



ปริมาณการปนเปื้อนของสารประกอบ ได-(2-เอทิลเฮกซิล) ทาเลต (DEHP)
ในดินตะกอนและปูทะเลบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่าง
Contamination of di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)
in Sediment and Mud Crab in Lower Songkhla Lake

พันทิวา อินทวงศ์
Panthiwa Inthawong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ปริมาณการปนเปื้อนของสารประกอบ ได-(2-เอทิลเฮกซิล) ทาเลต (DEHP)
ในดินตะกอนและปูทะเลบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่าง
Contamination of di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)
in Sediment and Mud Crab in Lower Songkhla Lake

แพนทิวา อินทวงศ์
Panthiwa Inthawong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ปริมาณการปนเปื้อนของสารประกอบได-(2-เอทิลเฮกซิล) ทาเลต (DEHP)
ในดินตะกอนและปุ๋ยทะเลบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่าง
ผู้เขียน นางสาวพันทิวา อินทวงศ์
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์)

.....ประธานกรรมการ
(ดร. พีรพัฒน์ โกศลศักดิ์สกุล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สัญญา สิริวิทยาปกรณ์)

.....กรรมการ
(ดร.ภูซังค์ วรรณานุกรักษ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ
สิ่งแวดล้อม

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสว่าง)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(3)

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มี
ส่วนช่วยเหลือแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(นางสาวพันทิwa อินทวงศ์)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวพันทิวา อินทวงศ์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ ปริมาณการปนเปื้อนของสารประกอบได-(2-เอทิลเฮกซิล) ทาเลต (DEHP)
 ในดินตะกอนและปุ๋ยทะเลบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่าง
 ผู้เขียน นางสาวพันทิพา อินทวงศ์
 สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม
 ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

สารประกอบได-(2-เอทิลเฮกซิล) ทาเลต di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) เป็นสารเคมีที่ใช้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก แต่เป็นสารอันตรายกับระบบต่อมไร้ท่อก่อให้เกิดความผิดปกติต่อระบบสืบพันธุ์ และเป็นสารก่อกลายพันธุ์อีกด้วย ปัจจุบันมีรายงานการปนเปื้อนของสารประกอบ DEHP ในสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม หลุมฝังกลบขยะหรือแม้แต่ในน้ำทิ้งชุมชน งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงปริมาณการปนเปื้อนของสารประกอบ DEHP ที่สะสมอยู่ในดินตะกอนและปุ๋ยทะเลบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่างซึ่งเป็นแหล่งรองรับมลพิษทางน้ำมาจากปากคลองสาขาต่างๆที่ไหลผ่านแหล่งกำเนิดมลพิษต่างๆเพื่อนำมาประเมินความเสี่ยงเบื้องต้นต่อสุขภาพ สิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ

ผลของการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบDEHPในดินตะกอนและปุ๋ยทะเลบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่างด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography, GC) ร่วมกับตัวตรวจวัดชนิดเปลวไอออนในเซชัน (Flame ionization detector, FID) จากสถานีเก็บตัวอย่าง 8สถานีได้แก่ บริเวณปากคลองอู่ตะเภา ปากคลองสำโรง ปากคลองพะวง ปากคลองปากกรอ ปากคลองภูมิปากคลองบางกล้า ปากคลองปากจำ และปากคลองสทิงหม้อ พบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบDEHPในดินตะกอน,มีค่าเท่ากับ $18.53 \pm 0.29, 2.29 \pm 0.19, 1.87 \pm 0.11, 1.01 \pm 0.01, 0.72 \pm 0.06, 0.56 \pm 0.04, 0.52 \pm 0.05$ และ 0.45 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอินทรีย์คาร์บอนตามลำดับ จะเห็นว่าดินตะกอนจากปากคลองอู่ตะเภามีความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบDEHPสูงสุดแต่มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด (36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอินทรีย์คาร์บอน) จึงไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงที่มีนัยสำคัญ ส่วนในตัวอย่งปุ๋ยทะเลมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบDEHPในบริเวณดังกล่าวเท่ากับ $0.33 \pm 0.02, 0.23 \pm 0.02, 0.20 \pm 0.01, 0.17 \pm 0.01, 0.15 \pm 0.01, 0.13 \pm 0.01, 0.13 \pm 0.01$ และ 0.10 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ พบว่าตัวอย่งปุ๋ยทะเลจากปากคลองอู่ตะเภา มีปริมาณของสารประกอบ DEHP สูงสุดและมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทยกำหนดไว้(0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง)ทำให้ความเสี่ยงต่อสุขภาพอาจมีนัยสำคัญเพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากสารประกอบ DEHP หน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้องควรร่วมกันกำหนดมาตรการป้องกันแก้ไขการปนเปื้อนของสารประกอบDEHP ในสิ่งแวดล้อมต่อไป

Thesis title Contamination of di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) in sediment and mud crabs in Lower Songkhla Lake

Author Miss Panthiwa Inthawong

Major program Environmental management

Academic year 2017

ABSTRACT

Di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) is a commonly used chemical in the plastic industry. It is a harmful substance to the endocrine system, causing reproductive system disorders, and it is also a mutagen. Contamination of DEHP in the environment continuously occurs, especially in industrial wastewater, solid waste landfill and the community effluent. This study investigated the contamination of DEHP accumulated in sediment and mud crabs in lower Songkhla Lake, which received pollutants from branch canals that flow through many sources of pollution, in order to assess the initial risk to health, environment and ecosystems.

Analyses of DEHP levels in sediment and crab samples in lower Songkhla lake were conducted using gas chromatography (GC) with a Flame ionization detector (FID). The sampling sites consisted of 8 stations near the mouth of several branch canals, including U-Taphao canal, Samrong canal, Pa-Wong canal, Pak-Ror canal, Pak-Jar canal, Phue Mee canal, and Bang-Klam canal. The average concentrations of DEHP in sediment were 18.53 ± 0.29 , 2.29 ± 0.19 , 1.87 ± 0.11 , 1.01 ± 0.01 , 0.72 ± 0.06 , 0.56 ± 0.04 , 0.52 ± 0.05 and 0.45 ± 0.04 mg/kg OC dry wt., respectively. The average concentrations of DEHP in mud crabs were 0.33 ± 0.02 , 0.23 ± 0.02 , 0.20 ± 0.01 , 0.17 ± 0.01 , 0.15 ± 0.01 , 0.13 ± 0.01 , 0.13 ± 0.01 and 0.10 ± 0.01 mg/kg dry wt. The mouth of U-Taphao canal had the highest average concentration of DEHP in sediment, but not exceeding the threshold set by the Pollution Control Department (36 mg/kg OC dry wt.). However, mud crab samples from U-Tapao canal had the highest levels of DEHP which exceeded the standard limit set by the Chinese Ministry of Health (0.3 mg/kg dry wt.). Therefore, the health risk might be significant. In order to avoid the effects of DEHP, responsible authorities should work together to produce measures for prevention DEHP contamination.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.ดร.บรรจง วิทย์วิระศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ และแก้ไขความบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณ ดร. พีรพัฒน์ โกศลศักดิ์สกุล ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ภูงศ วรรณานุกรักษ์ และ รศ.ดร. สัญญา สิริวิทยาปกรณ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข ตลอดจนพิจารณาตรวจสอบความถูกต้องจนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ อาจารย์ วีรพงศ์ เลิศรัตนเทวี อาจารย์สำนักวิชาสหเวชศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ ที่คอยแนะนำและให้ข้อมูลเพิ่มเติมในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณศักดิ์ชัยดี ปันศรีทอง และคุณวัชระ แก้วสุวรรณ นักวิทยาศาสตร์ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คุณวราศรี พรหมหอม และคุณอัศจรรวดี สุขช่วย นักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่คอยอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ สนับสนุนการเบิกจ่ายอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนให้คำแนะนำถึงขั้นตอนการใช้เครื่องมือที่ถูกต้องในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย (ศสอ.) และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ผู้สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณวิทยา ดำแป้น คุณศิวัช พลายเสน คุณศุภรัตน์ แก้วมณี เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ในขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานหรือบุคคลที่สนใจต่อไป

พันทิวา อินทวงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญรูป	(12)
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.2.1 สารประกอบได-(2-เอทิลเฮกซิล) ทาเลต di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)	2
1.2.2 ทะเลสาบสงขลา	11
1.2.3 ดินตะกอนบริเวณปากแม่น้ำ	14
1.2.4 ปูทะเล	14
1.2.5 เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography)	16
1.2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
1.3 วัตถุประสงค์งานวิจัย	20
1.4 ขอบเขตการวิจัย	20
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	20
1.6 กรอบแนวคิดการวิจัย	21
บทที่ 2 วิธีการวิจัย	22
2.1 สารเคมี เครื่องมือ และวัสดุอุปกรณ์	22
2.1.1 สารมาตรฐานและตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	22
2.1.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	22
2.1.3 สารเคมี	22
2.1.4 เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.5 การเตรียมอุปกรณ์	24
2.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย	24
2.2.1 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง	24
2.2.2 พื้นที่เก็บตัวอย่าง	24
2.2.3 วิธีการเก็บตัวอย่าง	26
2.3 วิธีการทดลอง	27
2.3.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอน	27
2.3.2 การกำจัดสารปนเปื้อนในตัวอย่างดินตะกอน	28
2.3.3 เทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (Solid Phase Extraction)	29
2.3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างปุทะเล	30
2.3.5 การกำจัดสารปนเปื้อนในตัวอย่างปุทะเล	31
2.3.6 การสร้างกราฟมาตรฐาน (Standard Curve Calibration)	32
2.3.7 เทคนิค Gas Chromatography/flame ionization detector	32
2.4 การประกันคุณภาพการวิเคราะห์	32
2.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	33
2.4.2 สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient of Variation, CV)	33
2.4.3 ค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery)	34
2.4.4 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (limit of detection, LOD)	34
2.4.5 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณได้ (limit of quantification, LOQ)	34
2.4.6 การป้องกันปัจจัยรบกวน (Interferences) ต่อการวิเคราะห์ตัวอย่าง	34
2.4.7 การประเมินความเสี่ยง	35
2.5 สถานที่ทำการวิจัย	35
บทที่ 3 ผลการวิจัย และอภิปรายผล	36
3.1 กราฟมาตรฐานของสารประกอบ DEHP	36
3.2 การประกันคุณภาพของวิธีวิเคราะห์	37
3.2.1 ขีดจำกัดของการวิเคราะห์	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 ปริมาณร้อยละการได้คืนกลับของสารมาตรฐาน	38
3.3 ความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอน	38
3.4 ความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในปูทะเล	41
3.5 การประเมินความเสี่ยง	42
3.5.1 การประเมินความเสี่ยงในตัวอย่างดินตะกอน	43
3.5.2 การประเมินความเสี่ยงในตัวอย่างปูทะเล	44
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	46
4.1 สรุปผลการวิจัย	45
4.1.1 ปริมาณสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างดินตะกอน	45
4.1.2 ปริมาณสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างปูทะเล	46
4.1.3 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม	46
4.2 ข้อเสนอแนะ	47
บรรณานุกรม	48
ภาคผนวก	50
ภาคผนวก ก กราฟมาตรฐาน และสภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ	54
ภาคผนวก ข ปริมาณสารประกอบ DEHP ในดินตะกอน และปูทะเล	57
ภาคผนวก ค การประกันคุณภาพ	60
ภาคผนวก ง ภาพการเก็บตัวอย่าง และการทดลอง	64
ประวัติผู้เขียน	69

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สถานีเก็บตัวอย่างบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่าง	25
2.2	สภาวะเครื่อง GC-FID	33
3.1	ค่าร้อยละการได้คืนกลับและสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน	38
3.2	ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในดินตะกอน	40
3.3	ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในตัวอย่างปูทะเล	42
3.4	ผลของการประเมินความเสี่ยงของตัวอย่างดินตะกอน	44
3.5	ปริมาณการได้รับสารประกอบ DEHP เฉลี่ยต่อวัน (ADI) จากการบริโภคปูทะเล	45
ตารางภาคผนวก		
ข.1	ปริมาณสารประกอบ DEHP ในดินตะกอน	58
ข.2	ปริมาณสารประกอบ DEHP ในปูทะเล	59
ค.1	ค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery)	61
ค.2	วิธีการวิเคราะห์สถิติแบบ ANOVA tukey test	62

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	สูตรโครงสร้างของสารประกอบ DEHP	2
1.2	กระบวนการเผาผลาญ สารประกอบ DEHP ในมนุษย์	10
1.3	ปากคลองสาขาต่างๆที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา	13
1.4	ตำแหน่งของแหล่งปล่อยมลพิษตลอดเส้นทางไหลของปากคลองสาขาต่างๆ	14
1.5	ปูทะเล	16
1.6	ไดอะแกรมของแก๊สโครมาโทกราฟี	16
1.7	ไดอะแกรมของเฟลมไอออไนเซชัน	17
1.8	กรอบแนวคิดการวิจัย	21
2.1	สถานีเก็บตัวอย่าง	26
2.2	Stainless Steel Grab Sampler	27
2.3	การสกัดตัวอย่างดินตะกอนด้วยเครื่อง Ultrasonic	28
2.4	การกำจัดสารปนเปื้อนด้วยวิธี Solid Phase Extraction	28
2.5	การลดปริมาตรด้วยเครื่อง Rotary Evaporator	29
2.6	คอลัมน์ที่บรรจุพลอริซิล และโซเดียมซัลเฟต แอนไฮดรัส	30
2.7	ตัวอย่างปูทะเล	31
2.8	เครื่อง Centrifuge	32
3.1	โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน DEHP ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร	36
3.2	กราฟมาตรฐานสารประกอบ DEHP	37
3.3	โครมาโทแกรมของสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างดินตะกอน	39
3.4	กราฟแสดงความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างดินตะกอน	40
3.5	โครมาโทแกรมของสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างปูทะเล	41
3.6	กราฟแสดงความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างปูทะเลที่สถานีต่างๆ	42
รูปภาคผนวก		
ก.1	Calibration Curve ของ DEHP	55
ก.2	สถานะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	56
ง.1	การเก็บตัวอย่างดินตะกอน	65
ง.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง	65
ง.3	การเตรียมตัวอย่างปูทะเล	66
ง.4	การเตรียมตัวอย่างดินตะกอน	66

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปภาคผนวก		หน้า
ง.5	ตัวอย่างดินตะกอนและปุ๋ยทะเลที่เก็บรักษาไว้ในตู้ดูดความชื้น	67
ง.6	เครื่อง Ultrasonic สำหรับสกัดตัวอย่าง	67
ง.7	เครื่อง SPE Manifold	68
ง.8	การสกัดตัวอย่าง	68

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

DEHP = Di (2-ethylhexyl) phthalate

PVC = Polyvinylchloride

DMP = Dimethyl Phthalate

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

สารประกอบได-(2-เอทิลเฮกซิล) ทาลเตต di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) เป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตพลาสติก (Plastic) และผลิตภัณฑ์ยาง อีกทั้งมีการใช้สารประกอบ DEHP ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ อีกมากมาย นอกจากนี้ ยังพบ DEHP ปนเปื้อนมากในน้ำชะหลุมฝังกลบขยะและน้ำเสียชุมชน ซึ่งกลายเป็นสารปนเปื้อนที่ถูกปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อม สามารถแพร่กระจายไปสู่มนุษย์ได้ โดยสารประกอบ DEHP ถูกระบุว่า เป็นสารที่รบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อในมนุษย์และสัตว์ รบกวนการทำงานของฮอร์โมนซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของระบบอวัยวะในร่างกาย ทั้งนี้จะเป็นอันตรายต่อตับและระบบสืบพันธุ์ (USEPA, 2005) และเป็นสารก่อมะเร็งในหนูทดลองอีกด้วย (Silva et al., 2006)

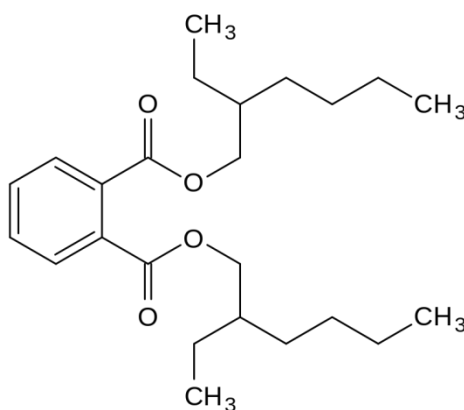
ทะเลสาบสงขลาตอนล่างเป็นพื้นที่ที่อุดมสมบูรณ์ด้วยทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญของชาวจังหวัดสงขลา รวมถึงเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตหลากหลายชนิด และยังเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์เศรษฐกิจต่าง ๆ อีกมากมาย โดยทะเลสาบสงขลาตอนล่างจะรับน้ำมาจากปากคลองสาขาต่างๆ เช่น ปากคลองภูมิ ปากคลองพะวง ปากคลองอู่ตะเภา เป็นต้น ซึ่งเป็นปากคลองที่ไหลผ่านโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย เช่น โรงงานผลิตพลาสติก ท่อพีวีซี ผลิตถุงมือยาง ฯลฯ อีกทั้งยังมีบ่อบำบัดขยะ และอุตสาหกรรมต่างๆ กระจายอยู่รอบๆ พื้นที่ ซึ่งปากคลองต่างๆ เหล่านี้เป็นแหล่งรองรับมลพิษ และจะไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาตอนล่างในที่สุด

สารประกอบ DEHP สามารถสะสมและตกค้างในสิ่งแวดล้อมได้เป็นเวลานาน อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สุขภาพของมนุษย์ และสัตว์ จึงควรมีการศึกษาหาปริมาณของสารประกอบ DEHP ที่ปนเปื้อนในดินตะกอนและสัตว์หน้าดินที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น เนื่องจากดินตะกอนมีสารอินทรีย์ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับสารประกอบ DEHP ได้มากและรวดเร็ว อาจทำให้เกิดการสะสมของสาร DEHP ได้ และอาจจะส่งผลกระทบต่อสัตว์หน้าดินโดยเฉพาะบริเวณปากคลองสาขาต่างๆ ที่อาศัยอยู่บริเวณป่าชายเลน ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาหาปริมาณการปนเปื้อนของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนและปูทะเล ซึ่งเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่หากินตามดินตะกอนบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่าง เพื่อนำไปสู่การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศ และการกำหนดแนวทางการป้องกันแก้ไขที่เหมาะสมเพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศจากสารประกอบ DEHP ต่อไป

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 สารประกอบได-(2-เอทิลเฮกซิล) ทาเลต di-(2-ethylhexyl) phthalate, (DEHP)

สารประกอบ DEHP เป็นสารเคมีสังเคราะห์จากปฏิกิริยาเคมีระหว่าง 2-ethylhexanol และ phthalic anhydride ซึ่งมีชื่อพ้องอื่นๆ ได้แก่ dioctyl phthalate (DOP) และ bis-(2-ethylhexyl) phthalates โดยมีชื่อทางการค้า เช่น Platinol DOP, Octoil, Silicol 150, Bisoflex 81 และ Eviplast 80 เป็นต้น (European Commission, 2008) สารประกอบ DEHP เป็นของเหลวหนืด ไม่มีสีที่อุณหภูมิห้อง สามารถละลายในน้ำมันได้ดี แต่ไม่ละลายน้ำ มีกลิ่นเล็กน้อย ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบ DEHP ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 สูตรโครงสร้างของสารประกอบ DEHP

ที่มา: Kavlock *et al.* (2002)

สารประกอบ DEHP เป็นสารกลุ่ม phthalate esters ส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้เป็น plasticizer หรือสารที่ให้ความอ่อนตัวในการผลิตพอลิเมอร์ มีลักษณะเป็นของเหลว ไร้สี ไร้กลิ่น มีความเสถียร และมีความสามารถในการระเหยต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีเยี่ยมในการใช้เป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตพลาสติก หรือพีวีซี ปริมาณการใช้สารประกอบ phthalates เป็น plasticizer สูงถึงร้อยละ 92 ของปริมาณ plasticizer ทั้งหมดทั่วโลก ซึ่งเป็นสารประกอบ DEHP ถึงร้อยละ 50 (Barnabe *et al.*, 2008) ยุโรปมีการใช้สารประกอบ DEHP เป็น plasticizers สูงถึงร้อยละ 95 จากปริมาณของสารประกอบ DEHP ทั้งหมด โดยเฉพาะในการผลิต Polyvinylchloride (PVC) ที่ยืดหยุ่นได้มีปริมาณของสารประกอบ DEHP ประมาณร้อยละ 30-50 (โดยน้ำหนัก) (Rank, 2005) ผลิตภัณฑ์ที่มีสารประกอบ DEHP เป็นส่วนประกอบมีหลากหลายชนิด ตัวอย่างเช่น แผ่นฟิล์มสำหรับห่อหุ้มอาหาร ของเล่นเด็ก วัสดุก่อสร้าง เช่น แผ่นปูพื้นไวนิล โครงสร้างและหลังคา ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เช่น ถุงมือสำหรับศัลยกรรมและตรวจโรค ถุงบรรจุเลือด ท่อให้เลือดและอาหาร เครื่องมือฟอกไต ผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น กาวเหนียว สีพลาสติก แล็คเกอร์ หมึกพิมพ์ เซรามิก น้ำมันหล่อลื่น พลาสติกในรถยนต์ เสื้อกันฝน ผงซักฟอก สบู่ แชมพู เครื่องสำอาง เช่น น้ำยาทาเล็บ สเปรย์ฉีดผม เป็นต้น (U.S.EPA, 2005)

