อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด

การศึกษาการแบ่งวัฏภาคของสารไตรคลอโรเอทธิลีน ในหญ้าแฝก เพื่อประเมินศักยภาพการตรวจวัดสารปนเปื้อนด้วยพืช

Examining Fate of Trichloroethylene in Vetiver grass as an Indicator of using Vetiver for Phytoscreening

นางสาวฐิติพร พลัดบุญ รหัส 54361688

นางสาววราภร มณีขูเกตุ รหัส 54365471

นางสาววราพรรณ จันทแพน รหัส 54365488

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 11 ต.ค. 2560
เลขทะเบียน 1.9195680
เลขเรียกหนังสือ
จ 391 ก
2557

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2557

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การศึกษาการแบ่งวัฏภาคของสารไตรคลอโรเอทธิลีน ใน หญ้าแฝกเพื่อประเมินศักยภาพการตรวจวัดสารปนเปื้อนด้วยพืช			
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวฐิติพร	พลัดบุญ	รหัส	54361688
	นางสาววรากร	มณีชูเกตุ	รหัส	54365471
	นางสาววราพรรณ	จันทแพน	รหัส	54365488
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. ธนพล เพ็ญรัตน์			
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม			
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา			
ปีการศึกษา	2557			

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ดร. ธนพล เพ็ญรัตน์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ อำพล เตโชวาณิชย์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การศึกษาการแบ่งวัฏภาคของสารไตรคลอโรเอทธิลีนใน หญ้าแฝกเพื่อประเมินศักยภาพการตรวจวัดสารปนเปื้อนด้วยพืช		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวฐิติพร	พลัดบุญ	รหัส 54361688
	นางสาววรากร	มณีชูเกตุ	รหัส 54365471
	นางสาววราพรรณ	จันทแพน	รหัส 54365488
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. ธนพล	เพ็ญรัตน์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2557		

.....

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้มีการนำหญ้าแฝกเพื่อศึกษากระบวนการบำบัดสารไตรคลอโรเอทธิลีน (TCE) ที่ปนเปื้อนในดินและน้ำ กระบวนการทำงานของพืชในการบำบัดสาร TCE โดยทำการทดลองปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์สงขลา 3 ปลูกในระบบปิดทั้งในดินและน้ำที่มีการปนเปื้อนของสาร TCE ในช่วงระยะเวลาต่างๆ หญ้าแฝกที่ทำการทดลองปลูกในดินที่ปนเปื้อนสาร TCE ที่ความเข้มข้น 100 และ10 ppm. ในช่วงระยะเวลา 14,21 และ 28 วัน หญ้าแฝกสามารถเคลื่อนย้ายสาร TCEเข้าไปอยู่ส่วนต่างๆของพืชได้และมีปริมาณการสะสมสาร TCE มากที่สุดในส่วนของใบ รองลงมาคือลำต้นและรากตามลำดับ หญ้าแฝกที่ทดลองปลูกในน้ำที่ปนเปื้อนสาร TCE ที่ความเข้มข้น 100 และ10 ppm. ในช่วงระยะเวลา 14,21 และ 28 วัน หญ้าแฝกสามารถเคลื่อนย้ายสาร TCE เข้าไปอยู่ส่วนต่างๆของพืชได้และมีปริมาณการสะสมสาร TCE มากที่สุดในส่วนลำต้น รองลงมาคือส่วนรากและใบ ตามลำดับ โดยปริมาณสาร TCE ที่สะสมในส่วนต่างๆของหญ้าแฝกนั้น มีค่าไม่เกิน 0.012 mg ซึ่งถ้าปริมาณสาร TCE มีการสะสมมากกว่านี้ หญ้าแฝกจะไม่สามารถเก็บสะสมไว้ในเนื้อเยื่อได้ การทดลองความสามารถเคลื่อนย้ายสาร TCE สะสม และย่อยสลายสาร TCE พบว่า หญ้าแฝกที่ปลูกในดินในช่วงระยะเวลา 14,21 และ 28 วัน มีการสูญหายของสาร TCE ในระบบ คือ 96.94%,96.78% และ 97.41% ตามลำดับ หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำ ในช่วงระยะเวลา 14,21 และ 28 วัน มีการสูญหายของสาร TCE ในระบบ คือ 96.83%,97.19% และ 98.21% ตามลำดับ

เนื่องจากการศึกษานี้ได้มีการตรวจวัดเฉพาะสาร TCE เท่านั้นซึ่งอาจมีสาร TCE บางส่วนเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบชนิดอื่น อาจทำการเปลี่ยนรูปของสาร TCE ให้เป็นสารอื่นเช่น dichloroacetic acid, trichloroacetic และ trichloroethanol หรือทำการระเหยออกมาเป็นไอผ่านทางปากใบโดยผ่านกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์และพืช ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาใช้หญ้าแฝกเป็นพืชทางเลือกในการบำบัดสาร TCE ที่ปนเปื้อนในพื้นที่ได้

Project title	Examining Fate of Trichloroethylene in Vetiver grass as an Indicator of using Vetiver for Phytoscreening		
Name	Ms. Thitiporn	Pludboon	ID. 54361688
	Ms. Warakorn	Maneechuket	ID. 54365471
	Ms. Waraphan	Janthaphaen	ID. 54365488
Project advisor	Dr. Tanapon	Phenrat	
Major	Environmental Egineering		
Department	Civil Egineering		
Academic year	2015		

Abstract

This project studies the treatment process of contamination of tri-chloro ethylene (TCE) in soil and water using Vetiver grass. Songkhla3 Vetiver grass were planted in a closed system consisted of 100ppm and 10ppm TCE contaminated soil and water. Samples of Vetiver grass were collected to extract the existing TCE at 14, 21 and 28 days of experiment.

In soil, the results show Vetiver grass can accumulate TCE into their leaves in the highest level followed by trunks and roots. While Vetiver grass which were planted in TCE contaminated water had more TCE accumulated in their whole tissue and the highest TCE concentration was found in trunks, roots and leaves, respectively.

The concentration of TCE that accumulate in every parts of Vetiver grass was not more than 0.012 mg, During the period 14.21, and 28 days with the loss of TCE in soil were 96.94%,96.78% and 97.41%, respectively and 96.83%,97.19% and 98.21% were presented in the experiments of water contamination.

TCE transformation products can be other non-toxic substances for example dichloroacetic acid, trichloroacetic and trichloroethanol or evaporates as vapor through stomata, through the activities of microorganisms and plants decompose. The results obtained from this study can be used as consideration in the grass as effective option for TCE remediation and monitoring in the region.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ธนพล เพ็ญรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานซึ่งได้ช่วยเหลือให้ความรู้ ให้คำแนะนำในการทำโครงงาน และเป็นที่ปรึกษาตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆจนทำให้โครงงานนี้เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน รวมถึงบุคลากรในศูนย์วิจัยอุทยานภาคเหนือตอนล่าง ที่ให้คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษา ตลอดจนอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ตลอดมา และขอขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่ที่ได้ช่วยสนับสนุน และให้กำลังใจในการทำโครงงานนี้ตลอดมา

คณะผู้จัดทำขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างสูง สำหรับทุกท่านที่มีส่วนในการทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทั้งที่กล่าวนามมาแล้ว และยังไม่ได้กล่าวนามมาข้างต้น คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจไม่มากก็น้อย ถ้ามีสิ่งที่ขาดตกบกพร่องหรือผิดพลาดประการใดก็ขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม

นางสาวฐิติพร พลัดบุญ
นางสาววรากร มณีชูเกตุ
นางสาววราพรรณ จันทแพน

พฤษภาคม 2557

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญภาพ ..... ฌ
สารบัญกราฟ ..... ญ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3
1.6 แผนการดำเนินงาน 3
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 4
2.1 เทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพ 4
2.1.1 Ex situ Technology 4
2.1.2 In situ Technology 4
2.2 ลักษณะของเทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพ 5
2.2.1 กระบวนการบำบัดสารปนเปื้อนด้วยพืช (Phytoremediation) 7
2.2.2 กระบวนการตรวจสอบวัดสารปนเปื้อนด้วยพืช (Phytochemical screening) 8
2.3 ลักษณะทางพฤษาศาสตร์ 9
2.4 สารไตรคลอโรเอทธิลีน (trichloroethylene) 10
2.4.1 การปนเปื้อนของสารไตรคลอโรเอทธิลีนลงสู่สิ่งแวดล้อม 10
2.4.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารไตรคลอโรเอทธิลีน 11
2.4.3 กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของสารไตรคลอโรเอทธิลีนในพืช 12
2.4.4 อันตรายจากสารไตรคลอโรเอทธิลีน 13
2.5 การคำนวณค่า Translocation factor (TF) ของสารไตรคลอโรเอทธิลีน 13
2.6 การคำนวณค่า % removal ของสารไตรคลอโรเอทธิลีน 14

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินวิจัย17
3.1 กรอบแนวคิดงานวิจัย..... 15
3.2 แผนปฏิบัติการและระยะเวลาในการดำเนินโครงการวิจัย..... 15
3.3 รายละเอียดการทดลอง..... 16
3.3.1 การวางแผนการทดลอง..... 16
3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมดินและน้ำก่อนการทดลอง..... 17
3.3.3 ขั้นตอนการทดลอง..... 18
3.3.4 ขั้นตอนการทดลอง (ในดิน)..... 19
3.3.5 ขั้นตอนการทดลอง (ในน้ำ)..... 22
3.3.6 ขั้นตอนการสกัดด้วยวิธี Hot Methanol และวิเคราะห์ตัวอย่าง..... 24

บทที่ 4 ผลการทดลอง..... 26
4.1 Calibration Curve ของสาร Trichloroethylene ที่สะสมในใบ..... 27
ลำต้น ราก ดิน น้ำ และแก๊ส
4.2 ผลการศึกษาการบำบัดสาร Trichloroethylene ของหญ้าแฝกในดินที่ปนเปื้อน.... 30
4.2.1 ผลการศึกษาการบำบัดสาร TCE ของหญ้าแฝกในดินที่ปนเปื้อน..... 30
สาร TCE เข้มข้น 100 ppm (มีสาร TCE 10 mg ในน้ำ 100ml)
4.2.2 ผลการศึกษาการบำบัดสาร TCE ของหญ้าแฝกในดินที่ปนเปื้อน..... 32
สาร TCE เข้มข้น 10 ppm (มีสาร TCE 1 mg ในน้ำ 100ml)
4.3 ผลการศึกษาการบำบัดสาร Trichloroethylene ของหญ้าแฝกในน้ำที่ปนเปื้อน..... 34
4.3.1 ผลการศึกษาการบำบัดสาร TCE ของหญ้าแฝกในน้ำที่ปนเปื้อน..... 34
สาร TCE เข้มข้น100 ppm (มีสาร TCE 25 mg ในน้ำ 250ml)
4.3.2 ผลการศึกษาการบำบัดสาร TCE ของหญ้าแฝกในน้ำที่ปนเปื้อน..... 36
สาร TCE เข้มข้น 10 ppm (มีสาร TCE 2.5 mg ในน้ำ 250ml)
4.4 ผลการศึกษาการบำบัดสาร Trichloroethylene ของหญ้าแฝก..... 38
ในดินและน้ำที่ปนเปื้อน
4.5 การเปรียบเทียบปริมาณการสะสมของสาร TCE ที่ความเข้มข้น..... 39
100 ppm และ 10 ppm ทั้งในดินและน้ำ ของส่วนต่างๆของหญ้าแฝก
4.5.1 การสะสมของสาร TCE ที่ตรวจพบในส่วนของใบ..... 39
4.5.2 การสะสมของสาร TCE ที่ตรวจพบในส่วนของลำต้น..... 39
4.5.3 การสะสมของสาร TCE ที่ตรวจพบในส่วนของราก..... 40
4.5.4 การสะสมของสาร TCE ที่ตรวจพบในส่วนของดินและน้ำ..... 40
4.5.5 การสะสมของสาร TCE ที่ตรวจพบในส่วนของแก๊ส..... 41
4.6 เปรียบเทียบคุณสมบัติการเคลื่อนย้าย และการสะสมของสาร TCE..... 42
ในส่วนต่างๆของหญ้าแฝก

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... 44

5.1 สรุปผลการทดลอง..... 44

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 45

บรรณานุกรม..... 46

ภาคผนวก..... 47

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แผนการดำเนินงาน..... 3
2.1 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อจำกัดของเทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพ..... 6
2.2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารไตรคลอโรเอทธิลีน..... 11
3.1 แผนปฏิบัติการและระยะเวลาในการดำเนินโครงการวิจัย..... 15
4.1 แสดงปริมาณสาร TCE ในส่วนต่างๆ (mg) ในการปลูกหญ้าแฝกในดิน..... 30
ที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 100 ppm
4.2 แสดงปริมาณการสะสมของสาร TCE ในส่วนต่างๆ (mg) ในการปลูกหญ้าแฝก..... 34
ในดินที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 10 ppm
4.3 แสดงปริมาณการสะสมของสาร TCE ในส่วนต่างๆ (mg) ในการปลูกหญ้าแฝก..... 34
ในน้ำที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 100 ppm
4.4 แสดงปริมาณการสะสมของสาร TCE ในส่วนต่างๆ (mg) ในการปลูกหญ้าแฝก..... 36
ในน้ำที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 10 ppm

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงขั้นตอนการดาเนินงาน	2
2.1 แสดงกระบวนการ phytoremediation	7
2.2 แสดงกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของสารไตรคลอโรเอทธิลีนในพืช	12
3.1 ดินที่ใช้ทำการทดลอง	17
3.2 น้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้ว	17
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	18
3.4 หญ้าแฝกที่นำมาทำการทดลอง	19
3.5 นำต้นหญ้าแฝกใส่ในขวดรูปชมพู่	19
3.6 (ก) สารที่ใช้ในความเข้มข้นต่างๆ	20
3.6 (ข) เติมสารที่ใช้ในการศึกษา ตามความเข้มข้นที่กำหนด	20
3.7 นำปูนปลาสเตอร์ปิดบริเวณปากขวดรูปชมพู่	20
3.8 นำขวดทดลองใส่ลงไปใน Reactor	21
3.9 หญ้าแฝกที่นำมาทำการทดลอง	22
3.10 นำปูนปลาสเตอร์ปิดบริเวณปากขวดรูปชมพู่	22
3.11 เติมสารที่ใช้ในการศึกษา	23
3.12 นำขวดทดลองใส่ลงไปใน Reactor	23
3.13 การชั่งน้ำหนักหญ้าแฝก	24
3.14 การสกัดด้วยวิธี Hot Methanol	24
3.15 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)	25
3.16 เครื่อง Gas Chromatography	25

สารบัญกราฟ

กราฟที่ หน้า

4..1 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในใบ..... 27

4.2 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในลำต้น..... 27

4.3 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในราก..... 28

4.4 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในดิน..... 28

4.5 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในน้ำ..... 29

4.6 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในแก๊ส..... 29

4.7 แสดงการเปรียบเทียบสาร TCE ที่ช่วงระยะเวลาต่างๆ (ในดิน 100 ppm)..... 30

4.8 แสดงปริมาณของสาร TCE ที่สะสม (%) อยู่ในส่วนต่างๆของหญ้าแฝกที่ปลูก..... 31
ในดินที่ความเข้มข้นของสาร TCE 100 ppm

4.9 แสดงการเปรียบเทียบสาร TCE ที่ระยะเวลาต่างๆ (ในดิน 10 ppm)..... 32

4.10 แสดงปริมาณของสาร TCE ที่สะสม (%) อยู่ในส่วนต่างๆของหญ้าแฝก..... 33
ที่ปลูกในดินที่ความเข้มข้นของสารTCE 10 ppm

4.11 แสดงการเปรียบเทียบสาร TCE ที่ระยะเวลาต่างๆ (ในน้ำ 100 ppm)..... 34

4.12 แสดงปริมาณของสาร TCE ที่สะสม (%) อยู่ในส่วนต่างๆของหญ้าแฝก..... 35
ที่ปลูกในน้ำที่ความเข้มข้นของสาร TCE 100 ppm

4.13 แสดงการเปรียบเทียบสาร TCE ที่ระยะเวลาต่างๆ (ในน้ำ 10 ppm)..... 36

4.14 แสดงปริมาณของสาร TCE ที่สะสม (%) อยู่ในส่วนต่างๆของหญ้าแฝก..... 37
ที่ปลูกในน้ำที่ความเข้มข้นของสาร TCE 10 ppm

4.15 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด (%) ของดินและน้ำที่ความเข้มข้น 10 และ 100 ppm..... 38

4.16 แสดงปริมาณสาร TCE (แกน Y) ที่สะสมไว้ในใบของหญ้าแฝก..... 39
ที่ระยะเวลาต่างๆ (แกน X)

4.17 แสดงปริมาณสาร TCE (แกน Y) ที่สะสมไว้ในลำต้นของหญ้าแฝก..... 39
ที่ระยะเวลาต่างๆ(แกน X)

4.18 แสดงปริมาณสาร TCE (แกน Y) ที่สะสมไว้ในรากของหญ้าแฝก..... 40
ที่ระยะเวลาต่างๆ (แกน X)

4.19 แสดงปริมาณสาร TCE (แกน Y) ที่สะสมไว้ในดินและน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ (แกน X)..... 40

4.20 แสดงปริมาณสาร TCE (แกน Y) ที่สะสมในแก๊สที่ระยะเวลาต่างๆ (แกน X)..... 41

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

TCE	=	Trichloroethylene
ppm	=	part per million
TF	=	translocation factor from soil to shoot
CS	=	The concentration of contaminants in the soil
C_{sh}	=	The concentration of the trunk
C_R	=	The concentration of the rhizosphere.

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

"ปัญหาต่างๆ เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมอันเนื่องมาจากมลพิษหรือความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติไม่ว่าจะเกิดขึ้นในที่หนึ่งที่ใดก็ตาม" ย่อมส่งผลกระทบต่อเนื่องไปถึงที่อื่นๆด้วยเหตุนี้ทุกคนทุกประเทศในโลกจึงย่อมมีส่วนรับผิดชอบอยู่ด้วยกัน ทั้งในการแก้ไข ลดปัญหา แลปรับปรุงสร้างเสริมสภาวะแวดล้อมให้กลับคืนมาสู่สภาพอันเอื้อต่อการมีชีวิตอยู่อย่างเป็นสุขของตนเองและเพื่อนมนุษย์"

พระราชดำรัสพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว พระราชทานเพื่อเชิญลงพิมพ์ในหนังสือที่ระลึกในพิธีรับมอบเรือขจัดคราบน้ำมันซึ่งรัฐบาลเดนมาร์กน้อมเกล้าฯ ถวายวันพุธที่ 20 พฤศจิกายน พุทธศักราช 2539 แสดงให้เห็นว่าพระองค์ให้ความสำคัญในเรื่องของการป้องกันและแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมจากมลพิษที่กระทบทั้งคุณภาพชีวิต เศรษฐกิจ และสังคมของคนในชาติ ซึ่งสอดคล้องกับพระราชดำริในการพัฒนา และรณรงค์การใช้หญ้าแฝกเพื่ออนุรักษ์ดินและน้ำตลอดมา ประเด็นการอนุรักษ์ดินและน้ำนี้นอกจากจะทรงหมายถึงการปลูกหญ้าแฝกเพื่อป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน และช่วยฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดินแล้ว ยังทรงหมายถึงการจัดการปัญหาการปนเปื้อนสารพิษอันตรายด้วยระบบหญ้าแฝก ดังจะขออัญเชิญพระราชดำริกับ ฯพณฯ นายอำพล เสนาณรงค์ องคมนตรี และคณะกรรมการบริหารสภาวิจัยแห่งชาติ และคณะวิจัย ณ ศาลาเริง วังไกลกังวลอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เมื่อวันที่ วันที่ 22 พฤศจิกายน 2545 สรุปความว่า

"หญ้าแฝกเป็นพืชเอนกประสงค์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างแพร่หลาย นอกจากคุณประโยชน์หลักของหญ้าแฝกที่ใช้ปลูกเพื่อป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน และช่วยฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดินแล้ว รากของหญ้าแฝกที่แผ่หยั่งลึกลงไปในดินยังช่วยดูดซับสารพิษที่ปนเปื้อนมากับน้ำที่ไหลผ่าน" (สำนักงาน กปร. (2554))

ด้วยตระหนักถึงความสำคัญของพระราชดำริดังกล่าวข้างต้นในการใช้ระบบหญ้าแฝกในการสนับสนุนการพัฒนาที่ยั่งยืน การฟื้นฟูและสงวนรักษาทรัพยากรธรรมชาติ และคุณภาพชีวิตของประชาชนที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนสารอันตราย (ดร.ธนพล เพ็ญรัตน์ (2012))

โครงงานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาวิธีแก้ไขปัญหาและป้องกันเฝ้าระวังเพื่อที่จะลดการปนเปื้อนนี้ด้วยกลไกการทำงาน Phytotechnology ที่ใช้พืชแทนการบำบัด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสาร Trichloroethylene และการแบ่งวัฏภาคสาร Trichloroethylene ในหญ้าแฝก เพื่อประเมินศักยภาพการตรวจวัดสารสารปนเปื้อนด้วยพืช (Phytoscreening)

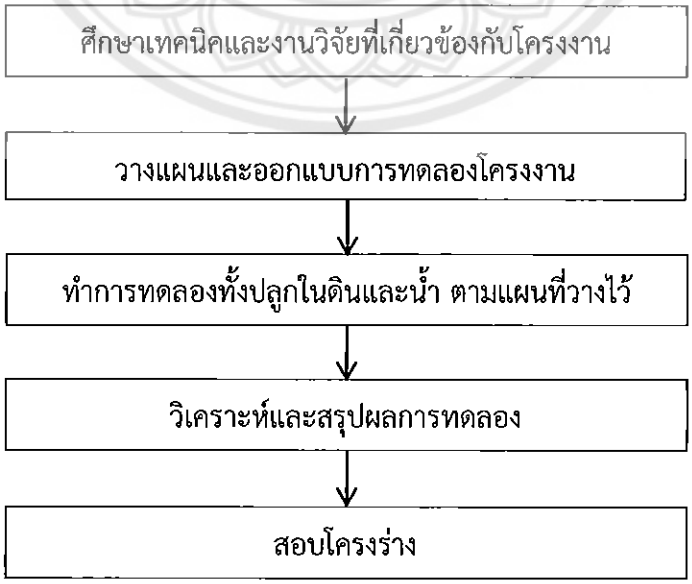
1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดระหว่างที่ปลูกในดินและน้ำที่ปนเปื้อนสาร Trichloroethylene สามารถบำบัดได้ดีที่สุด

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

จากการดำเนินการศึกษาการแบ่งวัฏภาค Phase ของสาร Trichloroethylene โดยใช้หญ้าแฝกเป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบการปนเปื้อนดินและในน้ำด้วยสารอันตรายประกอบด้วย การประมาณว่าเมื่อการปนเปื้อนของดินและน้ำใต้ดินแล้วหญ้าแฝกสามารถตรวจจับ และลำเลียงสารอันตรายมาเก็บไว้ที่เนื้อเยื่อได้และจะส่งมาที่เนื้อเยื่อส่วนใดมากเป็นพิเศษและการสร้างความสัมพันธ์ของปริมาณสารอันตรายที่ปนเปื้อนในดินและในน้ำและปริมาณสารที่หญ้าแฝกสามารถตรวจจับ และส่งมาเก็บไว้ที่เนื้อเยื่อได้กระบวนการโดยนำหลักการของไฟโตเทคโนโลยีมาช่วยในการอธิบายประกอบด้วยกระบวนการ Phytoremediation และ Phytochemical screening

โดยหญ้าแฝกพันธุ์สุราษฎร์ธานีที่ใช้ในการทดลองซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง คือ สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไวนิลคลอไรด์, 1,2-ไดคลอโรอีเทน และไตรคลอโรเอทธิลีน เนื่องจากเป็นสารปนเปื้อนที่พบในปริมาณสูงในเขตโรงงานของนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด และมีความเป็นไปได้ที่จะเคลื่อนออกนอกพื้นที่นิคมมาสู่ชุมชน จึงต้องการการเฝ้าระวัง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงาน

เดือนกิจกรรม	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค	เม.ย.
1. ศึกษาเนื้องานวิจัย							
2. เขียนโครงร่าง							
3. ดำเนินการทดลอง							
4. วิเคราะห์และสรุปผล							
5. สอบโครงการและจัดทำเล่มปริญญานิพนธ์							

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เป็นวิธีที่ประหยัดต้นทุนในการบำบัดสารมลพิษที่เกิดจากนิคมอุตสาหกรรมโดยการใช้พืช

1.6.2 ใช้ในการเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในดินและน้ำใต้ดินผ่านกระบวนการที่พืชดูดน้ำและแร่ธาตุผ่านทางรากพืชไปพร้อมกับการดูดซับสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในดินและน้ำใต้ดินแล้วเก็บสะสมไว้ในส่วนต่างๆของพืช

1.6.3 เพื่อใช้หญ้าแฝกเป็นแนวกันชนป้องกันเฝ้าระวังการปนเปื้อนในพื้นที่ปนเปื้อน

1.7 <u>งบประมาณ</u> หมายเหตุ (1,000 บาท ต่อ นิสิต 1 คน)

- ค่าถ่ายเอกสาร 3,000 บาท

รวมค่าใช้จ่าย 3,000 บาท (สามพันบาทถ้วน)

<u>หมายเหตุ</u> ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ผลกระทบที่เกิดจากการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรที่ขาดการจัดการที่เหมาะสม มีการจัดการของเสียที่เกิดจากการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต ในภาคอุตสาหกรรมหนัก และในภาคการเกษตร โดยขาดการจัดการที่เหมาะสม ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีลงสู่ดิน แหล่งน้ำ และน้ำใต้ดิน ส่งผลให้เกิดการทำลายทรัพยากรสิ่งแวดล้อม รวมทั้งส่งผลต่อการดำเนินชีวิตและสุขภาพของชาวบ้านในพื้นที่บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อน ทำให้สภาพแวดล้อมเสื่อมโทรม มีการปนเปื้อนของสารเคมีในดิน น้ำใต้ดิน และอากาศ เมื่อมีสารเคมีสะสมในปริมาณที่สูงขึ้นย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต รวมทั้งสุขภาพของมนุษย์

เทคโนโลยีดั้งเดิมที่ใช้ในการบำบัดสารพิษหรือฟื้นฟูพื้นที่ที่ปนเปื้อน มักทำโดยการขุดเอาดินที่มีการปนเปื้อนออกจากพื้นที่นั้น แล้วนำไปเผาหรือฝังกลบในพื้นที่อื่น หรืออาจทำโดยใช้วิธีการทางเคมีโดยการใส่สารเพื่อตรึงหรือจับสารให้อยู่กับที่ ลดการแพร่กระจายไปที่อื่น ซึ่งวิธีการทางด้านกายภาพและเคมีดังกล่าว มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของสารระหว่างการขนย้ายเพื่อไปบำบัดต่อหรือสารเคมีที่ใช้ในการบำบัด อาจตกค้างในสิ่งแวดล้อมได้

เทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นเทคโนโลยี ที่ใช้กระบวนการย่อยสลายทางธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต ได้แก่ จุลินทรีย์ พืช หรือวัสดุชีวภาพในการบำบัดสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และด้วยความที่เป็นเทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ใช้งบประมาณในการดำเนินการน้อย ทำให้เป็นที่ยอมรับของสาธารณชน ในกรณีที่จะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังกล่าวในพื้นที่จริง

2.1 เทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.1.1 Ex situ Technology เป็นเทคโนโลยีการฟื้นฟูโดยการเคลื่อนย้ายตัวกลางที่ปนเปื้อนไปบำบัดหรือกำจัดต่อในสถานที่อื่น

2.1.2 In situ Technology เป็นเทคโนโลยีการฟื้นฟูโดยการบำบัดสารเคมีที่ปนเปื้อนในพื้นที่โดยไม่มีการเคลื่อนย้ายตัวกลางไปที่อื่น

2.2 ลักษณะของเทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพ

Bioaugmentation เป็นเทคโนโลยีการฟื้นฟูที่มีการเติมจุลินทรีย์ลงไปในตัวกลางที่มีการปนเปื้อนสารเคมี เช่น ดิน น้ำ หรือดินตะกอน จุลินทรีย์ที่เติมลงไปอาจเป็นจุลินทรีย์สายพันธุ์ที่มีในพื้นที่นั้น (indigenous) หรืออาจเป็นจุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างถิ่น (exogenous) ก็ได้ โดยจุลินทรีย์ที่เติมลงไปนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลายสารปนเปื้อนในพื้นที่นั้น

