถบ่งบอกถึงคุณสมบัติของดินแต่โดยทั่วไปสามารถแบ่งประเภทของดินด้วยพิจารณาทางกายภาพได้เป็น 3 กลุ่ม คือกลุ่มเม็ดทราย กลุ่มเม็ดซิลต์ และกลุ่มเม็ดดินเหนียว โดยเม็ดดินมีขนาดที่แตกต่างกันสามารถจำแนกชนิดของเม็ดดินได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การจำแนกขนาดของเม็ดดิน

ชนิดของดิน	ขนาดของดิน
หินขนาดใหญ่ (Boulder)	มากกว่า 300 มิลลิเมตร
หินขนาดกลาง (Cobble)	150 – 300 มิลลิเมตร
กรวด (Gravel)	2 – 150 มิลลิเมตร
ทราย (Sand)	0.06 – 2 มิลลิเมตร
ดินตะกอน (Silt)	0.002 – 0.06 มิลลิเมตร
ดินเหนียว (Clay)	เล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร

ที่มา: สราวุธ จริตงาม (2548)

ดินส่วนใหญ่ประกอบด้วยกลุ่มของอนุภาคหลายกลุ่มดินดังนั้นนักธรณีวิทยาจึงได้จำแนกชั้นเนื้อดินเป็นตารางสามเหลี่ยมที่แสดงสัดส่วนสัมพันธ์ของอนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ออกเป็น 12 ประเภท โดยใช้ชั้นอนุภาคที่กำหนดโดยกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกาเป็นหลักตารางสามเหลี่ยมดังภาพที่ 3 (เอิบ เขียวรัตน์, 2544) ซึ่งดินมีหินเป็นต้นกำเนิดเริ่มแรกที่มีอิทธิพลต่อองค์ประกอบและคุณสมบัติของดินที่เกิดมาภายหลังรวมถึงอิทธิพลของภูมิอากาศ สิ่งมีชีวิต สภาพพื้นที่และระยะเวลา (เพิ่มพูน กิริติกสิกร, 2528)



ภาพที่ 3 ตารางสามเหลี่ยมแสดงสัดส่วนสัมพันธ์ของอนุภาคดิน
ที่มา: USDA (2007)

จากการใช้โดะแกรมสามเหลี่ยม โดยนำเอาเปอร์เซ็นต์ของดินเหนียว 40 % ดินทรายแป้ง 15 % และดินทราย 45 % ที่หาได้จากวิธี Volume Method นำมาลากลงในโดะแกรมสามเหลี่ยมแล้วลากเส้นตาม เมื่อจุดตัดของเส้นตกอยู่ในส่วนใดจึงเรียกชื่อดินตัวอย่างนั้น จากการศึกษาพบว่าเป็นดินแบบ Clay Loam สรุปได้ว่าดินที่ศึกษาเป็นดินประเภท ดินร่วนเหนียว

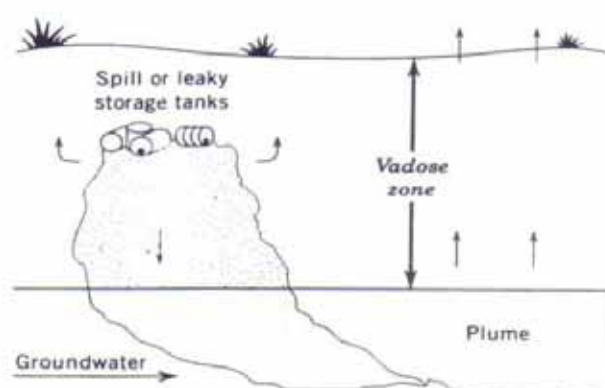
5. ค่ามาตรฐานของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE)

สารไตรคลอโรเอทิลีนถูกกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) คือ

ต้องไม่เกิน 28 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 พ.ศ. 2543 ต้องไม่เกิน 5 ไมโครกรัม/ลิตร

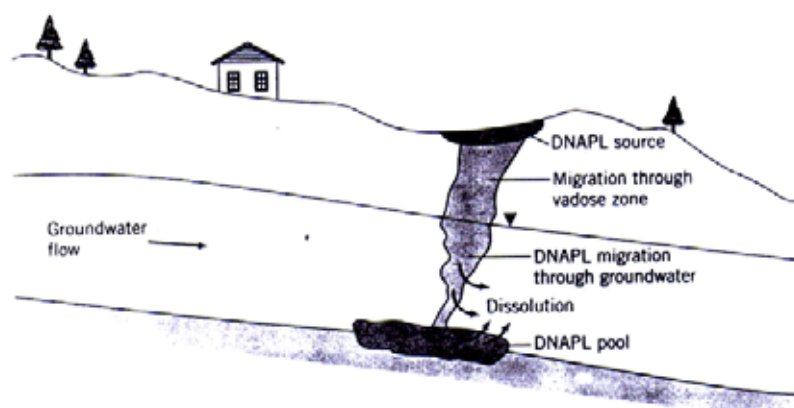
6. การปนเปื้อนของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) เข้าสู่สิ่งแวดล้อม

การปนเปื้อนของสารไตรคลอโรเอทิลีนสามารถเกิดจากกระบวนการผลิต การนำมาใช้ การเก็บรักษา การขนส่ง การกำจัด การหกรั่วไหลและการลักลอบทิ้งเนื่องจากไม่มีระบบการควบคุมที่ดีจึงทำให้สารไตรคลอโรเอทิลีนปนเปื้อนลงสู่ดินแล้วถูกดูดซับไว้ในดินและมีส่วนสามารถซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินหากมีการสูบน้ำใต้ดินไปใช้เรื่อยๆ สารสามารถกระจายตัวและเกิดการสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมจึงทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนอยู่ในน้ำใต้ดินได้ดังภาพที่ 4 ซึ่งสิ่งแวดล้อมที่ได้รับผลกระทบแบ่งออกเป็น 4 ส่วน (Phase) คือ อากาศ น้ำ ดิน และสิ่งมีชีวิต



ภาพที่ 4 การเคลื่อนที่ของสารไตรคลอโรเอทิลีนสู่น้ำใต้ดิน
ที่มา: Jerald (1996)

สารไตรคลอโรเอทิลีนจัดเป็นสารในกลุ่มที่มีความสำคัญในการก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนสู่น้ำใต้ดิน ซึ่งสารไตรคลอโรเอทิลีนที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำใต้ดินสามารถกระจายตัวแทรกซึมไปอยู่ช่องว่างของดินหรือรอยแตกของหินได้เนื่องจากสารไตรคลอโรเอทิลีนมีความถ่วงจำเพาะสูงเท่ากับ 1.4649 (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2546) เมื่อเทียบกับน้ำคือ 1.26 เมื่อสารเหล่านี้แทรกซึมลงไปถึงน้ำใต้ดินแล้วจะซึมลึกลงไปอยู่ในชั้นล่างของชั้นน้ำใต้ดินและรวมตัวกันอยู่บนชั้นดินเหนียว ดังนั้นเมื่อสารปนเปื้อนลงสู่พื้นดินและจะแทรกซึมผ่านช่องว่างหรือรอยแตกในชั้นดินลงไปสู่ส่วนลึกของดินได้อย่างรวดเร็วทำให้สารไตรคลอโรเอทิลีนเกิดการจมตัวอยู่ด้านล่างจึงยากต่อการบำบัดน้ำใต้ดินดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 รูปแบบการเคลื่อนย้ายของสารไตรคลอโรเอทิลีน
ที่มา: Richard (1998)

7. พุทธรักษา (*Canna generalis*)

พุทธรักษาชื่อสามัญ: Canna, Indian Shot ชื่อวิทยาศาสตร์: *Canna generalis* อยู่ในตระกูล: Cannaceae พุทธรักษาเป็นพรรณไม้ล้มลุกที่ปลูกง่ายสามารถออกดอกได้ตลอดปีแต่ดอกจะมีขนาดและสีสรรแตกต่างกันตามชนิดพันธุ์ (ภาพที่ 6) มีลักษณะกลีบดอกบางนึ่ง เนื้ออ่อนอวบน้ำลำต้นสูงประมาณ 1–2 เมตร มีลำต้นอยู่ใต้ดินเรียกว่า เหง้า เจริญเติบโตโดยแตกหน่อเป็นกอ ใบมีขนาดใหญ่สีเขียวโคนใบและปลายใบรีแหลม ขอบใบเรียบ กลางใบเป็นเส้นนูนเห็นชัด ใบมีก้านใบยาวเป็นกาบใบหุ้มลำต้นซ้อนสลับกัน ออกดอกเป็นช่อตรงส่วนยอดของลำต้นชอบที่มีแฉกจัดปลูกได้ในพื้นที่ชุ่มน้ำโดยพุทธรักษาในส่วนของดอกและเหง้าสามารถใช้เป็นสมุนไพรเนื่องจากมีแอลคาลอยด์ ไขมัน ยาง และมีสารต้านเชื้อแบคทีเรีย (วิณา เจริญชาติ, 2546)



ภาพที่ 6 พุทธรักษา (*Canna generalis*)

8. ปลานิล (*Oreochromis niloticus*)

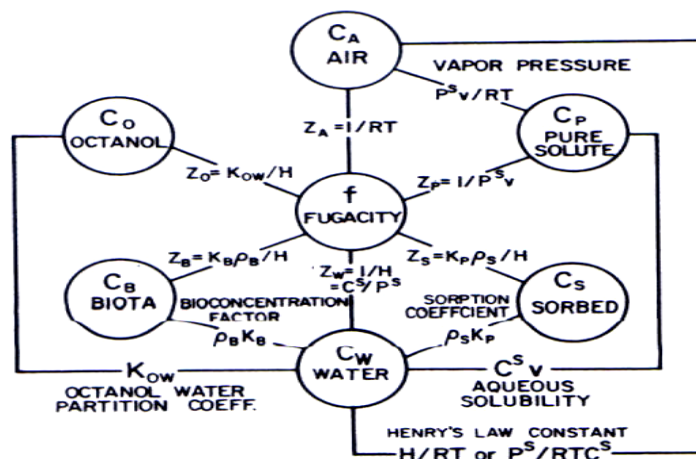
ปลานิลมีชื่อสามัญ: Nile Tilapia ชื่อวิทยาศาสตร์: *Oreochromis niloticus* เป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งมีรูปร่างคล้ายปลาหมอเทศแตกต่างกันที่ปลานิลมีลายสีดำและจุดสีขาวสลับกันไป บริเวณครีบท้อง ครีบก้นและลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาล มีลายดำพาดขวางตามลำตัว ปลาเพศผู้จะมีลำตัวเรียวยาวสีค่อนข้างเข้มลายบนลำตัวชัดเจนกว่าปลาเพศเมีย บริเวณใต้คางและท้องจะมีสีทองเข้าปรากฏให้เห็นส่วนปลาเพศเมียจะมีลำตัวค่อนข้างป้อม สีซีดกว่าและมีสีเหลืองอ่อนบริเวณใต้คางและท้อง ดังภาพที่ 7 ซึ่งปลานิลได้ถูกนำเข้ามาครั้งแรกในประเทศไทยปี พ.ศ. 2508 โดยเจ้าฟ้าชายอาภิศโตมกุฎราชกุมารแห่งประเทศญี่ปุ่นได้จัดส่งปลานิลจำนวน 50 ตัว ทูลเกล้าฯ ถวายแด่องค์สมเด็จพระเจ้าอยู่หัวให้เลี้ยงไว้ในบ่อดินและพระราชทานลูกปลาให้กรมประมงเพื่อนำไปเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์แล้วส่งเสริมให้ประชาชนเพาะเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายจนปลานิลกลายเป็นปลาเศรษฐกิจแพร่ขยายพันธุ์ง่าย เนื่องจากปลานิลเลี้ยงง่าย โตเร็ว กินอาหารได้ทุกชนิดโดยเฉพาะจำพวกไรน้ำ ตะไคร่น้ำ ตัวอ่อนของแมลงและสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี (มานพ ตั้งตรงไพโรจน์และคณะ, 2530)



ภาพที่ 7 ปลานิล (*Oreochromis niloticus*)

9. Fugacity Approach

ในปัจจุบันแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามามีบทบาทในการประเมินผลกระทบหรือวางแผนสิ่งแวดล้อม เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เป็นการจำลองสภาพปรากฏการณ์ต่างๆ โดยอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยให้เข้าใจง่ายและชี้ให้เห็นข้อเท็จจริงของพฤติกรรมได้อย่างชัดเจน (อิสรา พิริยะพิเศษพงศ์, 2540) แต่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความยุ่งยากและซับซ้อนรวมถึงมีหลายรูปแบบส่วนใหญ่เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่คิดค้นจากต่างประเทศ ซึ่งมีความแตกต่างในด้านสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยแต่นำมาประยุกต์ใช้เป็นพื้นฐานในการคาดการณ์สถานการณ์ต่างๆ ได้อาทิเช่น Fugacity Approach เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ประเมินค่ามลพิษที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมของเฟสอากาศ น้ำ ดิน ตะกอนดิน และสิ่งมีชีวิตได้ โดย Fugacity Approach เกี่ยวข้องกับแนวโน้มของสารหนึ่งๆ ที่จะออกจากเฟสหนึ่งไปอีกเฟสหนึ่งของสิ่งแวดล้อมที่สถานะสมดุล (Equilibrium) สอดคล้องกับ Brock and Gary (1985) ได้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Fugacity Capacities) กับค่าคุณสมบัติทางกายภาพไว้ดังภาพที่ 8 ซึ่งการคำนวณ Fugacity Model ในระดับที่ 1 (Level 1) เกี่ยวข้องกับการกระจายของสารระหว่างเฟสของสิ่งแวดล้อมที่แต่ละส่วนมีการผสมกันดีหรือการแพร่กระจายเข้าหรือออกนอกระบบและไม่มีการเกิดปฏิกิริยาใดๆ ทั้งสิ้น



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Fugacity Capacity กับ Physical Properties
ที่มา: Brock and Gary (1985)

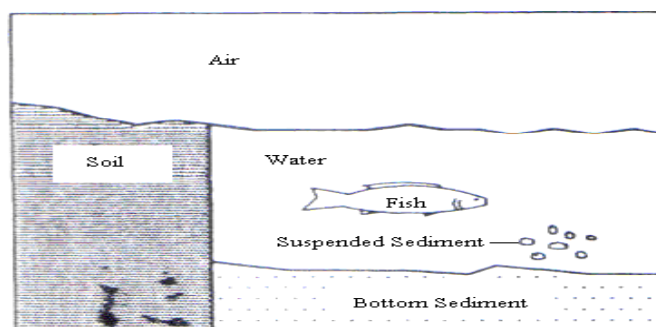
ดังนั้นที่สภาวะสมดุล (Equilibrium) ทำให้ Fugacity มีค่าเท่ากันทุกเฟสดังภาพที่ 8 และมีหน่วยเป็นความดัน (Pressure, Pa) (Mackay and Peterson, 1981)

$$f = f_a = f_w = f_s = f_{sed} = f_{ss} = f_v = f_b$$

โดยที่

- f_a คือค่า Fugacity ของสารในอากาศ (Air)
- f_w คือค่า Fugacity ของสารในน้ำ (Water)
- f_s คือค่า Fugacity ของสารในดิน (Soil)
- f_{sed} คือค่า Fugacity ของสารในตะกอนดิน (Sediment)
- f_{ss} คือค่า Fugacity ของสารในตะกอนแขวนลอย (Suspended Solids)
- f_v คือค่า Fugacity ของสารในพืช (Vegetation)
- f_b คือค่า Fugacity ของสารในสัตว์ (Biota)

Fugacity Model แบ่งออกเป็น 3 ระดับ แต่จะกล่าวเฉพาะระดับที่ 1 (Level 1) ซึ่งเป็นการประเมินโดยไม่คำนึงถึงปฏิกิริยาของมลพิษ ซึ่งการคำนวณการสะสมของสารประกอบอินทรีย์ (Nonpolar Compound) ในสิ่งแวดล้อมทั้ง 4 เฟสคือ ดิน น้ำ อากาศ และสิ่งมีชีวิตดังภาพที่ 9 โดย Fugacity Model เป็นการคำนวณการสะสมที่เกี่ยวข้องกับการแพร่ของสารระหว่างเฟส 2 เฟส (Partitioning Process) ที่ไม่คำนึงถึงปฏิกิริยาต่างๆ ที่อาจเกิดกับมลพิษในสิ่งแวดล้อมที่จะศึกษารวมถึงมลพิษมีการแพร่และเข้าสะสมในเฟสต่างๆ จนถึงจุดสมดุลแล้ว นอกจากนี้การคำนวณจะคำนึงถึงเฉพาะมลพิษที่ปล่อยเข้าสู่บริเวณที่ศึกษาเท่านั้นไม่รวมถึงมลพิษจากแหล่งอื่นๆ ที่อาจทำให้ปริมาณของมลพิษภายในบริเวณที่ศึกษาเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 9 Fugacity Approach ระดับที่ 1

ที่มา: Mackay *et al.* (1993)

Mackay *et al.* (1993) อธิบายว่าค่า Fugacity ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น (Concentration, C) และ Fugacity Capacity (Z) ของสารในแต่ละเฟสดังสมการ

$$C = fZ$$

โดยที่

C คือความเข้มข้นของสาร (mol/m^3)

Z คือค่า Fugacity Capacity ($\text{mol/m}^3 \text{Pa}$)

โดยสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ว่าสารจะสะสมในแต่ละเฟสของสิ่งแวดล้อมได้จากการคำนวณและสามารถคำนวณได้จากค่า Z ของแต่ละเฟสดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมการค่า Fugacity Capacity (Z)

สิ่งแวดล้อมของเฟส	สมการ
อากาศ (Air)	$Z_a = 1/RT$
น้ำ (Water)	$Z_w = 1/H$
ดิน (Soil)	$Z_s = (0.63 \times K_{ow} \times f_{oc} \times \rho_s)/H$
ตะกอนดิน (Sediment)	$Z_{sed} = (0.63 \times K_{ow} \times f_{oc} \times \rho_{sed})/H$
สารแขวนลอย (Suspended Solids)	$Z_{ss} = (0.63 \times K_{ow} \times f_{oc} \times \rho_{ss})/H$
สัตว์ (Biota)	$Z_b = (K_{ow} \times L_b \times \rho_b)/H$
พืช (Vegetation)	$Z_v = (K_{ow} \times L_v \times \rho_v)/H$

ที่มา: Mackay and Peterson (1981)

โดยที่

Z_a คือค่า Fugacity Capacity ของสารในอากาศ (Air)

Z_w คือค่า Fugacity Capacity ของสารในน้ำ (Water)

Z_s คือค่า Fugacity Capacity ของสารในดิน (Soil)

Z_{ss} คือค่า Fugacity Capacity ของสารในสารแขวนลอย (Suspended Solids)

Z_{sed} คือค่า Fugacity Capacity ของสารในตะกอนดิน (Sediment)

Z_v คือค่า Fugacity Capacity ของสารในพืช (Vegetation)

Z_b คือค่า Fugacity Capacity ของสารในสัตว์ (Biota)

R คือค่าคงที่ของก๊าซ (Gas Constant) ของสารมีค่าเท่ากับ $8.314 \text{ Pa m}^3/\text{mol K}$

T คืออุณหภูมิ (K)

H คือค่า Henry's law Constant ($\text{Pa m}^3/\text{mol}$)

K_{ow} คือค่า Octanol-Water Partition Coefficient ของสาร

ρ_s คือความหนาแน่นของสารในดิน (Soil) (g/cm^3)

ρ_{ss} คือความหนาแน่นของสารในสารแขวนลอย (Suspended Solids) (g/cm^3)

ρ_{sed} คือความหนาแน่นของสารในตะกอนดิน (Sediment) (g/cm^3)

ρ_b คือความหนาแน่นของสารในพืช (Vegetation) (g/cm^3)

ρ_v คือความหนาแน่นของสารในสัตว์ (Biota) (g/cm^3)

f_{oc} คือปริมาณออร์แกนิกคาร์บอน (%)

L_b คือปริมาณไขมันของสัตว์ (%)

L_v คือปริมาณไขมันของพืช (%)

10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนัญชัย วรรณสุขและคณะ (2550) ได้ดำเนินการติดตามตรวจสอบปริมาณสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) และโลหะหนักในดินและน้ำใต้ดินจากกรณีการลักลอบฝังกลบของเสียอันตราย พื้นที่ตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ปี พ.ศ. 2547-2549 จากการติดตามตรวจสอบแสดงให้เห็นว่าการลักลอบฝังกลบของเสียอันตรายทำให้สารอินทรีย์ระเหย (VOCs) เช่น สารไตรคลอโรเอทิลีนสามารถแพร่กระจายลงสู่ดินในแนวตั้งลึกถึง 2 เมตร และพบการปนเปื้อนสู่น้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ 3 บ่อ ที่ระดับความลึก 40 เมตร และบ่อบาดาลชุมชนโดยรอบพื้นที่เกิดเหตุ จำนวน 6 บ่อ ในทุกทิศทางระยะห่าง 0.1-2 กิโลเมตร ความลึก 60 เมตร จึงจำเป็นต้องฟื้นฟูดินและ

น้ำใต้ดินที่ปนเปื้อน รวมถึงการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินอย่างต่อเนื่องและควรมีการแนะนำประชาชนบริเวณใกล้เคียงในการใช้ประโยชน์ที่ดินและน้ำใต้ดินอย่างปลอดภัย

มีศักดิ์ มลิณทวิสมัยและคณะ (2544) ได้ดำเนินการตรวจสอบโรงงานต่างๆ ที่มีการใช้สารไตรคลอโรเอทิลีนในกระบวนการผลิต ซึ่งจากการตรวจสอบในโรงงานผลิตเครื่องประดับสตรีพบการปนเปื้อนของสารไตรคลอโรเอทิลีนความเข้มข้น 6 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระดับความลึก 1.2 เมตร และปริมาณสารไตรคลอโรเอทิลีนจะค่อยๆ ลดลงจนถึงระดับความลึก 6.5 เมตร ส่วนโรงงานผลิตแผ่นเซรามิกสำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์พบว่ามีน้ำใต้ดินระดับตื้นที่มีความเข้มข้นของสารไตรคลอโรเอทิลีนค่อนข้างสูงถึง 968.15 มิลลิกรัม/ลิตร และโรงงานผลิตสายนาฬิกาพบสารไตรคลอโรเอทิลีนมีความเข้มข้นค่อยๆ เพิ่มขึ้นมากกว่า 9 เมตร เมื่อสารไตรคลอโรเอทิลีนถูกนำมาใช้ส่วนใหญ่เก็บไว้ในโรงเก็บสารเคมีหรือถังเก็บสารเคมี แต่มีเพียงบางส่วนที่เก็บถึงไวกลางแจ้ง และขาดระบบการควบคุมการใช้ การบำบัดที่ถูกต้องจึงก่อให้เกิดการปนเปื้อนดิน และทำให้เกิดการปนเปื้อนสู่น้ำใต้ดินในระยะยาว