สารประกอบ DEHP และสารแปรรูปของสารประกอบ DEHP เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม คือ ทำให้ทารกพิการในครรภ์ (teratogenicity) เป็นสารก่อกลายพันธุ์ (mutagenicity)(U.S.EPA, 2005) และสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง (Liang *et al.*,2008) มีรายงานการศึกษาของ National Health and Nutrition Examination (NHANES) ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่ามีการสัมผัสสารประกอบ phthalates ในประชากรมนุษย์ทั่วไปอย่างกว้างขวาง จากข้อมูลการเฝ้าระวังทางชีวภาพจากการตรวจวัดในน้ำคร่ำและปัสสาวะได้แสดงให้เห็นว่ามนุษย์มีการสัมผัสสารประกอบ phthalates ตั้งแต่ระหว่างตั้งครรภ์ วัยเจริญพันธุ์ และวัยผู้ใหญ่ และสัมผัสสารประกอบ phthalates หลายชนิดในช่วงเวลาเดียวกัน (USEPA, 2005) มีการตรวจพบสารแปรรูปของสารประกอบ DEHP ในปัสสาวะร้อยละ 78 จาก 2,541 ตัวอย่าง ผู้หญิงสัมผัสสารประกอบ DEHP สูงกว่าผู้ชาย และเด็กสัมผัสสารประกอบ phthalates สูงสุด โดยเฉพาะสารประกอบ DEHP, DBP, butyl benzyl phthalate (BBP) และ di-n-Octyl phthalate (DnOP) หลายประเทศมีการจัดการความเสี่ยงจากสารประกอบ DEHP ตัวอย่างเช่นในปี 2005 ประชาคมยุโรปห้ามใช้สารประกอบ DEHP ในของเล่นและผลิตภัณฑ์สำหรับเด็กทุกชนิด (European Commission, 2008) และได้กำหนดให้สารประกอบ DEHP เป็นสารชนิดหนึ่งที่อยู่ในรายชื่อของสารอันตรายทั้งหมด 33 ชนิดในน้ำที่ต้องควบคุม (European Commission, 2008) และเสนอค่ามาตรฐานทางสิ่งแวดล้อมของสารประกอบ DEHP ในน้ำผิวดิน คือ 1.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ในปี ค.ศ. 2007

ปัจจุบันประชาคมยุโรปออกกฎระเบียบแนะนำให้ลดการใช้สารประกอบ phthalates ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เครื่องสำอางและภาชนะบรรจุอาหาร เป็นต้น (Dargnat *et al.*, 2009) คณะกรรมาธิการความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ประเทศสหรัฐอเมริกา (Consumer Products Safety Commission, CPSC) ได้ออกข้อกำหนดห้ามใช้สารประกอบ DEHP ในของเล่นและผลิตภัณฑ์สำหรับเด็กสูงกว่าร้อยละ 0.1 องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (Environmental Protection Agency, EPA) และองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศจีน (China State Environmental Protection Administration, SEPA) ได้ระบุให้สารประกอบ DEHP เป็นสารมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่ต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษเป็นอันดับต้นๆ (Xu *et al.*, 2008) องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกาได้ควบคุมความเข้มข้นสูงสุดของสารประกอบ DEHP ในน้ำดื่มที่ยอมให้มีได้ไม่เกิน 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร

(1) แหล่งกำเนิดการปนเปื้อนของสารประกอบ DEHP ในสิ่งแวดล้อม

การปนเปื้อนของสารประกอบ DEHP ในสิ่งแวดล้อม เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต การขนส่ง การเก็บรักษา การสังเคราะห์ และการแปรรูป โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบ DEHP ที่ใช้เป็น plasticizer จะไม่ได้เกิดพันธะทางเคมีกับโมเลกุลของพอลิเมอร์ แต่จะแทรกระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ ดังนั้นสารประกอบ DEHP จึงสามารถหลุดออกจากผลิตภัณฑ์สู่สิ่งแวดล้อมบริเวณรอบๆ ได้ง่าย (Rank, 2005) ซึ่งสารประกอบ DEHP เข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยตรงในปริมาณมากเนื่องจากมีปริมาณการผลิตสูง มีการใช้อย่างแพร่หลาย และมีคุณสมบัติทางเคมีที่เอื้อต่อการคงทน ตัวอย่างเช่น มีความสามารถในการละลายต่ำ และมีค่า K_{ow} (octanol/water partition coefficient)

สูง โดยผ่านทางอากาศและน้ำที่จากการกำจัดของโรงงานอุตสาหกรรม และขยะพลาสติกที่หลุมฝังกลบขยะ เป็นต้น (European Commission, 2008) นอกจากนี้ มีการตรวจพบสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมทุกประเภท เช่น อากาศ น้ำ ดิน ดินตะกอน หรือในเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต เป็นต้น ในทุกช่วงของวัฏจักรชีวิตตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตจนถึงการกำจัด ด้วยคุณสมบัติทางเคมีของสารประกอบ DEHP ที่มีค่าความดันไอและค่าคงที่ Henry's Law ต่ำ เช่นเดียวกับที่มีค่า K_{ow} และ soil sorption coefficient สูง จึงทำให้ความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในอากาศมีค่าต่ำที่ระดับนาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และสารประกอบ DEHP เป็นสารประเภท lipophilic มีค่า $K_{ow} = 7.5$ จึงมีคุณสมบัติจับกับอนุภาคของดินและดินตะกอนอย่างแข็งแรง เมื่อสารประกอบ DEHP อยู่ในดินตะกอนจะเกิดการสลายตัวต่ำเนื่องจากกระบวนการย่อยสลายจากจุลินทรีย์ขาดออกซิเจน

ระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและบ้านเรือนที่มีการปนเปื้อนสารประกอบ DEHP ไม่สามารถกำจัดสารประกอบ DEHP ได้ทั้งหมด แม้ว่ากากตะกอนและน้ำที่จากโรงงานอุตสาหกรรมและบ้านเรือนที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้วก็ยังมีสารประกอบ DEHP ปนเปื้อน จึงเป็นสาเหตุให้สารดังกล่าวปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำต่อไป เส้นทางหลักในการปนเปื้อนของสารประกอบ DEHP ในดินคือผ่านทางกำจัดของโรงงานอุตสาหกรรมและขยะพลาสติกที่มีสารประกอบ DEHP เป็นองค์ประกอบ ในปี 1988 มีรายงานการศึกษาขยะบริเวณหลุมฝังกลบขยะพบว่าปริมาณขยะสูงถึง 230 ล้านปอนด์พบการปนเปื้อนสารประกอบ DEHP (Koch *et al.*, 2003) มีหลายประเทศที่ใช้กากตะกอนเป็นปุ๋ยและปรับสภาพของดินทางการเกษตร โดยประเทศเดนมาร์กได้กำหนดค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในกากตะกอนสำหรับใช้ทางการเกษตรไว้ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง (Rank, 2005)

(2) การเปลี่ยนแปลงสารประกอบ DEHP ในสิ่งแวดล้อม

สารประกอบ DEHP มีอยู่ทั่วไปในอากาศที่ระดับความเข้มข้นต่ำๆ เช่น 0.06–5.0 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งอาจอยู่ในสถานะไอระเหย หรืออนุภาคของแข็งที่เกิดจากการรวมตัวของสารประกอบ DEHP บริสุทธิ์ หรืออนุภาคพอลิเมอร์ที่มีสารประกอบ DEHP เป็นองค์ประกอบกับอนุภาคอื่นๆ (European Commission, 2008) และตกสู่พื้นผิวโลกในรูปเปียกและแห้ง เช่น ฝนหิมะฝุ่น เป็นต้น โดยมีการตรวจพบสารประกอบ DEHP ในหิมะที่ปกคลุมบริเวณแอนตาร์คติกและก้อนน้ำแข็งที่ลึกลงไป 3 เมตร เช่นเดียวกับที่มีการตรวจพบที่บริเวณอ่าวเม็กซิโก จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าสารประกอบ DEHP ในอากาศสามารถแพร่กระจายไปเป็นระยะทางไกลๆได้ ดังนั้นการตรวจพบสารประกอบ DEHP ในอากาศ ณ ที่ใดที่หนึ่งของโลก อาจจะมาจกแหล่งกำเนิดจากที่อื่นก็ได้ ซึ่งการแพร่กระจายของสารประกอบ DEHP ในระยะทางไกลๆดังกล่าวนี้ จะอยู่ในรูปที่รวมตัวกับอนุภาคอื่นๆ

สารประกอบ DEHP ในน้ำส่วนใหญ่จะถูกดูดซับกับอนุภาคแขวนลอยในน้ำและดินตะกอน แต่ยังมีบางส่วนที่ละลายอยู่ในน้ำ การระเหยของสารประกอบ DEHP ในน้ำและดินเกิดขึ้นได้น้อย เนื่องจากมีค่าคงที่ Henry's Law ต่ำ มีการประเมินค่าครึ่งชีวิตของการระเหยกลายเป็นไอของ

สารประกอบ DEHP ในน้ำประมาณ 15 ปี (Parkerton and Stables, 1997) และมีสารประกอบ DEHP ในทะเลสาบและหนองน้ำที่ระเหยได้เพียงร้อยละ 2 เท่านั้น เมื่อสารประกอบ DEHP ถูกปล่อยเข้าสู่แหล่งน้ำ จะถูกดูดซับกับอนุภาคแขวนลอยในน้ำและดินตะกอนอย่างแข็งแรง การประเมินอัตราส่วนการแพร่กระจายของสารประกอบ DEHP ระหว่างน้ำและดินตะกอนในระบบนิเวศน้ำจืดพบว่าสารประกอบ DEHP จะอยู่ในดินตะกอนเป็นส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 69-99 และการดูดซับของสารประกอบ DEHP กับดินตะกอนในทะเลเกิดขึ้นมากกว่าดินตะกอนน้ำจืด เพราะความสามารถในการละลายของสารประกอบ DEHP ในน้ำทะเลลดลง จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสารประกอบ DEHP ในแม่น้ำ Rhine มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับดินตะกอนเป็นอย่างมาก แต่บางครั้งพบว่า สารประกอบ DEHP ที่อยู่ในรูปของสารละลายมีความเข้มข้นสูงกว่าในดินตะกอน แต่อย่างไรก็ตามที่ทะเลสาบ Yssel ตรวจพบความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนสูงกว่าในรูปของสารละลายถึง 100 เท่า โดยสารประกอบ DEHP ในทะเลสาบ Yssel นั้นมาจากแหล่งกำเนิดที่ไม่สามารถระบุแหล่งที่มาได้อย่างชัดเจน

การซึมผ่านของสารประกอบ DEHP จากดินสู่น้ำใต้ดิน โดยทั่วไปความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP จะลดลงเนื่องจากกรองผ่านชั้นดิน แต่บริเวณที่ทิ้งขยะอันตราย ซึ่งมีสารละลายอินทรีย์ทั่วไป เช่น แอลกอฮอล์ (alcohol) และคีโตน (ketone) จะเพิ่มความสามารถในการละลายของสารประกอบ DEHP ดังนั้นสารประกอบ DEHP ในขยะต่างๆ จะถูกชะได้มากขึ้น ซึ่งจะซึมผ่านดินและน้ำใต้ดินต่อไป ทั้งนี้มีการตรวจพบสารประกอบ DEHP ในน้ำชะขยะที่หลุมฝังกลบขยะบางแห่งสูงกว่าความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบ DEHP ทั่วไป (ATSDR, 2002)

การสลายตัวด้วยแสง (photodegradation) ของสารประกอบ DEHP เกิดขึ้นในอากาศเป็นส่วนใหญ่ โดยเกิดปฏิกิริยาเคมีกับอนุมูลไฮดรอกซิล (OH radicals) ในอากาศ ค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 1 วัน แต่การสลายตัวด้วยแสงของสารประกอบ DEHP ในน้ำและดินเกิดขึ้นได้น้อยมาก ซึ่งสารประกอบ DEHP ไม่เกิดปฏิกิริยา hydrolysis ในน้ำ (European Commission, 2008)

การย่อยสลายทางชีวภาพถูกคาดว่าเป็นกระบวนการสำคัญที่สุดในการสลายตัวของสารประกอบ DEHP ในแหล่งน้ำผิวดิน ดิน และดินตะกอน (Stables *et al.*, 1997) สารประกอบ DEHP มีค่า K_{ow} เท่ากับ 7.5 ซึ่งเป็นค่าคงที่ ดังนั้นสารประกอบ DEHP จะถูกดูดซับกับภาคตะกอนในการบำบัดของเสียชุมชนอย่างแข็งแรง โดยสารประกอบ DEHP มีความดันไอเท่ากับ 3.4×10^{-5} พาสคาลแสดงว่ามีอัตราการระเหยจากสภาวะที่เป็นสารบริสุทธิ์ต่ำ และมีค่าคงที่ Henry's law เท่ากับ 4.4 พาสคาลลูกบาศก์เมตรต่อโมลแสดงว่ามีอัตราการระเหยปานกลาง (semivolatile) จากสภาวะที่เป็นสารบริสุทธิ์ในสารละลายน้ำ จากรายงานการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradation) ของสารประกอบ DEHP พบว่าค่าครึ่งชีวิตของการย่อยสลายทางชีวภาพสำหรับสารประกอบ DEHP ในน้ำผิวดินเท่ากับ 50 วัน และในดินตะกอนที่มีออกซิเจนเท่ากับ 300 วัน แต่ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนและมีอุณหภูมิต่ำ อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพจะลดลง (European Commission, 2008) โดยทั่วไปการย่อยสลายทางชีวภาพของสารประกอบ phthalates

ภายใต้สภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น น้ำทิ้งจากระบบน้ำเสีย กากตะกอน น้ำจืด ดินตะกอน ดิน และหลุมฝังกลบขยะ มีลักษณะที่เหมือนกันดังนี้ คือ

1) ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพลดลงเมื่อความยาวของ side chain ของสารประกอบ phthalates เพิ่มขึ้น เช่น สารประกอบ dimethyl phthalate (DMP) มี ester chain สั้นกว่าสารประกอบ DEHP ดังนั้นสารประกอบ DMP สามารถเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายกว่า

2) การย่อยสลายทางชีวภาพของสารประกอบ phthalates แบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic biodegradation) โดยทั่วไปมักเกิดช้ากว่าแบบใช้ออกซิเจน(aerobic biodegradation)

3) เมื่อความเข้มข้นของสารประกอบ phthalates และหรือสารแปรรูปของ phthalates เพิ่มสูงขึ้นจะยับยั้งการย่อยสลายทางชีวภาพ (Liang *et al.*, 2008)

สารแปรรูปที่ได้จากการย่อยสลายทางชีวภาพของสารประกอบ DEHP คือ MEHP (mono(2-ethylhexyl phthalate), 2-ethylhexanol และ 2-ethylhexanoic acid (European Commission, 2008; Barnabe, 2008) มีรายงานการศึกษาทางห้องปฏิบัติการพบว่าสารแปรรูปเหล่านี้มีความเป็นพิษสูงกว่าสารประกอบ DEHP และสามารถทนต่อการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดี ผลการศึกษาภาคสนามยืนยันว่ามีการตรวจพบสารประกอบ DEHP และสารแปรรูปทั้งสองชนิดคือ 2-ethylhexanol และ 2-ethylhexanoic acid ปนเปื้อนในน้ำผิวดิน ดินตะกอนแม่น้ำ หิมะที่ตกใหม่ๆ แม้กระทั่งในน้ำประปา (Horn *et al.*, 2004)

นอกจากนี้ มีการรายงานพบว่าสารประกอบ DEHP สามารถสะสมในสัตว์น้ำได้ พบว่าสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง *Gammarus* มีค่า bioconcentration factor สูงสุดเท่ากับ 2,700 ขณะที่ปลา มีค่า bioconcentration factor เท่ากับ 840 ซึ่งค่า bioconcentration factor เป็นข้อมูลบ่งบอกถึงสัมประสิทธิ์ของความเข้มข้นของสารที่สะสมในสิ่งมีชีวิตในแต่ละลำดับของการกิน แสดงให้เห็นว่าการได้รับสารประกอบ DEHP ผ่านทางห่วงโซ่อาหารเป็นเส้นทางการสัมผัสที่สำคัญ (secondary poisoning) แต่สารประกอบ DEHP ไม่เกิด biomagnification อาจเนื่องมาจากสิ่งมีชีวิตในลำดับที่สูงกว่ามีการเผาผลาญ (metabolization) ที่มีประสิทธิภาพดีกว่า (European Commission, 2008)

(3) ความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในสิ่งแวดล้อม

มีการตรวจพบสารประกอบ DEHP ในอากาศอยู่ทั่วทุกแห่ง ทั้งในสถานะแก๊ส อนุภาคของแข็งและสถานะน้ำ (ฝน) (European Commission, 2008) โดยเฉพาะบริเวณชุมชนเมือง ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในอากาศสูงกว่าบริเวณชนบท (ATSDR, 2002) อีกทั้งระดับความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ภายในอาคารสูงกว่าภายนอกอาคาร เนื่องจากมีการระเหยของสารประกอบ DEHP อย่างช้าๆ จากผลิตภัณฑ์ที่มีสารประกอบ DEHP เป็นส่วนประกอบ เช่น แผ่นปูพื้น ฝ้าผนัง ฉนวนสายไฟ เป็นต้น (Khan *et al.*, 2008; Wams, 1987) จากรายงานการ

ตรวจพบสารประกอบ DEHP ภายในอาคารต่างๆ ตัวอย่างเช่น อากาศภายในห้องที่เพิ่งปูแผ่นกระเบื้อง PVC ใหม่ๆ มีค่าความเข้มข้นระหว่าง 0.15–0.26 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (150,000–260,000 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) (Khan *et al.*, 2008)

มีการตรวจพบสารประกอบ DEHP ในน้ำผิวดิน น้ำฝน และน้ำใต้ดินอยู่เสมอ อีกทั้งมีการตรวจพบสารประกอบ DEHP ในน้ำดื่มในหลายๆเมืองของประเทศสหรัฐอเมริกาอีกด้วย และมีการตรวจพบสารประกอบ DEHP ในน้ำชะขยะที่หลุมฝังกลบขยะในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีค่าความเข้มข้นระหว่าง 34–7,900 ไมโครกรัมต่อลิตร (ATSDR, 2002) นอกจากนี้ มีการรายงานระดับความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในน้ำในแม่น้ำระหว่าง 0.8–21 ไมโครกรัมต่อลิตร ในบริเวณที่มีชุมชนหนาแน่นและเขตนิคมอุตสาหกรรมที่มีค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในน้ำสูงกว่า 21 ไมโครกรัมต่อลิตร แต่พบว่าน้ำในทะเลมีค่าความเข้มข้นต่ำกว่าในแม่น้ำ และยังพบว่าผิวน้ำทะเลในประเทศนอร์เวย์มีค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ต่ำกว่า 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร ยกเว้นบริเวณที่ใกล้กับโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนมีค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ประมาณ 0.4 ไมโครกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในผิวดินตะกอนในแม่น้ำ ทะเลสาบบริเวณชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่มีการใช้สารประกอบ DEHP มีค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ระหว่าง 0.04–21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง แต่บริเวณโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารประกอบ DEHP มีค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนสูงกว่ามาก

ระดับความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในน้ำเสีย (influent) ที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในประเทศสวีเดน เดนมาร์ก นอร์เวย์ และเยอรมนี พบว่ามีค่าระหว่าง 4-250 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำที่ออกจากระบบบำบัด (effluent) มีค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ระหว่าง 0.07-28 ไมโครกรัมต่อลิตร แสดงว่าสามารถกำจัดสารประกอบ DEHP ในน้ำได้ถึงร้อยละ 90 แต่มีบางแห่งที่มีร้อยละต่ำกว่า เช่น กำจัดได้เพียงร้อยละ 40 เท่านั้น นอกจากนี้ระดับความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในภาคตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนในประเทศดังกล่าวมีค่าระหว่าง 0-661 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (European Commission, 2008) โดยทั่วไป ดินตะกอนแม่น้ำที่มีลักษณะเป็นดินโคลนอุดมด้วยสารอินทรีย์สูงๆ มักมีระดับความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP สูงกว่าดินตะกอนที่มีลักษณะเป็นดินทราย ความเข้มข้นสูงสุดที่ตรวจพบอยู่ในดินตะกอนชั้นแรก ส่วนดินตะกอนที่อยู่ชั้นลึกลงไปมีความเข้มข้นน้อยกว่า 5 เท่า อาจเนื่องมาจากถูกเจือจางไม่ใช่จากขบวนการสลายตัวทางชีวภาพซึ่งเกิดขึ้นได้ช้าโดยเฉพาะในสภาวะขาดออกซิเจน (anaerobic) การสลายตัวทางชีวภาพที่ต่ำทั้งในสภาวะที่ใช้ ออกซิเจน (aerobic) และไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic) แสดงว่าดินตะกอนก้นแม่น้ำสามารถคงทนได้นานและกลายเป็นแหล่งกำเนิดทุติยภูมิ (secondary source) ของสารประกอบ DEHP ต่อไป (Parkerton and Stables, 1997)

สารประกอบ DEHP มีความเป็นพิษสูงต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บนบก ปลาและสัตว์น้ำที่ไม่มีกระดูกสันหลัง ซึ่งมีรายงานทางพิษวิทยาาระบบนิเวศว่าสารประกอบ DEHP ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำในวงกว้าง กล่าวคือความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ที่ตรวจพบในสัตว์น้ำนั้นตรงกับค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้นพอดี (USEPA, 2005) ปัญหา

การปนเปื้อนของสารประกอบ DEHP ในแม่น้ำและปากแม่น้ำในประเทศต่างๆ ในทศวรรษที่ผ่านมา ทำให้ทั่วโลกให้ความสำคัญเกี่ยวกับปัญหาดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น (Lin *et al.*, 2009)

จากรายงานการตรวจหาและบำบัดสารเคมีอันตรายในน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำยาง พบว่า น้ำเสียประกอบด้วยสารเคมี 7 กลุ่มหลัก คือ acid, indoles, phthalates, alcohols, phenols, thiazoles, และ thiocarbamates (Horn *et al.*, 2004)

(4) ผลกระทบต่อสุขภาพจากสารประกอบ DEHP

มนุษย์อาจสัมผัสสารประกอบ DEHP จากแหล่งกำเนิด (sources) หลายแหล่ง ตัวอย่างเช่น อากาศ น้ำ อาหาร ดิน ดินตะกอนและสิ่งมีชีวิต เป็นต้น และจากสิ่งแวดล้อม (environments) ที่หลากหลาย เช่น การประกอบอาชีพ ที่อยู่อาศัย การใช้ผลิตภัณฑ์ การรักษาทางการแพทย์ และการสัมผัสทางอ้อมผ่านทางสิ่งแวดล้อม (European Commission, 2008; U.S. EPA, 2005) เส้นทางการสัมผัสสารประกอบ DEHP ในมนุษย์ส่วนใหญ่คือทางการกิน (ATSDR, 2002) และมีอีกหลายปัจจัยที่ใช้ประเมินว่ามนุษย์ได้รับอันตรายจากสารประกอบ DEHP ได้แก่ ปริมาณ (dose) ระยะเวลาการสัมผัสสาร (duration) และเส้นทางการสัมผัสสาร (route) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ต้องพิจารณาด้วย ตัวอย่างเช่น อายุ เพศ อาหารภาวะสุขภาพ เป็นต้น เด็กมีโอกาสสัมผัสสารประกอบ DEHP เช่นเดียวกัน ถ้าดื่มหรือกินอาหารที่มีการปนเปื้อนสารประกอบ DEHP หรือสูดหายใจอากาศที่มีสารประกอบ DEHP ปนเปื้อนภายในอาคาร ในเด็กทารกอาจสัมผัสสารประกอบ DEHP โดยการสัมผัสผ่านผิวหนังหรืออ้อมของเล่นเด็กและจุกนมยางที่มีสารประกอบ DEHP เป็นองค์ประกอบ ขณะเดียวกันเด็กทารกอาจได้รับสารประกอบ DEHP ผ่านทางน้ำนมแม่ที่มีสารประกอบ DEHP ตกค้างในร่างกาย จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเด็กทารกและเด็กเล็กสัมผัสสารประกอบ phthalates สูงที่สุด จากการสัมผัสโดยตรงผ่านการเอาเข้าปาก ตัวอย่างเช่น สิ่งที่ใช้ทารกใช้กัดเล่น ของเล่นเด็กที่ทำจาก PVC ชนิดยืดหยุ่น เด็กทารกที่คลอดก่อนกำหนดเป็นกลุ่มที่ได้รับสัมผัสสารประกอบ DEHP สูงสุดจากการใช้อุปกรณ์ทางการแพทย์ที่มีสารประกอบ DEHP เป็นองค์ประกอบ (ATSDR, 2002)