1. Bioventing เป็นเทคโนโลยีที่ดำเนินการในพื้นที่ (In situ) โดยการเติมอากาศและหรือสารอาหารลงไปในระบบ ซึ่งการเติมอากาศของ bioventing จะเป็นการเติมในอัตราที่ช้าไม่มีการเพิ่มแรงดัน เพื่อเป็นการกระตุ้นการเจริญเติบโตและกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในพื้นที่ (indigenous microorganisms) และป้องกันการระเหย (volatilization) ของสารปนเปื้อนที่ต้องการกำจัดออกสู่บรรยากาศ
2. Biosparging เป็นการเติมอากาศเข้าสู่ระบบภายใต้สภาวะที่มีแรงดันเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในชั้นน้ำใต้ดิน (saturated zone) ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพเพิ่มขึ้น
3. Landfarming ดินที่ปนเปื้อนที่ถูกขุดขึ้นมาจะถูกนำมาแผ่ลงบนพื้นที่ที่เตรียมไว้และมีการกลับกองดินเป็นระยะๆ เพื่อเพิ่มออกซิเจนให้กับระบบ ส่งผลให้อัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้น
4. Composting เป็นเทคโนโลยีที่ใช้บำบัดสารปนเปื้อนในดิน โดยนำดินที่ปนเปื้อนผสมกับอินทรีย์วัตถุในอัตราส่วนที่เหมาะสม เช่น มูลสัตว์ ของเหลือทิ้งจากกระบวนการทางการเกษตร เป็นต้น วัตถุอินทรีย์ที่เติมลงไปจะช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของประชากรจุลินทรีย์ ทำให้อุณหภูมิของระบบสูงขึ้น ซึ่งจะเป็นปัจจัยกระตุ้นให้อัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้นด้วย
5. Bioreactor เป็นถังปฏิกรณ์ที่ใช้สำหรับบำบัดดิน น้ำ ดินตะกอน กากตะกอนจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมหรือจากระบบบำบัดต่างๆ ตัวกลางที่ปนเปื้อนจะถูกนำมาใส่ในถังปฏิกรณ์ ซึ่งอาจมีการเติมออกซิเจน สารอาหารต่างๆ จุลินทรีย์ หรืออาจมีการปรับสภาวะต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง ให้เหมาะสมเพื่อให้กระบวนการย่อยสลายในถังปฏิกรณ์เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ

เทคโนโลยีการฟื้นฟูดังกล่าวข้างต้น เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ซึ่งอาจเกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจน หรือไม่มีออกซิเจนก็ได้ ดังนั้น ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต หรือมีผลต่อเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ ย่อมส่งผลต่อประสิทธิภาพของเทคโนโลยีการฟื้นฟูนั้นด้วย(ผศ.ดร. อัจฉราพร ขำโสภา.(2009))

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพได้แก่

1. **จุลินทรีย์ คุณสมบัติของจุลินทรีย์** เช่น อัตราการเจริญเติบโต การกลายพันธุ์ การผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการย่อยสลาย ปริมาณจุลินทรีย์ในพื้นที่ จะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของการย่อยสลาย
2. **สภาพแวดล้อม** ได้แก่ สารอาหาร อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเข้มของแสง ปริมาณออกซิเจนที่มีผล ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ย่อมส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลายด้วย
3. **ลักษณะของสารที่ปนเปื้อน** ได้แก่ ประเภท ปริมาณหรือระดับความเข้มข้นของสาร คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารนั้น ซึ่งสารใดที่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ดี แสดงว่า สารนั้นมี bioavailability สูง จุลินทรีย์สามารถนำสารนั้นเข้าสู่เซลล์ และ เกิดกระบวนการย่อยสลายได้ง่าย

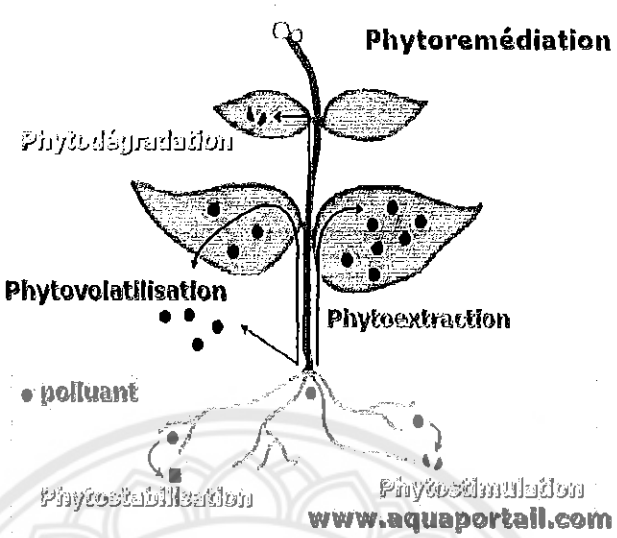
ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพจะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมแต่ก็มีข้อจำกัดหลายประการ ซึ่งสามารถสรุปเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของเทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อจำกัดของเทคโนโลยีการฟื้นฟูทางชีวภาพ

ข้อดี	ข้อจำกัด
1. เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ 2. สามารถประยุกต์ใช้ได้กับทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ 3. กระบวนการย่อยสลายสามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ไม่เกิดผลกระทบตกค้างในสิ่งแวดล้อม 4. สามารถทำการฟื้นฟูในพื้นที่จริงได้ 5. ใช้ค่าใช่จ่ายน้อยเป็นที่ยอมรับของสาธารณชน	1. กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพไม่สามารถเกิดขึ้นได้ กับสารทุกชนิด 2. สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการย่อยสลาย อาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้ 3. ต้องการสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการย่อยสลาย ซึ่งเป็นลักษณะที่ค่อนข้างมีความจำเพาะเจาะจงสูงใช้เวลานาน

โดยสรุป การนำเทคโนโลยีการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมโดยวิธีทางชีวภาพ เป็นเทคโนโลยีที่สามารถลดการปนเปื้อนสารพิษในสิ่งแวดล้อมได้ แต่เนื่องจากวิธีการต่างๆ ค่อนข้างมีความจำเพาะเจาะจงกับลักษณะของพื้นที่และสารที่ปนเปื้อน การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการฟื้นฟูให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จึงต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆได้แก่ ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ ชนิดพืช ลักษณะของพื้นที่ที่ปนเปื้อน และประเภทของสารที่ต้องการกำจัด (ผศ.ดร. อัจฉราพร ขำโสภา.(2009)) ซึ่งมีกลไกที่เกี่ยวข้อง

โดยนำ หลักของการใช้ Phytotechnology เป็นวิธีทางชีวภาพแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้



รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการ phytoremediation
ที่มา : www.aquaportail.com

2.2.1 กระบวนการบำบัดสารปนเปื้อนด้วยพืช (Phytoremediation)

เป็นการฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมด้วยพืช โดยใช้กระบวนการทำงานของพืชเพื่อเคลื่อนย้าย เก็บ หรือทำให้สารมลพิษในสิ่งแวดล้อมเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตอื่นน้อยลง โดยมีกลไกของการฟื้นฟูที่สำคัญได้แก่

1. การสกัดด้วยพืช (Phytoextraction)

เป็นการใช้พืชดูดซึมสารมลพิษขึ้นจากดินเข้าสู่รากของพืช แล้วนำไปสะสมที่ยอดหรือราก พบทั้งในกรณีการสะสมโลหะหนัก สารประกอบของโลหะหนักและกัมมันตภาพรังสี การใช้พืชสะสมธาตุโลหะหนักมีข้อเสียคือ พืชมักจะสะสมธาตุโลหะได้ดีชนิดเดียว มีการเจริญเติบโตช้าและต้นมีขนาดเล็กกว่าพืชชนิดเดียวกันที่ไม่ได้สะสมโลหะ

2. การทำระเหยด้วยพืช (Phytovolatilization)

เป็นการใช้พืชเคลื่อนย้ายสารมลพิษที่สามารถละลายน้ำได้และเคลื่อนย้ายสารเหล่านั้นออกสู่บรรยากาศ เป็นการกำจัดสารที่ปนเปื้อนออกจากน้ำ โดยพืชจะดูดซับสารมลพิษ แล้วด้วยกลไกลที่เกิดขึ้นในต้นพืชเองได้ทำการเปลี่ยนรูปสารมลพิษ (Tranformation) ให้อยู่ในรูประเหยได้และมีความเป็นสารพิษลดลงจากเดิม หลังจากนั้นสารมลพิษที่อยู่ในที่ระเหยได้จะถูกกำจัดออกโดยผ่านทางใบ (จันทนี,2553) โดยพืชแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการก่อให้เกิดการระเหยของสารมลพิษแตกต่างกัน เช่น ต้น poplar tree มีประสิทธิภาพในการบำบัดสาร TCE ที่ปนเปื้อนในน้ำผ่านกระบวนการระเหยได้สูงถึง 90 % ของปริมาณ TCE ทั้งหมดที่สะสมในพืช (Muhammad et al.,2008)

3. การตรึงด้วยพืช (Phytostabilization)

เป็นการใช้พืชดูดซับสารพิษไว้อยู่ในรูปที่เคลื่อนที่ได้น้อยลง หรืออยู่ในรูปที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ไม่ได้ วิธีนี้สามารถใช้ได้ผลเพียงชั่วคราวเท่านั้น เพราะการควบคุมให้โลหะทุกชนิดอยู่ในรูปที่ไม่เคลื่อนที่และไม่เป็นพิษนั้นทำได้ยาก

4. การย่อยสลายด้วยพืช (Phytodegradation)

เป็นกระบวนการใช้พืชดูดซึมสารมลพิษเข้าไปในพืชแล้วมีการย่อยสลายโดยการสลายพันธะของสารมลพิษโดยอาศัยกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของพืช หรือ อาศัยสารประกอบที่ปล่อยออกมาจากรากพืช เช่น เอนไซม์เพื่อย่อยสลายพันธะของสารมลพิษที่ปนเปื้อนในดิน โดยอาศัยสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนจะถูกย่อยสลายให้เป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลง และ สารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจะถูกรวมเข้าไปในเนื้อเยื่อพืชเพื่อให้เสริมสร้างเซลล์พืช และ ใช้ในการเจริญเติบโต พืชมีเอนไซม์ที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาเคมีได้ โดยเอนไซม์แต่ละชนิดสามารถสลายพันธะของสารประกอบได้อย่างหลากหลาย ได้แก่ สารละลายประกอบที่มีองค์ประกอบของคลอรีน เช่น TCE และ สารกำจัดศัตรูพืชรวมทั้งของเสียจากวัตถุระเบิด เป็นต้น

5. การกระตุ้นด้วยพืช (Phytostimulation)

โดยที่กระบวนการที่รากของพืชมีการหลั่งสารออกมาจากรากที่ยังมีชีวิตอยู่หรือจากการสลายตัวของรากพืชที่ตายแล้ว เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในดิน หรือเชื้อราไมคอไรซา ทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารมลพิษได้ดีขึ้น เป็นกระบวนการที่ใช้กับสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้น้อย (วราภรณ์ ฉุยฉาย. 2551)

2.2.2 กระบวนการตรวจสอบวัดสารปนเปื้อนด้วยพืช (Phytochemical screening)

เป็นวิธีการตรวจสอบทางเคมีเบื้องต้นของสารสกัดในพืช เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีที่มีการปนเปื้อนของสารเคมีในกลุ่มใดบ้าง (ศรินรัตน์,วรางคณา,สิริมาศ (2013))

โดยกระบวนการ phytochemical screening นั้นคือขั้นตอนการนำพืชที่สนใจมาศึกษาการตรวจสอบทางพฤกษเคมี (phytochemical screening) ซึ่งเป็นการตรวจสอบทางเคมีเบื้องต้นของ สารสกัดจากพืชในระยะเวลาอันสั้น ง่ายรวดเร็ว และใช้เครื่องมือน้อยที่สุด โดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมีง่ายๆ ใช้ ปฏิกิริยาการเกิดสี (color reaction) ซึ่งจะให้ผลเป็นสีต่างๆหรือการเกิดตะกอน บอกถึงกลุ่มสารเคมีที่ สำคัญและมีรายงานฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา ในการศึกษาควรเริ่มโดยการตรวจเอกสารแล้วนำพืชที่เราสนใจมา ตรวจสอบเบื้องต้นว่ามีสารสำคัญประเภทใด โดยอาศัยข้อมูลเบื้องต้นที่ว่ามีสารเคมีกลุ่มใดบ้างที่มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา (รายงานผลงานวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2550, สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้,กรมป่าไม้. หน้า 9-18.)

2.3 ลักษณะทางพฤษศาสตร์

ในสภาพธรรมชาติหญ้าแฝกมีถิ่นกำเนิดตามพื้นที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึงทางน้ำธรรมชาติริมหนองบึงในป่าเขาแต่เมื่อนำพันธุ์ที่ได้คัดเลือกแล้วไปปลูกใน พื้นที่ต่างๆทั่วโลก ปรากฏว่าขึ้นเกือบทุกสภาพพื้นที่คือสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบใกล้เคียงระดับน้ำทะเลถึงระดับพื้นที่ภูเขาสูงถึง 2,600 เมตร จากระดับน้ำทะเล พื้นที่ดินเปรี้ยว (pH 4.5) ดินด่าง (pH 10.5) ดินเค็ม (20 มิลิโมห์) ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พื้นที่ปริมาณน้ำฝนน้อย 200 มิลลิเมตร ถึงพื้นที่มีฝนตกชุก 3,900 - 5,000 มิลลิเมตร พื้นที่สภาพภูมิอากาศหนาวเย็น -9 องศาเซลเซียสถึงอากาศ ร้อนจัด 45 องศาเซลเซียส หญ้าแฝกมีคุณสมบัติหลายประการที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ ดังนี้

1. หญ้าแฝกมีการแตกกอจำนวนมาก และเบียดเสียดกันหนาแน่นและแข็งแรงกอตั้งตรง หญ้าแฝกสามารถปลูกติดต่อกันเป็นแถวหน้ากระดานเรียงหนึ่งได้ง่ายเปรียบเสมือนกำแพงต้านทานตะกอนดินที่ถูกน้ำกัดเซาะ และพัดพามาให้ตก ทับถมด้านแถวหน้าหญ้าแฝก และชะลอความเร็วของน้ำทำให้น้ำเอ่อและไหลซึมลงไปใต้ดิน

2. ลำต้นเหนือดินซึ่งมีข้อถี่ และข้อเกิดจากการย่างปล้องเมื่อหญ้าแฝกมีอายุใกล้จะออกดอกจะแตกหน่อและรากใหม่ออกมาเสมอ เมื่อตะกอนทับถมจึงสามารถตั้งกอใหม่ได้

3. กอหญ้าแฝกสามารถตัดต้นและใบให้แตกหน่อใหม่เขียวสดอยู่เสมอต้นและใบของหญ้าแฝกเป็นวัสดุคลุมดินรักษาความชุ่มชื้นและเพิ่มแร่ธาตุอาหารพืชแก่ดินเมื่อย่อยสลายแล้วเช่นเดียวกับปุ๋ยหมัก หากหญ้าแฝกแก่ ต้นใบจะแห้งแล้ง เมื่อถูกไฟเผาจะแตกหน่อใหม่เขียวสดขึ้นมาทันที ไม่จำเป็นต้องปลูกต้นใหม่ ผลพลอยได้จาก หญ้าแฝกดอนสามารถตัดใบไป กรองเป็นตับ แฝกซื้อขายทำหลังคาได้หญ้าแฝกหอมใบอ่อนใช้เป็นอาหารเลี้ยงวัวควายซึ่งต้องตัด ในช่วงอายุ 2 - 4 สัปดาห์หลังจากตัดครั้งก่อน เช่น พันธุ์กำแพงเพชร 2 นอกจากนี้ พันธุ์หญ้าแฝกหอมจากอินเดียใช้เลี้ยงปลาจีนได้ใบหญ้าแฝกหอมเมื่อตากแห้งดีแล้วสามารถนำไปทำพวง หรีดหรือดอกไม้ประดิษฐ์ เครื่องจักรสาน เช่น หมวก ตะกร้า เป็นต้น

4. ระบบรากหญ้าแฝก หญ้าแฝกมีรากที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเส้นโตหยั่งลึกไปในดินและแตกแขนงเป็นรากฝอยประสานกันแน่นเหมือนม่านใต้ดินชะลอการไหลซึมของ น้ำใต้ดิน ทำให้ความชุ่มชื้นในดินเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันการกัดเซาะของน้ำที่ทำให้เกิด ร่องขนาดเล็ก (rill) และขนาดใหญ่ (gully) ซึ่งเกิดจากด้านล่างของแนวลาดชันย้อยขึ้นมาด้านบนเมื่อถึงแนวหญ้าแฝกก็หยุด เพียงแค่นั้นรากหญ้าแฝกยังสามารถดูดซับสารเคมีแร่ธาตุอาหาร พืชที่ถูกชะล้างลงไปในดิน เช่น ปุ๋ยเคมีป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืชเก็บไว้ในต้นหญ้าแฝกเป็นการป้องกันไม่ให้สารเคมีเหล่านั้นไหลลงไปแหล่ง น้ำ และปลอดภัยจากการเกิดมลภาวะของ น้ำทำให้มีคุณภาพ

5. การกระจายพันธุ์ของหญ้าแฝก พันธุ์หญ้าแฝกที่ได้รับการคัดเลือกจะมีการกระจายพันธุ์ด้วยเมล็ดน้อยหรือแทบไม่มีเลยจึงไม่อยู่ในลักษณะของวัชพืชร้ายแรง เช่น พันธุ์จากอินเดีย ศรีลังกา สามารถปลูกได้ในสวนผลไม้และพื้นที่เกษตรทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเขตเกษตรกรรมและ ดูแลรักษาเสมอ จะไม่ปรากฏว่ามีหญ้าแฝก ต้นเล็ก ๆ ที่งอกเมล็ดขึ้นในบริเวณกอหญ้าแฝกเลย เช่น หญ้าที่ปลูกยึดคันนา บริเวณช่องระบายน้ำในแถบภาคใต้จังหวัดสงขลา และนราธิวาส

6. แถวหญ้าแฝกหรือแนวรั้ว หญ้าแฝกจะกินเนื้อที่ไม่กว้างขวาง เช่น ความกว้างประมาณ 1-1.5 เมตร สามารถปลูกพืชเศรษฐกิจได้ชิดแนวหญ้าแฝก จึงเสียพื้นที่น้อย

7. การขยายผล การใช้หญ้าแฝกในระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ เกษตรกรสามารถทำเองได้ในลักษณะค่อยเป็นค่อยไป หากพยายามทำความเข้าใจและประสงค์จะ รักษาทรัพยากรที่ดินไม่ให้เสื่อมโทรมมีศักยภาพในการผลิตสูงหรือช่วยป้องกันการกัดเซาะของน้ำไม่ให้ เกิดตะกอนดินไหลลงไปทับถมยังแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นผลดีต่อสังคมโดยรวม การปลูกหญ้าแฝกทำได้ง่ายบุคคลทุกอาชีพ สามารถช่วยกันปลูกหญ้าแฝกเพื่อป้องกันการกัดเซาะของดินได้ การ ขยายพันธุ์สามารถทำได้จากการแตกหน่อ ซึ่งหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตแตกกออย่างรวดเร็วสามารถขยายพันธุ์ได้ตลอดเวลา การปลูกหญ้าแฝกสามารถปลูกได้ทุกสภาพพื้นที่หญ้าแฝก เป็นพืชที่ค่อนข้างมีข้อจำกัดน้อยยกเว้นบางพื้นที่ ซึ่งมีปัญหาสภาพความรุนแรงของพื้นที่มาก เช่น พื้นที่ ดินเค็ม กรดจัด เช่น พรุเก่า pH ต่ำกว่า 4.5 จะต้องทำการใส่ปูนหรือหินฝุ่นเสียก่อนพื้นที่สูงห้องฟ้าเกือบตลอดปีมีความเข้มของแสงแดดไม่เพียงพอ เช่น พื้นที่ปางตอง อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน แต่แก้ไขโดยการใช้พันธุ์ท้องถิ่นที่เหมาะสมกับพื้นที่

2.4 สารไตรคลอโรเอทธิลีน (trichloroethylene)

2.4.1 การปนเปื้อนของสารไตรคลอโรเอทธิลีนลงสู่สิ่งแวดล้อม

เนื่องจากสารชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในโรงงานผลิตแผ่นเซรามิคสำหรับผังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมักใช้เป็นวัตถุดิบผสมกับผงดิน เพื่อนำไปอัดขึ้นรูปเป็นแผ่น รวมทั้งโรงงานผลิตสายนาฬิกาโลหะที่มักจะใช้ล้างผลิตภัณฑ์ก่อนบรรจุหีบห่อและโรงงานผลิตเครื่องประดับสตรี เช่นแหวน สร้อยคอ นิยมใช้สาร TCE ล้างทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ก่อนบรรจุหีบห่อ เป็นต้น ทำให้เกิดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม สารชนิดนี้ได้มีการสำรวจ โดยกลุ่มนักวิจัย และพัฒนาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมด้านน้ำ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เมื่อปี พ.ศ. 2542 พบว่า มีการปนเปื้อนทั้งในดินและในน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะในบริเวณนิคมอุตสาหกรรม จังหวัดลำพูน ซึ่งจากการสำรวจพบว่าระดับน้ำใต้ดินของลำพูนมีการปนเปื้อนสารไตรโรเอทธิลีนที่สูงมาก (ผู้จัดการออนไลน์ , 2005) นอกจากนี้แล้วสารดังกล่าวยังสามารถปนเปื้อนลงสู่ดิน ทำให้ดินมีคุณภาพต่ำ และส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในดินอันจะนำมาซึ่งอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์หากมีการปนเปื้อนสู่ห่วงโซ่อาหารได้

Argonne National Laboratory (2005) ได้รายงานถึงการปนเปื้อนของสาร TCE ไว้ดังนี้ โดยปกติจะพบสาร TCE ในบรรยากาศและน้ำบริเวณที่มีกิจกรรมการล้างไขมัน และกรีสจากผิวโลหะในโรงงานอุตสาหกรรม การใช้สาร TCE ในขั้นตอนการล้างไขมัน เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้สารชนิดนี้ระเหยในบรรยากาศ สาร TCE ระเหยในอากาศจะทำปฏิกิริยากับ hydroxyl radicals กลายเป็น phosgene, dichloroacetyl chloride และ formyl chloride โดยครึ่งชีวิตของปฏิกิริยานี้ในบรรยากาศมีค่าประมาณ 7 วัน ที่ 25°C จากการสำรวจในประเทศสหรัฐอเมริกาพบสาร TCE ในบรรยากาศมีค่าสูงในเฉพาะเขตชุมชน และเขตอุตสาหกรรม

สาร TCE ถึงแม้จะสามารถระเหยจากผิวน้ำได้ง่าย แต่ยังมีบางส่วนที่สามารถตกค้างอยู่บริเวณ subsurface และน้ำใต้ดิน ซึ่งจะคงอยู่เป็นเวลานาน ในสภาพไร้อากาศ เช่น ในดินที่มีน้ำท่วมขัง หรือ บริเวณชั้นหินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (aquifer site) แบคทีเรียสามารถย่อยสลายสาร TCE ได้โดยผ่านกระบวนการ dechlorination ทำให้เกิดสาร vinylidene chloride และ vinyl chloride ซึ่ง

เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (ภาพที่ 4) นอกจากนี้ในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนของสาร TCE ยังมีการสะสมของสาร TCE ในเนื้อเยื่อสัตว์น้ำ ซึ่งพบอยู่ในระดับตั้งแต่ไม่รุนแรงถึงระดับปานกลาง

2.4.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารไตรคลอโรเอทธิลีน

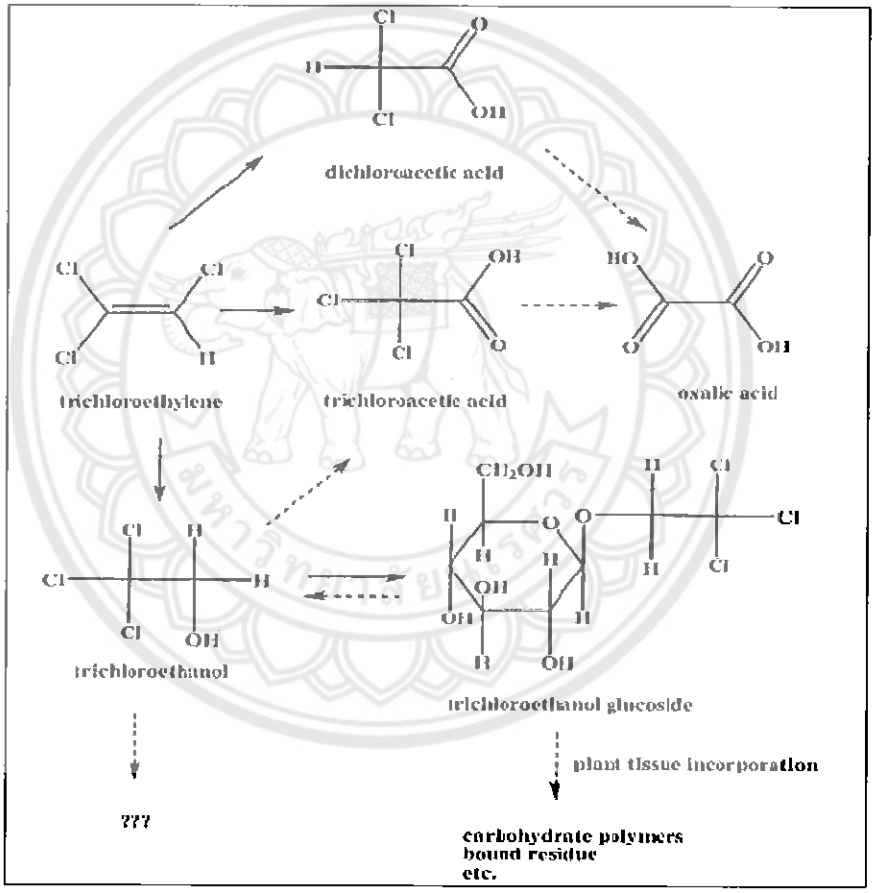
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารไตรคลอโรเอทธิลีน

Parameters	Values
Freezing point (°C)	-84.8 (freeze)
Boiling point (°C)	86.7 (760 mm Hg) 43.8 (1 mm Hg)
Specific gravity	1.46 (25/25°C) 1.4904 (4/4 °C)
Vapor pressure (mm Hg)	69 (25 °C)
Refraction index (n_D)	1.4782 (20 °C)
Critical temperature (°C)	271.0
Heat of combustion (kcal/g)	1.751
Flammability flash point (°C)	Non-flammable under normal working condition; may ignite if in contact with high temperature heat sources
Ignition temp (°C)	410
Danger of explosion: Limits (% v/v in air)	 8.0 - 10.5 (25 °C) 8.0 – 52.0 (100 °C)
Oxidizing properties	None
Solubility In water (g/l) In organic solvents	 1.07 (20 °C) Completely miscible with several organic solvents
In oil	Miscidle
n-octanol/water partition coefficient (log) Organic carbon partition coefficient, K_{oc} Bioconcentration factor, K_B Henry' Law constant	LogK°/ w 2.42 K°/w x 0.6 K°/w x 0.048 9.85 x 10^{-3} atm-m^3/mol (25 °C)

ที่มา: World Health Organization (1985)

2.4.3 กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของสารไตรคลอโรเอทธิลีนในพืช

Shang et al.(2001) ได้ศึกษากระบวนการ metabolism ของสาร TCE ในพืชพบว่าสาร TCE สามารถเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เกิดเป็นสารประกอบอื่นๆ ได้แก่ dichloroacetic acid, trichloroacetic acid และ trichloroethanol ซึ่งสารประกอบที่เกิดขึ้นนี้สามารถเกิดกระบวนการ dechlorination และเปลี่ยนรูปเป็น oxalic acid จากการศึกษาโดยการติดฉลากอะตอมของคาร์บอนสาร TCE ด้วย ^{14}C ในต้นยาสูบของสาร TCE สามารถสะสมที่ส่วนใบได้มากที่สุด รองลงมาคือส่วนลำต้นและส่วนรากตามลำดับ ส่วนสาร trichloroethanol ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายในพืช พบว่าจะสะสมที่ส่วนรากมากที่สุด รองลงมาคือส่วนใบและส่วนลำต้นตามลำดับ



รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของสารไตรคลอโรเอทธิลีนในพืช หมายเหตุ ลูกศรแสดง pathway (สีดำ = เกิดขึ้นจริง และเส้นประ = มีความเป็นไปได้) ที่มา: Shang et al.(2001)

2.4.4 อันตรายจากสารไตรคลอโรเอทธิลีน

การหายใจเอาไอระเหยของสาร TCE เข้าสู่ร่างการ การรับประทาน และน้ำดื่ม ที่มีการปนเปื้อนสาร TCE รวมทั้งการสัมผัสทางผิวหนัง เป็นการนำสารชนิดนี้เข้าสู่ร่างกายประมาณ 75% ของสาร TCE ที่เข้าสู่ร่างกายจะสะสมอยู่ในเนื้อเยื้อไขมัน (fatty tissue) และในเลือดซึ่งจะเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีอย่างรวดเร็วที่บริเวณตับและเนื้อเยื้อ โดยอาศัยเอนไซม์ cytrorome P - 450 ซึ่งพบได้ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยเป็นโปรตีนที่แทรกตัวอยู่ในชั้นเมมเบรนมีหน้าที่ย่อยสลายสารต่างๆ ที่ร่างกายสร้างได้และสร้างไม่ได้ ผลจากการย่อยสลายโดย cytrorome P – 450 คือ เกิดสารประกอบต่างๆในร่างกาย ได้แก่ dichloroacetic acid, trichloroacetic acid, trichloroethanol และ สารเคมีชนิดอื่นๆ เช่น oxalic acid และ 2hydroxyacetylethanolamine ซึ่งในที่สุดสารประกอบเหล่านี้จะถูกขับออกจากร่างกายผ่านทางปัสสาวะและน้ำดี (Argonne National Laboratory,2005)