นพรัตน์ ผาสุกผล (2548) ได้ทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยง่ายและโลหะหนักในน้ำใต้ดินในกรณีศึกษาพื้นที่อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ผลจากการประเมินความเสี่ยงจากการใช้น้ำใต้ดิน พบว่ามีค่าความเสี่ยงอยู่ในช่วง 2.35×10^{-6} ถึง 2.69×10^{-6} ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความเสี่ยงที่ยอมรับได้คือ อยู่ระหว่าง 1×10^{-6} ถึง 10×10^{-5} แต่ควรมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำเป็นระยะอย่างต่อเนื่อง และมีค่าดัชนีความเสี่ยงที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็งเรื้อรังอยู่ระหว่าง 0.69 ถึง 2.69 และแบบกึ่งเรื้อรังอยู่ระหว่าง 0.06 ถึง 1.24 ซึ่งเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 1 ของดัชนีความเสี่ยงแบบเรื้อรังภายในพื้นที่อุตสาหกรรมพบว่าจากข้อมูลการสำรวจการใช้สารอินทรีย์ระเหยของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2541) ในการสำรวจการใช้สารอินทรีย์ระเหยจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ไตรคลอโรเอทิลีน 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน 1,2-ไดคลอโรอีเทน และเมทิลีนคลอไรด์ พบว่าสารอินทรีย์ระเหยที่นำมาใช้กันมากที่สุดคือ ไตรคลอโรเอทิลีนคิดเป็น 16% ของโรงงานที่สำรวจทั้งหมด ซึ่งปริมาณรวมที่ใช้ 32 ลิตรต่อวัน ส่วนมากใช้ในกระบวนการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เพื่อกำจัดไขมันออกจากโลหะ

จุฑาทิพย์ ขจรไตรเดช (2548) ได้ทำการศึกษาการฟื้นฟูน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารไตรคลอโรเอทิลีนโดยวิธีการบำบัดทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนของดินที่เก็บจากใต้ผิวดินบริเวณผนังบ่อชะน้ำมูลฝอยในสถานที่กำจัดมูลฝอย ผลการศึกษาพบว่า VFAs มีความเข้มข้นสูงขึ้นตามเวลาการทดลองที่นานขึ้น และพบว่ามีปริมาณสารไตรคลอโรเอทิลีนที่ถูกดูดซับโดยดินและเปลือกถั่ว $0.04 (\pm 0.01)$ มิลลิกรัม/กรัม ของดินและเปลือกถั่ว แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียมีการนำเอา VFAs ไปใช้ในกระบวนการ Dechlorination ความเข้มข้นของแอมโมเนียมีค่า 24-43 มิลลิกรัม/ลิตร สัดส่วน

VFAs : NH_3 มีค่า 12.64-17.24 และ pH มีค่าอยู่ในช่วง 5.20-6.06 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการ Dechlorination ส่วนค่าคงที่การย่อยสลายมวลสารไตรคลอโรเอทิลีนต่อเวลาด้วยความสัมพันธ์เส้นตรงมีค่าเท่ากับ 0.0098 มิลลิกรัม/ชั่วโมง

อรมาศ สุทธินุ่น (2546) อธิบายการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของสารไตรคลอโรเอทิลีนโดยสารเทอร์ป็นเป็นตัวชักนำ ผลการทดลองพบว่าสารเทอร์ป็นที่มีประสิทธิภาพในการชักนำกระบวนการย่อยสลายสารไตรคลอโรเอทิลีนได้ดีที่สุดคือ “คิวมิน” สามารถย่อยสลายสารไตรคลอโรเอทิลีนที่ความเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วนได้ 76% และ 61% ภายในเวลา 24 ชั่วโมง และพบว่าแบคทีเรียสามารถย่อยสลายสารไตรคลอโรเอทิลีนอย่างสมบูรณ์ (Mineralization) โดยอัตราการลดลงของสารไตรคลอโรเอทิลีนมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนที่เกิดขึ้นในอาหารเหลว

นิภา มลิณทวิสมัย และสุวรรณา เนียมสนธิ (2549) ได้ทำการคัดเลือกแบคทีเรียที่ใช้ Toluene เป็นแหล่งต้นตอคาร์บอนและสามารถสลายสารไตรคลอโรเอทิลีนที่แยกจากธรรมชาติในแหล่งปนเปื้อนที่มีความสามารถในการใช้สารต้นตอตัวอื่น โดยใช้เชื้อที่เลี้ยงในสารละลายอาหารสูตรปรับค่าภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน พบว่าค่าการสลายสารไตรคลอโรเอทิลีนของเชื้อภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีความสามารถสลายสารไตรคลอโรเอทิลีนที่ 10 พีพีเอ็ม ได้ และเชื้อสามารถใช้สารต้นตอคาร์บอนได้เกือบทุกชนิดแต่ในระดับที่แตกต่างกัน

Nandita *et al.* (2006) ได้ศึกษาโดยใช้เทคนิค Passive Flux Meter (PFM) ตรวจวัดค่าสารไตรคลอโรเอทิลีนในน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่ Midwestern US. พบค่าที่ชัดเจนคือ ค่า Hydraulic Conductivity และค่า Fluxes มีค่า Darcy Flux (%) เฉลี่ย 2 เซนติเมตร/วัน และจากการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในบ่อติดตามตรวจสอบพบปริมาณสารไตรคลอโรเอทิลีนในพื้นที่ 800 กิโลกรัม และมีค่าคงที่อัตราส่วนการย่อยสลาย 0.52 วัน⁻¹

Benito *et al.* (2008) พบว่าสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) เป็นสารที่มีการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินเสมอ โดยโรงงานอุตสาหกรรมใช้สารนี้เป็นตัวทำละลาย ซึ่งบ่อยครั้งที่มีการหกรั่วไหลลงสู่ดินแต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่ามีแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายสารไตรคลอโรเอทิลีนได้โดยใช้วิธี Bioremediation ซึ่งแบคทีเรียไม่ใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงาน นอกจากนี้แบคทีเรียยังผลิตเอนไซม์ที่สามารถเมทาบอลไลต์มีเทน ทำให้เอนไซม์สามารถย่อยสลายออกแกนิกอื่นๆ รวมถึงสารไตรคลอโรเอทิลีนซึ่งจากการใช้แบบจำลองในวิธี Bioremediation ของสารไตรคลอโรเอทิลีนในชั้นน้ำใต้ดินโดยใช้แบคทีเรีย 2 ชนิด โดยชนิดแรกให้มีการสร้างรูปแบบไปยับยั้งการเคลื่อนที่ของสารไตรคลอโรเอทิลีนและตัวที่สองเป็นตัวลดปริมาณของสารไตรคลอโรเอทิลีนแบบจำลอง

ที่สร้างจะรวมถึงการไหลของน้ำ การเคลื่อนที่ของสารไตรคลอโรเอทิลีนและสารอาหาร การเจริญเติบโตของแบคทีเรียและการสลายตัวของสารไตรคลอโรเอทิลีน

Kenneth *et al.* (2002) จากศึกษาการเคลื่อนย้ายมวลของสารไตรคลอโรเอทิลีนที่สามารถละลายในน้ำได้ที่เกิดการหกรั่วไหลโดยใช้แบบจำลองน้ำใต้ดินแบบ 3 มิติที่ถูกออกแบบเฉพาะเป็นการทดลองที่ใช้การละลายเป็นเกณฑ์สร้างแบบจำลองที่ถูกออกแบบให้มีรูปแบบที่ชัดเจนมีการไหลของสารเป็นวงที่ด้านล่างของ Model Aquifer ที่สถานะ Steady State มีความเข้มข้น สารไตรคลอโรเอทิลีนที่ละลายเฉพาะบริเวณ สำหรับความเร็วแปรผันตามเวลา การกำหนดข้อมูลการทดลองในการวิเคราะห์การละลายของสาร NAPL เป็นข้อกำหนดที่ดีในการพัฒนาแบบจำลองและข้อมูลการทดลองที่ได้จากทดลอง

Putzlocher *et al.* (2006) อธิบายว่าการไหล DNAPL ที่ไหลต่อเนื่องในชั้นน้ำใต้ดินที่เป็นทรายใน ปรากฏการณ์ที่เริ่มต้นของแบบจำลองคือ มีการซึมผ่านได้ ผลจากการเคลื่อนย้ายอย่างช้าขึ้นกับค่า Hydraulic Gradient และจากการวิเคราะห์พบว่า DNAPL ขึ้นกับคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี เช่นค่า K_d (Soil-Water Partition Coefficient) ของสาร

Michael *et al.* (2001) จากการศึกษาบริเวณ CFB พบว่ามีตัวทำละลายที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบจำพวก DNAPL ด้วยวิธี Methodology พบสารปนเปื้อนในชั้นล่างของน้ำใต้ดินที่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งตัวทำละลายที่พบในแหล่งน้ำใต้ดินเช่น Trichloromethane (TCM), Trichloroethene (TCE) ที่ไหลต่อเนื่องตามขวางที่มีการเคลื่อนที่สูง และมีความคงทนต่อสิ่งแวดล้อมในสถานะ Aerobic และมีค่า f_{oc} (Sorption Potential) ต่ำ

Hwong-wen Ma *et al.* (2001) จากการสำรวจหลายพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสารอันตรายจากการกำจัดที่ไม่ถูกต้องจึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ ดังนั้นจำเป็นที่ต้องแก้ไขตั้งแต่ต้น ซึ่งในพื้นที่ได้หวนทางตอนเหนือพบการปนเปื้อนสาร Chlorinated Hydrocarbons ในน้ำใต้ดินประกอบด้วย TCE, PCE ที่ได้ทำการประเมินความเสี่ยงคล้ายกับเมือง Monte Carlo โดยพบว่าสิ่งที่มีความสำคัญในการตัดสินใจเมื่อเกิดปัญหาการปนเปื้อนของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) คือความเข้มข้นของสารในพืช

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

การคาดการณ์การสะสมของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) ที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้ Fugacity Model ในพื้นที่ “โครงการส่งเสริมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาและพึ่งตนเองอย่างยั่งยืน ตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง” วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่มีแหล่งน้ำสระแก้วอยู่บริเวณใกล้เคียงเป็นพื้นที่กรณีศึกษา ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 พื้นที่กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

1. การหาค่าปริมาตรของสิ่งแวดล้อมในแต่ละเฟส

1.1 การหาปริมาตรของดิน

การหาปริมาตรของดินจากการวัดด้วยตลับเมตร โดยรอบบริเวณพื้นที่กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การวัดพื้นที่กรณีศึกษา

จากการศึกษาโดยวัดพื้นที่รอบโครงการแต่ละจุดจะได้ค่าความยาวดังภาพที่ 12 จากนั้นสามารถคำนวณพื้นที่ของโครงการได้แล้วจึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณการปริมาตรของดินต่อไป

ปริมาตรของดิน = บริเวณพื้นที่ดินกรณีศึกษา (ตารางเมตร) x ความลึกของดิน (เมตร)

หมายเหตุ: การหาค่าความลึกของดินสามารถหาได้จากการคำนวณโดยใช้ครึ่งชีวิต (Half Life) เพื่อหาระยะที่สารเคมีสลายตัวแบบ First-Order โดยสารไตรคลอโรเอทิลีนมีค่าครึ่งชีวิต 1700 ชั่วโมง (Mackay, 2001) ทำให้สามารถหาค่า k ของสารได้ ซึ่งใช้สมการคำนวณได้ดังนี้

$$C_t \equiv C_0 e^{-kt}$$

โดยที่

C_t คือปริมาณของสารเคมี C ที่เวลา t ใดๆ (มิลลิกรัม/ลิตร)

C_0 คือปริมาณของสารเคมี C เมื่อเวลาเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)

t คือระยะเวลาของการสลายตัว (วัน)

k คืออัตราสลายตัวคงที่ (Decay Rate Constant) (วัน⁻¹)

เมื่อคำนวณหาระยะเวลาของการสลายตัวของสาร (t) จากนั้นคำนวณหาระยะทางที่สารถูกชะต่อไป โดยเกี่ยวข้องกับความเร็วของน้ำที่ซึมลงไป (Percolation Rate) ซึ่งการคำนวณระยะทางที่สารเคลื่อนที่ได้โดยกระบวนการชะคำนวณจากสูตร (Hawker, 1994)

$$X \equiv \frac{Q}{W \frac{[1 + bK_d]}{f}}$$

โดยที่

X คือระยะทางที่สารถูกชะ (Leach) ต่อปี

Q คือ Percolate Rate หรือความเร็วของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่อิ่มน้ำหรือ ระยะทางที่สารซึมลงไปในดินใน 1 ปี มีหน่วย เซนติเมตร/ปี

W คือความจุของน้ำในดิน หรือ Available Water Capacity ที่สามารถคำนวณได้จาก Field Capacity-Wilting Point

ค่า Percolate Rate คำนวณจากพื้นที่ดินที่เป็นดินร่วนเหนียวโดยใช้ค่าการแทรกซึมลงดิน 0.1 นิ้ว/ชั่วโมง (สุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) ส่วนความหนาแน่นของสารไตรคลอโรเอทิลีนมีค่าเท่ากับ 1.464 กรัม/ลบ.ซม. (McGovern, 1943) คำนวณเทียบกับปริมาณสารไตรคลอโรเอทิลีนจำนวน 1 ถึง ปริมาตร 500 ลิตร โดยใช้ค่าความหนาแน่นของดิน (Bulk Density) ที่ได้จากการศึกษาเทียบกับค่าสมมติฐานที่กำหนดให้สารไตรคลอโรเอทิลีน 500 ลิตร แทนที่ดิน 500 ลิตร ส่วนการหาค่า Bulk Density (กรัม/ลบ.ซม.) ค่า Field Capacity (ลบ.ซม./ลบ.ซม.) และค่า Wilting Point (ลบ.ซม./ลบ.ซม.) สามารถใช้ค่าจากตารางสำหรับเนื้อดินร่วนเหนียวดังตารางที่ 4 เมื่อได้ค่าระยะทางที่สารถูกชะ (Leach) ต่อปี (X) โดยมีน้ำเป็นตัวพาและค่าระยะเวลาของการสลายตัว (t) แล้วนำมาคำนวณระยะที่สารเคลื่อนที่จากจุดที่มีสารปนเปื้อนในดินถึงระดับน้ำใต้ดินโดยใช้สูตรดังนี้

$$\Gamma \equiv \frac{100\Gamma}{X}$$

โดยที่

H คือความลึกของดิน มีหน่วยเป็น เมตร

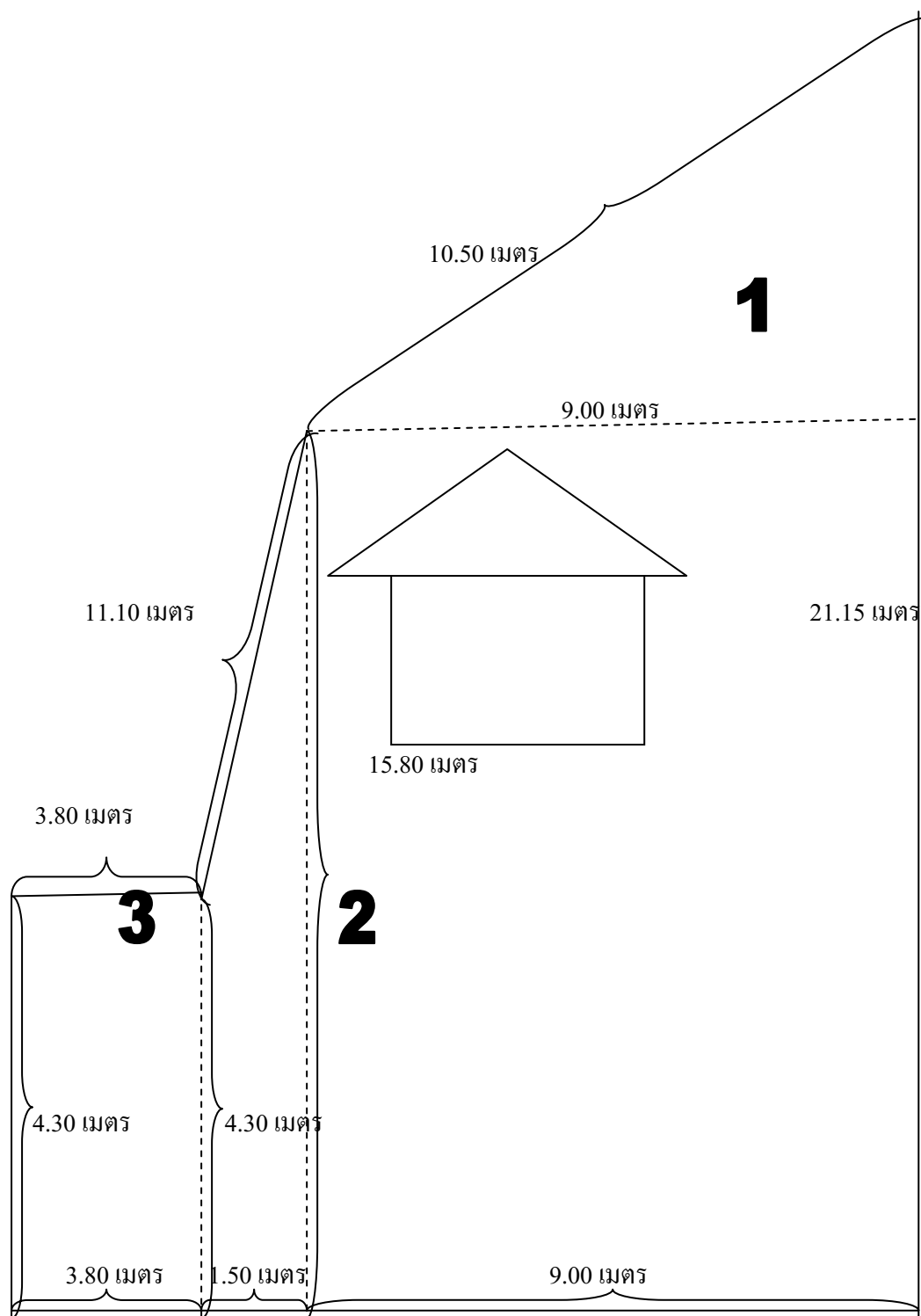
X คือระยะทางที่สารถูกชะต่อปี มีหน่วยเป็นเซนติเมตร/ปี

Γ คือค่าเวลาการสลายตัวของสาร มีหน่วยเป็น ปี

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของดินแยกตามชนิดของดิน

ชนิดของดิน	Bulk Density (g/cm ³)	Field Capacity (cm ³ /cm ³)	Wilting Point (cm ³ /cm ³)	Porosity (cm ³ /cm ³)
Silt loam	1.33	0.35	0.13	0.49
Clay and Clay loam	1.30	0.36	0.22	0.51
Sandy loam	1.50	0.22	0.08	0.43
Loam	1.42	0.32	0.13	0.46

ที่มา: Hawker (1994)



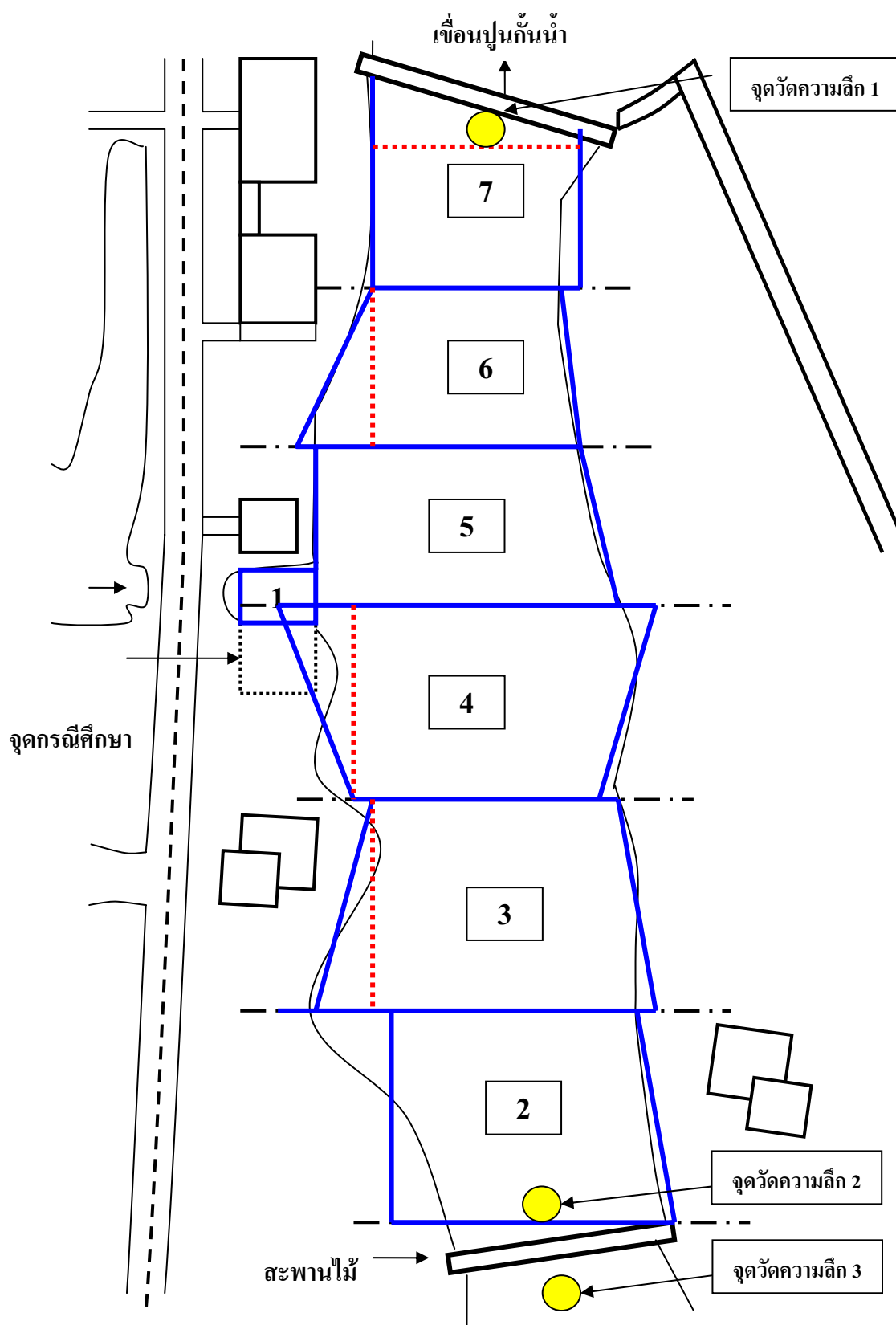
ภาพที่ 12 ขอบเขตของบริเวณกรณีศึกษา

1.2 การหาปริมาตรน้ำ (สระแก้ว)

จากแผนผังวิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จัดทำโดยเจ้าหน้าที่มหาวิทยาลัยศิลปากรโดยใช้มาตราส่วน 5 เซนติเมตร: 100 เมตร สามารถคำนวณหาพื้นที่ในแหล่งน้ำสระแก้วได้จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาตรของน้ำได้จากสูตร

$$\text{ปริมาตรสระแก้ว} = \text{พื้นที่สระแก้ว (ตารางเมตร)} \times \text{ความลึกเฉลี่ย (เมตร)}$$

