การใช้ไรแดงตรวจคัดกรองปริมาณสาร ได-(2-เอทธิลเฮ็กซิล) ทาเลต ที่ถูกชะออกจากถุงบรรจุเลือดและขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใส

Use of *Moina macrocopa* in a Screening Test of di-(2-ethylhexyl) phthalate Leached out from Blood Bags and Drinking Water Bottles

ศุภรัตน์ แก้วมณี

Supparat Kaewmanee

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

การใช้ไรแดงตรวจคัดกรองปริมาณสาร ได-(2-เอทธิลเฮ็กซิล) ทาเลต ที่ถูกชะออกจากถุงบรรจุเลือดและขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใส

Use of *Moina macrocopa* in a Screening Test of di-(2-ethylhexyl) phthalate Leached out from Blood Bags and Drinking Water Bottles

ศุภรัตน์ แก้วมณี
Supparat Kaewmanee

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 การใช้ไรแดงตรวจคัดกรองปริมาณสาร ได-(2-เอทธิลเฮ็กซิล) ที่ถูกชะออกจากถุงบรรจุเลือดและขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใส
ผู้เขียน นางสาวศุภรัตน์ แก้วมณี
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

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

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ สุวรรณโณ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิไลรัตน์ ชีวะเศรษฐธรรม)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล อินทระสังขา)

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

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสาง)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

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

.....
(นางสาวศุภรัตน์ แก้วมณี)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวศุภรัตน์ แก้วมณี)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้ไรแดงตรวจคัดกรองปริมาณสาร ได-(2-เอทธิลเฮ็กซิล) ที่ถูกชะออกจากถุงบรรจุเลือดและขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใส
ผู้เขียน นางสาวศุภรัตน์ แก้วมณี
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจคัดกรองความเข้มข้นของสาร DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงบรรจุเลือดและขวดน้ำดื่มชนิดใส (ขวด PET) โดยใช้ไรแดงทดสอบความเป็นพิษของสาร DEHP แทนการวิเคราะห์ทางเคมีซึ่งเป็นวิธีการมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน การศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย 1) การทดสอบความเป็นพิษของน้ำชะถุงบรรจุเลือดและขวด PET ต่อไรแดง 2) การวิเคราะห์ปริมาณสาร DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงบรรจุเลือดและขวด PET 3) การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจคัดกรองความเข้มข้นของสาร DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงบรรจุเลือดและขวด PET

ผลการศึกษาพบว่าร้อยละการตายของไรแดงในน้ำชะถุงบรรจุเลือดและขวด PET แปรผันตามระดับการเจือจางของน้ำชะ ถุงบรรจุเลือดแต่ละยี่ห้อมีความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ที่ถูกชะออกมาอยู่ในช่วง 14.80 – 35.13 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ 3 ใน 4 ยี่ห้อมีการชะสาร DEHP สูงเกินค่ามาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม (15 มิลลิกรัมต่อสารละลายสกัด 100 มิลลิลิตร) ส่วนในตัวอย่างน้ำชะขวด PET มีปริมาณเฉลี่ยของสาร DEHP อยู่ในช่วง 0.0048 - 0.0141 มิลลิกรัมต่อลิตร โดย 6 ใน 8 ตัวอย่างมีปริมาณสาร DEHP เกินค่ามาตรฐานน้ำดื่มของ USEPA (0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร) พบว่าร้อยละการตายเฉลี่ยของไรแดงจากการทดสอบ 10 ซ้ำที่เวลา 24 ชั่วโมงมีค่าความไวและความจำเพาะสูงสุดต่อสารประกอบ DEHP ในน้ำชะที่ได้เจือจาง 1 เท่าตัว การศึกษานี้สรุปได้ว่าไรแดงสามารถนำมาใช้ตรวจคัดกรองความเข้มข้นของ DEHP ที่เกินค่ามาตรฐานในน้ำชะถุงบรรจุเลือดและขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใส (ขวด PET) ได้

Title: Use of *Moina macrocopa* in a Screening Test of di-(2-ethylhexyl) phthalate Leached out from Blood Bags and Drinking Water Bottles

Author: Miss Supparat Kaewmanee

Major: Environmental Management

Academic Year: 2017

ABSTRACT

The objective of this study was to develop a screening test for concentration of DEHP leached from blood containing bags and PET bottles by using an acute toxicity of the leachate on *Moina macrocopa* as a replacement for a standard chemical analysis method. This study consisted of 1) Toxicity tests of leachate from blood containing bags and PET bottles on *Moina macrocopa*. 2) Determination of DEHP leached from blood containing bags and PET bottles. 3) Optimization of the condition for a screening test of concentration of DEHP leached from blood containing bags and PET bottles.

It was found that the death percentage of *Moina macrocopa* in leachate from blood containing bags and PET bottles varied with the dilutions of the leachate. Chemical analyses revealed that the average DEHP concentration leached from blood containing bags were between 14.80 – 35.13 mg/L of which 3 out of 4 brands had DEHP exceeded the Ministry of Industry's standard limit (15 mg/100 ml of solvent). The average DEHP concentration leached from PET bottles were between 0.0048 - 0.0141 mg/L of which 6 out of 8 samples had DEHP exceeded the USEPA's drinking water standard limit (0.006 mg/L). It was found that the average % death of *Moina macrocopa* at t=24 hr from 10 replications of toxicity test of leachate with 1-fold dilution gave the highest sensitivity and specificity. In conclusion, *Moina macrocopa* could be used for screening of DEHP concentrations exceeding the standard limits of leachate from blood containing bags and PET bottles.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.ดร.บรรจง วิทยวีรศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ และแก้ไขความบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณ ผศ.ดร. สุวิทย์ สุวรรณโณ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.วิไลรัตน์ ชีวะเศรษฐธรรม และผศ.ดร. นุกูล อินทระสังขา คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข ตลอดจนพิจารณาตรวจสอบความถูกต้องจนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณศักดิ์ชัยบดี ปิ่นศรีทอง และคุณวัชระ แก้วสุวรรณ นักวิทยาศาสตร์ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คุณวราศรี พรหมหอม และคุณอัจฉราวดี สุขช่วย นักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการคณะการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ สนับสนุนการเบิกจ่ายอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนให้คำแนะนำถึงขั้นตอนการใช้เครื่องมือที่ถูกต้องในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย (ศสอ.) และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ผู้สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณสถานวิจัยการประเมินทางสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีการจัดการของเสีย คณะการจัดการสิ่งแวดล้อมผู้สนับสนุนทุนในการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณพันทิวา อินทวงศ์ คุณศิวัช พลายเสน และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวที่ให้กำลังใจและทุนการศึกษาตลอดมา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานหรือบุคคลที่สนใจต่อไป

ศุภรัตน์ แก้วมณี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(12)
สารบัญภาพ	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	3
1.2.1 การทดสอบความเป็นพิษในสิ่งมีชีวิต	3
1.2.2 การใช้ไรแดงทดสอบความเป็นพิษ	4
1.2.2.1 ชีววิทยาของไรแดง	4
1.2.2.2 ลักษณะทั่วไป	5
1.2.2.3 การสืบพันธุ์	5
1.2.2.4 วงจรชีวิตไรแดง	6
1.2.3 ภาชนะพลาสติก	7
1.2.3.1 พลาสติก (Plastics)	7
1.2.4 ประเภทของพลาสติกที่ใช้ในอุปกรณ์การแพทย์	9
1.2.5 สมบัติของพลาสติก	10
1.2.6 กระบวนการผลิตพลาสติก (Plastics Processing)	10
1.2.7 กระบวนการผลิตขวดน้ำดื่มชนิดใส (ขวด PET)	11
1.2.8 กรรมวิธีการผลิตถุงบรรจุเลือด	11
1.2.9 กระบวนการผลิตถุงบรรจุเลือด (Production)	11
1.2.10 การควบคุมและประกันคุณภาพของถุงบรรจุเลือด (Quality Control and Quality Assurance)	12
1.2.11 การใช้สารเสริมสภาพพลาสติกในพีวีซี	12
1.2.12 สารเคมีที่นำมาใช้เป็นพลาสติไซเซอร์	13
1.2.13 ชนิดของพลาสติไซเซอร์	14
1.2.14 ทาเลต (Phthalates)	15
1.2.15 การปนเปื้อนของสารทาเลตลงสู่อาหาร	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
1.2.16 การได้รับสารทาเลตของมนุษย์ (Human Intake)	16
1.2.16.1 การสัมผัสสารประกอบ DEHP จากการประกอบอาชีพ	17
1.2.16.2 การสัมผัสสารประกอบ DEHP จากการใช้ผลิตภัณฑ์	17
1.2.16.3 การสัมผัสสารประกอบ DEHP ทางอ้อมผ่านทางสิ่งแวดล้อม	17
1.2.17 กระบวนการเผาผลาญและการแพร่กระจายของสารประกอบ DEHP	17
1.2.18 อันตรายของสารทาเลต	18
1.2.19 มาตรฐานระดับ DEHP ในผลิตภัณฑ์พลาสติก	19
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	21
1.5 ขอบเขตการวิจัย	21
1.6 กรอบแนวคิดการวิจัย	21
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	21
บทที่ 2 วิธีการวิจัย	23
2.1 สารมาตรฐานและวัสดุ	23
2.2 สารเคมี	24
2.3 เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์	24
2.4 วิธีดำเนินการวิจัย	26
2.4.1 การเตรียมอุปกรณ์เครื่องแก้ว	26
2.4.2 การเตรียมตัวอย่าง	26
2.4.2.1 การเพาะเลี้ยงไรแดง	26
2.4.4.2 การกำจัดสิ่งปนเปื้อนในไรแดงสำหรับการตรวจคัดกรองสาร	27
2.4.2.3 การเตรียมตัวอย่างน้ำชะขวดน้ำดื่ม	27
2.4.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน DEHP สำหรับการวิเคราะห์น้ำชะขวดน้ำดื่ม	27
2.4.4 การเตรียมตัวทำละลายสกัดสำหรับตัวอย่างถุงบรรจุเลือด	28
2.4.5 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน DEHP สำหรับการวิเคราะห์น้ำชะถุงบรรจุเลือด	28
2.4.6 แผนการทดลอง	29
2.4.6.1 การทดลองที่ 1 การวิเคราะห์ปริมาณสาร DEHP ในน้ำชะตัวอย่างถุงบรรจุเลือด	29
2.4.6.2 การทดลองที่ 2 การวิเคราะห์ปริมาณสาร DEHP ในน้ำชะตัวอย่างขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใส	29
2.4.6.3 การทดลองที่ 3 การตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP น้ำชะตัวอย่าง	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.6.4 การทดลองที่ 4 การหาประสิทธิภาพของวิธีการตรวจคัดกรองตัวอย่างน้ำชะ	31
2.5 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ทางเคมี	33
2.5.1 ความแม่น (Accuracy)	33
2.5.2 ความเป็นเส้นตรง (Linearity)	33
2.5.3 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (limit of detection, LOD) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณได้ (limit of quantitation, LOQ)	34
2.5.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation, CV)	34
2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	34
บทที่ 3 ผลการวิจัย และอภิปรายผล	35
3.1 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์สาร DEHP ในน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสและถุงบรรจุเลือด	35
3.2 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน DEHP และโครมาโทแกรมของน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใส	36
3.3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร DEHP ที่ตรวจพบจากวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีในน้ำชะถุงบรรจุเลือด	37
3.4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร DEHP ที่ตรวจพบจากวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีในน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใส	38
3.5 การตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP โดยการทดสอบความเป็นพิษของสารละลาย DEHP ด้วยไรแดง	38
3.6 การหาประสิทธิภาพของวิธีการตรวจคัดกรองสารในน้ำชะถุงบรรจุเลือดและขวดน้ำดื่มชนิดใส	40
3.7 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของวิธีการตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP ในน้ำชะถุงบรรจุเลือดและขวดน้ำดื่มชนิดใส	42
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	45
4.1 สรุปผลการวิจัย	45
4.1.1 ปริมาณสาร DEHP ที่ถูกชะมาจากถุงบรรจุเลือดและขวดน้ำดื่มชนิดใส	45
4.1.2 การคัดกรองสาร DEHP โดยการทดสอบความเป็นพิษด้วยไรแดง	45
4.1.3 การหาประสิทธิภาพของวิธีการตรวจคัดกรองสารในน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดและขวดน้ำดื่มชนิดใส	46

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	53
ภาคผนวก ก การคำนวณค่า LOD และ LOQ	53
ภาคผนวก ข ร้อยละการตายของไรแดง	56
ภาคผนวก ค ร้อยละการได้คืนกลับของสาร DEHP	69
ภาคผนวก ง กราฟมาตรฐานของสารละลาย DEHP	71
ภาคผนวก จ ปริมาณสาร DEHP เฉลี่ยในขวดน้ำดื่ม	73
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลทางสถิติ	76
ภาคผนวก ช ภาพและตัวอย่างการทดลอง	78
ประวัติผู้เขียน	84

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	ข้อดีและข้อด้อยของสิ่งมีชีวิตบางชนิดที่นำมาใช้ทดสอบความเป็นพิษ	3
2-1	สมบัติของตัวอย่างถุงบรรจุเลือดที่ใช้ในการศึกษา	23
2-2	สมบัติของตัวอย่างขวดน้ำดื่มที่ใช้ในการศึกษา	24
2-3	สภาวะการทำงานของเครื่อง GC สำหรับการวิเคราะห์ DEHP	30
2-4	การหาค่าความไวและความจำเพาะของวิธีการตรวจวิเคราะห์ใหม่ที่พัฒนาขึ้นมา	32
3-1	ค่าร้อยละการได้คืนกลับเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ช่วงความเข้มข้น 0.7-12 มิลลิกรัมต่อลิตรของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างน้ำชะจากขวดน้ำดื่ม	35
3-2	ค่าร้อยละการได้คืนกลับเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ช่วงความเข้มข้น 0.7-12 มิลลิกรัมต่อลิตรของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างน้ำชะจากถุงบรรจุเลือด	36
3-3	ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ที่พบในน้ำชะจากถุงบรรจุเลือด	37
3-4	ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ที่พบในน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใส	38
3-5	ร้อยละการตายเฉลี่ยของไรแดงในน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดที่ความเข้มข้นต่างๆที่เวลา 24 ชั่วโมง	39
3-6	ร้อยละการตายเฉลี่ยของไรแดงในน้ำดื่มบรรจุขวดที่ความเข้มข้นต่างๆที่เวลา 24 ชั่วโมง	39
3-7	ผลการตรวจคัดกรองจากร้อยละการตายของไรแดงที่ทดสอบในน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดที่ความเข้มข้นต่างๆที่เวลา 24 ชั่วโมง	40
3-8	ผลการตรวจคัดกรองจากร้อยละการตายของไรแดงที่ทดสอบในน้ำดื่มจากขวดใสที่ความเข้มข้นต่างๆที่เวลา 24 ชั่วโมง	41
3-9	ผลการตรวจคัดกรองตัวอย่างน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางเคมี	41
3-10	ผลการตรวจคัดกรองปริมาณ DEHP ในน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสด้วยวิธีวิเคราะห์ทางเคมี	42
3-11	ค่าความไวและความจำเพาะของวิธีการตรวจคัดกรองน้ำชะถุงบรรจุเลือดที่ความเข้มข้นต่างๆ	42
3-12	ค่าความไวและความจำเพาะของวิธีการตรวจคัดกรองน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสที่ความเข้มข้นต่างๆ	43
3-13	สภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิธีการตรวจคัดกรองน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสและถุงบรรจุเลือด	44

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางภาคผนวก		หน้า
ก-1	ค่าการดูดกลืนแสงของสัญญาณ blank	54
ก-2	ความเข้มข้นของสาร DEHP	55
ข-1	ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสยี่ห้อ A	57
ข-2	ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสยี่ห้อ B	58
ข-3	ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสยี่ห้อ C	59
ข-4	ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสยี่ห้อ D	60
ข-5	ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสยี่ห้อ E	61
ข-6	ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสยี่ห้อ F	62
ข-7	ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสยี่ห้อ G	63
ข-8	ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสยี่ห้อ H	64
ข-9	ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ A	65
ข-10	ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ B	66
ข-11	ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ C	67
ข-12	ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ D	68
ค-1	ร้อยละการได้คืนกลับของสาร DEHP ในน้ำชะถุงบรรจุเลือดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	69
ค-2	ร้อยละการได้คืนกลับของสาร DEHP ในน้ำชะขวดน้ำดื่มที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	70
จ-1	ปริมาณเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสาร DEHP ในน้ำชะขวดน้ำดื่ม	74
จ-2	ปริมาณเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสาร DEHP ในน้ำชะถุงบรรจุเลือด	75
ฉ-1	การเปรียบเทียบปริมาณ DEHP ในตัวอย่างน้ำชะขวดน้ำดื่มในแต่ละยี่ห้อ	77
ฉ-2	การเปรียบเทียบปริมาณ DEHP ในตัวอย่างน้ำชะขวดน้ำดื่มในแต่ละยี่ห้อ	77

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	วงจรชีวิตของไรแดง (*Moina macrocopa*)	5
1-2	ไรแดง	6
1-3	สูตรโครงสร้างโมเลกุล Di-(2-ethylhexyl)phthalate	15
1-4	กรอบแนวคิด	22
2-1	สาหร่ายคอลเรลลาสำหรับเพาะเลี้ยงไรแดง	26
2-2	การคัดเลือกไรแดงเพื่อนำไปตรวจคัดกรองสาร DEHP	27
2-3	เตรียมตัวอย่างน้ำชะด้วยเครื่องเขย่า (shaker)	27
2-4	จานอาหารเลี้ยงเชื้อบรรจุตัวอย่างน้ำชะสำหรับการตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP ด้วยไรแดง	31
3-1	โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน DEHP ที่ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร	36
3-2	โครมาโทแกรมของตัวอย่างน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใส	37

ภาพภาคผนวก

ง-1	กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ของสารละลาย DEHP ที่ความเข้มข้น 0.05-200 มิลลิกรัมต่อลิตร	70
ง-2	กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ของสารละลาย DEHP ของตัวอย่างถุงเลือดที่ความเข้มข้น 0.01- 2 มิลลิกรัมต่อลิตร	70
ช-1	ตัวอย่างถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ A	79
ช-2	ตัวอย่างถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ B	79
ช-3	ตัวอย่างถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ C	79
ช-4	ตัวอย่างถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ D	80
ช-5	ตัวอย่างขวดน้ำดื่มยี่ห้อ A	80
ช-6	ตัวอย่างขวดน้ำดื่มยี่ห้อ B	80
ช-7	ตัวอย่างขวดน้ำดื่มยี่ห้อ C	81
ช-8	ตัวอย่างขวดน้ำดื่มยี่ห้อ D	81
ช-9	ตัวอย่างขวดน้ำดื่มยี่ห้อ E	81
ช-10	ตัวอย่างขวดน้ำดื่มยี่ห้อ F	82
ช-11	ตัวอย่างขวดน้ำดื่มยี่ห้อ G	82
ช-12	ตัวอย่างขวดน้ำดื่มยี่ห้อ H	82
ช-13	ขั้นตอนการสกัดตัวอย่างน้ำชะจากถุงเลือด	83
ช-14	ขั้นตอนการกำจัดสารปนเปื้อน	83
ช-15	ขั้นตอนการลดปริมาตรสารละลาย	83

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

สังคมปัจจุบันมีการนำวัสดุจำพวกพลาสติกมาใช้ในชีวิตประจำวันกันอย่างแพร่หลาย อีกทั้งยังมีการใช้งานที่เพิ่มขึ้นเนื่องจาก พลาสติกสามารถใช้ทดแทนวัสดุชนิดอื่นๆได้ เช่น ใช้ทำภาชนะบรรจุอาหาร สะดวก ราคาถูก และน้ำหนักเบา จึงมีการนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ประกอบกับการปรับปรุงสมบัติให้มีลักษณะตามที่ต้องการได้ อาศัยความแตกต่างของการเลือกชนิดวัตถุดิบ กระบวนการทางเคมี วิธีการผลิตหรือวิธีการขึ้นรูป และการปรับปรุงสมบัติบางประการด้วยการผสมสารเจือ (additives) เช่น สารคงสภาพ (stabilizer) สารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) และผงสี (pigments) เป็นต้น ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้สังคมปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์พลาสติกให้เลือกใช้ในหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน นับได้ว่าพลาสติกเป็นวัสดุที่เป็น “ตัวเลือกแรก” ในการนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ให้ใช้งานได้หลากหลาย มีประโยชน์มหาศาล แต่ขณะเดียวกันก็ก่อให้เกิดปัญหาหลายอย่าง เช่น ขยะพลาสติกที่กำจัดได้ยาก เพราะพลาสติกไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติโดยจุลินทรีย์ จึงนับว่าเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญอีกด้วย (นิทัศน์ จิระอรุณ, 2542) โดยเฉพาะพลาสติกในกลุ่มของขวดบรรจุน้ำดื่มที่มีการผลิตและบริโภคกันอย่างแพร่หลาย ถือว่าเป็นบรรจุภัณฑ์พกพา (portable packaging) ที่พบเห็นได้จากกิจกรรมต่างๆของมนษย์ สามารถตอบสนองความต้องการในชีวิตประจำวัน สะดวก และง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งปริมาณในการบรรจุครั้งเดียวเพียงพอต่อการบริโภคที่คนๆเดียวสามารถใช้งานได้ (ปุ่น คงเจริญเกียรติ, 2547) เนื่องจากบรรจุภัณฑ์เหล่านี้ใช้พลาสติกกลุ่มพีวีซีหรือพอลีไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride, PVC) ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมโยงเทอร์โมพลาสติกซึ่งทำให้เกิดความแข็งแรง (สมศักดิ์ วรมงคลชัย, 2547) และยังพบว่ามีแนวโน้มการใช้งานที่สูงขึ้นเนื่องจากเป็นพลาสติกที่มีราคาถูก มีความใส ไม่แตกง่าย น้ำหนักเบา และยังมีการนำไปใช้งานในด้านอื่นๆ เช่น งานก่อสร้าง ทำกรอบประตูและหน้าต่าง งานไฟฟ้า ทำฉนวนหุ้มสายไฟ งานด้านการแพทย์ ได้แก่ สายให้เลือด ถุงบรรจุเลือด ถุงน้ำเกลือ เป็นต้น บรรจุภัณฑ์ดังกล่าวมีการใส่สารเสริมสภาพพลาสติก di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) มากที่สุด ซึ่งทำหน้าที่แปรสภาพจากแข็งมาเป็นอ่อนนุ่มและยืดหยุ่น นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยโดยศูนย์พิษวิทยาแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (National Toxicology Program, NTP) พบว่าสาร DEHP และสารอื่นๆในกลุ่ม phthalate สามารถถูกชะออกมาจากถุงบรรจุภัณฑ์พลาสติกทางการแพทย์ที่ผลิตจาก PVC ได้ สาร DEHP นี้จะส่งผลรบกวนกระบวนการพัฒนาระบบสืบพันธุ์เพศชายเมื่อได้รับในปริมาณมาก (พรพรรณ หนูสวัสดิ์, 2555) พบว่าสารกลุ่ม phthalate สามารถระเหยออกมาที่ผิวผลิตภัณฑ์และเกิดการปนเปื้อนในอาหาร ของเล่น ผลิตภัณฑ์สำหรับเด็กอ่อนและผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ผลิตจากพีวีซี สาร DEHP และสาร diisononyl phthalate (DINP) สามารถเคลื่อนย้ายออกจากผลิตภัณฑ์พีวีซีได้ที่อุณหภูมิเพียง 50 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ สาร dioctyl phthalate (DOP) ยังถูกชะออกจากผลิตภัณฑ์พีวีซีได้ง่ายในสภาวะที่เป็นด่างและจะส่งผลต่อระบบสืบพันธุ์ ทำให้อัณฑะของลูกหนูเกิดใหม่พิการ (นวดล เพ็ชรวัฒนา, 2554)

จะเห็นว่าเมื่อผู้บริโภคใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกข้างต้นเป็นเวลานาน อาจจะส่งผลให้ได้รับสารพิษเข้าสู่ร่างกายจากการสัมผัสหรือการรับประทานสารที่ปนเปื้อนนี้เข้าไป