สารประกอบที่ได้จากการย่อยสลายโดยเอนไซม์ในร่างกาย ได้แก่ dichloroacetic acid, trichloroacetic acid, และ trichloroethanol พบว่า เป็นสารประกอบชนิดเดียวกับสารที่เกิดจากการย่อยสลายของสาร TCE ในพืช

การกลืนเอาสาร TCE เข้าสู่ร่างกายมีผลทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน รวมถึงอาการซึมเศร้า การสัมผัสถูกดวงตาก่อให้เกิดอาการระคายเคือง รวมทั้งการสัมผัสทางผิวหนังสามารถก่อให้เกิดการระคายเคือง ทำลายน้ำมันที่ผิวหนัง ก่อให้เกิดผื่น และ เนสาเหตุของโรคผิวหนัง การหายใจนำสาร TCE เข้าสู่ร่างการส่งผลให้เกิดการระคายเคือง ต่อระบบทางเดินหายใจ และ การสูดดมไอระเหยของสาร ชนิดนี้ปริมาณมากสามารถทำให้รู้สึกป่วยและอาจถึงตายได้ (Clark Products Ltd,2007) นองจากนี้สาร TCE ยังจัดเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ ตามนิยาม และ การยอมรับของ International Agency for Research on Cancer (LARC) และ World Health Organization (WHO) จัดเป็นสารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ และสันนิษฐานว่าสารนี้เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

2.5 การคำนวณค่า Translocation factor (TF) ของสารไตรคลอโรเอทธิลีน

ค่า Translocation factor (TF) เป็นค่าที่แสดงถึงการเคลื่อนที่ของสารจากดินหรือน้ำสู่พืช หรือ ใช้แสดงการเคลื่อนที่ของสารจากส่วนต่างๆ ภายในต้นพืช เช่น จากรากสู่ลำต้น เป็นต้น ในกระบวนการพืชบำบัด (Phytoremediation) ค่า TF ใช้เพื่อทดสอบความสามารถของพืชในการเคลื่อนย้ายสารมลพิษที่เข้ามาสะสมยังส่วนเหนือดิน และใช้ในการพิจารณาเพื่อเลือกชนิดพืชที่เหมาะสมต่อกระบวนการ ในกรณีที่ TF น้อยกว่า 1 แสดงว่าพืชสามารถเคลื่อนย้ายสารมลพิษเข้าไปสะสมในส่วนเหลือดินได้ในปริมาณน้อยกว่าที่สะสมอยู่บริเวณราก (Bu-Olayan and Thomas,2009) สมการที่ใช้ในการคำนวณค่า TF

เป็นค่าที่ใช้ความสามารถในการเคลื่อนที่ของสาร TCE ของหญ้าแฝก ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

ค่า TF จากดินสู่ลำต้น (translocation factor from soil to shoot) ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการดังนี้

$$TF=C_{sh}/C_S$$

ค่า TF จากรากสู่ลำต้น (translocation factor from root to shoot) ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการดังนี้

$$TF=C_{sh}/C_R$$

ค่า TF จากดินสู่ราก (translocation factor from soil to root) ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการดังนี้

$$TF=C_R/C_S$$

โดย

TF = translocation factor

CS = ความเข้มข้นของสารในดิน (mg/kg)

C_{sh} = ความเข้มข้นของสารที่บริเวณลำต้น (mg/kg)

C_R = ความเข้มข้นของสาที่บริเวณราก (mg/kg)

2.6 การคำนวณค่า % removal ของสารไตรคลอโรเอทธิลีน

การคำนวณหา % removal ของสาร TCE จะใช้สมการในการคำนวณ คือ

$$\%\ \text{removal} = \frac{\left(\text{ความเข้มเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นหลังสิ้นสุดการทดลอง}\right)}{\left(\text{ความเข้มเริ่มต้น}\right)}$$

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเพื่อการศึกษาการแบ่งวัฏภาค (Fate) ของสารTrichloroethylene ในหญ้าแฝก เพื่อประเมินศักยภาพการตรวจวัดสารปนเปื้อนด้วยพืช (Phytoscreening) เป็นวิธีที่ประหยัดต้นทุนในการกำจัดสารมลพิษที่เกิดจากนิคมอุตสาหกรรมต่างๆโดยการใช้พืช เนื่องจากการลักลอบการทิ้งกากของเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นการจัดการที่ผิดพลาด เพราะกากอุตสาหกรรมเหล่านี้ได้ปนเปื้อนในดิน และแหล่งน้ำลงสู่น้ำใต้ดิน ซึ่งส่งผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบ

3.2 แผนปฏิบัติการและระยะเวลาในการดำเนินโครงการวิจัย

ตารางที่ 3.1 แผนปฏิบัติการและระยะเวลาในการดำเนินโครงการวิจัย

กิจกรรม	เดือน (พ.ศ.2557)												เดือน (พ.ศ.2558)				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5
ศึกษาองค์ประกอบประโยชน์ โทษ และทำความเข้าใจกับสิ่งที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย			→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	
ดำเนินการปลูกหญ้าแฝก			→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→		
วางแผนการทดลองและเตรียมการทดลอง										→	→						
ทำการทดลองการปลูกหญ้าแฝกในดินโดยใช้สาร TCE ที่มีความเข้มข้น 100 ppm และทำการสกัดที่ระยะเวลา 2,3,4 สัปดาห์												→	→				
ทำการทดลองการปลูกหญ้าแฝกในดินโดยใช้สาร TCE ที่มีความเข้มข้น 10 ppm และทำการสกัดที่ระยะเวลา 2,3,4 สัปดาห์												→	→				
ทำการทดลองการปลูกหญ้าแฝกในน้ำโดยใช้สาร TCE ที่มีความเข้มข้น 100 ppm และทำการสกัดที่ระยะเวลา 2,3,4 สัปดาห์														→	→		
ทำการทดลองการปลูกหญ้าแฝกในน้ำโดยใช้สาร TCE ที่มีความเข้มข้น 10 ppm และทำการสกัดที่ระยะเวลา 2,3,4 สัปดาห์														→	→		

ทำการทดลองการปลูกหญ้าแฝกในดิน โดยใช้สาร TCE,PCE และ 1,2 DCA ที่มีความเข้มข้น 100 ppm และทำการสกัดระยะเวลา 4,8,24,72,120,168 ชั่วโมง														→			
ทำการทดลองการปลูกหญ้าแฝกในดิน โดยใช้สาร TCE,PCE และ 1,2 DCA ที่มีความเข้มข้น 10 ppm และทำการสกัดที่ระยะเวลา 4,8,24,72,120,168 ชั่วโมง														→			
จัดทำเล่มบทที่ 1,2 และ 3														→	→		
ทำการทดลองการปลูกหญ้าแฝกในน้ำ โดยใช้สาร TCE,PCE และ 1,2 DCA ที่มีความเข้มข้น 100 ppm และทำการสกัดที่ระยะเวลา 4,8,24,72,120,168 ชั่วโมง															→		
ทำการทดลองการปลูกหญ้าแฝกในน้ำ โดยใช้สาร TCE,PCE และ 1,2 DCA ที่มีความเข้มข้น 10 ppm และทำการสกัดที่ระยะเวลา 4,8,24,72,120,168 ชั่วโมง															→		
ตรวจวัดปริมาณสารในตัวอย่าง																→	
จัดทำเล่มบทที่ 4 และ 5																→	

3.3 รายละเอียดการทดลอง

3.3.1 การวางแผนการทดลอง

การทดลองที่ 1 : การปลูกหญ้าแฝกในดินที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 100 ppm ที่ระยะเวลา 2,3,4 สัปดาห์

การทดลองที่ 2 : การปลูกหญ้าแฝกในดินที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 10 ppm ที่ระยะเวลา 2,3,4 สัปดาห์

การทดลองที่ 3 : การปลูกหญ้าแฝกในน้ำที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 100 ppm ที่ระยะเวลา 2,3,4 สัปดาห์

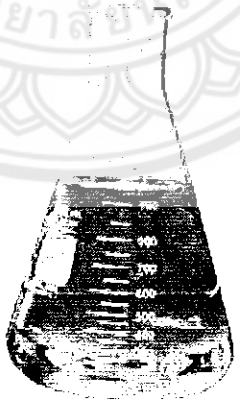
การทดลองที่ 4 : การปลูกหญ้าแฝกในน้ำที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 10 ppm ที่ระยะเวลา 2,3,4 สัปดาห์

3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมดินและน้ำก่อนการทดลอง

1. ดิน : เตรียมดินโดยนำดินจากแปลงควบคุมมาวัดค่าความชื้นของดินซึ่งดินที่ในการทดลองทุกครั้งจะนำมาจากแปลงควบคุมที่บริเวณใกล้เคียงกัน

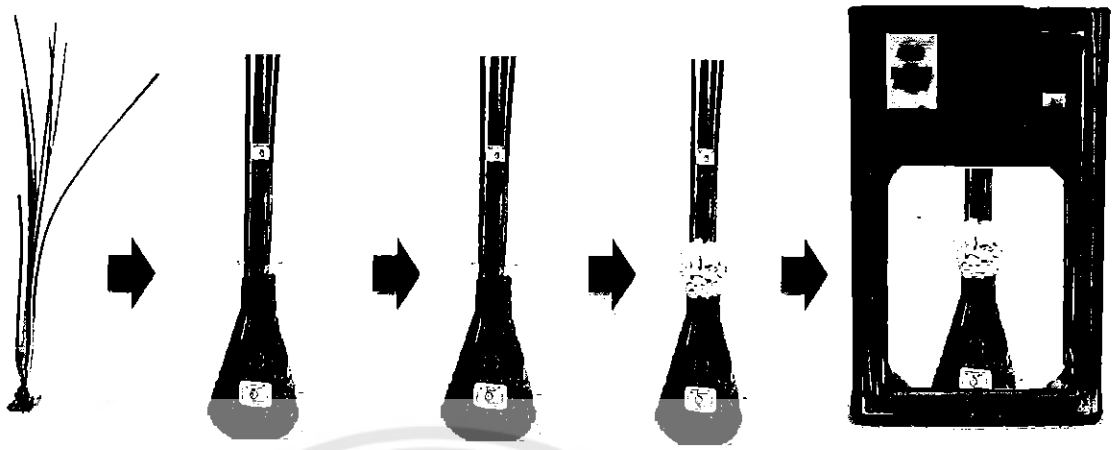
รูปที่ 3.1 ดินที่ใช้ทำการทดลอง

2. น้ำ : เตรียมน้ำที่ใช้ทำการทดลอง โดยการนำดินและน้ำกลั่นมาเขย่ารวมกันเป็นเวลาสองวันที่อัตราส่วนของน้ำต่อดินคือ 7:3 และนำมากรองด้วยกระดาษกรอง



รูปที่ 3.2 น้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้ว

3.3.3 ขั้นตอนการทดลอง



เลือกต้นหญ้าแฝกที่สมบูรณ์ สูง 60 cm.

ขวดรูปชมพูขนาด 250 ml นำต้นหญ้าแฝกใส่ในขวดที่ใส่ดินหรือน้ำ

เติมสารที่ใช้ศึกษาตามความเข้มข้นที่กำหนด

ปิดปูนปลาสเตอร์บริเวณปากขวดป้องกันการระเหย

ใส่ Reactor ปิดฝาให้สนิทจับเวลาทันที

นำมาสกัดด้วยวิธี Hot Mathanol

วัดด้วยวิธี Gas Chromatograph-Electron Capture Detector

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.4 ขั้นตอนการทดลอง (ในดิน)

1. คัดเลือกหญ้าแฝกที่มีการเพาะชำในแปลงทดลองควบคุม เลือกต้นที่มีความอุดมสมบูรณ์ คือ มีปริมาณรากมาก ลำต้นอวบ และความสูงประมาณ 60-70 ซม.

รูปที่ 3.4 หญ้าแฝกที่นำมาทำการทดลอง

2. นำต้นหญ้าแฝกใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมดินลงไปให้เต็มขวด โดยต้องทำการชั่งน้ำหนักของดินทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 3.5 นำต้นหญ้าแฝกใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

3. เติมสารที่ใช้ในการศึกษาตามความเข้มข้นที่กำหนด โดยทำการทดลองทั้งหมด 2 ครั้ง/ตัวอย่าง

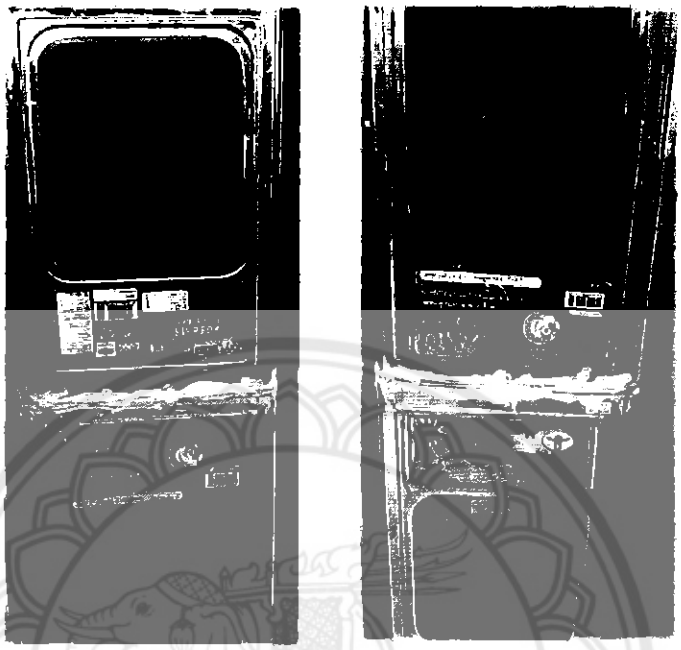
(ก) (ข)

รูปที่ 3.6 (ก) สารที่ใช้ในความเข้มข้นต่างๆ
(ข) เติมสารที่ใช้ในการศึกษา ตามความเข้มข้นที่กำหนด

4. นำปูนปลาสเตอร์ปิดบริเวณปากขวดรูปชมพู่ เพื่อป้องกันการระเหยของสาร

รูปที่ 3.7 นำปูนปลาสเตอร์ปิดบริเวณปากขวดรูปชมพู่ เพื่อป้องกันการระเหยของสาร

5. นำขวดทดลองใส่ลงไปใน Reactor แล้วทำการปิดฝาให้สนิท และเริ่มทำการจับเวลาทันที



รูปที่ 3.8 นำขวดทดลองใส่ลงไปใน Reactor

6. เมื่อครบเวลาที่กำหนด (4,8,24,72,120 และ168 ชั่วโมง หรือ 2,3,4 สัปดาห์) นำหญ้าแฝกมาทำการสกัดด้วยวิธี Hot Methanol

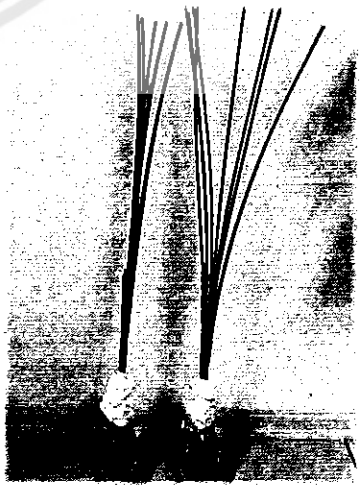
3.3.5 ขั้นตอนการทดลอง (ในน้ำ)

1. คัดเลือกหญ้าแฝกที่มีการเพาะชำในแปลงทดลองควบคุม เลือกต้นที่มีความอุดมสมบูรณ์ คือ มีปริมาณรากมาก ลำต้นอวบ และความสูงประมาณ 60-70 ซม.

รูปที่ 3.9 หญ้าแฝกที่นำมาทำการทดลอง

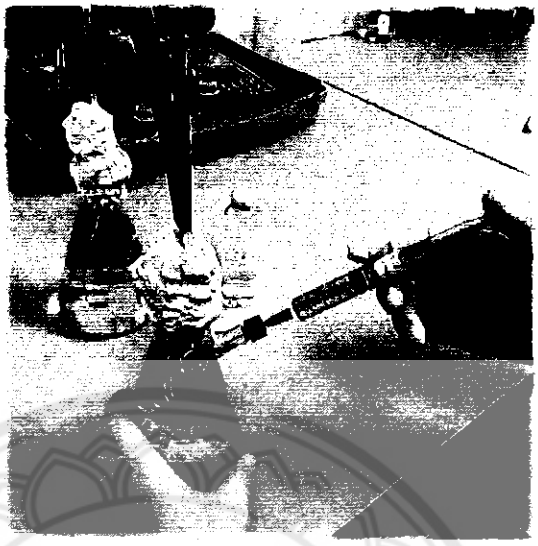
2. นำต้นหญ้าแฝกใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างในปริมาตร

3. นำปูนปลาสเตอร์ปิดบริเวณปากขวดรูปชมพู่ เพื่อป้องกันการระเหยของสาร



รูปที่ 3.10 นำปูนปลาสเตอร์ปิดบริเวณปากขวดรูปชมพู่ เพื่อป้องกันการระเหยของสาร

4. เติมสารที่ใช้ในการศึกษา ตามความเข้มข้นที่กำหนด โดยทำการทดลองทั้งหมด 2 ครั้ง/ตัวอย่าง



รูปที่ 3.11 เติมสารที่ใช้ในการศึกษา ตามความเข้มข้นที่กำหนด

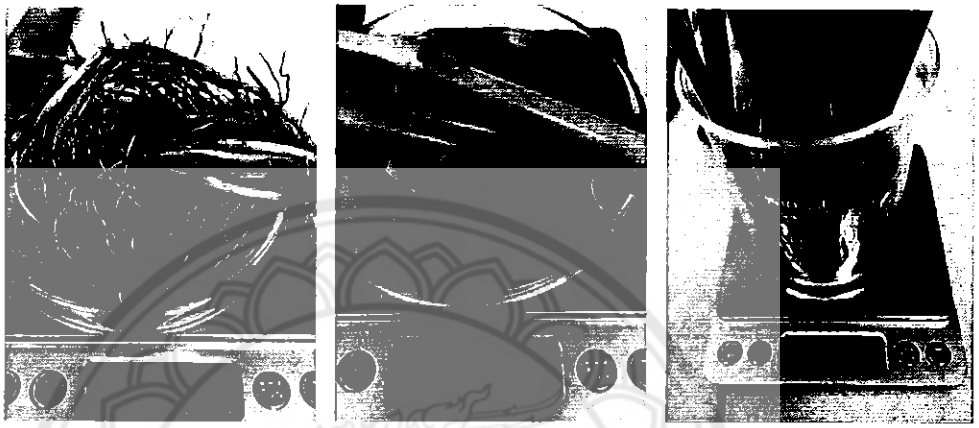
5. นำขวดทดลองใส่ลงไปใน Reactor แล้วทำการปิดฝาให้สนิท และเริ่มทำการจับเวลาทันที

รูปที่ 3.12 นำขวดทดลองใส่ลงไปใน Reactor

6. เมื่อครบเวลาที่กำหนด (4,8,24,72,120 และ168 ชั่วโมง หรือ 2,3,4 สัปดาห์) นำหญ้าแฝกมาทำการสกัดด้วยวิธี Hot Methanol

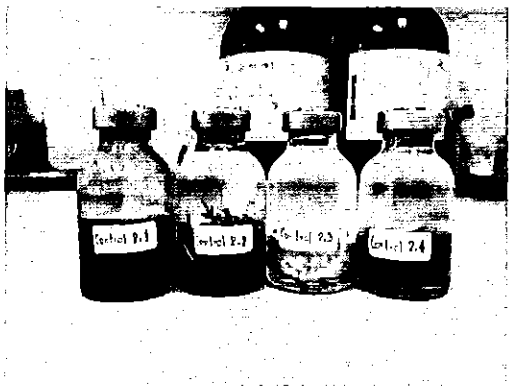
3.3.6 ขั้นตอนการสกัดด้วยวิธี Hot Methanol และวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. นำหญ้าแฝกแต่ละส่วนมาทำการชั่ง



รูปที่ 3.13 การชั่งน้ำหนักหญ้าแฝก (ราก ลำต้น ใบ)

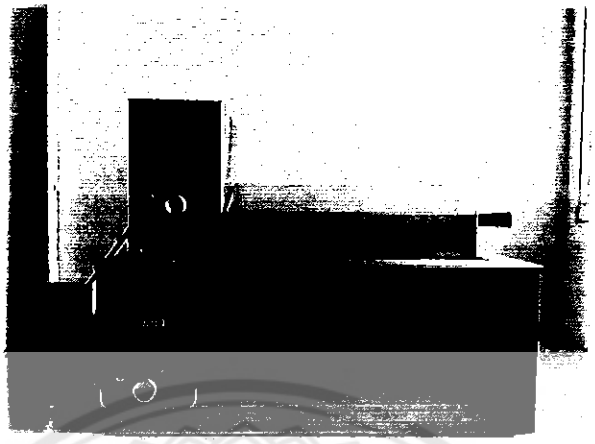
2. ตัดหญ้าแฝกแต่ละส่วน (ราก ลำต้น และใบ) ให้เป็นชิ้นเล็กๆ
3. นำใส่ลงในขวด Vial ขนาด 25 มิลลิลิตร โดยใช้ปริมาณตัวอย่างและปริมาณ Methanol ที่แตกต่างกันดังนี้
   - ราก ลำต้น ใบ : ใช้ปริมาณ 2 กรัม เติม Methanol ปริมาณ 20 มิลลิลิตร
   - ดิน : ใช้ปริมาณ 5 กรัม เติม Methanol ปริมาณ 10 มิลลิลิตร
   - น้ำ : ใช้ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เติม Methanol ปริมาณ 10 มิลลิลิตร



รูปที่ 3.14 การสกัดด้วยวิธี Hot Methanol

สำนักหอสมุด
1 1 ต.ค. 2560

4.นำขวด Vial ใส่ลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 3.15 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)

7. นำไปวัดความเข้มข้นของสารอันตรายในหญ้าแฝกที่สกัดออกมาได้ด้วยวิธี Gas Chromatography-mass spectroscopy (GC-MS)

รูปที่ 3.16 เครื่อง Gas Chromatography

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการทดลองปลูกหญ้าแฝกในระบบปิดของดินและน้ำที่ปนเปื้อนสาร Trichloroethylene (TCE) เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ประเมินศักยภาพการตรวจวัดสารปนเปื้อนด้วยพืช (Phytoscreening) โดยอาศัยกระบวนการที่พืชดูดน้ำและแร่ธาตุ ผ่านทางรากพืชไปพร้อมกับการดูดซับสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในดินและน้ำใต้ดินแล้วนำไปเก็บไว้ที่ส่วนต่างๆ ซึ่งสารพิษจะถูกกำจัดออกจากดินและน้ำใต้ดินมีการสะสมในพืชแทน หรืออาจมีการแปรสภาพเป็นสารที่ไม่มีความเป็นพิษหรือมีความเป็นพิษต่ำ ส่งผลให้ปริมาณของสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมลดลง นอกจากนี้ผลการศึกษายังสามารถประเมินประสิทธิภาพการสลาย TCE ได้อีกด้วย โดยการประเมิน TCE ที่หายไปจากระบบเนื่องจากหญ้าแฝก

จากการดำเนินงานศึกษาวิจัยสามารถอธิบายผลการทดลองได้จากการทดลองทั้งหมด 4 การทดลองดังต่อไปนี้

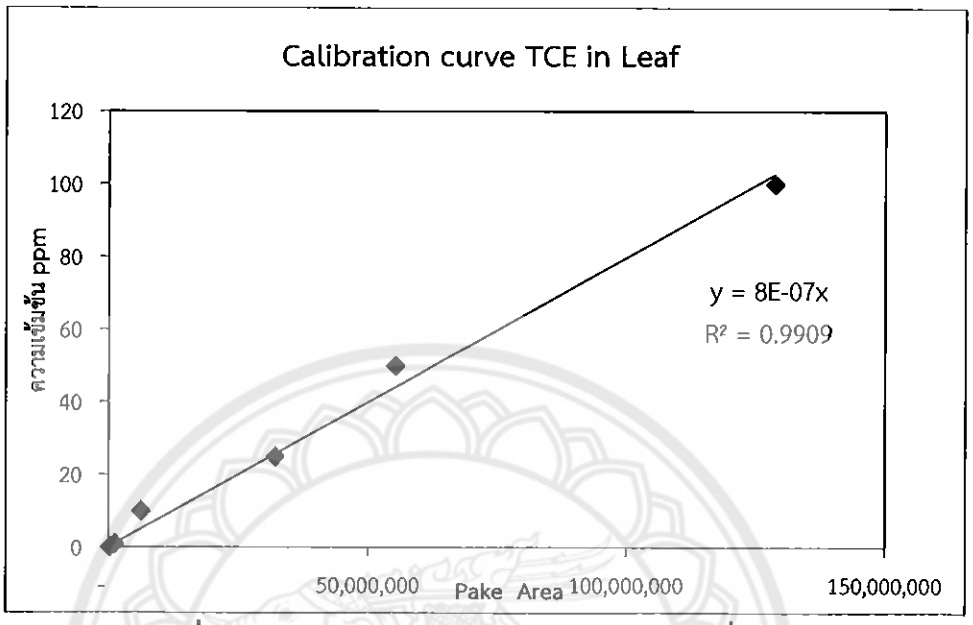
การทดลองที่ 1 : การปลูกหญ้าแฝกในดินที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 100 ppm. ที่ระยะเวลา 336,504 และ672 ชั่วโมง (14,21 และ28 วัน)

การทดลองที่ 2 : การปลูกหญ้าแฝกในดินที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 10 ppm. ที่ระยะเวลา 336,504 และ672 ชั่วโมง (14,21 และ28 วัน)

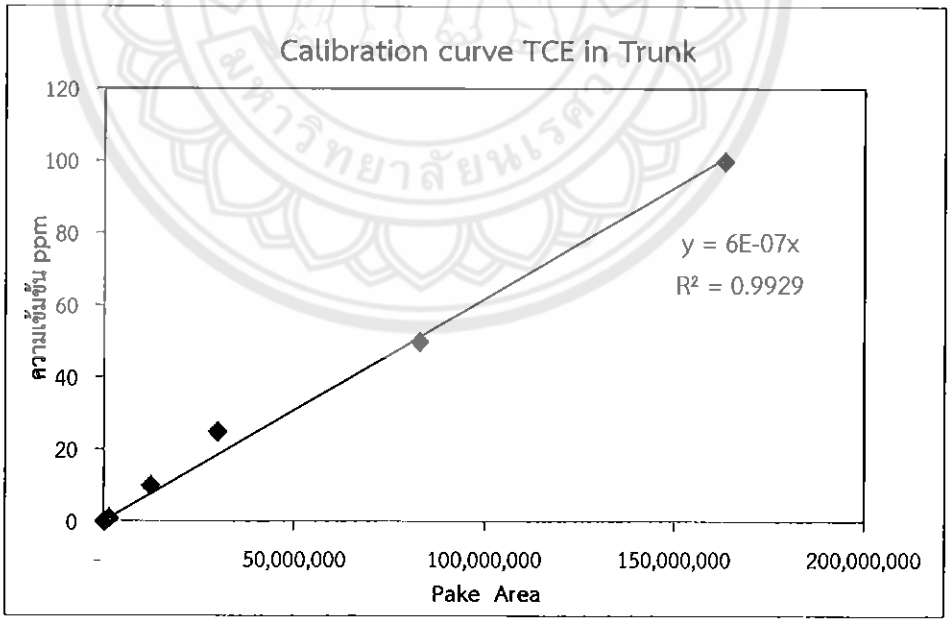
การทดลองที่ 3 : การปลูกหญ้าแฝกในน้ำที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 100 ppm. ที่ระยะเวลา 336,504 และ672 ชั่วโมง (14,21 และ28 วัน)

การทดลองที่ 4 : การปลูกหญ้าแฝกในน้ำที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 10 ppm. ที่ระยะเวลา 336,504 และ 672 ชั่วโมง (14,21 และ28 วัน)

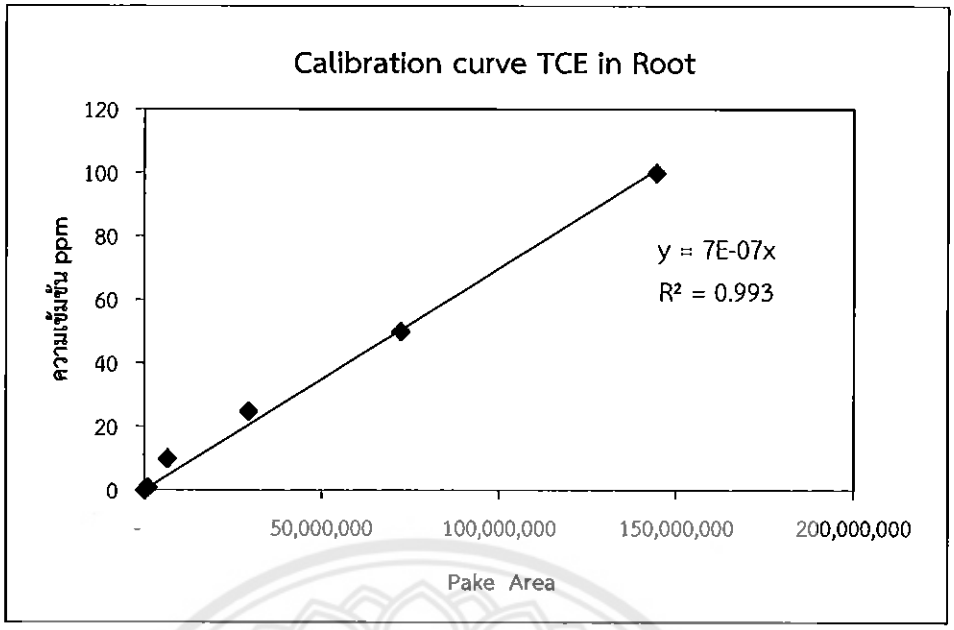
4.1 Calibration Curve ของสาร Trichloroethylene ที่สะสมในใบ ลำต้น ราก ดิน น้ำ และแก๊ส