หมายเหตุ: ค่าความลึกที่ได้มาจากการใช้ไม้เมตรวัดระดับความลึกมีหน่วยเป็นเซนติเมตร โดยทำการวัดจากกลางสะพานไม้ 2 จุด กลางเขื่อนปูนกั้นน้ำ 1 จุด รวม 3 จุด (ภาพที่ 13) โดยแต่ละจุดจะทำการวัดซ้ำ 5 ครั้ง จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยระดับความลึกแหล่งน้ำในสระแก้ว



ภาพที่ 13 กรณีศึกษาบริเวณแหล่งน้ำในสระแก้ว มหาวิทยาลัยศิลปากร

1.3 การหาปริมาตรของอากาศ

ข้อมูลระดับความสูงผันแปรตามอุณหภูมิของกรมอุตุนิยมวิทยาตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2551 ถึง 21 มิถุนายน 2551 สามารถใช้คำนวณหาปริมาตรของอากาศสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ปริมาตรของอากาศ} = \text{พื้นที่ (ตารางเมตร)} \times \text{ความสูง (เมตร)}$$

หมายเหตุ: การหาปริมาตรอากาศใช้โฟลตบอลลูนที่บรรจุแก๊สไฮโดรเจนขนาด 30 แกรม กำลังยก 20 กรัม อัตราการลอย 180 เมตร/นาที โดยติดตั้งเครื่องวิทยุห้วงอากาศ (Radiosound) ขึ้นไปตรวจสอบความเร็วและทิศทางลมในระดับความสูงต่างๆ และส่งข้อมูลลงสู่เครื่องรับภาคพื้นดินทำให้ทราบความสูงของชั้นบรรยากาศ โดยโฟลตบอลลูนเคลื่อนที่ได้สูงสุดในชั้นโทรโปสเฟียร์ซึ่งเป็นบรรยากาศชั้นล่างสุด บรรยากาศบางช่วงในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิไม่คงที่และจะไม่ลดลงตามระดับความสูงแต่กลับมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นหรือเรียกว่า อุณหภูมิหักกลับ จึงทำให้ไฮโดรเจนที่อยู่ในโฟลตบอลลูนแตกและโฟลตบอลลูนจึงตกลงมา

1.4 การหาปริมาตรของสารแขวนลอย

การหาปริมาตรของสารแขวนลอยที่อยู่ในแหล่งน้ำสระแก้ว จากการเก็บตัวอย่างน้ำในแหล่งน้ำสระแก้ว โดยใช้กระบอกลอยตัวอย่างที่ระดับความลึก 2 เมตร จากนั้นใช้กระบอกลงตัวอย่างน้ำจำนวน 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปเข้าเครื่องเหวี่ยงตะกอน (Centrifuge) รุ่น Rotanta 46R D 78532 Tullingen 4810 ของยี่ห้อ Hettich Zentrifugen ที่สามารถปรับความเร็วรอบในการเหวี่ยงได้สูงสุด 4500 รอบต่อนาที เพื่อหาปริมาตรสารแขวนลอยภายในกระบอกลอยน้ำที่สามารถได้จากสูตร

$$\text{ปริมาตรภายในกระบอกลอยตัวอย่าง} \equiv \pi r^2 h$$

โดย π คือค่าคงที่เท่ากับ 3.14

r คือรัศมีของกระบอกลอยที่ใช้ตัวอย่าง (เมตร)

h คือความสูงของน้ำที่อยู่ภายในกระบอกลอย

เมื่อได้ปริมาตรภายในกระบอกลอยตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างน้ำใส่แบ่งใส่ลงในหลอดเพื่อนำเข้าเครื่องเหวี่ยงตะกอน (Centrifuge) หลังจากนั้นวัดปริมาณสารแขวนลอยที่มีอยู่ แล้วนำไปคำนวณหาปริมาตรสารแขวนลอยทั้งหมดในสระแก้วโดยเทียบกับปริมาตรของแหล่งน้ำสระแก้ว

1.5 การหาปริมาณของตะกอนดินในสระแก้ว

การหาปริมาณของตะกอนดินในสระแก้วคิดจากการสุ่มวัดความหนาของชั้นตะกอนดิน โดยใช้ Grab Sample เก็บตัวอย่างดินตะกอนขึ้นมาจากสระแก้วหลายๆ จุดแล้วใช้ Soil Core ปักลงไปบนตะกอนดิน เพื่อวัดความหนาของชั้นตะกอนดิน และหาค่าเฉลี่ยของความหนาของชั้นตะกอนดินในสระแก้วจากนั้นคำนวณหาปริมาณของตะกอนดินได้จากสูตร

ปริมาณของตะกอนดิน = พื้นที่ของสระแก้ว (ตารางเมตร) x ความหนาของตะกอนดิน (เมตร)

หมายเหตุ: เนื่องจากในปัจจุบันบริเวณแหล่งน้ำสระแก้วส่วนใหญ่มีการนำก้อนหินขนาดใหญ่มาถมพื้นที่ด้านข้างทำให้สามารถป้องกันการชะล้างดินด้านข้างลงไปแหล่งน้ำสระแก้วได้เป็นอย่างดี

1.6 การหาปริมาณของพืช

การคำนวณหาปริมาณของพืชโดยใช้แปลงตัวอย่างขนาด 1 เมตร x 1 เมตร สุ่มในพื้นที่กรณีศึกษาดังภาพที่ 19 จำนวน 15 จุด จากนั้นสุ่มวัดความสูงของพุ่มพืชเพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ยและคำนวณหาปริมาณของพืชจากสูตร

ปริมาณของพืช = ขนาดแปลงตัวอย่าง (ตารางเมตร) สุ่ม 15 จุด x ความสูงเฉลี่ย (เมตร)

หมายเหตุ: ทำการสุ่มประชากรพืชในพื้นที่กรณีศึกษาโดยใช้พืชที่มีจำนวนมากที่สุดเป็นตัวแทนในกรณีศึกษาครั้งนี้

1.7 การหาปริมาณของปลา

ทำการสุ่มตัวอย่างปลาในบริเวณสระแก้วมหาวิทยาลัยศิลปากร โดยใช้วนตาถี่ช่องตา 0.5 เซนติเมตร ยาว 20 เมตร ล้อมบริเวณจุดสำรวจที่กำหนดจากโดยทำการลากวนให้ครอบคลุมพื้นที่แหล่งน้ำสระแก้วคือ บริเวณตั้งแต่สะพานไม้ถึงเขื่อนปูนจำนวนจนถึงสะพานไม้ ซึ่งได้ทำการทดลองในวันที่ 15 มิถุนายน 2551, 22 มิถุนายน 2551 และ 29 มิถุนายน 2551 รวมเป็นเวลา 3 วัน วันละ 3 ครั้ง แบ่งเป็นช่วงเวลา 7.00 น., 11.00 น. และ 15.00 น. นั้นลากวนเข้าหาตลิ่งใช้สวิงปากกลมตักปลาขึ้นมาปลาที่ได้มาแยกชนิดและชั่งน้ำหนักวัดขนาดความยาว ความกว้าง และความหนาของลำตัว (บุญยรัตน์ จันทรัสว่าง และคณะ, 2537) จากนั้นคำนวณหาปริมาณปลาจากสูตร

ปริมาณของปลา = ความยาว (เมตร) x ความกว้าง (เมตร) x ความหนา (เมตร)

2. การหาค่าความหนาแน่นในเฟสต่างๆ

ความหนาแน่นรวมของดินเป็นค่าที่บอกถึงน้ำหนักของดินแห้งในหนึ่งหน่วยปริมาตรรวมของดิน ซึ่งดินประกอบด้วยเนื้อดินประเภทดินเหนียวจะมีค่าความหนาแน่นรวมของดินประมาณ 1.0 - 1.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดินที่มีเนื้อดินประเภทร่วนเหนียวและร่วนปนทรายแข็งจะมีค่าความหนาแน่นรวมของดินประมาณ 1.0 - 1.4 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และดินที่มีเนื้อดินประเภทร่วน ร่วนปนทราย และทรายจะมีค่าความหนาแน่นของดินประมาณ 1.2 - 1.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544) โดยดินที่มีปริมาณช่องว่างมากจะมีค่าความหนาแน่นรวมของดินต่ำและดินที่มีช่องว่างน้อยจะมีค่าความหนาแน่นรวมสูง

2.1 การหาความหนาแน่นรวมของดิน

การหาความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) ของดินใช้น้ำหนักแห้งของดินหารด้วยปริมาตรของดินจากกระบอกเก็บตัวอย่างดินที่ทราบปริมาตร (เอิบ เขียวรีรัมย์, 2541) ซึ่งมีวิธีการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้ Soil Core เจาะลงไปดินตามความลึกที่ต้องการแล้วใช้มีดปาดหน้าทั้งด้านบนและด้านล่างของ Soil Core ให้เรียบพอดีแล้วต้องเก็บตัวอย่างให้ได้ดินที่เป็นตัวแทนของดินในพื้นที่ที่สนใจสอดคล้องกับจำเป็น อ่อนทอง (2547) อธิบายว่าต้องเก็บดินหลายๆ จุดจากพื้นที่ที่มีความสม่ำเสมอควรเก็บประมาณ 10-20 จุดจากแปลงที่มีขนาด 10-20 ไร่ โดยแต่ละจุดที่เก็บต้องมีปริมาตรดินเท่ากัน จากนั้นใส่ดินลงในถุงพลาสติกเก็บตัวอย่างดินในแต่ละหลุมประมาณ 1 กิโลกรัม ประมาณ 5-6 หลุม แล้วนำไปอบให้แห้งในเตาอบ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นแล้วเก็บตัวอย่างไว้ในโถดูดความชื้นดังภาพที่ 14 จึงชั่งน้ำหนักดินบันทึกผล ซึ่งเป็นน้ำหนักที่แท้จริงของดินหาปริมาตรภายในของ Soil Core เพื่อคิดเป็นปริมาตรของดินรวมทั้งหมดสามารถคำนวณดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นรวมของดิน} = \frac{\text{น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)}}{\text{ปริมาตรภายในของ Soil Core (ลูกบาศก์เมตร)}}$$



ภาพที่ 14 โถดูดความชื้น (Desiccator)

2.2 การหาความหนาแน่น (Bulk Density) ของตะกอนดิน (จารูมาศ ศรีภูมัย, 2548)

ความหนาแน่นของตะกอนดินหรือ Bulk density หมายถึงสัดส่วนของมวลต่อปริมาตรของตะกอนดิน ใช้วิธี ASTM method หรือ American Society for Testing and Materials หาความหนาแน่นแบบแห้งหรือ Dry-Bulk Density ในดิน โดยใช้อุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกเก็บดิน (Soil Core) ปักลงไปดินตามระดับความลึกที่ต้องการดังภาพที่ 15 แล้วค่อยๆ ดึงขึ้นมาเพื่อให้ปริมาตรเดิมของดินในท่อไว้ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 15 Soil Core สำหรับเก็บตัวอย่างดิน
ที่มา: Anonymous (2006)

จากนั้นนำดินไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103-105 องศาเซลเซียส

เมื่อตัวอย่างอบจนแห้งสนิทแล้วจึงชั่งน้ำหนัก คำนวณหาความหนาแน่นแบบแห้งโดย
สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\rho_{db} \equiv \frac{M_{ods}}{V_f}$$

โดยที่

ρ_{db} คือ ค่า Dry-Bulk Density (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

M_{ods} คือ น้ำหนักของตัวอย่างดินที่อบแห้ง (กรัม)

V_f คือ ปริมาตรของ Soil Core (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

2.3 การหาความหนาแน่นของสารแขวนลอย (ภัทรารุช ไทยพิชิตบุรพา, 2548)

การหาของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสามารถเริ่มจากการอบกระดาศกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 -105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทั้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์แล้วชั่งน้ำหนัก (B) เก็บกระดาศกรองไว้ในเดสิคเคเตอร์จนกว่าจะใช้ทดลองจากนั้นวางกระดาศกรองในกรวยบุคเนอร์ ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องสุญญากาศ ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาศกรองให้เปียกแล้วเปิดเครื่องดูดอากาศ เพื่อให้กระดาศกรองแนบติดกับกรวยบุคเนอร์ แล้วตวงปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ผสมเข้ากันดีแล้ว 50-100 มิลลิลิตร แล้วเทน้ำตัวอย่างลงในกรวยบุคเนอร์ แล้วเปิดเครื่องดูดสุญญากาศจนน้ำแห้งล้างเครื่องกรองด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เปิดเครื่องทิ้งไว้ 3 นาที เมื่อแห้งแล้วนำกระดาศกรองออกวางในภาชนะเดิม แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ในตู้อบ (ภาพที่ 14) เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ทั้งไว้ให้เย็นในเดสิคเคเตอร์แล้วชั่งน้ำหนัก (A) เมื่อตัวอย่างเย็นตัวให้เอาออกจากเดสิคเคเตอร์แล้วชั่งน้ำหนักจากนั้นนำไปคำนวณหาของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้จากสูตร

$$\text{ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{A (\text{มิลลิกรัม}) - B (\text{มิลลิกรัม}) \times 10^6}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

เมื่อได้ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดแล้วนำไปคำนวณหาความหนาแน่นของแข็งแขวนลอยต่อไป



ภาพที่ 17 เตาเผาควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 550°C

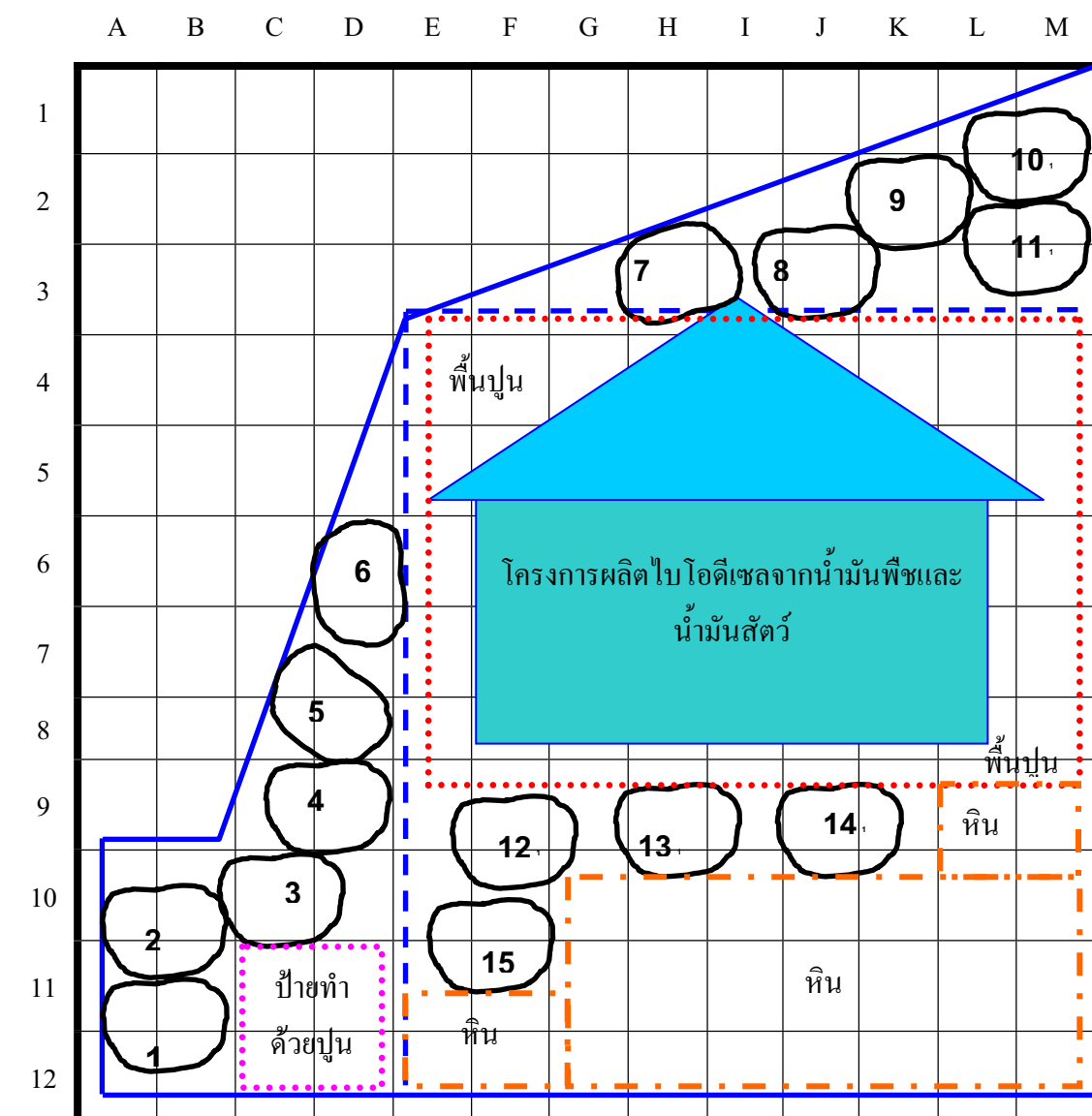
2.4 การหาความหนาแน่นของพีช

การวิเคราะห์สังคัมพีชสามารถดำเนินด้วยวางแผนแปลงสุ่มตัวอย่าง(Sample Plots Method) ที่ใช้ได้กับสิ่งมีชีวิตที่ค่อนข้างอยู่กับที่โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม Random Distribution จากการกำหนดขนาดแปลงตัวอย่าง 1x1 เมตร ทำการสุ่มจำนวน 15 แปลง (ภาพที่ 18) โดยใช้ตาราง Sampling Grid ดังภาพที่ 19 ซึ่งนำจำนวนแปลงตัวอย่างไปสุ่มใน Sampling Grid และนับสังคัมพีชแล้วสุ่มไปเรื่อยๆ จนได้ตามจำนวนที่ต้องการ รวมถึงทำการบันทึกชนิดแล้วนำข้อมูลที่ได้คำนวณค่าความหนาแน่นของพันธุ์ไม้แต่ละชนิดสามารถคำนวณได้จากสูตร (วสิน อิงคพัฒนากุล, 2535) จากนั้นทำการวัดความสูงของพีชแต่ละชนิดเพื่อหาความสูงเฉลี่ย น้ำหนักเฉลี่ยและนำไปคำนวณหาความหนาแน่นของพีชจากสูตร

$$\text{ค่าความหนาแน่นของพีช} = \frac{\text{น้ำหนักทั้งหมดของพุทธรักษาในพื้นที่ที่สุ่ม}}{\text{พื้นที่ที่ทำการสุ่มรวมของแปลงตัวอย่าง}}$$



ภาพที่ 18 การกำหนดขนาดแปลงตัวอย่าง



ภาพที่ 19 การ Sampling grid สังกมพืช

2.5 การหาความหนาแน่นของสัตว์

การนับจำนวนโดยตรง (Direct Count) เพื่อหาสิ่งมีชีวิตที่เป็นตัวแทนของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดในแหล่งน้ำ จากนั้นนำมาซึ่งน้ำหนัก ความกว้าง ความหนา ความยาวของสิ่งมีชีวิตแล้วนำไปหาความหนาแน่นของสัตว์น้ำจากการคำนวณจากสูตร

$$\text{ความหนาแน่นปลา} = \frac{\text{น้ำหนักปลาทั้งหมด (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของสระแก้ว (ลูกบาศก์เมตร)}}$$

ปริมาตรของสระแก้ว (ลูกบาศก์เมตร)

3. การหาปริมาณออร์แกนิกคาร์บอนของดิน ตะกอนดินและสารแขวนลอย

การเก็บตัวอย่างดินใช้ Soil Core เจาะลงไปดินตามความลึกที่ต้องการแล้วใช้มีดปาดหน้าทั้งด้านบนและด้านล่างของ Soil Core ให้เรียบพอดีแล้ว โดยแต่ละจุดที่เก็บต้องมีปริมาตรดินเท่ากัน จากนั้นใส่ดินลงในถุงพลาสติกเก็บตัวอย่างดินในแต่ละหลุมประมาณ 1 กิโลกรัม ประมาณ 5-6 หลุม โดยใช้วิธีในการเก็บตัวอย่างตะกอนดินและสารแขวนลอยแตกต่างกันดังนี้

การเก็บตัวอย่างตะกอนดินใช้ Grab Sampler แล้วไปผึ่งให้แห้ง (Air Dry) เมื่อแห้งนำดินมาบดด้วยภาชนะที่หุ้มด้วยพลาสติก แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร

การเก็บตัวอย่างสารแขวนลอยในน้ำโดยทำการเก็บที่ความลึก 2 เมตร จากนั้นผสมตัวอย่างน้ำให้เข้ากันแล้ววางกระดาษกรอง GF/F (Whatman, 25 มิลลิเมตร) ในกรวยบุคเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องสุญญากาศใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกแล้วเปิดเครื่องดูดอากาศเพื่อให้กระดาษกรองแนบติดกับกรวยบุคเนอร์ ตวงปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ผสมเข้ากันดีแล้ว 50-100 มิลลิลิตร แล้วเทน้ำตัวอย่างลงในกรวยบุคเนอร์ แล้วเปิดเครื่องดูดสุญญากาศจนน้ำแห้ง แล้วล้างเครื่องกรองด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ปิดเครื่องทิ้งไว้ 3 นาที เมื่อแห้งแล้วนำกระดาษกรองออกวางในภาชนะเดิม แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในดีสิคเคเตอร์ ของแข็งที่กรองได้สามารถนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนทั้งหมด

สำหรับการหาปริมาณออร์แกนิกคาร์บอนของดิน ตะกอนดินและสารแขวนลอย ใช้วิธีการเผาให้แห้ง หรือ Dry Combustion Technique โดยเครื่อง Total Organic Carbon Analyzer รุ่น Phoenix 8000 ดังภาพที่ 21 มีหลักการวิเคราะห์คือ การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนทั้งหมด มีวิธีการคือ นำตัวอย่างสาร Sucrose ซึ่งใช้เป็นสารมาตรฐานในการทำ Standard Curve ทำการชั่งน้ำหนักสาร Sucrose ใส่ Boat Sampler ดังภาพที่ 20 จากนั้นเข้า Boat Sampler เผาที่อุณหภูมิสูงแล้วตรวจวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นด้วย Non Dispersive Infrared Analyzer (NDIR) เพื่อออกซิไดซ์คาร์บอนอินทรีย์จากการเผาแล้วใส่ตัวอย่างลงใน Platinum Boat จากนั้นนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซไนโตรเจนแล้วถูกพาไปโดยก๊าซฮีเลียม (He) ผ่าน CuO เพื่อเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และผ่าน Silver Mesh (Silver Vanadate บน Silver Wood) เพื่อกำจัดซัลเฟอร์และสารในกลุ่มฮาโลเจนออกไป จากส่วนนี้ผลที่ได้คือ ค่าคาร์บอนทั้งหมดของสารหรือ Total Carbon (TC) จากนั้นนำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ใส่ลงใน Platinum Boat มาหยดด้วย H_2NO_3 เจือจาง (1 part conc. H_2NO_3 : 1 H_2O) 1-2 หยด เพื่อทำการสลายสารอนินทรีย์คาร์บอน (Inorganic Carbon) แล้วจึงนำเข้าตู้อบแห้ง (Hot Air Oven) ที่ 70 องศา