(5) การสัมผัสสารประกอบ DEHP ทางสิ่งแวดล้อม

การสัมผัสสารประกอบ DEHP ทางอ้อมผ่านทางสิ่งแวดล้อม เช่น อาหาร อากาศ น้ำ และฝุ่น (Swan, 2008) โดยเฉพาะบุคคลที่อาศัยในบริเวณใกล้เคียงกับโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ สารกันซึม (sealants) กาวเหนียว แล็คเกอร์ สีพลาสติก หมึกพิมพ์ โรงบำบัดน้ำเสียชุมชน และสถานที่รีไซเคิลกระดาษ รวมทั้งสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่กินไส้เดือน นกกินหอย และสัตว์ที่อาศัยอยู่ในดินตะกอนในบริเวณดังกล่าวมีโอกาสได้รับสารประกอบ DEHP สูงกว่าปกติ (ATSDR, 2002; European Commission, 2008) การปนเปื้อนสารประกอบ DEHP ในอาหารเกิดขึ้นจากการใช้ PVC ในวัสดุบรรจุและห่อหุ้มอาหารหรือในกระบวนการผลิตอาหาร เป็นต้น (Koch *et al.*, 2003)

หลังจากที่สารประกอบ DEHP เข้าสู่ร่างกายโดยการดื่มหรือกินสารประกอบ DEHP จะเกิดการสลายตัวในกระเพาะอาหารอย่างรวดเร็วไปเป็น mono(2-ethylhexyl) phthalate(MEHP) และ 2-ethylhexylhexanol แต่ถ้าได้รับสารประกอบ DEHP เข้าสู่กระแสเลือดโดยตรงผ่านการใช้อุปกรณ์ทางการแพทย์ที่มีสารประกอบ DEHP เป็นองค์ประกอบ เช่น ท่อให้เลือด และอาหาร สารประกอบ DEHP จะเกิดการสลายตัวเข้าสู่สารประกอบ MEHP ในกระเพาะอาหารถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้น้อย เมื่อสารประกอบ DEHP เข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดในร่างกายจะเข้าสู่อวัยวะต่างๆในร่างกาย เช่น ตับ ไต อวัยวะสืบพันธุ์ เนื้อเยื่อต่างๆ และอาจสะสมในไขมันได้ ซึ่งมีโอกาสถูกขับออกในน้ำนมแม่ โดยสารประกอบ DEHP, MEHP และ 2-ethylhexylhexanol จะถูกขับออกจากร่างกายผ่านปัสสาวะและอุจจาระภายใน 24 ชั่วโมง (ATSDR, 2002)

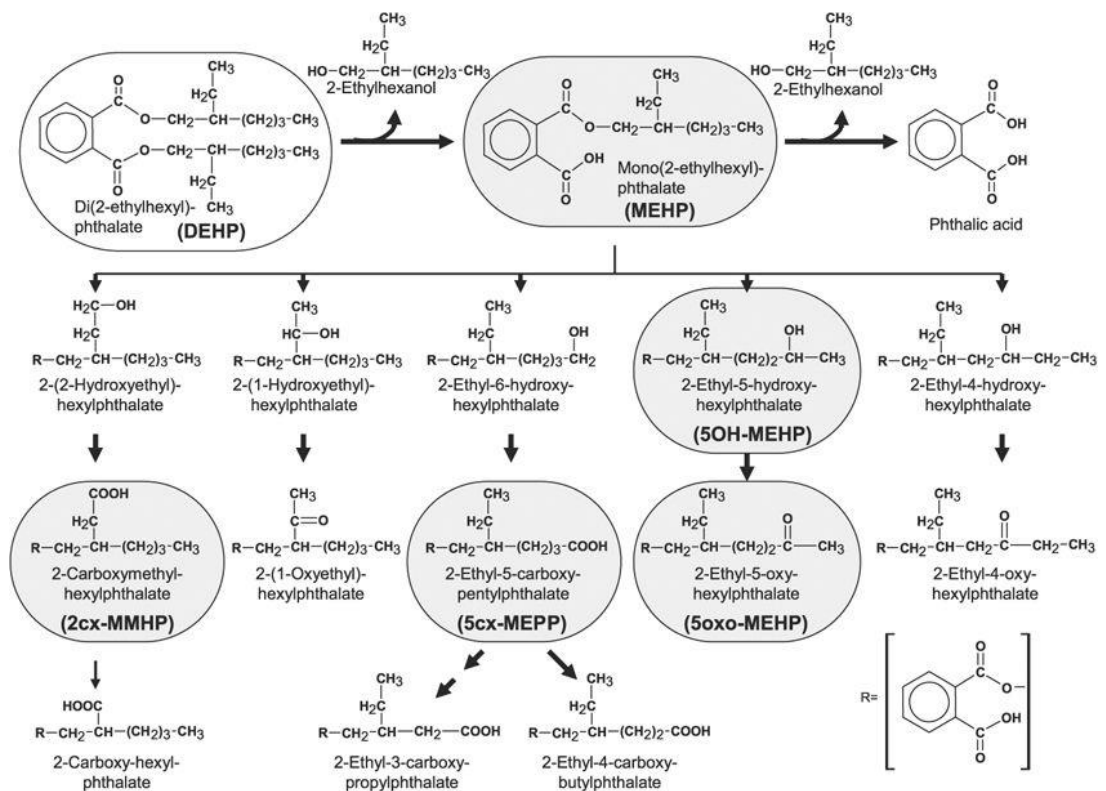
(6) กระบวนการเผาผลาญและการแพร่กระจายของสารประกอบ DEHP

สารประกอบ DEHP สามารถถูกดูดซึมและแพร่กระจายเข้าสู่ร่างกายได้อย่างรวดเร็ว กระบวนการเผาผลาญสารประกอบ DEHP เกิดขึ้นหลายขั้นตอนและมีสารแปรรูปเกิดขึ้นหลายชนิด ขั้นตอนการเผาผลาญสารประกอบ DEHP ที่สำคัญคือปฏิกิริยา hydrolysis โดยเอนไซม์ lipase ไปเป็น monoester คือ mono (2-ethylhexyl) phthalate (MEHP) และ 2 ethylhexyl จะเกิดปฏิกิริยา hydroxylation และ oxidation ไปเป็นสารแปรรูปขั้นที่ 2 คือ mono (2-ethyl-5hydroxyhexyl) phthalate (5OH-MEHP) และ mono (2-ethyl-5oxohexyl) phthalate (5oxo-MEHP) (รูปที่ 1.2) (Koch *et al.*, 2005) ซึ่งจะถูกขับออกทางปัสสาวะ แต่บางครั้งมีการขับออกทางน้ำดีด้วยซึ่งเกิดขึ้นในสัตว์ประเภทกตแพะ มีการรายงานพบว่า MEHP มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับมะเร็งในสิ่งมีชีวิตชั้นสูง (Barnabe, 2008) นอกจากนี้มีรายงานแสดงว่าสารแปรรูปขั้นที่ 2 ของสารประกอบ DEHP มีพิษต่อตัวอ่อน (embryo) มากกว่า MEHP ถึง 100 เท่า และมีข้อมูลในสัตว์และมนุษย์แสดงให้เห็นว่า สารประกอบ DEHP สามารถส่งผ่านทางน้ำนมแม่ได้ด้วยสารแปรรูปที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญ และถูกขับออกมา มีความซับซ้อนและแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อายุ เพศ ความแตกต่างของแต่ละบุคคล ภาวะโภชนาการก่อนการสัมผัส ปริมาณการสัมผัส และเส้นทางการสัมผัส (European Commission, 2008)

(7) ความเป็นพิษ (Toxicity)

มีรายงานการศึกษาจำนวนมากพบว่าการได้รับสารประกอบ DEHP ทางปากซ้ำๆ ในสัตว์ทดลองซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อไตและอวัยวะอื่น นอกจากนี้มีรายงานหลายฉบับพบว่าสารประกอบ DEHP ครอบคลุมการทำงานของต่อมไร้ท่อ และครอบคลุมการพัฒนาระบบสืบพันธุ์ในเพศผู้ ซึ่งพบในสัตว์หลายสายพันธุ์และที่ระดับความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ จึงถูกพิจารณาว่ามีผลกระทบต่อมนุษย์เช่นเดียวกัน อีกทั้งการศึกษาหลายฉบับที่แสดงให้เห็นว่าสารประกอบ DEHP เป็นสารก่อมะเร็งใน

มนุษย์และน่าจะมีผลกระทบต่อกระบวนการพัฒนาการเจริญเติบโตและระบบสืบพันธุ์ โดยเฉพาะทารกผู้ชาย U.S. EPA, (2009) ได้จัดสารประกอบ DEHP เป็นสารก่อมะเร็งกลุ่มB2(probable carcinogen in human) ซึ่งมีการพิจารณาจากข้อมูลการเกิดมะเร็งในหนู rat และmiceทั้งหมด แต่ในปี ค.ศ. 2000 IARC ได้เปลี่ยนสารประกอบ DEHP จากสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์เป็นสารที่ไม่มีความสามารถก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ เพราะว่าระดับของมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีความแตกต่างในการตอบสนองต่อสารประกอบ DEHP จากหนู rat และ mice อย่างไรก็ตาม California Occupational Health and Human Service ได้จัดสารประกอบ DEHP เป็นสารก่อมะเร็งใน California Proposition 65 ตั้งแต่ปี ค.ศ.1988 จนถึงปัจจุบัน (European Commission, 2008; TURI, 2006)



รูปที่ 1.2 กระบวนการเผาผลาญ (metabolism) สารประกอบ DEHP ในมนุษย์
ที่มา: Koch *et al.* (2005)

1.2.2 ทะเลสาบสงขลา

(1) ลักษณะทั่วไปของทะเลสาบสงขลา

ทะเลสาบสงขลา เป็นทะเลสาบสามน้ำที่ใหญ่ที่สุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีพื้นที่ครอบคลุมจังหวัดพัทลุง และจังหวัดสงขลา ทะเลสาบสงขลามีสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย เนื่องจากเป็นแหล่งรองรับน้ำจากปากคลองสาขาต่างๆมากมาย ปริมาณและสภาพน้ำในทะเลสาบขึ้นอยู่กับน้ำจืดที่ไหลลงมาและน้ำเค็มจากทะเลหนุนเข้ามา สภาพน้ำจะมีทั้งน้ำจืด น้ำเค็มและน้ำกร่อย ซึ่งทะเลสาบสงขลาสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ตอนใหญ่ๆ ดังนี้

1.) ทะเลน้อย มีพื้นที่ประมาณ 27 ตารางกิโลเมตร ความลึกเฉลี่ย 1.2 เมตร เป็นทะเลสาบน้ำจืด รายล้อมด้วยระบบนิเวศที่หลากหลาย มีทั้งป่าพรุ และแหล่งเพาะพันธุ์พืชน้ำต่างๆมากมาย

2.) ทะเลสาบหลวง หรือทะเลสาบตอนบน มีพื้นที่ประมาณ 473 ตารางกิโลเมตร มีความลึกเฉลี่ย 2 เมตร ในฤดูแล้งจะมีพื้นที่เป็นลักษณะดินดินที่มีน้ำท่วมถึง

3.) ทะเลสาบตอนกลาง (ทะเลสาบ) อยู่ถัดจากทะเลสาบตอนบน มีพื้นที่ประมาณ 360 ตารางกิโลเมตร มีความลึกเฉลี่ย 2 เมตร ประกอบไปด้วยเกาะเล็กๆหลายๆเกาะ สภาพน้ำมีทั้งน้ำจืดและน้ำกร่อยแปรผันไปตามฤดูกาล

4.) ทะเลสาบตอนล่าง (ทะเลสาบสงขลา) เป็นส่วนของทะเลสาบที่เชื่อมต่อกับทะเลอ่าวไทย มีพื้นที่ประมาณ 182 ตารางกิโลเมตร ความลึกประมาณ 1.5 เมตร ทะเลสาบส่วนนี้เป็นบริเวณที่มีน้ำเค็ม และได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง บริเวณนี้มีการวางเครื่องมือประมงประเภทไซนั้ง และโพงพางเกือบทั่วพื้นที่ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2560)

(2) ทะเลสาบสงขลาตอนล่าง

เริ่มจากบ้านปากกรอ ตำบลปากกรอ อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา ไปจนถึงจุดที่เชื่อมต่อกับอ่าวไทยที่ปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา พื้นที่ของทะเลสาบตอนล่างประมาณ 182 ตารางกิโลเมตร มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 1.5 เมตร ยกเว้นที่ปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลาจะลึกประมาณ 12-15 เมตร เป็นทะเลสาบที่รองรับน้ำมาจากปากคลองสาขาต่างๆ เช่น ปากคลองภูมิ ปากคลองอู่ตะเภา ปากคลองพะวง ปากคลองปากกรอ เป็นต้น (รูปที่ 1.3) ทะเลสาบส่วนนี้มีค่าความเค็มที่แปรปรวนขึ้นอยู่กับสภาวะของน้ำขึ้น น้ำลง ค่าความเค็มของน้ำในฤดูแล้งอยู่ในช่วง 23-30 พีเอสยู (practical salinity unit: psu) แต่ฤดูฝนค่าความเค็มใกล้เคียงศูนย์ ทะเลสาบสงขลาตอนล่างเป็นพื้นที่ทำประมงที่สำคัญของชาวสงขลา ไม่ว่าจะเป็นการทำกระชัง การวางอวน โพงพาง วางแห และไซนั้ง เป็นต้น (แผนพัฒนาทะเลสาบสงขลา) ซึ่งจุดนี้ทางผู้วิจัยสนใจเป็นพิเศษในการลงไปสำรวจหาค่า

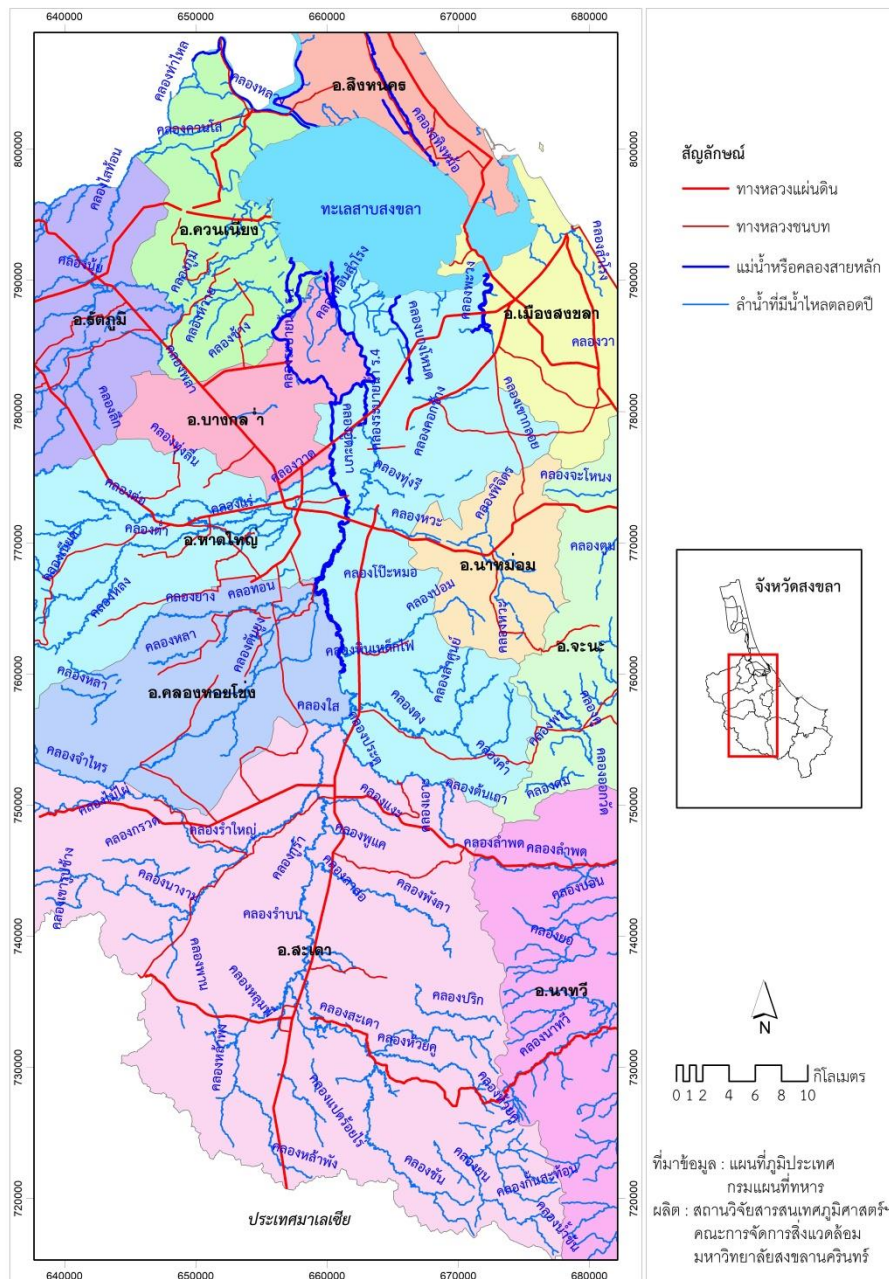
การปนเปื้อนของสาร DEHP เนื่องจากเป็นจุดศูนย์รวมสุดท้ายของมลพิษต่างๆตลอดลำน้ำ ก่อนลงสู่อ่าวไทย

(3) คุณภาพน้ำ และมลพิษทางน้ำของทะเลสาบสงขลา

แหล่งกำเนิดมลพิษหลักๆ ประกอบด้วย ชุมชน อุตสาหกรรม ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ นาุ้ง และพื้นที่การเกษตรอื่นๆ ตามลำดับ ซึ่งมีปากคลองสาขาต่างๆ มากมายที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาทำให้ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาต่างรวมไปด้วยมลพิษที่มาจากทุกทิศทาง

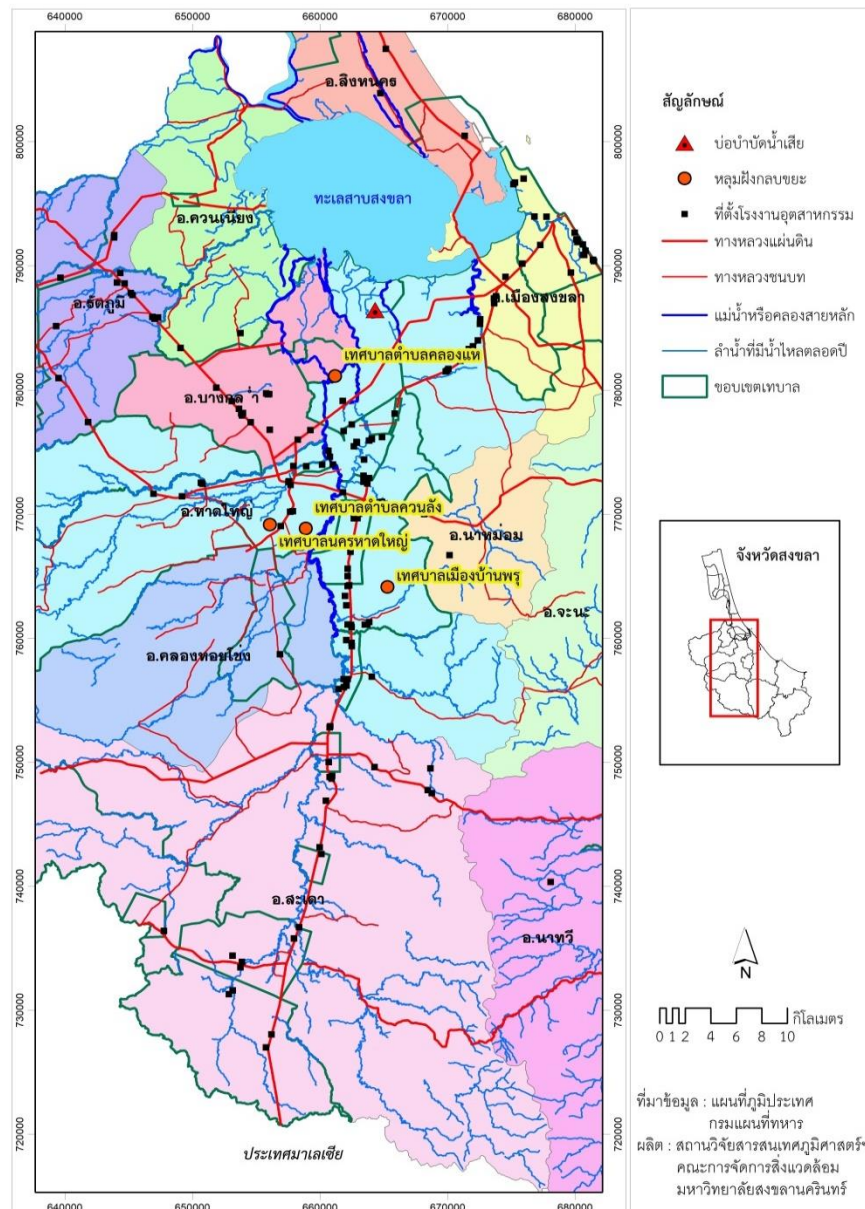
(4) น้ำเสียอุตสาหกรรมที่ไหลสู่ทะเลสาบสงขลา