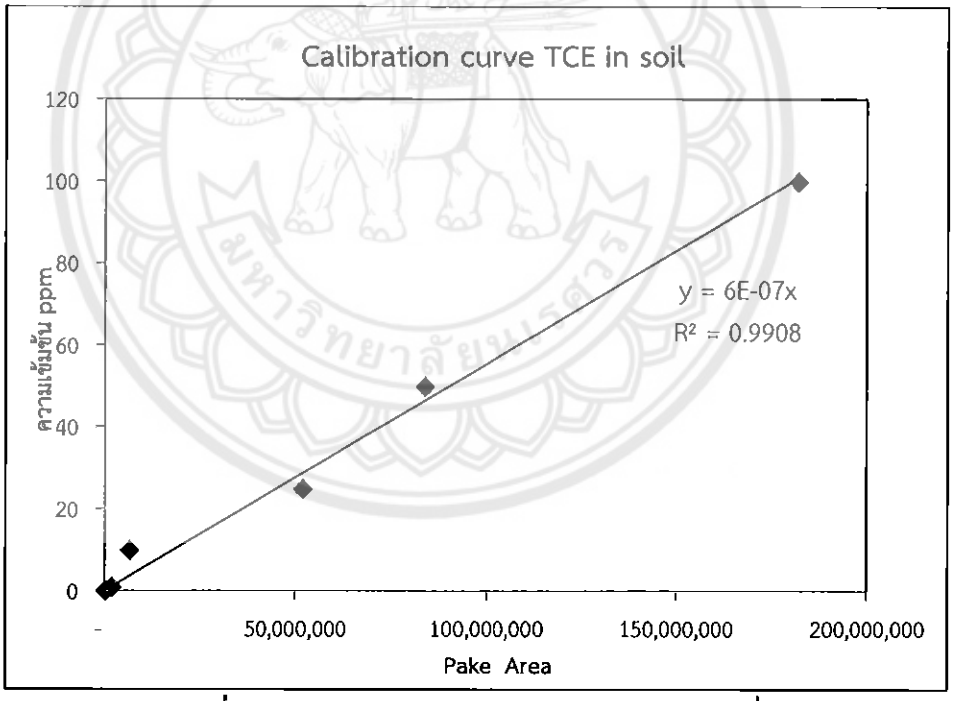
กราฟที่ 4.1 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในใบ



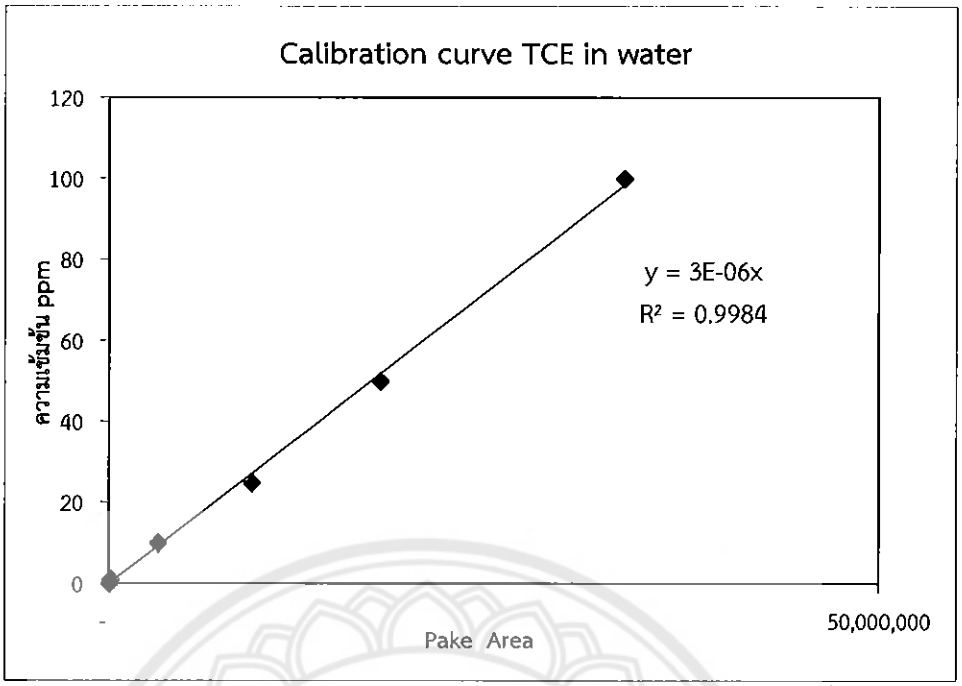
กราฟที่ 4.2 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในลำต้น



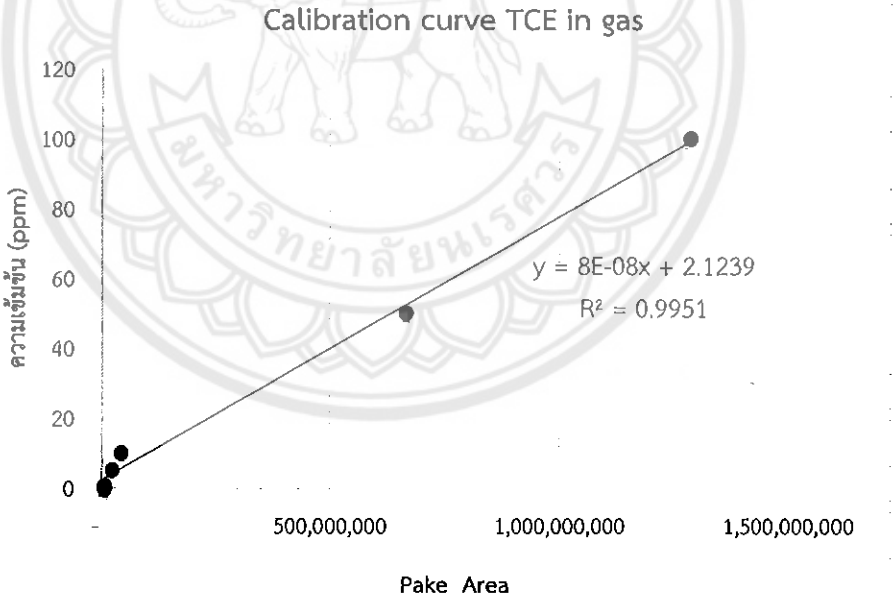
กราฟที่ 4.3 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในราก



กราฟที่ 4.4 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในดิน



กราฟที่ 4.5 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในน้ำ



กราฟที่ 4.6 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในแก๊ส

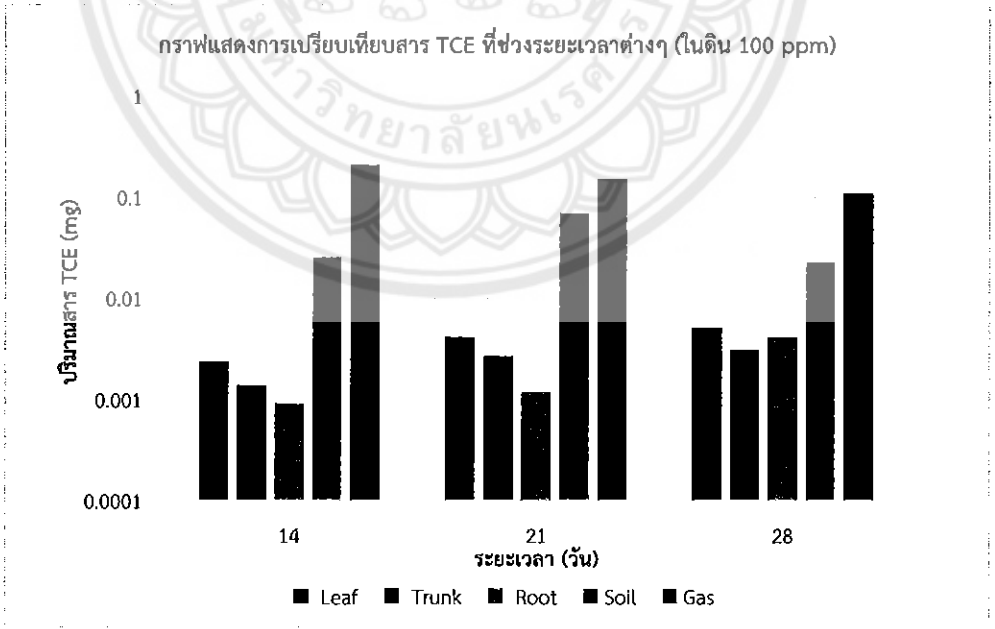
จากกราฟที่ 4-1 ถึง 4-6 เป็นกราฟแสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่มีการสะสมในส่วนต่างๆของพืชที่ เช่น ใบ ลำต้น ราก ดิน น้ำและแก๊ส จะเห็นได้ว่ากราฟทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นของสาร TCE (ในแนวแกน Y) และพื้นที่ของ Peak Area (ในแนวแกน X) ซึ่งได้กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ด้วยค่า R^2> 0.99 ด้วยเหตุนี้จึงสามารถใช้ Calibration Curve ดังกล่าวเพื่อประมาณความเข้มข้นของสาร TCE ที่สะสมไว้ในส่วนต่างๆได้

4.2 ผลการศึกษาการบำบัดสาร Trichloroethylene ของหญ้าแฝกในดินที่ปนเปื้อน

4.2.1 ผลการศึกษาการบำบัดสาร TCE ของหญ้าแฝกในดินที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 100 ppm (มีสาร TCE 10 mg ในน้ำ 100ml)

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณสาร TCE ในส่วนต่างๆ (mg) ในการปลูกหญ้าแฝกในดินที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 100 ppm

ระยะเวลา	ปริมาณการสะสมของสาร TCE ในส่วนต่างๆ (mg)				
	Leaf	Trunk	Root	Soil	Gas
14 วัน	0.00238817	0.00138095	0.00092217	0.02598577	0.24078346
21 วัน	0.00416089	0.00268992	0.00119886	0.07073377	0.1532496
28 วัน	0.005208922	0.0030968	0.00414645	0.02285102	0.1094604

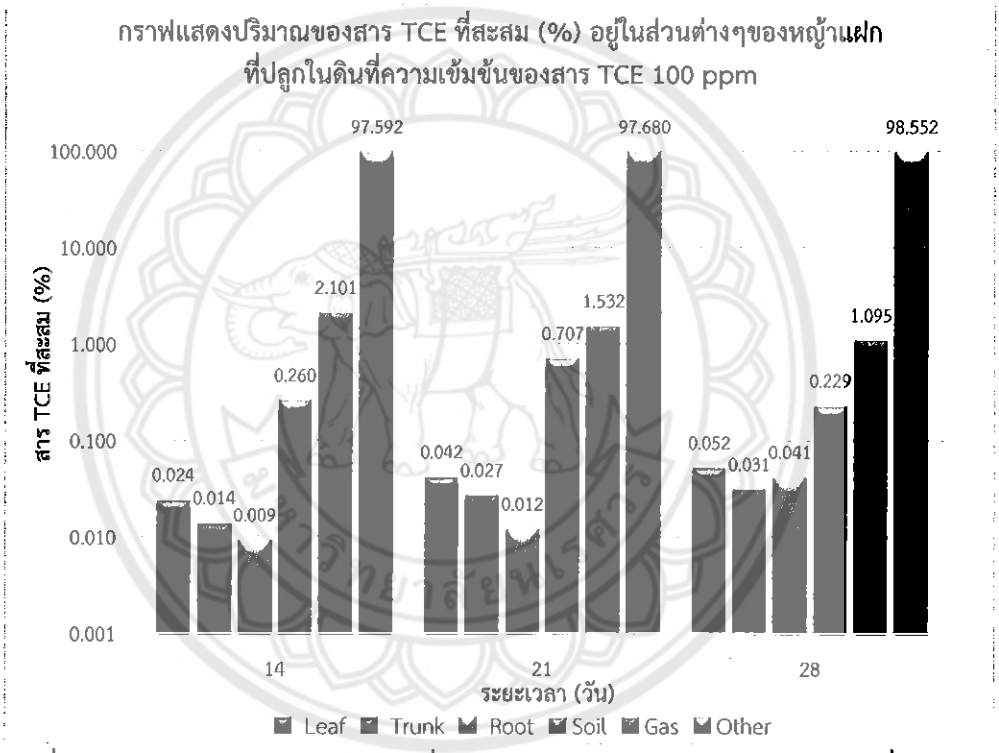


กราฟที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบสาร TCE ที่ช่วงระยะเวลาต่างๆ (ในดิน 100 ppm)

จากกราฟที่ 4-7 แสดงถึงการเปรียบเทียบปริมาณของสาร Trichloroethylene (แกน Y) ที่สะสมไว้ในส่วนต่างๆของพืชที่ช่วงเวลาต่างกัน (แกน X) สามารถอธิบายได้ดังนี้

พบว่าในแก๊สมีปริมาณสาร TCE มากที่สุดที่เวลา 14 วัน คือประมาณ 0.24 mg และรองลงมาคือที่ 21 วัน มีสาร TCE ประมาณ 0.15 mg และที่น้อยที่สุดคือที่เวลา 28 วัน มีสาร TCE ประมาณ 0.11 mg ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายิ่งระยะเวลามากขึ้นจะทำให้สาร TCE ที่ปนเปื้อนในอากาศมีปริมาณลดลง

ในดินพบปริมาณสาร TCE มากที่สุดที่ระยะเวลา 21 วัน ประมาณ 0.07 mg และรองลงมาคือที่ 14 วัน มีสาร TCE ประมาณ 0.026 mg และที่น้อยที่สุดคือที่เวลา 28 วัน มีสาร TCE ประมาณ 0.023 mg ในส่วนต่างๆของหญ้าแฝกคือ ในราก ลำต้น ใบ มีปริมาณสาร TCE มากที่สุดคือที่ระยะเวลา 28 วัน



กราฟที่ 4.8 แสดงปริมาณของสาร TCE ที่สะสม (%) อยู่ในส่วนต่างๆของหญ้าแฝกที่ปลูกในดินที่ความเข้มข้นของสาร TCE 100 ppm

จากกราฟที่ 4-8 ที่แสดงปริมาณของสาร TCE ที่สะสม (%) อยู่ในส่วนต่างๆของหญ้าแฝกที่ระยะเวลา 14,21 และ 28 วัน ปลูกในดินที่ความเข้มข้นของสาร TCE 100 ppm หรือมีสาร TCE 10 mg ในน้ำ 100 ml พบว่า

– ระยะเวลา 14 วัน พบสาร TCE ประมาณ 0.241 mg คงค้างในระบบซึ่งแสดงว่าสาร TCE หายไป 9.759 mg หรือคิดเป็น 97.59 %

– ระยะเวลา 21 วัน พบสาร TCE ประมาณ 0.232 mg คงค้างในระบบซึ่งแสดงว่าสาร TCE หายไป 9.768 mg หรือคิดเป็น 97.68 %

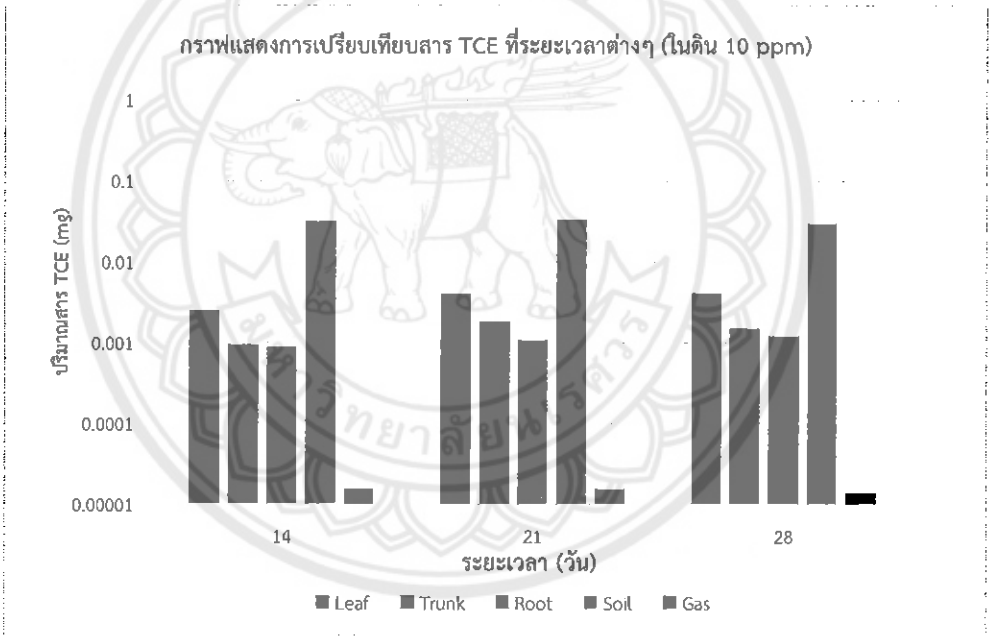
– ระยะเวลา 28 วัน พบสาร TCE ประมาณ 0.145 mg คงค้างในระบบซึ่งแสดงว่าสาร TCE หายไป 9.855 mg หรือคิดเป็น 98.55 %

สาร TCE บางส่วนที่สูญหายอาจจะเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบชนิดอื่นเช่น dichloroacetic acid, trichloroacetic และ trichloroethanol โดยผ่านกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์และกิจกรรมในเนื้อเยื่อของพืช

4.2.2 ผลการศึกษาการบำบัดสาร TCE ของหญ้าแฝกในดินที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 10 ppm (มีสาร TCE 1 mg ในน้ำ 100ml)

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณการสะสมของสาร TCE ในส่วนต่างๆ (mg) ในการปลูกหญ้าแฝกในดินที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 10 ppm

ระยะเวลา	ปริมาณการสะสมของสาร TCE ในส่วนต่างๆ (mg)				
	Leaf	Trunk	Root	Soil	Gas
14 วัน	0.00253228	0.00095635	0.00089971	0.03267098	0.00001590
21 วัน	0.004054991	0.00183292	0.00107544	0.03436607	0.00001575
28 วัน	0.004148453	0.00152270	0.00123814	0.03050019	0.00001404

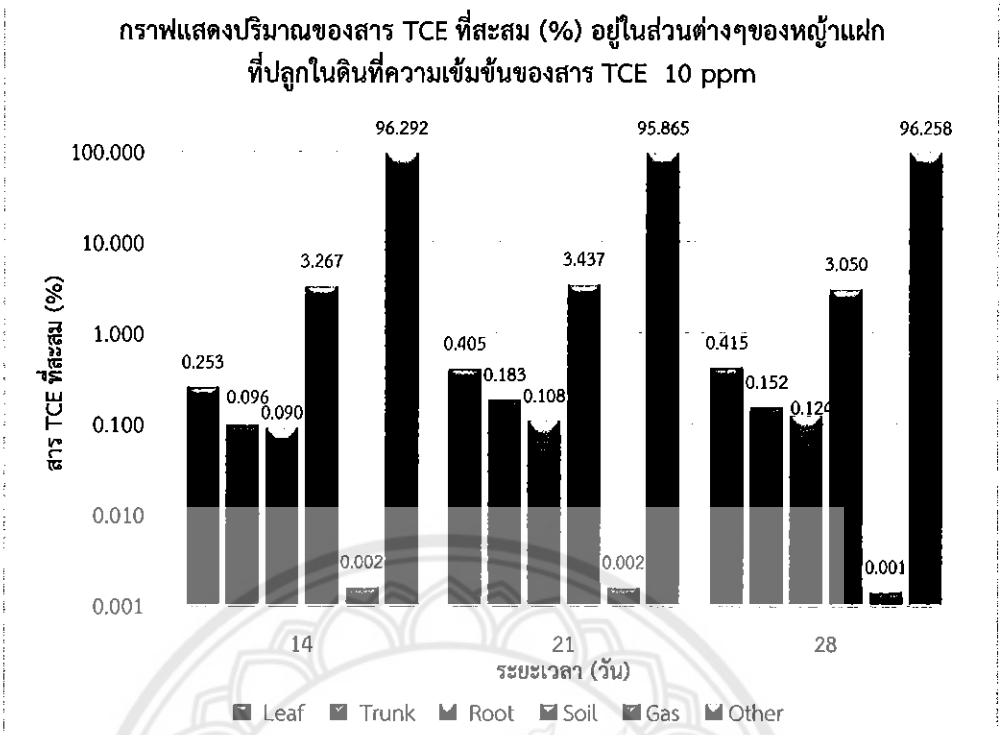


กราฟที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบสาร TCE ที่ระยะเวลาต่างๆ (ในดิน 10 ppm)

จากกราฟที่ 4-9 แสดงถึงการเปรียบเทียบปริมาณของสาร Trichloroethylene (แกน Y) ที่สะสมไว้ในส่วนต่างๆของพืชที่ช่วงระยะเวลาที่ต่างกัน (แกน X) สามารถอธิบายการเปรียบเทียบได้ดังนี้

พบว่าในดินมีปริมาณ TCE มากที่สุด พบที่ระยะเวลา 21 วัน ประมาณ 0.034 mg แก๊สมีปริมาณสาร Trichloroethylene ทุกช่วงเวลาใกล้เคียงกัน

พบว่าในต้นหญ้าแฝกพบที่รากมากที่สุดคือที่ระยะเวลา 28 วัน พบที่ลำต้นมากที่สุดที่ระยะเวลา 21 วัน และพบในใบมากที่สุดที่ระยะเวลา 28 วัน



กราฟที่ 4.10 แสดงปริมาณของสาร TCE ที่สะสม (%) อยู่ในส่วนต่างๆของหญ้าแฝกที่ปลูกในดินที่ความเข้มข้นของสารTCE 10 ppm

จากกราฟที่ 4-10 ที่แสดงปริมาณของสาร TCE ที่สะสม (%) อยู่ในส่วนต่างๆของหญ้าแฝกที่ระยะเวลา 14,21 และ 28 วัน 10 mg ปลูกในดินที่ความเข้มข้นของสาร TCE 10 ppm หรือมีสาร TCE 1 mg ในน้ำ 100 ml พบว่า

- ระยะเวลา 14 วัน พบสาร TCE ประมาณ 0.037 mg ซึ่งแสดงว่าสาร TCE หายไป 0.963 mg หรือคิดเป็น 96.3 %
- ระยะเวลา 21 วัน พบสาร TCE ประมาณ 0.041 mg ซึ่งแสดงว่าสาร TCE หายไป 0.959 mg หรือคิดเป็น 95.9 %
- ระยะเวลา 28 วัน พบสาร TCE ประมาณ 0.037 mg ซึ่งแสดงว่าสาร TCE หายไป 0.963 mg หรือคิดเป็น 96.2 %

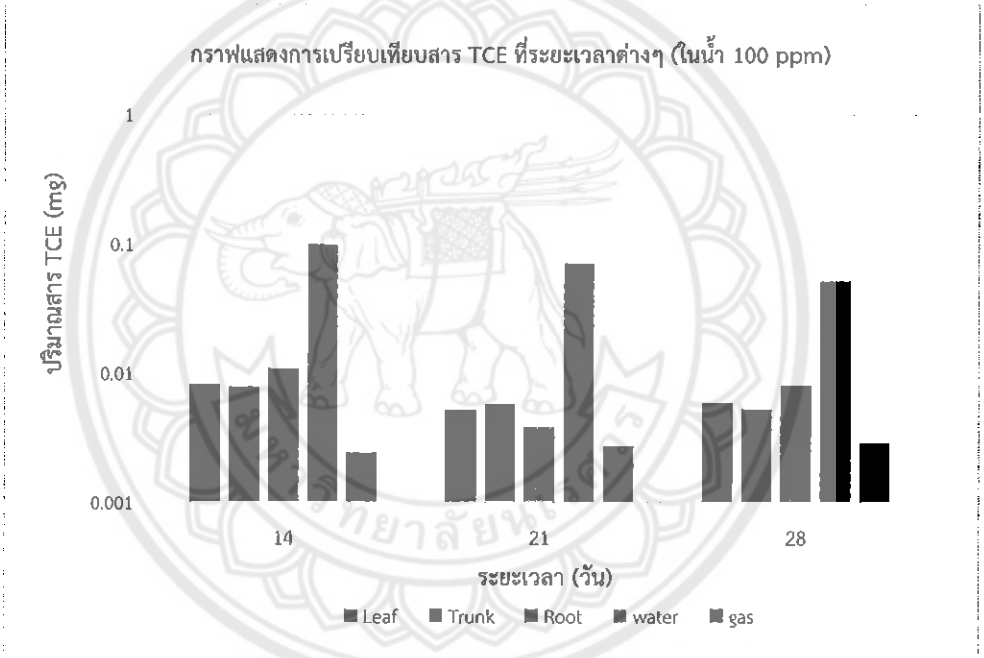
สาร TCE บางส่วนที่สูญหายเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบชนิดอื่นเช่น dichloroacetic acid, trichloroacetic และ trichloroethanol โดยผ่านกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์และพืชดังกล่าวข้างต้น

4.3 ผลการศึกษาการบำบัดสาร Trichloroethylene ของหญ้าแฝกในน้ำที่ปนเปื้อน

4.3.1 ผลการศึกษาการบำบัดสาร TCE ของหญ้าแฝกในน้ำที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 100 ppm. (มีสาร TCE 25 mg ในน้ำ 250ml)

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณการสะสมของสาร TCE ในส่วนต่างๆ (mg) ในการปลูกหญ้าแฝกในน้ำที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 100 ppm

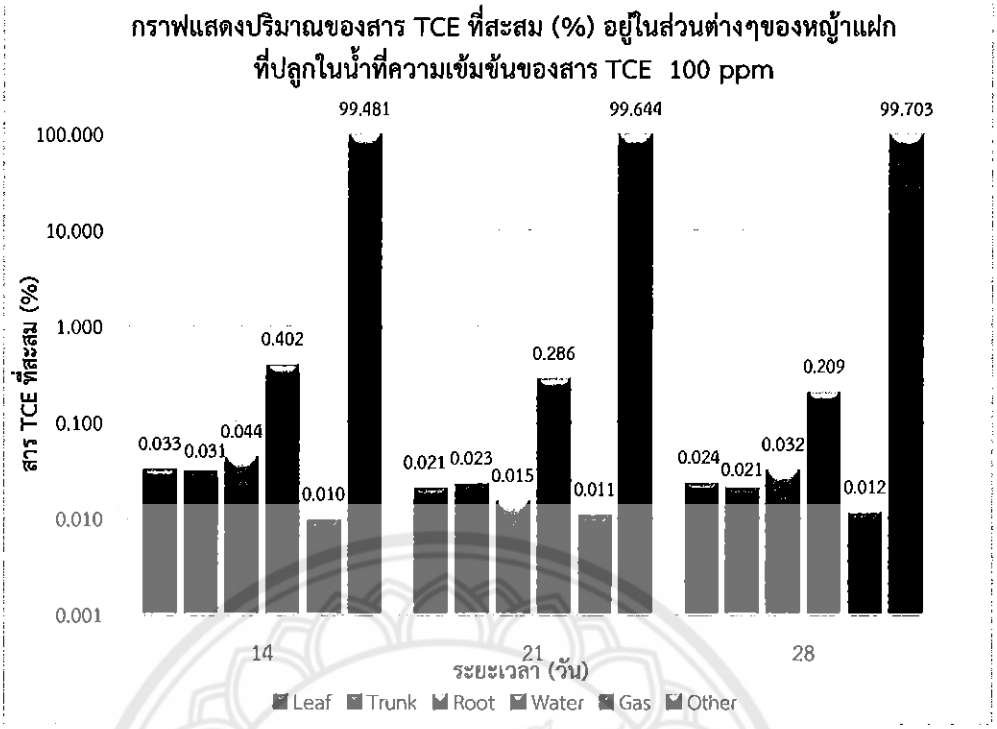
ระยะเวลา	ปริมาณการสะสมของสาร TCE ในส่วนต่างๆ (mg)				
	Leaf	Trunk	Root	water	Gas
14 วัน	0.00818276	0.00784202	0.01093125	0.1003755	0.00243614
21 วัน	0.00243614	0.00579015	0.00382528	0.0715155	0.00274127
28 วัน	0.00593456	0.00528113	0.00805891	0.052125	0.00289636



กราฟที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบสาร TCE ที่ระยะเวลาต่างๆ (ในน้ำ 100 ppm)

จากกราฟที่ 4-11 แสดงถึงการเปรียบเทียบปริมาณของสาร Trichloroethylene (แกน Y) ที่สะสมไว้ในส่วนต่างๆของพืชที่ช่วงระยะเวลาต่างกัน (แกน X) สามารถอธิบายได้ดังนี้