เซลล์เชียส นาน 10-15 นาที หรือจนตัวอย่างแห้งสนิท จากนั้นนำเข้าเครื่อง Total Organic Carbon Analyzer อีกครั้งเพื่อหาปริมาณของสารอินทรีย์ทั้งหมดที่เหลือ (Total Organic Carbon , *TOC*) แล้วสามารถนำมาคำนวณได้จากสมการ

$$TC \equiv TOC + IC$$



ภาพที่ 20 การชั่งตัวอย่างใส่ Boat Sampler



ภาพที่ 21 เครื่อง Total Organic Carbon Analyzer รุ่น Phoenix 8000

4 การหาค่าปริมาณไขมัน (%)

4.1 การหาปริมาณไขมันของปลานิลด้วย Soxhlet (AOAC, 1995)

วิธีการสกัดไขมันของปลานิลด้วย Soxhlet เริ่มจากการอบด้วยกระเบื้องที่ 103 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง นำไปใส่ในโถดูดความชื้นอย่างน้อย 1 ชั่วโมง นำตัวอย่างใส่ใน Thimble เนื้อพลาสติก (น้ำหนักเปียก) ชั่งประมาณ 5 กรัม นำใส่ใน Thimble ปิดด้วยสำลี และ Glass Beads

นำไปอบที่ 103 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วนำ Thimble ต่อเข้ากับชุดกลั่น โดยที่ด้านล่างมี Round Bottom Flask บรรจุ Hexane 200 มิลลิลิตร และ Glass Beads กลั่นนาน 4 ชั่วโมง ดังภาพที่ 22 จากนั้นเท Hexane ที่ค้างใน Thimble รวมลงใน Round Bottom Flask นำไปกลั่นจนเหลือ Hexane เล็กน้อย เท Hexane ลงบนถ้วยกระเบื้องที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ล้าง Round Bottom Flask ด้วย Hexane ปริมาตรอีก 2-3 ครั้ง เทรวมลงในถ้วยกระเบื้อง แล้วนำถ้วยกระเบื้องไปอังบนอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 23 จน Hexane ระเหยไปหมด และนำถ้วยกระเบื้องไปใส่ในโถดูดความชื้น 1 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องจะได้น้ำหนักหลัง นำน้ำหนักถ้วยกระเบื้องหลังลบด้วยน้ำหนักก่อน จะได้น้ำหนักของไขมันและหาความชื้นของเนื้อปลาเพื่อนำไปคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน(\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้องหลัง (กรัม)} - \text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้องก่อน(กรัม)}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$



ภาพที่ 22 การสกัดไขมันของปลานิลด้วย Soxhlet



ภาพที่ 23 อ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 80 °C

4.2 การหาปริมาณไขมันของพุทธรักษา

จากการศึกษาของสิริพร บริรักษ์วิสุทธิศักดิ์ (2549) ได้ทำการหาค่าปริมาณไขมันของพุทธรักษาโดยใช้วิธีการตัดตัวอย่างพุทธรักษาแต่ละส่วน (ราก ลำต้นและเหง้า) เป็นชิ้นเล็กๆ ชั่งตัวอย่างหนักประมาณ 2 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมสาร Methanol 20 มิลลิลิตร และ Chloroform 10 มิลลิลิตร ลงใน บีกเกอร์จากนั้นปั่นด้วย Utra Turrax นาน 2 นาที แล้วกรองด้วย Buchner Funnel โดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 นำกากที่ได้ใส่ในบีกเกอร์อีกครั้งแล้วนำไปใส่ Methanol 20 มิลลิลิตร และ Chloroform 10 มิลลิลิตร นำของเหลวที่กรองได้ทั้งหมดใส่กรวยแยก (Separating Funnel) 250 มิลลิลิตร ใส่ 0.1% KCl 20 มิลลิลิตร ลงในกรวยแยกจากนั้นเขย่ากรวยแยก แล้วทิ้งไว้ให้แยกชั้น ปล่อยสารละลายด้านล่าง (ชั้นไขมัน) กรองผ่านชั้น Na_2SO_4 ใส่ในบีกเกอร์ที่รู้น้ำหนัก ทำการสกัดสารละลายส่วนบนอีกครั้งด้วย Methanol : H_2O (1:1) 20 มิลลิลิตร เขย่ากรวยแยก ทิ้งไว้ให้แยกชั้น แล้วกรองด้านล่างผ่านชั้น Na_2SO_4 ใส่ในบีกเกอร์ นำบีกเกอร์ไประเหยให้แห้ง นำบีกเกอร์ไปใส่ Desiccater เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือ ปริมาณไขมันในพืชต่อน้ำหนักพืชที่นำมาวิเคราะห์ โดยหาน้ำหนักเฉลี่ยของพุทธรักษาและน้ำหนักแต่ละส่วน (ราก เหง้าและลำต้น) เพื่อนำไปเทียบหาอัตราส่วนของไขมันที่สะสมในแต่ละส่วนต่อไป

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การคาดการณ์การสะสมของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) หากหกรั่วไหลลงสู่พื้นที่การศึกษา “โครงการส่งเสริมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาและพึ่งตนเองอย่างยั่งยืนตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง” วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้ทำการทดลองในเฟสต่างๆ เพื่อหาค่าปริมาตร ความหนาแน่น ปริมาณออร์แกนิกคาร์บอน และปริมาณไขมันแล้วนำข้อมูลป้อนเข้าสู่ Fugacity Approach เพื่อทำการวิเคราะห์ผล ซึ่งได้ค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ดิน (Soil)

จากการวัดพื้นที่ที่การศึกษาสามารถคำนวณพื้นที่ได้มีค่าเท่ากับ 197.7 ตารางเมตร โดยใช้วิธีการคำนวณหาความลึกของดินที่สารเคลื่อนที่ลงไปได้ในระยะเวลา 1 ปี มีค่า 0.61 เมตร ส่วนปริมาตรดินมีค่าเท่ากับ 120.60 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างดินด้วย Soil Core ลึกลงไป 15 เซนติเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความหนาแน่นรวมของดินมีค่าเท่ากับ 1.17 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และนำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์หาปริมาณออร์แกนิกคาร์บอนด้วยเครื่อง Total Organic Carbon Analysis ที่ใช้สาร Sucrose เป็นสารมาตรฐานในการทำ Stand Curve พบว่าดินน้ำหนักเฉลี่ย 6.65 มิลลิกรัม มี TOC เท่ากับ 98.41895 ไมโครกรัมคาร์บอน ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้เท่ากับ 1.48 %

2. ตะกอนดิน (Sediment)

จากแผนผังมหาวิทยาลัยศิลปากรใช้มาตราส่วน 5 เซนติเมตร/ 100 เมตร ของแหล่งน้ำสระแก้วสามารถคำนวณหาพื้นที่ของสระแก้วได้เท่ากับ 4,180 ตารางเมตร โดยการวัดความหนาของชั้นตะกอนดินมีความหนาของตะกอนดินเฉลี่ย 0.13 เมตร จากนั้นทำเก็บตัวอย่างตะกอนดินวันที่ 28 มิถุนายน 2551 เวลา 14.00 น. โดยเก็บตัวอย่างด้วย Grab Sampler เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความหนาแน่นของตะกอนดินแบบแห้ง (Dry-Bulk Density) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.22 กรัม/ลูกบาศก์

เซนติเมตร และวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนด้วยเครื่อง Total Organic Carbon Analysis ของตะกอนดินพบว่า มีตะกอนดินน้ำหนักเฉลี่ย 6.35 มิลลิกรัม มีค่า TOC เท่ากับ 0.021 ไมโครกรัมคาร์บอน ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้เท่ากับ 2.13 %

3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)

จากการเก็บตัวอย่างน้ำในสระแก้วเพื่อนำไปกรองหาสารแขวนลอยได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยในสระแก้วพบว่ามีค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25 มิลลิกรัม/ลิตร สอดคล้องกับการศึกษาของกัมพูรี ศรีพงษ์พันธุ์ และคณะ (2548-2549) พบว่าค่าสารแขวนลอยสูงสุดในสระแก้วมีค่าเท่ากับ 25 มิลลิกรัม/ลิตร แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความหนาแน่นของสารแขวนลอยทั้งหมดพบว่ามีค่าเท่ากับ 2.5×10^{-5} กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นหาค่าปริมาตรของสารแขวนลอยที่มีค่าเท่ากับ 0.22 ลูกบาศก์เมตร และวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนด้วยเครื่อง Total Organic Carbon Analysis ของตะกอนดินพบว่า มีสารแขวนลอยน้ำหนักเฉลี่ย 6.15 มิลลิกรัม มีค่า TOC เท่ากับ 0.120 ไมโครกรัมคาร์บอน ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้เท่ากับ 1.92 %

4. อากาศ (Air)

จากข้อมูลระดับอุณหภูมิตามความสูงของกรมอุตุนิยมวิทยาที่มีศูนย์กลางการวัดอยู่ที่จุดบางนา จังหวัดกรุงเทพฯ ในวันที่ 1 มิถุนายน 2551 ถึง 21 มิถุนายน 2551 ในช่วงเวลา 4.52 น. ถึง 5.50 น. มีค่าระดับความสูงที่วัดได้อยู่ในช่วง 57,000 ฟุต ถึง 84,000 ฟุต และมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง -50.6°C ถึง -77.2°C ซึ่งผลการตรวจสอบระดับความสูงตามอุณหภูมิของบรรยากาศแสดงดังตารางที่ 5 โดยความสูงที่บอลลูนได้ตรวจวัดพบว่ามีค่าเฉลี่ย 77,952.38 ฟุต จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาตรของอากาศโดยคูณกับค่าพื้นที่กรณีศึกษาจะมีค่าเท่ากับ 4,623,356 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 5 ผลการตรวจสอบระดับความสูงตามอุณหภูมิของบรรยากาศ

วันที่	เวลา	ความสูง (ฟุต)	อุณหภูมิ (C°)
1/6/51	05:22:46	80000	-52.8
2/6/51	05:50:01	69000	-63.4
3/6/51	04:52:12	82000	-51.5
4/6/51	05:39:01	71000	-58.0
5/6/51	05:06:27	84000	-52.0
6/6/51	05:20:01	81000	-53.8
7/6/51	05:22:08	82000	-55.5
8/6/51	05:51:24	76000	-55.3
9/6/51	05:51:51	80000	-56.7
10/6/51	05:30:03	79000	-51.9
11/6/51	04:52:49	81000	-51.1
12/6/51	05:37:38	73000	-58.6
13/6/51	05:15:24	82000	-51.0
14/6/51	05:04:25	81000	-53.3
15/6/51	05:06:53	82000	-51.5
16/6/51	05:32:28	80000	-57.6
17/6/51	05:33:38	75000	-58.7
18/6/51	05:26:02	57000	-77.2
19/6/51	05:13:04	79000	-56.1
20/6/51	05:47:39	80000	-53.5
21/6/51	05:20:17	83000	-50.6
ค่าเฉลี่ย		77952.38 ฟุต	

5. น้ำ (Water)

จากแผนผังมหาวิทยาลัยศิลปากรวิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ให้อัตราส่วน 5 เซนติเมตร: 100 เมตร ที่ระดับความลึกเฉลี่ย 2 เมตรของแหล่งน้ำสระแก้ว ซึ่งสามารถใช้ในการคำนวณหาพื้นที่ของสระแก้วมีค่าเท่ากับ 4,180 ตารางเมตร แล้วนำมาคำนวณหาปริมาตรสระแก้วมีค่าเท่ากับ 8,360 ลูกบาศก์เมตร

6. พืช (Vegetation)

พบว่าสังคมพืชในพื้นที่กรณีศึกษามีหลายชนิดดังตารางที่ 6 โดยพืชที่มีความหนาแน่นมากที่สุดจะถูกใช้เป็นตัวแทนของประชากรพืชทั้งหมดคือ พุทธรักษาที่มีความหนาแน่น 173 ต้น/ลูกบาศก์เมตร และเมื่อทำการวัดความสูงของพุทธรักษาที่มีความสูงเฉลี่ย 1.25 เมตร และมีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 185.8 กรัม ส่วนการหาปริมาตรของพืชในพื้นที่ที่สุ่มรวม 15 ตารางเซนติเมตร สามารถคำนวณหาปริมาตรของพุทธรักษาในพื้นที่ที่มีค่าเท่ากับ 18.75 ลูกบาศก์เมตร จากการวิเคราะห์ปริมาณไขมันพุทธรักษาจากการทดลองของสิริพร บริรักษ์วิไลฐศักดิ์ (2549) ได้นำเหง้า ราก และลำต้นไปวิเคราะห์พบว่าปริมาณไขมันจากนั้นนำค่าที่ไปเทียบหาปริมาณไขมันในแต่ละส่วนในอัตราส่วนที่เท่ากันพบว่าพุทธรักษาที่มีปริมาณไขมันเฉลี่ยทั้งต้นมีค่าเท่ากับ 0.68% ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 6 สังคมพืชที่พบในพื้นที่กรณีศึกษา

ชนิดของพันธุ์ไม้	ความหนาแน่น (ต้น/ลบ.ม.)	ความถี่ (%)
จี่เหล็ก (<i>Snna siamea</i>)	4	30
มะขามเทศ (<i>Rhecellohum dlce</i>)	1	10
พุทธรักษา (<i>Canna generalis</i>)	173	70
กระถิน (<i>Eucaena leucocephala</i>)	4	30
ตะขบ (<i>Mtingia callabra</i>)	2	20
หญ้าตีนตุ๊กแก (<i>Tidypocumbns</i>)	70	20

ตารางที่ 7 ปริมาณไขมันของพุทธรักษาแต่ละส่วน

ตัวอย่าง	ปริมาณไขมัน (%)
ราก	0.85
เหง้า	1.62
ลำต้น	0.27

ที่มา: สิริพร บรรณวิจิตรศักดิ์ (2549)

7. สัตว์ (Biota)

จากการนับจำนวนปลาในพื้นที่สระแก้วบริเวณพื้นที่กรณีศึกษาพบว่าประชากรปลาที่มีจำนวนมากที่สุดจะใช้เป็นตัวแทนของปลาทั้งหมด เนื่องจากปลานิลเป็นปลากินพืชที่อยู่กันเป็นกลุ่มที่มักถูกจับขึ้นมาเพื่อนำไปประกอบเป็นอาหารของชาวบ้านที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียง โดยทำการลากอวนจับปลาวนละ 3 ครั้ง จำนวน 3 สัปดาห์ พบข้อมูลดังตารางที่ 7 และชนิด ขนาด จำนวนและน้ำหนักปลาที่จับได้บริเวณพื้นที่กรณีศึกษาดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการนับจำนวนสังคมสัตว์ในพื้นที่กรณีศึกษา

ชนิดปลา	การนับจำนวนปลาในพื้นที่กรณีศึกษา (ตัว)									ค่าเฉลี่ย (ตัว)
	15 มิ.ย. 2551			22 มิ.ย. 2551			29 มิ.ย. 2551			
	ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	
ปลานิล	40	37	43	45	55	50	37	23	27	39.67
ปลานุ่ทราย	31	29	33	45	35	55	30	25	35	35.33
ปลาตะเพียน	3	2	4	14	10	18	12	11	13	9.67
ปลาหมอ	0	0	0	16	12	20	2	2	2	6.00
ปลาสร้อย	0	0	0	4	4	4	5	5	5	3.00
ปลาช่อน	2	2	2	5	4	6	6	5	7	4.33
ปลาคูก้าน	0	0	0	1	1	1	2	1	3	1.00

ตารางที่ 9 ชนิด ขนาด จำนวนและน้ำหนักปลาที่จับได้บริเวณพื้นที่กรณีศึกษา

ชนิดปลา	ความยาว (ซ.ม.)	จำนวนเฉลี่ยต่อ สัปดาห์ (ตัว)	น้ำหนัก (กรัม)	
			ทั้งหมด	เฉลี่ย/ตัว
ปลานิล (<i>Oreochromis niloticus</i>)	2.0-21.2	119	4721	39.67
ปลาตะเพียน (<i>Puntius gonionotus</i>)	1.9-20.4	106	3745	35.33
ปลาบุหราย (<i>Osteotris marmoratus</i>)	6.8-15.4	29	281	9.67
ปลาหมอ (<i>A. testuieus</i>)	3.2-7.5	18	108	6.00
ปลาสลิค (<i>Stichogaster pectoralis</i>)	0.8-2.2	9	27	3.00
ปลาช่อน (<i>Channa striata</i>)	4.2-16.5	13	56	4.33
ปลาอุกค้ำ (<i>Clarias batrachus</i>)	2.8-15.6	3	200	66.67

พบว่าปลานิลที่ใช้เป็นตัวแทนของปลาทั้งหมดมีข้อมูลดังนี้ คือน้ำหนักของตัวปลาเฉลี่ย 300 กรัม/ตัว มีความยาวเฉลี่ยของปลานิลมีค่าเท่ากับ 0.212 เมตร ความกว้างเฉลี่ยของปลานิลมีค่าเท่ากับ 0.118 เมตร และความหนาเฉลี่ยของปลานิลมีค่าเท่ากับ 0.035 เมตร ซึ่งจำนวนปลาที่พบจำนวนเฉลี่ย 119 ตัว สามารถนำข้อมูลมาคำนวณการหาปริมาณของปลาในพื้นที่กรณีศึกษาพบว่า ปริมาตรของปลามีค่าเท่ากับ 1,475.46 ลูกบาศก์เมตร ส่วนการความหนาแน่นของปลาในพื้นที่กรณีศึกษาคิดจากน้ำหนักปลาทั้งหมดเทียบกับปริมาตรปลานิลมีค่าเท่ากับ 3.20×10^{-6} กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันในปลาโดยวิธีสกัดด้วย Soxhlet (AOAC, 1995) มีค่าเท่ากับ 0.52 % ส่วนการหาปริมาณไขมันในปลาโดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย (นิริยา รัตนานนท์, 2541) มีค่าเฉลี่ยปริมาณไขมันในปลานิลเท่ากับ 0.80 %

ดังนั้นผลการทดลองของกรณีศึกษานี้สามารถสรุปลักษณะสิ่งแวดล้อมในแต่ละเฟสได้ดังตารางที่ 10 โดยนำข้อมูลไปวิเคราะห์โดยใช้ Fugacity Approach เพื่อคาดการณ์สะสมของสารไตรคลอโรเอทธีลีน (TCE) บริเวณพื้นที่กรณีศึกษาที่อาจเกิดปัญหาการปนเปื้อนสู่ดินและน้ำใต้ดินแล้วส่งผลกระทบต่อผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่และบริเวณใกล้เคียงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ลักษณะสิ่งแวดล้อมที่ศึกษา

สิ่งแวดล้อม	ปริมาตร (V), m^3	ความหนาแน่น (ρ), g/cm^3	ปริมาณออร์แกนิก คาร์บอน (f_{oc}), %	ปริมาณไขมัน (L), %
อากาศ (a)	4.62×10^6	-	-	-
น้ำ (w)	8,360	-	-	-
ดิน (s)	120.60	1.17	1.48	-
สารแขวนลอย (ss)	15.52	2.50×10^{-5}	1.92	-
ตะกอนดิน (sed)	543.40	0.22	2.13	-
สัตว์ (b)	1,475.46	3.20×10^{-6}	-	0.80
พืช (v)	18.75	0.02	-	0.68

การคำนวณโดยใช้ Fugacity Approach ระดับที่ 1 (Level 1) ต้องคำนวณหาค่า Fugacity Capacity หรือค่า Z ของแต่ละเฟสดังตารางที่ 11 เพื่อนำไปคำนวณหาค่า $Z_i V_i$ ของแต่ละเฟสต่อไปดังตารางที่ 12

ตารางที่ 11 ค่า Z ของแต่ละเฟส

ค่า Z	สมการ	ค่าที่ ($mol/m^3 Pa$)
Z_a	$1/RT$	4.04×10^{-4}
Z_w	$1/H$	1.03×10^{-3}
Z_s	$(0.63 \times K_{ow} \times f_{oc} \times \rho_s) / H$	2.96×10^{-1}
Z_{ss}	$(0.63 \times K_{ow} \times f_{oc} \times \rho_{ss}) / H$	8.19×10^{-6}
Z_{sed}	$(0.63 \times K_{ow} \times f_{oc} \times \rho_{sed}) / H$	8.00×10^{-2}
Z_b	$(K_{ow} \times L_b \times \rho_b) / H$	6.93×10^{-7}
Z_v	$(K_{ow} \times L_v \times \rho_v) / H$	3.68×10^{-3}

ตารางที่ 12 ค่า $Z_i V_i$ ของแต่ละเฟส

$Z_i V_i$	ค่าที่ได้ (mol/Pa)
$Z_a V_a$	1.86×10^3
$Z_w V_w$	8.61
$Z_s V_s$	3.56×10^1
$Z_{ss} V_{ss}$	1.27×10^{-4}
$Z_{sed} V_{sed}$	4.35×10^1
$Z_b V_b$	1.02×10^{-3}
$Z_v V_v$	6.91×10^{-2}
$\Sigma Z_i V_i$	1.95×10^3

ที่สภาวะจุดสมดุลค่า fugacity (f) $\equiv f_a \equiv f_w \equiv f_s \equiv f_{sed} \equiv f_{ss} \equiv f_b \equiv f_v$ และ $f \equiv C/Z$ หรือ $f \equiv M/ZV$ ถ้าหากมวลของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) ถูกปล่อยออกมา 5.57×10^3 โมล โดยคิดจากสารไตรคลอโรเอทิลีนมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.464 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (McGovern, 1943) เทียบกับสารไตรคลอโรเอทิลีนจำนวน 1 ถัง ปริมาตร 500 ลิตร ที่มีค่า Molecular weight เท่ากับ 131.39 กรัม/โมล (Mackay et al., 1993) ดังนั้นสามารถหาค่ามวลของสารไตรคลอโรเอทิลีนที่ถูกปล่อยออกมามีค่าเท่ากับ 5.57×10^3 โมล แล้วนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของสารต่อไป

$$f = \frac{5.57 \times 10^3 \text{ mol}}{1.95 \times 10^3 \text{ mol/Pa}}$$

$$= 2.85 \text{ Pa}$$

จากนั้นหาค่าความเข้มข้น (C_i) ของแต่ละเฟส สามารถคำนวณได้ดังตารางที่ 13 ค่าความเข้มข้น (C_i) ของแต่ละเฟส ส่วนค่ามวลของสาร (M_i) ของแต่ละเฟสมีค่าดังตารางที่ 14