ในการศึกษาปริมาณการถูกชะออกมาของสาร DEHP จากขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใสและถุงบรรจุเลือดเพื่อพัฒนาวิธีการตรวจคัดกรองสาร DEHP ที่ถูกชะว่าเกินค่ามาตรฐานขององค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency, USEPA) และกระทรวงอุตสาหกรรมของไทยหรือไม่ เนื่องจากเห็นว่าจะมีประโยชน์ต่อการดูแลสุขภาพของผู้บริโภคเป็นอย่างมาก ควรจะมีการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนและเผยแพร่ข้อมูลให้กับผู้บริโภคได้ตระหนักถึงความสำคัญในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ถูกสุขลักษณะและปลอดภัย การตรวจสอบบรรจุภัณฑ์พลาสติกว่ามีการปนเปื้อนและปลดปล่อยสารพิษที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภค ในปัจจุบันต้องใช้วิธีการวิเคราะห์ทางเคมีในการตรวจวัดปริมาณสารที่ปนเปื้อน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์สูง โดยเฉพาะเมื่อต้องวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวนมาก การพัฒนาวิธีการตรวจคัดกรองสารที่ปนเปื้อนโดยเลือกใช้สิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมในการทดสอบปริมาณความเป็นพิษของสารที่ปนเปื้อนจะช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายได้อย่างมาก ผู้วิจัยจึงต้องการพัฒนาวิธีการตรวจคัดกรองสารโดยใช้สิ่งมีชีวิตมาทดสอบความเป็นพิษในห้องปฏิบัติการ ระยะเวลาในการทดสอบกับสิ่งมีชีวิตควรสั้น การนำสาหร่ายมาใช้มักเกิดปัญหาในการเพาะเลี้ยงที่ทำได้ยากและใช้เวลานานจึงไม่เหมาะสมในการทดสอบ (Farre และ Barcelo, 2003) ส่วนปลาต้องใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 4-6 วันและต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะในการเลี้ยง ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย (Bartram และ Balance, 1996) การใช้ไรน้ำและแบคทีเรียสามารถทำได้ในระยะเวลาสั้น แต่แบคทีเรียจำเป็นต้องมีการเพาะเชื้อในตู้ปลอดเชื้อที่ควบคุมอุณหภูมิจึงมีข้อจำกัดมากกว่าการใช้ไรน้ำ การใช้ไรน้ำมักเป็นที่นิยมในต่างประเทศเนื่องจากไรน้ำมีสมบัติที่เหมาะสมในการบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อม จำแนกลักษณะได้ง่าย เตรียมตัวอย่างได้จำนวนมากและพบได้ทั่วไปในน้ำจืด แต่ต้องอยู่ในแหล่งน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำในเขตอบอุ่น มีรายงานการทดลองนำไรน้ำ (*Daphnia magna*) มาตรวจคัดกรองสารพิษที่ถูกชะออกมาจากผลิตภัณฑ์พลาสติก (Lithner, 2008) แต่ในประเทศไทยไม่มีไรน้ำชนิดนี้ เนื่องจากมีอุณหภูมิสูงกว่าในเขตอบอุ่น ในการศึกษานี้จึงเลือกใช้สิ่งมีชีวิตที่มีสมบัติใกล้เคียงกับไรน้ำชนิดนี้ นั่นคือไรแดง (*Moina macrocopa*) ซึ่งพบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ สามารถเพาะเลี้ยงได้ง่าย ทั้งยังมีวงจรชีวิตสั้นๆประมาณ 4-5 วันเท่านั้น (ลัดดา วงรัตน์, 2541) มีรายงานการวิจัยในประเทศไทยที่เลือกใช้ไรแดงในการทดสอบสารเคมี ยกตัวอย่างเช่น การใช้ไรแดงทดสอบความเป็นพิษของสีย้อม (วารุณี ฉัตรเท, 2547) และการใช้ไรแดงตรวจคัดกรองสาร DEHP ในตัวอย่างถุงมือที่ใช้สัมผัสอาหาร ซึ่งพบว่าน้ำชะถุงมือสัมผัสอาหารยี่ห้อต่างกันทำให้เกิดความเป็นพิษต่อไรแดงต่างกัน โดยมีค่าความเข้มข้นของสารละลาย DEHP ที่ทำให้เกิดอัตราการตายของไรแดงร้อยละ 50 (LC_{50}) เท่ากับ 4.41 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (กิตติญา วรุตมพันธ์, 2556) แสดงว่ามีความไวต่อพิษของสาร DEHP ผู้วิจัยจึงสนใจเลือกใช้ไรแดงมาเป็นตัวชี้วัดความเป็นพิษของสาร DEHP ที่ถูกชะออกมาจากตัวอย่างพลาสติกและเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาใช้คัดกรองตัวอย่างน้ำชะเบื้องต้นเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวนมากได้

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 การทดสอบความเป็นพิษในสิ่งมีชีวิต

การทดสอบความเป็นพิษของสารเคมีต่อสิ่งมีชีวิตสามารถแบ่งออกได้เป็นการทดสอบความเป็นพิษในร่างกายสิ่งมีชีวิต (*in vivo*) และการทดสอบความเป็นพิษในภาชนะทดลอง (*in vitro*) เพื่อตรวจสอบความสามารถของสารเคมีที่ทำให้เกิดพิษ สภาวะที่สารนั้นมีกลไกการเกิดพิษ ผลการทดสอบจะใช้เป็นข้อมูลเพื่อประเมินความเสี่ยงอันตรายต่อสารเคมี จุดประสงค์ของการทดสอบความเป็นพิษคือ ต้องการลดอัตราเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ ในการทดสอบมีข้อกำหนดไว้ว่าจะต้องดำเนินการแบบมีมนุษยธรรมและจริยธรรม สิ่งมีชีวิตที่นิยมใช้ในการทดสอบความเป็นพิษของน้ำและน้ำเสียได้แสดงไว้ในตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 ข้อดีและข้อเสียของสิ่งมีชีวิตบางชนิดที่นำมาใช้ทดสอบความเป็นพิษ

ชนิดของสิ่งมีชีวิต	การทดสอบความเป็นพิษ	ข้อดี-ข้อเสีย	อ้างอิง
<u>ปลา</u> Rainbow trout, Fathead minnow	- วัดอัตราการเจริญเติบโต	<u>ข้อดี</u> - มีความไวต่อความเป็นพิษ <u>ข้อเสีย</u> - ต้องใช้อุปกรณ์ในการเลี้ยงโดยเฉพาะ - ต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญ	Farre and Barcelo (2003)
<u>แบคทีเรีย</u> *Pseudomonas, Klebsiella, Escherichia, Aeromonas*, *Bacillus, Vibrio*	- วัดการเจริญเติบโตในอาหาร การหายใจและกิจกรรมของเอนไซม์	<u>ข้อดี</u> - สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว <u>ข้อเสีย</u> - วิธีการทดสอบความเป็นพิษมีความยุ่งยาก	สมคิด ปราบภัย (2545)
<u>สาหร่าย</u> *Selenastrum capricornutum* หรือ *Dunaliella tertiolecta*	- วัดการเจริญเติบโตโดยการนับจำนวนสาหร่าย (ระยะเวลาการทดสอบ 72-96 ชั่วโมง)	<u>ข้อดี</u> - มีความไวต่อความเป็นพิษ <u>ข้อเสีย</u> - เพาะเลี้ยงได้ยาก	Farre and Barcelo (2003)

ตารางที่ 1-1(ต่อ) ข้อดีและข้อเสียของสิ่งมีชีวิตบางชนิดที่นำมาใช้ทดสอบความเป็นพิษ

ชนิดของสิ่งมีชีวิต	การทดสอบความเป็นพิษ	ข้อดี-ข้อเสีย	อ้างอิง
<u>สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง</u> Cladocerans (*Daphnia* และ *Ceriodaphnia*) *Moina macrocopa* นอกจากนี้ ยังมีพวกกุ้ง หอยนางรม	- เป็นการวัดร้อยละการตาย (ระยะเวลาการทดสอบ 24-48 ชั่วโมง)	<u>ข้อดี</u> - มีความไวในการตอบสนองต่อสารพิษ - เพาะเลี้ยงง่าย <u>ข้อเสีย</u> มีความไวต่อสารเคมีบางชนิด	Farre and Barcelo (2003)

1.2.2 การใช้ไรแดงทดสอบความเป็นพิษ

1.2.2.1 ชีววิทยาของไรแดง

ไรแดงอยู่ในสกุล Moina มีชื่อสามัญว่า water flea โดยทั่วไปพบ 2 ชนิด คือ *Moina macrocopa* และ *Moina micrura* เป็นสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังพวก Crustacean ซึ่งจัดเข้าในพวกแพลงค์ตอนสัตว์ (zooplankton) เป็นสัตว์น้ำจืดที่มีขนาดเล็ก สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ลำตัวมีสีส้มหรือสีค่อนข้างแดง มีคุณสมบัติใช้เป็นสัตว์สำหรับบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อม มีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศทางน้ำ อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำทั่วไป จำแนกลักษณะได้ง่าย เตรียมตัวอย่างได้จำนวนมาก สะสมมวลได้ง่าย มีข้อมูลลักษณะทางนิเวศวิทยาเพียงพอ มีความแปรปรวนในระดับยีนน้อย และมีความสำคัญด้านเศรษฐกิจ (ลัดดา วงรัตน์, 2541)

สามารถจำแนกทางอนุกรมวิธานได้ดังนี้

Phylum Arthropoda
Subphylum Mandibulata
Class Crustacea
Subclass Branchiopoda (Phyllpoda)
Order Cladocera (Water Flea)
Suborder Calyptomera
Family Daphniidae
Genus *Moina*
Species *Moina macrocopa* Straus.

ฤดูกาลที่พบไรแดงคือ พบได้ทั้งฤดูร้อนและฤดูฝน เพราะในช่วงฤดูฝนน้ำจะเป็นตัวนำอาหารจากที่ต่าง ๆ มาเลี้ยงไรแดง เมื่อเข้าสู่ฤดูแล้งน้ำเริ่มแห้งทำให้ปริมาณไรแดงหนาแน่นขึ้น (สมคิด ปราบภัย, 2545)

1.2.2.2 ลักษณะทั่วไป

ไรแดงเพศเมียจะมีขนาดใหญ่กว่าเพศผู้ คือตัวเมียมีขนาดประมาณ 0.6 x1.3 มิลลิเมตร ส่วนตัวผู้มีขนาดประมาณ 0.4 x 0.6 มิลลิเมตร ไรแดง 1 ตัว หนักประมาณ 0.2 มิลลิกรัม ลำตัวของไรแดงมีเปลือกเกือบทั้งหมด ส่วนหัวมีลักษณะกลมใหญ่ มีหนวดคู่ที่ 2 อยู่ข้างส่วหัว ลำตัวเป็นปล้องบริเวณเปลือกทุก ๆ ข้อต่อมีแขนงคล้ายขนนก ไรแดงมีขา 5 คู่อยู่ที่อก ไม่สามารถสังเกตได้ชัดเจนเนื่องจากเปลือกหุ้มอยู่ (ลัดดา วงรัตน์, 2543) ไรแดงเป็นแพลงก์ตอนสัตว์ที่อยู่ในน้ำจืด ชอบน้ำที่มีความเป็นด่างเพียงเล็กน้อย ประมาณ 7.5 - 8.5 ดังนั้นน้ำที่นำมาเลี้ยงควรปรับให้เป็นด่างเพื่อให้ไรแดงสามารถอาศัยอยู่ได้

1.2.2.3 การสืบพันธุ์

ไรแดงมีการสืบพันธุ์อยู่ 2 แบบ คือ แบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ

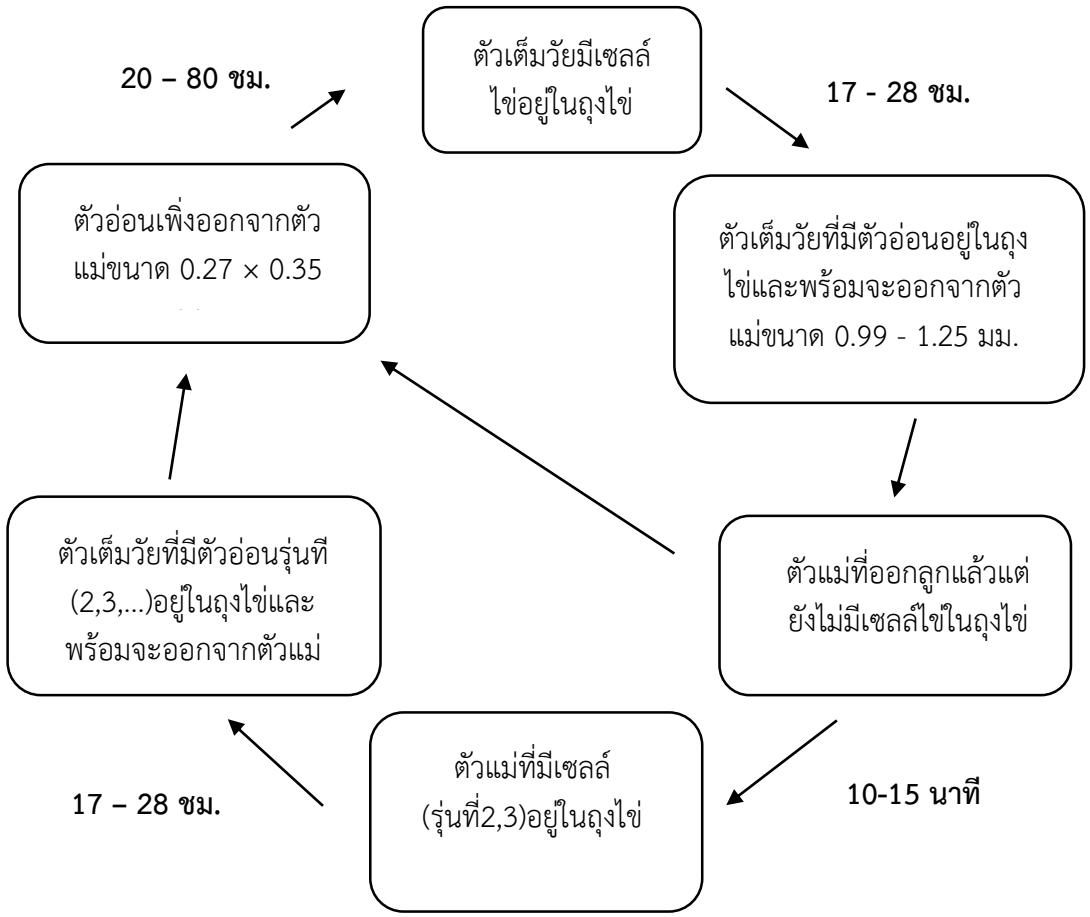
- แบบอาศัยเพศ ในสภาวะแวดล้อมที่ผิดปกติ เช่น น้ำเสีย อุณหภูมิที่แปรปรวน (สูงหรือต่ำเกินไป) ความเป็นกรด-ด่างไม่เหมาะสมหรือขาดแคลนอาหาร ไรแดงจะเพิ่มปริมาณเพศผู้มากขึ้น เมื่อไรแดงเพศเมียได้รับการผสมพันธุ์จากเพศผู้จะสร้างไข่ขึ้นอีกชนิดหนึ่ง โดยสร้างเปลือกหนามาห่อหุ้มไว้ แม่ไรแดง 1 ตัวสร้างไข่ได้ 2 ฟอง จากนั้นตัวเมียก็จะตายลง เนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต เมื่อสภาวะแวดล้อมกลับสู่สภาวะปกติไข่ดังกล่าวจะเจริญเป็น parthenogenesis egg อีกครั้งหนึ่ง และถูกทิ้งให้อบริเวณอยู่ก้นบ่อหรือก้นแหล่งน้ำ โดยไข่เปลือกแข็งนี้สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้นานและฟักออกเป็นตัวเมื่อสภาวะแวดล้อมที่ดีขึ้นและมีอาหารที่อุดมสมบูรณ์ ไรแดงจะมีช่วงการดำรงชีวิตอยู่นานระหว่าง 95-156 ชั่วโมงและเมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสมสามารถขยายพันธุ์ได้ถึง 5 รุ่น โดยในแต่ละรุ่นจะให้ลูกเฉลี่ย 15 ตัว

- แบบไม่อาศัยเพศ ไรแดงเพศเมียจะไข่แล้วฟักเป็นตัวโดยไม่ต้องผสมกับไรแดงเพศผู้ ไข่ชนิดนี้สามารถเจริญเป็นตัวอ่อนโดยไม่ต้องอาศัยเชื้อตัวผู้เพื่อการผสมพันธุ์ โดยมีจำนวนไข่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและความสมบูรณ์ของตัวแม่ โดยปกติไรแดงจะมีอายุระหว่าง 4 – 6 วัน แพร่พันธุ์ได้ 1 - 5 ครั้ง หรือเฉลี่ย 3 ครั้ง ๆ ละ 19 – 23 ตัว (รัชนีบูลย์ ทิพย์เนตร และนันทิยา สมหวัง, 2543) ทั้งนี้สภาวะแวดล้อมจะต้องเหมาะสม

ภาพที่ 1-1 ไรแดง
ที่มา: https://bettabest.wordpress.com/tag/

1.2.2.4 วงจรชีวิตของไรแดง

ไรแดงแต่ละตัวสามารถผลิตลูกได้ 2 ครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งจะใช้เวลาห่างกัน 24 - 36 ชั่วโมง ให้ลูกแต่ละครั้งเฉลี่ย 8-14 ตัว หลังจากตัวแม่ให้ลูกครบ 2 ครั้งแล้วตัวก็จะตาย เมื่อรวมระยะวงจรชีวิตปกติของไรแดงตั้งแต่เกิดจนตายใช้เวลาประมาณ 99-144 ชั่วโมงสามารถสรุปขั้นตอนตามวงจรชีวิตได้ดังภาพที่ 1-2



ภาพที่ 1-2 วงจรชีวิตของไรแดง (*Moina macrocopa*)
ที่มา: (ลัดดา วงรัตน์, 2543)

1.2.3 ภาชนะพลาสติก

1.2.3.1 พลาสติก (Plastics)

พลาสติก หมายถึง สารสังเคราะห์จำพวกโพลิเมอร์ โดยในกระบวนการผลิตจะนำสารประกอบของ คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน เช่น อะซีโตน ฟีนอล ฟอร์มาลดีไฮล์ และเอทิลเบนซีน ผ่านกรรมวิธีต่าง ๆ ทำให้ได้พลาสติกที่มีลักษณะแตกต่างกัน ซึ่งพลาสติกส่วนใหญ่ใช้วัตถุดิบที่นำมาจากแก๊สธรรมชาติและปิโตรเลียม แบ่งตามสมบัติและลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

(1) เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

เป็นพลาสติกชนิดที่เกิดการหลอมเมื่อได้รับความร้อนและกลับแข็งตัวได้หากทิ้งไว้ที่อุณหภูมิต่ำลง สามารถนำมาหลอมใช้ใหม่ได้ ซึ่งยังคงสมบัติต่าง ๆ ของพลาสติกไว้หรือมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมเพียงเล็กน้อย อาจจะกล่าวได้ว่าพลาสติกสามารถทำให้ร้อน (reheat) และการอัดเพื่อนขึ้นรูป (remold) ใหม่ได้ตามต้องการ ตัวอย่างพลาสติกประเภทนี้ที่นิยม ได้แก่ ภาชนะบรรจุอาหาร (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550)

1.1 โพลีเอทิลีน (Polyethylene, PE)

เป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกที่มีการใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมภาชนะบรรจุเนื่องจากราคาต่ำและมีสมบัติทางการบรรจุที่ดีหลายประการ (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550) เพราะสามารถทำเป็นภาชนะบรรจุได้หลายรูปแบบและราคาถูก ใช้มากที่สุดในการทำถุงเนื่องจากมีราคาถูกและใช้ความร้อนทำให้เกิดการเชื่อมปิดได้ดี นอกจากทำเป็นถุงแล้ว ยังใช้ทำภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ชนิดที่ต้องการความแข็งแรง ใช้งานได้หลายรูปแบบและราคาถูก อาจทำฟิล์มสำหรับห่อชนิดหดตัวได้ (shrink wrapping) มีคุณสมบัติคือ มีลักษณะยืดหยุ่นและแข็ง ปกติโพลิเอทิลีนไม่ละลายในตัวทำละลาย แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส จะเริ่มพองและละลายด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น โทลูอีน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ไซลีน และไตรคลอโรเอทิลีน โพลิเอทิลีนนิยมนำมาใช้เป็นเครื่องบรรจุภัณฑ์ เช่น ถุง/ซองใส่อาหาร กระเป๋า ขวดบรรจุน้ำดื่ม แผ่นฟิล์ม เป็นต้น ปกติโพลิเอทิลีนที่ใช้มักจะมีการผสมสารต่างๆซึ่งการผสมสารเติมแต่งเหล่านี้ช่วยทำให้คุณภาพในการใช้งานเหมาะสมดียิ่งขึ้น

โพลีเอทิลีนมี 2 ชนิด คือโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) และโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) ทั้ง 2 ชนิดมีโมโนเมอร์มาจากเอทิลีน

1.1.1 โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เป็นวัสดุที่มีการใช้งานมากที่สุดในอุตสาหกรรมการบรรจุ ทั้งในรูปอ่อนตัวและภาชนะบรรจุคงรูป สมบัติทั่วไปคือเหนียว โปร่งแสง ป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดี ต้านทานการซึมของไขมันไม่ดี ไม่ทนทานในอุณหภูมิที่สูง แต่ทนทานอุณหภูมิต่ำได้ดี ปิดผนึกความร้อนได้ง่าย โดยใช้อุณหภูมิเพียง 106-112 องศาเซลเซียส (Soraka, 2002) การใช้งานทั่วไปของ LDPE ได้แก่ ถุงเย็น ถุงข้าวสาร ถุงน้ำตาลทราย ขวดน้ำดื่มแบบขาวขุ่น ขวดนมพาสเจอร์ไรซ์

1.1.2 โพลิเอทธิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายตรง มีความแข็งแต่ยืดหยุ่นได้สูง เติมแต่งด้วยสีสันที่หลากหลายได้ ยกเว้นขวดบรรจุน้ำดื่มจะขุ่นกว่าขวด PET ทนต่อสารเคมี มีน้ำหนักเบา และราคาถูก จึงนิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำยาทำความสะอาด แชมพู แป้งเด็ก และถุงพลาสติก นอกจากนี้ยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของความชื้น นิยมใช้ทำขวดนม ทั้งยังสามารถนำกลับมารีไซเคิลเป็นภาชนะชนิดต่าง ๆ ได้ เช่น ขวดใส่น้ำยาซักผ้า แท่งไม้อัดสังเคราะห์ในงานอุตสาหกรรม

1.2 โพลีโพรพิลีน (Polypropylene – PP)

เป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกในตระกูลพอลิโอเลฟินส์ (Polyolefins) เช่นเดียวกับ PE มีการใช้กันมากในอุตสาหกรรมการบรรจุ มีความทนทานสูงกว่าโดยเฉพาะทนต่ออุณหภูมิ คุณสมบัติทั่วไปคล้ายโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ทั้งด้านกายภาพและด้านเคมี แต่มีคุณภาพ ความทนทานและแข็งแรงกว่า ลักษณะของโพลีโพรพิลีนโปร่งแสง และแวววาว มีจุดหลอมละลายที่ 150 องศาเซลเซียส จึงสามารถทำให้ปราศจากเชื้อโดยใช้ตู้อบไอน้ำได้ ป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนและความชื้นได้ดีกว่าโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ แต่น้อยกว่าโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ทนน้ำมันได้ดีกว่าโพลีเอทิลีน ค่อนข้างเฉื่อยต่อสารเคมี ทนต่อกรดน้ำส้ม กรดฟอสฟอริค กรดแก่ และด่างแก่ แต่ไม่สามารถทนต่อกรดออกซิไดซิ่งชนิดแก่ได้ จะสลายตัวเมื่อสัมผัสกับสารฮาโลเจน โดยเฉพาะโบรมีน สามารถผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยวิธีรีด เป่า และฉีด ชนิดของผลิตภัณฑ์คล้ายคลึงกับโพลีเอทิลีน ใช้ทำแผ่นพลาสติก ถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน หลอดดูดพลาสติก และฝาจุก เป็นต้น

1.2.1 โพลีเอททิลีน เทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate, PET)

PET ทนแรงกระแทก ไม่เปราะแตกง่าย สามารถทำให้ใสมาก มองเห็นสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในจึงนิยมใช้บรรจุน้ำดื่ม น้ำมันพืชและเครื่องสำอาง นอกจากนี้ ขวด PET ยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซได้เป็นอย่างดี จึงใช้เป็นภาชนะบรรจุน้ำอัดลมและสามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้

1.2.2 โพลีสไตรีน (Polystyrene, PS)

PS เป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างเบนซีนและแก๊สเอทิลีน พลาสติกชนิดนี้มีลักษณะใสมากเหมือนแก้ว แต่สามารถทำเป็นฝ้าทึบหรือใส่สีได้ เวลากระทบกับของแข็งจะให้เสียงคล้ายโลหะ ค่อนข้างแข็งและมีความคงรูปดี แต่เปราะง่าย ไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของแก๊สและความชื้น ทนความร้อนได้ต่ำ มีจุดหลอมละลายเพียง 87 องศาเซลเซียส ทนต่อด่างได้พอสมควรไม่สามารถทนต่อกรดออกซิไดซิ่งและกรดแลคติค จะเกิดรอยแตกหรือร้าวเนื่องจากตัวทำละลายบางชนิดเช่น เอทานอล PSทำปฏิกิริยากับตัวทำละลายหลายชนิด เช่น คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ เป็นต้น นิยมใช้ทำถ้วย ถาด แก้วที่ใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง ถาดโฟมก็เป็นพลาสติกชนิดนี้ถ้านำใช้บรรจุของร้อนถาดโฟมจะหลอมละลายออกมาปนเปื้อนในอาหาร

1.2.3 โพลีไวนิล คลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC)

เป็นพลาสติกแข็งเหมาะสำหรับทำท่อ เช่น ท่อประปา ทำให้นิ่มโดยใส่สารพลาสติกไซเซอร์ ใช้ทำสายยางใส แผ่นฟิล์มสำหรับหุ้มอาหาร ม่านในห้องอาบน้ำ แผ่นพลาสติกปูโต๊ะ

ขวดใส่แชมพูสระผม เนื่องจาก PVC เป็นพลาสติกแข็ง สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนของสถาปัตยกรรมสิ่งก่อสร้าง เช่น ประตู หน้าต่าง วงกบ และหนังเทียม PVC สามารถนำกลับมารีไซเคิลเพื่อผลิตท่อประปาสำหรับงานทางการเกษตร หรือนำมาใช้ประกอบเป็นเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น

(2) เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastic)

เป็นพลาสติกที่มีสายโพลิเมอร์ลักษณะแบบมีสายข้างเคียง (side chain) มาก สายข้างเคียงเหล่านี้เกิดการเชื่อมต่อกันหรือเกิด cross linked ขึ้น สัมผัสความร้อนพลาสติกจะเกิดการอ่อนตัวและกลับมาแข็งตัวใหม่หากให้ความร้อนต่อไปเรื่อยๆระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งระยะเวลาที่พลาสติกเกิดการแข็งตัวเรียกว่า setting time ซึ่งจะแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของพลาสติก การแข็งตัวที่เกิดขึ้นหลัง setting time จะเป็นการแข็งตัวแบบถาวรซึ่งจะไม่สามารถใช้ความร้อนทำให้มันอ่อนตัวลงหรือหล่อหลอมได้อีก (สาคร คันธโชติ, 2541) ตัวอย่างพลาสติกประเภทนี้ที่นิยมในการทำภาชนะบรรจุอาหาร ได้แก่

2.1 เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ (Melamine formaldehyde)

เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์เป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมเซตติง ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเมลามีนและฟอร์มาลดีไฮด์ โดยมีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นพลาสติกที่ไม่มีสี จึงสามารถทำให้เป็นสีต่างๆได้โดยการเติมสีลงในกระบวนการผลิต มีสมบัติทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นและทนต่อปฏิกิริยาเคมีต่างๆได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยาก ทนต่อการขีดข่วนดี ตามปกติไม่ทำปฏิกิริยากับสารอนินทรีย์ แต่จะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์บางตัว เช่น คลอโรฟอร์ม คาร์บอนเตตราคลอไรด์ นิยมทำเป็นภาชนะบรรจุอาหารชนิดต่างๆ เช่น ถ้วย จาน ชาม เป็นต้น (ปราณี วิเศษ, 2551)

1.2.4 ประเภทของพลาสติกที่ใช้ในอุปกรณ์การแพทย์

พลาสติกถูกนำมาใช้งานในวงการแพทย์อย่างกว้างขวางเนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะที่เป็นที่ยอมรับ โดยพลาสติกที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตมี 3 กลุ่มดังนี้

1. พลาสติกที่ใช้งานโดยทั่วไป เช่น polyvinyl chloride (PVC)
2. พลาสติกใช้งานทางวิศวกรรม เช่น polycarbonate (PC)
3. เทอร์โมพลาสติก อีลาสโตเมอร์ เช่น thermoplastic polyurethane (TPU)

สำหรับตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นพลาสติกในกลุ่มที่ใช้งานทั่วไปคือ polyvinyl chloride (PVC) ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีความเหนียวและแข็ง
2. หากเติมสารพลาสติไซเซอร์ (Plasticized PVC) จะมีความยืดหยุ่นมากขึ้น อุปกรณ์ทางการแพทย์กลุ่มนี้ได้แก่ ถุงมือผ่าตัด ขาเทียม กรอบมือเทียม ถุงบรรจุเลือด ท่อลำเลียงเลือด ท่อดูด (suction pipe) กระเปาะชุดให้น้ำเกลือ (infusion drip chamber) (Plastic Foresight, 2013)

1.2.5 สมบัติของพลาสติก

1. สมบัติทางกล มีความแข็งแรง เหนียว ยืดหยุ่น ทนแรงกระแทกได้ดี
2. สมบัติทางไฟฟ้า เป็นฉนวนไฟฟ้า
3. สมบัติทางเคมี มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีจุดหลอมเหลวสูงตั้งแต่ 80-150 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิต่ำจะแข็งตัว มีน้ำหนักเบา ทนกรด ด่างและสารเคมีอื่นๆได้ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2539)

1.2.6 กระบวนการผลิตพลาสติก (Plastics Processing)

พลาสติกเป็นสารสังเคราะห์ที่มีความเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีโดยใช้ผลิตภัณฑ์จากโรงแยกก๊าซธรรมชาติและจากโรงกลั่นน้ำมันมาเป็นวัตถุดิบ ได้แก่ เอทิลีน โพรพิลีน มีเทน และแนฟทาเป็นหลักร่วมกับเซลลูโลสจากธรรมชาตินำมาเข้ากระบวนการเปลี่ยนแปลงให้เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ และผสมส่วนอื่นๆเข้าไปด้วย เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน ซิลิคอน คลอรีน ฟลูออรีน เป็นต้น ทำให้ได้วัสดุสังเคราะห์ในรูปของโพลิเมอร์หลายๆชนิดเข้าไปแทนวัสดุจากธรรมชาติซึ่งมีโลหะเป็นแกนนำ

พลาสติกเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตแบบต่อเนื่อง ขั้นตอนหนึ่งสู่อีกขั้นตอนต่อไป โดยการผลิตพลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

1. อุตสาหกรรมผลิตเม็ดพลาสติกหรือพลาสติกกึ่งสำเร็จรูป (plastic resin) เริ่มจากนำวัตถุดิบซึ่งได้มาจากส่วนหนึ่งของน้ำมันดิบที่เรียกว่า “แนฟทา” ผ่านขั้นตอนการเกิดโพลิเมอร์ (polymerization) เพื่อให้ได้โพลิเมอร์ตามที่ต้องการ จากนั้นจึงเติมสารเติมแต่ง (additive) ต่างๆ รวมทั้งสีถ้าต้องการใช้ลงไปตามกรรมวิธีการรผลิตของพลาสติกแต่ละชนิดเพื่อให้เป็นเม็ดพลาสติกหรือผงพลาสติกที่พร้อมจะนำไปทำผลิตภัณฑ์ต่างๆต่อไป

2. การนำเม็ดพลาสติกไปใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกส่วนใหญ่ไม่จำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีที่ทันสมัยและต้นทุนไม่สูงมากนัก เริ่มจากการนำวัตถุดิบพลาสติกหรือเม็ดพลาสติกที่ไม่มีสี ซึ่งอาจอยู่ในรูปผง เม็ดและของแข็งมาผ่านกระบวนการผสมสีต่างๆตามที่เราต้องการแล้วนำมาผ่านกรรมวิธีผลิตแบบต่างๆซึ่งขึ้นกับประเภทของผลิตภัณฑ์พลาสติกเป็นสำคัญ โดยวิธีการผลิตและเทคนิคที่ใช้แบ่งออกเป็นดังนี้

2.1 Moulding เป็นการอัดแบบพลาสติกเม็ดและผงโดยใช้ความร้อนและแรงอัดในแม่พิมพ์

2.2 Casting เป็นการหล่อพลาสติกเหลว ซึ่งจะมีทั้งแบบหล่อร้อนและหล่อเย็น

2.3 Themoforming เป็นการขึ้นรูปร้อน แบ่งเป็น 3 ชนิด คืออัดด้วยแม่พิมพ์ แบบใช้สุญญากาศ และแบบเป่า

2.4 Reinforcing เป็นประเภทพลาสติกเหลวกับวัสดุเสริมแรง

2.5 Foaming ประเภทหล่อโฟมทั้งแบบพลาสติกเม็ดและพลาสติกเหลว

1.2.7 กระบวนการผลิตขวดน้ำดื่มชนิดใส (ขวด PET)

โพลีเอทิลีน เทเรฟทาเลต หรือ PET เป็นวัตถุดิบ โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมการผลิตขวดพลาสติกแบ่งเป็นหลายเกรด เช่น โฮโมพอลิเมอร์ โคโพลิเมอร์ การผลิตขวด PET ส่วนใหญ่มักจะใช้วัตถุดิบที่เป็นเกรดโคโพลิเมอร์ เนื่องจากทำการฉีดขึ้นรูปพรีฟอร์มได้ง่าย เมื่อผ่านขั้นตอนการเป่า ดึง และการยืด แล้วจะได้ขวด PET ที่มีความเหนียว ความใส และทนต่อแรงกระแทกได้ดี สำหรับขวด PET ที่บรรจุน้ำดื่มควรเลือกใช้เกรดที่มีความใสสูง หรืออาจมีสีฟ้าเพียงเล็กน้อย ซึ่งเกรดที่เหมาะสมคือเกรดที่มีปริมาณโคโพลิเมอร์ผสมอยู่ด้วย โดยมีค่าความหนืดอยู่ที่ 0.74 - 0.76 dl/g ถือเป็นค่าที่เพียงพอต่อความสามารถในการป้องกันการกระแทกของขวดน้ำดื่มได้

การผลิตขวดโพลีเอทิลีน เทเรฟทาเลต(PET) มักใช้กระบวนการเผาแบบดึงยืด (stretch blow moulding) กระบวนการขึ้นรูปแบบ 2 ขั้นตอน เริ่มจากการฉีดเม็ดพลาสติกให้เป็นพรีฟอร์ม (preform) แล้วเป่าพรีฟอร์มให้เป็นขวดน้ำ ขั้นตอนสำคัญ เริ่มจากการไล่ความชื้นในเม็ดพลาสติกให้เหลือไม่เกินร้อยละ 0.005 ก่อนหลอม เพื่อฉีดเป็นพรีฟอร์มในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างให้เป็นขวดโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสทำให้นิ่มก่อนเข้าสู่กระบวนการปรับแบบดึงยืด

จะเห็นได้ว่าพลาสติกกลุ่ม PET มีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการใช้ผลิตขวดพลาสติกเนื่องจากมีความใส มีน้ำหนักเบา ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ในส่วนของฝาขวดสามารถปิดได้สนิทจึงลดปัญหาการรั่วซึม นอกจากนี้ยังสามารถทนแรงกระแทกจากการตกที่ความสูง 2 เมตรโดยไม่แตกหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และที่สำคัญหลังการใช้งานเรายังสามารถนำขวด PET กลับมาแปรรูปใช้ใหม่หรือรีไซเคิลได้อีกด้วย (ธนาวดี ลี้จากภัย, 2547)

1.2.8 กรรมวิธีการผลิตถุงบรรจุโลหิต

การผลิตถุงบรรจุโลหิตจะใช้หลักการ Good Manufacturing Practice (GMP) เพื่อให้การผลิตเป็นไปตามหลักเกณฑ์มาตรฐานการผลิตที่ดี โดยมีการควบคุมคุณภาพตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต ทั้งสถานที่ เครื่องมือ วัตถุดิบรวมถึงการอบรมบุคลากรเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีและมีมาตรฐานตามเกณฑ์การควบคุมคุณภาพการผลิต ซึ่งวิธีการผลิตถุงบรรจุโลหิตแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1. กระบวนการผลิต (production)
2. การควบคุมและประกันคุณภาพ (quality control and quality assurance)

1.2.9 กระบวนการผลิตถุงบรรจุโลหิต (Production)

1. นำแผ่นพลาสติก PVC ชนิด medical grade ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะมาเชื่อมขึ้นรูปถุงด้วยระบบความถี่โดยแผ่นที่ใช้ Diethylhexylphthalate (DEHP) เป็นพลาสติกไซเซอร์นั้นจะใช้เก็บ whole blood และ Plasma ส่วนแผ่นอื่นที่ใช้ trioctyltrimelitate (TOTM) เป็นพลาสติไซเซอร์ จะใช้สำหรับเก็บ platelets และ plasma

2. นำสายที่พิมพ์ identification number และข้อต่อมาประกอบเข้ากันกับตัวถุงซึ่งจะได้เป็นถุงชนิดต่างๆทั้งถุงเดี่ยวและถุงชุดที่พร้อมนำไปบรรจุน้ำยาป้องกันการแข็งตัวของโลหิต (พิมล เชี่ยวศิลป์, 2543)

3. นำถุงมาบรรจุน้ำยาป้องกันการแข็งตัวของโลหิตที่ได้มาตรฐานแล้วปิดถุงด้วยเข็มเจาะโลหิต จากนั้นชั่งน้ำหนักเพื่อควบคุมปริมาตรแล้วนำไปทำให้ปราศจากเชื้อโดยวิธีอบไอน้ำ (steam sterilization autoclave)

4. นำมาบรรจุหีบห่อและรอผลจากการตรวจการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จ (finished product) ก่อนจะส่งผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปใช้ในงานการเจาะเก็บโลหิต (เพ็ญนิภา บุญวิสุทธิ์, 2544)

1.2.10 การควบคุมและประกันคุณภาพของถุงบรรจุโลหิต (Quality Control and Quality Assurance)

การควบคุมคุณภาพและประกันคุณภาพเป็นขั้นตอนสำคัญของกระบวนการผลิตตามมาตรฐาน GMP ซึ่งในการผลิตถุงบรรจุโลหิตได้มีการควบคุมคุณภาพในทุกขั้นตอนตั้งแต่กระบวนการผลิตจนได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย สถานที่ผลิต ต้องมีการควบคุมคุณภาพโดยผ่านการควบคุมความสะอาดควบคุมอุณหภูมิของสถานที่ ควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาใช้ให้เป็นไปตามมาตรฐานและควบคุมคุณภาพระหว่างการผลิต เช่น มีการตรวจสอบถุงเปล่าที่จะนำมาใช้ ตรวจสอบคุณภาพน้ำยาป้องกันการแข็งตัวของเลือด (anticoagulant) ก่อนจะมีการบรรจุควบคุมขนาดที่บรรจุ ตรวจสอบรอยรั่วตรวจสอบการติดฉลากและการบรรจุหีบห่อหลังจากได้ผลิตภัณฑ์แล้ว มีการตรวจสอบการทนต่อแรงเหวี่ยง ปริมาณฟองอากาศ การไหลของน้ำยา เป็นต้น (เพ็ญนิภา บุญวิสุทธิ์, 2544)

1.2.11 การใช้สารเสริมสภาพพลาสติกในพีวีซี

สารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) หมายถึงสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลและจุดเดือดสูง หน้าที่หลักของสารนี้คือทำให้พอลิเมอร์หรือพลาสติกแปรสภาพจากแข็งมาเป็นอ่อนนุ่มและยืดหยุ่น พอลิไวนิลคลอไรด์เป็นพอลิเมอร์ที่ใส่สารเสริมสภาพพลาสติกมากที่สุด ทำให้เพิ่มพื้นที่อิสระและทำให้โซ่พอลิเมอร์เกิดการเคลื่อนไหวระหว่างกันได้ง่ายขึ้นเมื่อได้รับความเค้น (ราชบัณฑิตยสถาน, 2551)

พลาสติไซเซชัน (plasticization) หมายถึงกรรมวิธีหรือกระบวนการที่ทำให้พอลิเมอร์เกิดการไหลแบบพลาสติก ซึ่งอาจทำได้โดยการให้ความร้อนหรือการใส่พลาสติไซเซอร์ การใส่พลาสติไซเซอร์จะไปลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของพอลิเมอร์ให้มีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น เป็นผลให้พอลิเมอร์อ่อนตัวและเปลี่ยนรูปร่างได้ง่าย

สารเสริมสภาพพลาสติกในพีวีซีเกิดขึ้นครั้งแรกโดย B.F. Goodrich ผลิตออกขายเชิงพาณิชย์ในปี ค.ศ. 1930 (Mulder and Knot, 2001) การเสริมสภาพพลาสติกมีกลไกการทำงานโดยเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของพีวีซีทำให้สมมาตรของโมเลกุลพีวีซีเสียและแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพีวีซีลดลง ส่งผลให้มีการเคลื่อนขยับหรือการไถลตัวของสายโซ่ได้มากขึ้น ทำให้พีวีซีมีความอ่อนตัวและยืดตัวได้ดี อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงสมบัติด้านการขึ้นรูปโดยสารเสริมสภาพพลาสติกช่วยลดความหนืดของพีวีซีขณะหลอมเหลว เกิดการไหลแบบพลาสติกและลดอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, Tg) โดยไม่เปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นฐานทางเคมีของพีวีซี (Edenbaum, 1992) กระบวนการผสมสารเสริมสภาพพลาสติกในพีวีซีโดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นเรียกว่า “การเสริมสภาพลาสติกภายนอก” (external plasticization) และเรียกสารเสริม

สภาพพลาสติกที่ผสมลงไปว่า “สารเสริมสภาพพลาสติกภายนอก” (external plasticizer) ขณะที่สารเสริมสภาพพลาสติกที่สามารถเข้ากันได้กับพีวีซีจนกลายเป็นส่วนหนึ่งของสายโซ่ของพีวีซี จะเรียกว่า “สารเสริมสภาพพลาสติกภายใน” (internal plasticizer) และเรียกกระบวนการนี้ว่า “การเสริมสภาพพลาสติกภายใน” (internal plasticization) (อรอุษา สรวารี, 2546)

ข้อดีของพลาสติไซเซอร์ภายนอกคือสามารถทำให้พอลิเมอร์มีความอ่อนตัวมากหรือน้อยได้ตามความต้องการใช้งานได้ โดยการปรับชนิดและปริมาณของพลาสติไซเซอร์ที่เจือเข้าไป แต่ข้อเสียคือพลาสติไซเซอร์อาจถูกสกัดออกจากพอลิเมอร์ได้ โดยทั่วไปแล้ว พลาสติไซเซอร์ภายนอกเป็นของเหลวที่มีจุดเดือดสูง มีความดันไอต่ำ ระเหยยาก ละลายได้ในพอลิเมอร์

1.2.12 สารเคมีที่นำมาใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ (Plasticizers)

สารเคมีที่นำมาใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ภายนอกมีหลายประเภท ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเอสเทอร์ โดยชนิดที่ใช้ในการผลิตมากที่สุดคือ phthalate esters ซึ่งสารที่มีการนำมาใช้มากที่สุด คือ di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) หรือเรียกว่า dioctyl phthalate (DOP)

พลาสติไซเซอร์ภายนอกใช้ในพอลิเมอร์หลายชนิด เช่น polyvinylchloride (PVC), polyvinylacetate, อนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่น cellulose nitrate, cellulose acetate และยาง เป็นต้น ซึ่ง PVC เป็นพอลิเมอร์ที่มีการใช้พลาสติไซเซอร์สูงสุด

โดยทั่วไปแล้ว เมื่อพลาสติไซเซอร์ไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ซึ่งสังเกตได้จากการที่พลาสติไซเซอร์เกิดการคายออกมาหรือเกิดเป็นฝ้าที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ หรือพบว่าสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลง ในบางครั้งอาจพบว่าพลาสติไซเซอร์สามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้กับพอลิเมอร์ในระหว่างการขึ้นรูป แต่หลังจากผ่านไปหลายเดือน พลาสติไซเซอร์อาจแยกตัวออกจากพอลิเมอร์ได้

ปัญหาสำคัญที่สุดของผลิตภัณฑ์ที่ใช้พลาสติไซเซอร์ภายนอก คือ มีความอ่อนตัว แต่ไม่ตลอดอายุการใช้งาน กล่าวคือระหว่างการใช้งาน ผลิตภัณฑ์จะมีสมบัติความอ่อนตัวลดลงหรือเปลี่ยนเป็นแข็งเปราะ ปัญหาดังกล่าวอาจเป็นผลจากพลาสติไซเซอร์ที่ใช้ไม่มีความคงตัวและเกิดการหลุดออกจากเนื้อพอลิเมอร์ สาเหตุที่ทำให้พลาสติไซเซอร์ไม่มีความคงตัวนั้น มีหลายประการ เช่น

- พลาสติไซเซอร์มีความดันไอต่ำจึงสามารถระเหยออกมาได้ โดยเฉพาะในภาวะอุณหภูมิสูง
- พลาสติไซเซอร์เข้ารวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ได้ไม่สมบูรณ์และค่อยๆ เยิ้มออกมาที่พื้นผิวผลิตภัณฑ์
- พลาสติไซเซอร์มีความสามารถในการละลายสูงกว่าพอลิเมอร์ จึงถูกสกัดออกด้วยเคมีภัณฑ์อื่นๆได้ง่าย ตัวอย่างเช่น การถูกสกัดออกด้วยน้ำยาซักแห้งเมื่อนำเครื่องนุ่งห่มไวนิลไปซักหรือถูกสกัดออกด้วยแก๊สโซลีนและน้ำมันหล่อลื่นของท่อพลาสติก เป็นต้น

วัตถุประสงค์ที่สำคัญรองลงมาในการใช้พลาสติไซเซอร์นอกเหนือจากการเพิ่มความอ่อนตัว ไม่เปราะให้กับพอลิเมอร์แล้ว ยังช่วยให้กระบวนการขึ้นรูปทำได้ง่ายขึ้น โดยพลาสติไซเซอร์จะทำให้พอลิเมอร์มีจุดหลอมเหลวและความหนืดขณะหลอมเหลวลดลง เกิดการไหลได้ง่ายขึ้น จึงกล่าวได้ว่านอกจากพลาสติไซเซอร์เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลแล้ว ยังเป็นสารช่วยในกระบวนการขึ้นรูป (processing modifiers) อีกด้วย ในกรณีที่ใช้พลาสติไซเซอร์เพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปให้กับพลาสติกชนิดแข็ง (rigid plastics) บางครั้งอาจเรียก พลาสติไซเซอร์ชนิดนี้ว่า “สารหล่อลื่นภายใน” (internal lubricants)

1.2.13 ชนิดของพลาสติไซเซอร์

เราสามารถแบ่งพลาสติไซเซอร์ตามโครงสร้างทางเคมี ได้ดังนี้ (อรอุษา สรวารี, 2546)

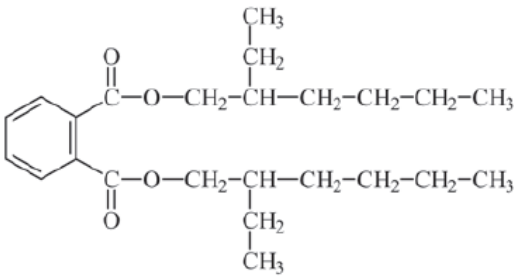
- Phthalate esters เป็นชนิดที่มีการนำมาใช้งานมากที่สุด มีราคาไม่แพง สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันระหว่าง phthalic anhydride และแอลกอฮอล์ สารประกอบ phthalates ที่ใช้เป็น plastizicers ที่สำคัญ ได้แก่ DMP, DBP, DIBP, BBP และ DEHP
- Trimellitate esters ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้มีความทนทานต่อความร้อนต่อการถูกสกัดออก แต่มีประสิทธิภาพในการเป็นพลาสติไซเซอร์ต่ำกว่า phthalates มีราคาแพง และไม่เหมาะสำหรับนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้มีคุณสมบัติดีที่อุณหภูมิต่ำ
- Aliphatic dicarboxylic acid esters ใช้ในกรณีที่ต้องการเพิ่มสมบัติความอ่อนตัวไม่เปราะที่อุณหภูมิต่ำให้กับผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีความทนทานต่อแสงยูวีสูง แต่มีความสามารถในการเข้ารวมตัวกับ PVC ได้จำกัด จึงต้องใช้ร่วมกับ phthalates
- Phosphate esters นิยมนำไปใช้ในกรณีที่ต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีความทนไฟ แต่มีราคาแพง และเร่งการสลายตัวของ PVC
- Polymeric plasticizers มีความต้านทานต่อการถูกสกัดออกด้วยน้ำมันและ aliphatic hydrocarbon ได้สูง
- พลาสติไซเซอร์อื่นๆ

1.2.14 ทาเลต (Phthalates)

ทาเลตเป็นสารเคมีที่ใช้มากในผลิตภัณฑ์พลาสติกประเภท PVC ที่เป็น consumer products โดยใช้เป็น plasticizers คือ สารที่ทำให้เนื้อพลาสติกมีความอ่อนตัวได้ (soft vinyl products) ซึ่ง PVC มักจะมีสารทาเลตผสมอยู่ในเนื้อพลาสติกประมาณร้อยละ 40 - 50 โดยน้ำหนัก ขึ้นอยู่กับประเภทของผลิตภัณฑ์ (นวดล เพ็ชรวัฒนา, 2554) พลาสติกประเภทนี้มักเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น

- ภาชนะใส่อาหาร เช่น ขวด ชาม ฟิล์มยืดหุ้มอาหาร
- เฟอร์นิเจอร์ เช่น พื้น วอลเปเปอร์
- เครื่องมือทางการแพทย์ เช่น ท่อสำหรับระบาย ถุงใส่เลือด
- ของเด็กเล็ก เช่น ขวดนม ของเล่น

ทาเลตมีสูตรโมเลกุล $C_{24}H_{38}O_4$ สูตรโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 1-3



รูปที่ 1-3 สูตรโครงสร้างโมเลกุล di-(2-ethylhexyl) phthalate
ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2549

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ di-(2-ethylhexyl) phthalate
ของเหลวข้นไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว

น้ำหนักโมลกุล	390.57	(Howard and Meylan, 1997)
จุดหลอมเหลว	-46 องศาเซลเซียส	(Staples, 1997)
จุดเดือด	230 องศาเซลเซียส	(Clayton and Clayton, 1993-1994)
อุณหภูมิที่ติดไฟได้เอง	390 องศาเซลเซียส	(NFPA, 1997)
ความหนาแน่น	0.984 กรัมต่อมิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	(Cadogan and Howick, 1996)
ความดันไอ	1.0×10^{-7} มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	(Staples, 1997)
การละลายน้ำ	41 ไมโครกรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	(Staples, 1997)

1.2.15 การปนเปื้อนของทาเลตสู่อาหาร

สารกลุ่มทาเลต (phthalate) เป็นกลุ่มสารเคมีที่ใช้เจือหรือพลาสติไซเซอร์ (plasticizers) ที่ผสมในโพลิเมอร์หรือการผลิตพลาสติกประเภทโพลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของสารกลุ่มทาเลตมิได้ยึดติดกับโพลิเมอร์ของพลาสติกเพียงแต่จะแพร่แทรกเข้าไปอยู่ระหว่างโมเลกุลพลาสติก ซึ่งอาจเกิดการหลุดลอกออกมาจากภาชนะบรรจุปนเปื้อนอาหารหรือสิ่งแวดล้อมได้ง่าย โดยเฉพาะในอาหารที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ เนื่องจากสารชนิดนี้ละลายได้ในไขมันและน้ำมัน

1.2.16 การได้รับสารทาเลตของมนุษย์ (Human Intake)

มนุษย์อาจสัมผัสสารประกอบ DEHP จากแหล่งกำเนิด (sources) หลายแหล่ง ตัวอย่างเช่น อากาศ น้ำ อาหาร ดิน ดินตะกอน และสิ่งมีชีวิต เป็นต้น และจากสิ่งแวดล้อมที่หลากหลาย เช่น การประกอบอาชีพ ที่อยู่อาศัย การใช้ผลิตภัณฑ์ การรักษาทางการแพทย์ และการสัมผัสทางอ้อมอื่นๆ (European Commission, 2008) เส้นทางการสัมผัสสารประกอบ DEHP ในมนุษย์ส่วนใหญ่คือทางการรับประทาน (ATSDR, 2002) ปัจจัยที่ใช้ประเมินว่ามนุษย์ได้รับอันตรายจากสารประกอบ DEHP ได้แก่ ปริมาณ (dose) ระยะเวลาการสัมผัสสาร (duration) และเส้นทางการสัมผัสสาร (route) นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยอื่นๆที่ต้องพิจารณาด้วย ตัวอย่างเช่น อายุ เพศ อาหาร ภาวะสุขภาพ เป็นต้น เด็กมีโอกาสสัมผัสสารประกอบ DEHP เช่นเดียวกัน ถ้าดื่มหรือกินอาหารที่มีการปนเปื้อนสารประกอบ DEHP หรือหายใจเอาอากาศที่มีสารประกอบ DEHP ปนเปื้อนภายในอาคาร เด็กทารกอาจสัมผัสสารประกอบ DEHP โดยการสัมผัสผ่านผิวหนังหรืออมของเล่นเด็กที่ทำจาก PVC ชนิดยืดหยุ่นและจุกนมยางที่มีสารประกอบ DEHP เป็นองค์ประกอบ ขณะเดียวกัน เด็กทารกอาจได้รับสารประกอบ DEHP ผ่านทางน้ำนมแม่ที่มีสารประกอบ DEHP ตกค้างในร่างกาย เด็กทารกที่คลอดก่อนกำหนดเป็นกลุ่มที่สัมผัสสารประกอบ DEHP สูงสุดจากการใช้อุปกรณ์ทางการแพทย์ที่มีสารประกอบ DEHP เป็นองค์ประกอบ (ATSDR, 2002)

ประชากรกลุ่มเสี่ยงจากการได้รับสาร DEHP ได้แก่ คนไข้ที่ได้รับเลือดหรือน้ำเกลือเป็นเวลานานเนื่องจาก DEHP ถูกชะออกจากอุปกรณ์พลาสติกจำพวกถุงบรรจุน้ำเกลือที่ผลิตจาก PVC ได้จากการตรวจวิเคราะห์ พบว่า DEHP มีความเข้มข้น 0.067 – 0.172 ไมโครกรัม/มิลลิลิตรในสารละลายบรรจุถุง PVC ที่ไม่มีการเขย่า แต่ถ้าถุงที่มีการเขย่าจะทำให้ DEHP ถูกชะออกมามากขึ้น ซึ่งตรวจพบได้ที่ความเข้มข้น 0.43 – 2.87 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร คนไข้ที่ได้รับน้ำเกลือที่อัตรา 2 ลิตร/วัน แต่ถ้าถุงดังกล่าวมีการเก็บที่ไม่ดี มีการกระแทกหรือเขย่าระหว่างการขนส่ง จะทำให้มีการชะออกมามากขึ้น คนไข้จึงได้รับ DEHP มากขึ้นเป็น 0.86-5.74 มิลลิกรัม/วัน

1.2.16.1 การสัมผัสสารประกอบ DEHP จากการประกอบอาชีพ

การสัมผัสสารประกอบ DEHP จากการประกอบอาชีพส่วนใหญ่เกิดขึ้นผ่านทางการหายใจ แต่สามารถสัมผัสผ่านทางผิวหนังได้ด้วยโดยเกิดขึ้นระหว่างการผลิตสารประกอบ DEHP การใช้สารประกอบ DEHP เป็นสารปรุงแต่ง และการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีสารประกอบ DEHP เป็นส่วนผสม (European Commission, 2008)

1.2.16.2 การสัมผัสสารประกอบ DEHP จากการใช้ผลิตภัณฑ์

การสัมผัสสารประกอบ DEHP จากการใช้ผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นได้จากแหล่งกำเนิดต่างๆ เช่น อากาศภายในอาคาร ภายในรถยนต์ ของเล่นเด็ก และผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เป็นต้น โดยเฉพาะการสัมผัสสารประกอบ DEHP ในเด็กเล็กจากของเล่นที่เด็กเอาเข้าปาก ซึ่งมีรายงานการศึกษาพบว่าน้ำลายมนุษย์สามารถละลายสารประกอบ DEHP จากผลิตภัณฑ์ได้ ผู้ป่วยที่ได้รับสัมผัสสารประกอบ DEHP ผ่านทางอุปกรณ์ทางการแพทย์ เช่น ท่อให้เลือด ถุงบรรจุเลือดและอาหารเหลว เป็นบุคคลที่ต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษเพราะบุคคลเหล่านี้มีความอ่อนแอหรือได้รับผลกระทบมากกว่าผู้ใหญ่ที่ปกติ (Swan, 2008; European Commission, 2008)

1.2.16.3 การสัมผัสสารประกอบ DEHP ทางอ้อมผ่านทางสิ่งแวดล้อม

การสัมผัสสารประกอบ DEHP ทางอ้อมผ่านทางสิ่งแวดล้อม เช่น อาหาร อากาศ น้ำ และฝุ่น (Swan, 2008) โดยเฉพาะบุคคลที่อาศัยในบริเวณใกล้เคียงกับโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ สารกันซึม (sealants) กาวเหนียว แล็คเกอร์ สีพลาสติก หมึกพิมพ์ โรงบำบัดน้ำเสียชุมชน และสถานที่รีไซเคิลกระดาษ รวมทั้งสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่กินไส้เดือน นกกินหอยและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในดินตะกอนในบริเวณดังกล่าวมีโอกาสได้รับสารประกอบ DEHPสูงกว่าปกติ (ATSDR, 2002; European Commission, 2008) การปนเปื้อนสารประกอบ DEHP ในอาหารเกิดขึ้นจากการใช้ PVC ในวัสดุบรรจุและห่อหุ้มอาหารหรือในกระบวนการผลิตอาหาร เป็นต้น (Varghese, 2010)

1.2.17 กระบวนการเผาผลาญและการแพร่กระจายของสารประกอบ DEHP

หลังจากที่สารประกอบ DEHP เข้าสู่ร่างกายโดยการดื่มหรือกิน สารประกอบ DEHP จะเกิดการสลายตัวในกระเพาะอาหารอย่างรวดเร็วไปเป็น mono (2-ethylhexyl) phthalate (MEHP) และ 2-ethylhexylhexanol แต่ถ้าได้รับสารประกอบ DEHP เข้าสู่กระแสเลือดโดยตรงผ่านการใช้อุปกรณ์ทางการแพทย์ที่มีสารประกอบ DEHP เป็นองค์ประกอบ เช่น ท่อให้เลือดและอาหาร สารประกอบ DEHP จะเกิดการสลายตัวช้า สารประกอบ MEHP ในกระเพาะอาหารถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้น้อย เมื่อสารประกอบ DEHP เข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดในร่างกาย จะเข้าสู่อวัยวะต่างๆในร่างกาย เช่น ตับ ไต อวัยวะสืบพันธุ์ เนื้อเยื่อต่างๆ และอาจสะสมในไขมันได้ ซึ่งมีโอกาสถูกขับออกในน้ำนมแม่ สารประกอบ DEHP, MEHP และ 2-ethylhexylhexanol จะถูกขับออกจากร่างกายผ่านปัสสาวะและอุจจาระภายใน 24 ชั่วโมง (ATSDR, 2002)

สารประกอบ DEHP สามารถถูกดูดซึมและแพร่กระจายเข้าสู่ร่างกายได้อย่างรวดเร็ว กระบวนการเผาผลาญสารประกอบDEHP เกิดขึ้นหลายขั้นตอนและมีสารแปรรูปเกิดขึ้นหลายชนิด ขั้นตอนการเผาผลาญสารประกอบ DEHP ที่สำคัญ คือ hydrolysis โดย lipase ไปเป็น monoester คือ mono(2-ethylhexyl)phthalate (MEHP) และ 2-ethylhexylhexanol MEHP จะเกิดปฏิกิริยา hydroxylation และ oxidation ไปเป็นสารแปรรูปขั้นที่2 (secondary metabolites) คือ mono (2-ethyl-5hydroxyhexyl) phthalate (5OH-MEHP) และ mono (2-ethyl-5oxohexyl) phthalate (5oxo-MEHP) (Koch *et al*, 2005) ซึ่งจะถูกขับออกทางปัสสาวะ แต่บางครั้งมีการขับออกทางน้ำดีด้วยซึ่งเกิดขึ้นในสัตว์ประเภทกัดแทะ มีรายงานว่า MEHP มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับมะเร็งในสิ่งมีชีวิตชั้นสูง (Barnabe, 2008) นอกจากนี้ มีรายงานแสดงว่าสารแปรรูปขั้นที่ 2 ของสารประกอบ DEHP มีพิษต่อตัวอ่อน (embryo) มากกว่า MEHP ถึง 100 เท่า และมีข้อมูลในสัตว์และมนุษย์แสดงให้เห็นว่าสารประกอบ DEHP สามารถส่งผ่านทางน้ำนมแม่ได้ด้วย สารแปรรูปที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญและถูกขับออกมามีความซับซ้อนและแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อายุ เพศ ความแตกต่างของแต่ละบุคคล ภาวะโภชนาการก่อนการสัมผัสสารประกอบ DEHP ปริมาณการสัมผัสสารประกอบ DEHP และเส้นทางการสัมผัส (European Commission, 2008)

1.2.18 อันตรายของทาเลต

- ผลต่อระบบทางเดินหายใจ ไม่มีรายงานที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ แต่จากการทดลองกับสัตว์ทดลองที่ความเข้มข้นสูงๆ จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจและระบบประสาทส่วนกลางถูกกดทำให้เกิดอาการปวดศีรษะเวียนศีรษะ คลื่นไส้อาเจียน
- ผลต่อระบบสัมผัส จากการทดลองเมื่อสัมผัสถูกผิวหนังที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 หรือ 7 ในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมสัมผัสผิวหนังมนุษย์ไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองภายใน 89 ชั่วโมง การสัมผัสถูกตา จะทำให้การระคายเคืองต่อตาเล็กน้อย ปวดตา น้ำตาไหล
- ผลต่อระบบทางเดินอาหาร การกลืนหรือกินเข้าไปทำให้เกิดอาการเวียนศีรษะ คลื่นไส้อาเจียน จากข้อมูลของศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์กล่าวว่า สารชนิดนี้ไม่เป็นสารก่อมะเร็งและไม่ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาของทารกในครรภ์ แต่มีผลทำลายไต ท่อไต กระเพาะปัสสาวะ ทางเดินอาหาร (สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม)

1.2.19 มาตรฐานระดับ DEHP ในผลิตภัณฑ์พลาสติก

มาตรฐานหรือข้อกำหนดเกี่ยวกับสาร DEHP ที่เติมลงในผลิตภัณฑ์พลาติกบรรจุอาหารในประเทศไทย ยังไม่มีการกำหนดถึงปริมาณการปนเปื้อนจากการเติมสารพลาสติไซเซอร์กลุ่มทาเลตเอสเทอร์ไว้อย่างชัดเจน ในขณะที่ Environmental Protection Agency ของสหรัฐอเมริกา (USEPA) ได้มีข้อกำหนดสำหรับสาร ได-(2-เอทธิลเฮ็กซิล) ทาเลต ในน้ำดื่มไว้ว่า ค่าความเข้มข้นของ DEHP สูงสุดที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่มไม่เกิน 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร (USEPA, 2002) และองค์การอนามัยโลกหรือ WHO ได้กำหนดปริมาณสาร DEHP สูงสุดในน้ำดื่มได้ไม่เกิน 0.008 มิลลิกรัมต่อลิตร หากมีปริมาณมากกว่านี้อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ (WHO, 1996)

นอกจากนี้ประเทศเนเธอแลนด์ยังให้ความสำคัญเกี่ยวกับสารพลาสติไซเซอร์กลุ่มทาเลตเอสเทอร์ที่เติมลงในกระบวนการผลิตถุงบรรจุเลือด เนื่องจากมีรายงานว่าในผู้ป่วยที่ได้รับสารกลุ่มนี้จากการได้รับเลือดหรือน้ำเกลือในโรงพยาบาลมีปริมาณสาร DEHP มากกว่าปกติ อาจมีผลจากการรักษาโดยการได้รับเลือดผ่านทางสายจากถุงบรรจุเลือด จึงได้มีข้อกำหนดมาตรฐานการเคลื่อนย้ายสารจากถุงบรรจเลือดไม่ให้มสาร DEHP เกิน 10 มิลลิกรัมต่อสารละลายเอทานอล 100 มิลลิลิตร อย่างไรก็ตามกระทรวงอุตสาหกรรมของประเทศไทยได้มีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานถุงบรรจุเลือดตามมอก. 1298-2555 ต้องมีปริมาณ DEHP ไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อสารละลายสกัด 100 มิลลิลิตร (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2555) เพื่อเป็นการกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยในกระบวนการผลิต

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการใช้สิ่งมีชีวิตในการทดสอบความเป็นพิษของสารในตัวอย่าง โดยใช้ไรแดงทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของผงซักฟอก 3 ยี่ห้อคือ Fab, Breeze, White Magic ต่อไรแดงในน้ำนิ่ง โดยใช้ 5 ระดับความเข้มข้นของสารละลายผงซักฟอก จากนั้นสังเกตการตอบสนองของไรแดงที่มีอายุน้อยกว่า 24 ชั่วโมง โดยสังเกตการตายร้อยละ 50 ภายในเวลา 24 ชั่วโมง (LC_{50}) พบว่าค่าเฉลี่ย LC_{50} ของ Fab, Breeze และ White magic เท่ากับ 28.1, 37.3 และ 16.8 ppm ตามลำดับ สรุปได้ว่าไรแดงมีความไวในการทดสอบ (ธนาภรณ์ จิตตปาลพงศ์, 2536) จากรายงานการประเมินความเป็นพิษแบบเรื้อรังและแบบเฉียบพลันในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมโดยใช้ *Daphnia magna* และ *Moina macrocopa* ใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 48 ชั่วโมง พบว่า *M. macrocopa* มีความไวต่อพิษเฉียบพลันมากกว่า *D. Magna* เนื่องจากไรแดงมีความไวและจำเพาะต่อสารนั้นกว่า (Yi et al., 2010)

ในการศึกษาความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของน้ำชะจากผลิตภัณฑ์พลาสติกของ Lithner และคณะในปี 2011 ที่ทำจาก polypropylene, polyethylene, PVC, acrylonitrile–butadiene–styrene และ epoxy โดยใช้ *Daphnia magna* ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้ถูกชะในน้ำปราศจากอิออนเป็นเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และนำน้ำชะไปทดสอบความเป็นพิษโดยใช้ *Daphnia magna* จากนั้นจำแนกความเป็นพิษโดยการกรองด้วย C18 และการเติม EDTA เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุความเป็นพิษที่เกิดจากโลหะไอออนบวก พบว่าน้ำชะของผลิตภัณฑ์พลาสติก PVC และ epoxy มีความเป็นพิษสูงสุด ในระยะเวลา 24-48 ชั่วโมง โดยมีค่า EC_{50} อยู่ในช่วง 2-235 กรัมต่อลิตร จากนั้นนำไปจำแนกความเป็นพิษโดยใช้วิธีการ tier ทำให้ทราบว่าความเป็นพิษ มาจากสารอินทรีย์

ละลายน้ำและโลหะที่มีประจุบวก ส่วนน้ำชะพลาสติก polypropylene, acrylonitrile–butadiene–styrene และพลาสติก PVC ไม่มีความเป็นพิษเมื่อใช้น้ำชะที่มีความเข้มข้นสูงสุด (250 กรัมของพลาสติกต่อลิตร) มีเพียงน้ำชะของผลิตภัณฑ์ HDPE ที่มีความเป็นพิษ ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Lithner ในปี 2008 ที่ได้ทดสอบความเป็นพิษในน้ำชะผลิตภัณฑ์พลาสติก 32 ผลิตภัณฑ์ โดยใช้ไรน้ำ *Daphnia magna* คัดกรองความเป็นพิษเป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยใช้วิธีการชะ 2 แบบ คือ bath test และ diffusion test พบค่า EC_{50} อยู่ในช่วง 5 - 80 กรัมต่อลิตร และยังพบว่าแผ่นซีดีมีความเป็นพิษมากที่สุด เนื่องจากมีซิลเวอร์เป็นส่วนประกอบ รองลงมาได้แก่ พลาสติกพีวีซีและพลาสติกยูรีเทน โดยพบว่าทั้งไรน้ำและไรแดงมีความไวต่อควมาเป็นพิษไม่ต่างกัน

พิไลพร สมพงศ์ (2554) ได้ศึกษาสภาวะที่มีผลต่อการชะออกมาของ DEHP จากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกที่สัมผัสอาหาร พบว่าที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและ 25 องศาเซลเซียสปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาไม่มีความแตกต่างกันแต่จะเพิ่มสูงขึ้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสและ 95 องศาเซลเซียส โดยจะถูกชะออกมามากที่สุดในเวลา 15 นาที และการศึกษาอิทธิพลของ pH เมื่อแช่ชิ้นส่วนของถุงมือที่ค่า pH 2, 4.6, 7 และ 9 เป็นระยะเวลา 1 วันถึง 1 สัปดาห์และ 1 เดือนพบว่าที่ค่า pH 2 และ 7 ถุงมือยางมีปริมาณ DEHP ชะออกมามากขึ้นที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์ ซึ่งจะแตกต่างจากถุงมือพลาสติกที่มีปริมาณ DEHP ถูกชะออกมาเพิ่มขึ้นที่ระยะเวลา 1 วันถึง 1 สัปดาห์และ 1 เดือน ส่วนที่ค่า pH 9 จะพบปริมาณ DEHP น้อยเนื่องจากเบสจะสลาย DEHP ได้อย่างรวดเร็ว

Teresa Cirillo และคณะ (2013) ได้ศึกษาสาร DEHP และ DPB ที่สัมผัสกับอาหารของผู้ป่วยในโรงพยาบาลโดยวิเคราะห์ตัวอย่างจากภาชนะบรรจุอาหารเป็นการคัดเลือกจานที่ทำด้วย polyethylene terephthalate (PET) ห่อหุ้มด้วย polypropylene (PP) พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP มีค่าระหว่าง 0.061 ± 0.028 ถึง 0.307 ± 0.138 ไมโครกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนัก

Casajuan และคณะ (2003) ศึกษาตัวอย่างน้ำบรรจุขวด PET, ขวด PE และขวดแก้ว โดยการนำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ทันที ใช้วิธีการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง (solid-phase extraction และมี C18 ปริมาณ 500 มิลลิกรัมเป็นตัวดูดซับ จากนั้นชะตัวอย่างด้วย dichloromethane:hexane อัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตร ผลจากการทดลองพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร DEHP ในตัวอย่างที่พบมีค่าในช่วง 0.005 – 1.7 ไมโครกรัมต่อลิตร

Prapatpong และคณะ (2010) วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวด Polyethylene (PET) โดยมีการใช้ตัวดูดซับ 2 ชนิดคือ C18 ปริมาณ 500 มิลลิกรัม และ Florisil ปริมาณ 1 กรัม ในวิธีการ solid-phase extraction เป็นการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง พบว่าปริมาณสาร DEHP ในตัวอย่างน้ำดื่มมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 280 – 500 ไมโครกรัมต่อลิตร

ศูนย์พิษวิทยาแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (National Toxicology Program, NTP) ได้ทำการทดลองกับตัวอย่างที่เป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกทางการแพทย์ พบว่าสาร DEHP สามารถปนเปื้อนออกมาจากถุงบรรจุภัณฑ์พลาสติกทางการแพทย์ที่ผลิตจากวัตถุดิบ PVC (ที่มีการเติมสารเสริมสภาพพลาสติกชนิด DEHP) ทั้งนี้ปริมาณสาร DEHP ที่ปนเปื้อนนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ระยะเวลา และชนิดของสารที่บรรจุสาร DEHP นี้จะส่งผลกระทบเชิงลบต่อกระบวนการพัฒนาระบบสืบพันธุ์เพศชายเมื่อได้รับในปริมาณมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเด็กทารกเพศชาย

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจคัดกรองความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำชะถุงบรรจุเลือดและขวดน้ำดื่มชนิดใส (ขวด PET) โดยใช้ไรแดงทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำชะ

1.3.2 เพื่อหาปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงบรรจุเลือดและขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใส

1.5 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาวิธีการตรวจคัดกรองจากการชะของสาร DEHP โดยมีการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดและขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใสด้วยไรแดง และวิเคราะห์ปริมาณสาร DEHP ที่ชะออกมาจากถุงบรรจุเลือดและขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใสเพื่อกำหนดระดับความเข้มข้นของน้ำชะที่เหมาะสมสำหรับใช้ในวิธีการตรวจคัดกรองที่พัฒนาขึ้นนี้

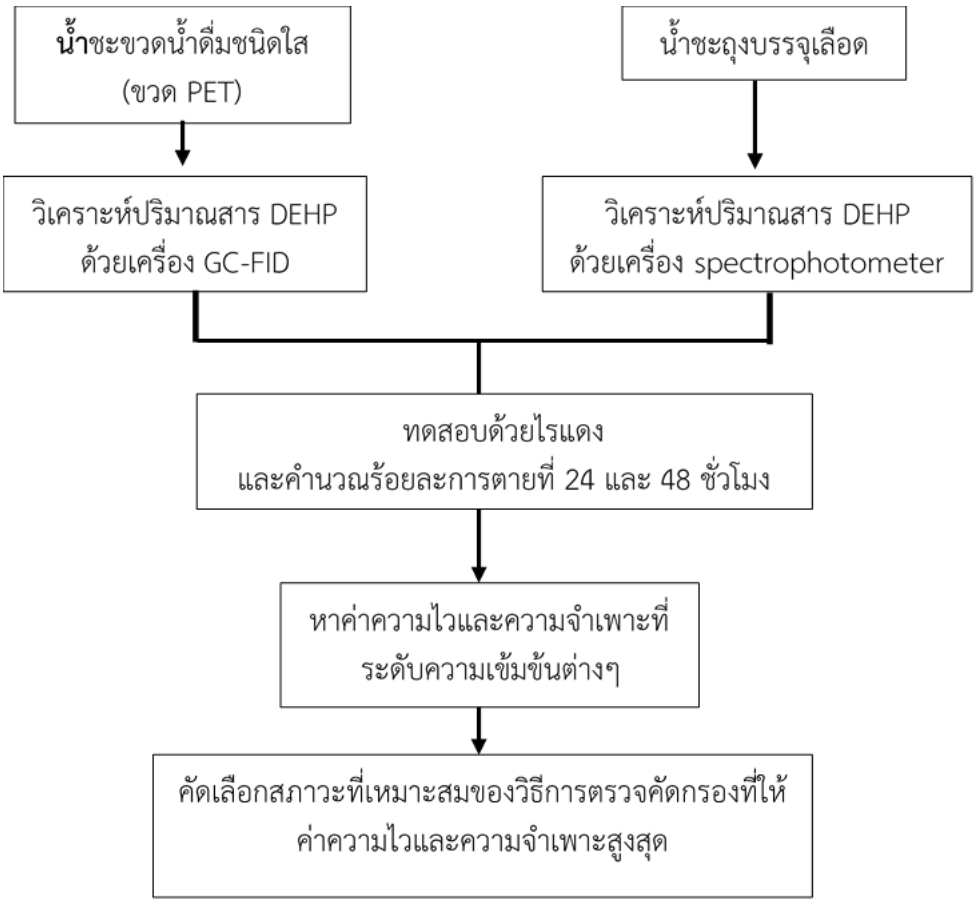
1.6 กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัยเริ่มจากการศึกษาความสำคัญและที่มาของสารDEHP ที่ถูกชะจากตัวอย่างถุงบรรจุเลือดและขวดน้ำดื่ม จากนั้นหาปริมาณสาร DEHP ด้วยการวิเคราะห์ทางเคมีและการทดสอบความเป็นพิษด้วยไรแดง นำผลที่ได้ไปใช้ในการหาค่าความไวและค่าความจำเพาะที่ระดับความเข้มข้นของต่างๆของน้ำชะเพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการพัฒนาวิธีการตรวจคัดกรองสาร DEHP ซึ่งเป็นไปตามขั้นตอนดังภาพที่ 1-1

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 วิธีการตรวจคัดกรองสารพิษที่ถูกชะออกมาจากถุงบรรจุเลือดและขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใสโดยใช้ไรแดง สามารถใช้สำรวจเบื้องต้นว่าพลาสติกประเภทใดที่ไม่ปลอดภัย แล้วคัดเลือกตัวอย่างที่ให้ผลบวกไปวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาระดับการปนเปื้อนของสารพิษในน้ำชะอีกครั้งหนึ่ง เป็นการลดจำนวนตัวอย่างที่จะต้องตรวจวิเคราะห์ทางเคมี ลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวนมาก

1.7.2 ผลงานวิจัยอาจนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจคัดกรองสารพิษที่ถูกชะออกมาจากผลิตภัณฑ์พลาสติกประเภทอื่นๆได้



ภาพที่ 1-4 กรอบแนวคิดการวิจัยการใช้ไรแดงตรวจคัดกรองปริมาณสาร ได-(2-เอทธิลเฮ็กซิล) ที่ถูกชะออกจากถุงบรรจุเลือดและขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใส

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ไรแดงตรวจคัดกรองสาร ไดี-(2-เอทธิลเฮ็กซิล) ทาเลต ที่ถูกชะออกจากถุงบรรจุเลือดและขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใสโดยมีสารเคมี วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลองดังนี้

2.1 สารมาตรฐานและวัสดุ

2.1.1 สารมาตรฐาน

Di-(2-ethylhexyl) phthalate (purity 99.5%, Sigma-Aldrich, USA)

2.1.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

1. ถุงบรรจุเลือด (ชนิด Polyvinyl chloride, PVC) ปริมาตร 450 มิลลิลิตร จำนวน 4 ยี่ห้อๆละ 5 ตัวอย่าง
2. ขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใส (ชนิด Polyethylene terephthalate, PET) ปริมาตร 600 มิลลิลิตร จำนวน 8 ยี่ห้อๆละ 5 ตัวอย่าง
3. ไรแดง (*Moina macrocopa*)
4. อาหารที่ใช้เลี้ยงไรแดง

- สาหร่ายสีเขียว (C*hlorella* sp.)

เหตุผลที่เลือกตัวอย่าง 2 กลุ่มนี้คือตัวอย่างถุงบรรจุเลือดและขวดน้ำดื่ม เนื่องจากขวดน้ำดื่มพลาสติกกลุ่ม Polyethylene terephthalate (PET) เป็นพลาสติกที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตและผู้บริโภคสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป การเลือกกลุ่มตัวอย่างถุงบรรจุเลือด โดยการสอบถามเกี่ยวกับการใช้งานผลิตภัณฑ์ถุงบรรจุเลือดจากหน่วยงานภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลาสภากาชาดไทยพบว่าเป็นยี่ห้อที่ทางโรงพยาบาลของรัฐและโรงพยาบาลเอกชนนิยมใช้กันมากที่สุด สมบัติของตัวอย่างถุงบรรจุเลือดและขวดน้ำดื่มที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้แสดงดังตารางที่ 2-1 และตารางที่ 2-2 ตามลำดับ

ตารางที่ 2-1 สมบัติของตัวอย่างถุงบรรจุเลือดที่ใช้ในการศึกษา

ยี่ห้อ	สี	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	วัน/เดือน/ปี ผลิต	วัน/เดือน/ปี หมดอายุ
A	เหลืองอ่อนขุ่น	450	15/3/2015	15/3/2017
B	เหลืองอ่อนขุ่น	450	26/4/2017	26/4/2020
C	ขาวขุ่น	450	13/1/2016	13/1/2017
D	ขาวขุ่น	450	21/7/2016	21/7/2017

ตารางที่ 2-2 สมบัติของตัวอย่างขวดน้ำดื่มที่ใช้ในการศึกษา

ยี่ห้อ	สี	ปริมาตร (มิลลิลิตร)	วัน/เดือน/ปี ผลิต	วัน/เดือน/ปี หมดอายุ
A	ขาวใส	600	30/4/2015	30/4/2017
B	ขาวใส	600	8/11/2016	8/11/2018
C	ขาวใส	600	28/1/2016	28/1/2018
D	ขาวใส	600	16/4/2015	16/4/2017
E	ขาวใส	600	28/2/2016	28/2/2018
F	ฟ้าใส	600	8/2/2016	8/2/2018
G	ขาวใส	600	28/1/2016	28/1/2018
H	ขาวใส	600	14/5/2015	14/5/2017

2.2 สารเคมี

1. Hexane (HPLC grade, Fisher Chemical, India)
2. Sodium sulphate anhydrous (Ajax Finechem, Australia)
3. Methanol (HPLC grade, Fisher Chemical, India)
4. Ethanol (purity 99.9%, AR grade, Q Rec, New Zealand)
5. Dichloromethane (HPLC grade, Fisher Chemical, India)
6. C18 ขนาด 500 mg (Sep Pak)

2.3 เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

1. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
2. เครื่องเขย่าสารละลาย (Shaker) รุ่น NB-101M (N-BIOTEK)
3. เครื่องชั่งไฟฟ้าความละเอียด 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
4. สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 272 นาโนเมตร รุ่น UV-1601, Japan
5. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ (gas chromatograph with flame ionization detector) (GC-FID) (Agilent รุ่น 7890A, USA)
6. Solid phase extraction manifold (SPE) ขนาด 12 port (Agela, China)
7. เครื่องลดปริมาตรสารละลาย (rotary evaporator) (Buchi รุ่น R-114, Switzerland)
8. ตู้เก็บตัวอย่างระบบไร้ความชื้น (desiccator) (Sanplater รุ่น 0070)

9. ตู้ดูดควัน (Major super flow fume cupboard, Thailand)

10. อ่างอังไอน้ำ (water bath) (Memmert รุ่น W-760, Germany)

11. เครื่องเขย่าสาร (vortex) (Fisher Scientific, USA)

12. ปั๊มสุญญากาศVacuum pump (KNF-NEUBERGER)

13. ไมโครปิเปต (Micropipette) ขนาด 100 และ 1000 ไมโครลิตร (Gilson, France)

14. จานอาหารเลี้ยงเชื้อ

15. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 25, 50 มิลลิลิตร

16. บีกเกอร์ขนาด 10, 50 และ 1,000 มิลลิลิตร

17. กระบอกตวง ขนาด 10 มิลลิลิตร

18. กระบอกฉีดยาแก้ว ขนาด 10 มิลลิลิตร

19. ขวด vial ขนาด 2, 20 มิลลิลิตร

20. ขวดแก้วตวงปริมาตร ขนาด 50, 100, 1000 มิลลิลิตร

21. พิกโนมิเตอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร (pycnometer) (Marienfeld, Germany)

22. ขวดสีชาขนาด 500 มิลลิลิตร

23. กรวยแก้ว

24. หลอดทดลองพร้อมฝาปิดขนาด 10 มิลลิลิตร

25. ตู้ปลาขนาด 6.25 นิ้ว x 10 นิ้ว x 4.5 นิ้ว

26. ช้อนตักสาร

27. หลอดหยด (dropper)

28. น้ำกลั่นพร้อมขวด

29. พาราฟิล์ม

30. แร็ค

31. กระดาษกรอง

32. แว่นขยาย

2.4 วิธีดำเนินการวิจัย

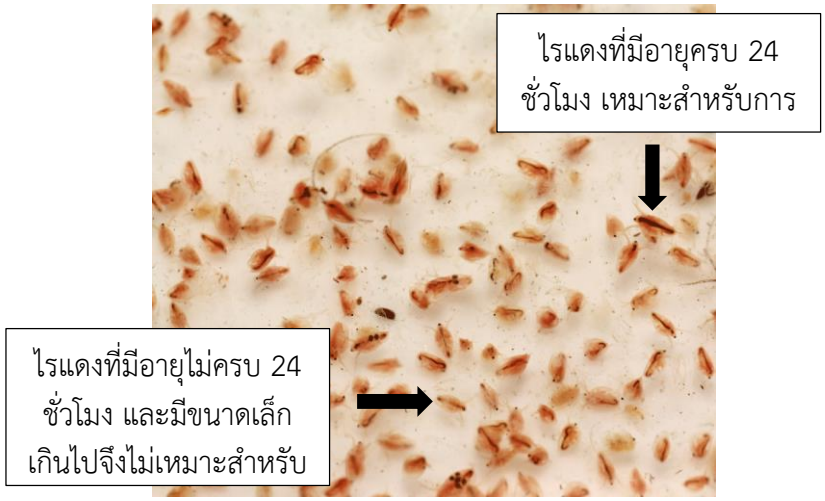
2.4.1 การเตรียมอุปกรณ์เครื่องแก้ว

เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารที่อาจติดมาจากเครื่องแก้วและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ จึงต้องล้างทำความสะอาดเครื่องแก้วด้วยน้ำกลั่นปราศจากอิออน จากนั้นชะด้วยอะซีโตนแล้วนำเครื่องแก้วไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Leivadara, 2007) ก่อนนำไปใช้งาน

2.4.2 การเตรียมตัวอย่าง

2.4.2.1 การเพาะเลี้ยงไรแดง

นำตู้ปลาขนาด 6.25 x 10 x 4.5 นิ้ว ที่มีความจุ 4,600 มิลลิลิตรมาทำความสะอาดและทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นเติมน้ำประปาประมาณ 75% ของภาชนะ (ปริมาตร 3,450 มิลลิลิตร) พักน้ำไว้ 24 ชั่วโมงเพื่อระเหยคลอรีนในน้ำให้ออกไป เตรียมน้ำเขียวซึ่งเป็นอาหารของไรแดงโดยชั่งปุ๋ยยูเรีย 0.115 กรัม ปุ๋ยคอก 57.5 กรัม แล้วนำมาละลายด้วยน้ำจากนั้นใส่ส่วนผสมทั้งหมดลงในภาชนะและเติมสาหร่ายสีเขียว (*chlorella* sp.) 80 มิลลิลิตรลงในภาชนะ คนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันเพื่อไม่ให้ตกตะกอน วางน้ำเขียวทิ้งไว้ในที่ที่ได้รับแสงแดดประมาณ 4-5 วัน คัดเลือกแม่พันธุ์ไรแดงสังเกตด้วยตาเปล่าหรือแว่นขยายโดยเลือกตัวที่มีสีแดง รูปร่างอ้วนใส่ลงในภาชนะที่มีและเติมอากาศตลอดเวลาการเพาะเลี้ยงไรแดงซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 วัน จึงคัดเลือกไรแดงอายุ 24 ชั่วโมงมาทดสอบความเป็นพิษกับน้ำชะตัวอย่าง (ภาพที่ 2-1)



ภาพที่ 2-1 การคัดเลือกไรแดงเพื่อนำไปตรวจคัดกรองสาร DEHP

2.4.2.2 การกำจัดสิ่งปนเปื้อนในไรแดงสำหรับการตรวจคัดกรองสาร

ไรแดงที่ได้จากการเลี้ยงด้วยธาตุอาหารต่าง ๆ นั้นอาจมีการปนเปื้อนในน้ำที่ติดมากับการเลี้ยงหรือเลือกตัวอย่างมาใช้ได้ จึงควรนำไรแดงที่ใช้ในการตรวจคัดกรองมาทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นเพื่อป้องกันการปนเปื้อนที่อาจส่งผลต่อการทดสอบและความคลาดเคลื่อนของวิธีการได้ โดยเริ่มต้นจากการนำไรแดงที่มีอายุครบ 24 ชั่วโมง สังเกตลักษณะด้วยตาเปล่าหรือใช้แว่นขยายดูตัวไรแดงที่มีลักษณะอ้วนกลม สีแดงเข้ม และมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา จากนั้นใช้หลอดหยดดูดไรแดงเพื่อย้ายมายังน้ำกลั่นในบีกเกอร์เพื่อชะล้างทำความสะอาดตัวไรแดง แล้วดูดไรแดงมาใส่ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำชะตัวอย่างถุงบรรจุเลือดหรือน้ำชะตัวอย่างขวดน้ำดื่มชนิดใสต่อไป

2.4.2.3 การเตรียมตัวอย่างน้ำชะขวดน้ำดื่ม

เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตรลงในตัวอย่างขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใส (ขวด PET) และถุงบรรจุเลือด จากนั้นนำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 140 ครั้งต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส แล้วนำน้ำชะตัวอย่างพลาสติกไปทดสอบความเป็นพิษด้วยไรแดง (เติมสิน ทองไกร, 2557)

ภาพที่ 2-2 เตรียมตัวอย่างน้ำชะด้วยเครื่องเขย่า (shaker)

2.4.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน DEHP สำหรับการวิเคราะห์น้ำชะขวดน้ำดื่ม

เตรียมสารละลายมาตรฐาน DEHP (stock solution) โดยปิเปตสารละลายมาตรฐาน DEHP 1 มิลลิลิตรใส่ในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย hexane จะได้ความเข้มข้นที่เจือจาง 100 เท่า ห่อด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์และพันด้วยพาราฟิล์ม นำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (USEPA, 1996)

การสร้างกราฟมาตรฐาน (standard calibration curve) โดยนำ stock solution วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเจืองจางด้วยสารละลาย hexane ให้ได้ความเข้มข้น 0.05, 0.1, 0.5, 1, 1.5, 3, 6, 12, 25, 50, 100 และ 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ดูดสารละลายมาตรฐาน 2 มิลลิลิตร ใส่ขวด vial แล้วฉีดเข้าเครื่อง GC บันทึกพื้นที่พีค (USEPA, 1996)

2.4.4 การเตรียมตัวทำละลายสกัดสำหรับตัวอย่างถุงบรรจุเลือด

ตัวทำละลายสกัดคือ เอทานอล : น้ำกลั่น มีวิธีการเตรียมดังนี้

1. วัดความหนาแน่นของเอทานอลให้อยู่ในช่วง 0.8050 กรัมต่อมิลลิลิตรถึง 0.8123 กรัมต่อมิลลิลิตร

2. นำเอทานอลมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วนที่ให้สารละลายมีความหนาแน่น 0.9373 กรัมต่อมิลลิลิตร ถึง 0.9378 กรัมต่อมิลลิตร ตรวจสอบความหนาแน่นด้วยพิกโนมิเตอร์

2.4.5 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน DEHP สำหรับการวิเคราะห์น้ำชะถุงบรรจุเลือด

2.4.5.1 การเตรียมสารละลาย 1

ละลาย DEHP 1 กรัมในเอทานอลแล้วเจือจางจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล

2.4.5.2 การเตรียมสารละลาย 2

ใช้ปิเปตดูดสารละลาย 1 ปริมาตร 10 มิลลิลิตรแล้วเจอกานจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล

2.4.5.3 สารละลายมาตรฐาน A ถึงสารละลายมาตรฐานอ E

1. สารละลายมาตรฐาน A (DEHP 20 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)
   เจือจางสารละลาย 2 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ด้วยตัวทำละลายสกัดจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. สารละลายมาตรฐาน B (DEHP 10 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)
   เจือจางสารละลาย 2 ปริมาณ 10 มิลลิลิตรด้วยตัวทำละลายสกัดจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
3. สารละลายมาตรฐาน C (DEHP 5 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)
   เจือจางสารละลาย 2 ปริมาตร 5 มิลลิลิตรด้วยตัวทำละลายสกัด จะได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
4. สารละลายมาตรฐาน D (DEHP 2 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)
   เจือจางสารละลาย 2 ปริมาตร 2 มิลลิลิตรด้วยตัวทำละลายสกัดจะได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
5. สารละลายมาตรฐานมี E (DEHP 1 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)
   เจือจางสารละลาย 2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตรด้วยตัวทำละลายสกัดจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2.4.6 แผนการทดลอง

แบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง

2.4.6.1 การทดลองที่ 1 การวิเคราะห์ปริมาณสาร DEHP ในน้ำชะตัวอย่างถุงบรรจุเลือด (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2555)

1. บรรจุตัวทำละลายสกัด (เอทานอล : น้ำกลั่น) ที่มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสลงในถุงบรรจุเลือดตัวอย่างทางสายเข้าจนได้ปริมาตรครึ่งหนึ่งของปริมาตรบรรจุ (225 มิลลิลิตร) อบที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ไล่อากาศออกแล้วปิดสายเข้าให้สนิท

2. แช่ถุงบรรจุโลหิตตัวอย่างตามแนวนอนในเครื่องอังน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยไม่ต้องเขย่า

3. นำถุงบรรจุโลหิตตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ค่อยๆกลับขึ้นกลับลง 10 ครั้ง แล้วถ่ายสารละลายลงในขวดแก้วรูปกรวย วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 272 นาโนเมตร โดยใช้ตัวทำละลายสกัดเป็นสารละลายอ้างอิง (เอทานอล : น้ำกลั่น = 1:1 โดยปริมาตร)

4. หาปริมาณ DEHP ที่สกัดได้จากกราฟมาตรฐาน

โดยสเปกโทรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้ และสามารถวิเคราะห์สารที่มีความเข้มข้นสูง เนื่องด้วยน้ำชะถุงบรรจุเลือดมีความเข้มข้นของสาร DEHP ค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและหาปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม 2555

2.4.6.2 การทดลองที่ 2 การวิเคราะห์ปริมาณสาร DEHP ในน้ำชะตัวอย่างขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใส

<u>วิธีการสกัด DEHP ในตัวอย่างน้ำ</u>

การสกัด DEHP จากตัวอย่างน้ำด้วยวิธี solid phase extraction ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการของ Carlo (2008) โดยเริ่มจากการปรับสภาพของคอลัมน์ด้วย dichloromethane 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติม methanol 3 มิลลิลิตรลงไป ปล่อยให้ไหลจนเกือบแห้ง นำตัวอย่างน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใสปริมาตร 50 มิลลิลิตรไปผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วย C18 (500 มิลลิกรัม) มีอัตราการไหลที่ 1 มิลลิลิตรต่อนาที (ทิ้งไว้จนคอลัมน์แห้ง) ชะตัวอย่างผ่านคอลัมน์ 2 ครั้งด้วย dichloromethane ครั้งละ 5 มิลลิลิตร รวมปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ทำการกรองผ่านกระดาษกรองที่บรรจุด้วย anhydrous sodium sulphate ปริมาณ 3 กรัม แล้วล้างกระดาษกรองด้วย dichloromethane 5 มิลลิลิตรอีกครั้ง แล้วนำตัวอย่างไปลดปริมาตรจนเกือบแห้งด้วยเครื่องลดปริมาตรสารละลาย (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (Leivadara et al, 2008) จากนั้นละลายตัวอย่างกลับด้วย hexane 2 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph-flame ionization detector (GC-FID) ที่มีสภาวะการทำงานเครื่องดังแสดงในตารางที่ 2-3

วิธีแก๊สโครมาโทรกราฟฟีนี้เหมาะสำหรับตัวอย่างที่อยู่ในรูปของเหลวหรือแก๊ส โดยตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าไปในระบบโดยมีแก๊สเฉื่อย ซึ่งทำหน้าที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ (carrier gas) ตัวอย่างจะถูกนำพาผ่าน capillary column ซึ่งเป็นส่วนที่จะทำให้สารประกอบแยกองค์ประกอบออกจากกันตามความสามารถในการกระจายอยู่ระหว่างเฟสเคลื่อนที่และเฟสคงที่

ดีแทคเตอร์ชนิดเฟลมไอออไนเซชันเป็นดีเทคเตอร์มาตรฐานที่นำมาใช้งานอย่างกว้างขวางกับวิธีแก๊สโครมาโทกราฟฟี เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ทุกชนิดสามารถเกิดการไอออไนซ์ได้ในเปลวไฟทำให้เกิดกระแสของไอออนที่สามารถสะสมอยู่ระหว่างขั้ว สามารถวิเคราะห์สารประกอบที่มีความเข้มข้นน้อยๆได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ (ชูติมา ศรีวิบูลย์, 2544) งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟเพื่อความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำชะขวดน้ำดื่มที่มีสาร DEHP ความเข้มข้นต่ำๆ

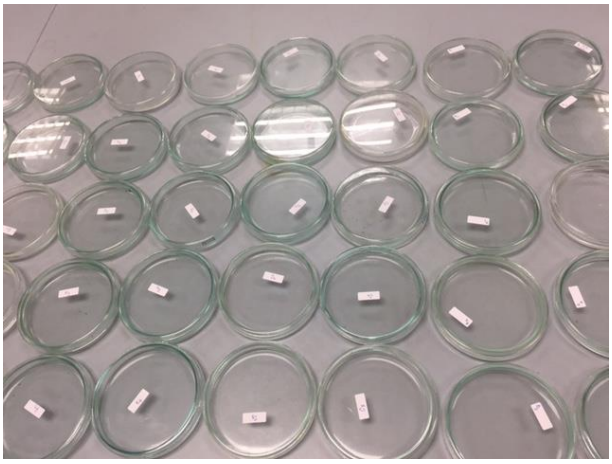
ตารางที่ 2-3 สภาวะการทำงานของเครื่อง GC สำหรับการวิเคราะห์ DEHP

โปรแกรม/โหมด	**สภาวะการทำงาน**
Inlet conditions	Mode: split less Injector temperature 255 องศาเซลเซียส
Column	HP-5 5 เปอร์เซ็นต์ 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 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 300 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 2 นาที
Runtime	16.5 นาที

ที่มา: US.EPA ; 3350B (1996)

2.4.6.3 การทดลองที่ 3 การตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP ของน้ำชะตัวอย่าง

วิธีการตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP ของน้ำชะตัวอย่างพลาสติกประยุกต์มาจากวิธีการทดสอบของ USEPA (2012) และ Lithner และคณะ (2008) โดยการเจือจางน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสและถุงบรรจุเลือดให้มีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 100%, 50%, 25%และ 12.5% ตามลำดับเพื่อนำมาใช้ในการทดสอบความเป็นพิษ โดยที่แต่ละความเข้มข้นทำการทดสอบ 10 ซ้ำและมีปริมาตรน้ำตัวอย่าง 40 มิลลิลิตร โดยใส่ไรแดงจำนวน 20 ตัวต่อ 1 จานอาหารเลี้ยงเชื้อ (ภาพที่ 2-3) บันทึกการตายของไรแดงเมื่อเวลาครบ 24 ชั่วโมงและ 48 ชั่วโมง ซึ่งการตายของไรแดงสามารถสังเกตด้วยตาเปล่า โดยการดูลักษณะลำตัวสีซีดและขาวขุ่น ไม่มีการเคลื่อนไหว นอนอยู่ก้นภาชนะ เมื่อใช้เข็มเขี่ยจะไม่มีการตอบสนอง จากนั้นเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งใส่ไรแดงจำนวน 20 ตัวต่อ 1 จานอาหารเลี้ยงเชื้อเช่นเดียวกันแต่บรรจุน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตรแทน คำนวณร้อยละการตายของไรแดงแล้วนำตัวอย่างน้ำชะไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณของสาร DEHP



ภาพที่ 2-3 จานอาหารเลี้ยงเชื้อบรรจุตัวอย่างน้ำชะสำหรับการตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP ด้วยไรแดง

2.4.6.4 การทดลองที่ 4 การหาประสิทธิภาพของวิธีการตรวจคัดกรองตัวอย่างน้ำชะ

เป็นการนำค่าร้อยละการตายของไรแดงที่ระดับความเข้มข้นต่างๆมาคำนวณหาค่าความไว (sensitivity) และความจำเพาะ (specificity) ซึ่งเป็นค่าที่บอกความน่าเชื่อถือของวิธีการตรวจคัดกรอง โดยกำหนดให้ผลการตรวจคัดกรองแปลผลเป็นผลบวกและผลลบ ดังนี้

- ผลบวก คือมีการตายของไรแดงไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50
- ผลลบ คือมีการตายของไรแดงต่ำกว่าร้อยละ 50

ค่าความไวของวิธีการทดสอบคือ อัตราส่วนของจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบแล้วให้ผลเป็นบวกต่อจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่มีผลเป็นบวกเมื่อทดสอบด้วยวิธีวิเคราะห์ทางเคมีซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน (gold standard)

สูตร ความไว = a/a+c (David และ Rodney, 2006)

โดยที่ a = จำนวนตัวอย่างที่ให้ผลเป็นบวกเมื่อทดสอบความเป็นพิษด้วยไรแดงและให้ผลเป็นบวกเมื่อวิเคราะห์ทางเคมีด้วย

c = จำนวนตัวอย่างที่ให้ผลเป็นลบเมื่อทดสอบความเป็นพิษด้วยไรแดงแต่ให้ผลเป็นบวกเมื่อวิเคราะห์ทางเคมี

ค่าความจำเพาะของวิธีการทดสอบคือ อัตราส่วนของจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบแล้วให้ผลเป็นลบต่อจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่มีผลเป็นลบเมื่อทดสอบด้วยวิธีวิเคราะห์ทางเคมีซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน (gold standard)

สูตร ความจำเพาะ = d/b+d (David และ Rodney, 2006)

โดยที่ d = จำนวนตัวอย่างที่ให้ผลเป็นลบเมื่อทดสอบความเป็นพิษด้วยไรแดงและให้ผลลบเมื่อวิเคราะห์ทางเคมีด้วย

b = จำนวนตัวอย่างที่ให้ผลเป็นบวกเมื่อทดสอบความเป็นพิษด้วยไรแดงแต่ให้ผลลบเมื่อวิเคราะห์ทางเคมี

ตารางที่ 2-4 การหาค่าความไวและความจำเพาะของวิธีการตรวจวิเคราะห์

การหาค่าความไวและค่าความจำเพาะที่ดีคือมีค่าสูงสุด เท่ากับ 1

		Expected (Gold standard)	
		+	**-**
Observed (test)	**+**	**a**	**b**
	-	**c**	**d**

Sensitivity = a/a+c

Specificity = d/b+d

ที่มา: Altman และ Bland (1994)

2.5 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ทางเคมี

2.5.1 ความแม่น (Accuracy)

Accuracy เป็นคุณลักษณะที่ชี้ว่าผลการทดสอบมีค่าเข้าใกล้ค่าจริงหรือค่าอ้างอิงหรือค่าที่ยอมรับได้เนื่องจากในทางปฏิบัติยากที่จะทราบค่าจริง จึงใช้วิธีเปรียบเทียบกับค่าที่ยอมรับแทน การตรวจสอบความแม่นของวิธีทดสอบ ทำได้ดังนี้

การหาค่าร้อยละการคืนกลับ (% recovery) กรณีไม่มีวัสดุอ้างอิง (reference material) การตรวจสอบความแม่นให้ทำได้โดยการเติมสารที่ทดสอบซึ่งเป็นสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้นสูงและรู้ค่าที่แน่นอนในปริมาณน้อยลงในตัวอย่างที่ทดสอบ (spiked/fortified sample) และคำนวณหา % recovery แทน (EURACHEM, 1998)

สูตร $\%\ \text{Recovery} = [\ (C_1 - C_2)/C_3\ ]\ \times 100$

โดยที่ C_1 = ความเข้มข้นของตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน (Spiked sample)

C_2 = ความเข้มข้นของตัวอย่างไม่ได้เติมสารมาตรฐาน (Unspiked sample)

C_3 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติมในตัวอย่าง

เมื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยของ % Recovery จากการทดสอบ 10 ซ้ำแล้ว จึงนำไปเปรียบเทียบผลกับเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (80% - 120%) (Taverniers et al., 2004)

2.5.2 ความเป็นเส้นตรง (Linearity)

เป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นและการตอบสนอง โดยค่าที่วิเคราะห์ได้เป็นสัดส่วนแปรผันตรงกับปริมาณที่มีอยู่จริง (นีระนารถ แจ้งทอง และ ปัทมา นพรัตน์, 2546; อารี ชูวิสิฐกุล, 2540) การหาค่า linear ทำได้โดยการฉีดสารละลายมาตรฐาน 3-5 ความเข้มข้น จากนั้นนำไปทำกราฟมาตรฐาน (standard curve) ระหว่างค่าความเข้มข้นและ peak area ที่ได้การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง คำนวณปริมาณสาร DEHP โดยใช้ linear regression equation ($y = ax + b$) หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r) วิธีวิเคราะห์ที่ดีควรมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มากกว่า 0.995 (EURACHEM, 1998)

2.5.3 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบและอ่านค่าอย่างถูกต้อง

Limit of detection (LOD) เป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดหรือน้อยที่สุดของสารที่สามารถตรวจพบได้ และ Limit of quantitation (LOQ) เป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดปริมาณได้ด้วยวิธีวิเคราะห์ที่กำหนดและอ่านค่าอย่างถูกต้องแม่นยำ สามารถยอมรับค่านั้นได้ (อารี ชูวิสิฐกุล, 2540) ซึ่ง LOD และ LOQ หาได้โดยการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำๆ จำนวน 10 ซ้ำ นำค่า SD (standard deviation) มาคำนวณโดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้ (Miller and Miller, 2010)

LOD = 3SD/slope
LOQ = 10SD/slope

2.5.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation, CV)

ค่าที่แสดงถึงความใกล้เคียงกันของผลการทดสอบ บ่งบอกถึงความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ โดยคำนวณหาค่าร้อยละสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนจากสูตร

สูตร CV = (SD/Mean) x 100

เมื่อ CV คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน
SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของความเข้มข้นที่อ่านได้
Mean คือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นที่อ่านได้

2.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้โปรแกรม SPSS version 19 ในการประมวลผลข้อมูลทางสถิติดังนี้

2.6.1 วิเคราะห์ข้อมูลของตัวอย่างด้วยสถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.6.2 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงอนุมาน (inferential statistics) โดยการทดสอบความแตกต่างของค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่วิเคราะห์ได้กับค่ามาตรฐานด้วยสถิติ independent t-test

บทที่ 3

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์สาร DEHP ในน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใสและถุงบรรจุเลือด

กราฟมาตรฐานของสารละลาย DEHP ของตัวอย่างน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใสมีความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 0.04 – 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.9998 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.995 แสดงให้เห็นว่ากราฟมาตรฐานมีความเป็นเส้นตรงที่สามารถยอมรับได้ (EURACHEM, 1998) ค่าร้อยละการได้คืนกลับสาร DEHP จากวิธีการวิเคราะห์สาร DEHP ในน้ำชะขวดน้ำดื่มอยู่ในช่วงร้อยละ 92.61 - 96.39 (ตารางที่ 3-1) ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ (อยู่ในช่วง 80% - 120%) (Taverniers et al., 2004) แสดงให้เห็นว่ามีความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ที่สามารถยอมรับได้ โดยค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (LOD) ได้มีค่าเท่ากับ 0.81×10^{-4} มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่อุปกรณ์หรือเครื่องสามารถตรวจวัดปริมาณได้ด้วยวิธีวิเคราะห์ที่กำหนด (LOQ) มีค่าเท่ากับ 2.68×10^{-3} มิลลิกรัมต่อลิตร

กราฟมาตรฐานของสารละลาย DEHP ของตัวอย่างน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดมีความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 0.01 – 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.9999 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.995 แสดงให้เห็นว่ากราฟมาตรฐานมีความเป็นเส้นตรงที่สามารถยอมรับได้ (EURACHEM, 1998) ค่าร้อยละการได้คืนกลับสาร DEHP จากวิธีการวิเคราะห์สาร DEHP ในน้ำชะถุงบรรจุเลือดพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 86.67 – 103.5 (ตารางที่ 3-2) ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ (อยู่ในช่วง 80% - 120%) (Taverniers et al., 2004) แสดงให้เห็นว่ามีความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ที่สามารถยอมรับได้ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถตรวจพบได้ (LOD) มีค่าเท่ากับ 4.115 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และค่าค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณได้ (LOQ) มีค่าเท่ากับ 13.717 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 3-1 ค่าร้อยละการได้คืนกลับเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ช่วงความเข้มข้น 0.7-12 มิลลิกรัมต่อลิตรของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างน้ำชะจากขวดน้ำดื่ม

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละการได้คืนกลับ ± SD
0.7	94.99±6.09
3	92.61±3.55
12	96.39±2.43

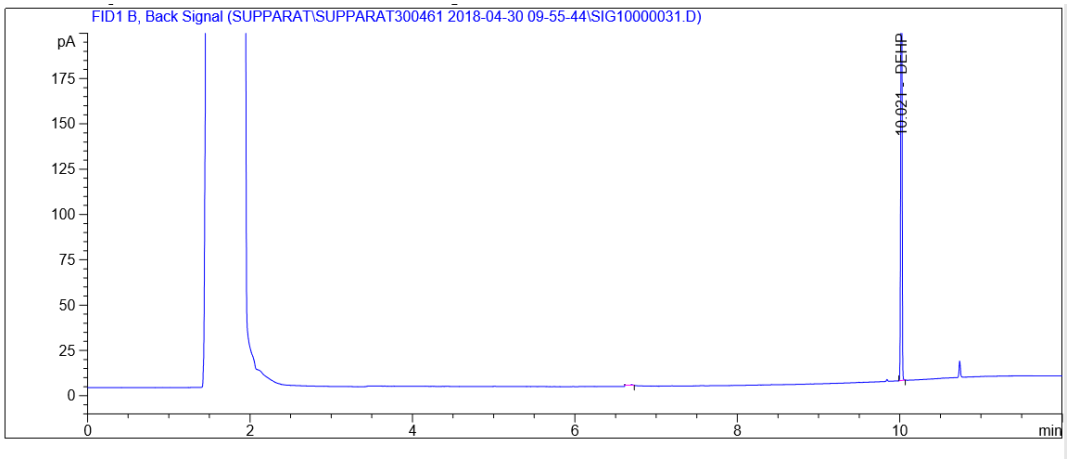
ตารางที่ 3-2 ค่าร้อยละการได้คืนกลับเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ช่วงความเข้มข้น 0.7-12 มิลลิกรัมต่อลิตรของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างน้ำชะจากถุงบรรจุเลือด

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละการได้คืนกลับ ± SD
0.01	86.67±0.004
0.05	96.00±0.023
2	103.5±0.002

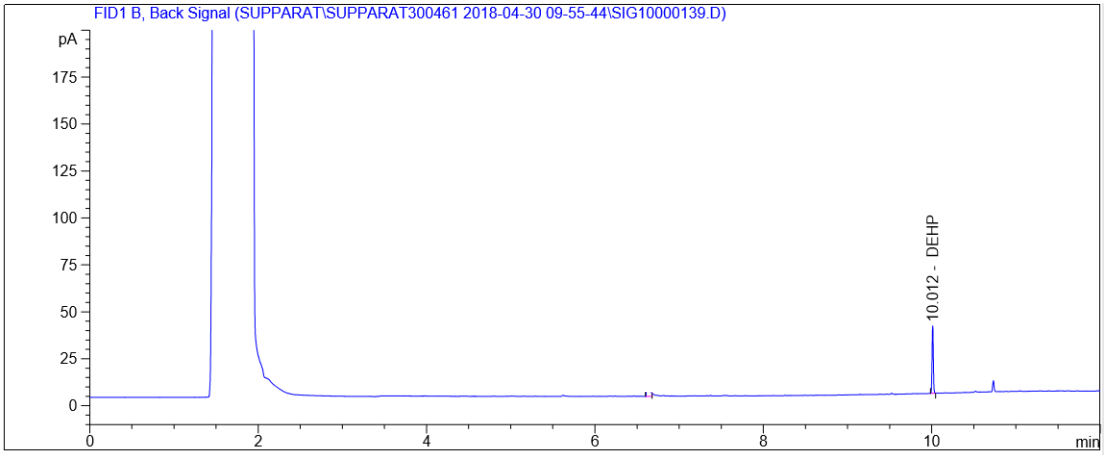
3.2 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน DEHP และโครมาโทแกรมของตัวอย่างน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใส

ในการวิเคราะห์ปริมาณสาร DEHP ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออนไนเซชัน (GC-FID) โดยการฉีดสารละลายมาตรฐาน DEHP ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.05 – 20 มิลลิกรัมต่อลิตร พบพีคของสารที่เวลา 10.021±0.05 นาที (

3-1) และจากการวิเคราะห์น้ำชะตัวอย่างจากขวดน้ำดื่มยี่ห้อต่างๆโดยการคำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟ ปรากฏพีคของสาร DEHP เกิดขึ้นที่เวลา 10.012±0.05 นาที แสดงไว้ในภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-1 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน DEHP ที่ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 3-2 โครมาโทแกรมของตัวอย่างน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใส

3.3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร DEHP ที่ตรวจพบจากวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีในน้ำชะจากถุงบรรจุเลือด

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นในตัวอย่างน้ำชะถุงบรรจุเลือดโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 272 นาโนเมตร พบว่า ตัวอย่าง A, B, C, และ D มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร DEHP เท่ากับ 14.80, 31.58, 29.24 และ 35.13 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

โดยตัวอย่าง A มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร DEHP ที่ยังไม่เกินค่ามาตรฐานถุงบรรจุเลือดตาม มอก.1298-2555 (15 มิลลิกรัมต่อสารละลายสกัด 100 มิลลิลิตร) ($p>0.05$) ส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร DEHP ในตัวอย่าง B, C และ D มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ที่พบในน้ำชะจากถุงบรรจุเลือด

ยี่ห้อถุงบรรจุเลือด	ความเข้มข้นเฉลี่ย±SD (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
A	14.80±2.34
B	31.58±1.47 *
C	29.24±1.22 *
D	35.13±1.74 *

* เกินค่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

(เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน 15 มิลลิกรัมต่อสารละลายสกัด 100 มิลลิลิตร)

3.4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร DEHP ที่ตรวจพบจากวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีในน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใส

จากการนำตัวอย่างน้ำชะจากขวดน้ำดื่มไปวิเคราะห์ทางเคมีด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ที่วิเคราะห์ได้ในน้ำชะจากขวดน้ำดื่มพบว่าน้ำชะขวดน้ำดื่มยี่ห้อ D มีค่าสูงที่สุด และบางยี่ห้อมีค่าสูงเกินค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่มของ USEPA (2002) (0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ที่พบในน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใส

ตัวอย่างยี่ห้อขวดน้ำดื่ม	ความเข้มข้นเฉลี่ย± SD (มิลลิกรัมต่อลิตร)
* A	0.016± 0.0013 *
B	0.006± 0.0004
* C	0.008± 0.0005 *
* D	0.140± 0.0015 *
E	0.005± 0.0001
F	0.005± 0.0001
G	0.010± 0.0012 *
H	0.020± 0.0010 *

***** เกินค่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

(เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำดื่มของ USEPA 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร)

3.5 การตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP โดยการทดสอบความเป็นพิษของสารละลาย DEHP ด้วยไรแดง

เมื่อนำไรแดงมาตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP ในน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดและขวดน้ำดื่มชนิดใส (ขวด PET) โดยการเจือจางให้มีระดับความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ 100%, 50%, 25% และ 12.5% ตามลำดับ แล้วทดสอบความเป็นพิษต่อไรแดงที่ระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ทำการทดลอง 10 ซ้ำต่อ 1 ตัวอย่างน้ำชะ บันทึกจำนวนของไรแดงที่ตายไป จากนั้นนำมาหาค่าร้อยละการตายของไรแดง แสดงในตารางที่ 3-5 และตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-5 ร้อยละการตายเฉลี่ยของไรแดงในน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดที่ความเข้มข้นต่างๆที่เวลา 24 ชั่วโมง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (ร้อยละของความเข้มข้นเดิม)			
	100	50	25	12.5
ถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ A	53.5	44.0	39.5	33.5
ถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ B	73.5	67.5	55.5	49.0
ถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ C	59.0	53.0	44.0	38.5
ถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ D	81.0	76.0	67.0	61.5

หมายเหตุ : + ผลบวก คือมีร้อยละการตายของไรแดงไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50
- ผลลบ คือมีร้อยละการตายของไรแดงต่ำกว่าร้อยละ 50

ตารางที่ 3-6 ร้อยละการตายเฉลี่ยของไรแดงในน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสที่ความเข้มข้นต่างๆที่เวลา 24 ชั่วโมง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (ร้อยละของความเข้มข้นเดิม)			
	100	50	25	12.5
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ A	73.50	63.00	54.00	35.50
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ B	61.50	42.50	36.50	26.00
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ C	63.00	44.00	38.00	27.50
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ D	65.00	51.00	41.00	28.50
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ E	60.00	39.50	30.00	24.50
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ F	49.00	40.50	27.00	19.50
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ G	64.00	50.50	39.00	28.00
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ H	66.00	56.00	51.00	32.00

จากตารางที่ 3-5 และตารางที่ 3-6 พบว่าร้อยละการตายของไรแดงในน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดและน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีความแตกต่างกันในแต่ละความเข้มข้นของน้ำชะ ซึ่งร้อยละการตายของไรแดงจะลดลงตามระดับการเจือจางที่เพิ่มขึ้นของน้ำชะ

ที่ระยะเวลาการทดสอบสาร DEHP 48 ชั่วโมง พบว่าร้อยละการตายของไรแดงในกลุ่มควบคุมมีมากกว่าร้อยละ 10 ซึ่งถือว่ามากเกินไปไม่สามารถนำผลการทดสอบมาใช้ได้ เนื่องจากธรรมชาติของไรแดงต้องอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำจืดที่มีธาตุอาหารสำคัญต่อการดำรงชีวิต และการเคลื่อนที่ของไรแดงทำให้พลังงานในตัวลดลง จึงอาจไม่สามารถดำรงชีวิตได้นานถึง 48 ชั่วโมง ทำให้ไรแดงบางตัวตายก่อนระยะเวลา 48 ชั่วโมง ที่ระยะการทดสอบนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทดสอบความเป็นพิษต่อไรแดง แสดงผลในภาคผนวก ข

3.6 การหาประสิทธิภาพของวิธีการตรวจคัดกรองสารในน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดและขวดน้ำดื่มชนิดใส

เมื่อนำร้อยละการตายของไรแดงที่ระดับความเข้มข้นต่างๆของตัวอย่างน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดและน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดใสที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง มาแปลผลโดยการทดสอบนี้ได้กำหนดให้ร้อยละการตายของไรแดงที่มีการตายตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปมีผลเป็นบวก และร้อยละการตายของไรแดงที่มีการตายน้อยกว่าร้อยละ 50 มีผลเป็นลบ ผลการตรวจคัดกรองแสดงในตารางที่ 3-7 และตารางที่ 3-8 ส่วนผลการคัดกรองด้วยวิธีวิเคราะห์ทางเคมี ในตัวอย่างน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดและขวดน้ำดื่มชนิดใสที่มีปริมาณสาร DEHP สูงกว่าค่ามาตรฐานให้มีผลเป็นบวกและตัวอย่างที่มีปริมาณสาร DEHP ไม่เกินค่ามาตรฐานให้มีผลเป็นลบ (มาตรฐานน้ำดื่มของ USEPA ที่กำหนดให้ไม่เกิน 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร และมาตรฐานถุงบรรจุโลหิตกำหนดไว้ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมไม่เกิน 15 มิลลกรัมต่อสารละลายสกัด 100 มิลลิลิตร) แสดงในตารางที่ 3-9 และตารางที่ 3-10

ตารางที่ 3-7 ผลการตรวจคัดกรองจากร้อยละการตายของไรแดงที่ทดสอบในน้ำชะถุงบรรจุเลือดที่ความเข้มข้นต่างๆที่เวลา 24 ชั่วโมง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (ร้อยละความเข้มข้นเดิม)			
	100	50	25	12.5
ถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ A	+	-	-	-
ถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ B	+	+	+	-
ถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ C	+	+	-	-
ถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ D	+	+	+	+

หมายเหตุ : + ผลบวก คือ มีร้อยละการตายของไรแดงไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50
- ผลลบ คือ มีร้อยละการตายของไรแดงต่ำกว่าร้อยละ 50

ตารางที่ 3-8 ผลการตรวจคัดกรองจากร้อยละการตายของไรแดงที่ทดสอบในน้ำชะขวดใสที่ความเข้มข้นต่างๆที่เวลา 24 ชั่วโมง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (ร้อยละความเข้มข้นเดิม)			
	100	50	25	12.50
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ A	+	+	+	-
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ B	+	+	-	-
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ C	+	-	-	-
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ D	+	+	-	-
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ E	+	-	-	-
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ F	-	-	-	-
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ G	+	+	-	-
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ H	+	+	+	-

หมายเหตุ : + ผลบวก คือ มีร้อยละการตายของไรแดงไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50
- ผลลบ คือ มีร้อยละการตายของไรแดงต่ำกว่าร้อยละ 50

ตารางที่ 3-9 ผลการตรวจคัดกรองตัวอย่างน้ำชะถุงบรรจุเลือดด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางเคมี

ตัวอย่างยี่ห้อถุงบรรจุเลือด	ผลการคัดกรอง
A	-
B	+
C	+
D	+

หมายเหตุ : ผลบวก (+) คือมีปริมาณ DEHP เกินค่ามาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ (15 มิลลิกรัมต่อสารละลายสกัด 100 มิลลิลิตร)
ผลลบ (-) คือมีปริมาณ DEHP ไม่เกินค่ามาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ (15 มิลลิกรัมต่อสารละลายสกัด 100 มิลลิลิตร)

ตารางที่ 3-10 ผลการตรวจคัดกรองปริมาณ DEHP ในตัวอย่างน้ำชะขวดน้ำดื่มด้วยวิธีวิเคราะห์ทางเคมี

ตัวอย่างยี่ห้อขวดน้ำดื่ม	ผลการคัดกรอง
A	+
B	+
C	-
D	+
E	-
F	-
G	+
H	+

หมายเหตุ : ผลบวก (+) คือมีปริมาณ DEHP สูงเกินค่ามาตรฐานน้ำดื่มของ USEPA ที่กำหนดไว้ (เกิน 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร)
ผลลบ (-) คือมีปริมาณ DEHP ไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำดื่มของ USEPA ที่กำหนดไว้ (ไม่เกิน 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร)

จากตารางที่ 3-9 พบว่าตัวอย่างน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดที่วิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีพบว่ามี 3 ยี่ห้อเกินค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม และจากตารางที่ 3-10 พบว่ามีตัวอย่างน้ำชะให้ผลบวกทั้งหมด 3 ยี่ห้อ ซึ่งน้ำชะในตัวอย่างดังกล่าวมีปริมาณ DEHP สูงเกินค่ามาตรฐานน้ำดื่มของ USEPA (0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร)

3.7 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของวิธีการตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP ในน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใสและถุงบรรจุเลือด

ตารางที่ 3-11 ค่าความไวและความจำเพาะของวิธีการตรวจคัดกรองน้ำชะถุงบรรจุเลือดที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความไว/ ความจำเพาะ	ความเข้มข้น ร้อยละ 100	ความเข้มข้น ร้อยละ50	ความเข้มข้น ร้อยละ 25	ความเข้มข้น ร้อยละ 12.5
ความไว	1	1	0.67	0.33
ความจำเพาะ	0	1	1	1

เมื่อนำผลการตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP ด้วยไรแดงในน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดที่ความเข้มข้นต่างๆที่เวลา 24 ชั่วโมง มาคำนวณค่าความไวและความจำเพาะแสดงในตารางที่ 3-11 พบว่ายิ่งเจือจางน้ำชะตัวอย่างให้มีความเข้มข้นลดลงจะยิ่งส่งผลให้ค่าความไวลดลงด้วย แต่ค่าความจำเพาะสูงขึ้น และพบว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 มีค่าความไวและค่าความจำเพาะสูงสุด (เท่ากับ 1) แสดงให้เห็นว่าที่ระดับความเข้มข้นนี้ ไรแดงมีประสิทธิภาพในการตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงบรรจุเลือดได้ดีที่สุด สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจคัดกรองสารในตัวอย่างอื่นๆ ได้

ตารางที่ 3-12 ค่าความไวและความจำเพาะของวิธีการตรวจคัดกรองน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสชนิดใสที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความไว/ ความจำเพาะ	**ความเข้มข้น ร้อยละ 100**	**ความเข้มข้น ร้อยละ50**	**ความเข้มข้น ร้อยละ 25**	**ความเข้มข้น ร้อยละ 12.5**
ความไว	1	1	0.2	0
ความจำเพาะ	0.33	1	1	1

จากการตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP ด้วยไรแดงในน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสที่ความเข้มข้นต่างๆที่เวลา 24 ชั่วโมง โดยผลการตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP ในน้ำชะด้วยวิธีวิเคราะห์ทางเคมีมาคำนวณค่าความไวและความจำเพาะแสดงดังตารางที่ 3-12 พบว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 มีค่าความไวและค่าความจำเพาะสูงสุด (เท่ากับ 1) แสดงให้เห็นว่าที่ระดับความเข้มข้นนี้ ไรแดงมีประสิทธิภาพในการตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP ที่ถูกชะออกมาจากตัวอย่างขวดน้ำดื่มและถุงบรรจุเลือดได้ดีที่สุด สำหรับเหตุผลที่กำหนดให้ใช้ร้อยละการตายที่ร้อยละ 50 เป็นตัวแบ่งเป็นผลบวกและผลลบนั้น เนื่องจากต้องการให้ค่าร้อยละการตายในกลุ่มทดลองมากกว่าในกลุ่มควบคุมอย่างชัดเจน หากใช้ค่าร้อยละการตายที่ใกล้เคียงกับร้อยละการตายในกลุ่มควบคุม (ไม่เกินร้อยละ 10) จะทำให้แปลผลยากเนื่องจากการตายของไรแดงอาจเกิดจากสาเหตุธรรมชาติโดยไม่ได้มีสาเหตุมาจากพิษของสาร DEHP ก็เป็นได้ ดังนั้นเราสามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรววจคัดกรองตัวอย่างน้ำชะถุงบรรจุเลือดและน้ำชะขวดน้ำดื่มชนิดใสไว้ในตารางที่ 3-13

ตารางที่ 3-13 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิธีการตรวจคัดกรองตัวอย่างน้ำชะถุงบรรจุเลือดและน้ำชะขวดน้ำดื่ม

พารามิเตอร์	สภาวะที่เหมาะสม
ความเข้มข้นของน้ำชะ	ร้อยละ 50
อายุไรแดง	24 ชั่วโมง
จำนวนไรแดง	20 ตัว
จำนวนซ้ำต่อตัวอย่าง	10 ซ้ำ
ระยะเวลาในการทดสอบ	24 ชั่วโมง
อุณหภูมิ	27±2 องศาเซลเซียส
เกณฑ์การตัดสิน	ผลบวก เมื่อร้อยละการตายของไรแดงมีค่าตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป
	ผลลบ เมื่อร้อยละการตายของไรแดงมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 50

จากการใช้ไรแดงตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP ในตัวอย่างน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใสและถุงบรรจุเลือดเปรียบเทียบกับผลการการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสาร DEHP ด้วยวิธีการทางเคมี สรุปได้ว่าสามารถนำไรแดงไปใช้ในการตรวจคัดกรองตัวอย่างน้ำชะจากขวดน้ำดื่มและถุงบรรจุเลือดได้ เนื่องจากให้ค่าความไวและค่าความจำเพาะที่สูงสุด (เท่ากับ 1) ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP ในตัวอย่างน้ำชะเพื่อช่วยลดจำนวนตัวอย่างในการวิเคราะห์ทางเคมีได้ กล่าวคือตัวอย่างใดมีปริมาณสาร DEHP ในน้ำชะมากกว่าค่ามาตรฐานที่ยินยอมให้มีได้ วิธีการตรวจคัดกรองนี้จะให้ผลบวกทันที จากนั้นเราสามารถคัดเลือกตัวอย่างที่ให้ผลบวกไปวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อยืนยันผลอีกครั้งหนึ่ง ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟต่อ 1 ตัวอย่างมีราคาประมาณ 2,000 บาท ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่สูง จึงควรหาวิธีการที่ลดต้นทุนด้วยการตรวจคัดกรองสารด้วยไรแดงซึ่งเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่ากันมาก (มากกว่า 10 เท่า)

จากสภาวะการตรวจคัดกรองสารดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับขวดพลาสติกที่ใช้ซ้ำได้ เนื่องจากมีการชะสาร DEHP ออกมาได้ทุกครั้งที่ใช้งาน มีรายงานพบว่าการเก็บขวดน้ำดื่มที่ระยะเวลานานกว่า 1 เดือนอาจทำให้มีสาร DEHP ถูกชะออกมามากเกินค่ามาตรฐานที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่ม (USEPA กำหนดไว้ไม่ควรเกิน 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร) (อรทัย พุมดวง,) จากวิธีการตรวจคัดกรองสาร DEHP ดังกล่าวทำให้เห็นได้ว่าการใช้ไรแดงในการตรวจคัดกรองมีประโยชน์ในด้านต่างๆทั้งการลดต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายของการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางเคมี ไม่ต้องมีนักวิทยาศาสตร์ที่มีความเชี่ยวชาญสูง ไม่ต้องมีเครื่องมือวิเคราะห์ราคาแพงประจำห้องปฏิบัติการ เป็นการลดของเสียทางห้องปฏิบัติการได้อีกทางหนึ่ง จึงเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP ในตัวอย่างน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดและขวดน้ำดื่มชนิดใสโดยใช้ไรแดงเป็นตัวทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันของสาร DEHP ถ้าเป็นการตรวจคัดกรองด้วยวิธีการมาตรฐานนั้น กำหนดให้ใช้น้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องชะสาร DEHP ออกจากขวดน้ำดื่มชนิดใส ส่วนตัวอย่างถุงบรรจุเลือด กำหนดให้ใช้สารตัวทำละลายสกัด (เอทานอลต่อน้ำกลั่น 1:1 โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสชะสาร DEHP ที่อยู่ในถุงบรรจุเลือดออกมาตามวิธีการระบุไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (1298-2555) สาร DEHP จะถูกสกัดออกมาจากตัวอย่างน้ำชะหรือสารตัวทำละลายสกัด แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีที่กำหนดให้ ซึ่งต้องมีนักวิทยาศาสตร์และเครื่องมือวิเคราะห์ราคาแพงประจำห้องปฏิบัติการ ค่าใช้จ่ายต่อตัวอย่างและระยะเวลาในการตรวจคัดกรองจึงมักจะสูง ถ้าเราสามารถพัฒนาวิธีการตรวจคัดกรองที่ง่ายๆ ก็จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายไปได้มาก โดยมีเงื่อนไขว่าถ้าสาร DEHP ถูกชะออกมาเกินค่ามาตรฐานที่ยอมให้มีได้ วิธีการตรวจคัดกรองนี้ต้องแสดงผลบวกเสมอ แต่ถ้าสาร DEHP ถูกชะออกมาน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมให้มีได้ วิธีการตรวจคัดกรองนี้ต้องแสดงผลลบเสมอ จากการศึกษาได้ผลสรุปดังต่อไปนี้

4.1.1 ปริมาณสาร DEHP ที่ถูกชะมาจากถุงบรรจุเลือดและขวดน้ำดื่มชนิดใส

ปริมาณสาร DEHP เฉลี่ยในตัวอย่างถุงบรรจุเลือดทั้ง 4 ยี่ห้ออยู่ในช่วง 14.80 – 35.13 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มี 3 ใน 4 ยี่ห้อที่ตรวจพบมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานถุงบรรจุเลือดตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม (ปริมาณ DEHP ไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อสารละลายสกัด 100 มิลลิลิตร)

ปริมาณสาร DEHP เฉลี่ยในตัวอย่างของขวดน้ำดื่มชนิดใสพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.0048 - 0.0159 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นในตัวอย่างน้ำชะจากขวดน้ำดื่มพบว่า จากตัวอย่างทั้งหมด 8 ยี่ห้อพบว่ามี 4 ยี่ห้อที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร DEHP สูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน (ปริมาณสาร DEHP ตามมาตรฐานน้ำดื่มของ USEPA ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร)

4.1.2 การคัดกรองสาร DEHP โดยการทดสอบความเป็นพิษด้วยไรแดง

ร้อยละการตายของไรแดงในน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดและขวดน้ำดื่มชนิดใส ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีความแตกต่างกันตามระดับความเข้มข้นของน้ำชะ ซึ่งร้อยละการตายของไรแดงจะลดลงตามระดับการเจือจางของน้ำชะ ที่ระยะเวลาการคัดกรองสาร DEHP 48 ชั่วโมง ร้อยละการตายของไรแดงในกลุ่มควบคุมมีมากกว่าร้อยละ 10 ซึ่งถือว่ามากเกินไปไม่สามารถนำผลมาวิเคราะห์ได้ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำระยะเวลา 48 ชั่วโมงมาใช้ในการตรวจคัดกรองสาร

4.1.3 การหาประสิทธิภาพของวิธีการตรวจคัดกรองสารในน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดและขวดน้ำดื่มชนิดใส

การทดสอบไรแดงในตัวอย่างน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใสที่เวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 มีค่าความไวและค่าความจำเพาะสูงสุด (เท่ากับ 1) และในตัวอย่างน้ำชะจากถุงบรรจุเลือด พบว่าค่าความไวและค่าความจำเพาะที่สูงสุด (เท่ากับ 1) อยู่ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 50 เช่นกัน แสดงให้เห็นว่าที่ระดับความเข้มข้นนี้ ไรแดงมีประสิทธิภาพในการตรวจคัดกรองปริมาณสาร DEHP ที่ถูกชะออกมาจากตัวอย่างขวดน้ำดื่มและถุงบรรจุเลือดได้ดีที่สุด ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจคัดกรองตัวอย่างน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใสและถุงบรรจุเลือดกำหนดที่ความเข้มข้นของน้ำชะที่ร้อยละ 50 โดยใช้ไรแดงอายุ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 27±2 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 10 ซ้ำเพื่อหาร้อยละการตายของไรแดง

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 สามารถนำวิธีนี้ไปประยุกต์ใช้ในการตรวจคัดกรองสาร DEHP ในภาชนะพลาสติกหรือวัสดุทางการแพทย์อื่นๆ เช่น ถุงบรรจุอาหาร กล่องโฟม ขวดน้ำดื่มแบบขุ่น ขวดบรรจุน้ำยา สายน้ำเกลือ เป็นต้น

4.2.2 ควรมีการศึกษาประเมินการสัมผัสสาร DEHP ในของเล่นเด็ก ยางกัด จุกดูดนม เป็นต้น และประยุกต์ใช้การตรวจคัดกรองสาร DEHP ด้วยไรแดง

4.2.3 ควรมีการพิจารณากำหนดค่ามาตรฐานของปริมาณสาร DEHP ที่ยอมให้มีได้ในของเล่นเด็ก และประยุกต์ใช้การตรวจคัดกรองสาร DEHP ด้วยไรแดง

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. 2548. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 295) พ.ศ. 2548 เรื่องกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติก. ม.ป.ท.

กองวิชาการ กรมประมง. 2553. การเพาะเลี้ยงไรแดง. (ออนไลน์) สืบค้นจาก http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/fish/raidaeng.pdf (วันที่สืบค้น 10 สิงหาคม 2558.)

งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2550. การบรรจุอาหาร (Food Packaging). **พลาสติก.** กรุงเทพ: บริษัท เอส.พี. เอ็ม การพิมพ์.

ชูติมา ศรีวิบูลย์. 2544. การใช้วิธีไอออนโครมาโทกราฟีโลหะหนักในรูปของสารเชิงซ้อนกับ EDTA ชนิดไอออนลบ. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ชลธิชา นิวาสประกฤติ. 2555. การวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ในผลตะคร้อจากจังหวัดต่างๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีชนิดของเหลวประสิทธิภาพสูง. เอกสารการประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9 (ออนไลน์) สืบค้นจาก: http://www.reserchconference.kps.ac.th/con9/article_9/Pdf/p_plant27.Pdf. (วันที่สืบค้น 27 ตุลาคม 2558.)

เติมสิน ทองไกร. 2556**.** การใช้ไรแดงในการตรวจคัดกรองความเป็นพิษของน้ำชะถุงมือที่ใช้สัมผัสอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธนาภรณ์ จิตปาลพงศ์. 2536. พิษเฉียบพลันของผงซักฟอกที่มีต่อไรแดง (*Moina macrocopa*). วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ.

ธนาวดี ลี้จากภัย. 2547. ขวด PET การผลิตและการใช้งาน **วารสาร MTEC**: 31-34 (ตุลาคม - ธันวาคม) สืบค้นออนไลน์จาก file:///E:/paper/การผลิตขวด%20PET.pdf. (วันที่สืบค้น 3 กรกฎาคม2560)

นวดล เพ็ชรวัฒนา. 2554. การเสริมสภาพพลาสติกในพอลิไวนิลคลอไรด์. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี** 13 (4): 30-38.

นันทนา กันยานุวัฒน์ และนุชนาท นาคา. 2555. **แนวทางการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบทางเคมี**. กรุงเทพฯ: สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.

นิทัศน์ จิระอรุณ. 2542. การทดสอบและปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้ว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปุญญพัฒน์ ไชยเมลล์. 2557. การใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ, **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ** 17 (6): 72-80.

ปุ่น คงเจริญเกียรติ. 2547. พีวีซีคืออะไร.**วารสารพลาสติก** 20 (4): 35-40.

พงษ์ธร แซ่อุย. 2548. **ยาง:ชนิด สมบัติ และการใช้งาน.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.

พรพรรณ หนูสวัสดิ์. 2555. สารเสริมสภาพพลาสติก (DEHP) สำหรับถุงพลาสติกบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์. **Plastic BI-Weekly News** 6 (42): 1-5.

พิมล เชี่ยวศิลป์. 2543. Serious Hazards of Blood Transfusion. **วารสารโลหิตวิทยาและเวชศาสตร์บริการโลหิต** 10 (1): 3-6.

พิไลพร สมพงศ์. 2554. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พีระนารถ แจ้งทอง และปัทมา นพรัตน์. 2546. การควบคุมคุณภาพภายใน สำหรับห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบ. เอกสารรายงานวิจัยของบุคลากร กรมวิทยาศาสตร์บริการ (ออนไลน์) สืบค้นจากhttp://siweb.dss.go.th/technical_report/user_technical_list_vicha.asp. (วันที่สืบค้น 3 เมษายน 2560)

เพ็ญนิภา บุญวิสุทธิ์. 2544. การผลิตถุงบรรจุโลหิต. **วารสารโลหิตวิทยาและเวชศาสตร์บริการโลหิต** 11(1): 25-26.

ภมรรัตน์ เกื้อเส้ง. 2549. การวิเคราะห์สารทาเลตและอดิเพตเอสเทอร์ปริมาณน้อยที่ปนเปื้อนในอาหารบรรจุภัณฑ์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาเคมีวิเคราะห์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ภานุ เทวรัตน์มณีกุล. 2549. การเพาะเลี้ยงไรแดง. กรมประมง สำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการประมง ส่วนเผยแพร่การประมง ฝ่ายเผยแพร่.

รัชนีบูลย์ ทิพย์เนตร และนันทิยา สมหวัง. 2543. ไรแดงสร้างชีวิตใหม่. **วารสารกรมประมง** 8 (6): 601-608.

ลัดดา วงรัตน์. 2543. **คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วารุณี ฉัตรเท. 2547. การทดสอบความเป็นพิษของสีย้อมโดยใช้สาหร่ายและไรแดง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC).2550. ประเภทและการใช้งานของพลาสติก. (ออนไลน์) สืบค้นจากhttp://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/type_and_usagepls.html. (วันที่สืบค้น 23 กรกฎาคม 2558)

สถาบันพลาสติก. 2013. พลาสติกในอุตสาหกรรมเครื่องมือแพทย์ .(ออนไลน์) สืบค้นจาก http://plastic.oie.go.th/PlasticsForesight/plasticsforesightvol.5/files/plasticsforesightvol.5.pdf. (วันที่สืบค้น 14 ตุลาคม 2558)

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2539. โครงการฉลากสีเขียว (ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปทำจากพลาสติกที่ใช้แล้ว. โรงพิมพ์สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม. (ออนไลน์) สืบค้นจาก http://fic.nfi.or.th/foodsafety/upload/ damage/ pdf/pthalate.pdf. (วันที่สืบค้น 9 มิถุนายน 2558)

สมคิด ปราบภัย. 2545. การใช้ไรแดง (*Moina macrocopa Straus*.) ประเมินความเป็นพิษของตะกอนท้องน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สมศักดิ์ วรมงคลชัย. 2547. สารปรับแต่งพอลิเมอร์. **พอลิเมอร์**. กรุงเทพฯ: พิมพ์ลักษณ์.

สาคร คันธโชติ. 2541.**กรรมวิธีการผลิต Production Methods**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

สุจินต์ พราวพันธ์ และพิริยะ ศรีเจ้า. 2557. ความปลอดภัยของวัสดุสัมผัสอาหาร. **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ** 62(196): 18-20.

สุเทพ เรืองวิเศษ และคณะ.2549. **เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง บิส (2-เอทธิลเฮ็กซิล) ทาเลต.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรอุษา สรวารี. 2546. **สารเติมแต่งพอลิเมอร์.** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อารี ชูวิสิฐกุล. 2540. การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์คอเลสเทอรอลในนมและผลิตภัณฑ์นม. เอกสารผลงานที่เสนอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 8ว. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.dss.go.th. (วันที่สืบค้น 8 มิถุนายน 2558).

อารี พลดี. 2555. Plasticizer. (ออนไลน์) สืบค้นจาก http://www.royin.go.th/?knowledges=plasticizer. (วันที่สืบค้น 9 กรกฎาคม 2559)

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2555. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 4 (449) ยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพลาสติกสำหรับบรรจุโลหิตและส่วนประกอบของโลหิตและกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมภาชนะพลาสติกปราศจากเชื้อสำหรับบรรจุโลหิตและส่วนประกอบของโลหิต (ใช้เมื่อ 7 พฤศจิกายน 2555)

Agency for Toxic Substance and Diseases Registry (ATSDR). 2002. **Toxicological profile for di (2ethylhexyl) phthalate (DEHP).** Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Altman DG, Bland JM. Diagnostic tests 1: sensitivity and specificity. **British Medical Journal** 12(308): 1552.

Bosnir, J., Puntaric, D., Galic, A., Skes, I., Dijanic, T., Klaric, M., Grgic, M., Curkovic, M. and Smit, Z. 2007. Migration of phthalates from plastic containers into soft drinks and mineral water. **Food Technology and Biotechnology** 45(1): 91-95.

Broeders, S., Huber, L., Grohmann, L., Berben, G., Taveriners, I., Mazzara, M., Roosens, H and Morisset, D. 2014. Guidelines for validation of qualitative real-time PCR methods. **Trends in Food Science & Technology** 37(2): 115-126.

Cadogan D, Howick C. 1996. Plasticizers. In: Kroschwitz J, Howe-Grant M, eds. **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology**. New York: John Wiley & Sons Inc., p. 258-290.

Carlo, M.D., Pepe, A. and Sacchetti, G. 2008. Determination of phthalate esters in wine using solid phase extraction and gas chromatography-mass spectrometry. **Food Chemistry** 15(111): 771-777.

Casajuan, N. and Lacorte, S. 2003. Presence and release of phthalic estersand other endocrine disrupting compoundsin drinking water. **Chromatographia** 12 (57): 649-655.

Cirillo, T., Fasano, E., Esposito, F., Montuori, P., and Cocchieri, R. A.2001. Di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) and di-n-butylphthalate (DBP) exposure through diet in hospital patients. **Food and Chemical Toxicology** 51(10): 434–438.

David C. Miller, MD, MPH, Rodney L. Dunn, MS, and John T. Wei, MD, MS 2007. Assessing the Performance and Validity of Diagnostic Tests and Screening Programs. **Clinical Research for Surgeons** 11(9): 157-173.

Edenbaum., J. 1992. **Plastic Additives and Modifiers Handbook**. USA: Van Nostrand reinhold.

EURACHEM. 1998. A laboratory guide to method validation and relate topics. The fitness for purpose of analytical methods. LGC (Teddington) Ltd.

Farre, M. and Barcelo, D. 2003. Toxicity testing of wastewater and sewage sludge by biosensors, bioassays and chemical analysis. **Trends in Analytical Chemistry** 15(22): 299-310.

Grimes DA, Schulz KF. 2002. Uses and abuses of screening tests. **Lancet** 359(9309): 881-884.

Koch HM, Bolt HM and Angerer RPJ. 2005. New metabolites of di-(2-ethylhexyl) Phthalate (DEHP) in human urine and serum after single oral dosed of deuterium labeled DEHP. **Archived Toxicology** 79(5): 367-376.

Leivadara, S.V., Nikolaou, A.D. and Lekkas, T.D. 2007. Determination of organic compounds in bottled waters. **Food Chemistry** 108 (12): 277-286.

Lithner, D., Damberg, J., Dave, G. and Larsson, K. 2008. Leachates from plastic consumer products-screening for toxicity with Daphnia magna. **Chemosphere** 74 (56): 1195-1200.

Lithner, D., Nordensvan, I. and Dave, G. 2011. Comparative acute toxicity of leachates fromplastic productsmade of polypropylene, polyethylene, PVC, acrylonitrile–butadiene –styrene, and epoxy to Daphnia magna. **Environmental Science and Pollution Research** 19(3): 1763– 1772.

Mulder, K. and Knot. M. 2001. A history of systems development and entrenchment. **Technology in Society**. 23(2): 265–286.

Plastic Foresight. 2013. Plastics for the medical devices industry. 18 (2): 5-10.

Prapatpong, P. and Kanchanamayoon, W. 2010. Determination of phthalate esters in drinking water using solid-phase extraction and gas chromatography. **Journal of Applied Sciences** 10(21): 1987-1990.

Soroka, W. 2002. **Fundamental of Packaging Technology**. 3rd ed. Illinois: Institute of packaging Professionals.

Staples CA, Peterson DR, Parkerton TF, et al. 1997. The environmental fate of phthalate esters: A literature review. **Chemosphere** 35(4): 667-749.

Swan SH. 2008. Environmental phthalate exposure in relation to reproductive outcomes and other health endpoints in hutments. **Environmental Research** 7 (108): 177-184.

USEPA. 1996. Draft for public health goal for di-(2-ethyhexyl) 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. 2012. *Daphnia, Ceriodaphnia Dubai*, survival and reproduction test method. [homepage].[2018 May10] Available from: http://www.epa.gov.

WHO. 2006. **Guidelines for Drinking-Water Quality**. Third ed., vol 1. Geneva: WHO.

Yi, X., Kang, S.K. and Jung, J. 2010. Long-term evaluation of lethal and sublethal toxicity of industrial effluent using Daphnia magna and Moina macrocopa. **Journal of Hazadous Materials** 13(178): 982-987.

ภาคผนวก ก

การคำนวณค่า LOD และ LOQ

การคำนวณค่า LOD และ LOQ ของตัวอย่างน้ำชะถุงบรรจุเลือด

ตารางที่ ก-1 ค่าการดูดกลืนแสงของสัญญาณ blank

ครั้งที่	**ค่าการดูดกลืนแสง**
1	0.503
2	0.472
3	0.609
4	0.591
5	0.610
6	0.619
7	0.535
8	0.498
9	0.514
10	0.637
เฉลี่ย	0.559
SD	0.057

จากสมการ $y = 0.0418x + 0.0181$

LOD = 3SD/slope

= (3 x 0.057)/0.0418

= 4.115 mg/mL

LOQ = 10SD/slope

= (10 x 0.057)/0.0418

= 13.717 mg/mL

การคำนวณค่า LOD และ LOQ ของตัวอย่างน้ำชะขวดน้ำดื่ม

ตารางที่ ก-2 ความเข้มข้นของสาร DEHP

ครั้งที่	**พื้นที่ใต้กราฟ**
1	0.013
2	0.003
3	0.005
4	0.002
5	0.008
6	0.003
7	0.004
8	0.012
9	0.003
10	0.002
เฉลี่ย	0.006
SD	0.004

จากสมการ $y = 14.021x - 6.7508$

LOD = 3SD/slpoe

= (3 x 0.004)/14.02

= 0.00081 mg/mL

LOQ = 10SD/slpoe

= (10 x 0.004)/14.02

= 0.00268 mg/mL

ภาคผนวก ข
ร้อยละการตายของไรแดง

ตารางภาคผนวกที่ ข-1 ร้อยละตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใสยี่ห้อ A

Concentration / Types of Chemical		100%		50%		25%		12.50%		Control	
Brand A	Replicate	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h
	1	17	17	14	19	10	12	9	11	1	2
	2	13	19	11	16	13	14	7	9	1	3
	3	14	17	13	17	9	12	8	12	1	1
	4	14	16	9	17	10	12	7	9	1	2
	5	16	18	11	18	12	13	8	11	2	2
	6	15	19	16	18	10	12	5	7	1	2
	7	14	19	13	17	13	15	4	9	1	2
	8	17	18	15	19	8	10	7	9	2	2
	9	17	20	13	17	12	14	10	13	2	2
	10	14	18	11	17	11	13	6	11	0	2
Average		15.1	18.1	12.6	17.5	10.8	12.7	7.1	10.1	1.2	2
SD		1.45	1.14	2.01	0.92	1.60	1.35	1.70	1.70	0.60	2.00
%Kill		75.50	90.50	63.00	87.50	54.00	63.50	35.50	50.50	6.00	10.00

ตารางภาคผนวกที่ ข-2 ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใสยี่ห้อ B

Concentration / Types of chemical		100%		50%		25%		12.50%		control	
Brand B	Replicate	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h
	1	12	13	7	9	5	7	4	5	2	3
	2	15	16	12	14	13	14	7	9	1	2
	3	12	13	9	13	7	9	7	9	1	2
	4	11	12	7	14	8	9	4	6	2	2
	5	12	14	11	14	6	8	5	6	1	2
	6	13	14	8	13	7	8	6	10	1	3
	7	12	15	9	13	7	7	5	7	1	1
	8	10	11	8	16	8	10	5	7	0	0
	9	13	15	7	15	7	9	5	6	1	1
	10	13	14	10	12	5	8	4	5	1	2
Average		12.3	13.7	8.8	13.3	7.3	8.9	5.2	7	1.1	1.8
SD		1.27	1.42	1.66	1.79	2.15	1.92	1.08	1.67	0.54	0.87
%Kill		61.50	68.50	44.00	66.50	36.50	44.50	26.00	35.00	5.50	9.00

ตารางภาคผนวกที่ ข-3 ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใสยี่ห้อ C

Concentration / Types of chemical		100%		50%		25%		12.50%		control	
Brand C	Replicate	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h
	1	12	13	7	11	9	10	5	6	1	1
	2	14	16	13	15	7	9	5	6	0	2
	3	13	13	11	14	8	11	7	9	1	2
	4	14	12	9	12	5	7	5	7	1	1
	5	13	14	12	13	6	9	8	8	2	2
	6	12	14	7	12	7	9	5	7	1	0
	7	11	15	11	14	7	8	6	9	0	1
	8	14	11	10	13	8	10	6	8	1	2
	9	11	15	9	14	11	12	4	6	1	2
	10	12	14	12	16	8	12	4	8	1	2
Average		12.6	13.7	10.1	13.4	7.6	9.7	5.5	7.4	0.9	1.5
SD		1.30	1.42	1.97	1.43	1.56	1.55	1.20	1.11	0.54	0.67
%Kill		63.00	68.50	50.50	67.00	38.00	48.50	27.50	37.00	4.50	7.50

ตารางภาคผนวกที่ ข-4 ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใสยี่ห้อ D

Concentration / Types of chemical		100%		50%		25%		12.50%		control	
Brand D	Replicate	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h
	1	15	16	11	13	9	12	7	9	0	1
	2	12	14	14	15	8	10	4	7	2	2
	3	12	17	8	11	9	10	5	8	1	1
	4	14	17	11	13	8	11	7	9	1	2
	5	15	15	9	12	9	12	5	7	1	2
	6	15	16	13	15	9	12	5	7	2	1
	7	11	15	9	12	5	8	7	9	1	1
	8	9	16	12	13	8	11	7	10	1	2
	9	13	15	11	14	8	12	5	8	1	2
	10	14	15	13	13	9	14	5	9	1	1
Average		13.00	15.60	11.10	13.10	8.20	11.20	5.70	8.30	1.10	4.50
SD		1.90	0.92	1.87	1.22	1.17	1.54	1.10	1.00	0.54	9.18
%Kill		65.00	78.00	55.50	65.50	41.00	56.00	28.50	41.50	5.50	22.50

ตารางภาคผนวกที่ ข-5 ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใสยี่ห้อ E

Concentration / Types of chemical		100%		50%		25%		12.50%		control	
Brand E	Replicate	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h
	1	12	14	6	9	8	9	6	7	1	2
	2	11	13	9	10	5	7	5	6	2	3
	3	12	14	9	11	7	9	5	9	1	2
	4	13	17	8	12	6	9	4	5	1	2
	5	16	16	6	8	5	10	6	8	1	1
	6	12	13	7	9	4	7	3	5	0	2
	7	11	12	11	13	7	8	4	6	1	1
	8	11	12	9	13	7	9	5	5	2	2
	9	10	11	7	10	5	8	7	9	0	1
	10	12	13	9	16	6	9	4	5	1	2
Average		12.00	13.50	8.10	11.10	6.00	8.50	4.90	6.50	1.00	1.80
SD		1.55	1.75	1.51	2.30	1.18	0.92	1.14	1.57	0.63	0.60
%Kill		60.00	67.50	40.50	55.50	30.00	42.50	24.50	32.50	5.00	9.00

ตารางภาคผนวกที่ ข-6 ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใสยี่ห้อ F

Concentration / Types of chemical		100%		50%		25%		12.50%		control	
Brand F	Replicate	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h
	1	10	13	6	9	6	7	5	6	1	2
	2	9	11	9	11	5	8	4	6	2	2
	3	9	12	7	12	7	8	4	6	0	2
	4	11	15	10	11	5	9	3	5	1	1
	5	8	12	9	13	4	5	5	6	1	1
	6	10	13	6	8	7	10	3	4	0	1
	7	9	13	8	11	5	8	3	4	0	2
	8	9	12	9	10	6	8	3	5	1	3
	9	11	12	8	12	5	7	5	7	1	2
	10	13	14	7	9	4	6	4	7	1	1
Average		9.90	12.70	7.90	10.60	5.40	7.60	3.90	5.60	0.80	1.70
SD		1.37	1.10	1.30	1.50	1.02	1.36	0.83	1.02	0.60	0.64
%Kill		49.50	63.50	39.50	53.00	27.00	38.00	19.50	28.00	4.00	8.50

ตารางภาคผนวกที่ ข-7 ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใสยี่ห้อ G

Concentration / Types of chemical		100%		50%		25%		12.50%		control	
Brand G	Replicate	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h
	1	13	15	9	11	4	7	6	9	2	2
	2	17	17	10	11	7	9	4	7	1	2
	3	16	16	6	9	5	8	4	8	1	1
	4	9	13	10	13	7	10	5	6	1	1
	5	14	17	13	13	9	11	4	6	0	1
	6	13	15	12	14	11	13	7	9	2	3
	7	12	15	7	11	10	11	7	10	1	2
	8	9	14	12	13	8	10	8	10	0	2
	9	14	16	11	15	10	12	7	9	2	1
	10	12	15	12	14	7	9	4	7	1	2
Average		12.90	15.30	10.20	12.40	7.80	10.00	5.60	8.10	1.10	1.70
SD		2.47	1.19	2.18	1.74	2.14	1.73	1.50	1.45	0.70	0.64
%Kill		64.50	76.50	51.00	62.00	39.00	50.00	28.00	40.50	5.50	8.50

ตารางภาคผนวกที่ ข-8 ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใสยี่ห้อ H

Concentration / Types of chemical		100%		50%		25%		12.50%		control	
Brand H	Replicate	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h
	1	14	17	11	13	10	12	4	8	2	3
	2	13	16	7	9	8	9	7	8	1	1
	3	16	19	10	11	12	13	7	9	2	1
	4	15	16	10	13	8	10	4	7	2	1
	5	12	16	12	15	11	13	6	8	1	2
	6	15	15	13	14	9	11	8	11	1	0
	7	9	18	13	16	12	14	7	10	1	2
	8	13	16	11	13	9	12	7	11	2	1
	9	13	17	12	14	11	12	6	9	0	2
	10	12	14	13	16	12	13	8	12	0	1
Average		13.20	16.40	11.20	13.40	10.20	11.90	6.40	9.30	1.20	1.40
SD		1.89	1.36	1.78	2.06	1.54	1.45	1.36	1.55	0.75	0.80
%Kill		66.00	82.00	56.00	67.00	51.00	59.50	32.00	46.50	6.00	7.00

ตารางภาคผนวกที่ ข-9 ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ A

Concentration / Types of chemical		100%		50%		25%		12.50%		control	
Brand A	Replicate	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h
	1	11	12	10	13	9	10	7	11	1	2
	2	9	12	8	15	8	9	8	10	1	1
	3	7	11	11	12	6	11	6	9	1	1
	4	8	12	7	11	7	13	7	8	1	2
	5	12	13	7	12	7	8	8	9	1	1
	6	13	14	9	11	9	12	6	4	2	2
	7	11	12	9	12	8	8	5	4	0	0
	8	13	14	8	9	8	13	8	7	1	2
	9	10	11	10	11	10	11	5	4	1	1
	10	13	13	9	12	9.00	10	6	5	0	1
Average		10.70	12.40	8.80	11.80	8.10	10.50	6.60	7.10	0.90	1.30
SD		2.05	1.02	1.25	1.47	1.14	1.75	1.11	2.55	0.54	0.64
%Kill		53.50	62.00	44.00	59.00	40.5	52.50	33.00	35.50	4.50	6.50

ตารางภาคผนวกที่ ข-10 ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ B

Concentration / Types of chemical		100%		50%		25%		12.50%		control	
Brand B	Replicate	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h
	1	13	14	15	14	12	14	10	11	2	2
	2	15	15	11	13	9	11	9	13	1	2
	3	16	17	14	15	10	15	6	8	0	2
	4	15	15	15	16	9	12	11	13	2	3
	5	12	15	12	14	11	12	7	8	2	2
	6	15	16	12	13	15	13	13	14	1	2
	7	13	15	13	13	13	16	10	11	2	2
	8	16	18	12	14	11	12	11	11	1	1
	9	15	17	11	15	8	11	12	13	2	3
	10	14	16	14	17	13	13	9	14	2	2
Average		14.40	15.80	12.90	14.40	11.10	12.90	9.80	11.60	1.50	2.10
SD		1.28	1.17	1.45	1.28	2.07	1.58	2.04	2.11	0.67	0.54
%Kill		72.00	79.00	64.50	72.00	55.50	64.50	49.00	58.00	7.50	10.50

ตารางภาคผนวกที่ ข-11 ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ C

Concentration / Types of chemical		100%		50%		25%		12.50%		control	
Brand C	Replicate	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h
	1	10	11	11	11	9	11	9	10	2	2
	2	13	14	8	12	11	14	5	11	1	1
	3	10	12	11	15	7	13	6	7	2	2
	4	12	15	12	13	9	14	5	11	1	2
	5	14	16	9	14	8	10	7	9	2	1
	6	9	11	10	12	8	12	8	13	2	0
	7	11	13	11	12	10	15	10	11	1	2
	8	13	14	9	13	7	9	7	14	1	2
	9	14	14	12	13	9	11	9	13	1	1
	10	12	13	13	15	10	13	11	10	0	2
Average		11.8	13.3	10.6	13	8.8	12.2	7.7	10.9	1.3	1.5
SD		1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
%Kill		59	66.5	53	65	44	61	38.5	54.5	6.5	7.5

ตารางภาคผนวกที่ ข-12 ร้อยละการตายของไรแดงที่ความเข้มข้นต่างๆของน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ D

Concentration / Types of chemical		100%		50%		25%		12.50%		control	
Brand D	Replicate	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h
	1	15	17	14	16	11	14	12	12	2	2
	2	17	18	17	17	12	15	14	18	2	3
	3	15	17	15	15	15	16	15	14	0	2
	4	17	18	13	17	16	14	13	15	2	1
	5	15	15	15	18	15	17	15	14	2	3
	6	17	18	15	15	15	14	15	13	2	3
	7	16	16	17	19	13	15	13	16	1	3
	8	14	17	14	16	14	13	12	12	2	2
	9	17	17	15	17	13	17	13	15	2	2
	10	18	19	14	14	14	15	11	14	2	3
Average		16.1	17.2	14.9	16.4	13.8	15	13.3	14.3	1.7	2.4
SD		1.22	1.08	1.22	1.43	1.47	1.26	1.35	1.73	0.64	0.66
%Kill		80.5	86	74.5	82	69	75	66.5	71.5	8.5	12

ภาคผนวก ค
ร้อยละการได้คืนกลับของสาร DEHP

ตารางภาคผนวกที่ ค-1 ร้อยละการได้คืนกลับของสาร DEHP ในน้ำชะจากถุงบรรจุเลือดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

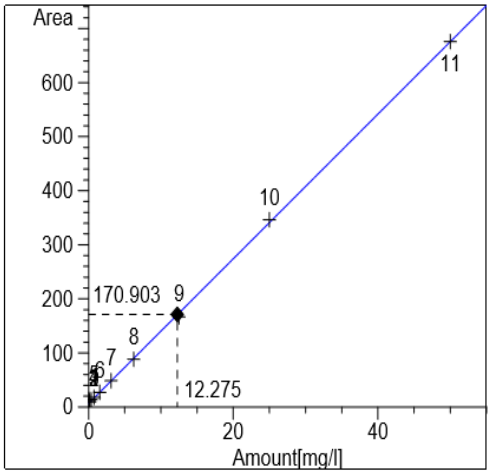
ความเข้มข้นของสารDEHP ที่เติมในตัวอย่างน้ำชะ (C_3) (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	**ความเข้มข้นของสารDEHP ในตัวอย่างน้ำชะ (C_2) (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)**	**ความเข้มข้นของสาร DEHP ที่วิเคราะห์ได้ เมื่อเติมลงในตัวอย่างน้ำชะ (C_1) (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)**	**%Recovery $[(C_1 - C_2)/C_3] \times 100$**
0.01	0.177	0.186	86.67
0.05	0.177	0.225	96
0.2	0.177	0.384	103.5

ตารางภาคผนวกที่ ค-2 ร้อยละการได้คืนกลับของสาร DEHP ในน้ำชะจากขวดน้ำดื่มที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของสารDEHP ที่เติมในตัวอย่างน้ำชะ (C_3) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	**ความเข้มข้นของสารDEHP ในตัวอย่างน้ำชะ (C_2) (มิลลิกรัมต่อลิตร)**	**ความเข้มข้นของสาร DEHP ที่วิเคราะห์ได้ เมื่อเติมลงในตัวอย่างน้ำชะ (C_1) (มิลลิกรัมต่อลิตร)**	**%Recovery $[(C_1 - C_2)/C_3] \times 100$**
0.7	0.01	0.66	93.35
3	0.01	2.78	92.22
12	0.01	11.67	97.13

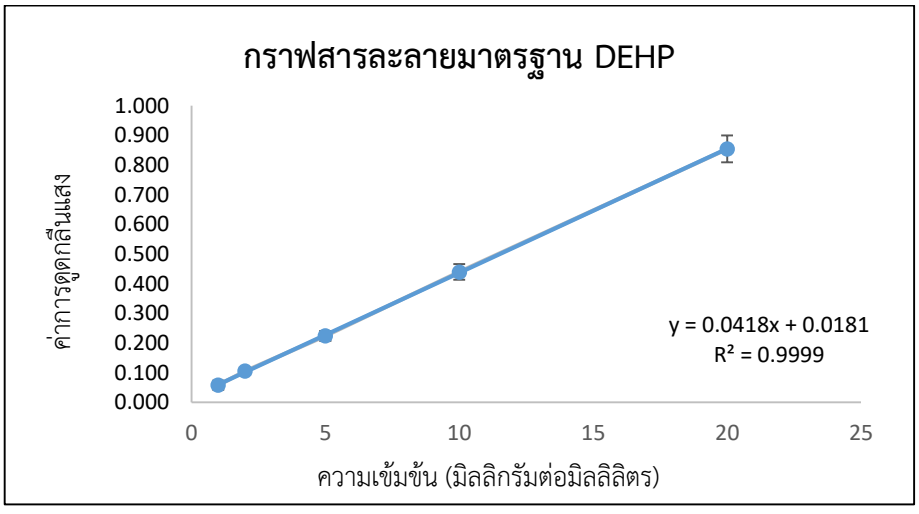
ภาคผนวก ง
กราฟมาตรฐานของสารละลาย DEHP

```
=====================================================================
                        Calibration Curves
=====================================================================
```




```
DEHP at exp. RT: 10.030
FID1 B, Back Signal
Correlation:           0.99980
Residual Std. Dev.:    4.20183
Formula: y = mx + b
      m:     13.39025
      b:      6.54186
      x: Amount
      y: Area
```

ภาพภาคผนวกที่ ง-1 กราฟมาตรฐาน (carlibation curve) ของสารละลาย DEHP ที่ความเข้มข้น 0.05-200 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพภาคผนวกที่ ง-2 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) ของสารละลาย DEHP ของตัวอย่างถุงเลือด ที่ความเข้มข้น 0.01- 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาคผนวก จ
ปริมาณสาร DEHP เฉลี่ยในขวดน้ำดื่ม

ตารางภาคผนวกที่ จ-1 ความเข้มข้นของสาร DEHP ในตัวอย่างน้ำชะจากขวดน้ำดื่มชนิดใส

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ค่าเฉลี่ย±SD
	1	2	3	4	5	
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ A	0.0153	0.0137	0.0168	0.0170	0.0164	0.0159±0.0013
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ B	0.0065	0.0062	0.0065	0.0062	0.0066	0.0064±0.0002
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ C	0.0077	0.0087	0.0075	0.0079	0.0076	0.0079±0.0005
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ D	0.0139	0.0166	0.0131	0.0142	0.0127	0.0141±0.0015
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ E	0.0048	0.0049	0.0047	0.0047	0.0048	0.0048±0.0001
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ F	0.0047	0.0049	0.0048	0.0047	0.0048	0.0048±0.0001
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ G	0.0098	0.0113	0.0103	0.0111	0.0083	0.0102±0.0012
ขวดน้ำดื่มยี่ห้อ H	0.0210	0.0201	0.0197	0.0210	0.0185	0.0200±0.0010

ตารางภาคผนวกที่ จ-2 ความเข้มข้นของสาร DEHP ในตัวอย่างน้ำชะจากถุงบรรจุเลือด

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)					ค่าเฉลี่ย±SD
	1	2	3	4	5	
ถุงเลือดยี่ห้อ A	11.14	16.56	15.30	14.05	16.93	14.80±2.34
ถุงเลือดยี่ห้อ B	31.45	33.06	32.42	29.20	31.79	31.58±1.47
ถุงเลือดยี่ห้อ C	30.98	28.59	27.76	29.82	29.05	29.24±1.22
ถุงเลือดยี่ห้อ D	34.66	37.66	33.44	36.07	33.83	35.13±1.74

ภาคผนวก ฉ
ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ ฉ-1 การเปรียบเทียบปริมาณ DEHP ในตัวอย่างน้ำชะขวดน้ำดื่มในแต่ละยี่ห้อ

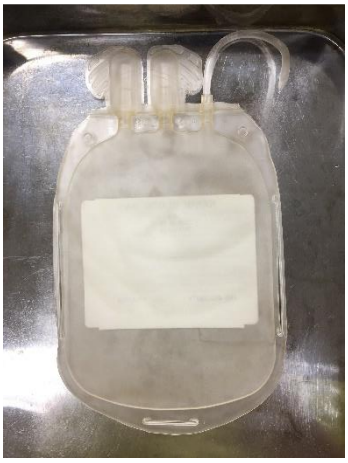
ถุงเลือด	ค่าเฉลี่ย	SD	t	Sig.
ยี่ห้อ A	14.79680	1.04459	13.601	0.000
ยี่ห้อ B	31.85460	0.65750		
ยี่ห้อ A	14.79680	1.04459	12.247	0.000
ยี่ห้อ C	29.23940	0.54728		
ยี่ห้อ A	14.79680	1.04459	15.662	0.000
ยี่ห้อ D	35.13180	0.77669		
ยี่ห้อ B	31.85460	0.65750	2.741	0.026
ยี่ห้อ C	29.23940	0.54728		
ยี่ห้อ B	31.85460	0.65750	3.486	0.009
ยี่ห้อ D	35.13180	0.77669		
ยี่ห้อ C	29.23940	0.54728	6.020	0.000
ยี่ห้อ D	35.13180	0.77669		

ตารางที่ ฉ-2 การเปรียบเทียบปริมาณ DEHP ในตัวอย่างน้ำชะถุงบรรจุเลือดในแต่ละยี่ห้อ

ถุงเลือด	ค่าเฉลี่ย	SD	t	Sig.
ยี่ห้อ A	14.79680	1.04459	0.195	0.855
ยี่ห้อ B	31.85460	0.65750	25.224	0.000
ยี่ห้อ C	29.23940	0.54728	26.018	0.000
ยี่ห้อ D	35.13180	0.77669	25.920	0.000

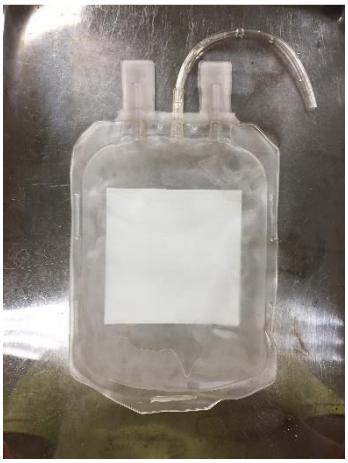
ภาคผนวก ช
ภาพตัวอย่างและการทดลอง

ภาพที่ ช-1 ตัวอย่างถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ A



ภาพที่ ช-2 ตัวอย่างถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ B

ภาพที่ ช-3 ตัวอย่างถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ C



ภาพที่ ช-4 ตัวอย่างถุงบรรจุเลือดยี่ห้อ D

ภาพที่ ช-5 ตัวอย่างขวดน้ำดื่มยี่ห้อ A

ภาพที่ ช-6 ตัวอย่างขวดน้ำดื่มยี่ห้อ B

ภาพที่ ช-7 ตัวอย่างขวดน้ำดื่มยี่ห้อ C

ภาพที่ ช-8 ตัวอย่างขวดน้ำดื่มยี่ห้อ D

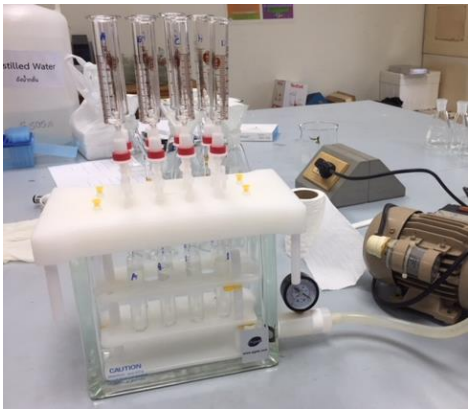
ภาพที่ ช-9 ตัวอย่างขวดน้ำดื่มยี่ห้อ E

ภาพที่ ช-10 ตัวอย่างขวดน้ำดื่มยี่ห้อ F

ภาพที่ ช-11 ตัวอย่างขวดน้ำดื่มยี่ห้อ G

ภาพที่ ช-12 ตัวอย่างขวดน้ำดื่มยี่ห้อ H

ภาพที่ ช-13 การสกัดตัวอย่างน้ำชะจากถุงเลือด



ภาพที่ ช-14 ขั้นตอนการกำจัดสารปนเปื้อน

ภาพที่ ช-15 ขั้นตอนการลดปริมาตรสารละลาย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวศุภรัตน์ แก้วมณี
รหัสประจำตัวนักศึกษา 5610920026
วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (อนามัยสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	2553

ทุนการศึกษา

- ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2559
- ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย (ศสอ.)

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ศุภรัตน์ แก้วมณี และ บรรจง วิทยวีรศักดิ์. (2561). การใช้ไรแดงตรวจคัดกรองสาร di-(2-ethylhexyl) phthalate ที่ถูกชะออกจากขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใส. การประชุมวิชาการระดับนานาชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา. 19-20 กรกฎาคม พ.ศ. 2561.