ที่ระยะเวลา 14 วัน มีปริมาณสาร TCE ที่อยู่ในน้ำ ราก ลำต้น ใบมากกว่าช่วงเวลาอื่น คือ มีประมาณ 0.1,0.01.0.008 และ 0.008 mg ตามลำดับ



กราฟที่ 4.12 แสดงปริมาณของสาร TCE ที่สะสม (%) อยู่ในส่วนต่างๆของหญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำที่ความเข้มข้นของสาร TCE 100 ppm

จากกราฟที่ 4-12 ที่แสดงปริมาณของสาร TCE ที่สะสม (%) อยู่ในส่วนต่างๆของหญ้าแฝกที่ระยะเวลา 14,21 และ 28 วัน ปลูกในน้ำที่ความเข้มข้นของสาร TCE 100 ppm หรือมีสาร TCE 25 mg ในน้ำ 250 ml พบว่า

– ระยะเวลา 14 วัน พบสาร TCE ประมาณ 0.130 mg ซึ่งแสดงว่าสาร TCE หายไป 24.870 mg หรือคิดเป็น 99.48 %

– ระยะเวลา 21 วัน พบสาร TCE ประมาณ 0.089mg ซึ่งแสดงว่าสาร TCE หายไป 24.911 mg หรือคิดเป็น 99.64 %

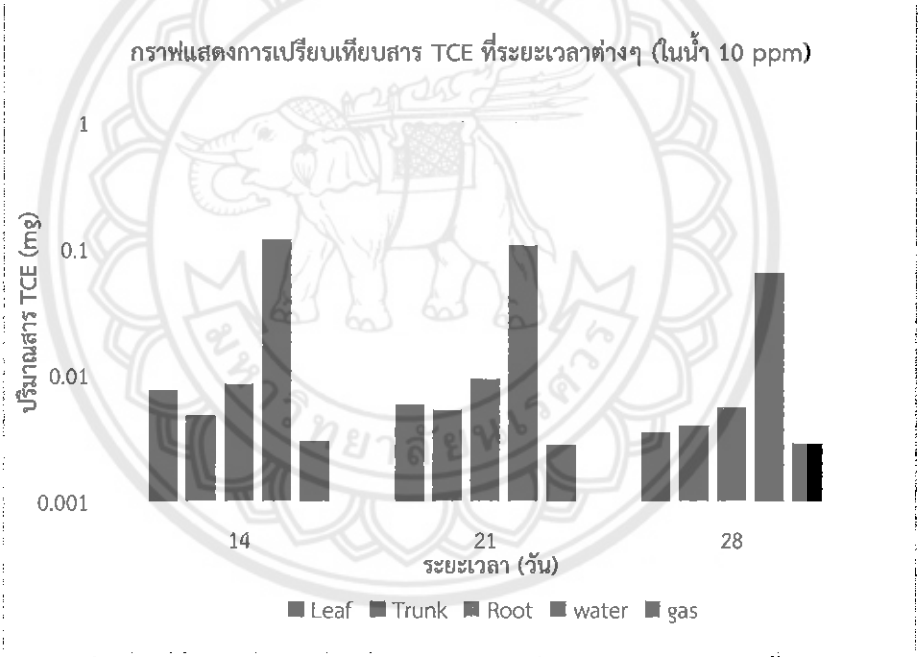
– ระยะเวลา 28 วัน พบสาร TCE ประมาณ 0.074 mg ซึ่งแสดงว่าสาร TCE หายไป 24.926 mg หรือคิดเป็น 99.70 %

บางส่วนที่สูญหายเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบชนิดอื่นเช่น dichloroacetic acid, trichloroacetic และ trichloroethanol โดยผ่านกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์และพืช

4.3.2 ผลการศึกษาการบำบัดสาร TCE ของหญ้าแฝกในน้ำที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 10 ppm. (มีสาร TCE 2.5 mg ในน้ำ 250ml)

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณการสะสมของสาร TCE ในส่วนต่างๆ (mg) ในการปลูกหญ้าแฝกในน้ำที่ปนเปื้อนสาร TCE เข้มข้น 10 ppm

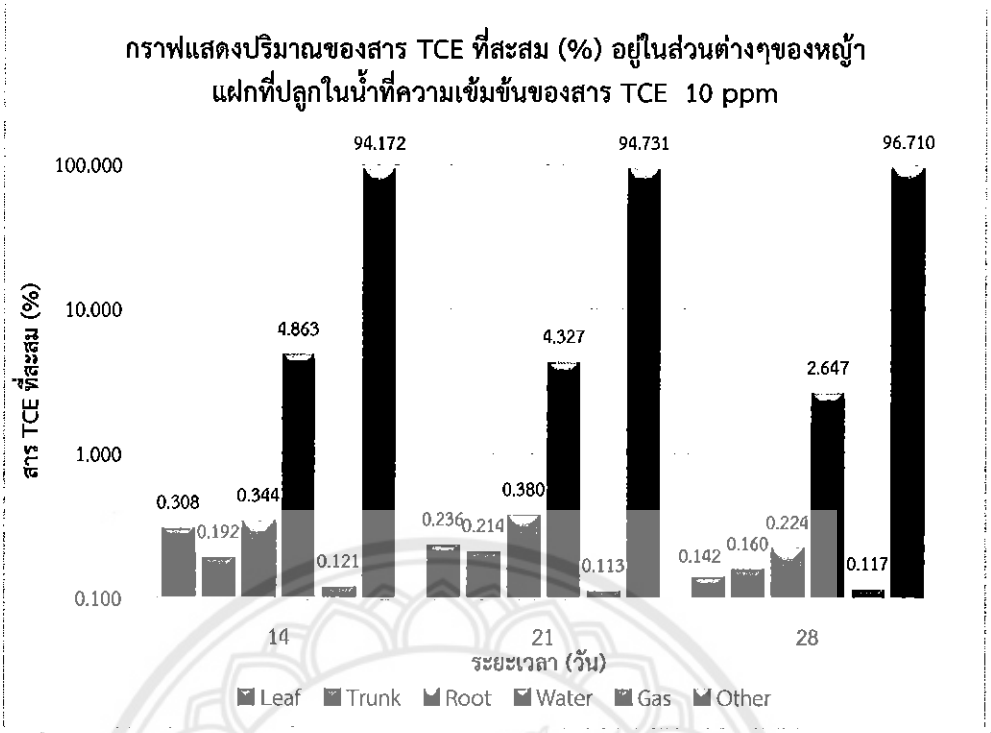
ระยะเวลา	ปริมาณการสะสมของสาร TCE ในส่วนต่างๆ (mg)				
	Leaf	Trunk	Root	Soil	Gas
14 วัน	0.00768904	0.00481152	0.00860227	0.1215735	0.00302744
21 วัน	0.0058956	0.00533954	0.00949593	0.1081725	0.00282541
28 วัน	0.00356008	0.00400729	0.00559893	0.066177	0.00291588



กราฟที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบสาร TCE ที่ระยะเวลาต่างๆ (ในน้ำ 10 ppm)

จากกราฟที่ 4-13 แสดงการเปรียบเทียบถึงปริมาณของสาร TCE (แกน Y) ที่สะสมไว้ในส่วนต่างๆของพืชที่ช่วงเวลาต่างกัน (แกน X) สามารถอธิบายได้ดังนี้

ที่ระยะเวลาต่างๆมีปริมาณสาร TCE อยู่ในน้ำมากที่สุด รองลงมาคือราก ใบ และลำต้น ส่วนที่พบปริมาณสาร TCE สะสมน้อยที่สุดคือ ในแก๊ส



กราฟที่ 4.14 แสดงปริมาณของสาร TCE ที่สะสม (%) อยู่ในส่วนต่างๆของหญ้า**แฝกที่ปลูกในน้ำที่**ความเข้มข้นของสาร TCE 10 ppm

จากกราฟที่ 4-14 ที่แสดงปริมาณของสาร TCE ที่สะสม (%) อยู่ในส่วนต่างๆของหญ้าแฝกที่ระยะเวลา 14,21 และ 28 วัน ปลูกในน้ำที่ความเข้มข้นของสาร TCE 100 ppm **หรือมีสาร** TCE 25 mg **ในน้ำ** 250 ml พบว่า

ปลูกในน้ำที่ความเข้มข้นของสาร TCE 100 ppm หรือมีสาร TCE 2.5 mg ในน้ำ 250 ml พบว่า

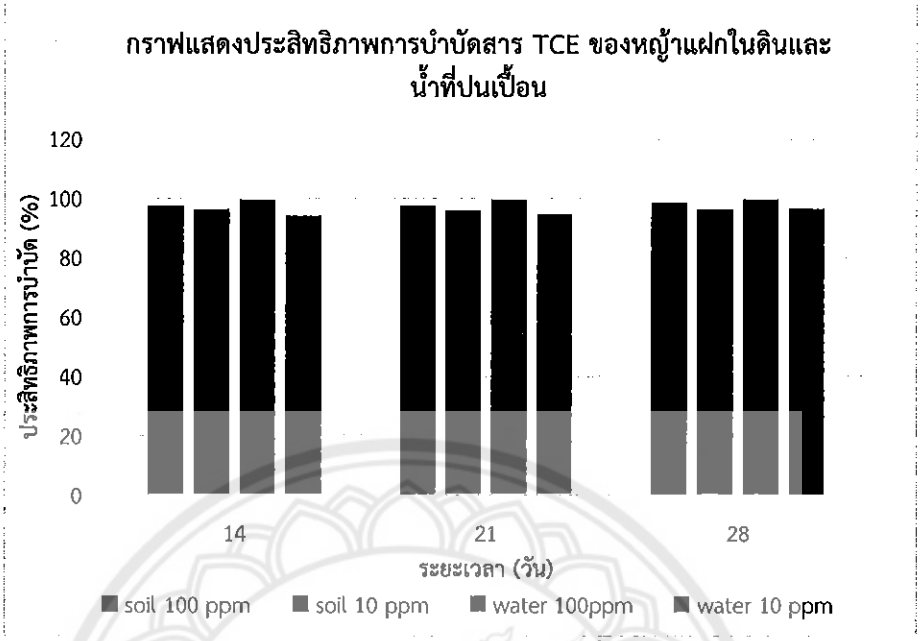
– ระยะเวลา 14 วัน พบสาร TCE ประมาณ 0.146 mg ซึ่งแสดงว่าสาร TCE หายไป 2.354 mg หรือคิดเป็น 94.17 %

– ระยะเวลา 21 วัน พบสาร TCE ประมาณ 0.132mg ซึ่งแสดงว่าสาร TCE หายไป 2.368 mg หรือคิดเป็น 94.73 %

– ระยะเวลา 28 วัน พบสาร TCE ประมาณ 0.082 mg ซึ่งแสดงว่าสาร TCE หายไป 2.418 mg หรือคิดเป็น 96.71 %

บางส่วนที่สูญหายเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบชนิดอื่นเช่น dichloroacetic acid, trichloroacetic และ trichloroethanol โดยผ่านกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์และพืชดังกล่าวข้างต้น

4.4 ผลการศึกษาการบำบัดสาร Trichloroethylene ของหญ้าแฝกในดินและน้ำที่ปนเปื้อน

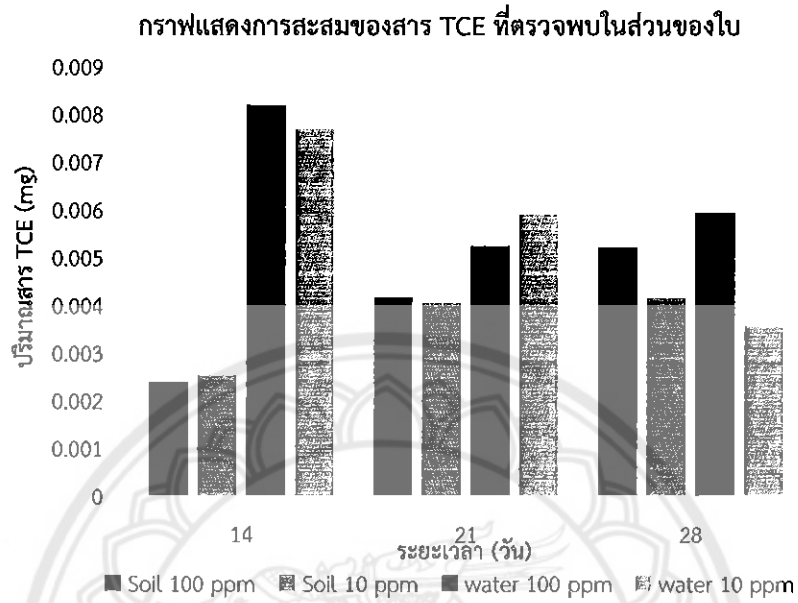


กราฟที่ 4.15 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด (%) ของดินและน้ำที่ความเข้มข้น 10 และ 100 ppm

จากกราฟที่ 4-15 แสดงประสิทธิภาพการบำบัด (%) ของดินและน้ำที่ความเข้มข้น 10 และ 100 ppm พบว่า ความสามารถเคลื่อนย้ายสาร TCE สะสม และย่อยสลายสาร TCE พบว่า หญ้าแฝกที่ปลูกในดิน ในช่วงระยะเวลา 14,21 และ 28 วัน มีการสูญหายของสาร TCE ในระบบ คือ 96.94%,96.78% และ97.41% ตามลำดับ หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำ ในช่วงระยะเวลา 14,21 และ 28 วัน มีการสูญหายของสาร TCE ในระบบ คือ 96.83%,97.19% และ98.21% ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดทั้งในดินและน้ำมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันทั้งสามช่วเวลา โดยที่ความเข้มข้นสาร TCE 100 ppm ในส่วนของการปลูกในดินและน้ำมีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกันกัน แต่ที่ความเข้มข้นของสาร 10 ppm ในดินจะมีประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่าในน้ำ

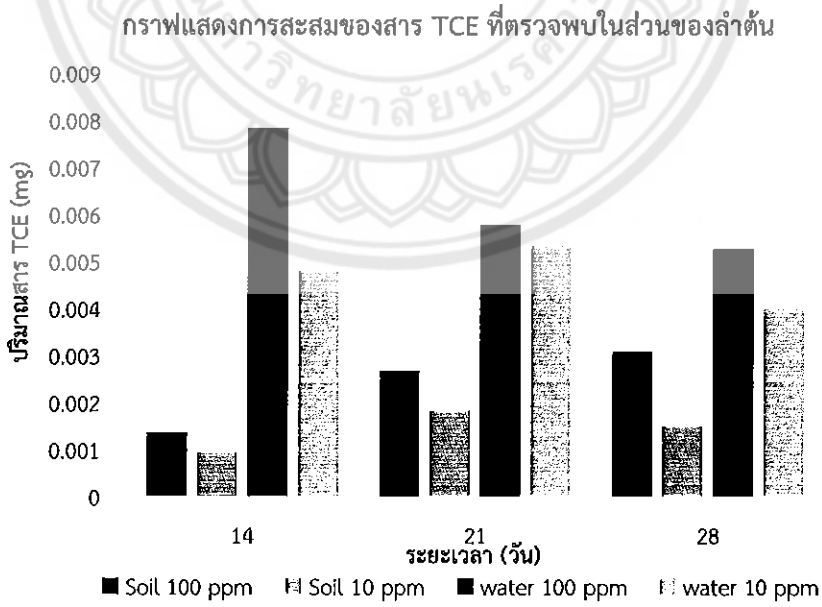
4.5 การเปรียบเทียบปริมาณการสะสมของสาร TCE ที่ความเข้มข้น 100 ppm และ 10 ppm ทั้งในดินและน้ำ ของส่วนต่างๆของหญ้าแฝก

4.5.1 การสะสมของสาร TCE ที่ตรวจพบในส่วนของใบ



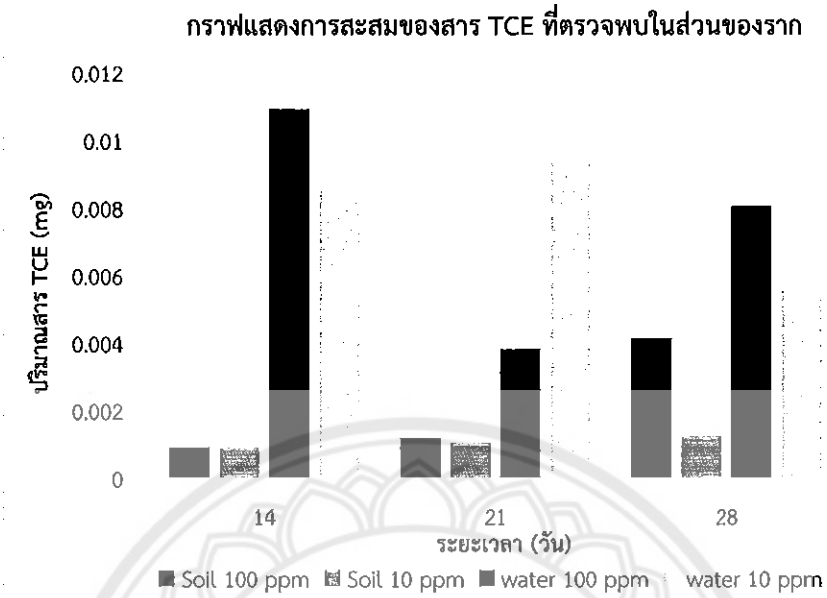
กราฟที่ 4.16 แสดงปริมาณสาร TCE (แกน Y) ที่สะสมไว้ในใบของหญ้าแฝกที่ระยะเวลาต่างๆ (แกน X)

4.5.2 การสะสมของสาร TCE ที่ตรวจพบในส่วนของลำต้น



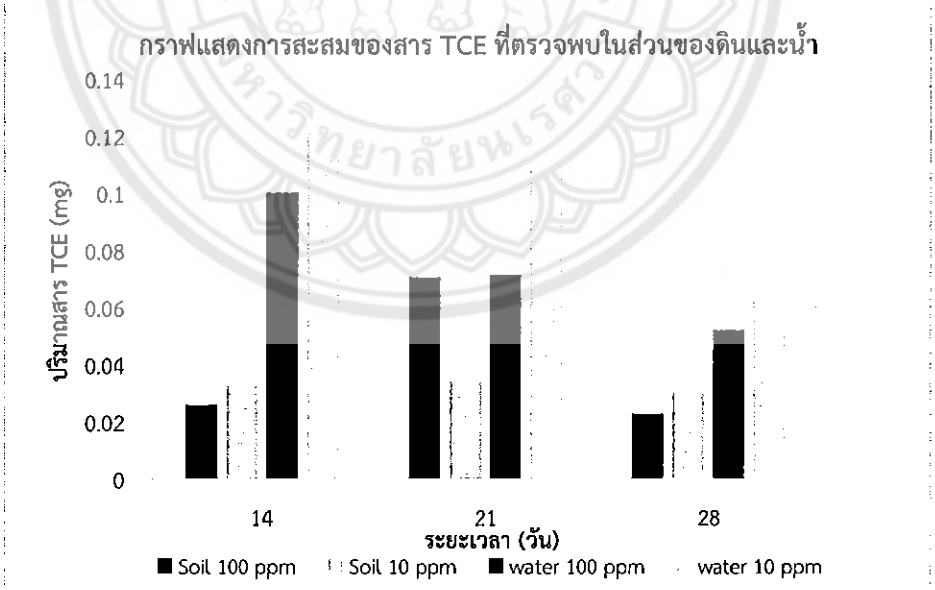
กราฟที่ 4.17 แสดงปริมาณสาร TCE (แกน Y) ที่สะสมไว้ในลำต้นของหญ้าแฝกที่ระยะเวลาต่างๆ (แกน X)

4.5.3 การสะสมของสาร TCE ที่ตรวจพบในส่วนของราก



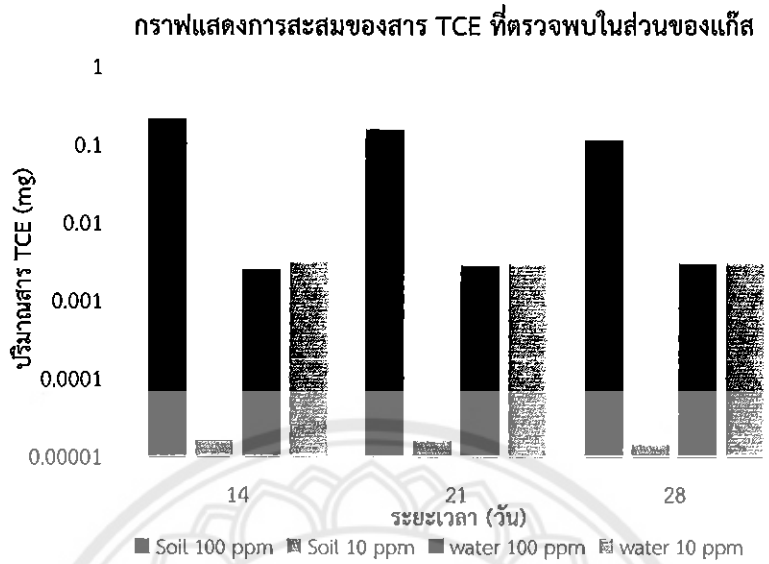
กราฟที่ 4.18 แสดงปริมาณสาร TCE (แกน Y) ที่สะสมไว้ในรากของหญ้าแฝกที่ระยะเวลาต่างๆ (แกน X)

4.5.4 การสะสมของสาร TCE ที่ตรวจพบในส่วนของดินและน้ำ



กราฟที่ 4.19 แสดงปริมาณสาร TCE (แกน Y) ที่สะสมไว้ในดินและน้ำที่ระยะเวลาต่างๆ (แกน X)

4.5.5 การสะสมของสาร TCE ที่ตรวจพบในส่วนของแก๊ส



กราฟที่ 4.20 แสดงปริมาณสาร TCE (แกน Y) ที่สะสมในแก๊สที่ระยะเวลาต่างๆ (แกน X)

จากกราฟที่ 4.17-4.21 ที่แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสาร TCE (แกน Y) กับระยะเวลา (แกน X) ในส่วนต่างๆของพืช จะพบว่าในดินและน้ำที่ระยะเวลาแตกต่างกัน คือ 14,21 และ 28 วัน ที่ความเข้มข้น 100 และ 10 ppm มีปริมาณสาร TCE ดังนี้

ปริมาณสาร TCE ที่ปลูกในดินและน้ำที่พบในใบ

ดินที่ความเข้มข้น 100 ppm. ในช่วงเวลา 14,21 และ 28 วัน คือ 0.002,0.004 และ0.005 mg. ที่ความเข้มข้น 10 ppm. คือ 0.002,0.04 และ0.004 mg ปริมาณสาร TCE ที่ปลูกในน้ำพบในใบ ที่ความเข้มข้น 100 ppm. คือ 0.008,0.005 และ0.006 mg. ที่ความเข้มข้น 10 ppm. คือ 0.007,0.006 และ0.004 mg ตามลำดับ

ปริมาณสาร TCE ที่ปลูกในดินและน้ำที่พบในลำต้น

ดินที่ความเข้มข้น 100 ppm. ในช่วงเวลา 14,21 และ 28 คือ 0.001,0.002 และ0.003 mg. ที่ความเข้มข้น 10 ppm. คือ 0.001,0.001 และ0.002 mg ปริมาณสาร TCE ที่ปลูกในน้ำพบในใบ ที่ความเข้มข้น 100 ppm. คือ 0.007,0.006 และ 0.005 mg. ที่ความเข้มข้น 10 ppm. คือ 0.004,0.005 และ0.004 mgตามลำดับ

ปริมาณสาร TCE ที่ปลูกในดินและน้ำที่พบในราก

ดินที่ความเข้มข้น 100 ppm.ในช่วงเวลา 14,21 และ 28 คือ 0.001,0.001 และ0.004 mg. ที่ความเข้มข้น 10 ppm. คือ 0.001,0.001 และ0.001 mg ปริมาณสาร TCE ที่ปลูกในน้ำพบในใบ

ที่ความเข้มข้น 100 ppm. คือ 0.01,0.003 และ0.008 mg. ที่ความเข้มข้น 10 ppm. คือ 0.008,0.009 และ0.005 mgตามลำดับ

ปริมาณสาร TCE ที่ปลูกในดินและน้ำที่พบในดินและน้ำ

ดินที่ความเข้มข้น 100 ppm. ในช่วงเวลา 14,21 และ 28 คือ 0.026,0.071 และ0.022 mg. ที่ความเข้มข้น 10 ppm. คือ 0.032,0.034 และ0.030 mg ปริมาณสาร TCE ที่ปลูกในน้ำพบในใบ ที่ความเข้มข้น 100 ppm. คือ 0.100,0.072 และ 0.052 mg. ที่ความเข้มข้น 10 ppm. คือ 0.121,0.108 และ0.066 mg ตามลำดับ

ปริมาณสาร TCE ที่ปลูกในดินและน้ำที่พบในแก๊ส

ดินที่ความเข้มข้น 100 ppm. ในช่วงเวลา 14,21 และ 28 คือ 0.026,0.071 และ0.022 mg. ที่ความเข้มข้น 10 ppm. คือ 0.002,0.004 และ0.005 mg ปริมาณสาร TCE ที่ปลูกในน้ำพบในใบ ที่ความเข้มข้น 100 ppm. คือ 0.008,0.005 และ 0.005 mg. ที่ความเข้มข้น 10 ppm. คือ 0.007,0.005 และ0.003 mg ตามลำดับ

โดยหญ้าแฝกที่ปลูกในดินที่ความเข้มข้นของสารทั้งสองความเข้มข้นมีปริมาณสาร TCE ที่สะสมอยู่ในใบ ลำต้นและราก ใกล้เคียงกัน ส่วนในน้ำก็เช่นกันคือระยะเวลาที่แตกต่างกันความเข้มข้นทั้งสองความเข้มข้นมีปริมาณสาร TCE ที่อยู่ในใบ ลำต้นและราก ใกล้เคียงกัน ซึ่งในน้ำจะพบว่ามีปริมาณสาร TCE ที่สะสมมากกว่าในดิน อาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินได้ทำการย่อยสลายสาร TCE และเปลี่ยนรูปไปเป็นสารอื่นได้มากกว่าในน้ำ จึงพบสาร TCE ในน้ำมากกว่า

แต่ปริมาณสาร TCE ที่สะสมในส่วนต่างๆของหญ้าแฝกนั้น มีค่าไม่เกิน 0.012 mg ซึ่งถ้าปริมาณสาร TCE มีการสะสมมากกว่านี้ หญ้าแฝกจะไม่สามารถเก็บสะสมไว้ในเนื้อเยื่อได้ จึงอาจทำการเปลี่ยนรูปของสาร TCE ให้เป็นสารอื่นเช่น dichloroacetic acid, trichloroacetic และ trichloroethanol หรือทำการระเหยออกมาเป็นไอผ่านทางปากใบ ซึ่งสังเกตได้จากปริมาณสาร TCE ที่สะสมอยู่ในแก๊สโดยตรวจพบว่าหญ้าแฝกที่ปลูกในดินมีปริมาณมากกว่าหญ้าแฝกในน้ำ

4.6 เปรียบเทียบคุณสมบัติการเคลื่อนย้าย และการสะสมของสาร TCE ในส่วนต่างๆของหญ้าแฝก

การปลูกแฝกในดินปนเปื้อน TCE ที่ความเข้มข้น 10 ppm. และ 100 ppm พบว่าในดินมีบทบาทในการสลาย TCE และลดการสะสมของ TCE ในแฝก ทำให้มีการสะสมสาร TCE ที่หลงเหลือในดินจากการบำบัด คิดเป็นเพียง 1.196% และ9.754% การสะสมสาร TCE ที่หลงเหลือในรากจากการบำบัด คิดเป็น 0.321% และ0.063% การสะสมสาร TCE ที่หลงเหลือในลำต้น คิดเป็น 0.431% และ 0.073% การสะสมสาร TCE ที่หลงเหลือในใบจากการบำบัด คิดเป็น 1.074% และ0.118% การสะสมสาร TCE ที่หลงเหลือในแก๊สจากการบำบัด คิดเป็น 0.005% และ4.728% ซึ่งมีการสูญหายของสาร TCE จากระบบซึ่งเกิดกระบวนการเปลี่ยนสารTCE จากการบำบัด โดยสารพิษจะถูกกำจัดออกจากดินและน้ำใต้ดินมีการสะสมในพืชแทน หรืออาจมีการแปรสภาพเป็นสารที่ไม่มีความเป็นพิษหรือมีความเป็นพิษต่ำ คิดเป็น 88.416% และ93.824% มีปริมาณการสะสมในหญ้าแฝกพบสาร TCE มากที่สุดในส่วนของใบ รองลงมาคือลำต้นและราก ของหญ้าแฝก

การปลูกในน้ำจากความเข้มข้น 10 ppm. และ 100 ppm พบว่าในน้ำมีประมาณสารลดลงทำให้มีการสะสมสาร TCE ที่หลงเหลือในน้ำจากการบำบัด คิดเป็นเพียง 0.351% และ 0.032% การสะสมสาร TCE ที่หลงเหลือในรากจากการบำบัด คิดเป็น 0.948% และ0.096% การสะสมสาร TCE ที่หลงเหลือในลำต้น คิดเป็น 0.568% และ0.076% การสะสมสาร TCE ที่หลงเหลือในใบจากการบำบัด คิดเป็น 0.686% และ0.077% การสะสมสาร TCE ที่หลงเหลือในแก๊สจากการบำบัด คิดเป็น

11.837% และ0.896% ซึ่งมีการสูญหายของสาร TCE จากระบบหรือเกิดกระบวนการเปลี่ยนสาร TCE จากการบำบัด โดยสารพิษจะถูกกำจัดออกจากดินและน้ำใต้ดินโดยสะสมในพืชแทน หรืออาจมีการแปรสภาพเป็นสารที่ไม่มีความเป็นพิษหรือมีความเป็นพิษต่ำ คิดเป็น 85.612% และ98.826% มีปริมาณการสะสมในหญ้าแฝกพบสาร TCE มากที่สุดในส่วนลำต้น รองลงมาคือส่วนรากและใบหญ้าแฝก

ซึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดการย่อยสลาย TCE ในแฝกที่ปลูกในดินและน้ำนั้นอาจเกิดจากกิจกรรมการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในหญ้าแฝก (ปัญจา และคณะ .(2010)) เนื่องจากในการทดลองไม่ได้มีการอบเพื่อทำลายกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงสามารถเกิดกิจกรรมการย่อยสลายของเชื้อจุลินทรีย์อย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง Anderson and Wallon. (1985) กล่าวว่ากระบวนการย่อยสลายทางชีวเคมีของสาร TCE ส่วนมากจะเกิดที่บริเวณรากพืช ซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของเชื้อจุลินทรีย์จำนวนมาก เชื้อจุลินทรีย์จะย่อยสลายสาร TCE ผ่านกระบวนการ mineralization โดยแบคทีเรียหลายชนิดสามารถย่อยสลายสาร TCE ในดินและน้ำได้ เช่น แบคทีเรียกลุ่มย่อยสลายสารมีเทน (methanogenic bacteria) (Fan and Scow. (1993) ;Shukla et al. (2009)) กล่าวว่าแบคทีเรียกลุ่มย่อยสลายสารมีเทนสามารถย่อยสลายสาร TCE ได้ประมาณ 40 % ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ภายระยะเวลา 8 สัปดาห์ และกิจกรรมการย่อยสลายสามารถเกิดได้ทั้งในสภาวะที่มีอากาศ และสภาวะไร้อากาศ สาร TCE ที่ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายแล้วจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบหลายชนิด ได้แก่ dichloroethane, vinly chloride และ ethaneเป็นต้น Shukla et al. (2009) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสาร TCE ที่หลงเหลืออยู่ในส่วนของดินและพืชมีค่าลดลง เนื่องจากบางส่วนถูกดูดซับไปโดยรากหญ้าแฝกแล้วถ่ายเทขึ้นสู่ลำต้น และใบ ทำให้เกิดจากกิจกรรมการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในดินที่นำมาทำการทดลอง จากปริมาณสาร TCE ที่เคลื่อนจากรากไปสู่ลำต้นมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสาร TCE ในระบบหญ้าแฝกซึ่งอาจรวมถึงการแปลสภาพของ TCE เป็น dichloroacetic acid, trichloroacetic และ trichloroethanol ที่มีการศึกษาพบเมื่อสาร TCE ถูกดูดซับและถ่ายเทในระบบไม้ยืนต้น เช่น ต้นหลิว และต้นสน สอดคล้องกับสมมุติฐานว่า TCE อาจจะถูกหน่วงในระบบรากหญ้าแฝกและถูกเปลี่ยนเป็น dichloroacetic acid, trichloroacetic และ trichloroethanol เมื่อเคลื่อนที่ไปในต้นหญ้าแฝก โดยจากผลการทดลองเหมาะสำหรับการใช้ในหลักการพฤกษาบำบัด Phytoremediation เพราะจากระบบหรือเกิดกระบวนการเปลี่ยนสาร TCE จากการบำบัด โดยสารพิษจะถูกกำจัดออกจากดินและน้ำใต้ดินโดยสะสมในพืชแทน หรืออาจมีการแปรสภาพเป็นสารที่ไม่มีความเป็นพิษหรือมีความเป็นพิษต่ำ มีประสิทธิภาพการบำบัดที่ดี ถึง 99% โดยในดินมีประสิทธิภาพการบำบัดสาร TCE มากกว่าในน้ำ ปริมาณ TCE สะสมในใบมากกว่าลำต้นและราก ที่ความเข้มข้นเดียวกันและปลูกที่สถานะเดียวกัน ในระยะเวลาทั้งสามจะมีแนวโน้มที่เหมือนกัน การนำไปประยุกต์ใช้ในหลักการตรวจสอบทางพฤกษเคมีเบื้องต้น (Phytoscreening) โดยใช้สารสกัดจากพืชในช่วงระยะเวลาอันสั้น ง่ายรวดเร็ว และใช้เครื่องมือในการตรวจสอบน้อยที่สุดโดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมีงายๆ จากการสะสมของสาร TCE ในส่วนของลำต้นและใบ แต่การสะสมในส่วนต่างๆ ยังมีปริมาณน้อยการนำมาเพื่อใช้ในการเฝ้าระวัง ติดตาม ตรวจสอบการปนเปื้อนของสาร TCE ทั้งในดินและน้ำใต้ดินได้ต่อไป

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาถึงประสิทธิภาพการบำบัดของสาร TCE และการแบ่งวัฏภาคในหญ้าแฝกเพื่อใช้ประโยชน์ในการเฝ้าระวัง ติดตาม ตรวจสอบการปนเปื้อนของสาร TCE ทั้งในดินและน้ำใต้ดินผ่านทางกระบวนการที่พืชดูดน้ำและแร่ธาตุ ผ่านทางรากพืช ไปพร้อมกับการดูดซับสาร TCE ที่ปนเปื้อนอยู่ในดินและน้ำใต้ดินแล้วเก็บสะสมไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช ได้แก่ ราก ลำต้น และใบ

ในการทดลองปลูกหญ้าแฝกในระบบปิดทั้งในดินและน้ำที่มีการปนเปื้อนของสาร TCE การทดลองปลูกในดินที่ปนเปื้อนสาร TCE ที่ความเข้มข้น 100 และ10 ppm. ในช่วงระยะเวลา 14,21 และ 28 วัน หญ้าแฝกสามารถเคลื่อนย้ายสาร TCEเข้าไปอยู่ส่วนต่างๆ ของพืชได้และมีปริมาณการสะสมสาร TCE มากที่สุดในส่วนของใบ รองลงมาคือลำต้นและราก ตามลำดับ หญ้าแฝกที่ทดลองปลูกในน้ำที่ปนเปื้อนสาร TCE ที่ความเข้มข้น 100 และ10 ppm. ในช่วงระยะเวลา 14,21 และ 28 วัน หญ้าแฝกสามารถเคลื่อนย้ายสาร TCE เข้าไปอยู่ส่วนต่างๆของพืชได้และมีปริมาณการสะสมสาร TCE มากที่สุดในส่วนลำต้น รองลงมาคือส่วนรากและใบ ตามลำดับโดยปริมาณสาร TCE ที่สะสมในส่วนต่างๆของหญ้าแฝกนั้น มีค่าไม่เกิน 0.012 mg ซึ่งถ้าปริมาณสาร TCE มีการสะสมมากกว่านี้ หญ้าแฝกจะไม่สามารถเก็บสะสมไว้ในเนื้อเยื่อได้ การทดลองความสามารถเคลื่อนย้ายสาร TCE สะสม และย่อยสลายสาร TCE พบว่า หญ้าแฝกที่ปลูกในดิน ในช่วงระยะเวลา 14,21 และ 28 วัน มีการสูญหายของสาร TCE ในระบบ คือ 96.94%,96.78% และ97.41% ตามลำดับ หญ้าแฝกที่ปลูกในน้ำ ในช่วงระยะเวลา 14,21 และ 28 วัน มีการสูญหายของสาร TCE ในระบบ คือ 96.83%,97.19% และ 98.21% ตามลำดับ

เนื่องจากการศึกษานี้ได้มีการตรวจวัดเฉพาะสาร TCE เท่านั้นซึ่งอาจมีสาร TCE บางส่วนเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบชนิดอื่น อาจทำการเปลี่ยนรูปของสาร TCE ให้เป็นสารอื่น เช่น dichloroacetic acid, trichloroacetic และ trichloroethanol หรือทำการระเหยออกมาเป็นไอผ่านทางปากใบโดยผ่านกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์และพืช จากผลการทดลองเหมาะสำหรับการใช้ในหลักการพฤกษาบำบัด Phytoremediation เพราะจากระบบหรือเกิดกระบวนการเปลี่ยนสาร TCE จากการบำบัด โดยสารพิษจะถูกกำจัดออกจากดินและน้ำใต้ดินโดยสะสมในพืชแทน หรืออาจมีการแปรสภาพเป็นสารที่ไม่มีความเป็นพิษหรือมีความเป็นพิษต่ำ มีประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีถึง 99% โดยในดินมีประสิทธิภาพการบำบัดสาร TCE มากกว่าในน้ำ ปริมาณ TCE สะสมในใมากกว่าลำต้นและราก ที่ความเข้มข้นเดียวกันและปลูกที่สถานะเดียวกัน ในระยะเวลาทั้งสามจะมีแนวโน้มที่เหมือนกัน การนำไปประยุกต์ใช้ในหลักการตรวจสอบทางพฤกษเคมีเบื้องต้น Phytoscreening โดยใช้สารสกัดจากพืชในช่วงระยะเวลาอันสั้น ง่ายรวดเร็ว และใช้เครื่องมือในการตรวจสอบน้อยที่สุดโดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมีงายๆ จากการสะสมของสาร TCE ในส่วนของลำต้นและใบ แต่การสะสมในส่วนต่างๆ ยังมีปริมาณน้อยการนำมาเพื่อใช้ในการเฝ้าระวัง ติดตาม ตรวจสอบการปนเปื้อนของสาร TCE ทั้งในดินและน้ำใต้ดินได้ต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการทดลองใช้สารอินทรีย์ระเหยชนิดอื่นในกระบวนการบำบัดของหญ้าแฝก

5.2.2 จากผลการทดลองควรมีการศึกษาและพัฒนาต่อยอดโดยการนำพืชชนิดอื่นมาทำการบำบัดต่อไป

5.2.3 ควรมีการวิเคราะห์สารชนิดอื่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดของหญ้าแฝก

บรรณานุกรม

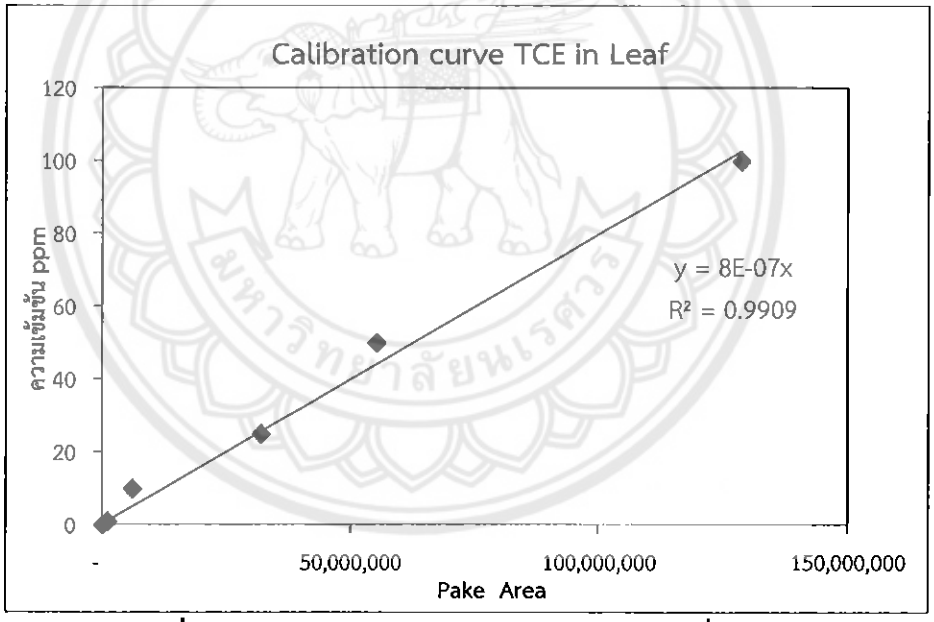
- ดร.ธนพล เพ็ญรัตน์. (2012). การใช้ประโยชน์จากระบบแนวกันชนหญ้าแฝกรอบนิคมอุตสาหกรรมเพื่อการเฝ้าระวังและตรวจสอบการปนเปื้อนดินและน้ำใต้ดินด้วยสารอันตราย
- (Utilization of Vetiver Grass System in Industrial Buffer Zone as Biomonitoring System for Groundwater and Soil Contamination with Hazardous Substances) : 38
- สำนักงาน กปร. (2554). ประมวลพระราชดำริการพัฒนาและรณรงค์การใช้หญ้าแฝกอันเนื่องมาจาก พระราชดำรัส
- ผศ.ดร. อัจฉราพร ขำโสภา.(2009).ศูนย์ความเป็นเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมพิษวิทยาและการบริหารจัดการสารเคมี (อพบ)
- วราภรณ์ ฉุยฉาย. (2551). การฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมด้วยพืช: phytoremediation. วารสารวิชาการราชภัฏตะวันตก. 3(1): 134-145
- ศรินรัตน์ ฉัตรธีระนันท์,วรางคณา สบายใจ,สิริมาศ นิยมไทย. (2013). การทดสอบองค์ประกอบทางพฤกษเคมีและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของใบข่อยดำ:Phytochemical Screening and Antioxidant Activity of Clerodendrum disparifolium Leaves : 1
- Bu-Olayan,A.H. and B.V. Thomas,2009.Translocation and bioaccumulation of trace metals in desert plants of Kuwait governorates.Res.J.Environ.Sci 3 :581-587.
- World Health Oranization. 1985. Trichloroethylene. Avalable Source:
- http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc50.htm,October 28, 2008.
- Chen,Y.,Z. Shen and X. Li. 2004.The use of vetiver grass (Vetiveria zizanioides) in the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. Applied Geochemistry 19:1553-1565
- Makris, K.C.,Kabindra,D. Datta,D. Sarkar and D. Pachanoor. 2007. Chamiclly catalyzed uptake of 2,4,6-trinitrotoluene by Vetiveria zizanioides. Environmental Pollution 148:101-106
- Wild,E.W.,R.L. Brigmon, D.L. Dunn, M.A Heittkamp and D.C Dagnan. 2005.
- Phytoremediation of lead from firing range soil by Vetiver grass. Chamoshere 61: 1451-1457

ภาคผนวก ก

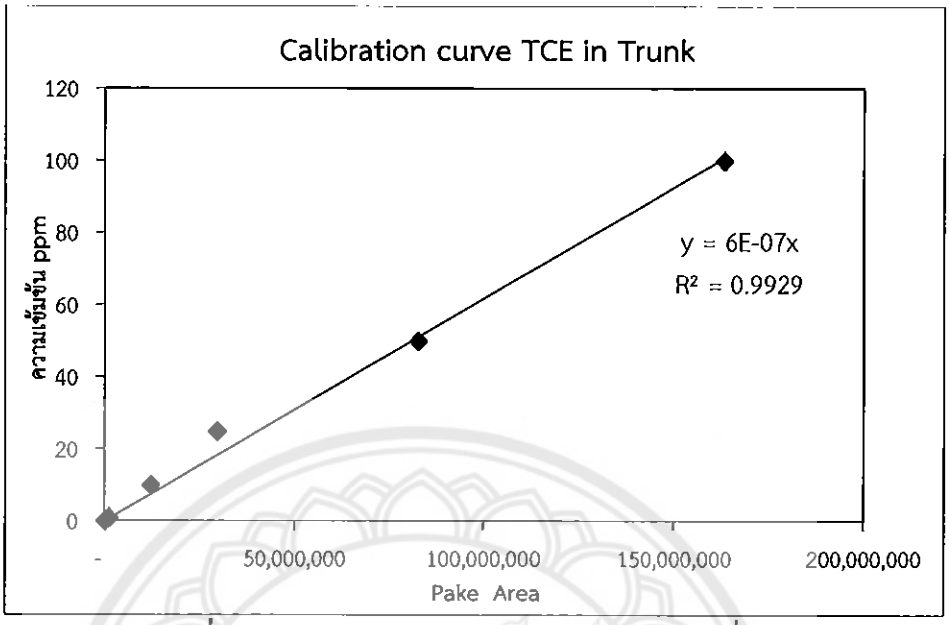
ข้อมูลแสดงการคำนวณหาปริมาณสาร TCE ในดินที่ความเข้มข้น 100 ppm

ตารางที่ ก การคำนวณหาปริมาณ TCE ใน ดิน ราก ลำต้น และ ใบ ตามช่วงเวลาต่างๆกัน

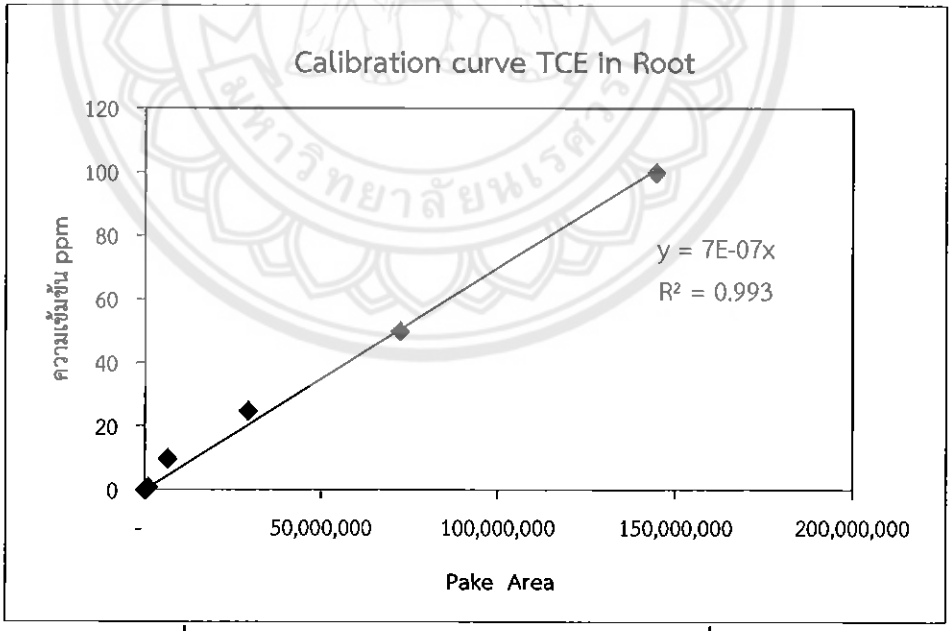
Calibration Factor - Leaf,Trunk	8.00E-07	ppm/peak area
Calibration Factor - root	7.00E-07	ppm/peak area
Calibration Factor - Soil	6.00E-07	ppm/peak area
Calibration Factor - Gas	8.00E-08	ppm/peak area



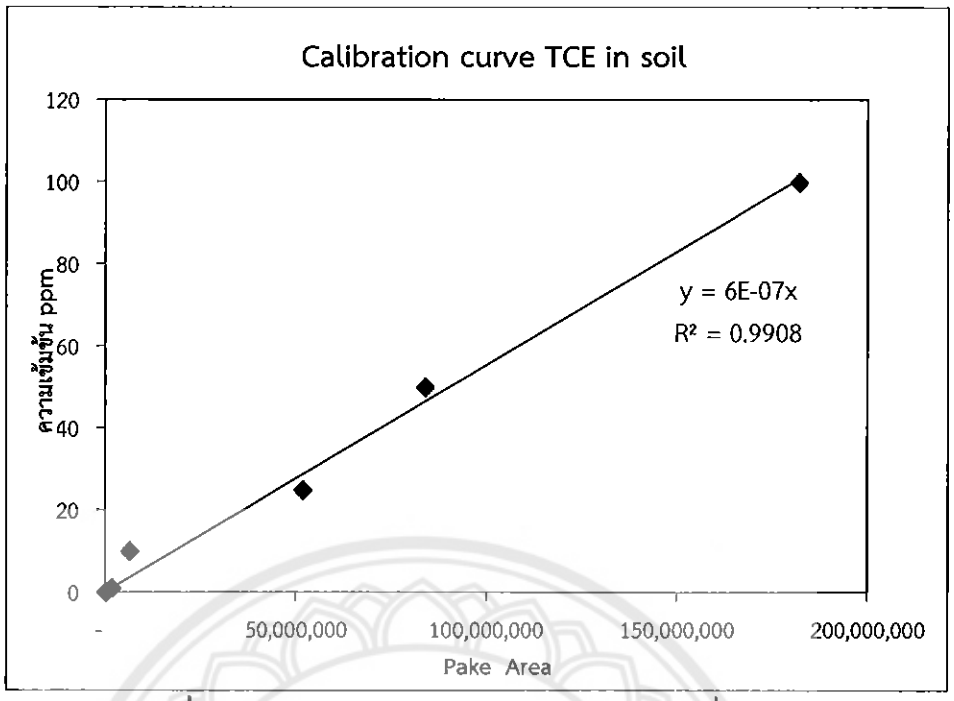
กราฟที่ ก1 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในใบ



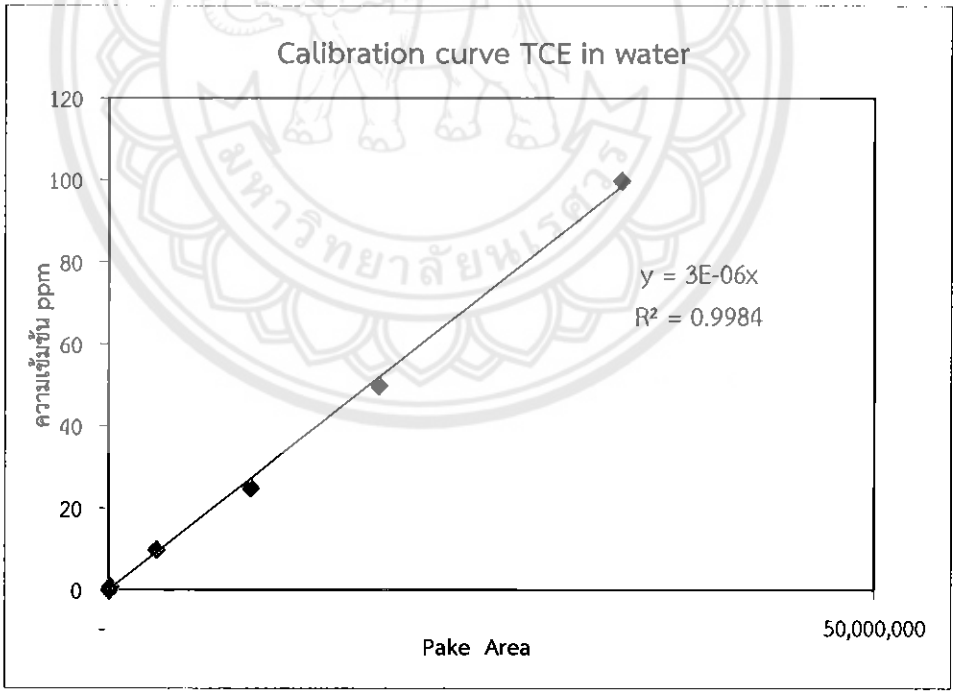
กราฟที่ ก2 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในลำต้น



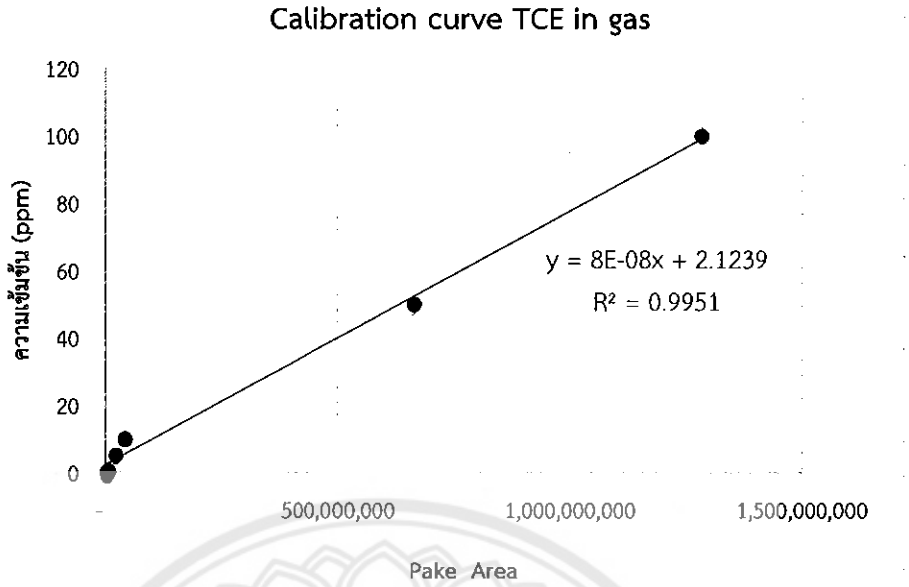
กราฟที่ ก3 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในราก



กราฟที่ ก4 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในดิน



กราฟที่ ก5 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในน้ำ



กราฟที่ ก6 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในแก๊ส

จะพบว่า Calibration curve TCE ใน Leaf กับ Trunk ใช้สมการร่วมกัน คือ

$y = 8E-07x$

$R^2 = 0.9909$

Calibration curve TCE ใน Root จากสมการที่ได้จากกราฟ คือ

$y = 7E-07x$

$R^2 = 0.993$

Calibration curve TCE in soil จากสมการที่ได้จากกราฟ คือ

$y = 6E-07x$

$R^2 = 0.9908$

Calibration curve TCE in gas จากสมการที่ได้จากกราฟ คือ

$y = 8E-08x + 2.1239$

$R^2 = 0.9951$

ตารางที่ ก1 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในใบที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 1

Leaf			
Time (hr.)	336	504	672
peak Area	37,498	38,443	43,002
หา Xจากสมการ (ppm)	3.00E-02	3.08E-02	3.44E-02
Total Volume (20 ml)	0.00059997	0.000615088	0.000688032
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	2.05	2.04	2.12
TCE Concentration in Leaf (ug/g)	0.293	0.302	0.325
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	8.16	13.8	16.05

ตารางที่ ก2 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในใบที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 2

Leaf			
Time (hr.)	336	504	672
peak Area	47,649	46,395	62,684
หา Xจากสมการ (ppm)	3.81E-02	3.71E-02	5.01E-02
Total Volume (20 ml)	0.000762	0.000742	0.001003
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	2.08	2.1	2.07
TCE Concentration in Leaf (ug/g)	0.367	0.353	0.485
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	12.41	8.47	8.6

ตารางที่ ก3 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในลำต้นที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของต้นที่ 1

Trunk			
Time (hr)	336	504	672
peak Area	58,002	57,800	54,436
หา Xจากสมการ (ppm.)	4.64E-02	4.62E-02	4.35E-02
Total Volume (20ml)	0.000928032	0.0009248	0.000870976
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	2.09	2.08	2.16
TCE Concentration in Trunk (ug/g)	0.444	0.445	0.403
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	3.11	6.05	7.68

ตารางที่ ก4 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในลำต้นที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของต้นที่ 2

Trunk			
Time (hr)	336	504	672
peak Area	44,128	67,448	66,049
หา Xจากสมการ (ppm.)	3.53E-02	5.40E-02	5.28E-02
Total Volume (20ml)	0.000706	0.001079	0.001057
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	2.05	2.16	2.13
TCE Concentration in Trunk (ug/g)	0.344	0.500	0.496
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	3.92	3.86	3.42

ตารางที่ ก5 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในรากที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 1

Root			
Time(hr.)	336	504	672
peak Area	60,114	30,103	82,112
หา Xจากสมการ (ppm)	4.21E-02	2.11E-02	5.75E-02
Total Volume (20 ml)	0.000841596	0.00042144	0.001149568
น้ำหนักตัวอย่าง(g)	1.88	2.06	2.01
TCE Concentration in Root (ug/g)	0.448	0.205	0.572
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	2.06	5.86	7.25

ตารางที่ ก6 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในรากที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 2

Root			
Time(hr.)	336	504	672
peak Area	55,329	108,063	89,368
หา Xจากสมการ (ppm)	3.87E-02	7.56E-02	6.26E-02
Total Volume (20 ml)	0.000775	0.001513	0.001251
น้ำหนักตัวอย่าง(g)	2.12	2.10	1.82
TCE Concentration in Root (ug/g)	0.365	0.720	0.687
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	4.94	2.37	1.95

ตารางที่ ก7 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในดินกวนที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของต้นที่ 1

Soil (กวนในขวด)			
Time (hr.)	336	504	672
peak Area	57,388	151,341	50,331
หา Xจากสมการ (ppm)	3.44E-02	9.08E-02	3.02E-02
Total Volume (10ml)	0.000344328	0.00090805	0.000301986
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	5.17	5.13	5.38
TCE Concentration in Soil (ug/g)	0.067	0.177	0.056
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	390.17	399.61	407.10

ตารางที่ ก8 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในดินกวนที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของต้นที่ 2

Soil (กวนในขวด)			
Time (hr.)	336	504	672
peak Area	57,782	135,919	163,399
หา Xจากสมการ (ppm)	3.47E-02	8.16E-02	9.80E-02
Total Volume (10ml)	0.000347	0.000816	0.00098
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	5.19	5.11	5.15
TCE Concentration in Soil (ug/g)	0.067	0.160	0.190
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	394.75	386.57	383.86

ตารางที่ ก9 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ใน gass ที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของต้นที่ 1

ก๊าซในปี๊บ (1)			
Time(hr)	336	504	672
peak Area	75,038	54,732	39,093
หา Xจากสมการ(ppm)	0.01	0.00	0.00
Total Mass	0.21	0.15	0.11

ตารางที่ ก10 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในดิน gass ที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของต้นที่ 2

ก๊าซในปี๊บ (2)			
Time (hr.)	336	504	672
peak Area	48,581	20,728	14,569
หา Xจากสมการ(ppm)	0.0038865	0.0016582	0.0011655
Total Mass	0.136027	0.058038	0.040793

ตารางที่ ก11 แสดง Mass balance ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

Mass balance	336	504	672
Mass Leaf	0.00238817	0.00416089	0.005208922
Mass Trunk	0.00138095	0.00268992	0.00309680
Mass Root	0.00092217	0.00119886	0.00414645
Soil	0.02598577	0.07073377	0.02285102
Gas	0.21010640	0.15324960	0.10946040
Total mg	0.24078346	0.23203305	0.14476360

จากผลตารางข้างต้นแสดง Mass balance ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน คือ 336,504,672 Time(hr) ของ Leaf, Trunk,Root, Soil, Gas

ตัวอย่างแสดงการคำนวณ

จาก : Mass balance ที่ 336 Time(hr) ต้นที่ 1

Mass Leaf = TCE Concentration in Leaf (ug/g) × น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g) /1000

Mass Trunk = TCE Concentration in Trunk(ug/g) ×น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g) /1000

Mass Root = TCE Concentration in Root (ug/g) × น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g) /1000

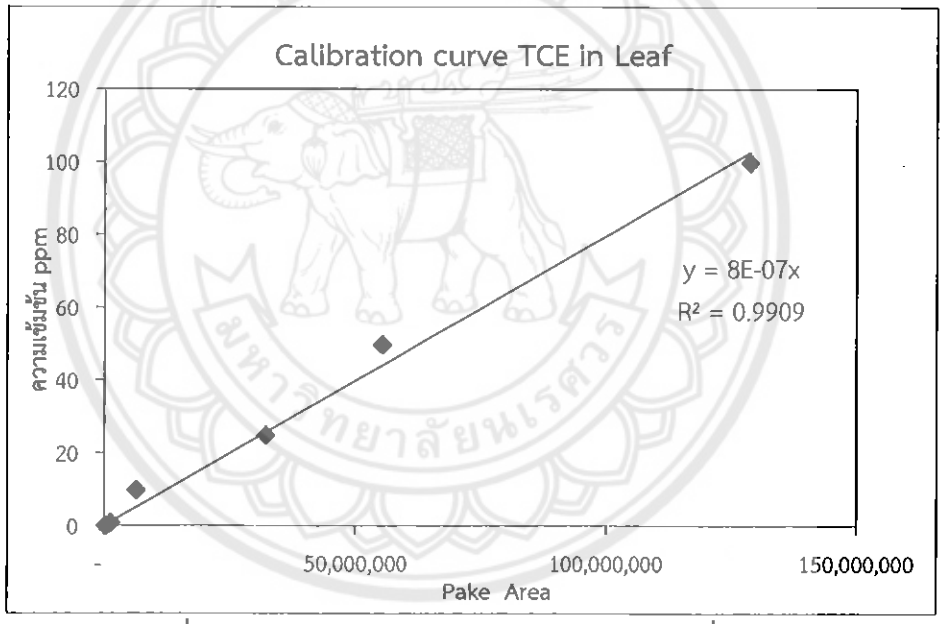
Soil = TCE Concentration in Soil (ug/g) × น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g) /1000

ภาคผนวก ข

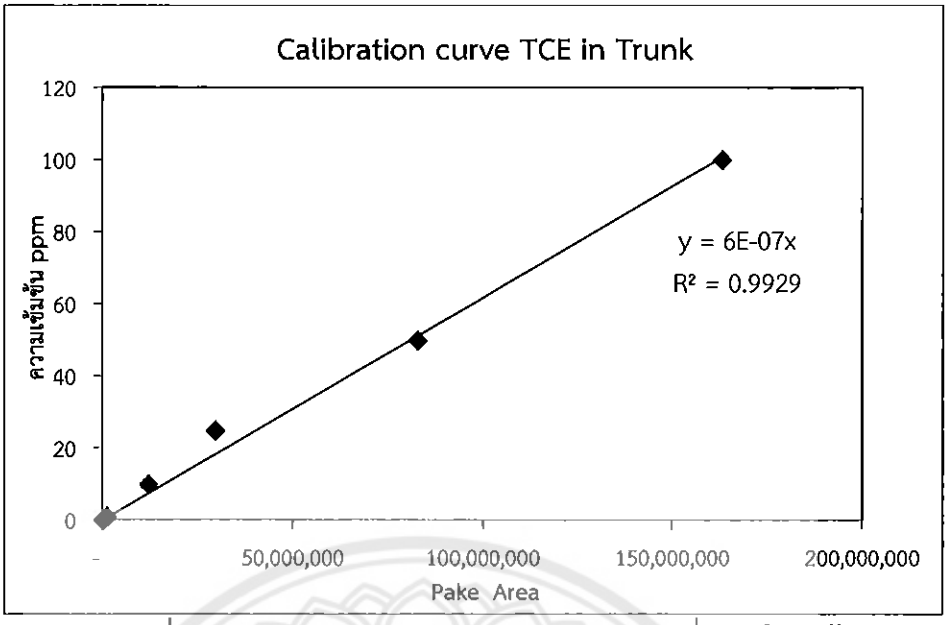
ข้อมูลแสดงการคำนวณหาปริมาณสาร TCE ในดินที่ความเข้มข้น 10 ppm

ตารางที่ ข การคำนวณหาปริมาณ TCE ใน ดิน ราก ลำต้น และ ใบ ตามช่วงเวลาต่างๆกัน

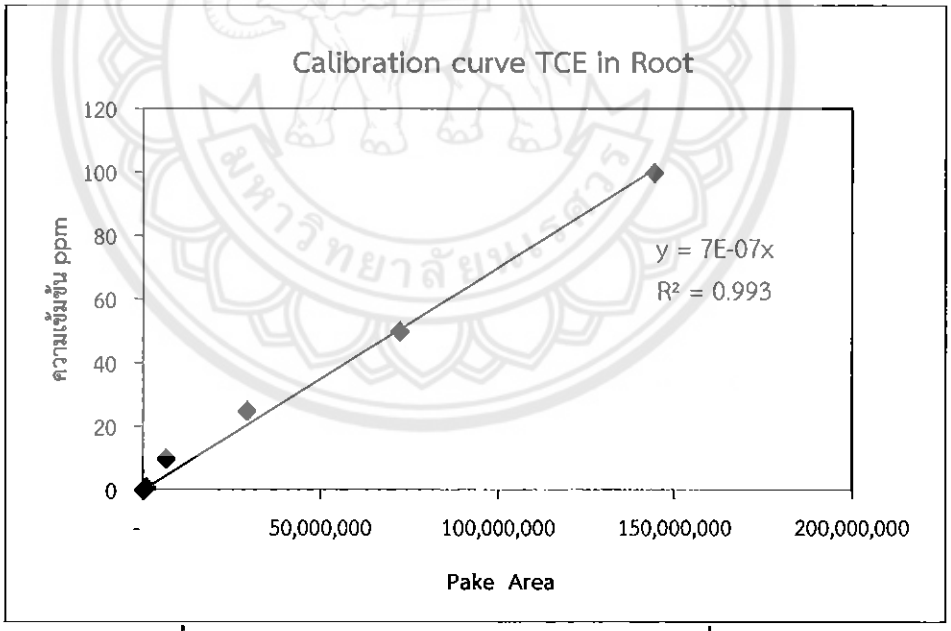
Calibration Factor - Leaf,Trunk	8.00E-07	ppm/peak area
Calibration Factor - root	7.00E-07	ppm/peak area
Calibration Factor - Soil	6.00E-07	ppm/peak area
Calibration Factor - Gas	8.00E-08	ppm/peak area



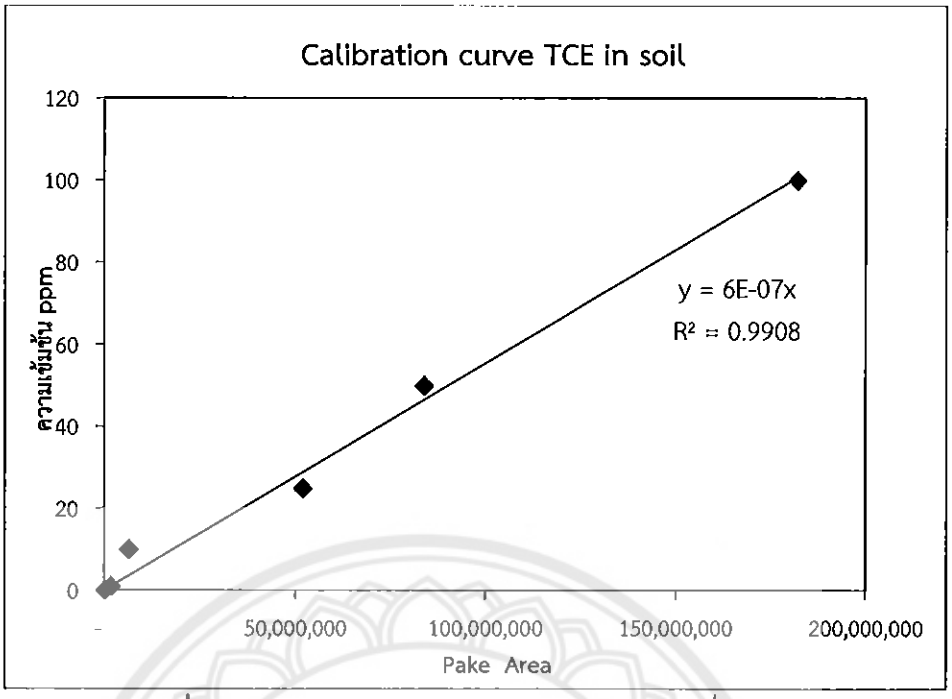
กราฟที่ ข1 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในใบ



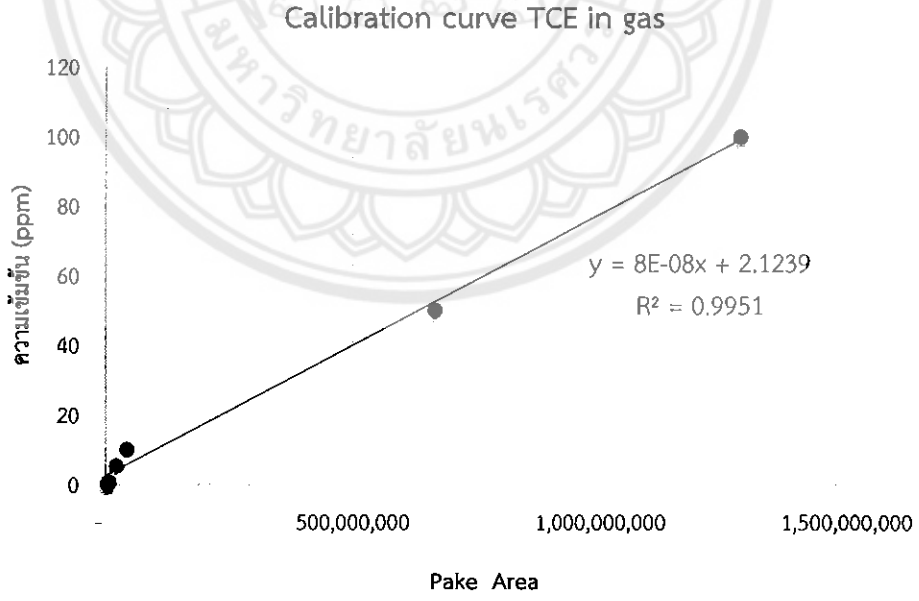
กราฟที่ ข2 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในลำต้น



กราฟที่ ข3 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในราก



กราฟที่ ข4 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในดิน



กราฟที่ 4.6 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในแก๊ส

จะพบว่า Calibration curve TCE ใน Leaf กับ Trunk ใช้สมการร่วมกัน คือ

$y = 8E\text{-}07x$

$R^2 = 0.9909$

Calibration curve TCE ใน Root จากสมการที่ได้จากกราฟ คือ

$y = 7E\text{-}07x$

$R^2 = 0.993$

Calibration curve TCE in soil จากสมการที่ได้จากกราฟ คือ

$y = 6E\text{-}07x$

$R^2 = 0.9908$

Calibration curve TCE in gas จากสมการที่ได้จากกราฟ คือ

$y = 8E\text{-}08x + 2.1239$

$R^2 = 0.9951$

ตารางที่ ข1 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในใบที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 1

Leaf			
Time (hr.)	336	504	672
peak Area	26,798	62,735	63,871
หา Xจากสมการ (ppm)	2.14E-02	5.02E-02	5.11E-02
Total Volume (20 ml)	0.000428768	0.00100376	0.001021936
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	2.02	2.01	2.02
TCE Concentration in Leaf (ug/g)	0.212	0.499	0.506
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	11.93	8.12	8.20

ตารางที่ ข2 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในใบที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 2

Leaf			
Time (hr.)	336	504	672
peak Area	75,526.00	48,603	47,649
หา Xจากสมการ (ppm)	6.04E-02	3.89E-02	3.81E-02
Total Volume (20 ml)	0.00120842	0.0007776	0.0007624
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	2.06	2.10	2.14
TCE Concentration in Leaf (ug/g)	0.587	0.370	0.356
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	14.59	7.16	7.91

ตารางที่ ข3 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในลำต้นที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 1

Trunk			
Time (hr.)	336	504	672
peak Area	45,840	60,947	22,654
หา Xจากสมการ (ppm.)	3.67E-02	4.88E-02	1.81E-02
Total Volume (20ml)	0.00073344	0.000975152	0.000362464
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	2.04	2.16	2.09
TCE Concentration in Trunk (ug/g)	0.360	0.451	0.173
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	2.66	4.06	8.78

ตารางที่ ข4 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในลำต้นที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 2

Trunk			
Time (hr.)	336	504	672
peak Area	69,709	42,393	33,727
หา Xจากสมการ (ppm.)	5.58E-02	3.39E-02	2.70E-02
Total Volume (20ml)	0.001115	0.00068	0.00054
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	2.06	2.24	2.05
TCE Concentration in Trunk (ug/g)	0.541	0.303	0.263
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	6.08	5.26	4.86

ตารางที่ ข5 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในรากที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 1

Root			
Time(hr.)	336	504	672
peak Area	55,163	67,215	44,760
หา Xจากสมการ (ppm)	3.86E-02	4.71E-02	3.13E-02
Total Volume (20 ml)	0.000772282	0.00094101	0.00062664
น้ำหนักตัวอย่าง(g)	2.00	1.40	2.07
TCE Concentration in Root (ug/g)	0.386	0.672	0.303
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	2.33	1.60	4.09

ตารางที่ ข6 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในรากที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 2

Root			
Time (hr.)	336	504	672
peak Area	73,212	62,381	70,084
หา Xจากสมการ (ppm)	5.12E-02	4.37E-02	4.91E-02
Total Volume (20 ml)	0.001025	0.00087	0.00098
น้ำหนักตัวอย่าง(g)	2.05	2.05	2.02
TCE Concentration in Root (ug/g)	0.500	0.426	0.486
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	2.50	4.16	2.28

ตารางที่ ข7 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในดินกวนที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของขวดที่ 1

Soil (กวนในขวด)			
Time (hr)	336	504	672
peak Area	78,351	71,369	63,403
หา Xจากสมการ (ppm)	4.70E-02	4.28E-02	3.80E-02
Total Volume (10ml)	0.000470106	0.000428214	0.000380418
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	5.09	5.07	5.30
TCE Concentration in Soil (ug/g)	0.092	0.084	0.072
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	353.74	406.89	424.93

ตารางที่ ข8 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในดินกวนที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของขวดที่ 2

Soil (กวนในขวด)			
Time (hr)	336	504	672
peak Area	91,368	61,884	56,541
หา Xจากสมการ (ppm)	5.48E-02	3.71E-02	3.39E-02
Total Volume (10ml)	0.0005482	0.000371	0.000339
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	5.09	5.17	5.20
TCE Concentration in Soil (ug/g)	0.108	0.072	0.065
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	381.19	399.99	429.94

ตารางที่ ข9 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ใน gass ที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 1

ก๊าซในปี๊บ (1)			
Time(hr)	336	504	672
peak Area	19,881	19,685	17,546
หา Xจากสมการ(ppm)	0.001590480	0.001574800	0.001403680
Total Mass	1.59048E-05	0.000015748	1.40368E-05

ตารางที่ ข10 การคำนวณหาปริมาณ TCE ใน gass ที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆกัน ของต้นที่ 2

ก๊าซในปี๊บ (2)			
Time(hr)	336	504	672
peak Area	19,685	18,368	16,946
หา Xจากสมการ(ppm)	0.0015748	0.0014694	0.0013557
Total Mass	1.575E-05	1.47E-05	1.36E-05

ตารางที่ ข11 แสดง Mass balance ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

Mass balance	336	504	672
Mass Leaf	0.00253228	0.004054991	0.004148453
Mass Trunk	0.00095635	0.00183292	0.00152270
Mass Root	0.00089971	0.00107544	0.00123814
Soil	0.03267098	0.03436607	0.03050019
Gas	0.00001590	0.00001575	0.00001404
Total mg	0.03707522	0.04134518	0.03742352

จากผลตารางข้างต้นแสดง Mass balance ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน คือ 336,504,672 Time(hr) ของ Leaf, Trunk,Root, Soil, Gas

ตัวอย่างแสดงการคำนวณ

จาก : Mass balance ที่ 336 Time(hr) ต้นที่ 1

Mass Leaf = TCE Concentration in Leaf (ug/g) × น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g) /1000

Mass Trunk = TCE Concentration in Trunk(ug/g) ×น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g) /1000

Mass Root = TCE Concentration in Root (ug/g) × น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g) /1000

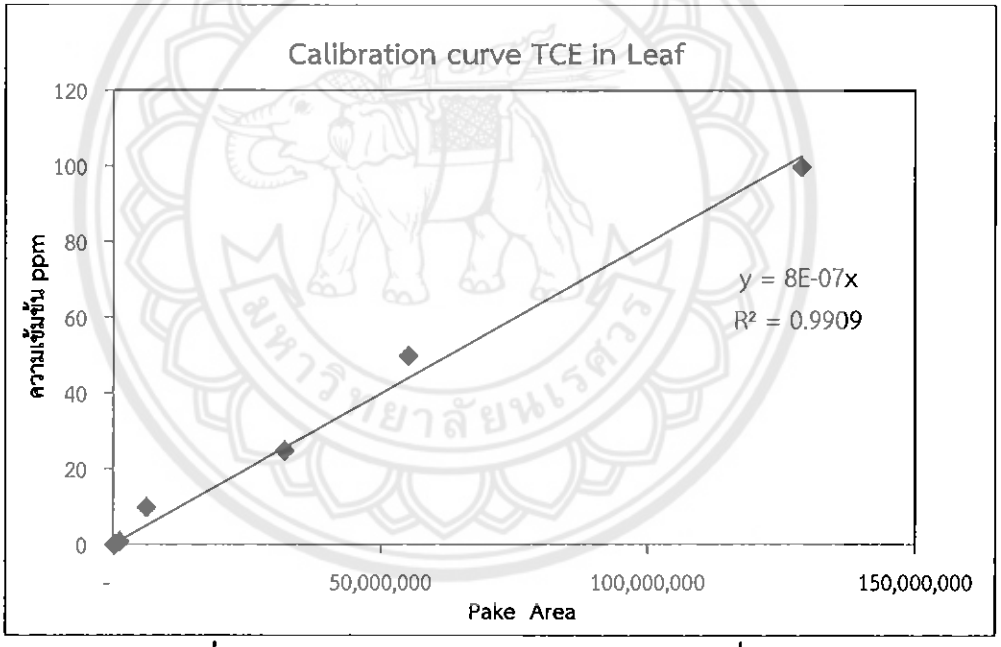
Soil = TCE Concentration in Soil (ug/g) × น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g) /1000

ภาคผนวก ค

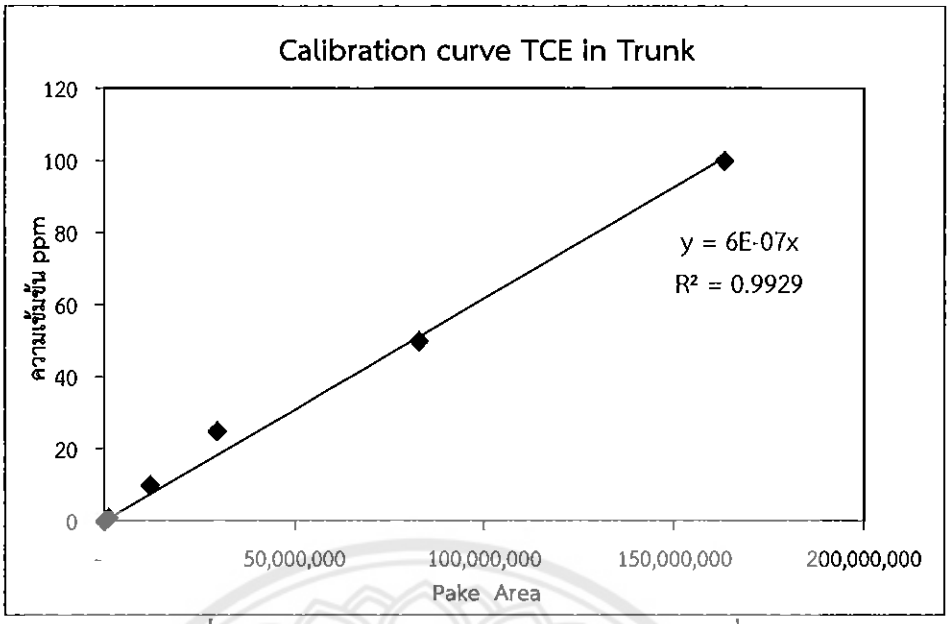
ข้อมูลแสดงการคำนวณหาปริมาณสาร TCE ในน้ำที่ความเข้มข้น 100 ppm

ตารางที่ ค การคำนวณหาปริมาณ TCE ใน ดิน ราก ลำต้น และ ใบ ตามช่วงเวลาต่างๆกัน

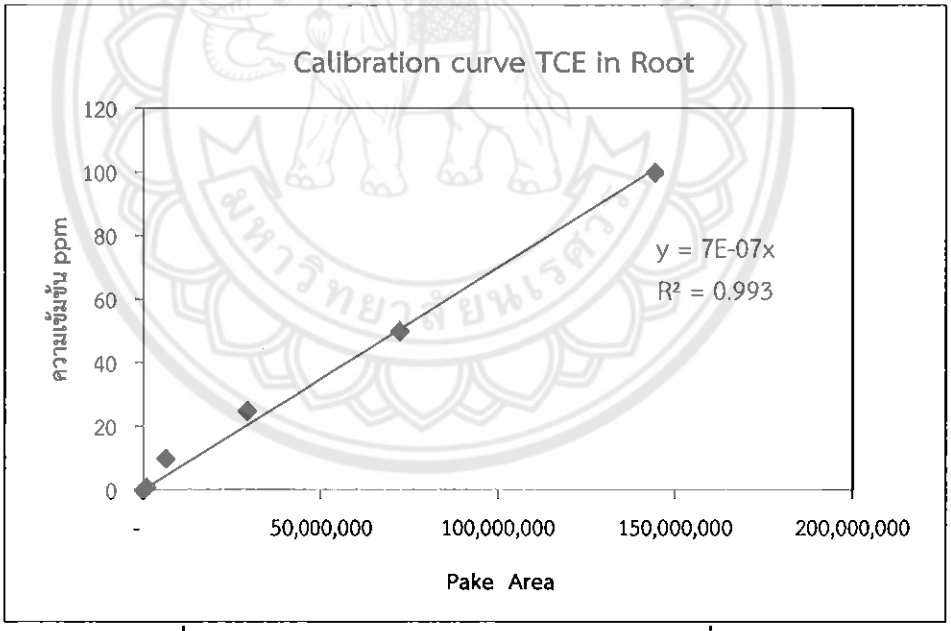
Calibration Factor - Leaf,Trunk	8.00E-07	ppm/peak area
Calibration Factor - root	7.00E-07	ppm/peak area
Calibration Factor - Water	3.00E-06	ppm/peak area
Calibration Factor - Gas	8.00E-08	ppm/peak area



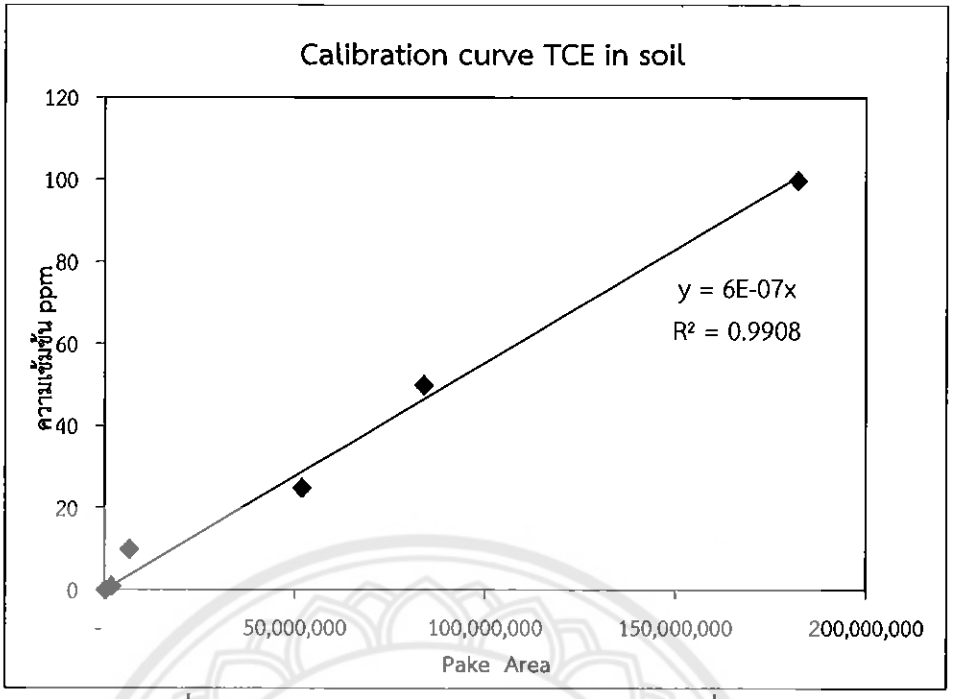
กราฟที่ ค1 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในใบ



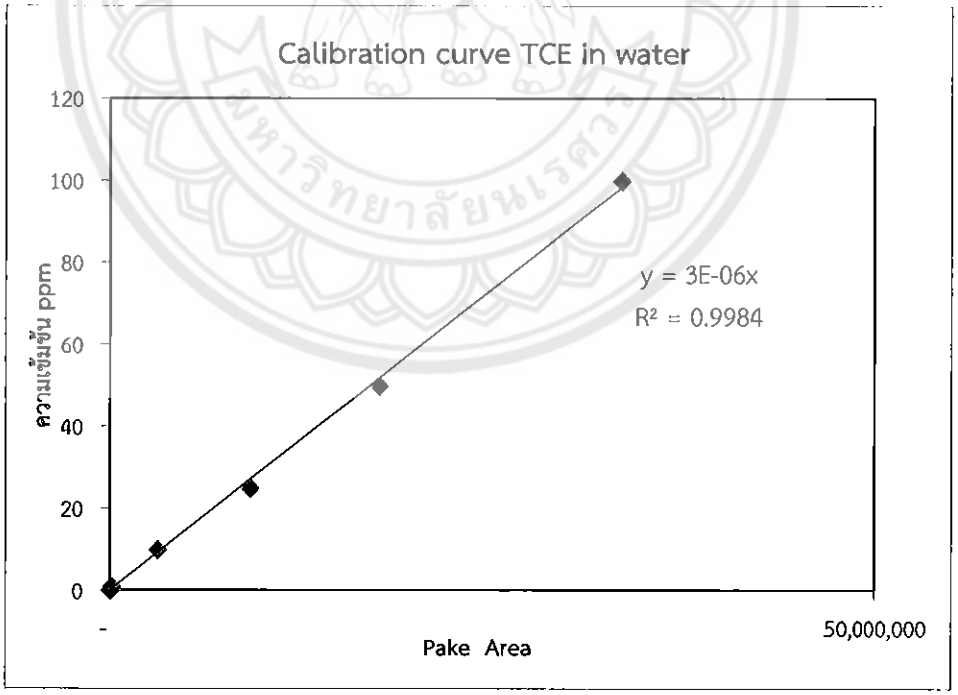
กราฟที่ ค2 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในลำต้น



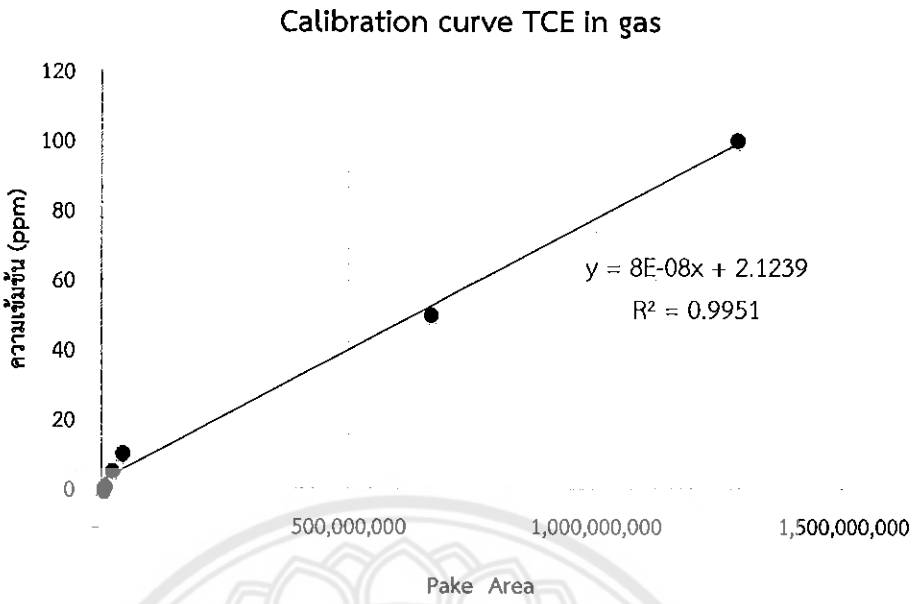
กราฟที่ ค3 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในราก



กราฟที่ ค4 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในดิน



กราฟที่ ค5 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในน้ำ



กราฟที่ ค6 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในแก๊ส

จะพบว่า Calibration curve TCE ใน Leaf กับ Trunk ใช้สมการร่วมกัน คือ

$y = 8E\text{-}07x$

$R^2 = 0.9909$

Calibration curve TCE ใน Root จากสมการที่ได้จากกราฟ คือ

$y = 7E\text{-}07x$

$R^2 = 0.993$

Calibration curve TCE in soil จากสมการที่ได้จากกราฟ คือ

$y = 6E\text{-}07x$

$R^2 = 0.9908$

Calibration curve TCE in gas จากสมการที่ได้จากกราฟ คือ

$y = 8E\text{-}08x + 2.1239$

$R^2 = 0.9951$

ตารางที่ ค1 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในใบที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 1

Leaf			
Time (hr)	336	504	672
peak Area	59,996	61,563.00	64,450
หา Xจากสมการ (ppm)	4.80E-02	4.93E-02	5.16E-02
Total Volume (20 ml)	0.000959936	0.000985008	0.0010312
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	2.06	2.02	2.00
TCE Concentration in Leaf (ug/g)	0.466	0.488	0.516
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	17.56	10.74	11.51

ตารางที่ ค2 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในใบที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 2

Leaf			
Time (hr)	336	504	672
peak Area	51,575	89,289.00	62,368
หา Xจากสมการ (ppm)	4.13E-02	7.14E-02	4.99E-02
Total Volume (20 ml)	0.0008252	0.001428624	0.000997888
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	2.13	2.06	2.03
TCE Concentration in Leaf (ug/g)	0.387	0.694	0.492
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	10.67	10.02	10.05

ตารางที่ ค3 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในลำต้นที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของต้นที่ 1

Trunk			
Time (hr)	336	504	672
peak Area	94,221	67,833.00	59,208
หา Xจากสมการ (ppm.)	7.54E-02	5.43E-02	4.74E-02
Total Volume (20ml)	0.001507536	0.001085328	0.000947328
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	2.13	2.09	2.14
TCE Concentration in Trunk (ug/g)	0.708	0.519	0.443
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	11.08	11.15	11.93

ตารางที่ ค4 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในลำต้นที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของต้นที่ 2

Trunk			
Time (hr)	336	504	672
peak Area	93,878	106,985	65,646
หา Xจากสมการ (ppm.)	7.51E-02	8.56E-02	5.25E-02
Total Volume (20ml)	0.001502048	0.00171176	0.001050336
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	2.19	2.02	2.08
TCE Concentration in Trunk (ug/g)	0.686	0.847	0.505
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	7.72	12.56	10.08

ตารางที่ ค5 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในรากที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 1

Root			
Time(hr)	336	504	672
peak Area	104,172	78,795	99,264
หา Xจากสมการ (ppm)	7.29E-02	5.52E-02	6.95E-02
Total Volume (20 ml)	0.001458408	0.00110313	0.001389696
น้ำหนักตัวอย่าง(g)	2.14	2.01	2.09
TCE Concentration in Root (ug/g)	0.681	0.549	0.665
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	16.04	6.97	12.12

ตารางที่ ค6 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในรากที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 2

Root			
Time(hr)	336	504	672
peak Area	126,968	124,782	41,438
หา Xจากสมการ (ppm)	8.89E-02	8.73E-02	2.90E-02
Total Volume (20 ml)	0.001777552	0.001746948	0.000580132
น้ำหนักตัวอย่าง(g)	2.05	2.18	2.05
TCE Concentration in Root (ug/g)	0.867	0.801	0.283
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	11.64	12.28	12.69

ตารางที่ ค7 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในน้ำที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 1

water			
Time(hr)	336	504	672
peak Area	66,917	47,677	34,750
หา Xจากสมการ(ppm)	0.20075100	0.14303100	0.10425000
Total Volume(20 ml)	0.00401502	0.00286062	0.002085
ปริมาตรตัวอย่างน้ำ(ml)	10	10	10
สุทธิ /น้ำหนักตัวอย่าง(mg/ml)	0.000401502	0.000286062	0.000208500
สุทธิ /น้ำหนักตัวอย่าง(mg/L)	0.402	0.286	0.209
ปริมาตรน้ำทั้งหมด (ml)	250	250	250

ตารางที่ ค8 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในน้ำที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 2

water			
Time(hr)	336	504	672
peak Area	69,397	1,523,201	27,408
หา Xจากสมการ(ppm)	0.21	4.57	0.08
Total Volume(20 ml)	0.00416382	0.09139206	0.00164448
ปริมาตรตัวอย่างน้ำ(ml)	10	10	10
สุทธิ /น้ำหนักตัวอย่าง(mg/ml)	0.000416382	0.009139206	0.000164448
สุทธิ /น้ำหนักตัวอย่าง(mg/L)	0.416	9.139	0.164
ปริมาตรน้ำทั้งหมด (ml)	250	250	250

ตารางที่ ค9 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ของ gass ใน reacter ที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของต้นที่ 1

ก๊าซในปี๊บ (1)			
Time(hr)	336	504	672
peak Area	19,881	19,685	17,546
หา Xจากสมการ(ppm)	0.00159048	0.00157480	0.00140368
Total Mass	1.59048E-05	0.000015748	1.40368E-05

ตารางที่ ค10 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ใน gass ใน reacter ที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของต้นที่ 2

ก๊าซในปี๊บ (2)			
Time(hr)	336	504	672
peak Area	19,685	18,368	16,946
หา Xจากสมการ(ppm)	0.0015748	0.0014694	0.0013557
Total Mass	0.000015748	1.46944E-05	1.35568E-05

ตารางที่ ค11 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ใน gass ที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของขวดที่ 1

gas ในขวด			
Time(hr)	336	504	672
peak Area	30253	34069	36029
หา Xจากสมการ(ppm)	2.42E-03	2.73E-03	2.88E-03

ตารางที่ ค12 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ใน gass ที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของขวดที่ 1

gas ในขวด			
Time(hr)	336	504	672
peak Area	56427	43352	23784
หา Xจากสมการ(ppm)	4.51E-03	3.47E-03	1.90E-03

ตารางที่ ค11 แสดง Mass balance ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

Mass balance	336	504	672
Mass Leaf	0.00818276	0.00523712	0.00593456
Mass Trunk	0.00784202	0.00579015	0.00528113
Mass Root	0.01093125	0.00382528	0.00805891
water	0.10037550	0.07151550	0.05212500
Gas ในปี๊บ	0.00001590	0.00001575	0.00001404
gas ในขวด	0.00242024	0.00272552	0.00288232
Total mg	0.12976766	0.08910932	0.07429595

จากผลตารางข้างต้นแสดง Mass balance ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน คือ 336,504,672 Time(hr) ของ Leaf, Trunk,Root, Soil, Gas

ตัวอย่างแสดงการคำนวณ

จาก : Mass balance ที่ 336 Time(hr) ต้นที่ 1

Mass Leaf = TCE Concentration in Leaf (ug/g) × น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g) /1000

Mass Trunk = TCE Concentration in Trunk(ug/g) ×น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g) /1000

Mass Root = TCE Concentration in Root (ug/g) × น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g) /1000

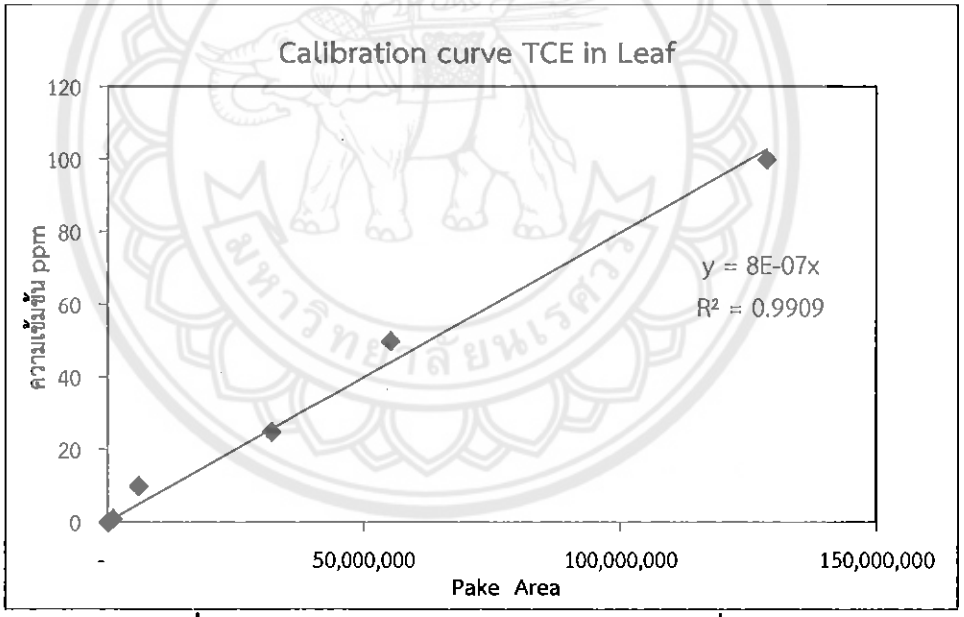
Soil = TCE Concentration in Soil (ug/g) × น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g) /1000

ภาคผนวก ง

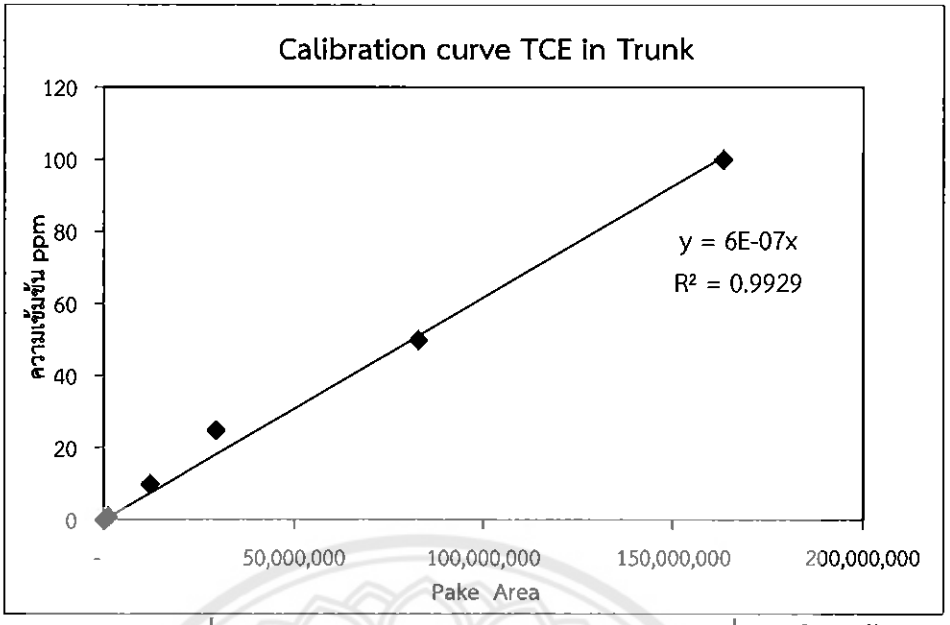
ข้อมูลแสดงการคำนวณหาปริมาณสาร TCE ในน้ำที่ความเข้มข้น 10 ppm

ตารางที่ ง การคำนวณหาปริมาณ TCE ใน ดิน ราก ลำต้น และ ใบ ตามช่วงเวลาต่างๆกัน

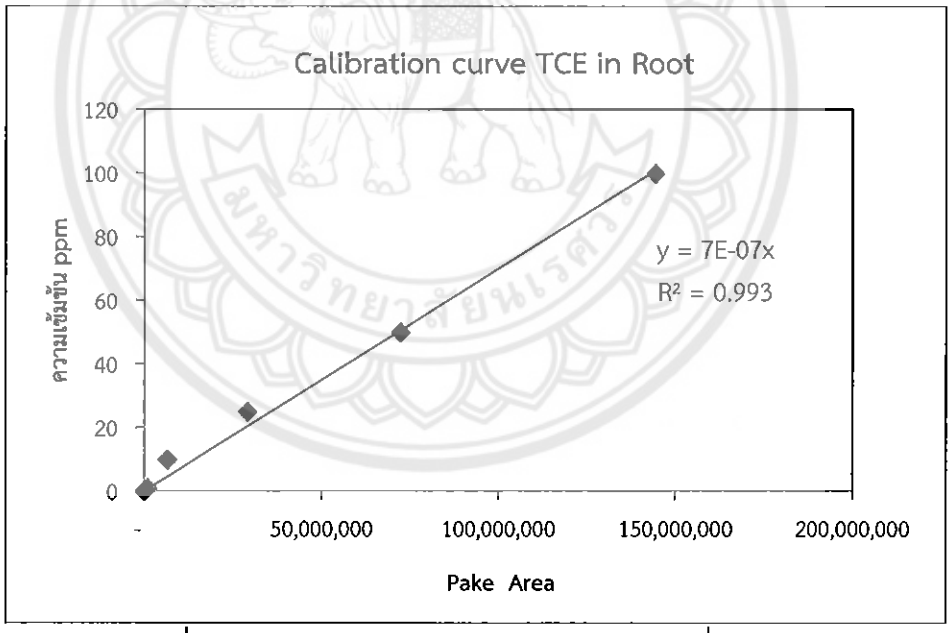
Calibration Factor - Leaf,Trunk	8.00E-07	ppm/peak area
Calibration Factor - root	7.00E-07	ppm/peak area
Calibration Factor - Water	3.00E-06	ppm/peak area
Calibration Factor - Gas	8.00E-08	ppm/peak area



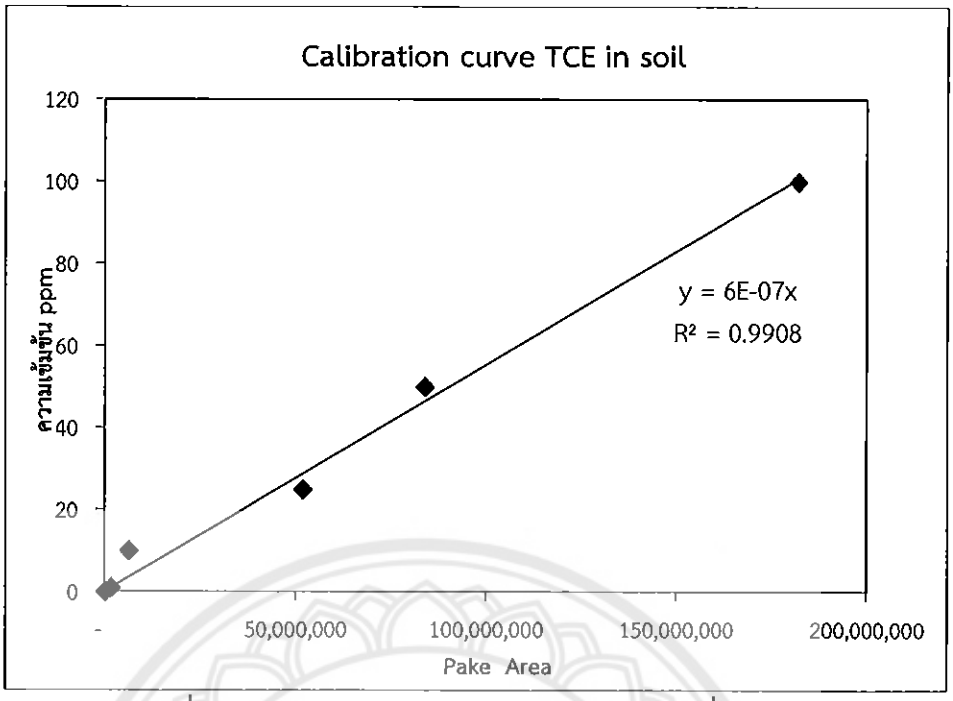
กราฟที่ ง1 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในใบ



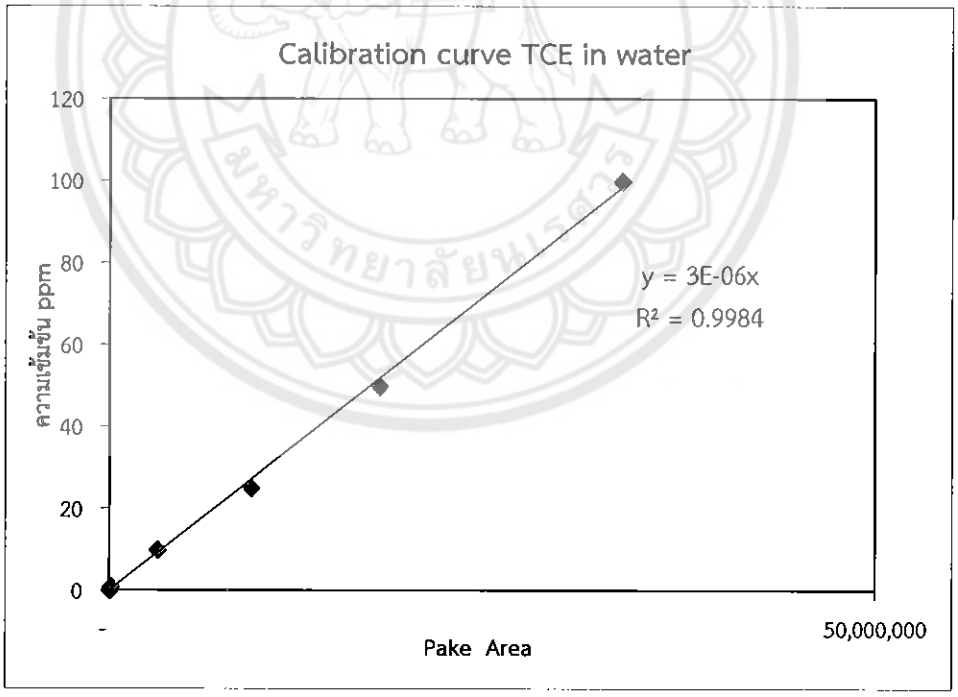
กราฟที่ ง2 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในลำต้น



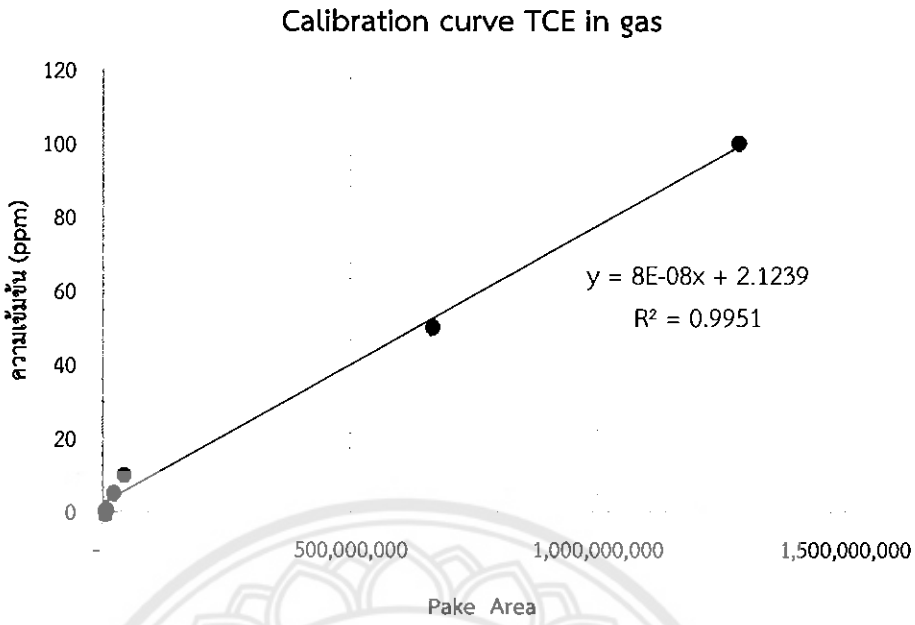
กราฟที่ ง3 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในราก



กราฟที่ ง4 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในดิน



กราฟที่ ง5 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในน้ำ



กราฟที่ ง6 แสดง Calibration Curve ของสาร TCE ที่สะสมในแก๊ส

จะพบว่า Calibration curve TCE ใน Leaf กับ Trunk ใช้สมการร่วมกัน คือ

$y = 8E\text{-}07x$

$R^2 = 0.9909$

Calibration curve TCE ใน Root จากสมการที่ได้จากกราฟ คือ

$y = 7E\text{-}07x$

$R^2 = 0.993$

Calibration curve TCE in soil จากสมการที่ได้จากกราฟ คือ

$y = 6E\text{-}07x$

$R^2 = 0.9908$

Calibration curve TCE in gas จากสมการที่ได้จากกราฟ คือ

$y = 8E\text{-}08x + 2.1239$

$R^2 = 0.9951$

ตารางที่ ง1 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในใบที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของต้นที่ 1

Leaf			
Time (hr)	336	504	672
peak Area	129,549	80,367	48,257
หา Xจากสมการ (ppm)	1.04E-01	6.43E-02	3.86E-02
Total Volume (20 ml)	0.002072784	0.001285872	0.000772112
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	2.10	2.12	2.03
TCE Concentration in Leaf (ug/g)	0.987	0.607	0.380
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	7.79	9.72	9.36

ตารางที่ ง2 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในใบที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆกันของต้นที่ 2

Leaf			
Time (hr)	336	504	672
peak Area	85,086.00	71,687	49,105
หา Xจากสมการ (ppm)	6.81E-02	5.73E-02	3.93E-02
Total Volume (20 ml)	0.001361376	0.001146992	0.00078568
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	2.06	2.01	2.02
TCE Concentration in Leaf (ug/g)	0.661	0.571	0.389
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	11.00	13.30	3.38

ตารางที่ ง3 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในลำต้นที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆกัน ของต้นที่ 1

Trunk			
Time (hr)	336	504	672
peak Area	80,886	69,022	80,099
หา Xจากสมการ (ppm.)	6.47E-02	5.52E-02	6.41E-02
Total Volume (20ml)	0.001294176	0.001104352	0.001281584
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	2.02	2.00	2.05
TCE Concentration in Trunk (ug/g)	0.641	0.552	0.625
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	7.51	9.67	6.41

ตารางที่ ง4 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในลำต้นที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของต้นที่ 2

Trunk			
Time (hr)	336	504	672
peak Area	83,981	62,764	99,952
หา Xจากสมการ (ppm.)	6.72E-02	5.02E-02	8.00E-02
Total Volume (20ml)	0.001343696	0.001004224	0.001599232
น้ำหนักตัวอย่าง (g)	2.15	2.06	2.02
TCE Concentration in Trunk (ug/g)	0.625	0.487	0.792
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	6.11	6.02	4.01

ตารางที่ ง5 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในรากที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 1

Root			
Time (hr.)	336	504	672
peak Area	166,743	141,165	175,675
หา Xจากสมการ (ppm)	1.17E-01	9.88E-02	1.23E-01
Total Volume (20 ml)	0.002334402	0.00197631	0.00245945
น้ำหนักตัวอย่าง(g)	2.00	2.05	2.17
TCE Concentration in Root (ug/g)	1.167	0.964	1.133
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	7.37	9.85	4.94

ตารางที่ ง6 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในรากที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆ ของต้นที่ 2

Root			
Time (hr.)	336	504	672
peak Area	91,380	98,496	83,902
หา Xจากสมการ (ppm)	6.40E-02	6.89E-02	5.87E-02
Total Volume (20 ml)	0.00127932	0.001378944	0.001174628
น้ำหนักตัวอย่าง(g)	2.02	2.06	2.05
TCE Concentration in Root (ug/g)	0.633	0.669	0.573
น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g)	4.63	5.24	6.69

ตารางที่ ง7 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในน้ำที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของต้นที่ 1

water			
Time (hr.)	336	504	672
peak Area	81,049	72,115	44,118
หา Xจากสมการ(ppm)	0.243147000	0.21634500	0.132354000
Total Volume(20 ml)	0.00486294	0.0043269	0.00264708
ปริมาตรตัวอย่างน้ำ(ml)	10	10	10
สุทธิ /น้ำหนักตัวอย่าง(mg/ml)	0.000486294	0.000432690	0.000264708
สุทธิ /น้ำหนักตัวอย่าง(mg/L)	0.486	0.433	0.265
ปริมาตรน้ำทั้งหมด (ml)	250	250	250

ตารางที่ ง8 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ในน้ำที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของต้นที่ 2

water			
Time(hr.)	336	504	672
peak Area	91,597	70,904	60,696
หา Xจากสมการ(ppm)	0.27479100	0.21271200	0.18208800
Total Volume(20 ml)	0.00549582	0.00425424	0.00364176
ปริมาตรตัวอย่างน้ำ(ml)	10	10	10
สุทธิ /น้ำหนักตัวอย่าง(mg/ml)	0.0005495820	0.0004254240	0.0003641760
สุทธิ /น้ำหนักตัวอย่าง(mg/L)	0.550	0.425	0.364
ปริมาตรน้ำทั้งหมด (ml)	250	250	250

ตารางที่ ง9 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ของ gass ใน reacter ที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของต้นที่ 1

ก๊าซในปี๊บ (1)			
Time(hr)	336	504	672
peak Area	758,995	124,860	41,950
หา Xจากสมการ(ppm)	0.06071960	0.00998880	0.00335600
Total Mass	0.000607196	0.000099888	0.00003356

ตารางที่ ง10 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ของ gass ใน reacter ที่ความเข้มข้น 100 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของต้นที่ 2

ก๊าซในปี๊บ (2)			
Time(hr)	336	504	672
peak Area	137,683	139,422	33,188
หา Xจากสมการ(ppm)	0.0110146	0.0111538	0.0026550
Total Mass	0.000110146	0.000111538	2.65504E-05

ตารางที่ ง11 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ใน gass ที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของขวดที่ 1

gas ในขวด			
Time(hr)	336	504	672
peak Area	30253	34069	36029
หา Xจากสมการ(ppm)	2.42E-03	2.73E-03	2.88E-03

ตารางที่ ง12 แสดงการคำนวณหาปริมาณ TCE ใน gass ที่ความเข้มข้น 10 ppm ตามช่วงเวลาต่างๆของขวดที่ 2

gas ในขวด			
Time(hr)	336	504	672
peak Area	56427	43352	23784
หา Xจากสมการ(ppm)	4.51E-03	3.47E-03	1.90E-03

ตารางที่ ค11 แสดง Mass balance ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

Mass balance	336	504	672
Mass Leaf	0.00768904	0.00589560	0.00356008
Mass Trunk	0.00481152	0.00533954	0.00400729
Mass Root	0.00860227	0.00949593	0.00559893
water	0.12157350	0.10817250	0.06617700
Gas ในปี๊บ	0.00060720	0.00009989	0.00003356
gas ในขวด	0.00242024	0.00272552	0.00288232
Total mg	0.14570376	0.13172898	0.08225919

จาก : Mass balance ที่ 336 Time(hr) ต้นที่ 1

Mass Leaf = TCE Concentration in Leaf (ug/g) x น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g) /1000

Mass Trunk = TCE Concentration in Trunk(ug/g) xน้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g) /1000

Mass Root = TCE Concentration in Root (ug/g) x น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g) /1000

Soil = TCE Concentration in Soil (ug/g) x น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด (g) /1000

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาวฐิติพร พลัดบุญ
ภูมิลำเนา 40 หมู่ 3 ต.วังทับไทร อ. สากเหล็ก
จ.พิจิตร

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสากเหล็กวิทยา จ. พิจิตร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: thitiporn.plb@gmail.com

ชื่อ นางสาววรากร มณีชูเกตุ
ภูมิลำเนา 1008/2 ม.1 ต.เขาทราย อ.ทับคล้อ
จ.พิจิตร

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนตะพานหิน จ. พิจิตร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Warakorn_maneechuket@hotmail.com

ชื่อ นางสาววราพรรณ จันทแพน
ภูมิลำเนา 10 หมู่ 11 ต. โพนงาม อ. กมลาไสย
จ. กาฬสินธุ์

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนกมลาไสย
  จ. กาฬสินธุ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
  คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: samoorai001@hotmail.com