ตารางที่ 13 ค่า C_i ของแต่ละเฟส

ค่า C_i	สมการ	ค่าที่ได้ (mol/Pa)
C_a	$f_a Z_a$	1.15×10^{-3}
C_w	$f_w Z_w$	2.94×10^{-3}
C_s	$f_s Z_s$	8.43×10^{-1}
C_{ss}	$f_{ss} Z_{ss}$	2.34×10^{-5}
C_{sed}	$f_{sed} Z_{sed}$	2.28×10^{-1}
C_b	$f_b Z_b$	1.97×10^{-1}
C_v	$f_v Z_v$	1.05×10^{-2}

ตารางที่ 14 ค่ามวลของสาร (M_i) ของแต่ละเฟส

ค่า M_i	สมการ	ค่าที่ได้ (mol)
M_a	$C_a V_a$	5319.60
M_w	$C_w V_w$	24.56
M_s	$C_s V_s$	101.67
M_{ss}	$C_{ss} V_{ss}$	3.63×10^{-4}
M_{sed}	$C_{sed} V_{sed}$	123.97
M_b	$C_b V_b$	2.92×10^{-3}
M_v	$C_v V_v$	0.20
ΣM_i	5.57×10^3	

จากนั้นสามารถสรุปผลการสะสมของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) ในส่วนต่างๆ ของสิ่งแวดล้อมได้ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 สารไตรคลอโรเอทธีน (TCE) ไปสะสมในส่วนต่างๆ ของสิ่งแวดล้อม

Phase	Z (mol/m ³ Pa)	$Z_i V_i$ (mol/Pa)	C_i (mol/m ³)	M_i (mol)
อากาศ (a)	4.04×10^{-4}	1.86×10^3	1.15×10^{-3}	5319.60
น้ำ (w)	1.03×10^{-3}	8.61	2.94×10^{-3}	24.56
ดิน (s)	2.96×10^{-1}	3.56×10^1	8.43×10^{-1}	101.67
สารแขวนลอย (ss)	8.19×10^{-6}	1.27×10^{-4}	2.34×10^{-5}	3.63×10^{-4}
ตะกอนดิน (sed)	8.00×10^{-2}	4.35×10^1	2.28×10^{-1}	123.97
สัตว์ (b)	6.93×10^{-7}	1.02×10^{-3}	1.97×10^{-1}	2.92×10^{-3}
พืช (v)	3.68×10^{-3}	6.91×10^{-2}	1.05×10^{-2}	0.20
$\Sigma Z_i V_i$	1.95×10^3		ΣM_i	5.57×10^3

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

1. สรุป และอภิปรายผล

จากการทดลองในบริเวณพื้นที่การศึกษา “โครงการส่งเสริมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาและพึ่งตนเองอย่างยั่งยืนตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง” วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จากการศึกษาวัดระดับความลึกของแหล่งน้ำสระแก้วได้ค่าเฉลี่ย 2.0 เมตร ซึ่งอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับการศึกษาของกันทรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์ และคณะ (2548-2549) พบว่าความลึกของสระแก้วมีค่าอยู่ในช่วง 0.53-2.06 เมตร ส่วนข้อมูลที่เกี่ยวข้องทางอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาพบว่าความสูงและอุณหภูมิที่ได้จัดอยู่ในชั้นโทรโพสเฟียร์ (Troposphere) โดยวัดระดับความสูงตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งชั้นโทรโพสเฟียร์เป็นชั้นที่อยู่ระดับล่างสุดของชั้นบรรยากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดเวลาตามความสูง โดยอุณหภูมิของอากาศจะลดลงทีละน้อยจากอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำเฉลี่ยจะลดลง 0.6 องศาเซลเซียส ต่อความสูง 100 เมตร (นำพลย์ กิจรักษ์กุล, 2549) โดยในบางบริเวณของชั้นโทรโพสเฟียร์ จะมีชั้นแคบๆ ที่อุณหภูมิไม่ลดลงตามความสูงแต่กลับเพิ่มขึ้นตามความสูงที่เรียกว่า Temperature Inversion (วิไลลักษณ์ ตั้งเจริญ, 2540) ส่วนพืชที่ใช้เป็นตัวแทนของประชากรพืชทั้งหมดคือ พุทธรักษาที่ขึ้นปกคลุมพื้นที่การศึกษาจำนวนมาก และสิ่งมีชีวิตที่ใช้เป็นตัวแทนคือ ปลาเนื่องจากพื้นที่การศึกษาส่วนใหญ่เป็นพื้นปูน รวมถึงก้อนหินขนาดเล็กคลุมพื้นที่จึงไม่มีสิ่งมีชีวิตอื่นๆ มาอยู่อาศัยนอกจากปลาเพราะบริเวณพื้นที่การศึกษามีแหล่งน้ำสระแก้วอยู่บริเวณใกล้เคียงจึงใช้เป็นตัวแทนโดยปลาที่มีจำนวนมากที่สุดคือ ปลานิลจึงเป็นตัวแทนของประชากรสัตว์น้ำ

การศึกษาโดยใช้ Fugacity Approach ในคาดการณ์การสะสมของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) หากปริมาณมวลของสารไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) ถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจำนวน 5.57×10^3 โมล ผลการทดลองพบว่าปริมาณสารไตรคลอโรเอทิลีนมีการสะสมมวลของสารมากที่สุดในเฟสของอากาศ (Air) เท่ากับ 5319.60 โมล ที่มีความเข้มข้นของสารเพียง 1.15×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เมตร แต่เฟสของปลา (Biota) พบว่ามีความเข้มข้นมากที่สุด เท่ากับ 1.97×10^{-1} โมล/ลูกบาศก์เมตร รองลงมาเป็นเฟสของสารในตะกอนดิน (Sediment) มีค่าความเข้มข้นจำนวน 2.28×10^{-1} โมล/ลูกบาศก์เมตร ที่มีการสะสมมวลของสารเท่ากับ 123.97 โมล เฟสของสารดิน (Soil) มีค่าความเข้มข้นจำนวน 8.43×10^{-1} โมล/ลูกบาศก์เมตร ที่มีการสะสมมวลของสารเท่ากับ 101.67 โมลจากนั้นเป็นเฟสของสารในน้ำ (Water) มีค่าความเข้มข้นจำนวน 2.94×10^{-3} โมล/ลูกบาศก์เมตร ที่มีการสะสมมวลของสารเท่ากับ 24.56 โมล ส่วนเฟสของสารในพืช (Vegetation) มีค่าความเข้มข้น

จำนวน 1.05×10^{-2} โมล/ลูกบาศก์เมตร ที่มีการสะสมมวลของสารเท่ากับ 0.20 โมล รองอันดับสุดท้ายเป็นเฟสของสารในปลา (Biota) มีการสะสมมวลของสารเท่ากับ 2.92×10^{-3} โมล และอันดับสุดท้ายคือ เฟสของสารในสารแขวนลอย (Suspended Solids) มีค่าความเข้มข้นจำนวน 2.34×10^{-5} โมล/ลูกบาศก์เมตร ที่มีการสะสมมวลของสารเท่ากับ 3.63×10^{-4} โมล ตามลำดับ

ดังนั้นสรุปได้ว่าสารไตรคลอโรเอทิลีนพบความเข้มข้นมากที่สุดในเฟสต่างๆ คือเฟสของสารในปลา ตะกอนดิน ดิน พืช อากาศ น้ำและสารแขวนลอย ตามลำดับ เนื่องจากสารไตรคลอโรเอทิลีนมีคุณสมบัติที่สามารถละลายได้ทั้งในน้ำและไขมันได้ดี ประกอบกับลักษณะของดินในพื้นที่ที่กรณีศึกษาเป็นดินเหนียวและดินร่วนเหนียว ซึ่งสามารถดูดซับสารไว้ในอนุภาคของดินและตะกอนดินได้ โดยสารจะถูกดูดซับตามรอยแตก และจะค่อยๆ ละลายออกมาอย่างช้าๆ ในภายหลัง ทำให้น้ำใต้ดินเกิดการปนเปื้อน เฟสของสารในดิน (Soil) มีสารอินทรีย์ในดิน (Organic Matter) หรือปริมาณคาร์บอนของสารอินทรีย์ในดิน (Organic Carbon) ปริมาณดินเหนียว (Clay) ปริมาณน้ำในดิน (Moisture and Water Content) และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (Cation Exchange Capacity) ที่เป็นตัวที่ช่วยในการดูดซับสารไว้ในดินได้ดี ซึ่งสารไตรคลอโรเอทิลีนสามารถถูกดูดซับ (Adsorption) ไว้ในดินกับตะกอนดินมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสารไตรคลอโรเอทิลีนนี้มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เอื้อต่อการละลายน้ำได้ดีสารจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านเซลล์เมมเบรนของปลาได้จะเข้าสะสมในเนื้อเยื่อไขมันทำให้ปริมาณสารที่เข้าสู่อวัยวะเป้าหมายน้อยลงส่งผลให้ความเป็นพิษของสารน้อยลงด้วย แต่หากมีคนนำปลาไปรับประทานย่อมจะได้รับสารนี้เข้าไปสะสมอยู่ในร่างกายเมื่อได้รับเป็นระยะเวลานานๆ ย่อมเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ เพราะสารไตรคลอโรเอทิลีนมีไฮโดรคาร์บอนที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบจะสลายตัวช้าและเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์อีกด้วย โดยเฟสของสารในพืชนั้นสารไตรคลอโรเอทิลีนสามารถเข้าสะสมอยู่ในดินอาจซึมผ่านผนังเซลล์ของรากโดยตรงหรือละลายในน้ำ เมื่อรากดูดน้ำและอาหารเข้าสู่ลำต้นรากจะดูดเอาสารเข้าไปด้วย รองลงมาเป็นเฟสของสารในอากาศ เฟสของสารในน้ำ และเฟสของสารในสารแขวนลอยตามลำดับ

สำหรับการปนเปื้อนของสารพบว่าการสะสมของมวลสารไตรคลอโรเอทิลีนในเฟสของสารในอากาศมีจำนวนมากที่สุด ดังนั้นหากมีการหกรั่วไหลของสารไตรคลอโรเอทิลีนในพื้นที่ที่สามารถเกิดการสะสมในเฟสของอากาศได้ดีจึงเป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ เพราะสารไตรคลอโรเอทิลีนเป็นสารที่มีผลต่อตา ผิวหนัง ร่างกาย หากรับเข้าสู่ร่างกายเป็นปริมาณมากในระยะเวลานานสันแต่หากรับเข้าสู่ร่างกายทีละน้อยเป็นระยะเวลานานจะก่อให้เกิดความผิดปกติของระบบประสาทและก่อให้เกิดมะเร็งของอวัยวะต่างๆ ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) หากไม่มีการป้องกันและแก้ไขล่วงหน้าและอาจจะกลายเป็นปัญหาใหญ่ใน

อนาคตได้อย่างแน่นอน เนื่องจากสารไตรคลอโรเอทิลีนมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่จัดเป็นของเสียอันตราย เมื่อถูกปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิต การเก็บรักษา การขนส่ง และการกำจัด สามารถกระจายตัวและสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของสิ่งแวดล้อมได้

2. ข้อเสนอแนะ

1. หากมีการเก็บข้อมูลทางชลศาสตร์ อุทกวิทยาสามารถช่วยให้แบบจำลองมีความแม่นยำในการคาดการณ์การสะสมของสารไตรคลอโรเอทิลีนมากขึ้น
2. ควรคาดการณ์การสะสมของสารไตรคลอโรเอทิลีนโดยใช้ Fugacity Approach ทั้งสามระดับเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

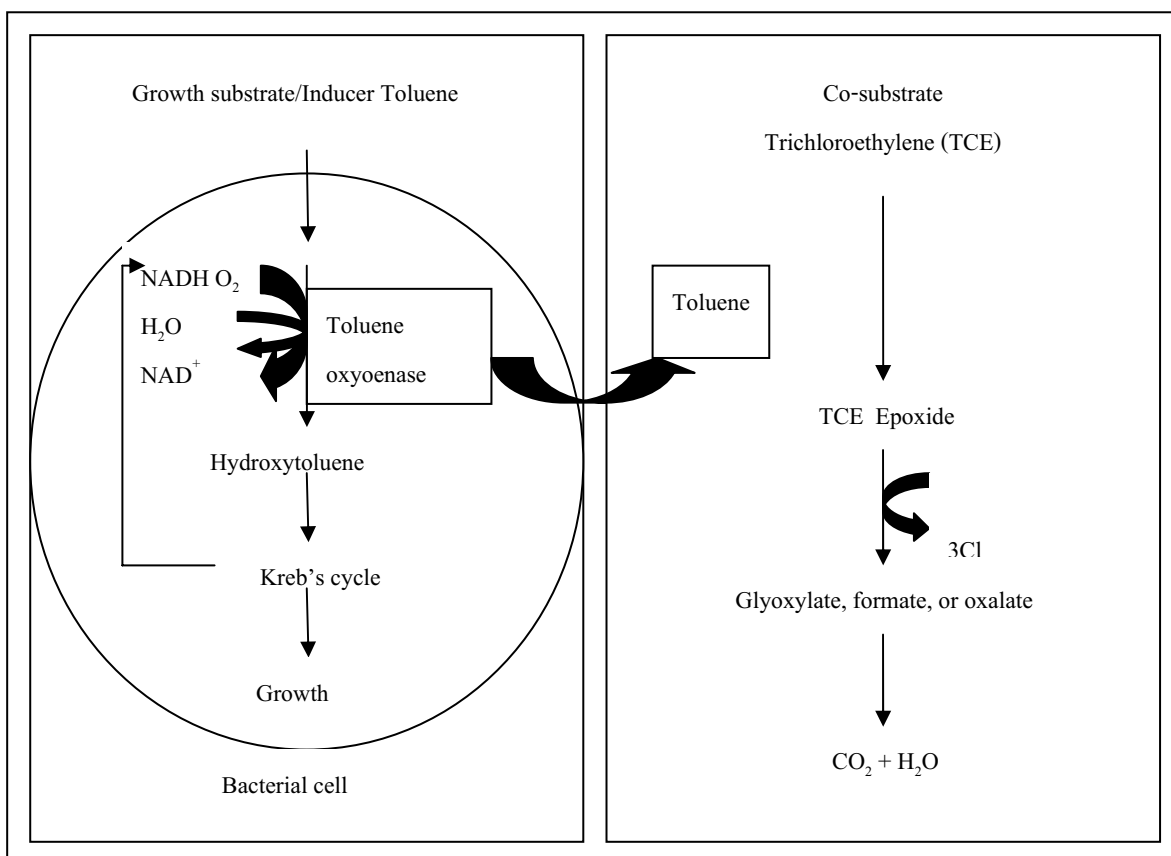
3. แนวทางการแก้ไขปัญหา

สำหรับแนวทางการแก้ไขปัญหาในปัจจุบันมีหลายวิธีโดยสามารถเลือกใช้วิธีต่างๆ ที่ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและวิธีการที่น่าจะนำมาใช้ได้ดีที่สุดในบริเวณพื้นที่กรณีศึกษา “โครงการส่งเสริมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาและพึ่งตนเองอย่างยั่งยืน ตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง” วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์มหาวิทยาลัยศิลปากร สามารถสรุปแนวทางการแก้ไขปัญหาได้ดังนี้

1. บริเวณพื้นที่โครงการที่มีการใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นสารอินทรีย์ระเหยเช่น สารไตรคลอโรเอทิลีนควรมีการสูมเก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดินตรวจสอบบริเวณที่มีการใช้สาร หากผลการตรวจสอบพบที่มีการปนเปื้อนสารไตรคลอโรเอทิลีนของดินในระดับความลึกสูงควรนำดินในพื้นที่ไปกำจัดโดยเร่งด่วนด้วยวิธีการที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ เพราะอาจเกิดการปนเปื้อนของไตรคลอโรเอทิลีน ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ลงสู่น้ำใต้ดินเนื่องจากน้ำฝนโดยเฉพาะช่วงฤดูฝนที่มีฝนตกชุกสามารถทำการชะละลาย (Leaching) สารลงสู่น้ำใต้ดิน แล้วนำดินใหม่มากลบหน้าดินแทน รวมถึงปลูกต้นไม้เพื่อปรับทัศนียภาพหรือปลูกต้นไม้ที่สามารถดูดซับสารนี้ได้ หรืออาจใช้เทคโนโลยีที่สมัยใหม่วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่รวดเร็วและให้ผลลัพธ์ที่ตรงเป้าหมายมากที่สุดอาทิเช่น วิธีการพ่นฟองอากาศ (Air Sparging) การใช้อากาศเพื่อทำให้สารไอระเหยออกจากดิน (Soil Vapor Extraction) การใช้สารเคมีทำปฏิกิริยาแบบออกซิเดชัน-รีดักชัน (Chemical Oxidation-Reduction) ซึ่งอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารในการกำจัดสารไตรคลอโรเอทิลีน หากมีการปนเปื้อนสารไตรคลอโรเอทิลีนของดินในระดับความลึกไม่สูงนักอาจใช้เทคนิคในการบำบัดดิน

และน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยอาทิเช่น การดูดซับด้วยพืช (Phytoremediation) หรือเรียกอีกอย่างว่า “พฤษบำบัด” เป็นวิธีการที่ใช้พืชเพื่อบำบัดสารปนเปื้อนในดินโดยใช้พืชทำงานร่วมกับจุลินทรีย์ ซึ่งข้อดีของวิธีการนี้คือ ใช้งบประมาณต่ำกว่าวิธีอื่นๆ สำหรับข้อเสียคือต้องใช้ระยะเวลาในการบำบัดสารปนเปื้อนที่ยาวนาน และจำเป็นต้องคำนึงถึงสภาพอากาศ ลักษณะสภาพแวดล้อม ฤดูกาล (เอกวิทย์ ลือพร้อมชัย, 2547) ส่วนอีกหนึ่งวิธีที่น่าสนใจคือการใช้จุลินทรีย์บำบัด (Bioremediation) ซึ่งเป็นกระบวนการบำบัดดินหรือน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนให้มีปริมาณและความเข้มข้นของสารปนเปื้อนน้อยลงหรือไม่มีพิษโดยการใช้อุณหภูมิที่มีอยู่ในธรรมชาติจำพวกแบคทีเรีย (Bacteria) และรา ซึ่งการใช้จุลินทรีย์บำบัด (Bioremediation) มีข้อเสียคืออัตราการย่อยสลายค่อนข้างช้า และบางครั้งอาจใช้เวลานานจึงสามารถย่อยสลายได้เต็มที่ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2546) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสาร ขอบเขตการแพร่กระจาย และลักษณะของพื้นที่ที่เกิดการปนเปื้อน ซึ่งเป็นกระบวนการทางธรรมชาติจึงมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยสามารถนำมาใช้บำบัดในพื้นที่ได้โดยตรง (เอกวิทย์ ลือพร้อมชัย, 2546) สอดคล้องกับพงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์ (2550) อธิบายว่าสารประเภทไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) ควรบำบัดด้วยวิธีการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ โดยทางมหาวิทยาลัยศิลปากรมีห้องปฏิบัติการทางด้านจุลชีววิทยาที่มีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ทันสมัยสามารถเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์เช่น *Budmonas ptid* ที่สามารถย่อยสลายสารไตรคลอโรเอทิลีนด้วยวิธีโคเมตาบอลิซึม (Cometabolism) เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายโดยสร้างเอนไซม์ที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อสารตั้งต้นนั้นสอดคล้องกับนิภา มลิณทวิสมัย และสุวรรณา เนียมสนิท (2549) อธิบายว่าการย่อยสลายสารไตรคลอโรเอทิลีนที่เป็นตัวทำละลายคลอรีนอินทรีย์ด้วยแบคทีเรีย *Budmonas ptid* จะเกิดขึ้นได้เมื่อมีสารโทลูอินในระบบดังกล่าวที่ 24 ซึ่งแบคทีเรียจะสร้างเอนไซม์โทลูอินออกซิเจนส่อยโทลูอินให้เป็นสารอาหาร และสามารถจับกับสารไตรคลอโรเอทิลีนอย่างไม่เจาะจงแล้วเร่งปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนจนอะตอมของคลอรีนจะหลุดออกจากโมเลกุลของสารไตรคลอโรเอทิลีนและเปลี่ยนเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายโดยมีผู้ศึกษาเพิ่มเติมว่าควรใช้สารชนิดใดเป็นตัวชักนำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์อาทิเช่น อรมาศ สุทธิสุน (2546) ได้ศึกษาสารเทอร์ปีน (คิวมิน, ไลโมนีน, คาร์โวน และไพเนน) เพื่อเป็นตัวชักนำที่เป็นส่วนประกอบในน้ำมันหอมระเหยของพืชมาใช้เพื่อชักนำกระบวนการย่อยสลายสารไตรคลอโรเอทิลีนโดยพบว่าคิวมินเป็นสารที่ชักนำกระบวนการย่อยสลายได้ดีที่สุด และสามารถช่วยให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายสารไตรคลอโรเอทิลีนได้อย่างสมบูรณ์ (Mineralization) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้วิธีการดูดซับด้วยพืช (Phytoremediation) และจุลินทรีย์บำบัด (Bioremediation) มีความเหมาะสมกับพื้นที่กรณีศึกษาเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงและมีแนวโน้มที่สามารถลดปริมาณสารปนเปื้อนได้อย่างดีและมี

ค่าใช้จ่ายต่ำ (เอกวัล ลือพร้อมชัย, 2546) แต่วิธีการที่ใช้ในการบำบัดดินและน้ำใต้ดินนั้นต้องใช้ทุนทรัพย์จำนวนมากเนื่องจากต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ทันสมัย และต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจในการปฏิบัติงานสูงด้วย



ภาพที่ 24 การย่อยสลายสารไตรคลอโรเอทิลีนด้วยวิธีไบโคมแทบอลิซึม

ที่มา: เอกวัล ลือพร้อมชัย (2546)

2. หากเกิดการปนเปื้อนของสารไตรคลอโรเอทิลีนในน้ำใต้ดินสูงเกินมาตรฐานมากควรทำการบำบัดน้ำใต้ดินที่มีการปนเปื้อนอาจใช้วิธีบำบัดได้หลายวิธีอาทิเช่น วิธี Soil Vacuum Extraction และ Air Stripping เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถควบคุมการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหย (VOC) ได้ดี ซึ่งควรดำเนินการโดยเร่งด่วนเนื่องจากอาจทำให้เกิดการชะละลายผ่านชั้นดินลงสู่น้ำใต้ดินในระดับที่ลึกลงไปได้ โดยทำการบำบัดจนสารมีระดับการปนเปื้อนที่อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและคุณภาพสิ่งแวดล้อม ซึ่งควรทำการติดตามตรวจสอบ

และเฝ้าระวังคุณภาพน้ำใต้ดินด้วยความถี่ทุก 1-6 เดือน ตามปริมาณและแนวโน้มที่พบสารปนเปื้อน และหากพบว่าสารปนเปื้อนมีระดับต่ำลงอาจทำการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำเพียงปีละ 1 ครั้ง