โรงงานอุตสาหกรรมในสงขลาส่วนใหญ่จะรวมตัวอยู่อย่างหนาแน่นตามเส้นทางคมนาคมสายหลัก ส่วนในจังหวัดพัทลุงจะเป็นโรงงานขนาดย่อมของสหกรณ์กองทุนสวนยาง ซึ่งจากการสำรวจพบว่าคุณค่ามลพิษของน้ำในรูปของ Biochemical oxygen demand (BOD) ที่วัดได้สูงถึง 100 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งปากคลองสาขาที่ปล่อยมลพิษลงสู่ทะเลสาบสงขลามากที่สุดคือ ปากคลองอู่ตะเภา รองลงมาคือ ปากคลองจากคาบสมุทรสทิงพระ (แผนแม่บทลุ่มแม่น้ำทะเลสาบสงขลา, 2546)



รูปที่ 1.3 ปากคลองสาขาต่างๆที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา
ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2548)

ปัญหาน้ำเสียอุตสาหกรรมมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในเขตปากคลองอยู่ตะเกา ซึ่งมีโรงงานผลิตภัณฑฺย่าง 53 แห่ง โรงงานผลิตสินค้าแปรรูปจากสัตว์ 14 แห่ง โรงงานอื่นๆ 11 แห่ง รวมทั้งสิ้น 78 แห่ง โดยมีน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วมีเพียง 26 โรงงาน และโรงงานที่มีบ่อกักเก็บโดยไม่ปล่อยลงปากคลองสาธารณะ 48 แห่ง รวมทั้งบางพื้นที่เช่นปากคลองสำโรง และปากคลองพะวงมีเส้นทางของสายน้ำที่ผ่านชุมชนแออัด และหลุมฝังกลบขยะ ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 ตำแหน่งของแหล่งปล่อยมลพิษตลอดเส้นทางไหลของปากคลองสายต่างๆ ที่มา: กรมแผนการทหาร และสถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ฯ (2560)

1.2.3 ดินตะกอนบริเวณปากแม่น้ำ

ลักษณะของดินตะกอนในพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำนั้น มีความสำคัญต่อระบบนิเวศบริเวณนั้นด้วย โดยจะบ่งชี้คุณภาพของสัตว์หน้า ในแง่ของการใช้เป็นที่อยู่อาศัย การดำรงชีวิตโดยการกิน เป็นต้น (จุมพล สงวนสิน, 2534) บริเวณที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำบริเวณนั้นจะได้รับสารจากตะกอนหน้าดิน ซึ่งสัตว์หน้าดินเหล่านี้เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของประชาชนแถบภาคใต้ เช่น หอย กุ้ง ปู และปลาบางชนิด

ลักษณะของดินพื้นก้นทะเลสาบสงขลา ประกอบด้วยดินแข็ง โคลน และโคลนปนทราย ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละบริเวณ (ไพโรจน์ พรหมมานนท์ และคณะ, 2521) และจากการศึกษาทะเลสาบตอนในพบว่าลักษณะดินพื้นก้นทะเลจัดเป็นประเภท Clay loam และ silty clay loam มีอินทรีย์วัตถุอยู่ร้อยละ 2.1

ส่วนบริเวณพื้นที่ทะเลสาบสงขลาตอนล่าง จากการศึกษาของ เพิ่มศักดิ์ เพ็งมาก และสิริ ทุกขวินาศ (2529) พบว่าพื้นที่ดินตะกอนบริเวณที่มีการเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชังมีสภาพไม่เหมาะสม คือ ลักษณะของดินตะกอนเป็นสีดำคล้ำ มีกลิ่นเหม็น เนื่องจากมีการทับถมของของเสียต่างๆ ส่งผลให้พื้นที่บริเวณนั้นเสี่ยงต่อคุณภาพของสิ่งมีชีวิตบริเวณนั้นด้วย

สารประกอบ DEHP เป็นสารที่คงทนในสิ่งแวดล้อม จึงสามารถสะสมในสิ่งแวดล้อม และถ่ายทอดในลักษณะของห่วงโซ่อาหารได้ การสะสมของสารประกอบ DEHP อาจเพิ่มขึ้นตามลำดับชั้นได้เช่นกัน สำหรับการสะสมในดินตะกอนนั้นพบว่า สารประกอบ DEHP สามารถดูดซับบนผิวดินตะกอนได้อย่างรวดเร็ว มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0039-0.0056 มิลลิกรัมต่ออนาที ซึ่งมีการดูดซับได้ดี และคงทน (Farnk *et al.*, 2003)

1.2.4 ปูทะเล

ปูทะเล หรือปูดำ มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Scylla serrata* (รูปที่ 1.5) เป็นสัตว์หน้าดินชนิดหนึ่ง มีกระดองค่อนข้างกลม แข็ง สีดำปนแดง อาศัยอยู่ตามโคลนบริเวณที่เป็นป่าชายเลน กินซากพืชซากสัตว์บริเวณหน้าดินเป็นอาหาร ลักษณะเป็นสัตว์ที่อาศัยประจำถิ่น หากินภายในบริเวณไม่เกิน 1 ตารางกิโลเมตร ฤดูผสมพันธุ์ของปูทะเลอยู่ในช่วงเดือนกันยายน-ธันวาคม และสามารถวางไข่ได้ตลอดทั้งปี โดยจะวางไข่ชุกชุมในระหว่างเดือนสิงหาคม สามารถพบได้ทั้งฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน

ปูทะเลนั้นมีความสำคัญต่อมนุษย์โดยถือเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่นิยมนำมาทำเป็นอาหาร เช่น ปูนิ่ง ปูเผา ปูผัดผงกะหรี่ แกงส้มปูไข่ เป็นต้น โดยกรมประมงสนับสนุนให้เกษตรกรเพาะเลี้ยง ซึ่งมักจะเลี้ยงในกระชังใกล้กับทะเล เช่น ในพื้นที่เขตบางขุนเทียนของกรุงเทพมหานคร รวมทั้งบริเวณตำบลเขาหัวแดง อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา ได้มีการจัดตั้งธนาคารปู เพื่อเป็นการอนุรักษ์ เพาะเลี้ยง รวมถึงจำหน่ายอาหารที่ทำจากปู (กรมประมง, 2554)

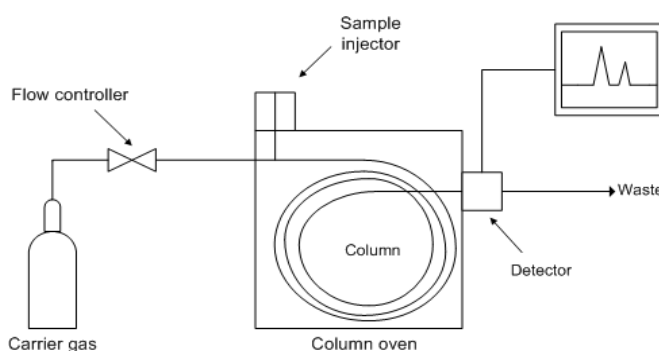


รูปที่ 1.5 ปูทะเล

ที่มา : <https://th.wikipedia.org>

1.2.5 เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography)

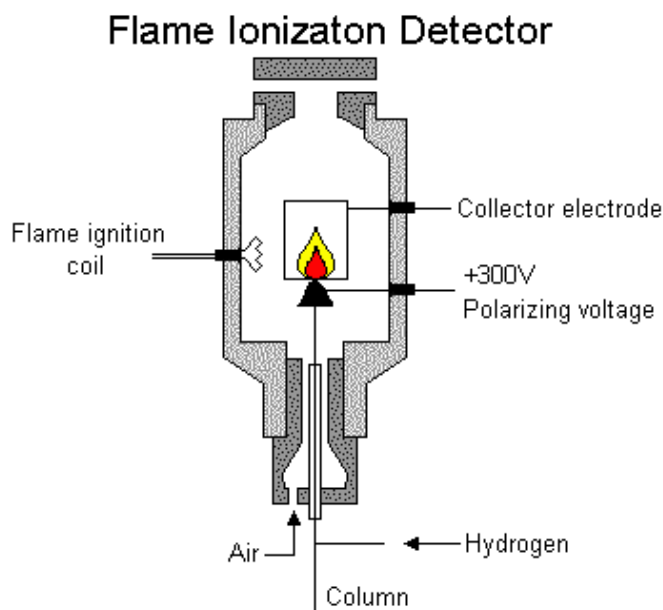
วิธีนี้เหมาะสำหรับตัวอย่างที่อยู่ในรูปของเหลวหรือแก๊ส โดยตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าไปในระบบ โดยมีแก๊สเฉื่อย ซึ่งทำหน้าที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ (carrier gas) ตัวอย่างจะถูกนำพาผ่าน capillary column ซึ่งเป็นส่วนที่จะทำให้สารประกอบแยกองค์ประกอบออกจากกันตามความสามารถในการกระจายอยู่ระหว่างเฟสเคลื่อนที่และเฟสคงที่ โดยไดอะแกรมของระบบมีลักษณะดังรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 ไดอะแกรมของแก๊สโครมาโตกราฟี

ที่มา: www.lks.ac.th

เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (Flame Ionization Detector, FID) เป็นดีเทคเตอร์มาตรฐานที่ถูกใช้งานอย่างกว้างขวางกับวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ทุกชนิดสามารถเกิดการไอออไนซ์ได้ในเปลวไฟ ทำให้เกิดกระแสของไอออนที่สามารถสะสมอยู่ระหว่างขั้ว ที่มีประจุตรงกันข้าม 2 ขั้ว ลักษณะของดีเทคเตอร์ชนิดนี้เป็นไปตามรูปที่ 1.7 เปลวไฟที่ใช้จะเกิดจากแก๊สไฮโดรเจน โดยปริมาณหรือจำนวนอะตอมของคาร์บอนที่เกิดการไอออไนซ์ หรือถูกออกซิไดซ์ จะแปรผันตรงกับปริมาณกระแสของไอออนที่เกิดขึ้น ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของสารตัวอย่าง FID สามารถวิเคราะห์สารประกอบที่มีความเข้มข้นน้อยๆ ได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ (ชุดิมา ศรีวิบูลย์, 2544)



รูปที่ 1.7 ไดอะแกรมของเฟรมไอออไนเซชัน

ที่มา: <http://www.nanotec.or.th>

1.2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาวิจัยต่างๆ มีการตรวจพบสารประกอบ DEHP ในระบบนิเวศอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง และมีแนวโน้มของระดับการปนเปื้อนที่เพิ่มสูงขึ้น (Xu *et al.*, 2008) มีการตรวจพบการปนเปื้อนของสารประกอบ phthalates ในสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น ในอากาศมีความเข้มข้น 0.3–77 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในน้ำผิวดินมีความเข้มข้น 0.3–98 ไมโครกรัมต่อลิตร ในดินตะกอนมีความเข้มข้น 0.2–8.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง และในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมีความเข้มข้น 28–154 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Dargnat *et al.*, 2009) จากการติดตามตรวจสอบแม่น้ำสายสำคัญ 45 แห่ง ในประเทศญี่ปุ่นโดยองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมประเทศญี่ปุ่น พบสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนมีความเข้มข้นระหว่าง 0.009–3.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง และมีการตรวจพบสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนในประเทศอื่นๆ อีก เช่น มาเลเซีย เยอรมนี อิตาลี และสหรัฐอเมริกา และมีรายงานการศึกษาพบว่า แนวโน้มของระดับความเข้มข้นของสารประกอบ phthalates เพิ่มสูงขึ้นในกากตะกอนน้ำเสียชุมชน อีกทั้งยังพบว่าแต่ละขั้นตอนของการบำบัดน้ำเสียชุมชนมีสารประกอบ DEHP สูงสุด รองลงมาเป็นสารประกอบ diethyl phthalate (DEP) และสารประกอบ phthalates อื่นๆ ตามลำดับ (Dargnat *et al.*, 2009)

สถาบันวิเคราะห์สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ประเทศไต้หวัน ได้รายงานผลการสำรวจคุณภาพแม่น้ำหุจิง โดยตรวจวัดสารอินทรีย์กึ่งระเหย (semivolatile organic compounds) ทั้งหมด 128 ชนิด พบว่าเป็นสารประกอบ phthalates สูงถึงร้อยละ 57 รองลงมาคือ phenols ประมาณร้อยละ 38 thlorinated hydrocarbons ร้อยละ 3 polyaromatic hydrocarbons ร้อยละ 1 และอื่นๆ อีก

ประมาณร้อยละ 1 โดยระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารประกอบ phthalates ที่ตรวจพบในดิน ตะกอนเป็นสารประกอบ DEHP ร้อยละ 84 รองลงมาคือสารประกอบ dibutyl phthalate (DBP) ร้อยละ 15 และ DEP ร้อยละ 1 พบว่าระดับการปนเปื้อนของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่ (Lin *et al.*, 2009) ที่สำคัญยังตรวจพบสารประกอบ phthalates ในสิ่งมีชีวิตต่างๆ เช่น ปลาน้ำจืดสายพันธุ์ Abramis brama มีความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ระหว่าง 1900-3120 นาโนกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง และมีความเข้มข้นของสารประกอบ DEP ระหว่าง 720-800 นาโนกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง ขณะที่ปลาทะเลสายพันธุ์ Platicthys flesus มีความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ระหว่าง 40-70 นาโนกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง และความเข้มข้นของสารประกอบ DEP ระหว่าง 100-200 นาโนกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง

มีการตรวจพบสารประกอบ DEHP ในเลือดมนุษย์ระหว่าง 15-83.2 ไมโครกรัมต่อลิตร รวมทั้งตรวจพบสารแปรรูปของสารประกอบ DEHP คือ mono-(2-ethylhexyl) phthalate หรือ MEHP ในปัสสาวะของมนุษย์ระหว่าง 2.1-44.5 ไมโครกรัมต่อลิตร (Dargnat *et al.*, 2009) จากรายงานการปนเปื้อนของสารประกอบ DEHP ในน้ำ ดินตะกอนแขวนลอย และผิวหน้าของดินตะกอนแม่น้ำบางปะกง เจ้าพระยา ท่าจีน แม่กลอง ปากคลองที่ไหลผ่านนิคมอุตสาหกรรมเขตบางปูของประเทศไทย พบว่ามีความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างน้ำแม่น้ำต่ำกว่า 1.10 ไมโครกรัมต่อลิตร ในตัวอย่างดินตะกอนแขวนลอยมีความเข้มข้น 23.40-158.72 มิลลิกรัมต่อลิตร และผิวหน้าของดินตะกอนต่ำกว่า 8.34-109 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (Sirivithayapakorn and Limtrakul, 2008)

Labunska *et al.* (2004) ได้วิเคราะห์หาสารอินทรีย์และโลหะหนักในตัวอย่างน้ำทิ้ง 1 ตัวอย่าง จากท่อหลักของโรงงานผลิต PVC ของบริษัทไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ ตั้งอยู่ริมฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ และดินตะกอนใต้ท่อน้ำทิ้งอีก 2 ตัวอย่าง จากการศึกษาพบว่า น้ำทิ้งที่ปล่อยออกจากท่อระบายหลักมีสารประกอบอินทรีย์หลายชนิดที่เป็นของเสียจากการผลิต PVC สารประกอบอินทรีย์ที่พบสูงสุด คือ Vinyl Chloride Monomer (VCM) มีความเข้มข้นเท่ากับ 338 ไมโครกรัมต่อลิตร ตัวอย่างดินตะกอนพบสารประกอบจำนวนมากที่ใช้เป็นสารเติมแต่งในการผลิต PVC ได้แก่ อนุพันธ์ของ benzotriazole phenol และสารประกอบ phthalate esters 3 ชนิด คือ DEHP, DnBP (di-n-butyl phthalate) และ DiNP (di-isonylphthalate)

Yuwatini *et al.* (2006) ได้ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของสารประกอบ DEHP ในน้ำเสียน้ำดื่มที่ถูกละลายสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำ ได้แก่ น้ำในแม่น้ำ ดินตะกอนและพืชน้ำ (*Potamogeton Octandrus* Poir sp.) พบว่า มีค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในแม่น้ำระหว่าง 8-25 ไมโครกรัมต่อลิตร ในดินตะกอน 1,000-2,000 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และในพืชน้ำ 20-2,000 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลและปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำ โดยมีค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP สูงในฤดูใบไม้ร่วง ฤดูหนาว และต้นฤดูใบไม้ผลิ ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำน้อยกว่า 0.28-1.63 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ขณะที่ปลายฤดูใบไม้ผลิและฤดูร้อนมีอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำมีค่ามากกว่า 1.63 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในน้ำ และดินตะกอนลดลงตามระยะทางที่ห่างจากจุดปล่อยน้ำทิ้งชุมชน อย่างไรก็ตามแนวโน้มของความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนมีค่าสูง เนื่องจากดินตะกอนมีศักยภาพสูงในการดูดซับสารประกอบ DEHP และสารประกอบ DEHP สลายตัวในดินตะกอนได้ช้า

Haug *et al.* (2008) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการปนเปื้อนของสารประกอบ phthalates ในดินตะกอน และปลา ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางน้ำ และปัจจัยการสะสมในดินตะกอนและปลา โดยทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ phthalates ในดินตะกอน และปลาในแม่น้ำ 17 สาย ในประเทศไต้หวัน พบว่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนมีค่าระหว่าง $0.05-46.5$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง และ $0.05-13.1$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ที่ฤดูอัตราการไหลต่ำและสูง ตามลำดับ ตรวจพบความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP สูงสุดในปลาสายพันธุ์ *Lisa Subviridis* มีค่าระหว่าง 1.7-253.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง และพบว่าระดับของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนแม่น้ำมีความสัมพันธ์ทางบวกกับคุณภาพน้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) BOD และ chemical oxygen demand (COD) แต่มีความสัมพันธ์ทางลบกับอุณหภูมิ ตะกอนแขวนลอย (suspended solid,SS) pHและออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen ,DO)

Zeng *et al.* (2008) ศึกษาเกี่ยวกับการปนเปื้อนของสารประกอบ phthalate esters ในน้ำและดินตะกอนในทะเลสาบเมืองกวางเจา ประเทศจีนตอนใต้ โดยตรวจวิเคราะห์สารประกอบ phthalate esters 16 ชนิด พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบ phthalate esters ในน้ำมีค่าระหว่าง 1.69-4.72 ไมโครกรัมต่อลิตร และในดินตะกอนมีค่าระหว่าง 2.27-74.94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง

Lin *et al.* (2009) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการระบุแหล่งกำเนิดที่มีศักยภาพของการปนเปื้อนของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนในแม่น้ำหู่จิงในประเทศไต้หวันตอนใต้ พบว่าค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนระหว่าง 0.07-20.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ซึ่งความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนในฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝน และค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนมีค่าสูงในบริเวณที่มีชุมชนหนาแน่นและโรงงานผลิตพลาสติก

Sirivithayapakorn and Limtrakul (2008) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเฝ้าระวังทางสิ่งแวดล้อมและการประเมินความเสี่ยงของสารประกอบ DEHP ในน้ำผิวดินของประเทศไทย โดยทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างน้ำ และตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ 4 แห่งที่ไหลสู่อ่าวไทย ได้แก่ แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำแม่กลอง หาดชะอำ และอ่าวมะนาว พบว่า ความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในน้ำต่ำกว่าค่า detection limit คือต่ำกว่า 1.10 ไมโครกรัมต่อลิตร ในตะกอนแขวนลอยในน้ำมีค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ระหว่าง 23.40-160.61 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการประเมินความเสี่ยงพบว่าระดับการปนเปื้อนของ

สารประกอบ DEHP ที่วัดได้อยู่ในช่วงที่ไม่เกินค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้จึงไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์และระบบนิเวศ

1.3 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อตรวจวัดปริมาณสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่าง
2. เพื่อตรวจวัดปริมาณสารประกอบ DEHP ในสัตว์หน้าดินบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่าง
3. เพื่อประเมินความเสี่ยงเบื้องต้นของสารประกอบ DEHP ที่มีผลต่อสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศ

1.4 ขอบเขตการวิจัย

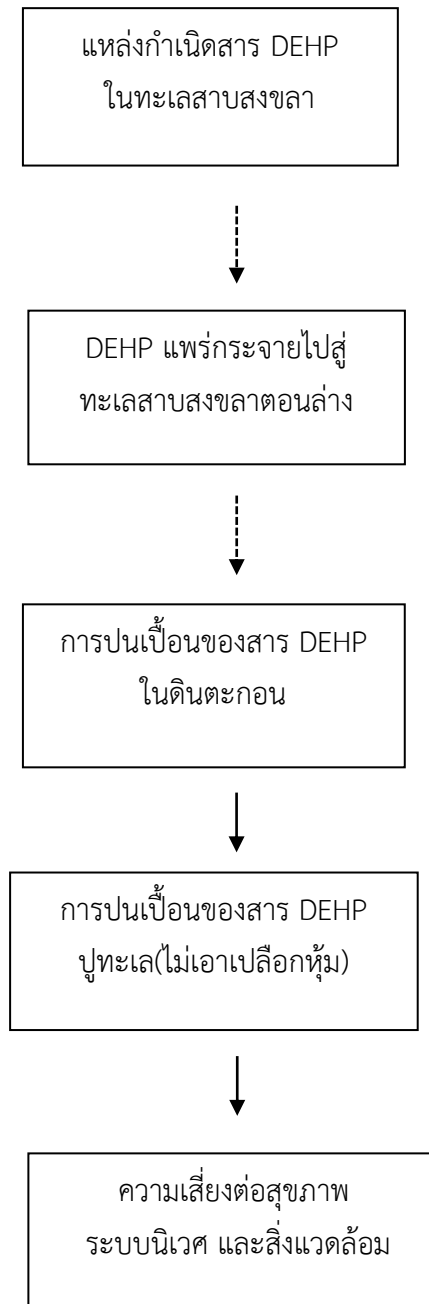
งานวิจัยนี้ศึกษาระดับการปนเปื้อนของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอน และปูทะเลบริเวณปากคลองอู่ตะเภา ปากคลองสำโรง ปากคลองพะวง ปากคลองปากกรอ ปากคลองภูมิ ปากคลองบางกล่ำ ปากคลองปากจ่า และ ปากคลองสทิงหม้อ ที่ไหลลงทะเลสาบสงขลาตอนล่างในช่วง ระหว่างเดือนเมษายนถึงมิถุนายน พ.ศ.2560 ด้วยเทคนิค gas chromatography

1.5. กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัยเริ่มจากการศึกษาความสำคัญและที่มาของสาร DEHP ที่สามารถแพร่กระจายสู่ทะเลสาบสงขลาตอนล่าง จากนั้นหาความเข้มข้นในดินตะกอนและปูทะเลเพื่อ นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศ ซึ่งเป็นไปตามขั้นตอนดังรูปที่ 1.8

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ข้อมูลปริมาณการปนเปื้อนของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนและสัตว์หน้าดินบริเวณต่างๆ ของทะเลสาบสงขลาตอนล่าง และค่าความเสี่ยงต่อสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศ
2. สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการจัดการความเสี่ยงจากการใช้สารประกอบ DEHP ที่เหมาะสมต่อไป



รูปที่ 1.8 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 2

วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 สารเคมี เครื่องมือ และวัสดุอุปกรณ์

2.1.1. สารมาตรฐานและตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

- 1) สารมาตรฐาน (standard chemical)
- Di-(2-ethylhexyl) phthalate (purity 99.5 %) (Sigma-Aldrich, USA)

2.1.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

- 1) ดินตะกอน
- 2) ปูทะเล

2.1.3 สารเคมี

- 1) เฮกเซน (C_6H_{14} , HPLC grade : Fisher chemical, India)
- 2) เมทานอล (CH_3OH , HPLC grade : QRec, New Zealand)
- 3) ฟลอริซิล (Florisil 60-100 mesh)
- 4) กรดฟอร์มิก (CH_2O_2 , purity 85 %: QReC, New Zealand)
- 5) อะซิโตน (CH_3COOCH_3 , HPLC grade : LAB-SCAN, Thailand)
- 6) อะซิโตนไนไตรล์ (C_2H_3N , HPLC grade : LAB-SCAN, Thailand)
- 7) โซเดียม ซัลเฟต แอนไฮไดรรัส (Na_2SO_4 : Ajax Finechem)
- 8) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl : Ajax Finechem)

2.1.4 เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

- 1) เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
- 2) เครื่องเขย่าสารละลาย (Vortex) รุ่น NB-101M (N-BIOTEK)
- 3) เครื่องชั่งไฟฟ้าความละเอียด 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland
- 4) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatograph, GC-FID) GC 7890A series ที่มี flame ionization detector (Agilent, USA)
- 5) Capillary column: HP-5MS (ยาว 30 เมตร x 0.25 มิลลิเมตร I.D., 0.25 ไมโครเมตร film thickness 5 เปอร์เซ็นต์ phenyl 95 เปอร์เซ็นต์ dimethylpolysiloxane), (Agilent, USA)

- 6) Solid phase extraction manifold (SPE) ขนาด 12 port (Agela, China)
- 7) เครื่องลดปริมาตรสารละลาย (rotary evaporator) Buchi รุ่น R-114, Switzerland
- 8) เครื่องทำน้ำปราศจากไอออน (Deionizer) Millipore รุ่น Milli-Q 185 plus (Switzerland)
- 9) ตู้เก็บตัวอย่างระบบไร้ความชื้น (Desiccator) Sanplater รุ่น 0070
- 10) เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น Velocity 18R Bio-active
- 11) ตู้ดูดควัน (Major super flow fume cupboard, Thailand)
- 12) เครื่องเขย่าสาร (Vortex) Fisher Scientific, USA
- 13) Vacuum pump (KNF-NEUBERGER)
- 14) ไมโครปิเปต (Micropipette) ขนาด 100 และ 1000 ไมโครลิตร (Gilson, France)
- 15) ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 50, 100 และ 100 มิลลิลิตร
- 16) ปีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 10, 50 และ 1,000 มิลลิลิตร
- 17) กระจกบอทวง (Cylinder) ขนาด 10 มิลลิลิตร
- 18) กระจกบอทกึ่งยาแก้ว (Glass syringe) ขนาด 10 มิลลิลิตร
- 19) ขวด vial ขนาด 2 และ 20 มิลลิลิตร
- 20) กระดาษกรอง GF/F (Whatman เบอร์ 1 และขนาดรูเปิด 0.7 ไมโครเมตร)
- 21) ขวดสีชาขนาด 500 มิลลิลิตร
- 22) หลอด Centrifuge ขนาด 30 มิลลิลิตร
- 23) ถ้วยเผาสาร (crucible) ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 24) กรวยแก้ว (Glass funnel)
- 25) Test tube พร้อมฝา 10 มิลลิลิตร
- 26) ข้อนตักสาร
- 27) หลอดหยด (Dropper)
- 28) ขวดน้ำกลั่น
- 29) เทอร์มอมิเตอร์ (Thermometer)
- 30) พาราฟิล์ม (Parafilm)
- 31) อลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium foil)
- 32) แร็ค (Rack)

2.1.5 การเตรียมอุปกรณ์

เพื่อป้องกันการปนเปื้อนสาร DEHP ที่มาจากเครื่องแก้วและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ จึงจำเป็นต้องล้างทำความสะอาดเครื่องแก้วด้วยน้ำยาทำความสะอาดเครื่องแก้ว แล้วล้างให้สะอาดด้วย

น้ำประปา จากนั้นจึงนำไปล้างด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน และอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เครื่องแก้วเพื่อไล่อากาศอินทรีย์ที่ยังตกค้างอยู่ ก่อนนำไปชะด้วยอะซิโตน และเฮกเซน

2.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.2.1 กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างในฤดูแล้งระหว่างเดือนเมษายน-พฤษภาคม พ.ศ.2560 เนื่องจากจะมีการสะสมของสารประกอบ DEHP ได้มากที่สุด นอกจากนี้ในช่วงระหว่างเดือนดังกล่าวจะมีกระแสน้ำนิ่ง ความเข้มข้นของสารประกอบในน้ำค่อนข้างคงที่ ดินตะกอนไม่ถูกชะล้าง ไม่มีการรบกวนของน้ำหลาก และสามารถเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินได้ง่าย อีกทั้งกระแสน้ำไม่เป็นอันตรายต่อผู้ทำการเก็บตัวอย่าง

2.2.2 พื้นที่เก็บตัวอย่าง

ทำการสำรวจพื้นที่ทะเลสาบสงขลาตอนล่างเพื่อกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง โดยพิจารณาจากพื้นที่ที่เสี่ยงต่อมลพิษมากที่สุด เช่น แหล่งอนุบาลสัตว์น้ำ แหล่งประมงทำกิน และเก็บตัวอย่างที่บริเวณปากคลองสาขาต่างๆในจุดที่เป็นปลายน้ำก่อนลงสู่ทะเล โดยจะเก็บตัวอย่างแบบสุ่มทั้งหมด 8 สถานี เก็บตัวอย่างทั้งดินตะกอน และปูทะเล ตำแหน่งละ 5 จุด กระจายรอบๆในแต่ละสถานี ซึ่งพื้นที่ทำการเก็บเป็นไปดังตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สถานีเก็บตัวอย่างบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่าง

ปากคลอง	พิกัด	ลักษณะพื้นที่
บางกล้า	7.154185, 100.446821	-ไหลผ่านอำเภอบางกล้าตลอดสาย -เป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ ที่อุดมสมบูรณ์
อู่ตะเภา	7.143865, 100.453333	-มีโรงงานอุตสาหกรรมตลอดลำน้ำ -ไหลผ่านอำเภอสะเดาถึงอำเภอหาดใหญ่ -ผ่านแหล่งชุมชนเมือง -มีการประมงตลอดลำน้ำ
ภูมิ	7.184042, 100.419324	-รับน้ำมาจากอำเภอรัตนภูมิ -ผ่านโรงงานอุตสาหกรรมยาง -ผ่านชุมชน
ปากร่อ	7.260942, 100.424722	-รับน้ำมาจากจังหวัดพัทลุง และสงขลาตอนบน -แหล่งประมงที่สำคัญ -มีป่าชายเลน
ปากจำ	7.229322, 100.399841	-เป็นแหล่งป่าชายเลน -ผ่านแหล่งเกษตรกรรมและชุมชน
สทิงหม้อ	7.223026, 100.523539	-ผ่านอำเภอสทิงพระ-สิงหนคร ฝั่งตะวันออก -มีการทำประมง โพงพาง ไช้หนัง -ผ่านแหล่งชุมชนขนาดเล็ก
พะวง	7.148434, 100.558330	-รองรับน้ำจากอำเภอหาดใหญ่ซึ่งเป็นชุมชนเมือง -มีการทำประมง
สำโรง	7.181611, 100.618932	-รับน้ำจากอำเภอสะเดาถึงอำเภอเมือง ฝั่ง ตะวันออก -ผ่านบ่อฝังกบขยะ -ผ่านแหล่งชุมชนแออัด



รูปที่ 2.1 สถานีเก็บตัวอย่าง
ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรน้ำ (2548)

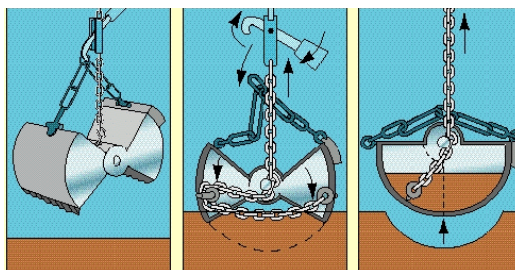
2.2.3 วิธีการเก็บตัวอย่าง

(1) การเก็บตัวอย่างดินตะกอน

ตักดินตะกอนด้วยอุปกรณ์ stainless steel grab sampler (รูปที่ 2.2) โดยตักผิวดินตะกอนลึกประมาณ 10 เซนติเมตร ถ่ายลงในภาชนะ stainless ผสมตัวอย่างดินตะกอนเข้าด้วยกัน จากนั้นบรรจุลงในขวดสีชาขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดฝาและเก็บในภาชนะที่มีความเย็น -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาทำการวิเคราะห์ (Ohio EPA, 2001; USEPA, 2003)

(2) การเก็บตัวอย่างปูทะเล

ทำการวางลอบตักปูทะเลในบริเวณสถานีที่ทำการศึกษ โดยชาวประมงผู้มีความชำนาญในการหาปูทะเล คัดเลือกปูทะเลที่อยู่ในวัยเจริญพันธุ์ ทั้งตัวผู้และตัวเมีย ให้ได้ขนาดสำหรับการบริโภค โดยจะทำการเก็บในแต่ละสถานีจนครบจำนวนที่ต้องการ



รูปที่ 2.2 stainless steel grab sampler

ที่มา : http://www.jochemnet.de/fiu/OCB3043_35.html

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอน

เตรียมตัวอย่างดินตะกอนโดยตัดแปลงจากวิธีการของ ultrasonic extraction (USEPA 3350B, 1996) ซึ่งเป็นวิธีการสกัดสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ระเหยออกจากของแข็ง และวิธี Florisil clean up เป็นวิธีการกำจัดสารปนเปื้อนจากตัวอย่างในสิ่งแวดล้อม (USEPA 3620C, 1996) โดยมีขั้นตอนดังนี้

(1) นำตัวอย่างดินตะกอนที่แช่แข็งไว้ทำให้แห้งด้วยเครื่องระเหยแห้ง (freeze dryer) และรักษาตัวอย่างดินตะกอนไว้ในตู้ดูดความชื้น ทำการบดตัวอย่างดินตะกอนด้วยโกร่งและสากโมรา แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร

(2) ชั่งดินตะกอนประมาณ 30 กรัม เติมอะซิโตนและเฮกเซนในอัตราส่วน 1:1 (ปริมาตรโดยปริมาตร) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

(3) นำตัวอย่างดินตะกอนไปสกัดด้วยเครื่อง ultrasonic (รูปที่ 2.3) ใช้เวลาประมาณ 5 นาที จากนั้นใช้หลอดหยดดูดสารละลายสกัดส่วนใสกรองกระดาษกรอง ขนาด 11 μm อย่างช้าๆ แล้วจึงนำดินตะกอนไปสกัดซ้ำอีก 1 ครั้ง

(4) เทสารละลายสกัดรวมกัน และลดปริมาตรสารละลายสกัดด้วยเครื่อง evaporator ตั้งอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส จนเกือบแห้ง แล้วละลายกลับด้วยเฮกเซนปริมาตร 20 มิลลิลิตร และทำการกำจัดสารปนเปื้อนออกด้วยวิธี Florisil clean up (USEPA, 1996)

หมายเหตุ ขั้นตอนการระเหยแห้งไม่ควรให้ปริมาตรของสารละลายสกัดน้อยกว่า 1 มิลลิลิตร เพราะถ้าสารประกอบอินทรีย์ถึงระเหยอาจจะระเหยออกได้



รูปที่ 2.3 การสกัดตัวอย่างดินตะกอนด้วยเครื่อง ultrasonic

2.3.2 การกำจัดสารปนเปื้อนในตัวอย่างดินตะกอน

การกำจัดสารปนเปื้อนทำได้โดยแพคคอลัมน์ตัวดูดซับเข้าเครื่อง SPE manifold ที่ต่อกับปั๊มสุญญากาศ แล้วค่อยๆเติมเฮกเซนปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์แก้วเพื่อปรับสภาพคอลัมน์ และทำการปล่อยทิ้ง (อย่าให้แห้ง) จากนั้นค่อย ๆ เติมสารละลายตัวอย่างครั้งละ 10 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง ลงในคอลัมน์ และทิ้งสารละลาย ทำการชะสาร DEHP ที่ดูดซับอยู่ในคอลัมน์โดยการเติมเฮกเซนต่ออะซิโตน ในอัตราส่วน 90:10 (ปริมาตรโดยปริมาตร) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ โดยให้สารไหลลงอย่างช้าๆ (รูปที่ 2.4) นำสารละลายตัวอย่างที่ออกจากคอลัมน์ไปลดปริมาตรด้วยเครื่องลดปริมาตรที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนเกือบแห้ง (รูปที่ 2.5) ปรับปริมาตรเป็น 2 มิลลิลิตร ด้วยเฮกเซน และทำการดูดสารละลายใส่ขวด vial เพื่อนำไปวิเคราะห์สาร DEHP ด้วยเครื่อง GC-FIDตามวิธีการของ U.S.EPA (1996)



รูปที่ 2.4 การกำจัดสารปนเปื้อนด้วยเครื่อง SPE manifold



รูปที่ 2.5 การลดปริมาตรด้วยเครื่อง rotary evaporator

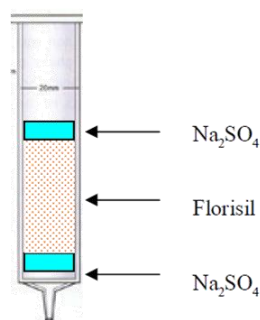
2.3.3 เทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (solid phase extraction)

เทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (solid phase extraction, SPE) เป็นการแยกสารปนเปื้อนออกโดยสารที่ต้องการถูกดูดซับบนวัสดุภาคหนึ่งในคอลัมน์ (ตัวดูดซับที่อยู่ในคอลัมน์) จากนั้นเติมตัวทำละลายเพื่อดึงเอาสารที่สนใจที่เกาะกับตัวดูดซับแล้วนำไปวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งจากการทดลองนี้ได้ใช้ฟลอริซิลเป็นวัสดุภาคหนึ่งในคอลัมน์เพื่อดูดซับ สาร DEHP โดยมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้ (USEPA, 3620C., 1996)

(1) นำฟลอริซิลไปอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงเก็บใส่ขวดแก้วปิดฝาห่อทับด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์

(2) นำแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟตอบที่อุณหภูมิ 150-200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทำการเก็บใส่ขวดแก้ว แล้วปิดฝาห่อทับด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์

เตรียมคอลัมน์บรรจุฟลอริซิลโดยใช้กระดาษกรองขนาดรูเปิด 0.7 ไมโครเมตร ตัดเป็นวงกลมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.9 เซนติเมตร รองไว้เป็นฐานในคอลัมน์แก้วที่มีความสูง 6.8 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.9 เซนติเมตร แล้วบรรจุด้วยแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟตปริมาณ 1 กรัม กดให้แน่นตามด้วยฟลอริซิลหนัก 2 กรัม ปิดทับด้วยแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟตปริมาณ 1 กรัม (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 คอลัมน์ที่บรรจุฟลอริซิล และโซเดียมซัลเฟส แอนไฮดรัส
ที่มา: พิไลพร สมพงษ์ (2554)

2.3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างปุทะเล

การเตรียมตัวอย่างปุทะเลมีขั้นตอนดังนี้

- (1) นำตัวอย่างปุทะเลมาล้างทำความสะอาด โดยใช้มีดผ่าและคว้านเอาเปลือกออกให้ได้ จากนั้นจึงนำเนื้อและไขมันของปุทะเลที่ได้ไประเหยแห้ง และเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น (รูปที่ 2.7)
- (2) ทำการชั่งตัวอย่างปุทะเลปริมาณ 2 กรัม ใส่ลงในหลอด centrifuge ขนาด 30 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปราศจากไอออน 2 มิลลิลิตร
- (3) นำไปเขย่าด้วยเครื่อง vortex เป็นเวลา 30 วินาที แล้วเติมอะซิโตนไนโตรล์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที
- (4) จากนั้นนำไปสกัดด้วยเครื่อง ultrasonic โดยใช้เวลาประมาณ 15 นาที ทำการเติมโซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 1 กรัม และนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อให้เกิดการแยกชั้นของตะกอนตัวอย่าง น้ำ และไขมัน ด้วยเครื่อง centrifuge (รูปที่ 2.8) ที่ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
- (5) ใช้หลอดหยดดูดสารชั้นบนสุดออกมาอย่างระมัดระวัง โดยผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ลงในขวดรูปชมพู่ ทำการทดลองซ้ำอีก 1 ครั้ง แล้วค่อยนำตัวอย่างรวมกัน
- (6) ลดปริมาตรด้วยเครื่อง evaporator ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนเกือบแห้ง ละลายกลับด้วยอะซิโตนไนโตรล์ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปกำจัดสารปนเปื้อนในขั้นตอนต่อไป (Gu *et al.*, 2014)



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างปุ๋ยทะเลที่เอาเปลือกออก



รูปที่ 2.8 เครื่อง centrifuge

2.3.5 การกำจัดสารปนเปื้อนในตัวอย่างปุ๋ยทะเล

หลังจากทำการเตรียมตัวอย่างปุ๋ยทะเลในข้อ 2.2.4 ข้างต้นแล้ว จากนั้นจึงทำการกำจัดสารปนเปื้อนในตัวอย่างตามวิธีการของ USEPA method ที่ 3350B (1996) โดยมีขั้นตอนดังนี้

(1) เติมอะซิโตรไนไตรล์ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์แก้ว florasil clean up แล้วทำการปล่อยทิ้ง

(2) ค่อย ๆ เติมสารละลายตัวอย่างครั้งละปริมาตร 10 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง ลงในคอลัมน์ แล้วปล่อยทิ้ง

(3) เติมอะซิโตรไนไตรล์ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง จะได้สารละลายลำดับที่ 1

(4) เติมกรดฟอร์มิก (Formic acid) ต่อเมทานอลในอัตราส่วน 3:97 (ปริมาตรโดยปริมาตร) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ ซึ่งจะได้สารละลายลำดับที่ 2

(5) นำสารละลายตัวอย่างลำดับที่ 2 ไปลดปริมาตรด้วยเครื่องลดปริมาตรที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนเกือบแห้ง

(6) ปรับปริมาตรเป็น 2 มิลลิลิตร ด้วยเฮกเซน นำไปวิเคราะห์สาร DEHP ด้วยเครื่อง GC-FID

2.3.6 การสร้างกราฟมาตรฐาน (standard curve calibration)

เตรียมสารละลาย DEHP (stock solution) โดยชั่งสารมาตรฐาน DEHP ปริมาณ 100 มิลลิกรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายเฮกเซน ได้ความเข้มข้นของ stock solution 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร นำสารละลายเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยห่อด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ และพันทับด้วยพาราฟิล์ม

เตรียมสารละลายมาตรฐาน DEHP จาก stock solution ที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้เฮกเซนในการปรับปริมาตรให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน DEHP เท่ากับ 0.05, 0.1, 0.5, 1, 1.5, 3, 6, 12, 25, 50, 100 และ 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร คูณสารละลายมาตรฐาน 2 มิลลิลิตร ใส่ขวด vial แล้วฉีด 1 ไมโครลิตร เข้าเครื่อง GC บันทึกพื้นที่พีค เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน โดยการหาอัตราส่วนของพื้นที่พีคและความเข้มข้นของสารตามวิธีการของ USEPA 3350B (1996)

2.3.7 เทคนิค Gas chromatography/flame ionization detector

เทคนิคการใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ มีดังนี้

(1) ตั้งค่าสภาวะการทำงานของเครื่อง GC-FID ตามตารางที่ 2.2

(2) สร้างเส้นกราฟมาตรฐาน (calibration curve) แบบ external standard เพื่อหาปริมาณสารประกอบ DEHP โดยฉีด standard solutions ของสาร DEHP เข้าเครื่อง GC ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ ทำการหาค่าเฉลี่ยและสร้างกราฟมาตรฐานจากอัตราส่วนของพื้นที่พีคต่อความเข้มข้น

(3) ฉีดตัวอย่างดินตะกอนและตัวอย่างปุ๋ยทะเลที่เตรียมไว้ตัวอย่างละ 1 ไมโครลิตร เข้าเครื่อง GC ฉีดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ อ่านค่าปริมาณของสารประกอบ DEHP โดยเปรียบเทียบค่าพื้นที่พีคของสารประกอบ DEHP กับเส้นกราฟมาตรฐาน

2.4 การประกันคุณภาพการวิเคราะห์

การควบคุมคุณภาพภายใน (internal quality control) โดยนำสารละลายมาตรฐาน DEHP ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variation, CV) ค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery) ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจได้ (limit of detection, LOD) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณได้อย่างถูกต้อง (limit of quantification, LOQ)

ตารางที่ 2.2 สภาวะเครื่อง GC-FID

โปรแกรม/โหมด	สภาวะการทำงาน
Inlet conditions	Mode: split less Injector temperature 255 องศาเซลเซียส
Column	HP-5 5 เปอร์เซนต์ Phenyl methyl siloxane Length: 30 เมตร Diameter: 320 ไมโครเมตร Film thickness: 0.25 ไมโครเมตร
Detector	FID Flow rate : He (carrier gas) 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที H ₂ (fuel gas) 40 มิลลิลิตรต่อนาที N ₂ (make- up gas) 30 มิลลิลิตรต่อนาที Air (oxidant gas) 300 มิลลิลิตรต่อนาที
Oven temperature	อุณหภูมิเริ่มต้น 110 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 1 นาที เพิ่มขึ้นครั้งละ 20 องศาเซลเซียส ต่อนาที จนถึง 300 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 2 นาที
Runtime	16.5 นาที

ที่มา : US.EPA ; 3350B (1996)

2.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

โดยประมวลผลด้วยโปรแกรม SPSS ใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และใช้สถิติเชิงอนุมาน (inferential statistics) ได้แก่ ANOVA test และ tukey test เพื่อใช้ทดสอบความแตกต่างของค่าความเข้มข้นในแต่ละสถานีตัวอย่าง

2.4.2 สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient of Variation, CV)

ค่าที่แสดงถึงความใกล้เคียงกันของผลการทดสอบ บ่งบอกถึงความแม่นยำของวิธี โดยคำนวณหาค่าร้อยละสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนจากสูตร EURACHEM (1998)

สูตร $CV = (SD/Mean) \times 100$
เมื่อ C.V. คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน
SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของความเข้มข้นที่อ่านได้

Mean คือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นที่อ่านได้

2.4.3 ค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery)

ทำการทดสอบหาค่าร้อยละการคืนกลับของวิธีวิเคราะห์ โดยวิเคราะห์ unfortified sample และ fortified sample ที่มีความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างดินตะกอน และปุ๋ยทะเล 1.5, 12.5 และ 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ โดยคำนวณหาค่าร้อยละการได้คืนกลับจากสูตร EURACHEM (1998)

$$\text{สูตร } \% \text{ recovery} = [(Cs-Cu) \times 100]/C$$

เมื่อ Cs คือ ปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน
Cu คือ ปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างที่ไม่เติมสารมาตรฐาน
C คือ ปริมาณสารมาตรฐานที่เติมในตัวอย่าง
ค่าร้อยละการได้คืนกลับควรอยู่ในช่วงร้อยละ 80 -120

2.4.4 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (limit of detection, LOD)

$$\text{สูตร } LOD = 3SD/\text{slope}$$

เมื่อ SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณ blank
Slope คือ ความชันของกราฟมาตรฐาน (MillerและMiller,2015)

2.4.5 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณได้ (limit of quantification, LOQ)

$$\text{สูตร } LOQ = 10SD/\text{slope}$$

เมื่อ SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณ blank
Slope คือ ความชันของกราฟมาตรฐาน (MillerและMiller,2015)

2.4.6 การป้องกันปัจจัยรบกวน (interferences) ต่อการวิเคราะห์ตัวอย่าง

(1) ตัวทำละลาย สารเคมี เครื่องแก้ว และอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมและวิเคราะห์ ตัวอย่างอาจทำให้เกิดปัจจัยรบกวนต่อการวิเคราะห์ได้ ทำการตรวจสอบการปนเปื้อนโดยการวิเคราะห์ method blank เลือกใช้สารเคมีที่มีความบริสุทธิ์สูง เช่น สารตัวทำละลาย ใช้ pesticide residue grade หรือเทียบเท่า

(2) ไม่ใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่ทำจากพลาสติก เนื่องจากโดยส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์พลาสติกมักใช้ phthalates เป็น plasticizer ซึ่งสามารถถูกสกัดออกจากผลิตภัณฑ์พลาสติกได้ง่าย

(3) ทำความสะอาดเครื่องแก้ว โดยกลั้วเครื่องแก้วทุกชิ้นด้วยเฮกเซนหลังใช้ทุกครั้ง และทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างเครื่องแก้ว และน้ำร้อน แล้วล้างด้วยน้ำประปาและน้ำกลั่นตามลำดับ ทิ้งไว้ให้แห้งและนำไปอบด้วย muffle furnace ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ประมาณ 15-30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วห่อหุ้มด้วย aluminum foil เก็บไว้ในที่สะอาด อาจใช้การกลั้วด้วยเฮกเซนแทนการอบด้วย muffle furnace

2.4.7 การประเมินความเสี่ยง

ประเมินความเสี่ยงเบื้องต้น โดยใช้ค่า hazard quotient เพื่อหาความเสี่ยงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากสารประกอบ DEHP จากสูตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

$$\text{Hazard quotient (HQ)} = \frac{\text{ค่าความเข้มข้นที่วัดได้}}{\text{มาตรฐานที่กำหนดไว้}}$$

ถ้า Hazard quotient มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ไม่มีความเสี่ยง
 Hazard quotient มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า มีความเสี่ยง

2.5 สถานที่ทำการวิจัย

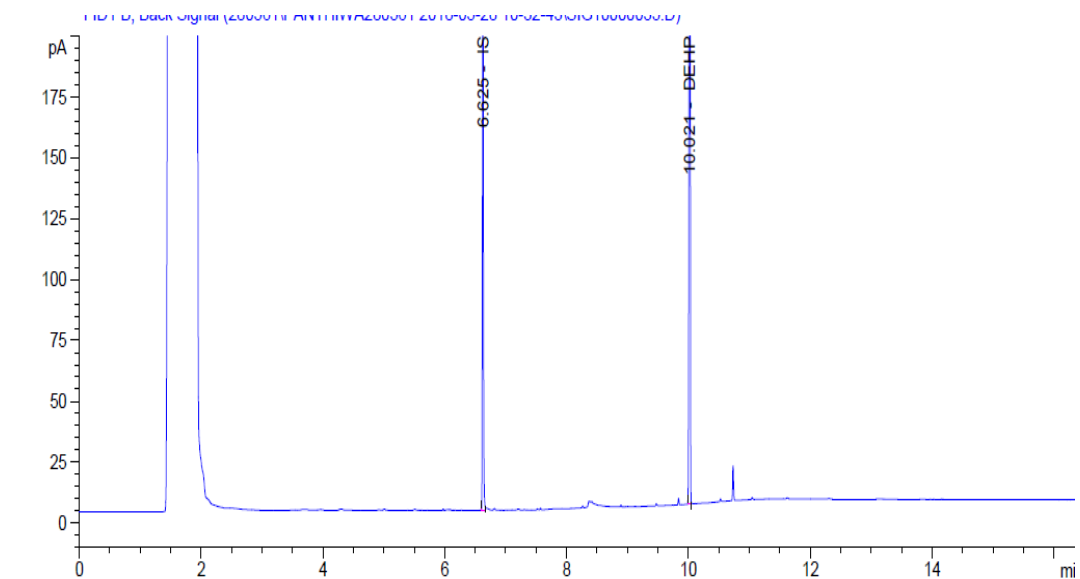
ดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

บทที่ 3

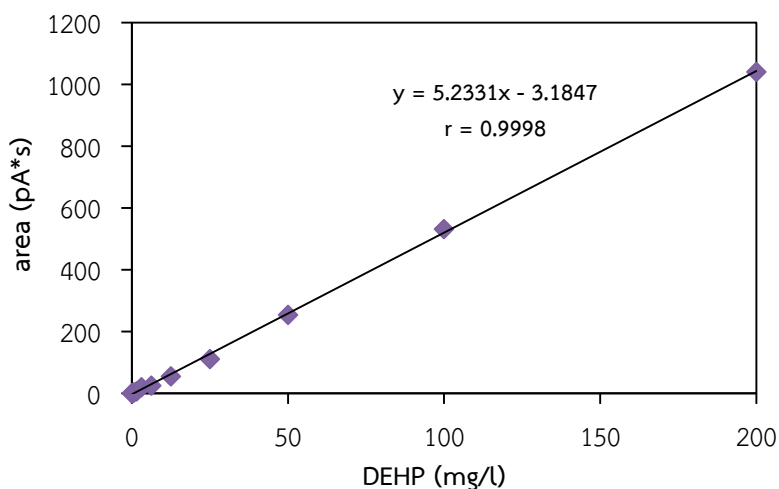
ผลการวิจัย และอภิปรายผล

3.1 กราฟมาตรฐานของสารประกอบ DEHP

ผลของการเตรียมสารละลายมาตรฐานของสารประกอบ DEHP จาก stock solution ที่ระดับความเข้มข้น 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.5, 3, 6, 12, 25, 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อหาช่วงความเป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่ใต้กราฟ พบว่าสารละลายมาตรฐาน DEHP มีค่า retention time อยู่ที่ 10.021 ± 0.05 นาที (รูปที่ 3.1) กราฟมาตรฐานของสารละลาย DEHP มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.9998 และมีค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย (R^2) เท่ากับ 0.9995 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเข้าใกล้ 1 และมีค่าสัมประสิทธิ์การทำนายมากกว่า 0.995 แสดงว่ากราฟมาตรฐานมีความเป็นเส้นตรงที่ยอมรับได้ และมีความแม่นยำในการทำนายที่น่าเชื่อถือ (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.1 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน DEHP ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (RT= 10.021 ± 0.05 นาที)



รูปที่ 3.2 กราฟมาตรฐานสารประกอบ DEHP

3.2 การประกันคุณภาพของวิธีวิเคราะห์

3.2.1 ขีดจำกัดของการวิเคราะห์

ผลการศึกษาขีดจำกัดการตรวจวัดต่ำสุด (LOD) โดยการฉีดblank จำนวน 10 ซ้ำ และทำการคำนวณโดยใช้สูตร $3SD/slope$ แต่เนื่องจากความสามารถในการวิเคราะห์ของเครื่อง GC ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ไม่สามารถมองเห็นสัญญาณรบกวนของblankได้ ดังนั้นจึงทำการยืนยันค่าด้วยการคำนวณพิกสัญญาณรบกวนจากกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถเริ่มมองเห็นสัญญาณพิก โดยการฉีดสารมาตรฐาน 10 ซ้ำ และหาอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟกับ 3 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร อีกทั้งยังนำความเข้มข้นที่ต่ำสุดนี้คิดจากโปรแกรมการหาค่า LOD จากวิธี $signal\ to\ noise \geq 3$ โดยทำการเลือกสัญญาณรบกวนให้ครอบคลุมช่วงของสารมาตรฐานที่สนใจ ซึ่งสามารถคำนวณได้ค่าเท่ากับ 0.048 เช่นเดียวกัน

ผลการศึกษาขีดจำกัดการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) โดยการฉีดblank จำนวน 10 ซ้ำ และทำการคำนวณโดยใช้สูตร $3SD/slope$ แต่เนื่องจากความสามารถในการวิเคราะห์ของเครื่อง GC ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ไม่สามารถมองเห็นสัญญาณรบกวนของ blank ได้ ดังนั้นจึงทำการยืนยันค่าด้วยการคำนวณพิกสัญญาณรบกวนจากกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถเริ่มมองเห็นสัญญาณพิก โดยการฉีดตัวอย่าง 10 ซ้ำ และหาอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟกับ 10 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่ามีค่าเท่ากับ 0.195 มิลลิกรัมต่อลิตร อีกทั้งยังนำความเข้มข้นที่ต่ำสุดนี้คิดจากโปรแกรมการหาค่า LOD จากวิธี $signal\ to\ noise \geq 10$ โดยทำการเลือกสัญญาณรบกวนให้ครอบคลุมช่วงของสารมาตรฐานที่สนใจ ซึ่งสามารถคำนวณได้ค่าเท่ากับ 0.195 เช่นเดียวกัน

3.2.2 ปริมาณร้อยละการได้คืนกลับของสารมาตรฐาน

การหาร้อยละการได้คืนกลับ คือ การวิเคราะห์การได้คืนกลับของสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน โดยการนำตัวอย่างมาเติมสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน (spike) ได้แก่ ความเข้มข้นที่ 1.5, 12.5 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เติมสารละลายมาตรฐาน (blank) ทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนการสกัดสาร DEHP ในตัวอย่างดินตะกอน และ ตัวอย่างปุทะเล ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่าร้อยละการได้คืนกลับในตัวอย่างดินตะกอน มีค่าความเข้มข้นของสาร DEHP เฉลี่ยอยู่ที่ 92.89-106.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง และในตัวอย่างปุทะเล มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยอยู่ที่ 95.62-102.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ซึ่งค่าร้อยละการได้คืนกลับอยู่ในช่วงร้อยละ 80-120 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (FAO/WHO, 1996) อีกทั้งค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนในดินตะกอนมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.27-7.67 ซึ่งไม่เกิน ร้อยละ 10 จึงถือว่าวิธีการวิเคราะห์นี้มีความเที่ยงที่ติดตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าร้อยละการได้คืนกลับและสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างดินตะกอนและปุทะเลที่ความเข้มข้น 1.5, 12.5 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

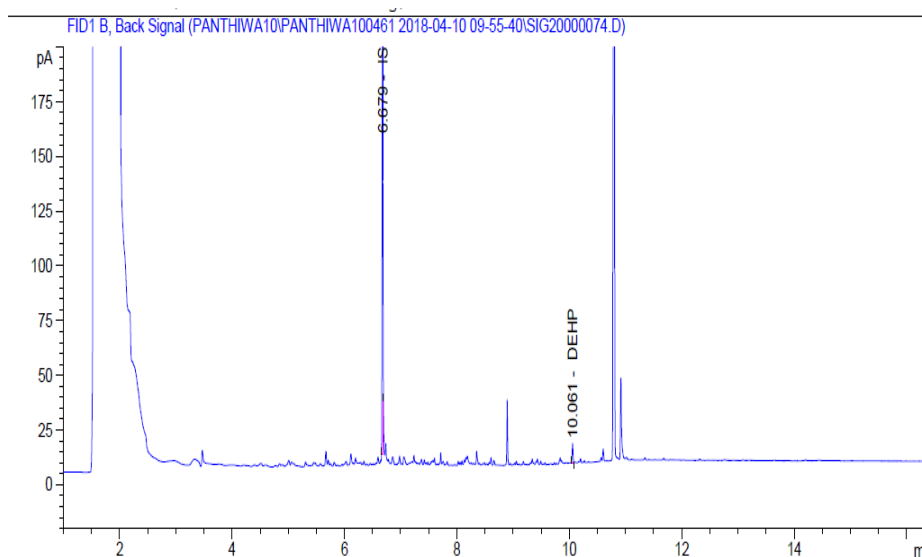
Spiked DEHP (mg/L)	% Recovery \pm SD		% CV	
	ดินตะกอน	ปุทะเล	ดินตะกอน	ปุทะเล
1.5	92.89 \pm 7.13	95.62 \pm 8.08	7.67	8.45
15	97.26 \pm 3.36	99.41 \pm 2.39	3.45	2.41
50	106.93 \pm 1.35	102.23 \pm 1.48	1.27	1.45

*หมายเหตุ ทางผู้วิจัยได้ควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์โดยการทำการเติมสารละลาย เบนซิล เบนโซเอต ลงไปเพื่อเป็น internal standart ดังที่มีกราฟปรากฏในโครมาโทแกรม แต่เนื่องจากค่า relation time และความเข้มข้นคำนวณออกมาแล้วมีค่าไม่น่าเชื่อถือ ทำให้ผู้วิจัยใช้วิธีร้อยละการคืนกลับในการควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์แทน

3.3 ความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอน

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีเก็บตัวอย่าง 8 สถานี ได้แก่ ปากคลองสทิงหม้อ ปากคลองอู่ตะเภา ปากคลองสำโรง ปากคลองปากกรอ ปากคลองปากจำ ปากคลองภูมิ และปากคลองบางกล้า เก็บตัวอย่างสถานีละ 5 จุด บริเวณปลายสุดของปากคลองก่อนลงสู่ทะเลสาบสงขลา ตอนล่าง รวมทั้งสิ้น 40 ตัวอย่าง วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography ชนิด Flame

ionization หาปริมาณสารโดยหาพื้นที่ใต้กราฟของพีคเทียบกับกราฟมาตรฐาน (รูปที่ 3.3) ปริมาณเฉลี่ยของสารประกอบ DEHP ในแต่ละสถานที่วิเคราะห์ได้แสดงดังตารางที่ 3.2



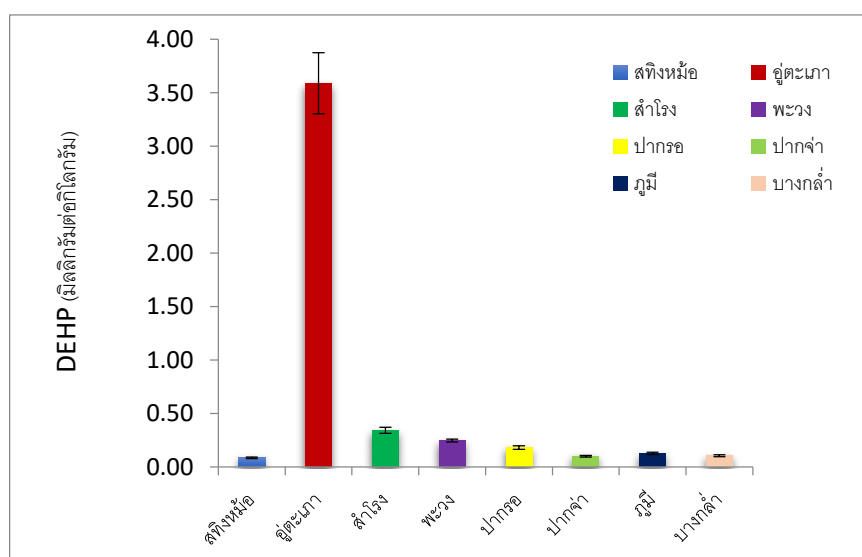
รูปที่ 3.3 โครมาโทแกรมของสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างดินตะกอน

ตารางที่ 3.2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในดินตะกอน

สถานีเก็บตัวอย่าง (ปากคลอง)	Mean \pm SD (mg/kg dry wt.)
สitingหม้อ	0.09 \pm 0.01
อู่ตะเภา	3.59 \pm 0.02
ลำโรง	0.34 \pm 0.02
พะวง	0.25 \pm 0.01
ปากร่อ	0.18 \pm 0.01
ปากจำ	0.10 \pm 0.01
ภูมี	0.13 \pm 0.01
บางกล้า	0.10 \pm 0.01

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนที่มาจากปากคลองอู่ตะเภามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด (3.59 \pm 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) รองลงมาคือ ปากคลองลำโรง (0.34 \pm 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) และปากคลองพะวง (0.25 \pm 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ซึ่งปากคลองที่กล่าวมา

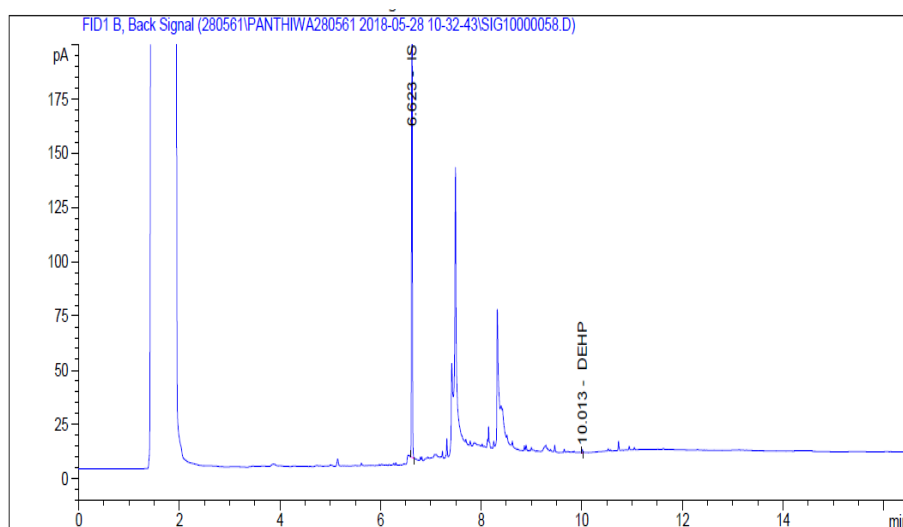
ข้างต้นเป็นปากคลองที่มีเส้นทางการไหลของน้ำผ่านแหล่งกำเนิดมลพิษมากกว่าในปากคลองอื่นๆ ได้แก่ หลุมฝังกลบขยะ แหล่งชุมชนเมือง ชุมชนแออัด หรือโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเมื่อพิจารณากับตัวอย่างดินตะกอนที่เก็บมาจากปากคลองสทิงหม้อ ปากคลองปากจ่า ปากคลองบางกล้า และปากคลองภูมิที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยน้อยสุดเป็นสามลำดับสุดท้าย (0.09 ± 0.01 , 0.10 ± 0.01 และ 0.13 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) (รูปที่ 3.4) โดย DEHP ในตะกอนดินแต่ละสถานីมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) พื้นที่การไหลของน้ำส่วนใหญ่จะเป็นแหล่งชนบท มีโรงงานอุตสาหกรรมประปราย และไม่ผ่านชุมชนเมือง ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dargnat *et al.* (2009) ที่พบค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนจากชุมชนในพื้นที่ชนบทมีค่าเท่ากับ 0.2–8.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง แต่ในดินตะกอนน้ำเสียชุมชนแออัดมีความเข้มข้นสูงถึง 28–154 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง และงานวิจัยของ Lin *et al.* (2009) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการระบุแหล่งกำเนิดที่มีผลต่อการปนเปื้อนของสารประกอบ DEHP จากตัวอย่างดินตะกอนในแม่น้ำหู่จิงประเทศไต้หวันตอนใต้ พบว่าค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนระหว่าง 0.07–20.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ซึ่งความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนมีค่าสูงสุดในบริเวณที่มีชุมชนหนาแน่นและโรงงานผลิตพลาสติก



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอน

3.4 ความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในปูทะเล

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างปูทะเลจากสถานีเก็บตัวอย่าง 8 สถานี ได้แก่ ปากคลองสทิงหม้อ ปากคลองอู่ตะเภา ปากคลองสำโรง ปากคลองปากกรอ ปากคลองปากจำ ปากคลองภูมิ และปากคลองบางกล่ำ เก็บตัวอย่างปูทะเลบริเวณเดียวกับจุดเก็บดินตะกอน สถานีละ 5 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 40 ตัวอย่าง วิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph ชนิด flame ionization detector (รูปที่ 3.5) หาปริมาณสารโดยการนำค่าพื้นที่ใต้กราฟที่วัดได้เทียบกับกราฟมาตรฐาน ปริมาณเฉลี่ยของสารประกอบ DEHP ในแต่ละสถานีที่วิเคราะห์ได้แสดงในตารางที่ 3.3

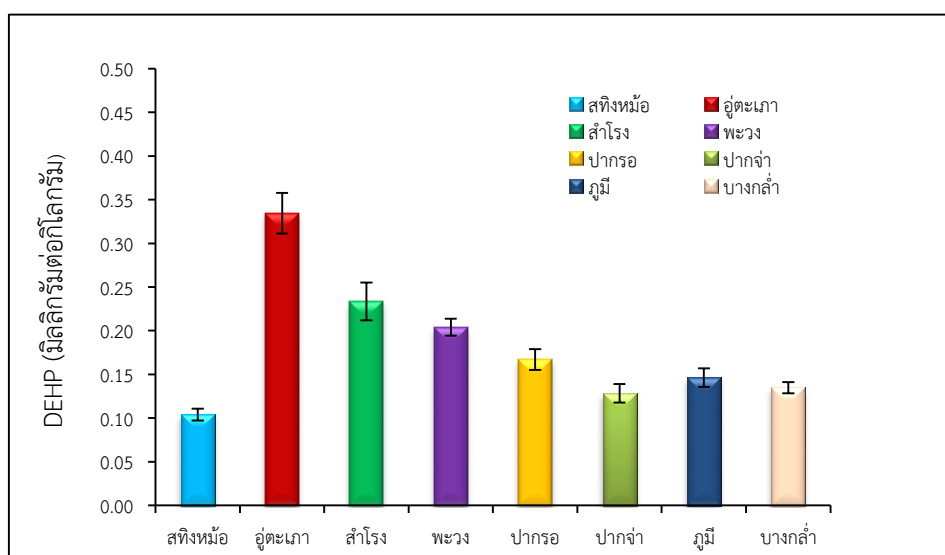


รูปที่ 3.5 โครมาโทแกรมของสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างปูทะเล

ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในตัวอย่างปูทะเล

สถานีเก็บตัวอย่าง (ปากคลอง)	Mean \pm SD (mg/kg dry wt.)
สทิงหม้อ	0.10 \pm 0.01
อู่ตะเภา	0.33 \pm 0.02
สำโรง	0.23 \pm 0.02
พะวง	0.20 \pm 0.01
ปากกรอ	0.17 \pm 0.01
ปากจำ	0.13 \pm 0.01
ภูมิ	0.15 \pm 0.01
บางกล่ำ	0.13 \pm 0.01

ผลการศึกษาหาความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างปูทะเล พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดพบในตัวอย่างปูทะเลที่มาจากปากคลองอู่ตะเภา รองลงมาคือ ปากคลองสำโรง และปากคลองพะวงซึ่งมีค่าอยู่ที่ 0.33, 0.23 และ 0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ ปากคลองสทิงหม้อ ปากคลองบางกล่ำ ปากคลองปากจำและปากคลองภูมิ (0.10, 0.13 และ 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ (รูปที่ 3.6) DEHP ในปูทะเลแต่ละสถานี่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนข้างต้น อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Huang *et al.* (2008) ซึ่งได้ศึกษาเกี่ยวกับปนเปื้อนของสารประกอบ phthalates ในดินตะกอนและปลา ในแม่น้ำ 17 สายในประเทศไต้หวันและพบว่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในปลาสายพันธุ์ *Lisa Subviridis* และในดินตะกอนมีความสัมพันธ์กัน



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในปูทะเลที่สถานีต่างๆ

3.5 การประเมินความเสี่ยง

ประเมินความเสี่ยงเบื้องต้น โดยใช้ค่า hazard quotient เพื่อหาความเสี่ยงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากสารประกอบ DEHP จากสูตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

$$\text{Hazard quotient (HQ)} = \frac{\text{ค่าความเข้มข้นที่วัดได้}}{\text{มาตรฐานที่กำหนดไว้}}$$

ถ้า Hazard quotient มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ไม่มีความเสี่ยงที่มีนัยสำคัญ
 Hazard quotient มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า มีความเสี่ยงที่มีนัยสำคัญ

3.5.1 การประเมินความเสี่ยงในตัวอยางดินตะกอน

กรมควบคุมมลพิษได้กำหนดค่าของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนไม่เกิน 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอินทรีย์คาร์บอนในน้ำหนักแห้ง ซึ่งต้องคำนวณเทียบกับสารอินทรีย์รวมในตัวอยางดินตะกอน (total organic carbon) สามารถหาได้โดยการนำตัวอยางดินตะกอนใส่ในถ้วยเผาสาร (crucible) มาชั่งหาน้ำหนักก่อนเผา ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ดินตะกอน 5 กรัม จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมงแล้วชั่งหาส่วนต่างน้ำหนักที่หายไปโดยใช้สมการ (นิคม ละอองศิริวงศ์ และสุกัญดา ไมตรีแก้ว, 2550)

$$\text{Total organic matter} = \frac{\text{น้ำหนักดินที่หายไป}}{\text{น้ำหนักดินก่อนเผา}}$$

ผลของการประเมินความเสี่ยงจากความเข้มข้นของตัวอยางเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ซึ่งมีความเข้มข้นดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ผลของการประเมินความเสี่ยงของตัวอยางดินตะกอน

ดินตะกอนสถานีตัวอยาง (ปากคลอง)	DEHP (mg/kg OC)	HQ
สทิงหม้อ	0.45±0.04	0.01
อู่ตะเภา	18.53±0.29	0.51
ลำโรง	2.29±0.19	0.06
พะวง	1.87±0.11	0.05
ปากรอ	1.01±0.01	0.03
ปากจำ	0.56±0.04	0.02
ภูมิ	0.72±0.06	0.02
บางกล้า	0.52±0.05	0.01

ผลการคำนวณข้างต้นจะเห็นได้ว่า ดินตะกอนจากปากคลองอู่ตะเภา มีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐาน เมื่อเทียบกับสถานีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อ คำนวณหา hazard quotient ผลที่ได้มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนบริเวณดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพผู้ที่บริโภคสัตว์น้ำในบริเวณนั้น รวมทั้งสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศได้

3.5.2 การประเมินความเสี่ยงในตัวอย่างปูทะเล

กระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทยได้มีการกำหนดค่าของสารประกอบ DEHP ในอาหารไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งผลการทดลองที่ได้สามารถบอกได้ว่า ตัวอย่างปูทะเลจากปากคลองอู่ตะเภา มีค่าเฉลี่ยของสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างเกินค่ามาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทยกำหนดไว้ (0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)(NHFPC.,2011) ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณเพื่อหาค่าความเสี่ยงเบื้องต้นที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศ โดยใช้สูตรการหาค่า Hazard quotient (HQ) จะได้ค่าตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่าความเสี่ยงเบื้องต้นจากตัวอย่างปูทะเลในสถานีต่างๆ

ปูทะเลจากสถานีตัวอย่าง (ปากคลอง)	HQ
สทิงหม้อ	0.35
อู่ตะเภา	1.11
สำโรง	0.88
พะวง	0.78
ปากร่อ	0.66
ปากจำ	0.43
ภูมี	0.59
บางกล้า	0.45

จากตารางที่ 3.5 สามารถอธิบายได้ว่า ตัวอย่างปูทะเลจากปากคลองอู่ตะเภา มีค่า HQ เท่ากับ 1.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มีความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญ ต่อสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศ

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์สารประกอบ DEHP ในดินตะกอน และปุ๋ยทะเลบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่าง โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ร่วมกับตัวตรวจวัดชนิดเฟลมไอออไนเซชัน พบว่าค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (LOD) มีค่าเท่ากับ 0.048 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณได้ (LOQ) มีค่าเท่ากับ 0.195 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (r) มากกว่า 0.99 ร้อยละการได้คืนกลับของสาร DEHP อยู่ที่ร้อยละ 92-106 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 10 จึงถือได้ว่าวิธีการวิเคราะห์นี้มีความเที่ยงตรงและเชื่อถือได้

4.1 สรุปผลการวิจัย

4.1.1 ปริมาณสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างดินตะกอน

ผลของการศึกษาหาปริมาณสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่าง จากสถานีเก็บตัวอย่าง 8 สถานี ได้แก่ ปากคลองอู่ตะเภา ปากคลองสำโรง ปากคลองพะวง ปากคลองปากรอ ปากคลองภูมิ ปากคลองบางกล่ำ ปากคลองปากจำ และปากคลองสทิงหม้อ พบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบ DEHP เท่ากับ 18.53 ± 0.29 , 2.29 ± 0.19 , 1.87 ± 0.11 , 1.01 ± 0.01 , 0.72 ± 0.06 , 0.56 ± 0.04 , 0.52 ± 0.05 และ 0.45 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอินทรีย์คาร์บอน ตามลำดับ และพบว่าดินตะกอนจากปากคลองอู่ตะเภา ปากคลองสำโรง และปากคลองพะวงมีความเข้มข้นของ DEHP สูงกว่าพื้นที่อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเฉพาะปากคลองอู่ตะเภาจะมีค่าสูงกว่าปากคลองอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องมาจากเส้นทางการไหลของปากคลองอู่ตะเภามาจากอ.สะเดาจังหวัดสงขลา ซึ่งระยะทางการไหลผ่านโรงงานอุตสาหกรรมมากถึง 78 แห่ง และเป็นปากคลองที่มีการรายงานว่าพบค่าการปล่อยมลพิษในรูปของ BOD เกินมาตรฐาน (แผนแม่บทลุ่มแม่น้ำทะเลสาบสงขลา, 2546) อีกทั้งผ่านหลุมฝังกลบขยะถึง 4 แห่ง รองลงมาคือปากคลองสำโรง และปากคลองพะวง ซึ่งมีลักษณะการไหลของสายน้ำคล้ายๆ กันคือ ผ่านชุมชนเมืองและชุมชนแออัด และผ่านหลุมฝังกลบขยะและโรงงานอุตสาหกรรม โดย ปากคลองสำโรงจะผ่านหลุมฝังกลบขยะเทศบาลบ้านพรุ และปากคลองพะวงจะรองรับน้ำทิ้งจากเทศบาลสงขลาที่ยังไม่ได้รับการบำบัด อีกทั้งยังผ่านโรงงานผลิตยางกัตและของเล่นสำหรับเด็ก 1 แห่ง จึงทำให้ค่าของสารประกอบ DEHP จากปากคลองเหล่านี้มีค่าสูงกว่าปากคลองอื่นๆ เช่น ปากคลองสทิงหม้อ ปากคลองปากจำ หรือปากคลองภูมิ จะไหลผ่านแหล่งชุมชนขนาดเล็ก และไม่มีจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ติดกับบริเวณคลองดังกล่าว จึงทำให้สารประกอบ DEHP มีอยู่ในตัวอย่างน้อยกว่าเมื่อเทียบกับสถานีอื่นๆ ข้างต้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.05$)

4.1.2 ปริมาณสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างปูทะเล

ผลของการศึกษาหาปริมาณสารประกอบ DEHP ในปูทะเล บริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่าง จากสถานีเก็บตัวอย่าง 8 สถานี ได้แก่ ปากคลองอู่ตะเภา ปากคลองสำโรง ปากคลองพะวง ปากคลอง ปากรอ ปากคลองภูมิ ปากคลองบางกล่ำ ปากคลองปากจำ และปากคลองสทิงหม้อ พบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบ DEHP เท่ากับ 0.33 ± 0.02 , 0.23 ± 0.02 , 0.20 ± 0.01 , 0.17 ± 0.01 , 0.15 ± 0.01 , 0.13 ± 0.01 , 0.13 ± 0.01 และ 0.10 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้งตามลำดับ และพบว่ามีค่าความเข้มข้นของ DEHP สูงสุดในตัวอย่างปูจากบริเวณปากคลองอู่ตะเภา ปากคลองสำโรง ปากคลองพะวง ตามลำดับ โดยทุกสถานีมีค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นปากคลองค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบ DEHP จากปากคลองภูมิ ปากคลองปากจำ และปากคลองสทิงหม้อแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.05$) ซึ่งมีสาเหตุมาจากที่ได้อภิปรายในหัวข้อ 4.1.1

4.1.3 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศเบื้องต้นโดยหาค่า hazard quotient หรืออัตราส่วนของความเข้มข้นของสารที่ต้องการศึกษาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ยอมรับให้มีได้โดยกรมควบคุมมลพิษกำหนดให้ค่าของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนไว้ไม่เกิน 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของสารอินทรีย์คาร์บอน ซึ่งค่าความเข้มข้นในตัวอย่างดินตะกอนในทุกสถานี มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด และมีค่า HQ น้อยกว่า 1 แสดงว่าดินตะกอนบริเวณปากคลองเหล่านี้ไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญต่อสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศได้

กระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทย ได้มีข้อกำหนดให้สารประกอบ DEHP ปนเปื้อนในอาหารได้ไม่เกิน 0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า ค่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในตัวอย่างปูทะเลจากปากคลองอู่ตะเภา มีค่าเกินมาตรฐาน (0.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และมีค่า HQ มากกว่า 1 แสดงว่าความเสี่ยงอาจมีนัยสำคัญต่อสุขภาพ สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศได้

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนและปูทะเล มีค่าสูงในบริเวณปากคลองอู่ตะเภา รองลงมาคือปากคลองสำโรง ปากคลอง ปากคลองปากรอ ปากคลองภูมิ ปากคลองบางกล่ำ ปากคลองปากจำ และปากคลองสทิงหม้อ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาเส้นทางการไหลของสายน้ำ จะบ่งชี้ให้เห็นว่า ปากคลองที่มีโรงงานอุตสาหกรรมอยู่ใกล้เคียง หรือมีกระแสน้ำไหลผ่านชุมชนเมือง ชุมชนแออัด และ/หรือ หลุมฝังกลบขยะ ก็จะพบค่าของสารประกอบ DEHP ได้สูงกว่าปากคลองที่ไหลผ่านชนบท หรือปากคลองที่ไม่ได้อยู่ในพื้นที่ของการปล่อยมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสารประกอบ DEHP ในดินตะกอนและปูทะเลในบริเวณที่มีการปล่อยมลพิษ อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ สิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศได้ เนื่องจากปูทะเลเป็นสัตว์หน้าดินที่มีการบริโภคกันอย่างแพร่หลาย อีกทั้งยังเป็นที่นิยมในหมูนึ่งกึ่งเตี๋ย หรือผู้ที่ชื่นชอบการ

รับประทานอาหารทะเล โดยจากงานวิจัยจะเห็นได้ว่าค่าความเข้มข้นของสารประกอบDEHPในตัวอย่างดินตะกอน และปูทะเลของปากคลองอู่ตะเภา จะมีค่าที่สูงมากที่สุดซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และยังสอดคล้องกันเมื่อนำค่ามาสร้างความเป็นเส้นตรงที่ค่า $r = 0.86$ ก็เป็นการยืนยันได้ว่า ค่าความเข้มข้นของของสารประกอบDEHPในปูทะเลและในตัวอย่างดินตะกอนมีความสอดคล้องกันมาก

ในปัจจุบันก็ยังมี การนำสารประกอบ DEHPมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งความรู้ความเข้าใจถึงพิษของสารประกอบ DEHPของประชาชนไทยยังมีน้อยเมื่อเทียบกับประเทศอื่นๆ อาจเป็นผลมาจากภาครัฐยังไม่เล็งเห็นความสำคัญของสารพิษชนิดนี้เท่าที่ควร ดังนั้นภาครัฐจึงควรมีการจัดการความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นด้วยการออกมาตรการป้องกันหรือแก้ไข้ปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อลดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและลดการสัมผัสกับสารประกอบ DEHPที่อาจจะส่งผลต่อสุขภาพสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศในอนาคต

4.2 ข้อเสนอแนะ

(1) ควรศึกษาหาปริมาณของสาร DEHP จากแหล่งกำเนิดของคลองอู่ตะเภา เนื่องจากมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ

(2) ควรศึกษาหาปริมาณของสารประกอบ phthalate ตัวอื่นๆควบคู่กันไปด้วยเพื่อหาความเสี่ยงรวม

(3) หากมีการใช้เครื่องมือที่จำเพาะเจาะจงในการวิเคราะห์ จะสามารถหาค่าความเข้มข้นของสารอื่นๆในกลุ่ม phthalate ได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น gas chromatograph-mass spectrometer

(4) ภาครัฐ หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ควรมีการประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนได้รับรู้ถึงอันตรายของสารประกอบ DEHP ที่กำลังปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมอยู่อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดความตระหนักในการเลือกบริโภคอาหารที่อาจจะปนเปื้อนมากจากแหล่งที่มีความเสี่ยงต่อไปได้

(5) ควรมีมาตรการให้โรงงานอุตสาหกรรมและชุมชนขนาดใหญ่บำบัดน้ำเสียเพื่อลดการปล่อยสาร DEHP ออกสู่สิ่งแวดล้อม

(6) ควรมีการกำกับควบคุมให้การก่อสร้างบ่อฝังกลบขยะที่ถูกสุขลักษณะได้มาตรฐานสากล ไม่ปล่อยสารมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

(7) ควรมีการเสนอแนวคิดในการบำบัดสาร DEHP ที่ปนเปื้อนในตะกอนดิน เช่น ปลุกพืชน้ำ เพื่อดูดซับสาร หรือคิดค้นหาตัวกลางในการบำบัดสารเหล่านี้ในอนาคต

บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรน้ำ. (2548). **แผนที่คลองสาขาบริเวณทะเลสาบสงขลา**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <http://news.dwr.go.th/index.php> [วันที่สืบค้นข้อมูล 20 มีนาคม 2561].
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2560). **ทะเลสาบสงขลา**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <https://www.dmcr.go.th> [วันที่สืบค้นข้อมูล 3 มิถุนายน 2561.]
- กรมประมง. (2554). **การเพาะเลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจ**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <http://www.Fisheries.go.th> [วันที่สืบค้นข้อมูล 15 มีนาคม 2561.]
- กรมแผนการทหาร และสถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2560). **แผนที่แสดงแหล่งกำเนิดมลพิษรอบทะเลสาบสงขลา** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <http://www.gispsu.net/event.php> [วันที่สืบค้นข้อมูล 20 มีนาคม 2561.]
- จุมพล สงวนสิน. (2534). **ตะกอนพื้นทะเลในบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันออก (ช่องแสมสาร-ตราด)**. กรุงเทพฯ: กรมประมง กองประมงทะเล ศูนย์พัฒนาประมงทะเลฝั่งตะวันออกหน้า. 265-271.
- ชุติมา ศรีวิบูลย์. (2544). **การใช้วิธีไอออนโครมาโทกราฟีโลหะหนักในรูปของสารเชิงซ้อนกับ EDTA ชนิดไอออนลบ**. กรุงเทพมหานคร. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- นิคม ละอองศิริวงศ์ และสุกัญญา ไมตรีแก้ว. (2550). **วิธีวิเคราะห์น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง**. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง. 233.
- ปูทะเล.[ออนไลน์].สืบค้นจาก<https://th.wikipedia.org/media/.jpg> [วันที่สืบค้นข้อมูล 15 มีนาคม 2561.]
- แผนแม่บทลุ่มแม่น้ำทะเลสาบสงขลา. (2546). **ทะเลสาบสงขลาตอนล่าง**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <http://www.songkhllake.com>. [วันที่สืบค้นข้อมูล 7 มีนาคม 2561.]
- พิไลพร สมพงษ์. (2554). **สภาวะที่มีผลต่อการชะออกมาของได-2-เอทิลเฮกซิล) ธาเลต (DEHP) จากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกที่สัมผัสอาหาร**.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เพิ่มศักดิ์ เฝิงมาก และสิริ ทุกข์วินาศ. (2529). **พิษเฉียบพลันของทองแดงต่อกุ้งแชบ๊วยและปลากระพงขาว**. เอกสารงานวิจัยเลขที่ 5/2529. สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งแห่งชาติ จังหวัดสงขลา กรมประมง

- ไพโรจน์ พรหมมานนท์, สมชาติ สุขวงศ์, นริศ ณะคุ้มชีพ และไพโรจน์ สิริมนตาภรณ์.(2521). **การสำรวจทรัพยากรสัตว์น้ำโดยใช้เครื่องมือโพงพางในทะเลสงขลา**. รายงานการปฏิบัติงานทางวิชาการ ประจำปี 2521. สถานีประมงทะเลจังหวัดสงขลา กรมประมง. 380-393.
- ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2561). **ไต่อะแกรมของเฟรมไอออนเซชั่น**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <http://www.nanotec.or.th> [วันที่สืบค้นข้อมูล 5 พฤษภาคม 2561.]
- ATSDR. (2002). **Agency for toxic substances and disease registry toxicological profile for di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)**. U.S. department of health and human services, public health service, Atlanta, GA.
- Barnabe S., Beauchesne I., Cooper D.G. and Nicell J.A.(2008). Plasticizers and their degradation products in the process streams of a large urban physicochemical sewage treatment plant. **Water Research**. 42: 153-162.
- Dargnat C., Teil M., Chevaeuil M. and Blanchard M. (2009). Phthalate removal throughout wastewater treatment plant: case study of Marne Avail station (Franc). **Science of the Total Environmental**. 407: 1235-1244.
- Eurachem Guide. (1998). **The fitness for purpose of analytical methods a laboratory guide to method validation and related topics**. Second edition [Online]. Available from <https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf> [11 July 2017.]
- European Commission. (2001). Regulation (EC) No 999/ 2001 of the European parliament and of the council of 22 May 2001 laying down rules for the prevention. Control and eradication of certain transmissible spongiform encephalopathy. **Official Journal of the European Communities**. 147:1-40.
- European Commission. 2008. **Summary Risk Assessment Report: Bis (2 Ethylhexyl) phthalate. (DEHP)**. Swedish Chemical Agency.
- FAO/ WHO. (1996) . **Biotechnology and food safty Report of a joint FAO/ WHO consulation** FAO food and nutrition paper No.61. ROME.
- Frank A.P., Wabster G., Cherly E., IKono M. 2003. Bioaccumulation of phthalate ester in aquatic food-webs. **The Handbook of Environmental Chemistry**. 3: 201-225.
- Gu Y., Yu X., Peng J., Chen S., Zhong Y., Yin D. and Xia Hu. (2014). Simultaneous solid phase extraction coupled with liquid chromatography tandem mass

- spectrometry and gas chromatography tandem mass spectrometry for the highly sensitive determination of 15 endocrine disrupting chemicals in seafood. *Journal of Chromatography. Analytical Technologies in the Biomedical and Life.* 965: 164-172.
- Haung P.C., Tien C.J. and Sun Y.M. (2008). Occurrence of phthalate in sediment and biota: relationship to aquatic factors and the biota – sediment accumulation factor. *Chemosphere.* 73:539-544.
- Horn O., Nalli S. and Cooper D.G. (2004). Plasticizer metabolites in the environment. *Water Research.* 38: 3693-3698.
- Horn O., Nalli S., Cooper, D. and Nicell, J. 2004. Plasticizer metabolites in the environment. *Water Research* 38 (17):3693–3698.
- Kavlock R., Boekethaide K., Chapin R., Cunningham M., Faustman E., Foster P., Golub R., Henderson R., Hinberg L., Little R., Seed J., Shea K., Tabacova S., Tyl R., Williams P. and Zacharewski T. (2002). NTP center for the evaluation of risks to human reproduction: phthalates expert panel report on the reproductive and developmental toxicity of di(2-ethylhexyl) phthalate. *Reproductive Toxicology* 16: 529-653.
- Khan H.M., Jong J.Y. (2008). Ozonation catalyzed by homogeneous and heterogeneous catalysts for degradation of DEHP in aqueous phase. *Chemosphere* 72: 609-696.
- Koch H., Bolt H., Preuss R. and Angerer J. (2005). New metabolites of di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) in human urine and serum after single oral doses of deuterium-labelled DEHP. *Archives of Toxicology* 79(7): 357-376.
- Koch H.M., Drexler H., Angerer J. (2003). An estimation of the daily intake of Di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) and other phthalate in the general population. *Toxicology* 78:123-120.
- Labunska I., Brigden K. and Santillo D. (2004). Chemical pollutants released from the Thai Plastic & Chemicals PVC facility to the Chao Praya, Thailand. *Greenpeace Research Laboratories Technical Notes* 05/2004.
- Liang D.W., Zhang T., Fang H.H.P. and He J.Z. (2008). Phthalates biodegradation in the environment. *Applied Microbiology and Biotechnology* 80(2): 183-198.

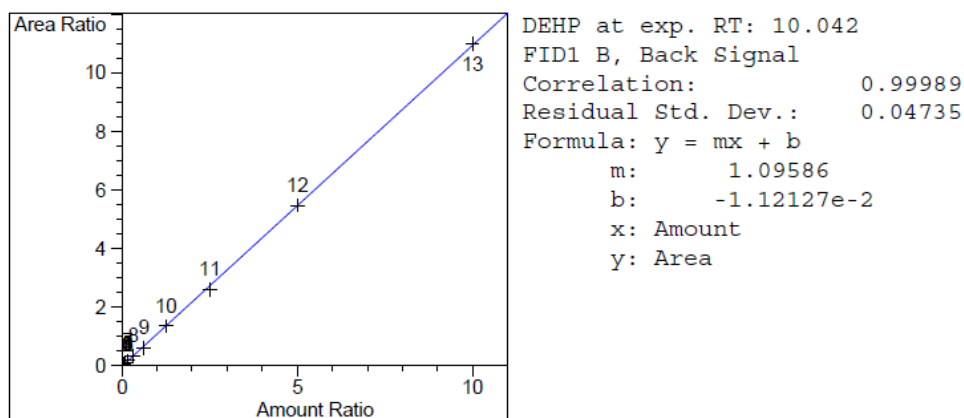
- Lin C., Lee C.J. and Mao W.M. (2009). Identifying the potential sources of di-(2-ethyl hexyl) phthalate concentration in the sediment of the Houjing River in Taiwan. **Hazardous Materials** 161: 270-275.
- NHFPC. (2011) National Health Commission of the People's Republic of China. [Online]. Available from <http://en.nhfpc.gov.cn/policies.html> [12 May 2017]
- Ohion EPA. (2001). Ohio Environmental Protection Agency **Sediment Sampling Guide and Methodologies**. Lazarus government center.
- Parkerton T. and Stables CA. (1997). Assessment of the potential environmental risk by phthalate in sediment. **The Handbook of Environmental Chemistry** 3,317-349.
- Parkerton TF. and Stables CA. (1997). An assessment of the potential environmental risk posed by phthalate in soil and sediment. **The Handbook of Environmental chemistry** 3,317-349.
- Rank J. (2005). Classification and risk assessment of chemicals: the cases of DEHP in the light of reach. **The Journal of Disciplinary Environmental Studies** 4.
- Silva J.M., Samandar E., Preau J., Needham L. and Calafat A.M. (2006). Urinary oxidative metabolites of di-(2-ethylhexyl) phthalate in humans. **Toxicology** 219 (15): 22-32.
- Sirivithayapakhorn S. and Limtrakul S. (2008). Distribution coefficient and adsorption-desorption rate of di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) onto and the surface of suspended particles in fresh water. **Water and Air Soil Pollution** 190: 45-54.
- Stainless steel grab sampler. [Online]. Available from <http://www.Jochemnet.de/OCB34> [April 2017.]
- Staples C.A., Adams W.J., Parkerton T.F., Gorsuch J.W., Biggingers G.R. and Reiner K.H. (1997). Aquatic toxicity of eighteen phthalate esters. **Environmental Toxicology and Chemistry**. 16:875-891.
- Swan SH. (2008). Environmental phthalate exposure in relation to reproductive outcomes and other health endpoint in hutments. **Environmental Research**. 108: 177-184.

- Toxic Use Reduction Institute. (2006) [Online]. Available from http://www.turi.org/TURI_Method_Publication_Report/Five_Chemicals_Alternative_Assessment_Study_2006_Chapter_7_DEHP [5 May 2017]
- USEPA. (1996). Draft for public health goal for di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) in drinking water. Pesticide and environmental toxicology section. Office of environmental toxicology section. **Office of Environmental Health Hazard Assessment**. California environmental protection agency.
- USEPA. (1996). Test method for extracting nonvolatile and semi volatile organic compound from solids. **Method 3350B**: ultrasonic extraction. [2012 August 31] Available from: URL:<http://www.epa.gov/hazard/testmethods/3350b.pdf>.
- USEPA. (1996). Test method for Florisil Clean-up Summary of Revisions to **Method 3620C** (From Revision 3 February 2007) . [31 August 2012] Available from:URL:<http://www.epa.gov/hazard/testmethods/33620C.pdf>
- USEPA. (2003). Toxicological review of DEHP [Online]. Available from <http://www.epa.gov>. [2 February 2013]
- USEPA. (2005). Di-(2ethylhexyl) phthalate (DEHP). Environmental protection agency, nation center for environmental assessment, Of research and develop ment. Washington, DC.
- Vanora, M., Katie, D., Brian, P., Utz, M., Andrew, H., Glen, S., Graeme, A. and Ian, F. 2012. Health risk assessment for cyanobacterial toxins in seafood. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. 9(3): 807-820.
- Wams T.J. (1987). Diethylhexylphthalate as an environmental contami- Nant-a review. **Science of the Total Environmental**. 66:1–16.
- Xu G., Li F.S. and Wang Q.H. (2008). Occurrence and degradation characteristics of dibutyl phthalate (DBP) and di-(2- ethylhexyl) phthalate (DEHP) in typical agricultural soils of China. **Science of the Total Environmental**. 393(2):333–340.

- Yuwatini E., Hana N. and Taguchi S. (2006). Behavior of di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) discharged from domestic waste water into aquatic environment. **Environmental Monitoring**. 8: 191-196.
- Zeng F., Cui K. and Xie Z. (2008). Occurrence of phthalate esters in water and sediment of urban in a subtropical city, Guangzhou, South China. **Environmental International**. 34: 372-380.

ภาคผนวก ก
กราฟมาตรฐาน และสถานะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลาย DEHP



```

10.042 1 1 4.80000e-2 5.09481 9.42135e-3 + 1 DEHP
2 9.70000e-2 14.65384 6.61942e-3
3 1.95000e-1 9.62402 2.02618e-2
4 3.90000e-1 17.21415 2.26558e-2
5 7.81000e-1 18.37126 4.25120e-2
6 1.56000 35.75856 4.36259e-2
7 3.12500 65.14014 4.79735e-2
8 6.25000 117.72415 5.30902e-2
9 12.50000 221.82013 5.63520e-2
10 25.00000 425.88611 5.87011e-2

```

Instrument 1 6/8/2018 1:09:39 PM Girinath

Method C:\CHEM32\1\METHODS\PANTIWA_6MARCH18_FRONT_CURVE.M

RetTime [min]	Lvl Sig	Amount	Area	Amt/Area	Ref Grp Name
11	50.00000	788.45599	6.34151e-2		
12	100.00000	1900.41028	5.26202e-2		
13	200.00000	3593.10547	5.56622e-2		

Peak Sum Table

รูปภาพผนวกที่ ก.1 Calibration curve ของ DEHP

ก.2 สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟฟี

Mode	Splitless
Heater	On 255 °C
Pressure	On 9.5291 psi
Total Flow	On 79.5 mL/min
Septum Purge Flow	On 3 mL/min
Gas Saver	On 20 mL/min After 2 min
Purge Flow to Split Vent	75 mL/min at 0.5 min
Column #1	
Agilent 19091J-413: 3365.54736	
HP-5 5% Phenyl Methyl Siloxane	
325 °C: 30 m x 320 µm x 0.25 µm	
In: Back SS Inlet He	
Out: Back Detector FID	
(Initial)	110 °C
Pressure	9.5291 psi
Flow	1.5 mL/min
Average Velocity	29.668 cm/sec
Holdup Time	1.6853 min
Flow Program	On
1.5 mL/min for 0 min	
Run Time	16.5 min
Back Detector FID	
Heater	On 300 °C
H2 Flow	On 30 mL/min
Air Flow	On 300 mL/min
Makeup Flow	On 25 mL/min
Const Col + Makeup	Off
Flame	On
Electrometer	On
Signals	
Back Signal	Save On 50 Hz
Test Plot	Save Off 50 Hz
Test Plot	Save Off 50 Hz
Test Plot	Save Off 50 Hz

รูปภาพผนวกที่ ก.2 สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟฟี

ภาคผนวก ข
ปริมาณสารประกอบ DEHP ในดินตะกอน และปูทะเล

ตารางภาคผนวกที่ ข.1 ปริมาณสารประกอบ DEHP ในดินตะกอน

สถานี	ชื่อย.	พื้นที่	DEHP mg/kg	DEHP เฉลี่ย mg/kg \pm SD	OC gOC/g-soil	DEHP mg/kgOC	DEHP เฉลี่ย mg/kgOC \pm SD
สะติงหม้อ	a1	3.3045	0.0781	0.09 \pm 0.01	0.1888	0.4138	0.45 \pm 0.04
	a2	3.6744	0.0829		0.1903	0.4358	
	a3	3.7681	0.0842		0.1909	0.4409	
	a4	4.8253	0.0979		0.1908	0.5130	
	a5	4.1139	0.0887		0.1911	0.4639	
อยู่ตะเภา	b1	275.2671	3.6154	3.59 \pm 0.29	0.1910	18.9286	18.53 \pm 0.29
	b2	294.5006	3.8655		0.2083	18.5539	
	b3	241.0741	3.1706		0.1699	18.6662	
	b4	292.0210	3.8333		0.2100	18.2554	
	b5	263.4124	3.4612		0.1899	18.2282	
ลำโรง	c1	25.3984	0.3655	0.34 \pm 0.03	0.1499	2.4379	2.29 \pm 0.19
	c2	22.9424	0.3335		0.1499	2.2251	
	c3	23.8013	0.3447		0.1501	2.2965	
	c4	20.2199	0.2981		0.1496	1.9923	
	c5	25.9040	0.3721		0.1499	2.4817	
พะวง	d1	15.3941	0.2354	0.25 \pm 0.01	0.1320	1.7833	1.87 \pm 0.11
	d2	17.9357	0.2684		0.1320	2.0341	
	d3	16.6280	0.2514		0.1320	1.9052	
	d4	16.3419	0.2477		0.1319	1.8773	
	d5	15.2605	0.2336		0.1320	1.7704	
ปากรอก	e1	10.1483	0.1671	0.18 \pm 0.02	0.1800	0.9286	1.01 \pm 0.08
	e2	11.8534	0.1893		0.1800	1.0520	
	e3	10.1960	0.1678		0.1802	0.9309	
	e4	12.9265	0.2033		0.1802	1.1280	
	e5	11.0461	0.1788		0.1800	0.9935	
ปากจำ	f1	5.3897	0.1052	0.10 \pm 0.01	0.1804	0.5834	0.56 \pm 0.04
	f2	4.4886	0.0935		0.1804	0.5184	
	f3	4.2475	0.9041		0.1814	0.4983	
	f4	5.6372	0.1085		0.1810	0.5992	
	f5	5.3229	0.1044		0.1812	0.5760	
ภูมิ	g1	7.4690	0.1323	0.13 \pm 0.01	0.1760	0.7515	0.72 \pm 0.06
	g2	7.2453	0.1294		0.1761	0.7345	
	g3	5.7482	0.1099		0.1761	0.6241	
	g4	7.3748	0.1311		0.1760	0.7448	
	g5	7.5760	0.1337		0.1760	0.7596	
บางกล้า	h1	5.5175	0.1069	1.10 \pm 0.01	0.1978	0.5405	0.52 \pm 0.05
	h2	4.7854	0.0974		0.1976	0.4929	
	h3	5.0944	0.1014		0.1975	0.5134	
	h4	6.3155	0.1173		0.1975	0.5938	
	h5	4.5441	0.0942		0.1976	0.4769	

ตารางภาคผนวกที่ ข.2 ปริมาณสารประกอบ DEHP ในปูทะเล

สถานี	ชื่อตย.	พื้นที่	DEHP mg/kg	DEHP เฉลี่ย mg/kg \pm SD
สะติงหม้อ	a1	0.6092	0.098	0.10 \pm 0.01
	a2	0.5770	0.096	
	a3	0.7581	0.106	
	a4	0.7422	0.106	
	a5	0.8811	0.113	
อู่ตะเภา	b1	4.8656	0.332	0.33 \pm 0.02
	b2	4.2360	0.297	
	b3	5.2739	0.354	
	b4	5.2677	0.354	
	b5	4.9163	0.335	
ลำโรง	c1	2.8926	0.224	0.23 \pm 0.02
	c2	2.7105	0.214	
	c3	2.8085	0.219	
	c4	3.6491	0.265	
	c5	3.3165	0.247	
พะวง	d1	2.3195	0.192	0.20 \pm 0.01
	d2	2.6890	0.212	
	d3	2.6890	0.212	
	d4	2.6028	0.208	
	d5	2.3784	0.195	
ปากรอ	e1	2.1226	0.181	0.17 \pm 0.01
	e2	2.0373	0.177	
	e3	1.8346	0.165	
	e4	1.7059	0.158	
	e5	1.6101	0.153	
ปากจำ	f1	0.9905	0.119	0.13 \pm 0.01
	f2	0.9306	0.116	
	f3	1.2059	0.131	
	f4	1.3098	0.137	
	f5	1.3694	0.140	
ภูมิ	g1	1.3721	0.140	0.15 \pm 0.01
	g2	1.5861	0.152	
	g3	1.1976	0.131	
	g4	1.6616	0.156	
	g5	1.5986	0.153	
บางกล้า	h1	1.3551	0.139	1.13 \pm 0.01
	h2	1.2393	0.133	
	h3	1.4114	0.142	
	h4	1.2527	0.134	
	h5	1.1134	0.126	

ภาคผนวก ค
การประกันคุณภาพ

ตารางภาคผนวกที่ ค.1 ค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery)

ตัวอย่าง	DEHP spike (mg/l)	วัดได้			mean±SD	% Recovery			mean±SD	CV
		1	2	3		1	2	3		
ปู	blank	0.318898	0.294334	0.291823	0.2263±0.01					
	1.5	1.65634	1.68975	1.86207	1.7361±0.11	89.1628	93.02773	104.6831	95.62±8.08	8.45
	12.5	12.84583	12.95656	12.38182	12.7281±0.30	100.2155	101.2978	96.71998	99.41±2.39	2.41
	50	50.60603	51.63695	52.0083	51.4171±0.73	100.5743	102.6852	103.433	102.23±1.48	1.45
ดิน	blank	1.391	1.2194	1.16691	1.2591±0.12					
	1.5	2.672032	2.62436	2.66079	2.6524±0.02	85.40213	93.664	99.592	92.89±7.13	7.67
	12.5	13.33741	13.85965	13.05125	13.4161±0.41	95.57126	101.122	95.07472	97.26±3.36	3.45
	50	55.62459	54.43214	54.12127	54.7260±0.79	108.4672	106.4255	105.9087	106.93±1.35	1.27

ตารางภาคผนวกที่ ค.2 วิธีการวิเคราะห์สถิติแบบ ANOVA Tukey Test

Multiple Comparisons						
(I) soil	(J) soil	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
สทิงหม้อ	อู่ตะเภา	-18.0729800*	.7208395	.000	-20.407994	-15.737966
	สำโรง	-1.8332200	.7208395	.214	-4.168234	.501794
	พะวง	-55.7689000*	.7208395	.000	-58.103914	-53.433886
	ปากร่อ	-.5531200	.7208395	.994	-2.888134	1.781894
	ปากจำ	-1.015800	.7208395	1.000	-2.436594	2.233434
	ภูมี	-.2694200	.7208395	1.000	-2.604434	2.065594
	บางกล้า	-.0700200	.7208395	1.000	-2.405034	2.264994
อู่ตะเภา	สทิงหม้อ	18.0729800*	.7208395	.000	15.737966	20.407994
	สำโรง	16.2397600*	.7208395	.000	13.904746	18.574774
	พะวง	-37.6959200*	.7208395	.000	-40.030934	-35.360906
	ปากร่อ	17.5198600*	.7208395	.000	15.184846	19.854874
	ปากจำ	17.9714000*	.7208395	.000	15.636386	20.306414
	ภูมี	17.8035600*	.7208395	.000	15.468546	20.138574
	บางกล้า	18.0029600*	.7208395	.000	15.667946	20.337974
สำโรง	สทิงหม้อ	1.8332200	.7208395	.214	-.501794	4.168234
	อู่ตะเภา	-16.2397600*	.7208395	.000	-18.574774	-13.904746
	พะวง	-53.9356800*	.7208395	.000	-56.270694	-51.600666
	ปากร่อ	1.2801000	.7208395	.640	-1.054914	3.615114
	ปากจำ	1.7316400	.7208395	.274	-.603374	4.066654
	ภูมี	1.5638000	.7208395	.396	-.771214	3.898814
	บางกล้า	1.7632000	.7208395	.255	-.571814	4.098214
ปากร่อ	สทิงหม้อ	.5531200	.7208395	.994	-1.781894	2.888134
	อู่ตะเภา	-17.5198600*	.7208395	.000	-19.854874	-15.184846
	สำโรง	-1.2801000	.7208395	.640	-3.615114	1.054914
	พะวง	-55.2157800*	.7208395	.000	-57.550794	-52.880766
	ปากจำ	.4515400	.7208395	.998	-1.883474	2.786554
	ภูมี	.2837000	.7208395	1.000	-2.051314	2.618714
	บางกล้า	.4831000	.7208395	.997	-1.851914	2.818114

ตารางภาคผนวกที่ ค.2 วิธีการวิเคราะห์สถิติแบบ ANOVA Tukey Test ในตัวอย่างดินตะกอน(ต่อ)

Multiple Comparisons

(I) soil	(J) soil	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
ปากจำ	สitingหม้อ	.1015800	.7208395	1.000	-2.233434	2.436594
	อู่ตะเภา	-17.9714000*	.7208395	.000	-20.306414	-15.636386
	ลำโรง	-1.7316400	.7208395	.274	-4.066654	.603374
	พะวง	-55.6673200*	.7208395	.000	-58.002334	-53.332306
	ปากรอก	-.4515400	.7208395	.998	-2.786554	1.883474
	ภูมี	-.1678400	.7208395	1.000	-2.502854	2.167174
	บางกล้า	.0315600	.7208395	1.000	-2.303454	2.366574
ปากจำ	สitingหม้อ	.1015800	.7208395	1.000	-2.233434	2.436594
	อู่ตะเภา	-17.9714000*	.7208395	.000	-20.306414	-15.636386
	ลำโรง	-1.7316400	.7208395	.274	-4.066654	.603374
	พะวง	-55.6673200*	.7208395	.000	-58.002334	-53.332306
	ปากรอก	-.4515400	.7208395	.998	-2.786554	1.883474
	ภูมี	-.1678400	.7208395	1.000	-2.502854	2.167174
	บางกล้า	.0315600	.7208395	1.000	-2.303454	2.366574
ภูมี	สitingหม้อ	.2694200	.7208395	1.000	-2.065594	2.604434
	อู่ตะเภา	-17.8035600*	.7208395	.000	-20.138574	-15.468546
	ลำโรง	-1.5638000	.7208395	.396	-3.898814	.771214
	พะวง	-55.4994800*	.7208395	.000	-57.834494	-53.164466
	ปากรอก	-.2837000	.7208395	1.000	-2.618714	2.051314
	ปากจำ	.1678400	.7208395	1.000	-2.167174	2.502854
	บางกล้า	.1994000	.7208395	1.000	-2.135614	2.534414
บางกล้า	สitingหม้อ	.0700200	.7208395	1.000	-2.264994	2.405034
	อู่ตะเภา	-18.0029600*	.7208395	.000	-20.337974	-15.667946
	ลำโรง	-1.7632000	.7208395	.255	-4.098214	.571814
	พะวง	-55.6988800*	.7208395	.000	-58.033894	-53.363866
	ปากรอก	-.4831000	.7208395	.997	-2.818114	1.851914
	ปากจำ	-.0315600	.7208395	1.000	-2.366574	2.303454
	ภูมี	-.1994000	.7208395	1.000	-2.534414	2.135614

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ภาคผนวก ง
ภาพการเก็บตัวอย่าง และการทดลอง



รูปภาพผนวกที่ ง.1 การเก็บตัวอย่างดินตะกอน



รูปภาพผนวกที่ ง.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง



รูปภาพผนวกที่ ง.3 การเตรียมตัวอย่างปูทะเล



รูปภาพผนวกที่ ง.4 การเตรียมตัวอย่างดินตะกอน



รูปภาพผนวกที่ ง.5 ตัวอย่างดินตะกอนและปุทะเลที่เก็บรักษาไว้ในตู้ดูดความชื้น



รูปภาพผนวกที่ ง.6 เครื่องอัลตราโซนิก สำหรับสกัดตัวอย่าง



รูปภาคผนวกที่ ง.7 เครื่อง SPE Manifold



รูปภาคผนวกที่ ง.8 การสกัดตัวอย่าง

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาว พันทิวา อินทวงศ์
 รหัสประจำตัวนักศึกษา 5610920023
 วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (อนามัยสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	2553

ทุนการศึกษา

- ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2557
- ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย (ศสอ.) และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

พันทิวา อินทวงศ์ และ บรรจง วิทยวีรศักดิ์. (2561). ปริมาณการปนเปื้อนของสารประกอบ ได-2-เอทิลเฮกซิล) ทาเลต (DEHP) ในดินตะกอนบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่าง. การประชุมวิชาการระดับนานาชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา. 19-20 กรกฎาคม พ.ศ. 2561.