3. การจัดการพืชในบริเวณพื้นที่โครงการหรือบริเวณใกล้เคียงที่ปัจจุบันเป็นแปลงปลูกพืชแบบเกษตรอินทรีย์ให้งดการปลูกพืชที่ใช้เป็นอาหาร โดยเฉพาะพืชกินหัว ใบ และเมล็ด เนื่องจากอาจเกิดการสะสมของสารอันตรายต่อผู้บริโภค และควรใช้น้ำใต้ดินในการอุปโภคเท่านั้น ไม่ควรใช้ในการบริโภคโดยตรงหรือการประกอบอาหาร รวมถึงนำมาใช้ในการล้างภาชนะหรือวัตถุดิบในการประกอบอาหาร ส่วนปลาในแหล่งน้ำสระแก้วต้องมีการประชาสัมพันธ์อย่างต่อเนื่องผ่านสื่อต่างๆ ให้งดการจับปลาไปประกอบอาหาร หรือการลงไปในแหล่งน้ำสระแก้ว จนกว่าผลการตรวจวิเคราะห์แล้วพบว่ามีการปนเปื้อนที่อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสารไตรคลอโรเอทิลีนพบว่าในพื้นที่ทั่วประเทศไทย กำลังเผชิญปัญหาการปนเปื้อนสารไตรคลอโรเอทิลีนระเหยสู่อากาศ ดิน และน้ำใต้ดินสามารถสรุปปัญหาหลักที่สำคัญได้ดังนี้คือ เกิดจากความมั่งง่ายของผู้ที่ประกอบกิจการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสารอินทรีย์ระเหยขาดความระมัดระวังในกระบวนการผลิตทำให้เกิดปัญหาการรั่วไหลของสารอินทรีย์ระเหยออกนอกพื้นที่ และขาดแนวทางในการกำจัดของเสียอันตรายสารไตรคลอโรเอทิลีนอย่างเด่นชัดเจเน ดังนั้นทุกหน่วยงานควรมีการปฏิบัติเป็นแบบแผนเดียวกันตัวอย่างเช่น ของเสียอันตรายไม่ได้มีการแยกก่อนที่จะนำมาทิ้งจึงกลายเป็นปัญหาที่เกิดการสะสมเรื่อยมา รวมถึงไม่มีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องออกมาให้ความรู้ประชาชนจึงทำให้ประชาชนไม่ได้ตระหนักถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจึงส่งผลให้การดำเนินงานไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เป็นเหตุให้กลายเป็นสาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมทางด้านของเสียอันตรายสาเหตุที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ขาดบุคลากรที่มีความรู้และเข้าใจอย่างทอ่งแท้ในการเก็บตัวอย่างดินและน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้เก็บตัวอย่างหรือเกิดการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยออกสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น ดังนั้นควรต้องใช้ผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจเพื่อนำตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์ให้ผลการตรวจสอบที่เที่ยงตรงและแม่นยำมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามสาเหตุหลักที่สำคัญคือ การขาดความร่วมมือของประชาชนในทุกพื้นที่ไม่มีการคัดแยกภาชนะบรรจุให้เป็นที่โดยมักจะนำไปทิ้งปะปนกับขยะทั่วไปทำให้ยากแก่การกำจัดในปัจจุบันหากไม่รีบทำการแก้ไขแล้วในอนาคตอันใกล้จะต้องกลายเป็นปัญหาด้านมลพิษที่ครอบคลุมทุกพื้นที่ของประเทศไทยได้อย่างแน่นอน

บรรณานุกรม

- กัณธารีย์ ศรีพงศ์พันธุ์, สุฤกษ์ อนวัชมณี, ปัทมพงศ์ แสงอุทัย, เปมิกา เลาหสินณรงค์ และสาธนี อินทสุภา. 2548-2549. คุณภาพน้ำในสระแก้ว มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์. วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร 25-26 (1): 70-96.
- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2547. ไตรคลอโรเอทิลีน (TRICHLOROETHYLENE), กรุงเทพฯ.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2546. ของเสียอันตราย. มหาวิทยาลัยรังสิต, กรุงเทพฯ.
- จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2548. ดินตะกอน (SEDIMENT). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จุฑาทิพย์ ขจรไตรเดช. 2548. การฟื้นฟูน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนสารไตรคลอโรเอทิลีน โดยวิธีการบำบัดทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จุฑารัตน์ ศรีภูมัย. 2548. การฟื้นฟูน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อนเบนซีนและโทลูอีนด้วยกระบวนการออกซิเดชันเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จำเริญ อ่อนทอง. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- ชนัญชัย วรรณสุข, ธาณี จารุณัฐ และอัสมน ลิ้มสกุล. 2550. การติดตามตรวจสอบปริมาณสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) และโลหะหนักในดิน และ น้ำใต้ดิน กรณีการลักลอบฝังกลบของเสียอันตรายพื้นที่ ตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ปี 2547-2549, นครราชสีมา.
- นพรัตน์ ฝาสุกผล. 2548. การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยง่ายและ โลหะหนักในน้ำใต้ดิน กรณีศึกษาพื้นที่อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิภา มลิตทวิสมัย และสุวรรณา เนียมสนิท. 2549. แบคทีเรียที่ใช้ Toluene เป็นแหล่งต้นตอคาร์บอน และสามารถสลาย Trichloroethylene (TCE) ได้ที่แยกจากธรรมชาติและแหล่งปนเปื้อนและความสามารถในการใช้สารต้นตอคาร์บอนตัวอื่น. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 34(1): 59-71.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2541. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- นำพวัลย์ กิจรัชกุล. 2549. ภูมิอากาศของประเทศไทย. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

- บุญยรัตน์ จันทร์สว่าง, ทศนีย์ ภูมิพัฒน์, สุรียา ทานสุทัศน์, รังสรรค์ ไชยบุญทันและเพียงใจ แก้ว
จรรยา. 2537. การสำรวจประชากรปลาในอ่างเก็บน้ำเขื่อนกิ่วลม จังหวัดลำปาง. สถาบัน
ประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- ปิ่น มาลากุล, ม.ล. 2536-2537. บันทึกเรื่อง การสร้างมหาวิทยาลัยศิลปากร ณ พระราชวังสนาม
จันทร์ จังหวัดนครปฐม. วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร, 14(1):25-29.
- พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์. 2550. เทคโนโลยีทางการฟื้นฟูดินและน้ำใต้ดินที่ปนเปื้อน. วารสาร
มหาวิทยาลัยศิลปากร 27 (1): 125-137.
- เพิ่มพูน กิรติกสิกร. 2528. เหมืองดิน. เกยู บุ๊คเซ็นเตอร์. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ขอนแก่น.
- ภัทรารุช ไทยพิชิตบุรพา. 2548. การศึกษาสารแขวนลอย อัตราการตกตะกอน ดินตะกอนพื้นที่ท้องน้ำ
และปัจจัยแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง ในพื้นที่อ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มลิวรรณ บุญเสนอ. 2544. พืชวิทยาสิ่งแวดล้อม. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.
- มีศักดิ์ มลิณทวิสมัย, สีนารถ ชาญณรงค์, พีรพงษ์ สุนทรเดชะ, วาติกา เสวตโยธิน และ จีระนันท์
พันธ์จักร. 2544. การปนเปื้อนของสาร Chlorinated Ethylene ในดินและ น้ำใต้ดิน และ
กรณีศึกษาของประเทศไทย. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพ
สิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- มานพ ตั้งตรงไพโรจน์, สุภัตรา อุไรวรรณ และพรรณศรี จริโมภาส. 2530. ปทานิลสีแดง. สถาบัน
ประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (SOIL FERTILITY). โอ.เอส.พรินติ้ง เฮาส์,
กรุงเทพฯ.
- วสิน อิงคพัฒนากุล. 2535. การพัฒนาประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินเขตห้ามล่าสัตว์วัดไผ่ล้อม
และวัดอัมพวันาราม จังหวัดปทุมธานี. วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร 13 (1): 119-133.
- วิไลลักษณ์ ตั้งเจริญ. 2540. อดุณิคมวิทยา. โรงพิมพ์พิทยวิสุทธ์, กรุงเทพฯ.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.). 2545. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย, กรุงเทพฯ.
- วีณา เชิดบุญชาติ. 2546. คู่มือคอนกรีตต้นไม้. อมรินทร์พรินติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ.
- ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2545. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สิริพร บริรักษ์วิสุทธิศักดิ์. 2549. การบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนด้วยสารกลุ่ม BTEX โดยใช้พืชรักชานิ

- ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลผ่านชั้นกรองในแนวนอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สราวุธ จริตงาม. 2548. **คู่มือทฤษฎีและปฏิบัติการทดสอบดิน**. โรงพิมพ์ซานเมือง, สงขลา.
- เอกวัล ลือพร้อมชัย. 2546. เทคโนโลยีชีวภาพกับการบำบัดสารเคมีอันตราย (ตอนที่1). **วารสารสิ่งแวดล้อม** 7(28): 8-11.
- เอกวัล ลือพร้อมชัย. 2547. เทคโนโลยีชีวภาพกับการบำบัดสารเคมีอันตราย (ตอนจบ). **วารสารสิ่งแวดล้อม** 8(29): 13-16.
- อรมาศ สุทธิรัตน์. 2546. การย่อยสลายทางชีวภาพของสารไตรคลอโรเอธิลีน โดยใช้สารเทอร์ปีนเป็นตัวชักนำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อิสรา พิริยะพิเศษพงศ์. 2540. การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อการจัดการคุณภาพน้ำผิวดินบริเวณโรงไฟฟ้าแม่เมาะและเหมืองแม่เมาะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เอิบ เขียวรีนรมย์. 2541. **คู่มือปฏิบัติการ การสำรวจดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 4 . สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เอิบ เขียวรีนรมย์. 2544. **การสำรวจดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 2 . สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Abernethy, s., Mackay, D.1987. **A discussion of correlation for narcosis in aquatic species**. In: QSAR in Experimental Toxicology II. Kaiser, K.L.E., Editor. pp. 1-16, Reidel publication Co., Dordrecht, Holland.
- Anonymous. 2006. Soil Core. Soil texture variation. Available Source: <http://www.epnet.com/login.htm>, September 29, 2008.
- AOAC. 1995. **official Methods of Analysis**. Th ed. Association of Official Analysis Chemical, Washington D.C.
- Benito M. Chen-Charpentier and Hristo V. Kojouharov. 2008. Mathematical modeling of bioremediation of trichloroethylene in aquifers. **Science Direct** 3(56): 645-656.
- Brock Neely and Gary E. Blau. 1985. **Environment Exposure From Chemical Volume I**. CRC Press, Inc., America.
- Derwent, R.G. 1995. **Distribution and Fate of Volatile Organic Compounds in the Atmosphere**. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, America.
- Domingo M. Aviado, Joseph A. Simaan, Samir Zakhari amd Andrew G. Ulsamer. 1976. **Methyl**

- Chloroform and Trichloroethylene in the Environment.** CRC Press, America.
- Hawker, D.w. 1994. Pollution Modelling and management. Faculty of Environmental Science, Griffith University, Queensland.
- Hunter P. and S.T. Oyama. 2000. **Control of Volatile Organic Compounds Emissions. A Wiley-Interscience-Publish.** John Wiley a Sons, Inc. New York, USA.
- Hwong-wen Ma, Kuen-Yuh Wu and Chung-Da Ton. 2001. Setting information priorities for remediation decisions at a contaminated-groundwater site. **Science Direct** 1(46): 75-81.
- Jerald L.Schnoor. 1996. **Environmental Modeling.** John Wiley&Sons, Inc., America.
- Joseph Tarradellas, Gabriel Bitton and Dominique Rossel. 1997. **Soil Ecotoxicology.** Lewis Publishers, America.
- Kenneth Y. Lee and Constantinos V. Chrysikopoulos. 2002. Dissolution of a well-defined trichloroethylene pool in saturated porous media: experimental results and model simulations. **Science Direct** 15(36): 3911-3918.
- Mackay Donald and Peterson Sally. 1981. **Calculating Fugacity.** Environmental Science and Technology. Toronto, Canada.
- Mackay Donald, Shiu, W.Y. 1981. A critical review of Henry's law constants for chemicals of environment interest. **J. Phys. Chem** 10: 1175-1199.
- Mackay Donald, Shiu, W.Y. 1990. **Physical-chemical properties and fate of volatile organic compound: An application of the fugacity approach.** Lewis Publishers Inc., Chelsea, Michigan.
- Mackay Donald, Wan Ying Shiu and Kuo Ching Ma. 1993. **Illustrated handbook of physical-chemical properties and environment fate for organic chemicals.** CRC Press, America.
- Mackay Donald. 2001. Multimedia Environmental Models : **The Fugacity Approach.** Lewis Publishers, America.
- McGovern, E.W. 1943. Chlorohydrocarbon solvents. **Ind. Eng. Chem.** 35(12): 1230-1239.
- Michael O. Rivett, Stanley Feenstra and John A. Cherry. 2001. A controlled field experiment on groundwater contamination by a multicomponent DNAPL: creation of the emplaced-source and overview of dissolved plume development. **Science Direct** 1-2(49): 111-

149.

Nandita B. Basu P.S.C. Rao, Irene C. Poyer, M.D. Annable and K. Hatfield'. 2006. Flux-based assessment at a manufacturing site contaminated with trichloroethylene. **ScienceDirect** 1-2 (86): 105-127.

Ney Ronald. 1990. **WHERE DID THAT CHEMICAL GO? A Practical Guide to Chemical Fate and Transport in the Environment.** Van Nostrand Reinhold, America.

Putzlocher, B.H. Kueper. 2006. Relative velocities of DNAPL and aqueous phase plume migration. **Science Direct** 3-4(88): 321-336.

Richard J. Watts. 1998. **HAZARDOUS WASTES.** John Wiley and Sons, Inc., United States of America.

Schwarzenbach, R.P., P.M. Gschwend and D.M. Imboden. 1992. **Environmental Organic Chemistry.** A Wiley-Interscience Publication, New York.

USDA. 2007. USDA Soil Classification. Us Department of Agriculture, USA. Availble Source: www.nps.gov/history/seac/soilmanual/part3.htm.

ภาคผนวก ก

มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม
ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ.2547)

ภาคผนวก ก

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
1.สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compound)			
1) เบนซีน (Benzene)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 6.5	ใช้วิธี Gas Chromatography หรือวิธี Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
2) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 2.5	”
3) 1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 3.5	”
4) 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน (1,1-Dichloroethylene)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 0.5	”
5) ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (cis-1,2-Dichloroethylene)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 43	”
6) ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (trans-1,2-Dichloroethylene)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 63	”
7) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 89	”
8) แอทธิลเบนซีน (Ethylbenzene)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 230	”
9) สไตรีน (Styrene)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 1,700	”
10) เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 57	”
11) โทลูอีน (Toluene)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 520	”
12) ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 28	”

ภาคผนวก ก

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
13) 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 630	ใช้วิธี Gas Chromatography หรือวิธี Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
14) 1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 8.4	”
15) ไซลีนทั้งหมด (Total Xylenes)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 210	”
2. โลหะหนัก (Heavy metals)			
1) สารหนู (Arsenic)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 3.9	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธี Atomic Absorption, Gaseous Hydride หรือวิธี Atomic Absorption, Borohydride Reduction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

ภาคผนวก ก

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
2) แคดเมียมและสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and compounds)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 37	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
3) โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 300	ใช้วิธี Coprecipitation หรือวิธี Colorimetric หรือวิธี Chelation/Extraction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
4) ตะกั่ว (Lead)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 400	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
5) แมงกานีสและสารประกอบแมงกานีส (Manganese and compounds)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 1,800	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

ภาคผนวก ก

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
6)ปรอทและสารประกอบปรอท (Mercury and compounds)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 23	ให้ใช้วิธี Cold-Vapor Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
7) นิกเกิลในรูปของเกลือที่ละลายน้ำได้ (Nickel, soluble salts)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 1,600	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
8) ซีลีเนียม (Selenium)	mg/kg	ต้องไม่เกิน 390	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธี Atomic Absorption, Gaseous Hydride หรือวิธี Atomic Absorption, Borohydride Reduction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

ภาคผนวก ข

มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 พ.ศ. 2543

ภาคผนวก ข

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
1.สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds)			
1) เบนซีน (Benzene)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 5	วิธี Purge and Trap Gas Chromatography หรือวิธี Purge and Trap Gas Chromatography/Mass Spectrometry หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
2) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 5	”
3) 1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 5	”
4) 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน (1,1-Dichloroethylene)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 7	”
5) ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (cis-1,2-Dichloroethylene)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 70	”
6) ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (trans-1,2-Dichloroethylene)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 100	”
7) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 5	”
8) แอททิลเบนซีน (Ethylbenzene)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 700	”
9) สไตรีน (Styrene)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 100	”
10) เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 5	”
11) โทลูอีน (Toluene)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 1,000	”
12) ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 5	”

ภาคผนวก ข

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
13) 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 200	วิธี Purge and Trap Gas Chromatography หรือวิธี Purge and Trap Gas Chromatography/Mass Spectrometry หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
14) 1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 5	”
15) ไซลีนทั้งหมด (Total Xylenes)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 10,000	”
2. โลหะหนัก (Heavy metals)			
1) แคดเมียม (Cadmium)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 0.003	วิธี Direct Aspiration/Atomic Absorption Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma/Plasma Emission Spectroscopy หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
2) โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 0.05	”
3) ทองแดง (Copper)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 1.0	”
4) ตะกั่ว (Lead)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 0.01	”
5) แมงกานีส (Manganese)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 0.5	”

ภาคผนวก ข

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
6) นิกเกิล (Nickel)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 0.02	วิธี Direct Aspiration/Atomic Absorption Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma/Plasma Emission Spectroscopy หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
7) สังกะสี (Zinc)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 5.0	วิธี Direct Aspiration/Atomic Absorption Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma/Plasma Emission Spectroscopy หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
8) สารหนู (Arsenic)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 0.01	วิธี Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma/Plasma Emission Spectroscopy หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ Absorption, Borohydride Reduction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
9) ซีลีเนียม (Selenium)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 0.01	วิธี Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma/Plasma Emission Spectroscopy หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ Absorption, Borohydride Reduction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
10) ปรอท (Mercury)	µg/kg	ต้องไม่เกิน 0.001	วิธี Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometry/Plasma Emission Spectroscopy หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

ภาคผนวก ค

มาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปีตามประกาศคณะกรรมการ
สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 พ.ศ.2550

ภาคผนวก ก

สารมลพิษ	ค่ามาตรฐาน
1. เบนซีน (Benzene)	ไม่เกิน 1.7 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
2. ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride)	ไม่เกิน 10 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
3. 1,2 - ไดคลอโรอีเทน (1,2 - Dichloroethane)	ไม่เกิน 0.4 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
4. ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	ไม่เกิน 23 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
5. ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)	ไม่เกิน 22 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
6. 1,2 - ไดคลอโรโพรเพน (1,2 - Dichloropropane)	ไม่เกิน 4 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
7. เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)	ไม่เกิน 200 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
8. คลอโรฟอร์ม (Chloroform)	ไม่เกิน 0.43 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
9. 1,3 - บิวทาไดีน (1,3 - Butadiene)	ไม่เกิน 0.33 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ภาคผนวก ง

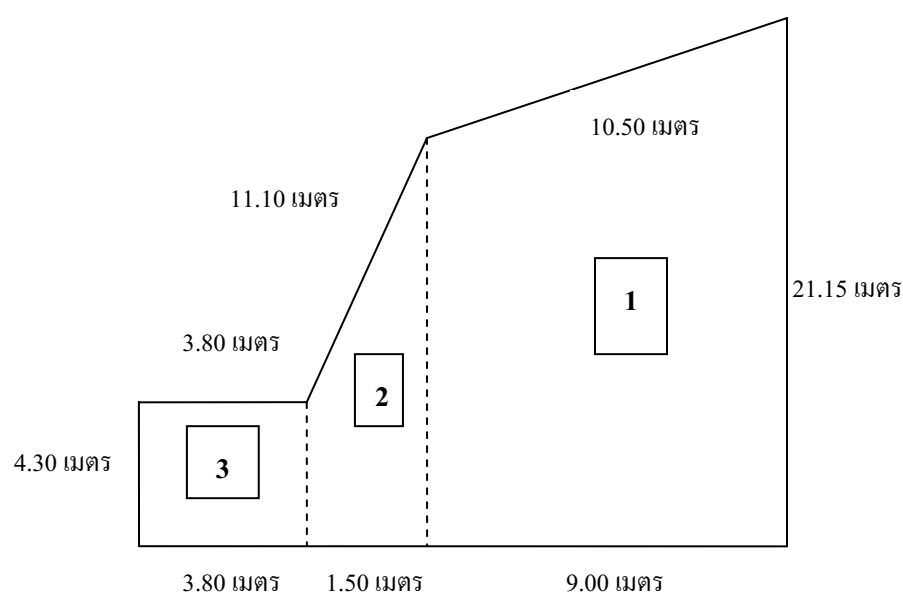
การคำนวณปริมาตรของดิน น้ำ อากาศ สารแขวนลอย ตะกอนดิน พืชและปลาในพื้นที่การศึกษา

ภาคผนวก ง

1.การหาปริมาตรของดิน

การหาปริมาตรของดินในพื้นที่ที่กรณีศึกษาสามารถคำนวณพื้นที่ได้จากการวัดรอบพื้นที่นั้น จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาตรของดินได้โดยใช้สูตรพื้นที่ที่กรณีศึกษาตัวอย่าง (ตารางเมตร) × ความลึกของดิน (เมตร) ซึ่งมีขั้นตอนการหาปริมาตรของดินดังนี้

1.1 ทำการหาพื้นที่โดยการวัดรอบพื้นที่ที่กรณีศึกษาตัวอย่าง



ภาพที่ 25 ขอบเขตของพื้นที่ที่กรณีศึกษา

การคำนวณหาพื้นที่ในส่วนที่ 1

$$\begin{aligned}\text{พื้นที่ในส่วนที่ 1} &= \frac{1}{2} \times \text{ผลบวกของด้านคู่ขนาน} \times \text{สูง} \\ &= \frac{1}{2} \times (15.80 \text{ เมตร} + 21.15 \text{ เมตร}) \times 9.00 \text{ เมตร} \\ &= 166.28 \text{ ตารางเมตร}\end{aligned}$$

การคำนวณหาพื้นที่ในส่วนที่ 2

$$\begin{aligned}\text{พื้นที่ในส่วนที่ 2} &= \frac{1}{2} \times \text{ผลบวกของด้านคู่ขนาน} \times \text{สูง} \\ &= \frac{1}{2} \times (15.80 \text{ เมตร} + 4.30 \text{ เมตร}) \times 1.50 \text{ เมตร} \\ &= 15.08 \text{ ตารางเมตร}\end{aligned}$$

การคำนวณหาพื้นที่ในส่วนที่ 3

$$\text{พื้นที่ในส่วนที่ 3} = \text{กว้าง} \times \text{ยาว}$$

$$= 3.80 \text{ เมตร} \times 4.30 \text{ เมตร} = 16.34 \text{ ตารางเมตร}$$

$$\text{ดังนั้นพื้นที่การณีสึกษา} = 166.28 + 15.08 + 16.34 = 197.70 \text{ ตารางเมตร}$$

1.2 การหาความลึกของดิน คำนวณจาก

การหาระยะทางที่สารถูกชะต่อปี

จากสูตร

$$X \equiv \frac{Q}{W \frac{1 + bK_d}{f}}$$

โดยที่

X คือระยะทางที่สารถูกชะ (Leach) ต่อปี

Q คือ Percolate Rate หรือความเร็วของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่อิ่มน้ำ หรือ ระยะทางที่สารซึมลงไปในดินใน 1 ปี มีหน่วย เซนติเมตร/ปี

W คือความจุของน้ำในดิน หรือ Available Water Capacity ที่สามารถคำนวณได้

จาก Field Capacity-Wilting Point

K_d คือค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ระหว่างดินและน้ำ

b คือค่า Bulk Density (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

f คือค่า Field Capacity (ลูกบาศก์เซนติเมตร/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

จากการคำนวณพบว่าพื้นที่การณีสึกษาเป็นดินร่วนเหนียว (Clay Loam) ดังตารางที่ 4

Bulk Density (ความหนาแน่น; b) = 1.30 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

Field Capacity (ความจุของน้ำในดิน; f) = 0.36 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ลูกบาศก์เซนติเมตร

Wilting Point (ปริมาณน้ำที่จุดเหี่ยวของพืช; w)

$$w = f - W = 0.36 - 0.22 = 0.14 \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

สำหรับการหาค่า K_d หรือค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ระหว่างดินและน้ำ คำนวณได้ดังนี้

จากสูตร

$$K_{oc} \equiv \frac{K_d \times 100}{\%oc}$$

โดยที่

%oc คือร้อยละของสารอินทรีย์ของธาตุคาร์บอนที่มีอยู่ในดิน

K_{oc} คือ ค่า Adsorption Coefficient

ค่า Sorption Partition Coefficient; $\log K_{oc} = 2.1$ (USEPA, 1986) ดังนั้น $K_{oc} = 125.89$

ค่า %oc ได้จากการทดลองพบว่าปริมาณออร์แกนิกคาร์บอนมีค่า 1.48 % ดังนี้

$$K_{oc} \equiv \frac{K_d \times 100}{\%oc}$$

แทนค่า

$$K_d \equiv \frac{125.89 \times 1.48}{100} \equiv 1.86$$

ค่า Q หาได้จากพื้นที่ดินว่างที่มีดินเป็นดินร่วนเหนียวมีค่าการแทรกซึมลง 0.1 นิ้ว/เซนติเมตร ต้องการทำการเปลี่ยนหน่วยเป็น เซนติเมตร/ปี

$$Q = \frac{0.1 \text{ นิ้ว}}{1 \text{ ซม.}} \times \frac{24 \text{ ซม.}}{1 \text{ วัน}} \times \frac{365 \text{ วัน}}{1 \text{ ปี}} \times \frac{2.54 \text{ ซม.}}{1 \text{ นิ้ว}}$$

$$Q = 2225.04 \text{ เซนติเมตร/ปี}$$

แทนค่า Q ลงในสูตรเพื่อหาค่า X

$$X \equiv \frac{Q}{W \frac{[1 + bK_d]}{f}}$$

จะได้

$$X = \frac{2225.04 \text{ เซนติเมตร/ปี}}{\frac{0.14 \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร} \times [1 + (1.30 \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร} \times 1.86)]}{0.36 \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร}}}$$

$$X = 2058.69 \text{ เซนติเมตร/ปี}$$

การคำนวณหาระยะเวลาในการสลายตัวของสารไตรคลอโรเอทิลีน

สารไตรคลอโรเอทิลีนมีค่าครึ่งชีวิต (Half Life; $t_{1/2}$) = 1700 ชั่วโมง (Mackay, 2001)

$$t_{1/2} = 1700 \text{ ชั่วโมง} \times \frac{1 \text{ วัน}}{24 \text{ ชั่วโมง}} = 71 \text{ วัน}$$

จากสูตร

$$t_{1/2} \equiv \frac{0.693}{K}$$

แทนค่า

$$K \equiv \frac{0.693}{71} \equiv 0.0098$$

คำนวณหาระยะเวลาการสลายตัวของสารไตรคลอโรเอทิลีน

จากสูตร

$$C_t \equiv C_0 e^{-kt}$$

โดยที่

C_t คือปริมาณของสารเคมี C ที่เวลา t ใดๆ แทนค่าด้วยค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมตามประกาศของคณะสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) คือ มีค่าไม่เกิน 28 มิลลิกรัม/ลิตร

C_0 คือปริมาณของสารเคมี C เมื่อเวลาเริ่มต้น หาได้จากความหนาแน่น (Density) ของสารไตรคลอโรเอทิลีนเท่ากับ 1.464 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรแปลงเป็นกรัม/ลิตร

$$= \frac{1.464 \text{ กรัม}}{1 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}} \times \frac{1000 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}}{1 \text{ ลิตร}} = 1464 \text{ กรัม/ลิตร}$$

ดังนั้น สาร 1 ลิตร มีสารไตรคลอโรเอทิลีน 1464 กรัม/ลิตร

สาร 500 ลิตร มีสารไตรคลอโรเอทิลีน $1464 \times 500 = 7.32 \times 10^8$ มิลลิกรัม

ข้อเท็จจริง

สารไตรคลอโรเอทิลีน 500 ลิตร มีสารไตรคลอโรเอทิลีนอยู่จริง 7.32×10^8 มิลลิกรัม

สมมติฐาน

สารไตรคลอโรเอทิลีน 500 ลิตร แทนที่ดิน 500 ลิตร

ผลการทดลองพบค่าความหนาแน่นของดินร่วนเหนียวมีค่าเท่ากับ 1.33 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

โดยที่

ดิน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าความหนาแน่น 1.33 กรัม

ดิน 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าความหนาแน่น $1.33 \times 500 = 665$ กิโลกรัม

การหาค่า C ของดิน

$$\begin{aligned} C_0 \text{ ของดิน} &= \frac{7.32 \times 10^8 \text{ มิลลิกรัม}}{665 \text{ กิโลกรัม}} \\ &= 1.10 \times 10^6 \text{ มิลลิกรัม/กิโลกรัม} \end{aligned}$$

การหาระยะเวลาการสลายตัวของดิน

จากสูตร

$$C_t \equiv C_0 e^{-kt}$$

$$\begin{aligned}\ln C_t - \ln C_0 &\equiv -Kt \\ \ln 28 - \ln (1.10 \times 10^6) &= -0.0098t \\ 3.33 - 13.91 &= -0.0098t \\ -10.58 &= -0.0098t \\ t &= 1079.59 \text{ วัน}\end{aligned}$$

นำค่าที่ได้มาคำนวณหาความลึกของสารที่เคลื่อนที่ลงไปดิน

จากสูตร

$$\Gamma \equiv \frac{100H}{X}$$

โดยที่

H คือความลึกของดิน มีหน่วยเป็น เมตร

X คือระยะทางที่สารถูกชะต่อปี มีหน่วยเป็นเซนติเมตร/ปี

Γ คือค่าเวลาการสลายตัวของสาร มีหน่วยเป็น ปี

ดังนั้น

$$\Gamma \equiv \frac{100H}{X}$$

แทนค่า

$$2.96 \text{ ปี} = \frac{100 H}{2058.69 \text{ เซนติเมตร/ปี}}$$

$$H = 60.94 \text{ เซนติเมตร หรือ } 0.61 \text{ เมตร}$$

ดังนั้น สารไตรคลอโรเอทรีลีนสามารถเคลื่อนที่ลงไปดินได้ 0.61 เมตร จากนั้นนำมาหาปริมาตรของดินโดยใช้สูตร

$$\begin{aligned}\text{การหาปริมาตรของดิน} &= \text{พื้นที่กรณีศึกษา (ตารางเมตร)} \times \text{ความลึกของดิน (เมตร)} \\ &= 197.70 \text{ ตารางเมตร} \times 0.61 \text{ เมตร} \\ &= 120.60 \text{ ลูกบาศก์เมตร}\end{aligned}$$

2. การหาปริมาตรน้ำ (สระแก้ว)

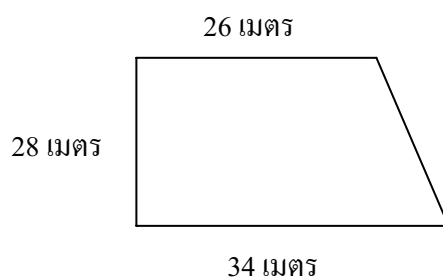
ในการหาพื้นที่แหล่งน้ำ (สระแก้ว) ของพื้นที่กรณีศึกษาดังแสดงในภาพที่ 13 สามารถนำมาคำนวณหาพื้นที่ได้ดังนี้

2.1 พื้นที่กรณีศึกษาของน้ำบริเวณที่ 1



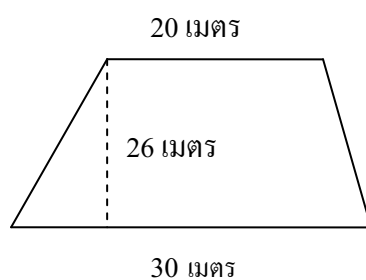
$$\begin{aligned}
 \text{พื้นที่กรณีสึกษาของน้ำที่ 1} &= \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \\
 &= 8 \text{ เมตร} \times 16 \text{ เมตร} \\
 &= 128 \text{ ตารางเมตร}
 \end{aligned}$$

2.2 พื้นที่กรณีสึกษาของน้ำบริเวณที่ 2



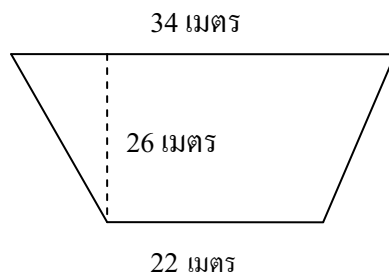
$$\begin{aligned}
 \text{พื้นที่กรณีสึกษาของน้ำที่ 2} &= \frac{1}{2} \times (\text{ผลบวกด้านคู่ขนาน}) \times \text{สูง} \\
 &= \frac{1}{2} \times (26 \text{ เมตร} + 34 \text{ เมตร}) \times 28 \text{ เมตร} \\
 &= 840 \text{ ตารางเมตร}
 \end{aligned}$$

2.3 พื้นที่กรณีสึกษาของน้ำบริเวณที่ 3



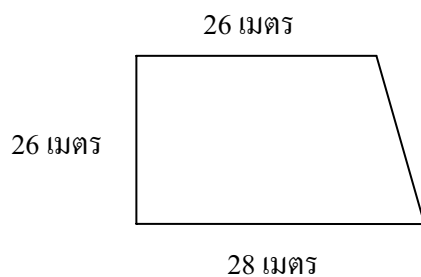
$$\begin{aligned}
 \text{พื้นที่กรณีสึกษาของน้ำที่ 3} &= \frac{1}{2} \times (\text{ผลบวกด้านคู่ขนาน}) \times \text{สูง} \\
 &= \frac{1}{2} \times (20 \text{ เมตร} + 30 \text{ เมตร}) \times 26 \text{ เมตร} \\
 &= 650 \text{ ตารางเมตร}
 \end{aligned}$$

2.4 พื้นที่กรณีสึกษาของน้ำบริเวณที่ 4



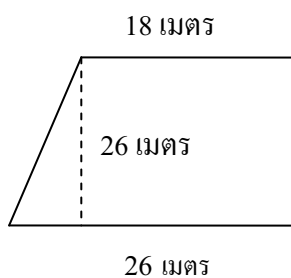
$$\begin{aligned}
 \text{พื้นที่กรณีสึกษาของน้ำที่ 4} &= \frac{1}{2} \times (\text{ผลบวกด้านคู่ขนาน}) \times \text{สูง} \\
 &= \frac{1}{2} \times (22 \text{ เมตร} + 34 \text{ เมตร}) \times 26 \text{ เมตร} \\
 &= 720 \text{ ตารางเมตร}
 \end{aligned}$$

2.5 พื้นที่กรณีสึกษาของน้ำบริเวณที่ 5



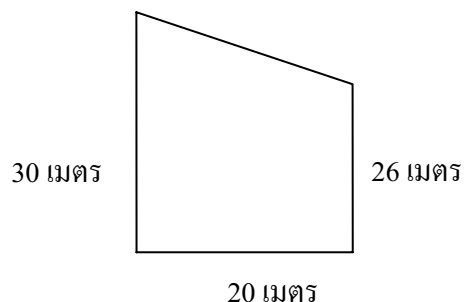
$$\begin{aligned}
 \text{พื้นที่กรณีสึกษาของน้ำที่ 5} &= \frac{1}{2} \times (\text{ผลบวกด้านคู่ขนาน}) \times \text{สูง} \\
 &= \frac{1}{2} \times (26 \text{ เมตร} + 28 \text{ เมตร}) \times 26 \text{ เมตร} \\
 &= 702 \text{ ตารางเมตร}
 \end{aligned}$$

2.6 พื้นที่กรณีสึกษาของน้ำบริเวณที่ 6



$$\begin{aligned}
 \text{พื้นที่กรณีสึกษาของน้ำที่ 6} &= \frac{1}{2} \times (\text{ผลบวกด้านคู่ขนาน}) \times \text{สูง} \\
 &= \frac{1}{2} \times (18 \text{ เมตร} + 26 \text{ เมตร}) \times 26 \text{ เมตร} \\
 &= 572 \text{ ตารางเมตร}
 \end{aligned}$$

2.7 พื้นที่กรณีสึกษาของน้ำบริเวณที่ 7



$$\begin{aligned}\text{พื้นที่กรณีศึกษาของน้ำที่ 7} &= \frac{1}{2} \times (\text{ผลบวกด้านคู่ขนาน}) \times \text{สูง} \\ &= \frac{1}{2} \times (26 \text{ เมตร} + 30 \text{ เมตร}) \times 20 \text{ เมตร} \\ &= 560 \text{ ตารางเมตร}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้นพื้นที่กรณีศึกษาของน้ำ} &= 128 + 840 + 650 + 728 + 702 + 572 + 560 \text{ ตารางเมตร} \\ &= 4,180 \text{ ตารางเมตร}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{การหาปริมาตรน้ำ} &= \text{พื้นที่กรณีศึกษา (ตารางเมตร)} \times \text{ความลึกเฉลี่ยของแหล่งน้ำ (เมตร)} \\ &= 4,180 \text{ ตารางเมตร} \times 2.0 \text{ เมตร} \\ &= 8,360 \text{ ลูกบาศก์เมตร}\end{aligned}$$

หมายเหตุ: ค่าความลึกของน้ำได้มาจากการใช้ไม้เมตรวัดระดับความลึกมีหน่วยเป็นเซนติเมตร โดยทำการวัดจากกลางสะพานไม้ 2 จุด กลางเขื่อนปูนกันน้ำ 1 จุด รวม 3 จุด (ภาพที่ 13) โดยแต่ละจุดจะทำการวัดซ้ำ 5 ครั้ง จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยระดับความลึกแหล่งน้ำในสระแก้ว

3. การหาปริมาตรของอากาศ

3.1 จากข้อมูลการวัดระดับความสูงแปรผันตามอุณหภูมิของวันที่ 1 มิถุนายน – 22 มิถุนายน 2551 พบว่ามีค่าความสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 77952.38 FT

$$\begin{aligned}\text{เปลี่ยนหน่วยเป็นเมตร} &= 77952.38 \text{ FT} \times \frac{30 \text{ เซนติเมตร}}{1 \text{ FT}} \times \frac{1 \text{ เมตร}}{100 \text{ เซนติเมตร}} \\ &= 23,385.714 \text{ เมตร}\end{aligned}$$

ดังนั้นการหาปริมาตรของอากาศคำนวณได้จากสูตร

$$\begin{aligned}\text{ปริมาตรของอากาศ} &= \text{พื้นที่ดินกรณีศึกษา (ตารางเมตร)} \times \text{ความสูงเฉลี่ย (เมตร)} \\ &= 197.7 \text{ ตารางเมตร} \times 23,385.714 \text{ เมตร}\end{aligned}$$

$$= 4,623,355.658 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

$$= 4.62 \times 10^6 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

4. การหาปริมาตรสารแขวนลอย

จากการเก็บตัวอย่างน้ำในแหล่งน้ำสระแก้ว โดยใช้กระบอกลอยตัวอย่างที่ระดับความลึก 2 เมตร จากนั้นใช้กระบอกลอยตัวอย่างน้ำจำนวน 100 มิลลิลิตร ที่มีค่าความสูงเท่ากับ 0.16 เมตร และรัศมี (r) 0.015 เมตร แล้วนำไปเข้าเครื่องเหวี่ยงตะกอน (Centrifuge) รุ่น Rotanta 46R D 78532 Tullingen 4810 ของยี่ห้อ Hettich Zentrifugen ที่สามารถปรับความเร็วรอบในการเหวี่ยงได้สูงสุด 4500 รอบต่อนาที เพื่อหาปริมาตรสารแขวนลอยภายในกระบอกลอยน้ำที่สามารถได้จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรภายในกระบอกลอยตัวอย่าง} &\equiv \pi r^2 h \\ &= \pi (0.010^2) (0.12^2) \\ &= 3.77 \times 10^{-5} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

โดย π คือค่าคงที่เท่ากับ 3.14

r คือรัศมีของกระบอกลอยที่ใช้ตัวอย่าง (เมตร)

h คือความสูงของน้ำที่อยู่ภายในกระบอกลอย

เมื่อได้ปริมาตรภายในกระบอกลอยตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างน้ำใส่แบ่งใส่ลงในหลอดเพื่อนำเข้าเครื่องเหวี่ยงตะกอน (Centrifuge) หลังจากนั้นวัดปริมาณสารแขวนลอยที่มีอยู่แล้วนำไปคำนวณหาปริมาตรสารแขวนลอยทั้งหมดในสระแก้วโดยเทียบกับปริมาตรของแหล่งน้ำสระแก้วจึงจะได้ค่าปริมาตรของสารแขวนลอย ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาได้ดังนี้

การหาปริมาตรสารแขวนลอยทั้งหมด

ปริมาตรน้ำในสระแก้ว 3.77×10^{-5} ลูกบาศก์เมตร มีสารแขวนลอย 0.70 มิลลิลิตร

ปริมาตรน้ำในสระแก้ว 8,360 ลูกบาศก์เมตร มีสารแขวนลอย 0.70 มิลลิลิตร x 8,360 ลูกบาศก์เมตร

$$\begin{aligned} & \frac{3.77 \times 10^{-5} \text{ ลูกบาศก์เมตร}}{0.70 \text{ มิลลิลิตร}} \\ &= 1.552 \times 10^7 \text{ มิลลิลิตร} \\ &= 15.52 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

5. การหาปริมาตรตะกอนดิน

จากการวัดความหนาของชั้นตะกอนดิน โดยใช้ไม้วัดความหนาของชั้นตอนในสระแก้ว บริเวณพื้นที่กรณีศึกษา โดยทำการวัดบนสะพานไม้ทั้ง 2 ด้าน และตามแนวเขื่อน 1 จุด โดยการวัดในแต่ละจุดจะทำการวัดซ้ำ 5 ครั้ง และนำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.13 เมตร จากนั้นคำนวณหาปริมาตรของตะกอนดินได้จากสูตร

$$\begin{aligned}\text{ปริมาตรตะกอนดิน} &= \text{พื้นที่ของสระแก้ว (ตารางเมตร)} \times \text{ความหนาชั้นตะกอนดิน (เมตร)} \\ &= 4,180 \text{ ตารางเมตร} \times 0.13 \text{ เมตร} = 543.4 \text{ ลูกบาศก์เมตร}\end{aligned}$$

6. การหาปริมาตรของพีช

6.1 การคำนวณหาปริมาตรของพีชโดยใช้แปลงตัวอย่างขนาด 1 เมตร x 1 เมตร สุ่มในพื้นที่กรณีศึกษาดังภาพที่ 19 จำนวน 15 จุด จากนั้นสุ่มวัดความสูงของพุทธรักษาเพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ยและคำนวณหาปริมาตรของพีชจากสูตร

$$\begin{aligned}\text{ปริมาตรของพีช} &= \text{ขนาดแปลงตัวอย่าง (ตารางเมตร)} \times \text{จำนวนจุด} \times \text{ความสูงเฉลี่ย (เมตร)} \\ &= 15 \text{ ตารางเมตร} \times 1.25 \text{ เมตร} \\ &= 18.75 \text{ ลูกบาศก์เมตร}\end{aligned}$$

หมายเหตุ: ทำการสุ่มประชากรพีชในพื้นที่กรณีศึกษาพบว่าพีชที่มีจำนวนมากที่สุดคือ พุทธรักษาจึงใช้เป็นตัวแทนประชากรพีชดังแสดงในตารางที่ 6

7. การหาปริมาตรของปลา

จากการนับจำนวนปลานิลเฉลี่ย 119 ตัวต่อสัปดาห์ มีน้ำหนักทั้งหมด 4,721 กรัม เฉลี่ยต่อตัวเท่ากับ 39.67 กรัม สามารถคำนวณหาปริมาตรของปลานิลได้ดังนี้

โดยที่ความยาวเฉลี่ยของปลานิลมีค่าเท่ากับ 0.212 เมตร ดังนั้นจำนวนปลาเฉลี่ย 119 ตัว x ความยาวเฉลี่ยของปลานิล 0.212 เมตร มีค่าเท่ากับ 25.228 เมตร

ความกว้างเฉลี่ยของปลานิลมีค่าเท่ากับ 0.118 เมตร ดังนั้นจำนวนปลาเฉลี่ย 119 ตัว x ความยาวเฉลี่ยของปลานิล 0.118 เมตร มีค่าเท่ากับ 14.042 เมตร

ความหนาเฉลี่ยของปลานิลมีค่าเท่ากับ 0.035 เมตร ดังนั้นจำนวนปลาเฉลี่ย 119 ตัว x ความยาวเฉลี่ยของปลานิล 0.035 เมตร มีค่าเท่ากับ 4.165 เมตร

$$\begin{aligned}\text{การหาปริมาตรปลานิล} &= \text{ความยาว (เมตร)} \times \text{ความกว้าง (เมตร)} \times \text{ความหนา (เมตร)} \\ &= 25.228 \text{ เมตร} \times 14.042 \text{ เมตร} \times 4.165 \text{ เมตร} = 1,475.46 \text{ ลูกบาศก์เมตร}\end{aligned}$$

ภาคผนวก จ

การคำนวณความหนาแน่นของดิน สารแขวนลอย ตะกอนดิน พืชและปลาในพื้นที่กรณีศึกษา

ภาคผนวก จ

1. การหาความหนาแน่นของดิน

จากการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้ Soil Core เจาะลงไปดินที่ระดับความลึก 0.15 เมตร Soil Core มีรัศมี 0.0027 เมตร สามารถหาปริมาตร Soil Core ได้จากสูตร

$$\begin{aligned}\text{ปริมาตรภายในของ Soil Core} &\equiv \pi r^2 h \\ &= \pi (2.7^2)(15) \\ &= 343.36 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}\end{aligned}$$

โดย π คือค่าคงที่เท่ากับ 3.14

r คือรัศมีของ Soil Core (เซนติเมตร)

h คือความสูงของดินที่อยู่ใน Soil Core (เซนติเมตร)

เมื่อได้ค่าปริมาตรภายในของ Soil Core สามารถนำไปคำนวณหาความหนาแน่นของดินได้
โดยที่

$$\text{น้ำหนัก Soil Core} = 131.47 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนัก Soil Core+ดิน ก่อนอบ} = 1058.190 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนัก Soil Core+ดิน หลังอบ} = 528.059 \text{ กรัม}$$

จากสูตร

$$\begin{aligned}\text{ความหนาแน่นของดิน} &= \frac{\text{น้ำหนัก Soil Core+ดิน ก่อนอบ} - \text{น้ำหนัก Soil Core+ดิน หลังอบ}}{\text{ปริมาตรภายใน Soil Core}} \\ &= \frac{928.19 \text{ กรัม} - 528.059 \text{ กรัม}}{343.36 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}} \\ &= 1.17 \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร}\end{aligned}$$

2. การหาความหนาแน่นของสารแขวนลอย

จากการเก็บตัวอย่างสารแขวนลอยในน้ำ โดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างน้ำ ในระดับความลึก 2 เมตรสามารถนำค่าที่ได้หาความหนาแน่นของสารแขวนลอยดังนี้

โดยที่

ตัวอย่างที่ 1 มีปริมาตรน้ำ 100 มิลลิลิตร

ถ้วย+กระดาศกรองก่อนอบ (A) 45.4446 กรัม

ถ้วย+กระดาศกรองหลังอบ (B) 45.4470 กรัม

ตัวอย่างที่ 2 ปริมาตรน้ำ 100 มิลลิลิตร

ถ้วย+กระดาศกรองก่อนอบ (A) 41.6306 กรัม

ถ้วย+กระดาศกรองหลังอบ (B) 41.6272 กรัม

การคำนวณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสามารถคิดได้จากสูตรดังนี้

$$\text{ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด} = \frac{(A - B) \times 10^6}{\text{ปริมาตรน้ำ}}$$

$$\text{ตัวอย่างที่ 1 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด} = \frac{(45.4446 - 45.4446) \times 10^6}{100} = 16 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร}$$

$$\text{ตัวอย่างที่ 2 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด} = \frac{(41.6306 - 41.6272) \times 10^6}{100} = 34 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)} &= \frac{16 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} + 34 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร}}{2} \\ &= 25 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} \\ &= 2.5 \times 10^{-5} \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร} \end{aligned}$$

3.การหาความหนาแน่นของตะกอนดิน

การหาความหนาแน่นของตะกอนดิน ใช้วิธี ASTM Method โดยใช้ Soil Core ปักลงไป
ในดินตะกอนดินที่เก็บด้วย Grab Sampler จากนั้น ทำการคำนวณหาปริมาตรของ Soil Core

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของ Soil Core} &= \pi r^2 h \\ &= \pi (2.25^2)(1.5) \\ &= 23.84 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร} \end{aligned}$$

โดย π คือค่าคงที่เท่ากับ 22/7 หรือ 3.14

r คือรัศมีของ Soil Core (เซนติเมตร)

h คือความสูงของตะกอนดินที่อยู่ใน Soil Core (เซนติเมตร)

จากนั้นนำค่าปริมาตรของ Soil Core มาคำนวณหาความหนาแน่นของตะกอนดินแบบแห้ง
จากสูตร

$$\rho_{db} \equiv \frac{M_{ods}}{V_f}$$

โดยที่

ρ_{db} คือค่า Dry-Bulk Density (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

M_{ods} คือน้ำหนักของตัวอย่างดินที่อบแห้ง (กรัม)

V_f คือปริมาตรของ Soil Core (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

แทนค่า

$$\begin{aligned}\rho_{db} &= \frac{52.11 \text{ กรัม} - 46.88 \text{ กรัม}}{23.84 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}} \\ &= 0.22 \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร}\end{aligned}$$

4. การหาความหนาแน่นของพีช

การวิเคราะห์สังคมพืชสามารถดำเนินการกำหนดแปลงตัวอย่างเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลเฉพาะในพื้นที่โดยการสุ่มแบบ Random ใช้ขนาดแปลงตัวอย่าง 1x1 เมตร จำนวน 15 แปลง ภายในแปลงตัวอย่างขนาด 1x1 ตารางเมตร บันทึกข้อมูล ชนิด ความสูง นำข้อมูลที่ได้จากแปลงตัวอย่างขนาด 1x1 เมตร คำนวณความถี่และค่าความหนาแน่นของพันธุ์ไม้แต่ละชนิดได้ดังนี้

$$\text{ความถี่} = \frac{\text{จำนวนแปลงตัวอย่างที่พบพันธุ์ไม้ชนิดนั้นๆ} \times 100}{\text{จำนวนแปลงตัวอย่างทั้งหมด}}$$

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักทั้งหมดของต้นพืชมีมากที่สุดในพื้นที่สุ่ม}}{\text{พื้นที่ที่ทำการสุ่มรวมของแปลงตัวอย่าง}}$$

การหาความหนาแน่นของพีช คำนวณจากพื้นที่ที่ทำการสุ่ม 1x1 ตารางเมตร จำนวน 15 จุด พบปริมาณต้นพุทธรักษาทั้งหมด 173 ต้น

ต้นพุทธรักษา 1 ต้น มีน้ำหนักเฉลี่ย 185.80 กรัม

ต้นพุทธรักษา 173 ต้น มีน้ำหนักเฉลี่ย $185.80 \times 173 = 32143.4$ กรัม

ดังนั้น

$$\begin{aligned}\text{ค่าความหนาแน่นของพีช} &= \frac{\text{น้ำหนักทั้งหมดของพุทธรักษาในพื้นที่ที่สุ่ม}}{\text{พื้นที่ที่ทำการสุ่มรวมของแปลงตัวอย่าง}} \\ &= \frac{32,143.4 \text{ กรัม}}{15 \text{ ตารางเมตร}} \\ &= 0.02 \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร}\end{aligned}$$

5. การหาความหนาแน่นของปลา

การหาความหนาแน่นของปลาในแหล่งน้ำสระแก้ว พบว่าปลาทั้งหมดมีน้ำหนักรวม 4,721 กรัม สามารถนำมาคำนวณหาความหนาแน่นได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ความหนาแน่นปลานิล} &= \frac{\text{น้ำหนักปลาทั้งหมด}}{\text{ปริมาตรปลานิล}} \\
 &= \frac{4,721 \text{ กรัม}}{1,475.46 \text{ ลูกบาศก์เมตร}} \\
 &= 3.20 \times 10^{-6} \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร}
 \end{aligned}$$

ภาคผนวก จ

การคำนวณปริมาณออร์แกนิกคาร์บอนในดิน ตะกอนดินและ สารแขวนลอยในพื้นที่กรณีศึกษา

ภาคผนวก จ

1. การหาปริมาณออร์แกนิกคาร์บอนในดิน

การหาปริมาณออร์แกนิกคาร์บอนในดิน โดยใช้เครื่อง Total Organic Carbon Analyzer รุ่น Phoenix 8000 ดังแสดงในภาพที่ 21 ขั้นตอนการคำนวณมีดังนี้

1.1 เตรียมสาร Sucrose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) Molecular Weight เท่ากับ 342.3 กรัม, สาร Sucrose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) มีคาร์บอนจำนวน 12 ตัว มีน้ำหนักเท่ากับ 144 กรัม

$$\text{การทดลองครั้งที่ 1 ใช้ Sucrose 0.4 มิลลิกรัม} = \frac{0.4 \text{ มิลลิกรัม} \times 0.144 \text{ มิลลิกรัม} \times 1000}{0.342 \text{ มิลลิกรัม}}$$

$$= 168.42 \text{ กรัม}$$

$$\text{การทดลองครั้งที่ 2 ใช้ Sucrose 1.1 มิลลิกรัม} = \frac{1.1 \text{ มิลลิกรัม} \times 0.144 \text{ มิลลิกรัม} \times 1000}{0.342 \text{ มิลลิกรัม}}$$

$$= 463.16 \text{ กรัม}$$

$$\text{การทดลองครั้งที่ 3 ใช้ Sucrose 1.8 มิลลิกรัม} = \frac{1.8 \text{ มิลลิกรัม} \times 0.144 \text{ มิลลิกรัม} \times 1000}{0.342 \text{ มิลลิกรัม}}$$

$$= 757.89 \text{ กรัม}$$

นำข้อมูลที่ได้ป้อนลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำงานร่วมกับเครื่อง Total Organic Carbon โดยน้ำหนักและค่าของ Sucrose ในการทำ Standard Curve อ่านได้สูงสุดที่ 800 ไมโครกรัม คาร์บอน ค่าที่อ่านได้สามารถเทียบกับตารางที่ 16 ได้ดังนี้

ตารางที่ 16 ค่า Standard Curve ของสาร Sucrose

Sucrose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) HPLC Grade (มิลลิกรัม; mg)	ไมโครกรัม คาร์บอน($\mu\text{g C}$)
0.02	10
0.05	20
0.12	50
0.17	70
0.24	100
0.36	150
0.48	200
0.59	250
0.71	300
0.85	350
0.95	400
1.01	450
1.19	500
1.31	550
1.43	600
1.54	650
1.66	700
1.90	800

1.2 การหาค่าไมโครกรัมคาร์บอน ($\mu\text{g C}$) โดยทำการเตรียมจาก Sucrose ใช้ค่า 2.375 มิลลิกรัม เป็นน้ำหนัก Sucrose ทำการชั่ง ตรวจสอบค่า Total Organic Carbon (TOC) ไม่เกิน 800 $\mu\text{g C}$ จากนั้นชั่งตัวอย่างดิน 2.8 กรัม ใส่ Boat Sampler ดังแสดงในภาพที่ 20 นำเข้าเครื่อง Total Organic Carbon เปรียบว่ามีค่า Total Carbon (TC) เท่ากับ 39.7031 $\mu\text{g C}$

1.3 ทำการทดลองจริง

1.3.1 ชั่งตัวอย่างดินน้ำหนัก 6.4 มิลลิกรัม นำเข้าเครื่อง Total Organic Carbon ได้ค่า Total Carbon เท่ากับ 92.7132 $\mu\text{g C}$

1.3.2 จากนั้นชั่งตัวอย่างดิน 5.4 มิลลิกรัม นำไปหยดกรด HNO_3 มีค่า Organic Carbon (OC) เท่ากับ 86.0584 $\mu\text{g C}$

1.3.3 ชั่งตัวอย่างดิน 7.9 มิลลิกรัม นำไปหยดกรด HNO_3 มีค่า Organic Carbon (OC) เท่ากับ 110.7795 $\mu\text{g C}$

1.4 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ ของ Organic Carbon (OC)

ตัวอย่างดิน 5.4×10^3 ไมโครกรัม มีค่า Organic Carbon เท่ากับ 86.0584 $\mu\text{g C}$

ตัวอย่างดิน 100 ไมโครกรัม มีค่า Organic Carbon เท่ากับ $\frac{86.0584 \times 100}{5.4 \times 10^3} = 1.594 \%$

ตัวอย่างดิน 7.9×10^3 ไมโครกรัม มีค่า Organic Carbon เท่ากับ 110.7795 $\mu\text{g C}$

ตัวอย่างดิน 100 ไมโครกรัม มีค่า Organic Carbon เท่ากับ $\frac{110.7795 \times 100}{7.9 \times 10^3} = 1.402 \%$

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\frac{1.594 \% + 1.402 \%}{2} = 1.48 \%$

2

2. การหาปริมาณออร์แกนิกคาร์บอนในตะกอนดิน

2.1 การตรวจสอบค่า Total Carbon (TC) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างตะกอนดินที่ผ่านการผึ่งให้แห้งหนัก 6.7 มิลลิกรัม วิเคราะห์โดยนำเข้าเครื่อง Total Organic Carbon มีค่า Total Carbon เท่ากับ 151.9835 $\mu\text{g C}$

2.2 ทำการวิเคราะห์

2.2.1 ชั่งตัวอย่างตะกอนดิน 6.4 มิลลิกรัม นำไปหยดกรด HNO_3 มีค่า Organic Carbon (OC) เท่ากับ 125.8391 $\mu\text{g C}$

2.2.2 ชั่งตัวอย่างตะกอนดิน 6.3 มิลลิกรัม นำไปหยดกรด HNO_3 มีค่า Organic Carbon (OC) เท่ากับ 143.3274 $\mu\text{g C}$

2.3 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ ของ Organic Carbon (OC)

ตัวอย่างดิน 6.4×10^3 ไมโครกรัม มีค่า Organic Carbon เท่ากับ 125.8391 $\mu\text{g C}$

ตัวอย่างดิน 100 ไมโครกรัม มีค่า Organic Carbon เท่ากับ $\frac{125.8391 \times 100}{6.4 \times 10^3} = 1.966 \%$

ตัวอย่างดิน 6.3×10^3 ไมโครกรัม มีค่า Organic Carbon เท่ากับ 143.3274 $\mu\text{g C}$

ตัวอย่างดิน 100 ไมโครกรัม มีค่า Organic Carbon เท่ากับ $\frac{143.3274 \times 100}{6.3 \times 10^3} = 2.275 \%$

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\frac{1.966 \% + 2.275 \%}{2} = 2.13 \%$

2

3. การหาปริมาณออร์แกนิกคาร์บอนในสารแขวนลอย

3.1 การตรวจสอบค่า Total Carbon (TC) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างสารแขวนลอยที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษ GF/F (Whatman, 25 มิลลิเมตร) ในกรวยบุคเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องสูญญากาศ ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกแล้วเปิดเครื่องดูดอากาศเพื่อให้กระดาษกรองแนบติดกับกรวยบุคเนอร์ ตวงปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ผสมเข้ากันดีแล้ว 50-100 มิลลิลิตร แล้วเทน้ำตัวอย่างลงในกรวยบุคเนอร์ แล้วเปิดเครื่องดูดสูญญากาศจนน้ำแห้ง แล้วล้างเครื่องกรองด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เปิดเครื่องทิ้งไว้ 3 นาที เมื่อแห้งแล้วนำกระดาษกรองออกวางในภาชนะเดิม แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในดีสิคเคเตอร์ ของแข็งที่กรองได้สามารถนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดพบว่ามือน้ำหนัก 6.0 มิลลิกรัม วิเคราะห์โดยนำเข้าเครื่อง Total Organic Carbon มีค่า Total Carbon เท่ากับ 149.9456 $\mu\text{g C}$

3.2 ทำการวิเคราะห์

3.2.1 ชั่งตัวอย่างสารแขวนลอย 6.2 มิลลิกรัม นำไปหยดกรด HNO_3 มีค่า Organic Carbon (OC) เท่ากับ 110.5529 $\mu\text{g C}$

3.2.2 ชั่งตัวอย่างสารแขวนลอย 6.0 มิลลิกรัม นำไปหยดกรด HNO_3 มีค่า Organic Carbon (OC) เท่ากับ 100.2094 $\mu\text{g C}$

3.3 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ ของ Organic Carbon (OC)

สารแขวนลอย 6.2×10^3 ไมโครกรัม มีค่า Organic Carbon เท่ากับ 120.5529 $\mu\text{g C}$

สารแขวนลอย 100 ไมโครกรัมมีค่า Organic Carbon เท่ากับ $\frac{120.5529 \times 100}{6.2 \times 10^3} = 1.944 \%$

ตัวอย่างดิน 6.0×10^3 ไมโครกรัม มีค่า Organic Carbon เท่ากับ 114.2094 $\mu\text{g C}$

ตัวอย่างดิน 100 ไมโครกรัม มีค่า Organic Carbon เท่ากับ $\frac{114.2094 \times 100}{6.0 \times 10^3} = 1.903 \%$

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยสารแขวนลอยเท่ากับ $\frac{1.944 \% + 1.903 \%}{2} = 1.92 \%$

ภาคผนวก ข

การคำนวณปริมาณไขมันของพืชและปลาในพื้นที่กรณีศึกษา

ภาคผนวก ข

1. การวิเคราะห์ปริมาณไขมันปลา (ปลานิล)

การทดลองนี้ใช้ปลานิลเป็นตัวอย่างวิเคราะห์ เนื่องจากเป็นชนิดปลาที่พบมากที่สุดในพื้นที่แหล่งน้ำการศึกษา โดยผลการทดลองมีดังนี้

โดยที่

น้ำหนักตัวอย่าง 7.9051 กรัม

น้ำหนักบีกเกอร์ก่อนทดลอง 50.4930 กรัม

น้ำหนักบีกเกอร์หลังทดลอง 50.5075 กรัม

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาณไขมัน

จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณไขมัน} &= \frac{\text{น้ำหนักบีกเกอร์หลังทดลอง} - \text{น้ำหนักบีกเกอร์ก่อนทดลอง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \\ &= \frac{(50.5075 - 50.4930) \times 100}{7.9051} = 0.1834 \% \text{ น้ำหนักสด} \end{aligned}$$

จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของความชื้นของเนื้อปลานิลสด

โดยที่

น้ำหนักเนื้อปลานิล 1.3874 กรัม

น้ำหนักถ้วย+ปลานิลก่อนอบ 87.8776 กรัม

น้ำหนักถ้วย+ปลานิลหลังอบ 78.0763 กรัม

มีน้ำอยู่ 87.8776 กรัม - 78.0763 กรัม = 9.0813 กรัม

การคำนวณหาความชื้น

น้ำหนักปลา	1.3874 กรัม	มีน้ำอยู่	9.0813	กรัม
น้ำหนักปลา	100 กรัม	มีน้ำอยู่	$\frac{9.0813 \times 100}{1.3874}$	= 65.45 กรัม

ดังนั้นเนื้อปลานิลมี 100 กรัม มีน้ำเป็นองค์ประกอบ 65.45 กรัม และมีเนื้อปลา 34.55 กรัม ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาปริมาณไขมันที่มีอยู่ในเนื้อปลาได้ดังนี้

น้ำหนักปลาสด	7.9051 กรัม	มีไขมันอยู่	0.1834 %
น้ำหนักปลาสด	34.55 กรัม	มีไขมันอยู่	$\frac{0.1834\% \times 34.55}{7.9051} = 0.8016 \%$

2. การวิเคราะห์ปริมาณไขมันพืช (พืชรักษา)

จากผลการทดลองสิริพร บริรักษ์วิสุทธิศักดิ์ (2549) ได้ทำการศึกษาหาปริมาณไขมันของ พืชรักษาแต่ละส่วนคือ ราก เหง้าและลำต้น พบว่าตัวอย่างพืชรักษาจำนวน 2 กรัม มีปริมาณ ไขมัน 0.85%, 1.62% และ 0.27% ตามลำดับ ซึ่งจากการสุ่มชั่งน้ำหนักพืชรักษาจำนวน 20 ต้น พบว่ามีน้ำหนักเฉลี่ย 185.5 กรัม โดยมีส่วนที่เป็นรากมีน้ำหนักเฉลี่ย 25.97 กรัม ส่วนที่เป็นเหง้ามี น้ำหนักเฉลี่ย 50.93 กรัม และลำต้นมีน้ำหนักเฉลี่ย 82.90 กรัม เมื่อคือน้ำหนักต่อต้นจะพบว่ารากมี น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 1.2985 กรัม เหง้ามีน้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 2.5465 กรัมและลำต้นมี น้ำหนักเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 4.1450 กรัม จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณไขมันในแต่ละส่วนดังนี้ โดยที่

ราก 2 กรัม มีปริมาณไขมันสะสม 0.85 %

เหง้า 2 กรัม มีปริมาณไขมันสะสม 1.62%

ลำต้น 2 กรัม มีปริมาณไขมันสะสม 0.27%

ต้นพืชรักษามีน้ำหนักโดยเฉพาะ 9.275 กรัม (100%) ดังนั้นคิดเป็นน้ำหนักเฉลี่ยของ รากเท่ากับ 14% ของน้ำหนักทั้งหมด ส่วนเหง้าเท่ากับ 27.95% ของน้ำหนักทั้งหมด และส่วนลำต้น เท่ากับ 44.69% ของน้ำหนักทั้งหมด จากนั้นนำไปหาปริมาณไขมันทั้งหมดของพืชรักษาดังนี้

$$\text{ราก คิดเป็น 14\% ของน้ำหนักทั้งหมดมีปริมาณไขมัน } \frac{0.85 \% \times 14\%}{100} = 0.12\%$$

$$\text{เหง้า คิดเป็น 27.45\% ของน้ำหนักทั้งหมดมีปริมาณไขมัน } \frac{1.62 \% \times 27.45\%}{100} = 0.44\%$$

$$\text{ลำต้น คิดเป็น 44.65\% ของน้ำหนักทั้งหมดมีปริมาณไขมัน } \frac{0.27 \% \times 44.65\%}{100} = 0.12\%$$

$$\text{ดังนั้นพืชรักษาทั้งต้นมีปริมาณไขมันเท่ากับ } 0.12\% + 0.44\% + 0.12\% = 0.68\%$$

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล
ที่อยู่

นางสาวโนมสุดา โสมกุล
50/151 หมู่ 4 ตำบลท่าตลาด อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม 73110
โทรศัพท์ 084-1604679, 087-7692209, 034-225389
E-mail address : chomsuda@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2547	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะสัตวศาสตร์และ เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2549	ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติการฝึกงานและอบรม

พ.ศ. 2549	ผ่านการอบรม Cleaner Technology Assessment Seminar and Internship Program จัดโดย Mahidol University & National Metal and Materials Technology Center
พ.ศ. 2549	ศึกษาดูงานที่โรงงานอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง ในส่วนการจัดการน้ำเสีย จัดโดยสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2549	ศึกษาดูงานที่โรงงานแป่งมันบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี ในส่วนระบบบำบัดน้ำเสียของระบบ UASB จัดโดยสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2549	ผ่านการอบรม เรื่องการจัดการน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมของโครงการเสริมสร้างศักยภาพการจัดการสิ่งแวดล้อมให้แก่โรงงานอุตสาหกรรม จัดโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและกรมควบคุมมลพิษ
พ.ศ. 2550	ผ่านการอบรม (ร่าง) กฎกระทรวงว่าด้วยหลักเกณฑ์วิธีการจัดเก็บสถิติข้อมูลแบบของการจัดทำบันทึกรายละเอียด และรายงานสรุปผลการทำงานของระบบบำบัดมลพิษ ตามมาตรา 80 จัดโดยกรมควบคุมมลพิษ

พ.ศ. 2550 ผ่านการอบรมการจัดการจัดทำระบบ HACCP ในโรงงานอุตสาหกรรม
อาหารโครงการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าอาหารคุณภาพด้วย
Supply chain Management ของสถาบันอาหาร ภายใต้แผนแม่บทการเพิ่ม
ประสิทธิภาพ และผลิตภาพของภาคอุตสาหกรรม สำนักงานเศรษฐกิจ
อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมจัดโดยสถาบันอาหาร