



สภาวะที่มีผลต่อการชะออกมาของ di-(2-ethylhexyl)phthalate จากภาชนะพลาสติก  
บรรจุอาหารและขวดบรรจุน้ำดื่ม

**Conditions which affect a leaching of di-(2-ethylhexyl)phthalate from certain  
kinds of plastic food containers and drinking water bottles**

อรัทัย พุมดวง

**Orathai Pumduang**

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**

2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์                     สภาวะที่มีผลต่อการชะลอออกมาของ di-(2-ethylhexyl)phthalate จากภาชนะ  
พลาสติกบรรจุอาหารและขวดบรรจุน้ำดื่ม

ผู้เขียน                                 นางสาวอรทัย พุ่มดวง

สาขาวิชา                             การจัดการสิ่งแวดล้อม

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก**

**คณะกรรมการสอบ**

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง วิทย์วิวิธศักดิ์)

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธันวาคม สุขสาขาโรจน์)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง วิทย์วิวิธศักดิ์)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิไลรัตน์ ชิวะเศรษฐธรรม)

.....กรรมการ  
(ดร.ปิยาภรณ์ ภาษีตกุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ  
สิ่งแวดล้อม

.....

(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์คารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	สถานะที่มีผลต่อการชะออกมาของ di-(2-ethylhexyl)phthalate จากภาชนะพลาสติกบรรจุอาหารและขวดบรรจุน้ำดื่ม
ผู้เขียน	นางสาวอรทัย พุ่มดวง
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2553

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการชะออกมาของ di-(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) ในขวดน้ำดื่มพลาสติกแบบใส (polyethylene terephthalate, PET) ขวดน้ำดื่มพลาสติกแบบขาวขุ่น (high density polyethylene, HDPE) ขวดพลาสติกชนิดร้อน (polypropylene, PP) ขวดพลาสติกชนิดเย็น (low density polyethylene, LDPE) และถ้วยโพลี (polystyrene, PS) โดยการสกัดสาร DEHP ด้วยวิธีสกัดด้วยวัฏภาคของของแข็ง และวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-FID) การศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บตัวอย่างต่อการชะออกมาของ DEHP ในขวดพลาสติกที่เก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง พบว่าน้ำกลั่นในขวด PET ที่เก็บไว้เป็นเวลา 6 เดือน มีระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP เท่ากับ  $26.95 \pm 1.17$  ไมโครกรัมต่อลิตร และขวด HDPE มีระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP เท่ากับ  $21.69 \pm 0.86$  ไมโครกรัมต่อลิตร โดยพบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ )

การศึกษาค้นคว้าผลของสถานะการเก็บตัวอย่างต่อการชะออกมาของ DEHP ในขวด PET และขวด HDPE ที่บรรจุน้ำกลั่นปราศจากไอออนและเก็บไว้ในที่สถานะต่างๆ ได้แก่ ที่ตากแดดไว้กลางแจ้ง (อุณหภูมิเฉลี่ย  $29.17^{\circ}\text{C} \pm 1.77^{\circ}\text{C}$ ) ที่เก็บไว้ในอาคาร (อุณหภูมิเฉลี่ย  $26.13^{\circ}\text{C} \pm 1.28^{\circ}\text{C}$ ) และที่เก็บไว้ในตู้เย็น (อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$ ) โดยเก็บตัวอย่างไว้เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าน้ำที่เก็บไว้ในตู้เย็นมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP สูงกว่าน้ำที่ตากแดดไว้กลางแจ้ง ทั้งนี้เกิดจากการสลายตัวของสารชนิดนี้ไปบางส่วนเมื่อสัมผัสกับแสงแดด และน้ำที่เก็บไว้ในตู้เย็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำก็มีผลต่อการชะออกมาของ DEHP เช่นกัน โดยพบว่าที่ระดับพีเอชเท่ากับ 2 และพีเอชเท่ากับ 9 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในน้ำสูงกว่าที่พีเอชเท่ากับ 7 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากในสถานะที่เป็นกรดต่างนั้น DEHP และสายโซ่พอลิเมอร์เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้บางส่วน ผลการวิเคราะห์ปริมาณ DEHP ในเนื้อ

พลาสติก พบว่าในเนื้อของขวด PET มีความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP สูงกว่าในเนื้อของขวด HDPE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ในการทดลองที่มีการเติมน้ำกลั่นร้อนและนมถั่วเหลืองร้อนอุณหภูมิ  $90^{\circ}\text{C}$  ลงในภาชนะบรรจุอาหาร พบว่าน้ำกลั่นร้อนที่ถูกบรรจุในถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE) ถุงร้อน (PP) และถ้วยโฟม (PS) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP เท่ากับ  $210 \pm 20$  ไมโครกรัมต่อลิตร  $270 \pm 20$  ไมโครกรัมต่อลิตร และ  $340 \pm 40$  ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนนมถั่วเหลืองที่ถูกบรรจุในถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE) ถุงร้อน (PP) และถ้วยโฟม (PS) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP เท่ากับ  $190 \pm 30$  ไมโครกรัมต่อลิตร  $280 \pm 50$  ไมโครกรัมต่อลิตร และ  $440 \pm 20$  ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในเนื้อของถุงร้อน มีค่าสูงกว่าในเนื้อของถุงเย็นและถ้วยโฟม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ที่วิเคราะห์ได้ส่วนใหญ่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่ USEPA กำหนดให้มีได้ในน้ำดื่ม 6 ไมโครกรัมต่อลิตร ดังนั้นจึงควรมีมาตรการออกมาควบคุมระดับของ DEHP ในขวดน้ำดื่มและภาชนะบรรจุอาหารเพื่อสุขภาพอนามัยและความปลอดภัยของผู้บริโภค

**คำสำคัญ:** การชะ, di-(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP), ภาชนะพลาสติกบรรจุอาหาร, ขวดพลาสติกบรรจุน้ำดื่ม, นมถั่วเหลือง

**Thesis Title** Conditions which affect a leaching of di-(2-ethylhexyl)phthalate from certain kinds of plastic food containers and drinking water bottles

**Author** Miss Orathai Pumduang

**Major Program** Environmental Management

**Academic Year** 2010

### ABSTRACT

This study aimed to find factors which affect the leaching of di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) from drinking water bottles (PET bottles and HDPE bottles) and plastic food containers (LDPE, PP and PS). DEHP was extracted from water samples with solid phase extraction and analyzed with a gas chromatograph-flame ionization detector (GC-FID). Distilled water samples stored for 6 months in PET bottles and HDPE bottles had average DEHP levels =  $26.95 \pm 1.17 \mu\text{g/L}$  and  $21.69 \pm 0.86 \mu\text{g/L}$ , respectively. It was found that DEHP levels increased significantly with an increase of storage time ( $p < 0.05$ ).

In another experiment, DEHP was leached out from PET bottles and HDPE bottles stored at various conditions: kept outdoor ( $29.17^\circ\text{C} \pm 1.77^\circ\text{C}$ ), kept indoor ( $26.13 \pm 1.28^\circ\text{C}$ ) and kept in a refrigerator ( $4^\circ\text{C}$ ) for 6 months period. It was found that the average DEHP level in bottles kept indoor was significantly more than those kept outdoor under the sun because DEHP was partially degraded when exposed to sunlight and in a refrigerator ( $p < 0.05$ ). pH levels also affected the leaching of DEHP. Water samples stored at pH=2 and pH=9 had DEHP leached out significantly more than those kept at pH=7 ( $p < 0.05$ ) because in both acid and alkaline conditions DEHP and polymeric chains were partially hydrolyzed. DEHP was leached out of PET bottles significantly more than those of HDPE bottles ( $p < 0.05$ ).

In experiments on food containers, hot water and soybean milk ( $90^\circ\text{C}$ ) were filled in 3 kinds of plastic food containers, including low density polyethylene (LDPE), polypropylene (PP) and polystyrene (PS), for 5 minutes. The average DEHP levels in water from the 3 types of containers were  $210 \pm 20 \mu\text{g/L}$ ,  $270 \pm 20 \mu\text{g/L}$  and  $340 \pm 40 \mu\text{g/L}$ , respectively. Similarly, the average DEHP levels in soybean milk samples were  $190 \pm 30 \mu\text{g/L}$ ,  $280 \pm 50 \mu\text{g/L}$

and  $440 \pm 20$   $\mu\text{g/L}$ , respectively. Polystyrene (PS) and polypropylene (PP) containers had DEHP levels significantly more than these of low density polyethylene (LDPE) ( $p < 0.05$ ). Most of the DEHP levels found in this study exceeding the EPA's limit in drinking water  $6 \mu\text{g/L}$ . Therefore, measures should be taken to control DEHP levels in drinking water bottles and food containers in order to protect consumer's health and safety.

**Key word:** Leaching, di-(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP), plastic food containers, bottles water, drinking water, soybean milk



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2 วิธีการวิจัย	26
2.1 วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์	26
2.1.1 วัสดุ	26
2.1.2 สารเคมี	26
2.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์	27
2.2 วิธีดำเนินการวิจัย	27
2.2.1 การเตรียมอุปกรณ์	27
2.2.2 ชุดการทดลอง	27
2.2.3 การวิเคราะห์ DEHP	30
2.2.3.1 วิธีการสกัด DEHP ในภาชนะบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม	30
2.2.3.2 วิธีการสกัด DEHP ในตัวอย่างน้ำ	31
2.2.3.3 วิธีการสกัด DEHP ในตัวอย่างนมถั่วเหลือง	31
2.2.3.4 วิธีการวิเคราะห์ DEHP ด้วยเครื่อง	
gas chromatograph-flame ionization detector (GC-FID)	31
2.2.5 การคำนวณหาปริมาณสารตัวอย่างในสารละลายตัวอย่าง	33
2.2.6 การวิเคราะห์ร้อยละการคืนกลับ (%recovery)	33
2.2.7 Method detection limit (MDL)	34
2.2.8 การศึกษาความเที่ยง (precision) ของวิธีวิเคราะห์	34
2.2.9 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	34
3 ผลการทดลองและอภิปรายผล	35
3.1 กราฟมาตรฐานของ DEHP	35
3.2 การประกันคุณภาพวิธีวิเคราะห์	36
3.2.1 การประกันคุณภาพของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างเนื้อของภาชนะ	
พลาสติก	36
3.1.2 การประกันคุณภาพของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างน้ำ	37
3.1.3 การประกันคุณภาพของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างนมถั่วเหลือง	39



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ผลการวิเคราะห์ DEHP ในเนื้อของภาชนะพลาสติกบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม	39
3.4 ผลการวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างพลาสติกที่สภาวะต่างๆ	43
3.4.1 การศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บตัวอย่างที่มีต่อการชะออก มาของ DEHP	43
3.4.2 การศึกษาผลของการเก็บตัวอย่างไว้ในที่สภาวะต่างๆ ต่อการชะ ออกมาของ DEHP	46
3.4.3 การศึกษาผลของระดับความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการชะออก มาของ DEHP	51
3.5 การศึกษาความเข้มข้นของ DEHP ในตัวอย่างน้ำร้อนและนมถั่วเหลือง ร้อนที่บรรจุในภาชนะบรรจุอาหาร	57
4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	62
4.1 สรุปผลการวิจัย	62
4.2 ข้อเสนอแนะ	63
4.2.1 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป	63
4.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ผู้บริโภคและผู้จำหน่าย	63
เอกสารอ้างอิง	65
ภาคผนวก	70
ก ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลอง	71
ข วิธีวิเคราะห์ทางสถิติ	85
ประวัติผู้เขียน	88

## รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	ชนิดของสารกลุ่มธาเลต	14
1-2	ค่าการละลายน้ำของ DEHP	15
1-3	ความเข้มข้นของ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากตัวอย่างประเภทต่างๆ	20
2-1	สภาวะการทำงานของเครื่อง GC สำหรับการวิเคราะห์ DEHP	32
3-1	ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างเนื้อพลาสติก	37
3-2	ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ในช่วงความเข้มข้น 10-30 ไมโครกรัมต่อลิตร ของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างน้ำ	38
3-3	ค่าร้อยละการคืนกลับและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ในช่วงความเข้มข้น 0.1-10 มิลลิกรัมต่อลิตร ของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างน้ำ	38
3-4	ค่าร้อยละการคืนกลับและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ในช่วงความเข้มข้น 0.1-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างนมถั่วเหลือง	39
3-5	ระดับของ DEHP ในเนื้อของภาชนะพลาสติกประเภทต่างๆ	41
3-6	ความเข้มข้นเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET และขวด HDPE ที่อุณหภูมิห้อง	44
<b>ภาคผนวก</b>		
ก-1	ระดับ DEHP ในเนื้อของภาชนะพลาสติกบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม	72
ก-2	ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET และ ขวด HDPE เก็บไว้ในอาคารที่อุณหภูมิห้อง (indoor)	73
ก-3	ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET และ ขวด HDPE เก็บไว้ที่สภาวะตากแดดกลางแจ้ง (outdoor)	74
ก-4	ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET และ ขวด HDPE เก็บไว้ที่สภาวะ 4 °C	75
ก-5	การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ที่สภาวะต่างๆ	76

## รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก-6	ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET และ ขวด HDPE ที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 2	77
ก-7	ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET และ ขวด HDPE ที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 7	78
ก-8	ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET และ ขวด HDPE ที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 9	79
ก-9	การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของความเข้มข้นของ DEHP ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง	80
ก-10	ความเข้มข้นของ DEHP ในตัวอย่างน้ำร้อนและนมถั่วเหลืองร้อน อุณหภูมิ 90°C ที่บรรจุในภาชนะต่างๆ	81

## รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่		หน้า
1-1	ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเอทธีลีน	3
1-2	สูตร โครงสร้างของพอลิเอทธีลีนความหนาแน่นต่ำ	4
1-3	สูตร โครงสร้างของพอลิเอทธีลีนความหนาแน่นสูง	4
1-4	กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีการสังเคราะห์ PET ระหว่าง terephthalic acid และ ethylene glycol	5
1-5	กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีการสังเคราะห์ PET ระหว่าง dimethyl terephthalate และ ethylene glycol	6
1-6	ปฏิกิริยาการเกิดพอลิโพรพิลีน	7
1-7	ปฏิกิริยาการเกิดพอลิไวนิลคลอไรด์	8
1-8	ปฏิกิริยาการเกิดพอลิสไตรีน	9
1-9	สูตร โครงสร้างของอีพ็อกซี	9
1-10	สูตร โครงสร้างของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์	10
1-11	สูตร โครงสร้างโดยทั่วไปของสารกลุ่มธาเลต	13
1-12	สูตร โครงสร้างของ DEHP	16
1-13	เส้นทางการเกิดเมแทบอลิต์ของ DEHP	17
3-1	กราฟมาตรฐานของสารละลาย DEHP ช่วงความเข้มข้น 1-50 ไมโครกรัมต่อลิตร	35
3-2	กราฟมาตรฐานของสารละลาย DEHP ช่วงความเข้มข้น 0.1-50 มิลลิกรัมต่อลิตร	36
3-3	ความเข้มข้นของ DEHP ในตัวอย่างเนื้อของพลาสติกบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม	40
3-4	โครมาโทแกรมของ DEHP ที่สกัดจากเนื้อขวด PET	42
3-5	โครมาโทแกรมของ DEHP ที่สกัดจากเนื้อขวด HDPE	42
3-6	โครมาโทแกรมของ DEHP ที่สกัดจากเนื้อถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน (PP)	42
3-7	โครมาโทแกรมโครมาโทแกรมของ DEHP ที่สกัดจากเนื้อถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE)	43

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
3-8 โครมาโทแกรมของ DEHP ที่สกัดจากเนื้อถ้วยโพลี (PS)	43
3-9 ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวดพลาสติกกับระยะเวลา การเก็บไว้ในอาคารที่อุณหภูมิห้อง	45
3-10 ความเข้มข้นของ DEHP ที่ถูกชะออกมาในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET ที่เก็บ ไว้ในสภาวะต่างๆ กัน	46
3-11 ความเข้มข้นของ DEHP ที่ถูกชะออกมาในน้ำกลั่นบรรจุขวด HDPE ที่เก็บ ไว้ในสภาวะต่างๆ กัน	47
3-12 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำบรรจุในขวด PET ตกแดดไว้ กลางแจ้ง (outdoor)	49
3-13 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำบรรจุในขวด PET ที่เก็บไว้ ในอาคารที่อุณหภูมิห้อง (indoor)	49
3-14 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำบรรจุในขวด PET เก็บไว้ใน ตู้เย็นที่ 4°C	49
3-15 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำบรรจุในขวด HDPE ที่ตากแดด ไว้กลางแจ้ง (outdoor)	50
3-16 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำบรรจุในขวด HDPE ที่เก็บไว้ใน อาคารที่อุณหภูมิห้อง (indoor)	50
3-17 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำบรรจุในขวด HDPE เก็บไว้ใน ตู้เย็นที่ 4°C	50
3-18 ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง	51
3-19 ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด HDPE ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง	52
3-20 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 2 บรรจุใน ขวด PET	55
3-21 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 7 บรรจุใน ขวด PET	55

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
3-22	โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 9 บรรจุในขวด PET	55
3-23	โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 2 บรรจุในขวด HDPE	56
3-24	โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 7 บรรจุในขวด HDPE	56
3-25	โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 9 บรรจุในขวด HDPE	56
3-26	ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นร้อนและนมถั่วเหลืองร้อนที่ชะออกมาจากภาชนะประเภทต่างๆ	57
3-27	โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำกลั่นร้อนที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน (PP)	60
3-28	โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำกลั่นร้อนที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE)	60
3-29	โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำกลั่นร้อนที่บรรจุในถ้วยโฟม	60
3-30	โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างนมถั่วเหลืองร้อนที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน (PP)	61
3-31	โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างนมถั่วเหลืองร้อนที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE)	61
3-32	โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างนมถั่วเหลืองร้อนที่บรรจุในถ้วยโฟม	61
<b>ภาคผนวก</b>		
ก-1	แสดงขั้นตอนการสกัด (solid phase extraction) ตัวอย่างด้วย C18	82
ก-2	แสดงขั้นตอนการระเหยใน water bath ที่อุณหภูมิ 40°C	82
ก-3	สถานที่สำหรับเก็บตัวอย่างสำหรับสภาวะตากแดดกลางแจ้ง	83
ก-4	สถานที่สำหรับเก็บตัวอย่างไว้ในอาคารที่อุณหภูมิห้อง	83
ก-5	สถานที่สำหรับเก็บตัวอย่างสำหรับสภาวะ 4°C	84

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ก-6 สถานทีสำหรับเก็บตัวอย่างสำหรับสภาวะกรด-ด่าง	84

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำ

ในปัจจุบันพลาสติกเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก สังเกตได้จากตามท้องตลาดทั่วไป จะพบเห็นผลิตภัณฑ์หรือบรรจุภัณฑ์ที่มาจากพลาสติกเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากพลาสติกมีสมบัติเด่นหลายอย่าง เช่น มีความแข็งแรง มีความยืดหยุ่น น้ำหนักเบา และไม่แตกหักง่าย เป็นต้น ดังนั้นจึงมีการนำพลาสติกมาใช้แทนโลหะ ไม้ หรือวัสดุอื่นๆ ได้มากมาย ซึ่งในขั้นตอนการผลิตพลาสติก มีการนำสารเติมแต่ง (additive) มาผสมเข้าไปเพื่อทำให้พลาสติกสามารถขึ้นรูปได้และเพื่อปรับปรุงสมบัติของพลาสติกให้เหมาะสมกับงานที่ใช้ สารที่เติมแต่งเหล่านี้มีอยู่ด้วยกันหลายประเภท แต่สารประกอบที่นิยมใช้กันมากคือ สารประกอบกลุ่มธาเลต (phthalate compounds) ซึ่งเป็นสารพลาสติกไซเซออร์ ช่วยทำให้พลาสติกมีความอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นได้ ส่วนใหญ่จะใส่ในผลิตภัณฑ์ประเภทพลาสติกอ่อน (soft vinyl products) ซึ่งเป็นพลาสติกที่ผลิตจาก PVC โดยมีสารประกอบกลุ่มธาเลตผสมสูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก PVC ได้แก่ ฟิล์มห่ออาหาร อุปกรณ์ทางการแพทย์ เช่น ถุงบรรจุเลือด ท่อให้เลือดและอาหาร ของเล่นสำหรับเด็กเล็ก เป็นต้น (Horn *et al.*, 2004) นอกจากนี้ยังได้มีการนำสารกลุ่มธาเลตใส่ลงในผลิตภัณฑ์สำหรับบรรจุอาหารและเครื่องคั้นด้วย เช่น ในประเทศไทยที่จังหวัดมหาสารคาม พบรายงานการวิจัยการปนเปื้อนของ DEHP ในขวดน้ำคั้นที่ผลิตมาจาก polyethylene terephthalate (PET) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.28-0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร (Prapatpong *et al.*, 2010) และยังมีรายงานการวิจัยในประเทศออสเตรเลีย ว่าพบการปนเปื้อนของ DEHP ในบรรจุภัณฑ์พลาสติกสำหรับบรรจุอาหารที่ผลิตมาจาก high density polyethylene (HDPE), polyethylene (PE), polyethylene terephthalate (PET) และ polystyrene (PS) มีค่าอยู่ระหว่าง 5-8,160 ไมโครกรัมต่อกรัม (Balafas *et al.*, 1998)

สารกลุ่มธาเลตที่นิยมใช้กันมากคือ di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP), diisodecyl phthalate (DIDP), diisononyl phthalate (DINP) แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ DEHP เนื่องจากมีราคาถูก ทำให้ช่วยประหยัดต้นทุนการผลิตได้ แต่ถ้ามีการใส่สารเหล่านี้ในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้เกิดการตกค้างของสารในตัวของผู้บริโภค และถ้าผลิตภัณฑ์นั้นเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับใส่อาหารหรือเครื่องดื่ม ผู้บริโภคอาจได้รับสารเคมีเหล่านี้เข้าไปในร่างกายและทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ เนื่องจากสารประกอบกลุ่มธาเลตมีฤทธิ์ไปขัดขวางการทำงานของต่อมไร้ท่อ ไปรบกวนฮอร์โมนทั้งในเพศหญิงและเพศชาย และยังทำให้เกิดการเป็นหมันในเพศชาย และสำหรับหญิงมี



ครรภ์จะส่งผลกระทบต่อทารกที่อยู่ในครรภ์ อาจทำให้เด็กที่เกิดมามีกลุ่มอาการดาวน์ (Down syndrome) (Sathyanarayana *et al.*, 2008) ได้ นอกจากนี้ DEHP ยังมีผลไปทำลายตับและไตอีกด้วย ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาปริมาณของ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากผลิตภัณฑ์พลาสติกเมื่อนำมาใส่อาหารหรือเครื่องใช้ในสถานะต่างๆ กัน เพื่อให้ผู้บริโภคและหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้องรับทราบข้อมูลและหาแนวทางป้องกันการได้รับสารประกอบนี้เข้าสู่ร่างกาย

## 1.2 การตรวจเอกสาร

### 1.2.1 พลาสติก

ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พลาสติกหมายถึง สารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นใช้แทนวัสดุธรรมชาติบางชนิดเมื่อเย็นก็แข็งตัวเมื่อถูกความร้อนก็อ่อนตัว (thermoplastic) บางชนิดแข็งตัวถาวร พลาสติกมีแหล่งกำเนิด จาก 4 แหล่งใหญ่คือ

1. แหล่งผลิตผลทางเกษตร เช่น เซลลูโลสไนเตรด (cellulose nitrate) เซลลูโลสอะซิเตต (cellulose acetate) เซลลูโลสอะซิเตต บิวไทเรท (cellulose acetate butyrate) เอธิลเซลลูโลสเคซีน (ethyl cellulose casein)

2. แหล่งน้ำมันและถ่านหิน เป็นแหล่งที่ใช้ผลิตพลาสติกชนิดต่างๆ ได้มากที่สุด เช่น พอลิสไตรีน (polystyrene) ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (phenol formaldehyde) พอลิเอทิลีน (polyethylene) ไนลอน (nylon) พอลิเอสเตอร์ (polyester) อะคริลิก (acrylic) อีพ็อกซี (epoxy) ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (urea formaldehyde) เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ (melamine formaldehyde)

3. แหล่งน้ำมันและสินแร่ เช่น พอลิไวนิลบิวไทเรท (polyvinyl butyral) พอลิไวนิลคาร์บาซอล (polyvinylcarbazole) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) พอลิไวนิลอะซิเตท คลอไรด์ (polyvinyl acetatechloride) พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride) ซิลิโคน (silicone)

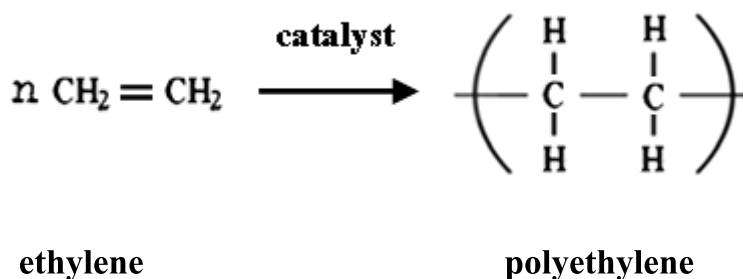
4. สินแร่ ก็เป็นแหล่งกำเนิดพลาสติกเช่นกันแต่น้อย เช่น แคลเซียม (calcium) อลูมิเนียมซิลิเกต (aluminium silicate)

**1.2.1.1 ประเภทของพลาสติก** แบ่งประเภทของพลาสติกออกเป็น 2 ประเภท (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550)

1. **เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)** พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์เป็นแบบเส้นตรงหรือแบบกิ่งสั้นๆ สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และหลอมเหลวเป็นของเหลวหนืด เนื่องจาก

โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่พันกันอยู่สามารถเคลื่อนที่ผ่านกันไปได้ง่ายขึ้นเมื่อได้รับความร้อนและเมื่อเย็นตัวลงก็จะแข็งตัว ซึ่งการหลอมเหลวและเย็นตัวนี้สามารถเกิดกลับไปกลับมาได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ หรือโครงสร้างของพอลิเมอร์เปลี่ยนไปมาก พลาสติกประเภทนี้สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้โดยการบดและหลอมด้วยความร้อนเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ แต่พลาสติกประเภทนี้มีข้อเสียและขีดจำกัดของการใช้งานคือไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ เพราะอาจเกิดการบิดเบี้ยวหรือเสียรูปทรงไป เช่น ขวดน้ำดื่มไม่เหมาะสำหรับใช้บรรจุน้ำร้อนจัดหรือเดือด พลาสติกในกลุ่มนี้ประกอบด้วย

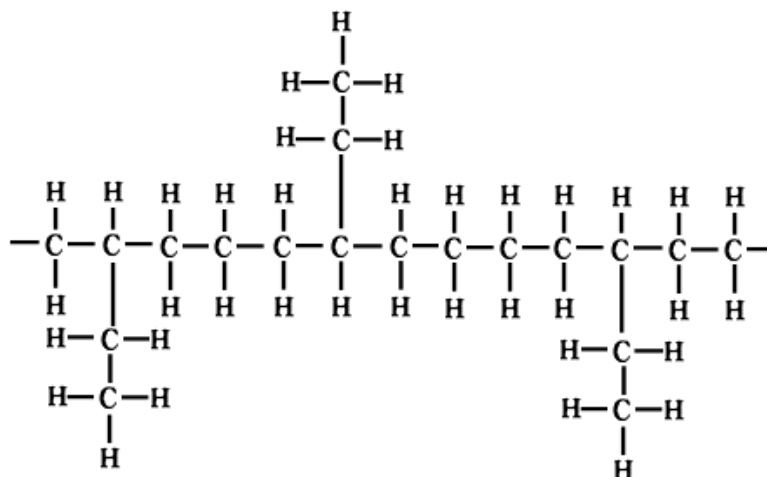
1.1) พอลิเอทิลีน (polyethylene, PE) เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเอทิลีน เมื่อมีตัวแคตาไลสต์ที่เหมาะสม พอลิเอทิลีนเป็นพลาสติกที่มีการนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมพลาสติกสำหรับภาชนะบรรจุ เนื่องจากสามารถทำเป็นภาชนะบรรจุได้หลายรูปแบบ และมีราคาถูก มีความยืดหยุ่นและแข็ง ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งพอลิเอทิลีนแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดพอลิเอทิลีน แสดงดังภาพประกอบที่ 1-1



ภาพประกอบที่ 1-1 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเอทิลีน

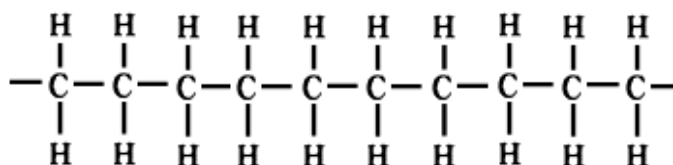
1.1.1) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เป็นพลาสติกที่นิ่มสามารถยืดตัวได้มาก เหนียว โปร่งแสง ทนทานต่อแรงดึงได้ดี ป้องกันการซึมผ่านของน้ำและไอน้ำได้ดี แต่ไม่สามารถกันการซึมผ่านของก๊าซได้ สามารถทนอุณหภูมิได้ระหว่าง  $-60$ – $100^{\circ}\text{C}$  คุณสมบัติทางเคมีค่อนข้างเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยากับตัวทำละลายต่างๆที่อุณหภูมิปกติ ไม่ทนต่อกรดแก่ นิยมนำมาทำเป็นฟิล์มสำหรับห่ออาหารและห่อของ และถุงเย็นสำหรับบรรจุอาหาร พลาสติก

ประเภทนี้สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยใช้ผลิตเป็นถุงมือพลาสติก ถุงดำสำหรับใส่ขยะ ถุงหูหิ้ว สูตรโครงสร้างของพอลิเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำ แสดงดังภาพประกอบที่ 1-2



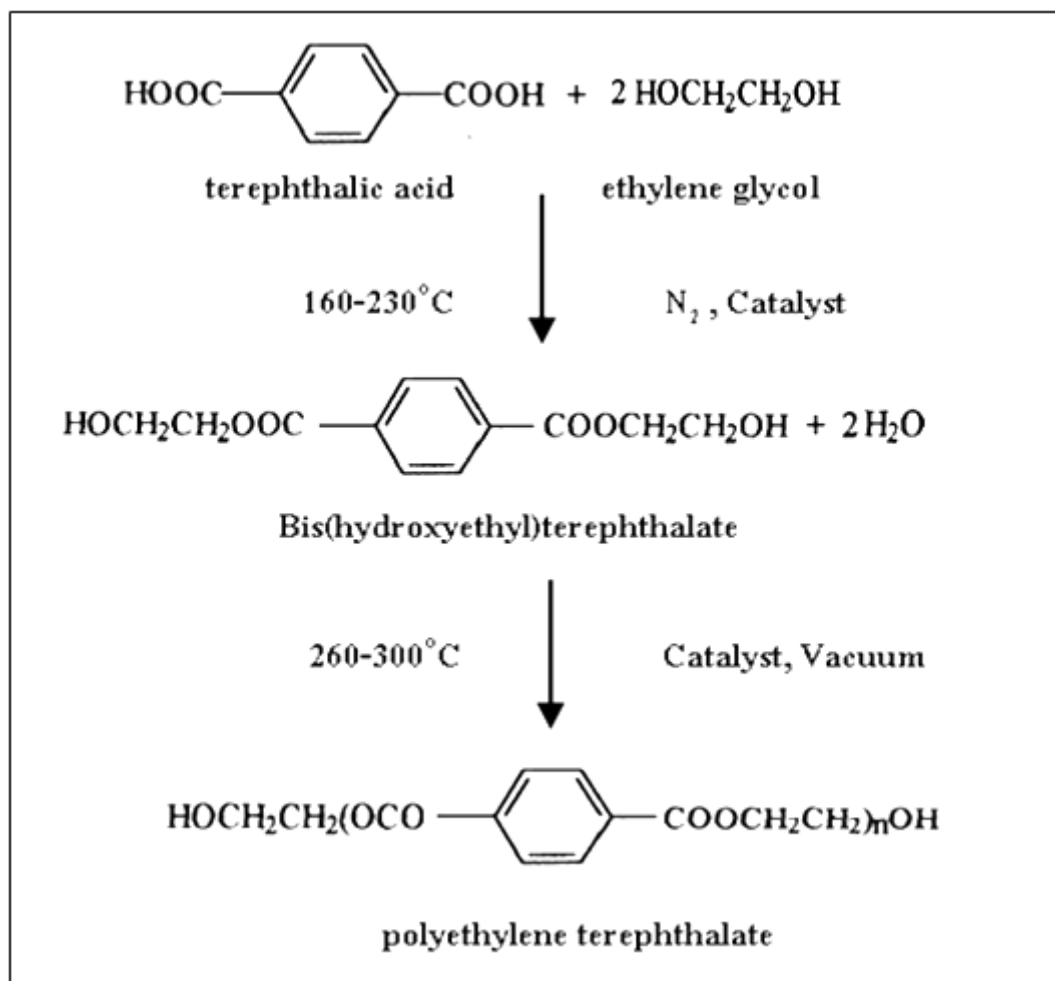
ภาพประกอบที่ 1-2 สูตรโครงสร้างของพอลิเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำ

1.1.2) พอลิเอทธิลีนความหนาแน่นสูง(HDPE) มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายตรง ค่อนข้างแข็ง พลาสติกมีลักษณะขุ่น และแข็งแรงกว่าพอลิเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำ แต่มีความยืดหยุ่นต่ำกว่า ทนทานต่อไขมันได้ดีกว่า ทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดีกว่า แต่ปิดผนึกได้ยาก ราคาถูกขึ้นรูปได้ง่าย นิยมทำถุงร้อน (แบบขุ่น) ขวดน้ำ และขวดนมเปรี้ยว ถึงขนาดใหญ่ แทนรองสินค้า เนื่องจากพลาสติกประเภทนี้ทนต่อสารเคมีจึงนิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำยาทำความสะอาด แชมพูสระผม แป้งเด็ก และถุงหูหิ้ว สามารถนำกลับมารีไซเคิล เพื่อผลิตขวดต่างๆ เช่น ขวดใส่น้ำยาซักผ้า แท่งไม้เทียมเพื่อใช้ทำรั้วหรือม้านั่งในสวน สูตรโครงสร้างของพอลิเอทธิลีนความหนาแน่นสูง แสดงดังภาพประกอบที่ 1-3



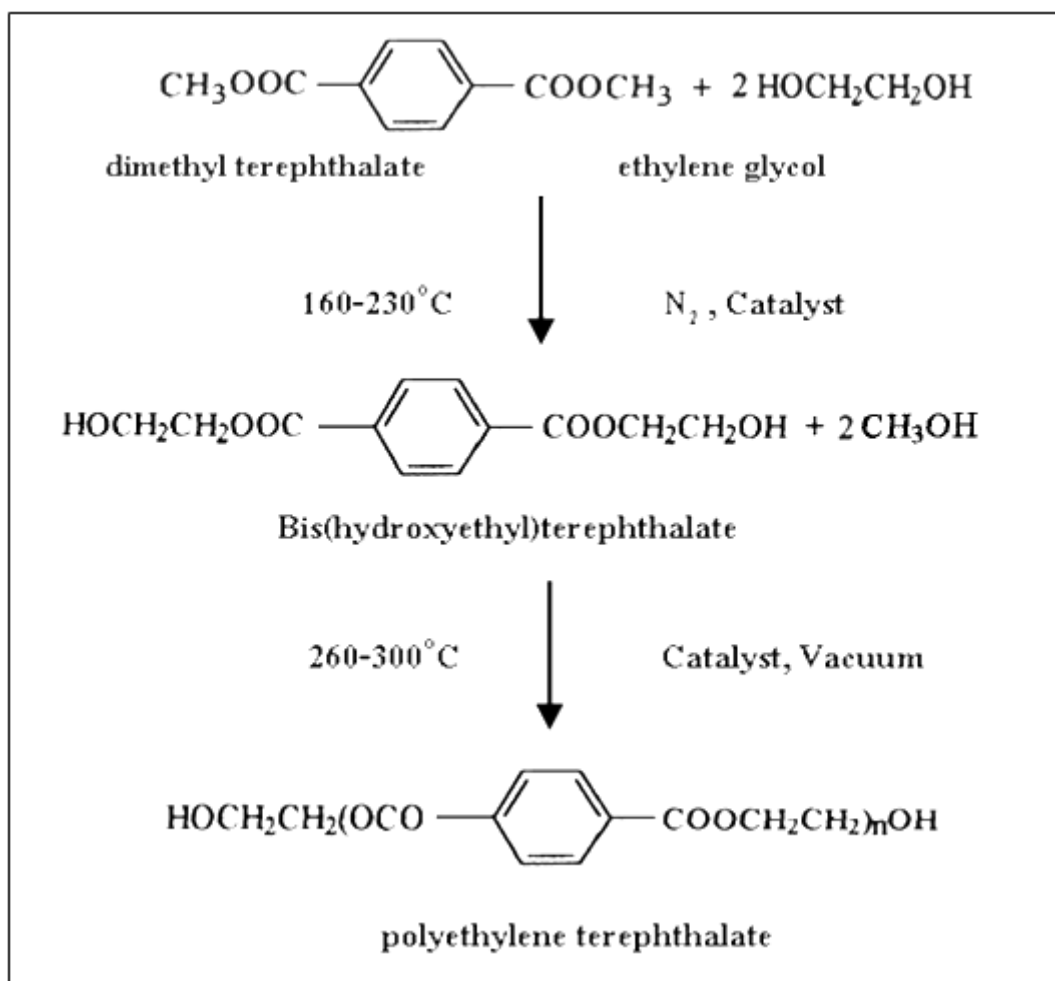
ภาพประกอบที่ 1-3 สูตรโครงสร้างของพอลิเอทธิลีนความหนาแน่นสูง

1.2) พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (polyethylene terephthalate, PET) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง terephthalic acid และ ethylene glycol หรือ dimethyl terephthalate และ ethylene glycol ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีการสังเคราะห์ PET แสดงดังภาพประกอบที่ 1-4 และ 1-5



ภาพประกอบที่ 1-4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีการสังเคราะห์ PET ระหว่าง terephthalic acid และ ethylene glycol

ที่มา: สุภาพ ธาราศักดิ์ (2540)



ภาพประกอบที่ 1-5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีการสังเคราะห์ PET ระหว่าง dimethyl terephthalate และ ethylene glycol

ที่มา: สุภาพ ธาราศักดิ์ (2540)

ขั้นตอนการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของ PET เกิดขึ้นได้ 2 ขั้นตอนดังนี้ (สุภาพ ธาราศักดิ์, 2540)

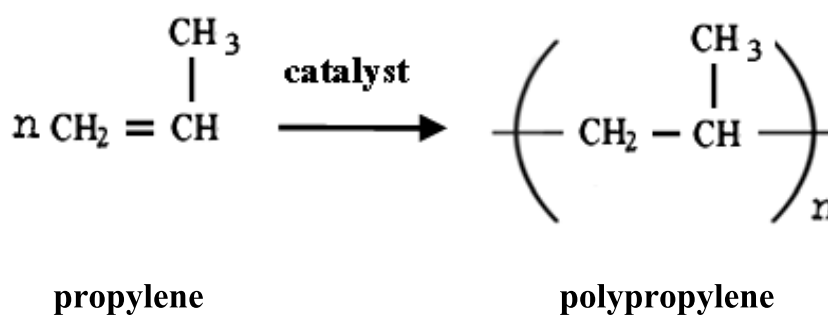
ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมพอลิเมอร์โดยการให้ความร้อนในปฏิกิริยาการผสมและเอาสารที่ระเหยได้และไกลคอลที่มากเกินไปออกมา

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลให้สูงขึ้น โดยการให้ความร้อนและการทำระบบให้เป็นสุญญากาศ เพื่อกำจัดสารที่ระเหยออกมาได้ เช่น น้ำและไกลคอล

ขั้นตอนการพอลิเมอร์ไรเซชันของ PET เป็นกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่น (condensation polymerization) ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ transesterification,

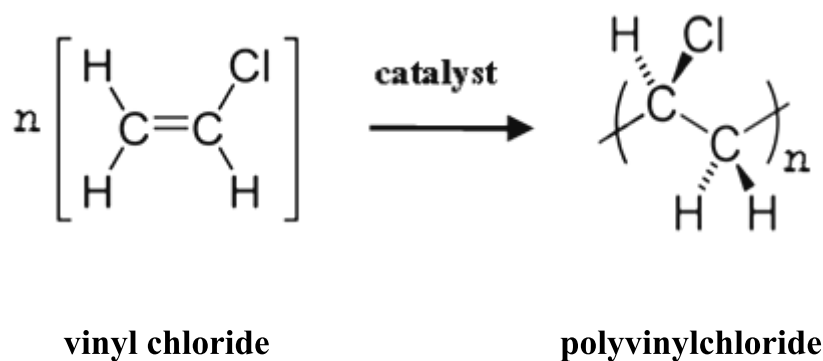
prepolymerization และขั้นตอนพอลิเมอร์ไรเซชันขั้นตอนสุดท้าย (finishing polymerization step) ซึ่งในขั้นตอน transesterification terephthalic acid หรือ dimethyl terephthalate จะถูกผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาโดยมี bishydroxyethyl terephthalate ผสมกับ metal acetate ในตัวทำละลาย sym-tetrachloro ethane solution ( $C_2H_2C_{14}$ ) ที่มี pyridine ผสมอยู่ จากนั้น terephthalic acid หรือ dimethyl terephthalate และตัวเร่งปฏิกิริยาจะผสมกับ ethyl glycol โดยจะเพิ่มอุณหภูมิ 160-180°C เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง จากนั้นจะมีการเติมสารเติมแต่ง (additive) และสารเพิ่มความเสถียร (stabilizer) และตามด้วยขั้นตอน prepolymerization ซึ่งจะทำการภายใต้สูญญากาศ อุณหภูมิ 280-300°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในขั้นตอนนี้ ethyl glycol บางส่วนจะถูกคูดออกไป เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วจะถ่ายเข้าสู่ขั้นตอนพอลิเมอร์ไรเซชันขั้นสุดท้าย ซึ่งพอลิเมอร์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นผงเรซินซึ่งต้องล้างและทำให้แห้งภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนโดยใช้อุณหภูมิระหว่าง 235-255°C ซึ่งผงเรซินที่ได้จะนำไปขึ้นรูปต่อไป พลาสติกชนิดนี้มีลักษณะใส ทนต่อแสงและอุณหภูมิสูงได้ ทนแรงกระแทกไม่เปราะแตกง่าย นิยมใช้บรรจุน้ำดื่ม น้ำมันพืช และมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซได้เป็นอย่างดี สามารถนำกลับมารีไซเคิลแล้วนิยมนำมาผลิตเป็นเส้นใยสำหรับทำเสื้อกันหนาว พรม และเส้นใยสังเคราะห์สำหรับยัดหมอน หรือเส้นใยสำหรับเล่นสกี เป็นต้น

1.3) พอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP) เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของโพรพิลีน เมื่อมีตัวแคตาไลสต์ที่เหมาะสม ซึ่งพอลิโพรพิลีนเป็นพลาสติกที่แข็ง ทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทนต่อสารเคมี ความร้อน และน้ำมัน ทำให้มีสีสันสวยงาม ส่วนใหญ่นิยมนำมาทำภาชนะบรรจุอาหาร เช่น ถ้วยโยเกิร์ต ถ้วยร้อนแบบใส ถ้วยกาแฟ ถ้วยบะหมี่ ก่อง ขาม จาน โพลีโพรพิลีน สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยนิยมนำมาผลิตเป็นกล่องเบดเตอริ์รถยนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น กันชน และกรวยสำหรับน้ำมัน ปฏิกิริยาการเกิดพอลิโพรพิลีน แสดงดังภาพประกอบที่ 1-6



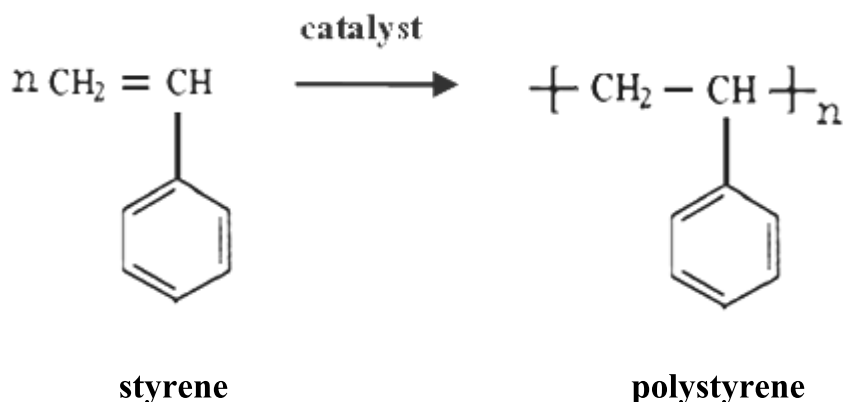
ภาพประกอบที่ 1-6 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิโพรพิลีน

1.4) พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride, PVC) เกิดจากการที่ไวนิลคลอไรด์หลายๆ โมเลกุลมาทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน เมื่อมีตัวแคตตาลิสต์ที่เหมาะสม พอลิไวนิลคลอไรด์มีลักษณะขุ่นทึบ เป็นพลาสติกแข็งใช้ทำท่อ ทนต่ออุณหภูมิได้ไม่เกิน 90°C แต่สามารถทำให้นิ่มโดยใส่สารพลาสติกไซเซอร์ ใช้ทำสายยางใส แผ่นฟิล์มสำหรับห่ออาหาร แผ่นกระเบื้องยาง แผ่นพลาสติกปูโต๊ะ ขวดแชมพูสระผม ซึ่งพอลิไวนิลคลอไรด์เป็นพลาสติกที่มีสมบัติหลากหลาย สามารถนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์อื่นได้อีกมาก เช่น ประตู หน้าต่าง และหนังเทียม สามารถนำกลับมารีไซเคิล เพื่อผลิตท่อประปาสำหรับการเกษตร กรวยจราจร และเฟอร์นิเจอร์หรือม้านั่งพลาสติก ปฏิกิริยาการเกิดพอลิไวนิลคลอไรด์ แสดงดังภาพประกอบที่ 1-7



ภาพประกอบที่ 1-7 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิไวนิลคลอไรด์

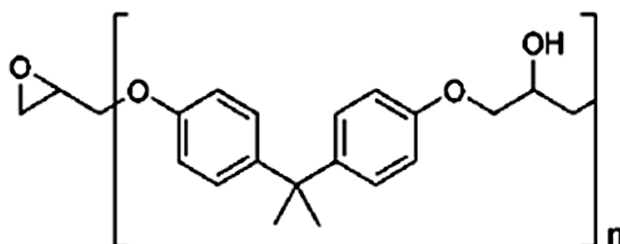
1.5) พอลิสไตรีน(polystyrene, PS) เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ของสไตรีนเมื่อมีตัวแคตตาลิสต์ที่เหมาะสม ซึ่งพอลิสไตรีนเป็นพลาสติกที่แข็งใสแต่เปราะและแตกง่าย ทนความร้อนได้ต่ำ มีจุดหลอมละลายเพียง 87°C ทนต่อค้างได้พอสมควรไม่สามารถทนต่อกรดได้ นิยมนำมาทำเป็นภาชนะบรรจุของใช้ เช่น เทปเพลง สำลี หรือของแห้ง เช่น หมูแผ่น หมูหยอง และคุกกี้ เนื่องจากพอลิสไตรีนเปราะและแตกง่าย แต่จะมีการนำมาใช้ทำภาชนะหรือถาดโฟมสำหรับบรรจุอาหาร โฟมจะมีน้ำหนักที่เบาเพราะประกอบด้วยพอลิสไตรีนประมาณ 2-5% เท่านั้น ส่วนที่เหลือเป็นอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่าง พลาสติกประเภทนี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยนิยมนำมาผลิตเป็นไม้แขวนเสื้อ ก่องวีดีโอ ไม้บรรทัด หรือ ของใช้อื่นๆ ปฏิกิริยาการเกิดพอลิสไตรีน แสดงดังภาพประกอบที่ 1-8



ภาพประกอบที่ 1-8 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิสไตรีน

2. เทอร์โมเซตติงพลาสติก (thermosetting plastic) เป็นพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษคือทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และทนต่อปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยาก คงรูปหลังผ่านความร้อนหรือแรงดันเพียงครั้งเดียว เมื่อเย็นจะแข็งมาก ทนความร้อนและความดัน ไม่อ่อนตัว และเปลี่ยนรูปร่างไม่ได้ พลาสติกชนิดนี้โมเลกุลจะเชื่อมโยงเป็นร่างแห แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจะแข็งแรงมาก จึงไม่สามารถนำมาหลอมเหลวใหม่ได้ เนื่องจากเกิดการเชื่อมต่อข้ามไปมาระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลของพอลิเมอร์ (cross linking among polymer chains) ดังนั้นเมื่อพลาสติกเย็นจนแข็งตัวแล้ว จะไม่สามารถทำให้อ่อนได้อีกด้วยความร้อน แต่จะสลายตัวทันทีที่อุณหภูมิสูงและสามารถทนแรงอัดได้ ประเภทของพลาสติกกลุ่มนี้ ได้แก่

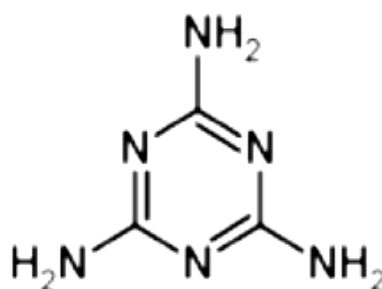
2.1) อีพ็อกซี (epoxy) ใช้เคลือบผิวของอุปกรณ์ภายในบ้านเรือน และท่อเก็บก๊าซ ใช้ในการเชื่อมส่วนประกอบโลหะ แก้ว และเซรามิก ใช้ในการหล่ออุปกรณ์ที่ทำจากโลหะและเคลือบผิวอุปกรณ์ ใช้ใส่ในส่วนประกอบของอุปกรณ์ไฟฟ้า เส้นใยของท่อ และท่อความดัน ใช้เคลือบผิวของพื้นและผนัง ใช้เป็นวัสดุของแผ่นกำบังนิวตรอน ซีเมนต์ และปูนขาว ใช้เคลือบผิวถนน เพื่อกันลื่น ใช้ทำโฟมแข็ง ใช้เป็นสารในการทำสีของแก้ว เป็นต้น สูตรโครงสร้างของอีพ็อกซี แสดงดังภาพประกอบที่ 1-9



ภาพประกอบที่ 1-9 สูตรโครงสร้างของอีพ็อกซี



2.2) เมลามีนฟอรัมาลดีไฮด์ (melamine formaldehyde) มีสมบัติทางเคมีทนแรงดันได้ 7,000-135,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนแรงอัดได้ 25,000-50,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนแรงกระแทกได้ 0.25-0.35 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนความร้อนได้ถึง 140°C และทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนยาก เมลามีนใช้ทำภาชนะบรรจุอาหารได้หลายประเภท ซึ่งสูตร โครงสร้างของเมลามีนฟอรัมาลดีไฮด์แสดงดังภาพประกอบที่ 1-10



ภาพประกอบที่ 1-10 สูตร โครงสร้างของเมลามีนฟอรัมาลดีไฮด์

### 1.2.2 ประเภทของบรรจุภัณฑ์พลาสติก

1. บรรจุภัณฑ์พลาสติกอ่อนตัว (flexible plastic) หมายถึง ภาชนะบรรจุ ซึ่งมีโครงสร้างทำจากฟิล์มพลาสติกทำให้สามารถอ่อนตัวแนบกับสินค้าที่บรรจุได้ง่าย อาจใช้ร่วมกับวัสดุอื่น เช่น กระดาษ หรือฟอยด์ นำมาประกบหรือลามิเนตเป็นชั้นๆ เพื่อให้มีโครงสร้างของวัสดุที่เหมาะสมในการนำไปใช้ เช่น ถุงหรือซองพลาสติก กระสอบพลาสติก ฟิล์มพลาสติก ฯลฯ

2. บรรจุภัณฑ์พลาสติกกึ่งคงรูปและคงรูป (semi-rigid and rigid plastic) หมายถึง ภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติก ขึ้นรูปโดยใช้แม่แบบและสามารถคงรูปทรงนั้นไว้ได้โดยไม่ต้องบรรจุสินค้า เช่น ถ้วยหรือถาดโพลี หลอด ขวด ถ้วย แก้ว ตะกร้าและถังพลาสติก เป็นต้น

### 1.2.3 กรรมวิธีการผลิตพลาสติก (เจริญ นาคะสรรค์, 2547)

1. ประเภทหล่อพลาสติกเม็ดและผง โดยใช้ความร้อนและแรงอัดในแม่แบบปิด (moulding) ได้แก่ แบบอัด (compression) แบบอัดส่ง (transfer) แบบฉีด (injection) แบบรีด (extrusion) แบบเป่า (blow) แบบลูกกลิ้ง (calendering) แบบอัดแผ่น (laminating) แบบหล่อเย็น (cold)

2. ประเภทหล่อพลาสติกเหลว (casting) มีด้วยกัน 2 วิธี คือ แบบหล่อเย็น (simple) และแบบหล่อร้อน (plastisol)
3. ประเภทอัดขึ้นรูปแผ่นพลาสติก (thermoforming) วิธีที่ใช้ในการอัด ได้แก่ อัดด้วยแม่แบบ (mechanical) อัดแบบสุญญากาศ (vacuum) แบบลมอัด (blow)
4. ประเภทหล่อพลาสติกเหลวกับวัสดุเสริมกำลัง (reinforcing) ได้แก่ แบบใช้มือทา (hand lay-up) แบบใช้เครื่องพ่น (spray-up) แบบใช้แม่แบบอัด (matched moulding) แบบอัดเหลว (premix moulding) แบบถุงอัดอากาศ (pressure-bag moulding) แบบถุงสุญญากาศ (vacuum-bag moulding)
5. ประเภทหล่อโฟม (foaming)

กระบวนการผลิตพลาสติกที่ใช้ในการผลิตพลาสติกประเภทขวด นิยมใช้วิธีการฉีด (injection) โดยเริ่มจากการนำเม็ดพลาสติกหรือผงพลาสติกที่ได้รับการผสมสารเติมแต่งแล้ว มาใส่ในช่องเครื่องมือ injection moulding machine พลาสติกจะถูกอัดส่งไปในส่วนทำความร้อนซึ่งมีอุณหภูมิ 150-345°C โดยผ่านเครื่องแยกเพื่อให้ได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ความร้อนจะทำให้พลาสติกหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกัน พลาสติกเหลวจะถูกอัดผ่านหัวฉีดด้วยความดันสูงไปสู่ปลายของกระบอกฉีดแม่แบบเปิดตามชิ้นงานที่ต้องการ และจะถูกทำให้เย็นโดยระบบหล่อเย็น ซึ่งภาชนะพลาสติกมีรูปร่างแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของเครื่องแม่แบบและแม่แบบที่ใช้ในการผลิตพลาสติกนั้น

สำหรับกรรมวิธีผลิตถุงพลาสติก นิยมใช้วิธีการเป่า (blow) โดยจะนำเม็ดพลาสติกหรือผงพลาสติกที่ได้รับการผสมสารเติมแต่งแล้ว ป้อนเข้าสู่เครื่องอัดรีด (Extruder) ซึ่งจะใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200-230°C เพื่อให้พลาสติกหลอมละลายผ่านหัวรีดเพื่อขึ้นรูปเป็นเนื้อฟิล์ม และถูกทำให้เย็นโดยผ่านน้ำหล่อเย็นด้วยอุณหภูมิ 9-15°C

#### 1.2.4 สารเติมแต่งในผลิตภัณฑ์พลาสติก

สารเติมแต่ง (Additive) หมายถึง สารเคมีที่นำมาผสมในเม็ดพลาสติกเพื่อปรับปรุงคุณภาพของพลาสติก ซึ่งสารเติมแต่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในอุตสาหกรรมเม็ดพลาสติก เนื่องจากผลิตภัณฑ์พลาสติกแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันในการนำไปใช้งาน ดังนั้นจึงต้องมีการผสมสารเติมแต่งในเม็ดพลาสติก เพื่อให้เกิดความเหมาะสมต่อความต้องการในการใช้งาน สารเติมแต่งที่นิยมใช้กับพลาสติก มีดังนี้

1.) แอนติออกซิแดนต์ (antioxidants) หรือสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ใช้เพื่อป้องกันการสลายตัวของพลาสติกเมื่อสัมผัสกับอากาศ เนื่องจากพลาสติกเมื่อสัมผัสกับอากาศ จะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนที่อยู่ในอากาศเป็นสาเหตุให้พลาสติกเปราะ

2.) สเตบิลไลเซอร์ (stabilizers) หรือสารคงตัวเป็นสารที่ใช้ในกระบวนการผลิตพลาสติกเพื่อช่วยให้พลาสติกมีความเสถียรมากขึ้น ซึ่งมีด้วยกันหลายตัว เช่น สารคงตัวต่อความร้อน (heat stabilizers) สารคงตัวต่อรังสีอุลตราไวโอเลต (ultraviolet light stabilizers) เป็นต้น

3.) สารที่ช่วยหล่อลื่น (lubricant) เป็นสารที่ใช้เพื่อลดแรงเสียดทานที่จะเกิดในขณะถูกรีดออกจากเครื่อง ทำให้พลาสติกไม่ติดผนังเครื่องจักร

4.) พลาสติไซเซอร์ (plasticizers) เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อให้พลาสติกมีความอ่อนตัวหรือยืดหยุ่น มีความสามารถในการหักงอได้ ซึ่งพลาสติไซเซอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

4.1) พลาสติไซเซอร์ภายนอก (external plasticizer) เป็นการผสมพลาสติไซเซอร์ลงไปโดยไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างพลาสติไซเซอร์กับพอลิเมอร์ แต่จะแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ โดยพลาสติไซเซอร์จะไปลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้มากขึ้น เป็นผลให้พอลิเมอร์อ่อนตัวและเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายขึ้น

4.2) พลาสติไซเซอร์ภายใน (internal plasticizer) เป็นการผสมพลาสติไซเซอร์ลงไปแล้วจะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างพลาสติไซเซอร์กับพอลิเมอร์ โดยโมเลกุลของพลาสติไซเซอร์จะเข้าไปแทรกอยู่ในสายโซ่ของพอลิเมอร์ ทำให้สมมาตรของพอลิเมอร์เสีย ส่งผลให้พอลิเมอร์มีความอ่อนตัวเพิ่มขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของพลาสติไซเซอร์ได้กลายเป็นส่วนหนึ่งของโซ่พอลิเมอร์

5.) ฟิลเลอร์ (filler) เป็นสารเติมที่เป็นของแข็งเติมลงไปเพื่อลดต้นทุนการผลิตหรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ หรือช่วยให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรงมากขึ้น

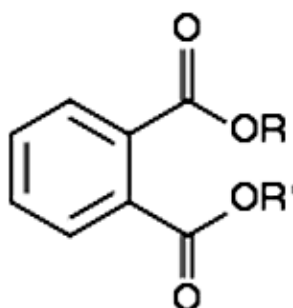
6.) สี (colourants) เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อให้สีหรือทำให้ลักษณะทึบแสงให้มีสีสันสวยงาม

ซึ่งพลาสติไซเซอร์ เป็นสารเติมแต่งที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติกกันมาก เนื่องจากสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย พลาสติไซเซอร์ที่มีการนำมาใช้มีด้วยกันหลายชนิด เช่น สารกลุ่มฟทาเลต (phthalate) สารกลุ่มอะดิเปต (adipate) สารกลุ่มมาลีเอต (maleate) และน้ำมันพืชออกซิไดซ์ (epoxidized vegetable oils) เป็นต้น พลาสติไซเซอร์กลุ่มฟทาเลตมีการนำใช้มากที่สุดและมีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยในปี 1975 ทั่วโลกมีการนำสาร

กลุ่มธาเลมาไซ์ในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก 1.8 ล้านตันต่อปี และในปี 2001 มีการใช้สารกลุ่มธาเลตเพิ่มขึ้นเป็น 3 ล้านตันต่อปี (Xu *et al.*, 2008) ปัจจุบันได้มีการใช้สารพลาสติกไซเซอร์ชนิดที่ปลอดภัย (safer plasticizer) ทดแทนสารกลุ่มธาเลตได้ในบางผลิตภัณฑ์ โดยสารพลาสติกไซเซอร์ที่ปลอดภัย ได้แก่ สารประกอบซิเตรต (citrate compounds) เช่น ไตรเอทิลซิเตรต (triethyl citrate) อะซีทิลไตรเอทิลซิเตรต (acetyl triethyl citrate) อะซีทิลไตรบิวทิลซิเตรต (acetyl tributyl citrate) เป็นต้น

### 1.2.5 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสารกลุ่มธาเลต

สารประกอบกลุ่มธาเลตมีสมบัติช่วยให้พลาสติกมีความอ่อนนุ่มและช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้แก่ตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งถูกนำมาใช้ในพลาสติก PVC และนอกจากนี้ยังมีการเติมลงในผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตจาก ยาง เซลลูโลส และสไตรีน เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพลาสติกดังกล่าว ได้แก่ ของเล่นเด็ก บรรจุภัณฑ์สำหรับใส่เครื่องสำอาง บรรจุภัณฑ์บรรจุอาหาร เครื่องมือแพทย์ ถุงใส่เลือด เป็นต้น (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2002) สารประกอบกลุ่มธาเลตเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทเอสเทอร์ มีลักษณะเป็นของเหลว มีจุดเดือดสูงและความดันไอต่ำ เป็นสารที่เสถียรและมีขี้ผึ้งเล็กน้อยที่หม้อคาร์บ็อกซิล จึงมีสมบัติในการละลายน้ำได้น้อย แต่จะละลายในไขมันได้ดี มีการระเหยที่ต่ำ สารประกอบกลุ่มธาเลตผลิตมาจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่าง phthalic anhydride กับแอลกอฮอล์ แต่สารประกอบกลุ่มธาเลตนั้นไม่ได้ยึดติดกับพอลิเมอร์ของพลาสติกแต่จะแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างโมเลกุลของพลาสติก (European commission, 2008) ดังนั้นสารประกอบกลุ่มธาเลต จึงสามารถหลุดออกมาจากผลิตภัณฑ์พลาสติกได้ สูตรโครงสร้างโดยทั่วไปของสารกลุ่มธาเลตได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 1-11 ซึ่งสารประกอบกลุ่มธาเลตนี้มีด้วยกันหลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 1-1



ภาพประกอบที่ 1-11 สูตรโครงสร้างโดยทั่วไปของสารกลุ่มธาเลต

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2544)

ตารางที่ 1-1 ชนิดของสารกลุ่มธาเลต

Name	Acronym	Structural formula	CAS No.
Dimethyl phthalate	DMP	$C_6H_4(COOCH_3)_2$	131-11-3
Diethyl phthalate	DEP	$C_6H_4(COOC_2H_5)_2$	84-66-2
Di-n-propyl phthalate	DPP	$C_6H_4[COO(CH_2)_2CH_3]_2$	131-16-8
Di-n-butyl phthalate	DBP	$C_6H_4[COO(CH_2)_3CH_3]_2$	84-74-2
Diisobutyl phthalate	DIBP	$C_6H_4[COOCH_2CH(CH_3)_2]_2$	84-69-5
Butyl cyclohexyl phthalate	BCP	$CH_3(CH_2)_3OOC C_6H_4COOC_6H_{11}$	84-64-0
Dicyclohexyl phthalate	DCP	$C_6H_4[COOC_6H_{11}]_2$	84-61-7
Butyl benzyl phthalate	BBP	$CH_3(CH_2)_3OOC C_6H_4COOCH_2C_6H_5$	85-68-7
Di-n-hexyl phthalate	DNHP	$C_6H_4[COO(CH_2)_5CH_3]_2$	84-75-3
Diisohexyl phthalate	DIHxP	$C_6H_4[COO(CH_2)_3CH(CH_3)_2]_2$	146-50-9
Diisoheptyl phthalate	DIHpP	$C_6H_4[COO(CH_2)_4CH(CH_3)_2]_2$	41451-28-9
Butyl decyl phthalate	BDP	$CH_3(CH_2)_3OOC C_6H_4COO(CH_2)_9CH_3$	89-19-0
Di(2-ethylhexyl) phthalate	DEHP, DOP	$C_6H_4[COOCH_2CH(C_2H_5)(CH_2)_3CH_3]_2$	117-81-7
Di(n-octyl) phthalate	DNOP	$C_6H_4[COO(CH_2)_7CH_3]_2$	117-84-0
Diisooctyl phthalate	DIOP	$C_6H_4[COO(CH_2)_5CH(CH_3)_2]_2$	27554-26-3
n-Octyl n-decyl phthalate	ODP	$CH_3(CH_2)_7OOC C_6H_4COO(CH_2)_9CH_3$	119-07-3
Diisononyl phthalate	DINP	$C_6H_4[COO(CH_2)_6CH(CH_3)_2]_2$	28553-12-0
Diisodecyl phthalate	DIDP	$C_6H_4[COO(CH_2)_7CH(CH_3)_2]_2$	26761-40-0
Diundecyl phthalate	DUP	$C_6H_4[COO(CH_2)_{10}CH_3]_2$	3648-20-2
Ditridecyl phthalate	DTDP	$C_6H_4[COO(CH_2)_{12}CH_3]_2$	119-06-2

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2544)

### 1.2.6 ความรู้เกี่ยวกับ DEHP

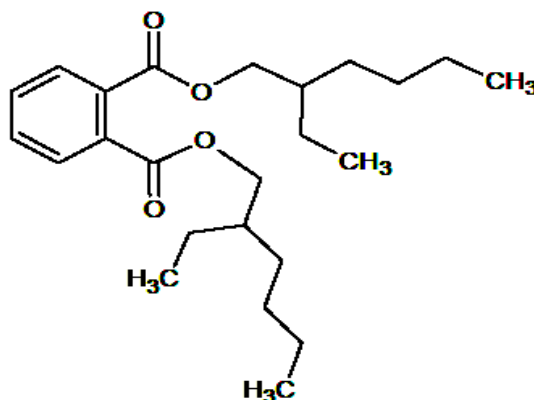
DEHP ถูกนำมาใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์ถึง 50% จากสารกลุ่มชาเลดทั้งหมด เนื่องจากมีราคาถูก มีความเสถียร มีการระเหยที่ต่ำ ซึ่งเป็นสมบัติที่ดีของพลาสติกไซเซออร์ (WHO, 1992) DEHP เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่าง phthalic anhydride กับ 2-ethylhexanol DEHP มีชื่อเรียกได้หลายชื่อ(synonyms) ได้แก่ 1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-ethylhexyl) ester, Bis(2-ethylhexyl) 1,2-benzenedicarboxylate, Bis(2-ethylhexyl) o-phthalate, Bis(2-ethylhexyl) phthalate, Di(2-ethylhexyl) phthalate, Dioctyl phthalate, phthalic acid dioctyl ester, phthalic acid, bis(2-ethylhexyl) ester เป็นต้น สำหรับชื่อทางการค้า(trade names) เช่น Essochem DOP, Palatinol AH, Bisoflex 81, Copound 889, Hatcol DOP, Eviplast 81, Sicol 150, Truflex DOP เป็นต้น

DEHP มีสูตรโมเลกุล  $C_{24}H_{38}O_4$  น้ำหนักโมเลกุล 390.62 เป็นของเหลวหนืด ไม่มีสีที่อุณหภูมิห้อง มีจุดเดือด  $385^{\circ}C$  มีความสามารถในการระเหยต่ำ (European Commission, 2008) สูตรโครงสร้างของ DEHP ได้แสดงในภาพประกอบที่ 1-12 สำหรับค่าการละลายน้ำของ DEHP นั้นได้มีรายงานการวิจัยจากหลายแห่ง ที่ทำการทดลองหาค่าการละลายน้ำและให้ค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจาก DEHP เกิดเป็นคอลลอยด์ได้ง่าย (European Commission, 2008) ซึ่งค่าการละลายน้ำของ DEHP ในงานวิจัยต่าง ๆ นั้นได้ แสดงไว้ในตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-2 ค่าการละลายน้ำของ DEHP

ค่าการละลายน้ำ (mg/l)	อุณหภูมิ	อ้างอิง
0.285	$25^{\circ}C$	Hollifield, 1979
0.041	$20^{\circ}C$	Leyder <i>et al.</i> , 1983
0.360	$25^{\circ}C$	Defoe <i>et al.</i> , 1990
1	$25^{\circ}C$	กรมควบคุมมลพิษ, 2544
0.3-0.4	$25^{\circ}C$	WHO, 1992
0.023-0.340	$25^{\circ}C$	WHO, 1996
0.0006-1.3	$20-25^{\circ}C$	European Commission, 2008
0.003*	$20^{\circ}C$	European Commission, 2008

\* ใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ



ภาพประกอบที่ 1-12 สูตร โครงสร้างของ DEHP

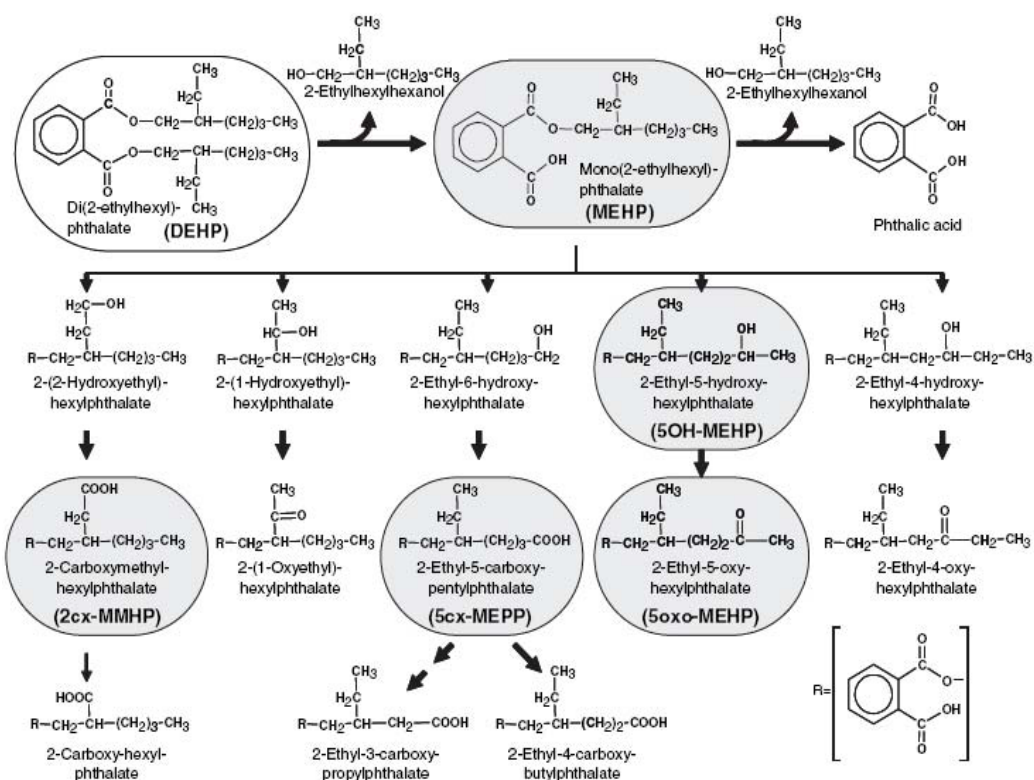
ที่มา : European Commission (2008)

### 1.2.6.1 การเปลี่ยนแปลงในสิ่งแวดล้อม (Environmental fate) ของ DEHP

จากรายงานการวิจัยของ Lertsirisopon (2009) ที่ได้ทำการศึกษาเรื่องการไฮโดรไลซิสในสภาวะความเป็นด่างของ DEHP โดยทดลองใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับระดับความเป็นด่างในน้ำกลั่นให้มีระดับ pH เท่ากับ 9 โดยทำการเก็บตัวอย่างไว้ในที่มืด เป็นเวลา 140 วัน พบว่า DEHP จะมีการสลายตัวได้ประมาณ 20% ส่วนการเกิดไฮโดรไลซิสของ DEHP ในสภาวะความเป็นกรด ได้มีรายงานการวิจัย ที่ทำการทดลองโดยใช้กรดซัลฟิวริกในการสกัด DEHP ในขั้นตอนการ clean up พบว่า DEHP มีค่า recoveries ประมาณ 100% แสดงว่าในสภาวะที่เป็นกรด DEHP เกิดการไฮโดรไลซิสได้น้อยมาก (Thuren and Sodergren, 1987 อ้างอิงใน staples *et al.*, 1997) นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษการสลายตัวด้วยแสง (photodegradation) ของ DEHP ซึ่งทดลองโดยใช้สารละลาย DEHP ที่ปรับระดับ pH=7 ด้วย 1 N HCl และ 1 N NaOH สัมผัสกับรังสี UV โดยใช้หลอด UV ทั้งหมด 8 หลอด แต่ละหลอดมีความยาวคลื่น 254 nm และมีความเข้มแสง 2-14 mW /cm<sup>2</sup> ควบคุมอุณหภูมิที่ 25±1°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า DEHP เกิดการสลายตัว 73.5% (Chen, 2010) ส่วนการสลายตัวทางชีวภาพ (biodegradation) ของ DEHP ในน้ำและตะกอน พบว่า ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน DEHP มีการสลายตัว 40-90% ภายในระยะเวลา 10-35 วัน แต่ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน พบว่าการสลายตัวทางชีวภาพเกิดขึ้นได้ช้ามาก (European Chemical Industry Ecology and Toxicology Centre, 1985 อ้างอิงใน WHO, 1996)

### 1.2.6.2 เมแทบอลิซึมของ DEHP ในร่างกาย

DEHP เป็นสารที่ถูกดูดซึมและแพร่กระจายเข้าสู่ร่างกายได้อย่างรวดเร็ว แต่ไม่พบการสะสมในร่างกาย กระบวนการเมแทบอลิซึมของ DEHP เกิดขึ้นได้หลายทาง แต่ในขั้นตอนหลักของการเกิดเมแทบอลิต์ คือ การเกิดไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ไลเปส ซึ่ง DEHP จะถูกเปลี่ยนไปเป็น mono(2-ethylhexyl) phthalate (MEHP) และ 2-ethylhexylhexanol จากนั้น MEHP จะเกิดกระบวนการเมแทบอลิต์ต่อไปโดยจะเปลี่ยนรูปไปเป็น mono(2-ethyl-5-hydroxyhexyl)phthalate (5OH-MEHP) และ mono(2-ethyl-5-oxo-hexyl)phthalate (5oxo-MEHP) สารประกอบที่เกิดจากการเมแทบอลิต์จะถูกขับออกมาทางปัสสาวะ และมีรายงานการวิจัยพบว่า ความเป็นพิษที่ตรวจพบส่วนใหญ่เกิดจากสารประกอบของ MEHP (Dalgaard *et al.*, 2001) เส้นทางการเกิดเมแทบอลิต์ของ DEHP ได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 1-13



ภาพประกอบที่ 1-13 เส้นทางการเกิดเมแทบอลิต์ของ DEHP

ที่มา : Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCENIHR, 2008)



### 1.2.6.3 ความเป็นพิษของ DEHP

DEHP สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางการกิน ทางหายใจ และซึมผ่านทางผิวหนัง จากการศึกษาความเป็นพิษของ DEHP ในหนูที่ได้รับโดยการกินเป็นระยะเวลา 1 ปี ที่ความเข้มข้น 60 mg/kg/day มีความเป็นพิษแบบเฉียบพลันต่ำ แต่จะเกิดความเป็นพิษแบบเรื้อรัง ก็จะไปทำลายกับอวัยวะและลดการผลิตเชื้ออสุจิได้ จึงทำให้เกิดการเป็นหมันในผู้ชาย (Duty *et al.*, 2005) มีฤทธิ์เป็นไปขัดขวางการทำงานของต่อมไร้ท่อ และยังมีผลต่อการทำงานของตับและไต (Gesler, 2009) ส่วนในผู้หญิงมีครรภ์ จะส่งผลกระทบต่อทารกที่อยู่ในครรภ์ อาจทำให้เด็กมีกลุ่มอาการดาวน์ (Down syndrome) (Sathyanarayana *et al.*, 2008)

ในสหภาพยุโรปจัดให้สาร DEHP เป็นสารเคมีที่เป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์ (EU, 2006) นอกจากนี้สาร DEHP ยังถูกจัดให้เป็นสารที่คาดว่าจะก่อมะเร็งโดยองค์การนานาชาติเพื่อการวิจัยมะเร็ง (International Agency for Research on Cancer, IARC) และจัดเป็นสารที่มีส่วนในการก่อมะเร็งโดย US Department of Health and Human Services (DHHS, 2002)

### 1.2.7 มาตรฐานของระดับ DEHP ในผลิตภัณฑ์พลาสติก

มาตรฐานคุณภาพของอาหารและบรรจุภัณฑ์ในประเทศไทยนั้นยังไม่ได้มีการกำหนดถึงปริมาณการปนเปื้อนจากพลาสติกไซเซออร์ ยกเว้นในฟิล์มยืดหุ้มห่ออาหาร ที่ทำจากพลาสติก PVC ซึ่งได้มีการกำหนดใน มอก. 1136-2536 ว่าห้ามใส่สาร DEHP ลงไปในผลิตภัณฑ์ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2536) ในขณะที่กฎหมายระหว่างประเทศโดยเฉพาะกลุ่มประเทศยุโรปได้มีการกำหนดบังคับใช้กฎระเบียบด้านวัสดุและสิ่งของที่สัมผัสอาหาร (food contact materials) เพื่อป้องกันสารอันตรายหลุดลอกออกจากวัสดุสัมผัสอาหารปนเปื้อนสู่อาหาร สหภาพยุโรปได้กำหนดค่า tolerable daily intake (TDI) ของสารธาเลต 3 ชนิดไว้ดังนี้

-Di-isononylphthalate (DINP) TDI = 0.15 mg/kg body weight

-Di-isodecylphthalate (DIDP) TDI = 0.15 mg/kg body weight

-Di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) TDI = 0.05 mg/kg body weight

ซึ่งสหภาพยุโรปได้กำหนดระดับของสารธาเลตในผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องปรุงรส ถ้ามีระดับของสารธาเลตทั้ง 3 ชนิดคือ DINP, DIDP > 180 mg/kg และ DEHP > 60 mg/kg หรือ DEHP > 10 mg/dm<sup>2</sup> (100 µg/cm<sup>2</sup>) ของพื้นที่ผิวของฝาด้านที่สัมผัสอาหาร จะส่งผลให้มีค่า TDI เกินจากค่าที่กำหนดไว้ข้างต้น ซึ่งหากทางสหภาพยุโรปสุ่มตรวจพบ สินค้าชิ้นนี้ก็จะถูกสั่งเก็บจากตลาดทันที (The Commission of the European Communities, 2007)

นอกจากนี้ประเทศที่เป็นสมาชิกของสหภาพยุโรป ได้แก่ ออสเตรีย เดนมาร์ก ฝรั่งเศส ฟินแลนด์ เยอรมนี กรีซ อิตาลี และสวีเดน ได้มีการกำหนดกฎระเบียบของเด็กเล่นที่นำเข้าหรือจำหน่ายในประเทศดังกล่าว ต้องมีคุณภาพตามมาตรฐานความปลอดภัยของเล่น ภายใต้กฎหมาย Safety of Toys (EN 71) ซึ่งกำหนดโดยระเบียบ Council Directive 93/68/EEC ครอบคลุมสินค้าของเด็กเล่นทุกประเภทสำหรับเด็กอายุต่ำกว่า 14 ปี เป็นการกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยในกระบวนการผลิตสินค้าของเด็กเล่น ห้ามใช้สารประกอบกลุ่มธาเลต 6 ประเภท ได้แก่ DNIP, DIDP, DNOP, DEHP, BBP และ DBP ใน PVC เพื่อผลิตเป็นสินค้าของเด็กเล่นทุกชนิดที่เด็กใส่เข้าปาก รวมทั้งผลิตภัณฑ์ดูแลเด็ก (Children articles) ด้วย ของเล่นอื่นนอกเหนือจากที่กล่าวข้างต้น ถ้ามีส่วนผสมของสารดังกล่าว จะต้องระบุคำเตือนว่า ระวังไม่ให้เด็กนำเข้าปาก (European Union Directives, 1993)

สำหรับในน้ำดื่ม Environmental Protection Agency ของสหรัฐอเมริกาได้กำหนดค่าความเข้มข้นของ DEHP สูงสุดที่ยอมให้มีได้ (maximum admissible concentration, MAC) ในน้ำดื่มเท่ากับ 6  $\mu\text{g/L}$  (USEPA, 2002) และ WHO ได้กำหนดค่าความเข้มข้นของ DEHP สูงสุดที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่มเท่ากับ 8  $\mu\text{g/L}$  (WHO, 2006)

### 1.2.8 ปัจจัยของการเกิดไมเกรชัน (Migration)

ไมเกรชัน หมายถึงการเคลื่อนย้ายของอนุภาคหรือโมเลกุล ซึ่งเป็นองค์ประกอบของบรรจุภัณฑ์ลงสู่อาหาร ปัจจัยของการเกิดไมเกรชันขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของบรรจุภัณฑ์ ชนิดและองค์ประกอบของอาหาร และปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิของการสัมผัสระหว่างอาหารและตัวบรรจุภัณฑ์ ระยะเวลาในการสัมผัส ชนิดและองค์ประกอบของอาหาร เป็นต้น ซึ่งสารที่เกิดกระบวนการเคลื่อนย้ายอนุภาค หรือโมเลกุลไปสู่อาหารนั้น นอกจากจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคแล้ว ยังส่งผลเสียต่อกลิ่นและรสชาติของอาหารได้

## 1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุอาหารหรือเครื่องดื่ม ส่วนใหญ่จะทำมาจากพลาสติก เนื่องจากพลาสติกนั้นมีน้ำหนักเบา และอากาศซึมผ่านได้ยาก พลาสติกที่นำผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์มีด้วยกันหลายประเภท แต่ในกระบวนการผลิตพลาสติกส่วนใหญ่จะมีการเติมพลาสติกไซเซอร์ เพื่อเพิ่มสมบัติให้พลาสติกให้เหมาะสมกับงานที่จะใช้ โดยมีรายงานการวิจัยจากหลายแห่ง ตรวจพบ DEHP ในบรรจุภัณฑ์พลาสติกสำหรับใส่อาหารหรือเครื่องดื่มที่ผลิตจากพลาสติกประเภทต่างๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1-3 ความเข้มข้นของ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากตัวอย่างประเภทต่างๆ

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP	วิธีการทดลอง	อ้างอิง
ขวดใส่น้ำผลไม้ (PET)	21-338 µg/g	นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ทันทีและเก็บตัวอย่างไว้เป็นเวลา 12	Balafas <i>et al.</i> , 1998
ขวดใส่เครื่องดื่ม (PET)	35-3,375 µg/g	เดือน โดยนำตัวอย่างหนัก 1 กรัม มาวิเคราะห์ด้วยวิธี liquid-	
ถ้วยไอศกรีม (HDPE)	10-28 µg/g	liquid extraction ซึ่งใช้chloroform:methanol 2:1 50 ml มา	
ถ้วยโยเกิร์ต (PS)	40-84 µg/g	สกัดใน soxhlet เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	
น้ำบรรจุขวด PET, PVC และขวดแก้ว	1.5-2.4 µg/L	นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ทันที โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี solid-	Penalver <i>et al.</i> , 2000
น้ำบรรจุขวด PET	9.78-9.93 µg/L	phase microextraction ใช้ 85 µm polyacrylate fiber เป็นตัว	
น้ำบรรจุขวด PET	390-322 µg/L	ดูดซับ นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ทันที โดยใช้วิธี solid-phase	Prokupkova <i>et al.</i> , 2002
น้ำบรรจุขวด PET	390-322 µg/L	microextraction มี polyacrylate fiber เป็นตัวดูดซับ ใช้เวลา	
น้ำบรรจุขวด PET	390-322 µg/L	สกัด 20 นาที เก็บขวดตัวอย่างไว้ในที่มืดเป็นเวลา 12 เดือน แล้ววิเคราะห์	Biscardi <i>et al.</i> , 2003
น้ำบรรจุขวด PET	390-322 µg/L	โดยการสกัดด้วย acetone จากนั้นระเหยแห้งด้วยไนโตรเจน	
		ภายใต้สภาวะสุญญากาศ	

ตารางที่ 1-3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP	วิธีการทดลอง	อ้างอิง
น้ำบรรจุขวด PET, PE และขวดแก้ว	0.005-1.7 µg/L	นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ทันที โดยวิธี solid-phase extraction ที่ใช้ C18 (500 mg) เป็นตัวดูดซับ จากนั้นชะด้วย dichloromethane/hexane (4:1, v/v)	Casajuan <i>et al.</i> , 2003
ถุงใส่อาหาร(PE)	0.23 mg/g	นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ทันที โดยนำตัวอย่าง 0.3 กรัม แช่ใน methanol 5 ml สั่นด้วยเครื่องอุตราโซนิกที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที นำสารละลายที่ได้ 50 µL มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 8 ml จากนั้นนำไปสกัดด้วย calix[4]arene fiber	Li <i>et al.</i> , 2004
ถุงใส่ขนมปัง (PE) ถ้วยพลาสติกและจานพลาสติก(PS)	1,763.8 µg/L 1.38-119.35 µg/L	นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ทันที โดยนำตัวอย่าง 1 กรัม แช่ใน hexane เป็นเวลา 30 นาที นำสารละลายที่ได้ไปลดปริมาตรใน water bath ที่อุณหภูมิ 45-50°C จากนั้นนำไปละลายใน 500 µl ของ %5 acetonitrile ก่อนที่จะไป clean up ด้วย C18 จากนั้นชะคอลัมน์ด้วย acetonitrile 5 mL และนำสารละลายที่ชะออกมาได้ ไประเหยแห้งด้วยไนโตรเจนให้เหลือ ปริมาตร 1 ml นำมาละลายใน hexane	Shen, 2005

ตารางที่ 1-3 (ต่อ)

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP	วิธีการทดลอง	อ้างอิง
น้ำบรรจุขวด PET	8.78-50 µg/L	นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ทันที โดยใช้วิธี liquid-liquid extraction ซึ่งใช้ dichloromethane เป็นตัวสกัด	Bosnir <i>et al.</i> , 2007
น้ำบรรจุขวด PC, PET และขวดแก้ว	0.052-0.338 µg/L	นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ทันที โดยใช้วิธี solid-phase microextraction ใช้ 65 µm polydimethylsiloxane (PDMS) /divinylbenzene(DVB) เป็นตัวดูดซับ	Cao, 2008
ไวน์บรรจุขวดแก้วและขวด polyethylene coupled film brick(PEC)	57-280 µg/L	นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ทันที โดยวิธี solid-phase extraction ใช้ C18 (2.5g) เป็นตัวดูดซับ ขั้นตอน condition จะใช้ dichloromethane 10 ml และ methanol 3 ml มีการเจือจางตัวอย่างด้วย น้ำที่เติม NaCl 2 g/mL ให้ตัวอย่างผ่านคอลัมน์ C18 ด้วยอัตรา 1 mL/min จากนั้นชะคอลัมน์ด้วย dichloromethane 5 mL กรองผ่าน anhydrous Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ล้างกระดาษกรองด้วย dichloromethane 10 mL จากนั้นนำไประเหย และละลายใน hexane 2 ml	Carlo <i>et al.</i> , 2008

ตารางที่ 1-3 (ต่อ)

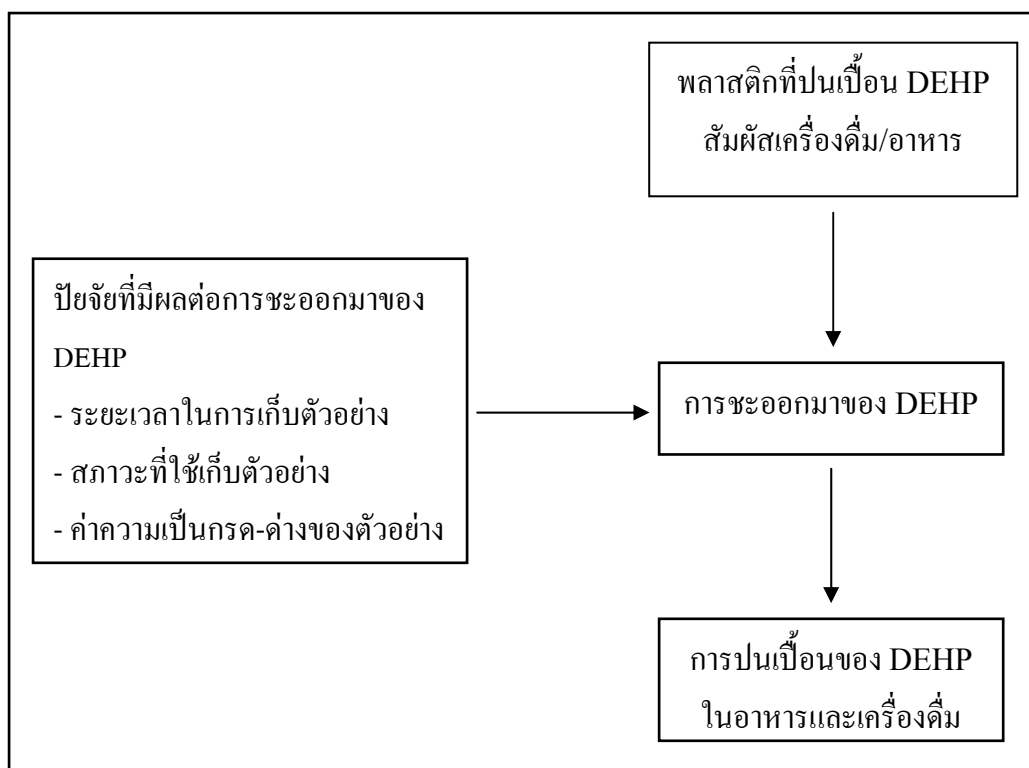
ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP	วิธีการทดลอง	อ้างอิง
น้ำบรรจุขวด PET ขวดตัวอย่างไว้ในที่ ไม่สัมผัสแสงแดด(ในห้อง)	0.024-0.18 µg/L	นำตัวอย่างเก็บไว้เป็นเวลา 17 ชั่วโมง วิเคราะห์น้ำตัวอย่าง 100 mL โดยใช้วิธี liquid-liquid extraction ซึ่งใช้ n-hexane 1 mL เป็นตัวสกัด	Schmid <i>et al.</i> , 2008
น้ำบรรจุขวด PET ขวดตัวอย่างไว้ในที่ สัมผัสแสงแดด	0.10-0.38 µg/L		
น้ำบรรจุขวด PET	280-500 µg/L	นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ทันทีโดยวิธี solid-phase extraction ใช้ C18 (500 mg) และ Florisil (1g) เป็นตัวดูดซับ	Prapatong <i>et al.</i> ,2010

จากตารางที่ 1-3 ผลลิตภัณฑ์พลาสติกที่นำมาวิเคราะห์ มีการตรวจพบความเข้มข้นของ DEHP เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของน้ำดื่มที่ EPA ยอมให้มีได้ ( $6 \mu\text{g/L}$ ) พบว่าในหลายตัวอย่างจากรายงานการวิจัยดังกล่าว มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานของน้ำดื่มที่ EPA ยอมให้มีได้ แสดงว่าในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพลาสติกประเภทอื่นๆ ที่ไม่ใช่พลาสติก PVC ก็อาจจะมีการเติม DEHP ลงในผลิตภัณฑ์ เพื่อปรับปรุงสมบัติพลาสติกให้เหมาะสมกับงานที่ใช้เช่นกัน ดังนั้นจึงควรมีการกำหนดระดับของ DEHP ที่เติมลงไป ในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพลาสติกประเภทอื่นด้วย

#### 1.4 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระดับการปนเปื้อนของ DEHP ในเนื้อของภาชนะพลาสติกชนิดต่างๆ
2. เพื่อศึกษาสถานะที่มีต่อการชะออกมาของ di-(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) จากขวดน้ำดื่มพลาสติก ถุงพลาสติก และถ้วยโฟมสำหรับใส่อาหาร

#### 1.5 กรอบแนวคิด



### 1.6 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาระดับการปนเปื้อนของ DEHP ในเนื้อของภาชนะพลาสติก ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการชะออกมาของ DEHP จากขวด PET และขวด HDPE ได้แก่ ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง สภาพที่ใช้เก็บตัวอย่างและระดับความเป็นกรด-ด่าง และศึกษาการชะออกมาของ DEHP จากภาชนะพลาสติกบรรจุอาหาร ได้แก่ ถุงร้อน ถุงเย็นและถ้วยโฟมเมื่อใส่น้ำร้อนและนมถั่วเหลืองร้อนลงไป

### 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลการวิจัยเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้แก่หน่วยงานที่รับผิดชอบในการควบคุมมาตรฐานผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้บรรจุอาหารหรือเครื่องดื่ม
2. ผลการวิจัยเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้แก่ผู้บริโภคและผู้จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่มแบบบรรจุในภาชนะพลาสติกในการเลือกใช้และเก็บภาชนะพลาสติกบรรจุอาหารและเครื่องดื่มได้อย่างเหมาะสมและปลอดภัย



## บทที่ 2

### วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาสภาวะที่มีผลต่อการชะออกมาของ DEHP จากขวดน้ำดื่มพลาสติกแบบใส (ขวด PET) และขวดน้ำดื่มพลาสติกแบบขาวขุ่น (ขวด HDPE) ขวดพลาสติกชนิดถูร้อน ขวดพลาสติกชนิดถูเย็น และถ้วยโพลีสำหรับใส่อาหาร โดยมีวัตถุประสงค์และวิธีดำเนินการดังนี้

#### 2.1 วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

##### 2.1.1 วัสดุ

เลือกผลิตภัณฑ์บรรจุอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีผู้นิยมใช้กันมากมาใช้เป็นตัวอย่างในการทดลอง ได้แก่ ขวดน้ำดื่มพลาสติกแบบใส (ขวด PET) ขนาดความจุ 600 cm<sup>3</sup> ขวดน้ำดื่มพลาสติกแบบขาวขุ่น (ขวด HDPE) ขนาดความจุ 950 cm<sup>3</sup> ขวดพลาสติกชนิดถูเย็น (low density polyethylene, LDPE) ขนาด 5"x9" ขวดพลาสติกชนิดถูร้อน (polypropylene, PP) ขนาด 5"x8" และถ้วยโพลี (polystyrene, PS) ขนาด 140x84 mm สำหรับใส่อาหาร

##### 2.1.2 สารเคมี

1. Acetone (99.7%, AR grade : Merck, Germany)
2. Anhydrous sodium sulphate
3. Di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) (purity 99.7%, GC grade : Supelco, USA)
4. Hexane (HPLC grade : Merck, Germany)
5. Methanol (HPLC grade : Merck, Germany)
6. Dichloromethane (HPLC grade : Merck, Germany)
7. C18 1,000 mg/6 mL (Vertical, Vertipak Thailand)
8. Sulfuric acid ( 98%, AR grade : Merck, Germany)
9. Sodium hydroxide (AR grade : Merck, Germany)

### 2.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
2. เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
3. เครื่องชั่งไฟฟ้า
4. Lux meter
5. Soxhlet
6. Rotatory evaporator
7. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatograph) พร้อมด้วยเครื่องวัด flame ionization detector (GC-FID) (Hewlette Packard รุ่น HP 6890)
8. Capillary column ความยาว 30 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 320  $\mu\text{m}$  ความหนา 0.25  $\mu\text{m}$  HP-5 5%phenyl 95%dimethyl polysiloxane (J&W Scientific, Agilent Technologies, USA)
9. เครื่อง centrifuge
10. Magnetic stirrer
11. Auto pipette และ tip
12. Beaker ขนาด 10, 50, 1000 mL
13. กระจกตวง 10 mL
14. Volumetric flask ขนาด 50, 100, 1,000 mL
15. Vial ขนาด 2.0, 20 mL
16. paper phase separator ขนาด 12.5 cm (Whatman)

## 2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

### 2.2.1 การเตรียมอุปกรณ์

เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของ DEHP ที่มาจากเครื่องแก้วและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ จึงต้องล้างทำความสะอาดเครื่องแก้วด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จากนั้นชะด้วยอะซีโตน แล้วนำเครื่องแก้วไปอบที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Leivadara *et al.*, 2007)

### 2.2.2 ชุดการทดลอง

แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ทำการทดลอง 5 ตัวอย่างต่อชุดการทดลอง ซึ่งทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยแบ่งชุดการทดลองดังนี้

### ชุดการทดลองที่ 1 วิเคราะห์หา DEHP ในเนื้อของภาชนะพลาสติกบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม

ทำการวิเคราะห์ DEHP ในเนื้อของภาชนะพลาสติก 5 ประเภท ได้แก่ ขวดน้ำดื่มพลาสติกแบบใส (ขวด PET) ขวดน้ำดื่มพลาสติกแบบขาวขุ่น (ขวด HDPE) ถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน (PP) ถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE) และถ้วยโฟม (PS) ดังภาพประกอบที่ 2-1 และภาพประกอบที่ 2-2 จากนั้นนำค่าความเข้มข้นที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่สหภาพยุโรปอนุญาตให้มีได้ในผลิตภัณฑ์พลาสติกที่บรรจุเครื่องปรุงรสซึ่งมีค่าไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตร (100 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ของพื้นที่ผิวของฝาด้านที่สัมผัสอาหาร (The Commission of the European Communities, 2007)



(a)

(b)

ภาพประกอบที่ 2-1 (a) ขวดน้ำดื่มพลาสติกแบบใส (ขวด PET) และ (b) ขวดน้ำดื่มพลาสติกแบบขาวขุ่น (ขวด HDPE)



(a)



(b)



(c)

ภาพประกอบที่ 2-2 (a) ถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน (PP), (b) ถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE) และ (c) ถ้วยโพลี (PS)

### ชุดการทดลองที่ 2 ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง

เนื่องจากหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกนั้น จะมีการนำขวดน้ำดื่มที่ผลิตได้ไปเก็บไว้ในคลังสินค้าและวางจำหน่ายในร้านค้าต่างๆ ซึ่งบางครั้งอาจจะต้องเก็บไว้เป็นระยะเวลานานกว่าจะถึงมือผู้บริโภค ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของระยะเวลาการเก็บขวดตัวอย่างต่อการชะออกมาของ DEHP โดยเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนที่มีระดับพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ  $6.7 \pm 0.1$  จนเต็มขวดน้ำดื่มพลาสติกแบบใส (ขวด PET) และแบบขาวขุ่น (ขวด HDPE) นำน้ำกลั่นมาวิเคราะห์หาปริมาณ DEHP ภายในเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเก็บขวดตัวอย่างไว้ในอาคารเป็นระยะเวลา 6 เดือน นำน้ำกลั่นไปวิเคราะห์หาปริมาณ DEHP เมื่อครบระยะเวลา 7 วัน 14 วัน 21 วัน 30 วัน 90 วัน และ 180 วัน ซึ่งวันที่นำมาใช้ทดลองถูกผลิตขึ้นก่อนการทดลอง 2 สัปดาห์ โดยเริ่มเก็บตัวอย่างในเดือนกันยายน 2552 – เดือนมีนาคม 2553

### ชุดการทดลองที่ 3 ศึกษาผลของสภาวะการเก็บตัวอย่างที่สภาวะต่างๆ กัน

การเก็บขวดน้ำดื่มพลาสติกไว้ที่สภาวะต่างๆ มีผลต่อการชะออกมาของ DEHP ดังนั้นชุดการทดลองนี้จึงได้ทำการเลือกสภาวะในการทดลองมา 3 สภาวะ ได้แก่ สภาวะที่ 1 ตากแดดไว้กลางแจ้ง (outdoor) ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย  $29.17^{\circ}\text{C} \pm 1.77^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากร้านค้าบางแห่งหรือปั้มน้ำมันที่นิยมนำขวดน้ำดื่มมาวางจำหน่ายกลางแจ้งให้แก่ลูกค้าทำให้ขวดน้ำดื่มตากแดดเป็นเวลานาน สภาวะที่ 2 เลือกเก็บไว้ในอาคาร (indoor) ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย  $26.13^{\circ}\text{C} \pm 1.28^{\circ}\text{C}$  ซึ่งในร้านค้าส่วนใหญ่จะมีการเก็บขวดน้ำดื่มไว้ในสภาวะนี้ และสภาวะที่ 3 เลือกเก็บตัวอย่างไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากในร้านค้าบางแห่งจะมีการเก็บขวดน้ำดื่มไว้ในตู้เย็น เพื่อขายให้แก่ผู้บริโภคที่ต้องการบริโภคน้ำดื่มเย็น เริ่มการทดลองโดยเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนเต็มขวดน้ำดื่ม

พลาสติกแบบใส (ขวด PET) และแบบขาวขุ่น (ขวด HDPE) จากนั้นทำการเก็บขวดน้ำดื่มพลาสติกไว้ที่สภาวะต่างๆ จากนั้นนำน้ำกลั่นมาวิเคราะห์หาปริมาณ DEHP ภายในเวลา 1 ชั่วโมง และเก็บขวดตัวอย่างไว้เป็นเวลา 6 เดือน นำน้ำกลั่นไปวิเคราะห์หาปริมาณ DEHP เมื่อครบระยะเวลา 7 วัน 14 วัน 21 วัน 30 วัน 90 วัน และ 180 วัน

#### ชุดการทดลองที่ 4 ศึกษาผลของระดับความเป็นกรด-ด่าง

ปัจจุบันพบว่ามีการนำขวดพลาสติกมาบรรจุน้ำมะนาว น้ำส้มสายชูและน้ำผลไม้ต่างๆ ซึ่งของเหลวเหล่านี้บางอย่างมีค่าความเป็นกรดสูง หรือบางครั้งนำขวดพลาสติกมาบรรจุยาลดกรดในกระเพาะอาหาร ซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่าง ในสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่ต่างกันนี้อาจจะมีผลต่อการชะออกมาของ DEHP จากเนื้อพลาสติกและทำให้เกิดการปนเปื้อนของ DEHP ในอาหารที่บรรจุในภาชนะได้ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาถึงผลของระดับความเป็นกรด-ด่างต่อการชะออกมาของ DEHP โดยเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนในตัวอย่างขวดน้ำดื่มพลาสติกแบบใส (ขวด PET) และแบบขาวขุ่น (ขวด HDPE) ปรับพีเอชในแต่ละชุดการทดลองที่ระดับพีเอชเท่ากับ 2, 7 และ 9 ซึ่งที่พีเอชเท่ากับ 2 ปรับด้วย  $H_2SO_4$  1 N, พีเอชเท่ากับ 7 ปรับด้วย NaOH 0.005 N และพีเอชเท่ากับ 9 ปรับด้วย NaOH 0.05 N เก็บไว้ในห้องมืดที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำตัวอย่างน้ำกลั่นในขวดมาวิเคราะห์หาปริมาณ DEHP เมื่อครบระยะเวลา 1 ชั่วโมง 7 วัน 14 วัน 21 วัน 30 วัน 90 วัน และ 180 วัน

#### ชุดการทดลองที่ 5 ศึกษาการชะออกมาของ DEHP จากภาชนะบรรจุอาหาร

ใส่น้ำกลั่นร้อนและนมถั่วเหลืองร้อน (ประกอบด้วย น้านมถั่วเหลือง 90.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันพืช 1.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาล 7 เปอร์เซ็นต์ และนมผง 1.5 เปอร์เซ็นต์) อุณหภูมิ  $90^{\circ}C$  ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในถุงพลาสติกชนิดถุงร้อนและชนิดถุงเย็น และด้วยโฟมสำหรับใส่อาหาร ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำน้ำกลั่นและนมถั่วเหลืองนี้ไปวิเคราะห์หาปริมาณ DEHP

### 2.2.3 การวิเคราะห์ DEHP

#### 2.2.3.1 วิธีการสกัด DEHP ในภาชนะบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม

วิเคราะห์ตัวอย่างเนื้อพลาสติกชนิดต่างๆ ด้วยวิธีของ Rastogi (1998) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างของเล่นพลาสติก โดยเริ่มจากการนำตัวอย่างภาชนะพลาสติกชนิดต่างๆ มาตัดให้ได้ขนาด 1 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร น้ำหนัก 1 กรัม นำไปสกัดด้วย dichloromethane 100 มิลลิลิตร ใน soxhlet ที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}C$  เป็นเวลา 16 ชั่วโมง นำไปลดปริมาตร

ด้วยเครื่อง rotatory evaporator ที่อุณหภูมิ 30°C จากนั้น clean up ตัวอย่างด้วย C18 1,000 มิลลิกรัม (Carlo *et al.*, 2008) โดยเริ่มจากการปรับสภาพคอลัมน์ด้วย dichloromethane 20 มิลลิกรัม และเติม methanol ลงไป 6 มิลลิกรัม นำตัวอย่างปริมาตร 50 มิลลิกรัม ผ่าน C18 ด้วยอัตราการไหล 1 มิลลิกรัมต่อนาที ซะตัวอย่าง 3 ครั้ง ด้วย dichloromethane 5 มิลลิกรัม รวมปริมาตรเป็น 15 มิลลิกรัม นำตัวอย่างไประเหยใน water bath ที่อุณหภูมิ 40°C จนเกือบแห้ง (Leivadara *et al.*, 2008) จากนั้นละลายด้วย hexane 2 มิลลิกรัม และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph-flame ionization detector (GC-FID) ต่อไป

### 2.2.3.2 วิธีการสกัด DEHP ในตัวอย่างน้ำ

สกัด DEHP จากตัวอย่างน้ำด้วยวิธี solid phase extraction ซึ่งได้ดัดแปลงมาจากวิธีของ Carlo (2008) โดยเริ่มจากการปรับสภาพคอลัมน์ด้วย dichloromethane 10 มิลลิกรัม และเติม methanol 3 มิลลิกรัม ลงไป จากนั้นนำตัวอย่างน้ำปริมาตร 50 มิลลิกรัม ไปผ่านคอลัมน์บรรจุ C18 ด้วยอัตราการไหลที่ 1 มิลลิกรัมต่อนาที ซะตัวอย่าง 2 ครั้ง ด้วย dichloromethane 5 มิลลิกรัม รวมเป็นปริมาตร 10 มิลลิกรัม และกรองผ่าน anhydrous sodium sulphate ปริมาณ 1 กรัม ล้างกระดาษกรองด้วย dichloromethane 5 มิลลิกรัม นำตัวอย่างไประเหยใน water bath ที่อุณหภูมิ 40°C จนเกือบแห้ง (Leivadara *et al.*, 2008) จากนั้นละลายด้วย hexane 2 มิลลิกรัม และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph- flame ionization detector (GC-FID) ต่อไป

### 2.2.3.3 วิธีการสกัด DEHP ในตัวอย่างนมถั่วเหลือง

นำตัวอย่างนมถั่วเหลืองไปตกตะกอนโปรตีนด้วยอะซีโตน ปริมาตร 5 มิลลิกรัม ในบีกเกอร์แก้ว จากนั้นนำตัวอย่างไปปั่นแยก ที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที กรองแยกตะกอนออก นำตัวอย่างส่วนที่ใสปริมาตร 50 มิลลิกรัม มาสกัดด้วยวิธี solid phase extraction โดยปรับสภาพคอลัมน์ด้วย dichloromethane ปริมาตร 20 มิลลิกรัม และเติม methanol ปริมาตร 6 มิลลิกรัม จากนั้นนำตัวอย่างนมถั่วเหลืองไปผ่าน C18 ด้วยอัตราการไหล 1 มิลลิกรัมต่อนาทีและชะ 3 ครั้งด้วย dichloromethane 5 มิลลิกรัม รวมเป็นปริมาตร 15 มิลลิกรัม นำตัวอย่างไประเหยใน water bath ที่อุณหภูมิ 40°C จนเกือบแห้ง (Leivadara *et al.*, 2008) จากนั้นละลายด้วย hexane 2 มิลลิกรัม และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph-flame ionization detector (GC-FID) ต่อไป

**2.2.3.4 วิธีการวิเคราะห์ DEHP ด้วยเครื่อง gas chromatograph-flame ionization detector (GC-FID)** กำหนดสภาวะของเครื่อง GC-FID ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 สภาวะการทำงานของเครื่อง GC สำหรับการวิเคราะห์ DEHP

โปรแกรม/โหมด	สภาวะการทำงาน
Manufacturer name/model	HP 6890 GC
Inlet conditions	Mode: splitless Initial temp: 260 °C Pressure: 13.62 psi Split flow: 49.4 mL/min Total flow: 55.1 mL/min Gas type: helium
Column	HP-5 5% phenyl 95%dimethyl polysiloxane Length: 30 m Diameter: 320 um Film thickness: 0.25 um Mode: constant flow Initial flow: 3.0 mL/min Average velocity: 46 cm/sec Init pressure: 13.63 psi
Detector	FID Temperature: 300 °C Mode: constant make up flow Make up flow: 40.0 mL/min Make up gas type: nitrogen
Injection port	Injection temperature: 260 °C Injection volume: 1 µL (use auto sampler model)
Initial temperature	60 °C initial time 2 minute
Temperature program	20 °C/min to 170 °C 8 °C/min to 270 °C 2 minute
Final time duration	22 min
Standard calibration	External standard

### 2.2.5 การคำนวณหาปริมาณสารตัวอย่างในสารละลายตัวอย่าง

นำสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้จากตัวอย่าง ไปวิเคราะห์หา DEHP จากนั้นนำค่าความเข้มข้นของ DEHP ที่วิเคราะห์ได้ไปคำนวณหาปริมาณ DEHP ในตัวอย่างตามสมการ 2.2.1 (จิรากร โกศัยเสวี, 2549)

$$\text{สูตร} \quad C_s = \frac{S \times V}{W} \quad 2.2.1$$

เมื่อ  $C_s$  = ความเข้มข้นของสารในตัวอย่าง  
 $S$  = ความเข้มข้นของสารในสารละลายตัวอย่าง  
 $V$  = ปริมาตรสุดท้ายสารละลายตัวอย่าง  
 $W$  = น้ำหนักตัวอย่าง ที่อยู่ในปริมาตรสุดท้าย

### 2.2.6 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (% recovery)

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองในตัวอย่าง 3 ประเภท ได้แก่ ตัวอย่างเนื้อพลาสติก ตัวอย่างน้ำกลั่นและตัวอย่างนมถั่วเหลือง โดยการวิเคราะห์ในตัวอย่างเนื้อของพลาสติก นั้น จะต้องเติมสารละลายมาตรฐาน DEHP ลงไปในเนื้อพลาสติก ซึ่งความเข้มข้นที่เติมไปนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้ จากนั้นนำไปแช่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงค่อยนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของ DEHP ด้วยวิธีข้างต้น ส่วนในตัวอย่างน้ำกลั่นและนมถั่วเหลือง เมื่อเติมสารละลายมาตรฐาน DEHP ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับค่าที่วิเคราะห์ได้ลงในตัวอย่างแล้ว จากนั้นนำตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณ DEHP โดยแต่ละตัวอย่างจะทำการทดลอง 10 ซ้ำ และนำค่าความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองไปคำนวณตามสมการ 2.2.2 เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้ต้องอยู่ในช่วง 80-120 เปอร์เซ็นต์ (FAO/WHO, 1999)

$$\text{สูตร} \quad \% \text{ Recovery} = \frac{C_1 - C_2}{C_3} \times 100 \quad 2.2.2$$

เมื่อ % Recovery = เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ  
 $C_1$  = ความเข้มข้นของตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐาน  
 $C_2$  = ความเข้มข้นของตัวอย่างที่ไม่เติมสารละลายมาตรฐาน  
 $C_3$  = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติมในตัวอย่าง



### 2.2.7 Method detection limit (MDL)

เป็นความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่วิเคราะห์ได้ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.2.3 (APHA, AWWA and WEF, 2005) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเดียวกัน ที่ความเข้มข้นต่ำๆ ทำการทดลอง 10 ซ้ำ เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานตามสมการ

$$\text{สูตร} \quad \text{MDL} = 3SD \quad 2.2.3$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ} \quad \text{MDL} &= \text{ความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้} \\ \text{SD} &= \text{ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน} \end{aligned}$$

### 2.2.8 การศึกษาความเที่ยง (precision) ของวิธีวิเคราะห์

โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเดียวกัน 10 ซ้ำ แล้วนำไปคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% relative standard deviation, %RSD) คำนวณได้จากสมการที่ 2.2.4 ซึ่งเกณฑ์การยอมรับ %RSD ที่ได้ คือต้องมีค่าไม่เกิน 10% (FAO/WHO, 1999) จึงจะถือว่าวิธีวิเคราะห์นั้นมีความเที่ยงเพียงพอ

$$\text{สูตร} \quad \%RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100 \quad 2.2.4$$

### 2.2.9 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

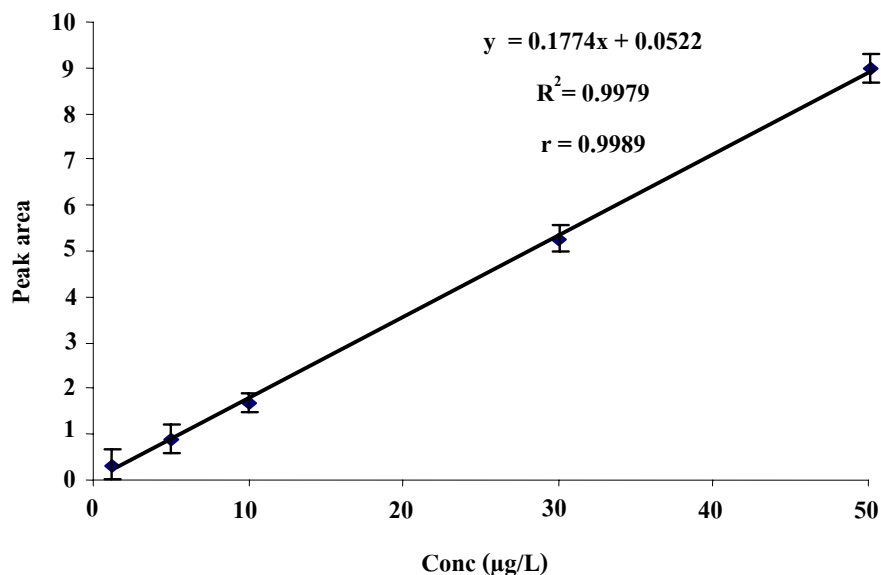
สำหรับสถิติที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม และมากกว่า 2 กลุ่ม ด้วย Mann-Whitney U test และ Kruskal – Wallis ANOVA test ตามลำดับ

### บทที่ 3

## ผลการวิจัยและอภิปรายผล

### 3.1 กราฟมาตรฐานของ DEHP

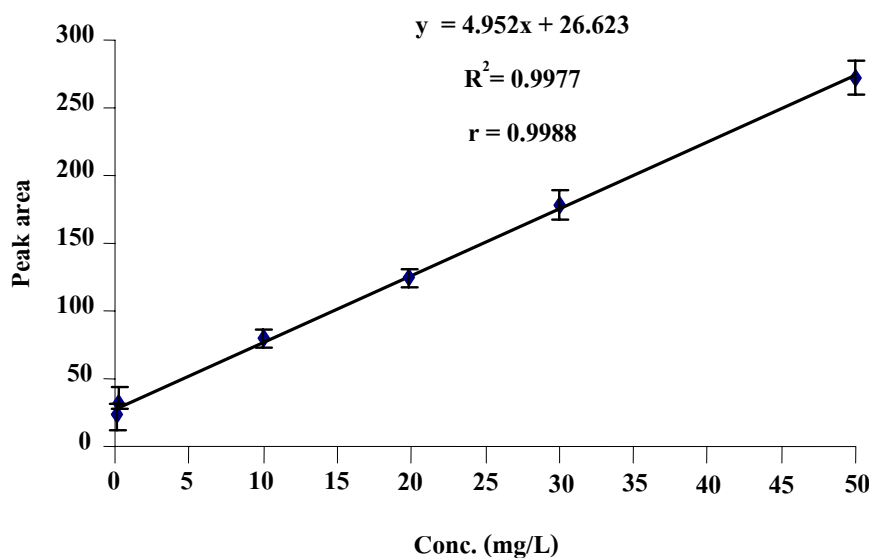
จากผลการทดลองพบว่าค่าความเข้มข้นของ DEHP มีค่าที่แตกต่างกันมากดังนั้นกราฟแสดงช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานจึงแบ่งออกเป็น 2 ช่วงความเข้มข้น ได้แก่ ช่วงความเข้มข้น 1-50 ไมโครกรัมต่อลิตร และช่วงความเข้มข้น 0.1-50 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งพบว่ากราฟมาตรฐานของสารละลาย DEHP ช่วงความเข้มข้น 1-50 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) เท่ากับ 0.9989 และมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9979 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ 1 และสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่ามากกว่า 0.995 ซึ่งผ่านเกณฑ์กำหนดของ EURACHEM (1998) แสดงว่ากราฟมาตรฐานมีช่วงความเป็นเส้นตรงที่ยอมรับได้และสมการของกราฟมาตรฐานนั้นมีความแม่นยำในการทำนายในช่วงความเข้มข้น 1-50 ไมโครกรัมต่อลิตร ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-1



ภาพประกอบที่ 3-1 กราฟมาตรฐานสารละลาย DEHP ช่วงความเข้มข้น 1-50 ไมโครกรัมต่อลิตร

ส่วนกราฟมาตรฐานของสารละลาย DEHP ที่ช่วงความเข้มข้น 0.1-50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) เท่ากับ 0.9988 และมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9977 ซึ่งทั้งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ 1 และสัมประสิทธิ์การถดถอยกราฟ

มาตรฐานมีค่ามากกว่า 0.995 ซึ่งผ่านเกณฑ์กำหนดของ EURACHEM (1998) แสดงว่ากราฟมาตรฐานมีช่วงความเป็นเส้นตรงที่ยอมรับได้และสมการของกราฟมาตรฐานนั้นมีความแม่นยำในการทำนายในช่วงความเข้มข้น 0.1-50 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-2



ภาพประกอบที่ 3-2 กราฟมาตรฐานสารละลาย DEHP ช่วงความเข้มข้น 0.1-50 มิลลิกรัมต่อลิตร

### 3.2 การประกันคุณภาพของวิธีวิเคราะห์

#### 3.2.1 การประกันคุณภาพของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างเนื้อของภาชนะพลาสติก

หาค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของการวิเคราะห์โดยการเติมสารละลายมาตรฐานลงในตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้นใกล้เคียงกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่สามารถวิเคราะห์ได้จากเนื้อของพลาสติกทั้ง 5 ประเภท ได้แก่ ขวด PET ขวด HDPE ถุงพลาสติกชนิดถูร้อน (PP) ถุงพลาสติกชนิดถูเย็น (LDPE) และถ้วยโพลี (PS) ทำการเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปสกัดหาปริมาณ DEHP ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (% recovery) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% RSD) ได้แสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างเนื้อพลาสติก

ตัวอย่างพลาสติก	ความเข้มข้นของ DEHP( $\mu\text{g/g}$ )	% Recovery $\pm$ SD	% RSD
ขวด PET	38	85.20 $\pm$ 1.16	1.36
ขวด HDPE	23	81.50 $\pm$ 1.36	1.67
ถุงร้อน (PP)	25	83.14 $\pm$ 2.61	3.14
ถุงเย็น (LDPE)	17	82.98 $\pm$ 2.93	3.53
ถ้วยโฟม (PS)	24	80.04 $\pm$ 1.77	2.21

จากตารางที่ 3-1 ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับที่วิเคราะห์ได้จากเนื้อพลาสติกทั้ง 5 ประเภท มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 80.04-85.20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ระหว่าง 80-120 เปอร์เซ็นต์ จึงถือว่าตัวอย่างทุกประเภทมีค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ (FAO/WHO, 1999) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 1.36-3.53 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นวิธีวิเคราะห์นี้มีความเที่ยงเพียงพอ (FAO/WHO, 1999) ในการวิเคราะห์หา DEHP ในเนื้อของพลาสติกทั้ง 5 ประเภทในช่วงความเข้มข้น 17-38 ไมโครกรัมต่อกรัม

### 3.2.2 การประกันคุณภาพของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างน้ำ

ได้ทำการวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่ความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อลิตร เนื่องจากเป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวัดค่าได้ชัดเจน โดยทำการวิเคราะห์ 10 ครั้ง พบว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ (method detection limit, MDL) เท่ากับ 0.306 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (% recovery) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% RSD) ที่ช่วงความเข้มข้น 10-30 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.1-10 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-2 และตารางที่ 3-3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3-2 ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ในช่วงความเข้มข้น 10-30 ไมโครกรัมต่อลิตร ของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างน้ำ

ความเข้มข้น ( $\mu\text{g/L}$ )	% Recovery $\pm$ SD	% RSD
10	82.40 $\pm$ 5.42	6.58
20	85.98 $\pm$ 3.25	3.78
30	83.55 $\pm$ 2.81	3.36

จากตารางที่ 3-2 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับในช่วงความเข้มข้น 10-30 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 82.40-85.98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ระหว่าง 80-120 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ (FAO/WHO, 1999) ส่วนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 3.36-6.58 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ (FAO/WHO, 1999) จึงถือว่าวิธีวิเคราะห์นี้มีความเที่ยงเพียงพอในการวิเคราะห์ DEHP ในช่วงความเข้มข้น 10-30 ไมโครกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 3-3 ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ในช่วงความเข้มข้น 0.1-10 มิลลิกรัมต่อลิตร ของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างน้ำ

ความเข้มข้น (mg/L)	% Recovery $\pm$ SD	% RSD
0.1	82.01 $\pm$ 2.95	3.60
0.5	84.57 $\pm$ 3.65	4.31
10	81.18 $\pm$ 3.02	3.72

จากตารางที่ 3-3 ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับที่ความเข้มข้น 0.1-10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 81.18-84.57 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ระหว่าง 80-120 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ (FAO/WHO, 1999) ส่วนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 3.60-4.31 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ (FAO/WHO, 1999) ดังนั้นจึงถือว่าวิธีวิเคราะห์นี้มีความเที่ยงเพียงพอในการวิเคราะห์ DEHP ในช่วงความเข้มข้น 0.1-10 มิลลิกรัมต่อลิตร

### 3.2.3 การประกันคุณภาพของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างนมถั่วเหลือง

ได้ทำการวิเคราะห์ DEHP ที่ความเข้มข้น 40 ไมโครกรัมต่อลิตร เนื่องจากเป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวัดค่าได้ชัดเจน โดยทำการวิเคราะห์ 10 ครั้ง พบว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ (method detection limit, MDL) เท่ากับ 12 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (% recovery) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% RSD) ได้แสดงดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ในช่วงความเข้มข้น 0.1-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ของวิธีวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างนมถั่วเหลือง

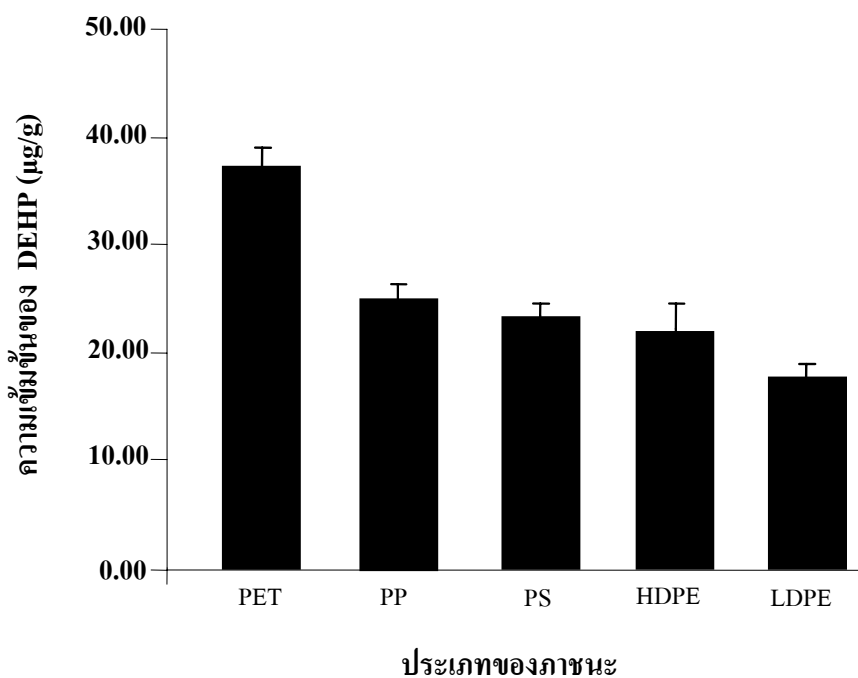
ความเข้มข้น (mg/L)	% Recovery $\pm$ SD	% RSD
0.1	83.25 $\pm$ 3.15	3.78
0.3	81.06 $\pm$ 4.53	5.99
0.5	82.09 $\pm$ 2.19	2.67

จากตารางที่ 3-4 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับในช่วงความเข้มข้น 0.1-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 81.06-83.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ระหว่าง 80-120 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ (FAO/WHO, 1999) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์มีค่าอยู่ระหว่าง 2.67-5.99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ จึงถือว่าวิธีวิเคราะห์นี้มีความเที่ยงเพียงพอในการวิเคราะห์ในช่วงความเข้มข้น 0.1-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (FAO/WHO, 1999)

### 3.3 ผลการวิเคราะห์ DEHP ในเนื้อของภาชนะพลาสติกบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม

เนื่องจากกฎระเบียบการใช้ DEHP ในประเทศไทยได้มีการสั่งห้ามใส่ DEHP ลงในผลิตภัณฑ์ฟิล์มยืดหุ้มห่ออาหารที่ทำจากพลาสติกพีวีซี (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2536) และมีการปฏิบัติตามระเบียบของสหภาพยุโรป เรื่องการกำหนดระดับ DEHP ในผลิตภัณฑ์ที่จะส่งออกไปประเทศแถบยุโรป เช่น เครื่องปรุงรสประเภทต่างๆ แต่ไม่ได้มีการกำหนดการใช้สารนี้ในพลาสติกประเภทอื่นๆ ซึ่งถ้ามีการเติม DEHP ลงในบรรจุภัณฑ์พลาสติกอื่นๆ ที่ใช้สำหรับบรรจุอาหารหรือเครื่องดื่มนั้น อาจจะทำให้ผู้บริโภคมีโอกาสที่จะได้รับสารนี้เข้าสู่ร่างกายได้ งานวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงระดับของ DEHP ในเนื้อภาชนะบรรจุอาหารหรือเครื่องดื่มที่ทำจากพลาสติกประเภทต่างๆ ได้แก่ ขวด PET ขวด HDPE ถังพลาสติกชนิดถูร้อน (PP) ถังพลาสติกชนิดถูเย็น

(LDPE) และถ้วยโฟม (PS) ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ DEHP ในเนื้อของภาชนะพลาสติกประเภทต่างๆ แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 3-3



ภาพประกอบที่ 3-3 ความเข้มข้นของ DEHP ในตัวอย่างเนื้อของพลาสติกบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม (n=25)

ผลจากการทดลองพบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างเนื้อภาชนะพลาสติกทั้ง 5 ประเภท ได้แก่ ขวด PET ขวดพลาสติกชนิดถุงร้อน (PP) ถ้วยโฟม (PS) ขวด HDPE และขวดพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE) มีค่าเท่ากับ 38.20±1.77 ไมโครกรัมต่อกรัม 25.97±1.67 ไมโครกรัมต่อกรัม 24.28±1.21 ไมโครกรัมต่อกรัม 23.69±2.02 ไมโครกรัมต่อกรัม และ 17.65±1.38 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในตัวอย่างเนื้อของขวด PET และขวด HDPE พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในตัวอย่างเนื้อของขวด PET มีค่าสูงกว่าในเนื้อของขวด HDPE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานการศึกษา ก่อนหน้านี้ (Balafas *et al.*, 1998) ที่พบว่าในเนื้อของขวดบรรจุเครื่องดื่มที่ผลิตจากพลาสติก PET มีค่าความเข้มข้นของ DEHP สูงกว่าในเนื้อของถ้วยโพลีสไตรีนที่ผลิตจากพลาสติก HDPE

สำหรับในภาชนะบรรจุอาหารที่ผลิตจากพลาสติก 3 ประเภท ได้แก่ ถุงพลาสติกชนิดถูร้อน (PP) ถุงพลาสติกชนิดถูเย็น (LDPE) และถั่วโพลี (PS) พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในตัวอย่างเนื้อพลาสติกของถุงพลาสติกชนิดถูร้อน (PP) และถั่วโพลี (PS) มีค่าไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) แต่ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในถุงพลาสติกชนิดถูร้อน (PP) และถั่วโพลี (PS) มีค่าสูงกว่าในถุงพลาสติกชนิดถูเย็น (LDPE) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) และในการทดลองนี้ได้นำค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ที่วิเคราะห์ได้ซึ่งอยู่ในหน่วยไมโครกรัมต่อกรัม มาแปลงให้อยู่ในหน่วย ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยวิธีการแปลงหน่วยจะใช้พื้นที่ผิวของพลาสติกที่สัมผัสกับอาหารหรือเครื่องดื่มนำค่าใหม่นี้มาเปรียบเทียบกับระดับ DEHP ที่สหภาพยุโรปกำหนดไว้ในฝาเครื่องปรุงรสด้านที่สัมผัสอาหาร (ไม่เกิน 100 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ระดับของ DEHP ในเนื้อของภาชนะพลาสติกประเภทต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-5

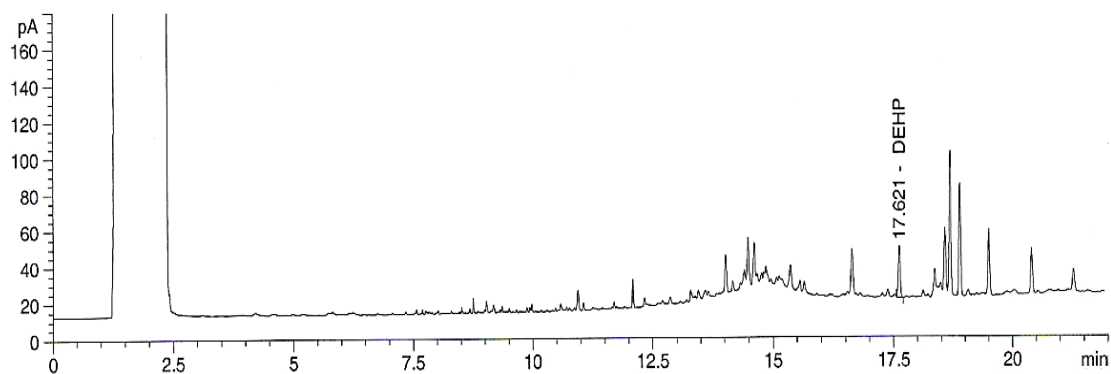
ตารางที่ 3-5 ระดับของ DEHP ในเนื้อของภาชนะพลาสติกประเภทต่างๆ

ตัวอย่างพลาสติก	ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ( $\mu\text{g/g}$ )	พื้นที่ผิวของเนื้อพลาสติก ( $\text{g/cm}^2$ )	ระดับของ DEHP ต่อพื้นที่ผิวของเนื้อพลาสติก ( $\mu\text{g/cm}^2$ )
ขวด PET	38.20 $\pm$ 1.77	37.25 $\pm$ 1.33	1.01 $\pm$ 0.04
ขวด HDPE	23.69 $\pm$ 2.02	33.35 $\pm$ 1.48	0.71 $\pm$ 0.06
ถูร้อน (PP)	25.97 $\pm$ 1.67	126.50 $\pm$ 1.59	0.21 $\pm$ 0.01
ถูเย็น (LDPE)	17.65 $\pm$ 1.38	188.28 $\pm$ 1.50	0.09 $\pm$ 0.01
ถั่วโพลี (PS)	24.38 $\pm$ 1.21	300.44 $\pm$ 1.61	0.08 $\pm$ 0.01

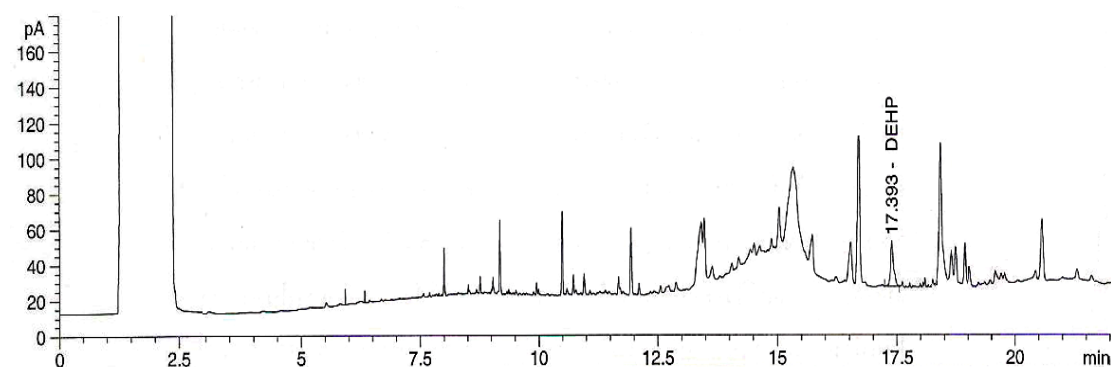
จากตารางที่ 3-5 พบว่าระดับของ DEHP ในเนื้อของภาชนะพลาสติกประเภทต่างๆ นั้น มีค่าอยู่ระหว่าง 0.08-1.01 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งค่าใหม่ที่คำนวณได้นั้นมีค่าต่ำกว่าค่าเดิมที่วิเคราะห์ได้ เนื่องมาจากพลาสติกมีน้ำหนักเบา จึงต้องใช้พื้นที่ในการวิเคราะห์มากถึงจะได้น้ำหนัก 1 กรัม และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่สหภาพยุโรปกำหนดไว้ที่ 100 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร พบว่าค่าที่วิเคราะห์ได้จากเนื้อของพลาสติกทั้ง 5 ประเภทนั้น มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่สหภาพยุโรปกำหนดไว้ ซึ่งพบว่าเนื้อของขวด PET มีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นเนื้อของขวด HDPE ถุงพลาสติกชนิดถูร้อน (PP) ถุงพลาสติกชนิดถูเย็น (LDPE) และถั่วโพลี (PS) ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID พบว่า retention time ของการทดลองชุดนี้มี



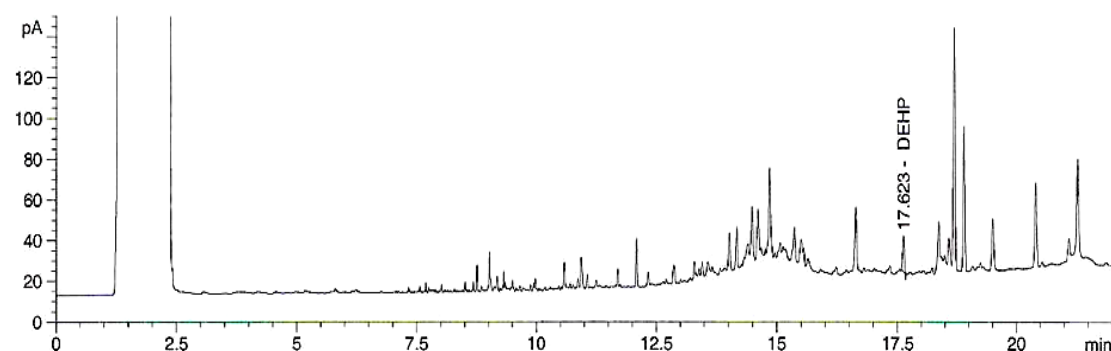
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $17.58 \pm 0.092$  นาที ซึ่งจะเห็นว่าลักษณะโครมาโทแกรมที่วิเคราะห์ได้จะมีพีคอื่นขึ้นเยอะเนื่องจากพลาสติกนั้นมีสารประกอบหลายอย่างผสมอยู่ (ภาพประกอบที่ 3-4 - ภาพประกอบที่ 3-8)



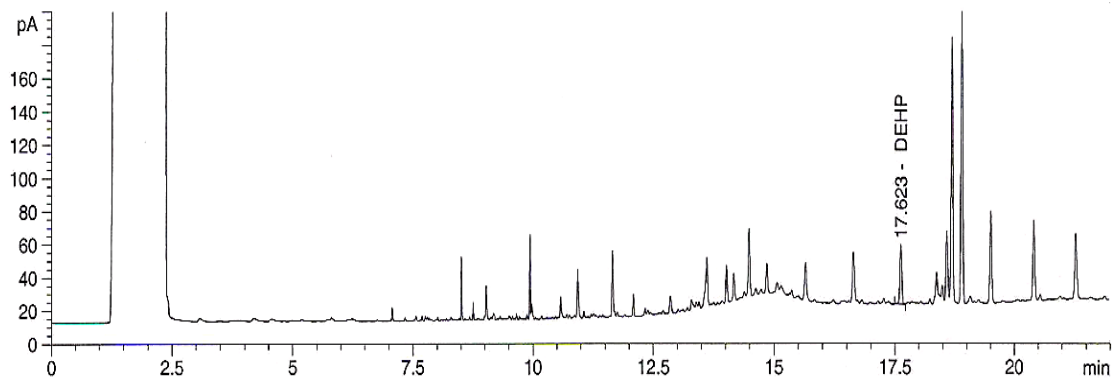
ภาพประกอบที่ 3-4 โครมาโทแกรมของ DEHP ที่สกัดจากเนื้อขวด PET



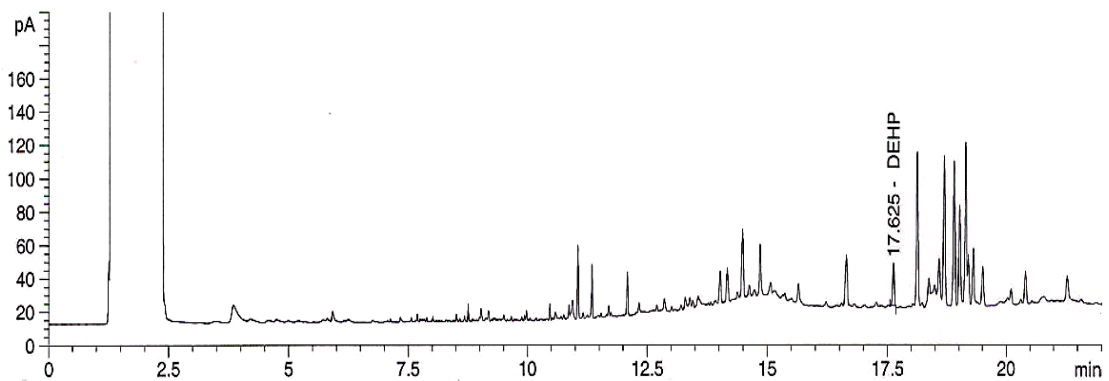
ภาพประกอบที่ 3-5 โครมาโทแกรมของ DEHP ที่สกัดจากเนื้อขวด HDPE



ภาพประกอบที่ 3-6 โครมาโทแกรมของ DEHP ที่สกัดจากเนื้อถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน (PP)



ภาพประกอบที่ 3-7 โครมาโทแกรมของ DEHP ที่สกัดจากเนื้อถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE)



ภาพประกอบที่ 3-8 โครมาโทแกรมของ DEHP ที่สกัดจากเนื้อถ้วยโพล (PS)

### 3.4 ผลการวิเคราะห์ DEHP ในตัวอย่างภาชนะพลาสติกที่สถานะต่างๆ

#### 3.4.1 การศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บตัวอย่างที่มีต่อการชะออกมาของ DEHP

ผลการศึกษาระยะเวลาการเก็บขวดตัวอย่างต่อการชะออกมาของ DEHP ในขวดน้ำดื่มพลาสติก โดยขวดตัวอย่างจะถูกเก็บไว้ในอาคารที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย  $26.13^{\circ}\text{C} \pm 1.28^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลานาน 6 เดือนและมีการเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนที่มีระดับพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ  $6.7 \pm 0.1$  จนเต็มขวดตัวอย่าง เพื่อชะ DEHP ออกจากเนื้อพลาสติกขวด PET และขวด HDPE ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-6

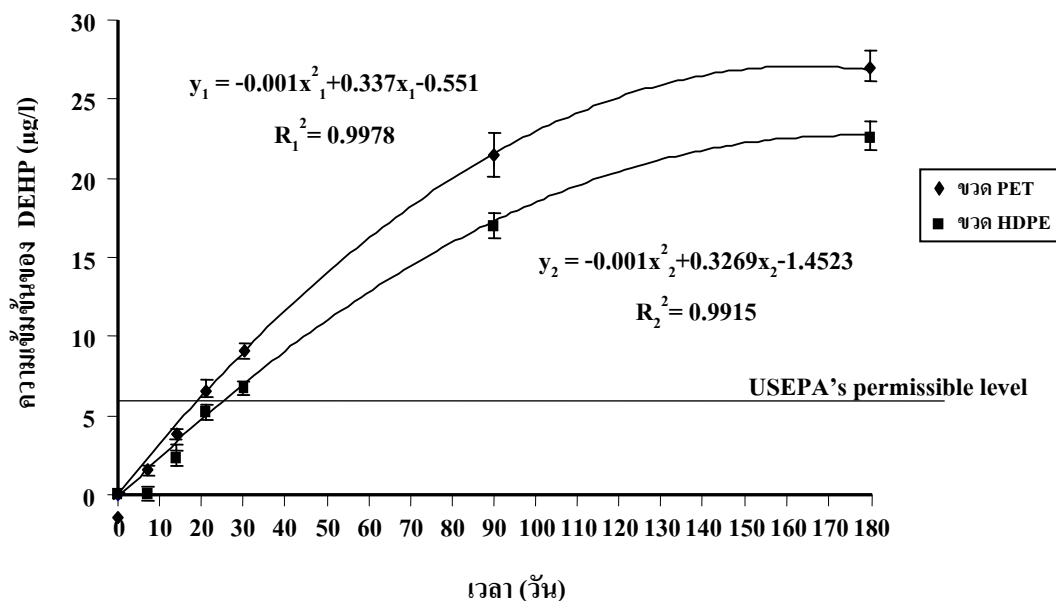
ตารางที่ 3-6 ความเข้มข้นเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET และขวด HDPE ที่อุณหภูมิห้อง

ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง	ขวด PET (µg/L)	ขวด HDPE (µg/L)
1 ชั่วโมง	nd	nd
7 วัน	1.45 <sup>a</sup> ±0.18	nd
14 วัน	3.14 <sup>b</sup> ±0.48	2.23 <sup>a</sup> ±0.39
21 วัน	6.54 <sup>c</sup> ±0.72	5.20 <sup>b</sup> ±0.43
30 วัน	8.22 <sup>d</sup> ±0.35	6.98 <sup>c</sup> ±0.28
90 วัน	21.78 <sup>e</sup> ±2.20	19.69 <sup>d</sup> ±0.81
180 วัน	26.95 <sup>f</sup> ±1.17	21.69 <sup>e</sup> ±0.86

หมายเหตุ nd = not detected

ตัวอักษรยกที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากตารางที่ 3-6 จะเห็นว่าเมื่อเริ่มต้นการทดลอง ตรวจไม่พบ DEHP ในตัวอย่างเลย และสามารถตรวจพบ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET เมื่อเก็บไว้นาน 7 วันขึ้นไป ส่วนในขวด HDPE เริ่มตรวจพบ DEHP เมื่อเก็บไว้นาน 14 วันขึ้นไป แสดงว่า DEHP ที่ตรวจพบนี้ ถูกชะออกมาจากขวดตัวอย่างไม่ได้ปนเปื้อนมาจากน้ำกลั่น และยังคงแสดงว่า DEHP ถูกชะออกมาจากขวด PET มากกว่าขวด HDPE ที่สำคัญคือความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP มีค่าสูงเกินกว่าเกณฑ์สูงสุดที่ EPA ยอมให้มีได้ในน้ำดื่ม (6 ไมโครกรัมต่อลิตร) (USEPA, 2002) เมื่อเก็บน้ำดื่มไว้เป็นเวลา 21 วันในขวด PET หรือเก็บน้ำดื่มไว้เป็นเวลา 30 วันขึ้นไปในขวด HDPE แต่ขวดน้ำดื่มพลาสติกที่มีขายอยู่ทั่วไปตามท้องตลาดนั้นส่วนใหญ่จะมีวันหมดอายุภายใน 1 ปี นับจากวันที่ผลิต ดังนั้นการเก็บน้ำดื่มไว้เป็นเวลานานจะยิ่งทำให้ DEHP ถูกชะออกมาจากขวดน้ำดื่มพลาสติกมากขึ้น ทำให้ค่าความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำมีมากขึ้นจนเกินค่ามาตรฐานในน้ำดื่ม และอาจจะทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของ DEHP และระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง ได้กราฟแสดงดังภาพประกอบที่ 3-9



ภาพประกอบที่ 3-9 ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวดพลาสติกกับระยะเวลาการเก็บไว้ในอาคารที่อุณหภูมิห้อง

จากผลการทดลองพบว่า DEHP ทั้งในขวด PET และขวด HDPE มีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงประมาณ 150 วัน (5 เดือน) โดยที่อัตราการเพิ่มขึ้นของ DEHP ในขวด PET มีมากกว่าในขวด HDPE สังเกตได้จากความชันของเส้นกราฟ (ขวด PET จะมีความชันของเส้นกราฟมากกว่าของขวด HDPE) แต่หลังจากเก็บตัวอย่างนานกว่า 150 วันขึ้นไป พบว่าระดับของ DEHP เริ่มมีค่าคงที่ สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ DEHP และระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง ในขวด PET เป็นแบบพหุนามที่มีดีกรีเท่ากับ 2 โดยมีสัมประสิทธิ์การทำนาย ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9978 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 มาก แสดงให้เห็นว่าชุดข้อมูลของขวด PET นี้มีความสอดคล้องกับสมการ ดังนั้นสมการที่ได้นี้จึงมีความน่าเชื่อถือ สมการที่ได้แสดงดังนี้

$$y_1 = -0.001x_1^2 + 0.337x_1 - 0.551$$

ส่วนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของ DEHP และระยะเวลาการเก็บตัวอย่างในขวด HDPE อยู่ในรูปของสมการพหุนามที่มีดีกรีเท่ากับ 2 เช่นกัน โดยรูปแบบสมการที่ได้มีสัมประสิทธิ์การทำนาย ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9915 ดังนี้

$$y_2 = -0.001x_2^2 + 0.3269x_2 - 1.4523$$

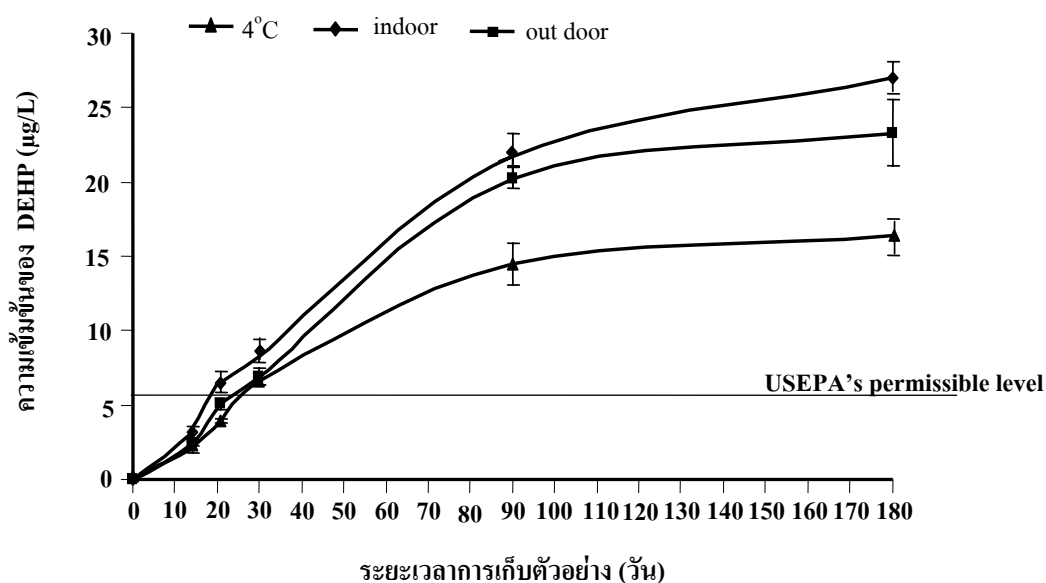
เมื่อ  $y$  คือ ค่าความเข้มข้นของ DEHP

$x$  คือ ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การทำนายของทั้ง 2 สมการพบว่า ชุดข้อมูลของขวด HDPE นี้มีความสอดคล้องกับสมการน้อยกว่าชุดข้อมูลของขวด PET ดังนั้น สมการแสดงความสัมพันธ์ของขวด PET มีความน่าเชื่อถือมากกว่าสมการแสดงความสัมพันธ์ของขวด HDPE

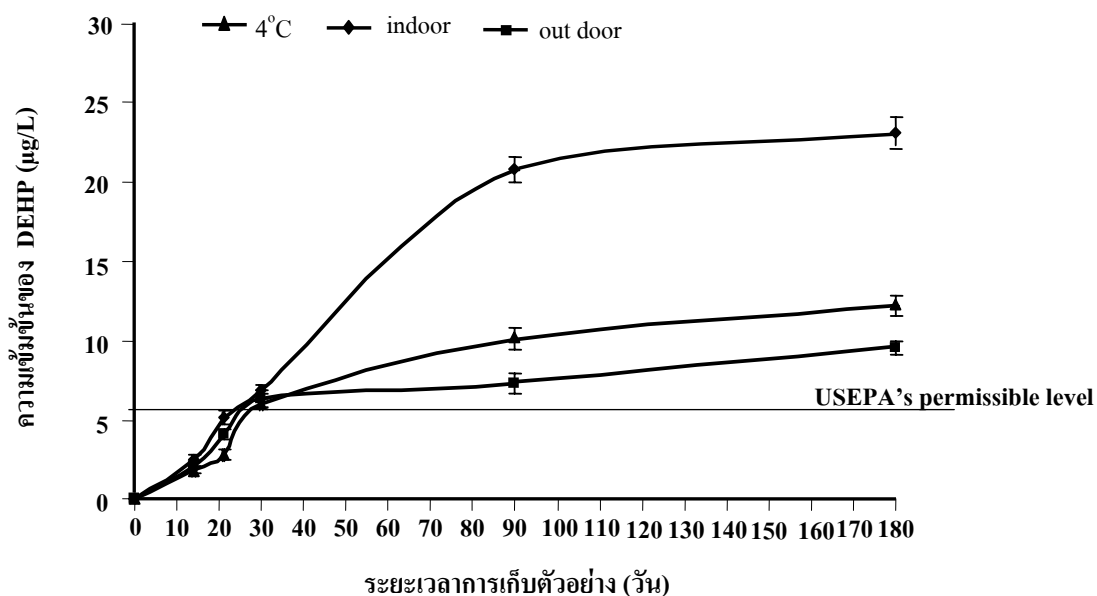
### 3.4.2 การศึกษาผลของการเก็บตัวอย่างไว้ที่สภาวะต่างๆ ต่อการชะออกมาของ DEHP

ผลการศึกษการเก็บขวดน้ำดื่มไว้ที่สภาวะต่างๆ ที่มีต่อการชะออกมาของ DEHP จากขวด PET และขวด HDPE สภาวะที่ทำการทดลองมีด้วยกัน 3 สภาวะ ได้แก่ สภาวะที่ 1 ตากแดดไว้กลางแจ้ง (อุณหภูมิเฉลี่ย  $29.17^{\circ}\text{C} \pm 1.77^{\circ}\text{C}$ ) สภาวะที่ 2 เก็บไว้ในอาคารที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิเฉลี่ย  $26.13^{\circ}\text{C} \pm 1.28^{\circ}\text{C}$ ) และสภาวะที่ 3 เก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  โดยทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมดเป็นเวลานาน 6 เดือน (กันยายน 2552 – มีนาคม 2553) ซึ่งผลการทดลองแสดงดัง ภาพประกอบที่ 3-10 และภาพประกอบที่ 3-11



ภาพประกอบที่ 3-10 ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET ที่เก็บไว้ที่สภาวะต่างๆ กัน

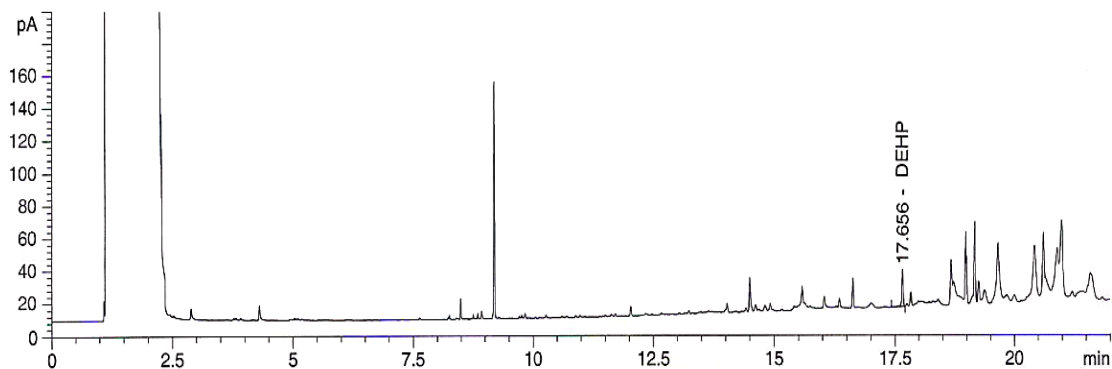
จากผลการศึกษาการเก็บขวด PET ใว้ที่สภาวะต่างๆ พบว่าที่ระยะเวลาเริ่มต้นถึง 30 วัน ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ของทั้ง 3 สภาวะมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่หลังจากนั้น ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP จะมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยพบว่า การเก็บตัวอย่างใว้ในอาคาร ตัวอย่างน้ำกลั่นจะมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP สูงสุด รองลงมาเป็นตัวอย่างไม่ตากแดดใว้ และตัวอย่างที่เก็บใว้ในตู้เย็น ตามลำดับ การที่ระดับ DEHP เริ่มมีค่าคงที่เมื่อเก็บตัวอย่างใว้กลางแจ้ง น่าจะเนื่องมาจาก DEHP สามารถเกิดการสลายตัวได้เมื่อสัมผัสรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Chen, 2010) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ ที่พบว่าในขวดน้ำดื่มพลาสติกที่เก็บใว้ในอาคารมีค่าความเข้มข้นของ DEHP สูงกว่าในขวดน้ำดื่มพลาสติกที่เก็บใว้ที่กลางแจ้ง (Leivadara, *et al.*, 2007) การเก็บตัวอย่างใว้ในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  ทำให้ DEHP ถูกชะออกมาได้น้อยกว่าการเก็บตัวอย่างใว้ในอาคารที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะเกิดขึ้นได้น้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง ตามหลักเทอร์โมไดนามิกส์ จะเห็นว่าค่าที่วิเคราะห์ได้นั้นส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าค่าการละลายน้ำของ DEHP (0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร) เพราะว่า DEHP สามารถเกิดเป็นคอลลอยด์ในน้ำได้ง่าย (European Commission, 2008) มีรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้หลายฉบับที่พบว่าค่าความเข้มข้นของ DEHP มีค่าสูงกว่าค่าการละลายน้ำที่ EU ระบุ (Prokupkova *et al.*, 2002; Biscardi *et al.*, 2003; Bosnir *et al.*, 2007; Prapatong *et al.*, 2010)



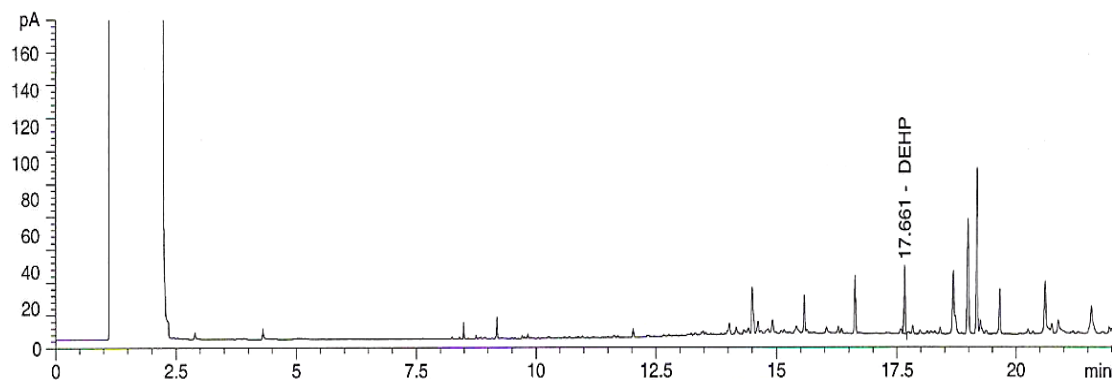
ภาพประกอบที่ 3-11 ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด HDPE ที่เก็บใว้ที่สภาวะต่างๆกัน

จากผลการศึกษาการเก็บขวด HDPE ไว้ที่สภาวะต่างๆ พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับ DEHP ในตัวอย่างน้ำกลั่นที่เก็บไว้ในอาคารจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วง 90 วันแรก และจะเริ่มมีค่าคงที่หลังจากนั้น ส่วนในตัวอย่างที่ตากแดดไว้กลางแจ้งและที่เก็บไว้ในตู้เย็นก็มีการเพิ่มขึ้นของระดับ DEHP ในช่วง 30 วันแรกเช่นกัน หลังจากนั้นระดับ DEHP ก็เริ่มที่จะมีค่าคงที่ ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ที่ถูกชะออกมาตั้งแต่ระยะเวลาเริ่มต้นถึง 30 วันระหว่างการเก็บตัวอย่างไว้กลางแจ้งกับการเก็บไว้ในตู้เย็นมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่หลังจากนั้นค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในตัวอย่างที่เก็บไว้กลางแจ้งมีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) พบว่าหลังจากเก็บตัวอย่างไว้เกิน 30 วันขึ้นไป ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในตัวอย่างน้ำกลั่นที่เก็บไว้ในอาคารมีค่าสูงกว่า ตัวอย่างที่เก็บไว้ในตู้เย็น และตัวอย่างที่ตากแดดไว้กลางแจ้งตามลำดับ ผลการทดลองนี้แตกต่างจากผลการทดลองในขวด PET ตรงที่ระดับของ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่ตากแดดกลางแจ้งมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างน้ำที่เก็บไว้ในตู้เย็น อาจเนื่องจากการที่เนื้อของขวด HDPE มีระดับของ DEHP ต่ำกว่าเนื้อของขวด PET และพลาสติกประเภท HDPE ส่วนใหญ่มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.95-0.97 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าในพลาสติกประเภท PET ที่มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.38-1.39 กรัมต่อตารางเซนติเมตร (Campanelli *et al.*, 1994) ดังนั้นจึงทำให้ DEHP ที่อยู่ในขวด HDPE ถูกชะออกมามากจนเกือบจะหมดแล้ว และ DEHP ที่ถูกชะออกมานั้นสลายตัวไปส่วนหนึ่งเมื่อสัมผัสกับแสงแดดเป็นเวลานาน

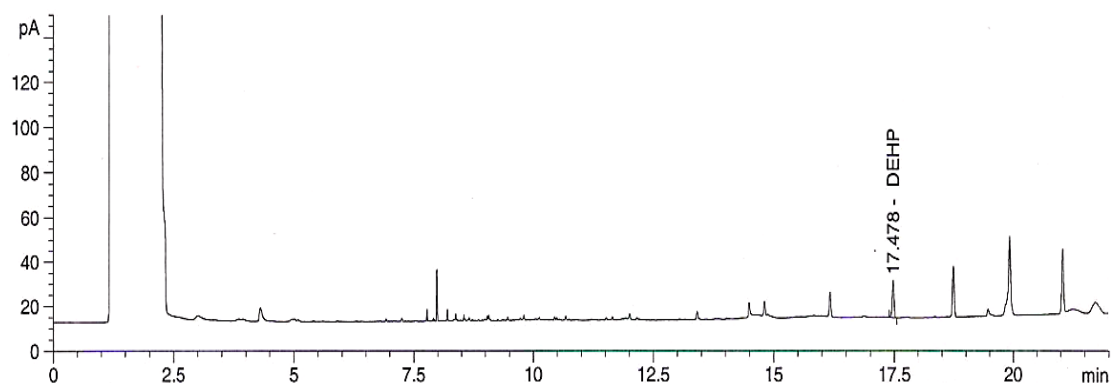
ผลจากการวิเคราะห์ DEHP ที่เก็บขวดตัวอย่างไว้ที่สภาวะต่างๆ พบว่ามี retention time เฉลี่ยเท่ากับ  $17.60 \pm 0.12$  นาที จากโครมาโทแกรมของตัวอย่างน้ำที่บรรจุทั้งในขวด PET และขวด HDPE ที่ตากแดดไว้กลางแจ้ง พบว่าในช่วงเวลาประมาณ 9-9.5 นาที จะสังเกตเห็นพีคสูงกว่าในโครมาโทแกรมของตัวอย่างน้ำที่เก็บไว้ที่สภาวะอื่น เนื่องมาจากแสงแดดและอุณหภูมิทำให้เกิดการแตกตัวของ DEHP กลายเป็นสารอนุพันธ์ (derivative) หรืออาจจะเป็นการสลายตัวของสารบางชนิดก็ได้ ส่วนในตัวอย่างน้ำที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ลักษณะโครมาโทแกรมจะมีพีคขึ้นมาไม่สูงและน้อยกว่า อาจจะเนื่องจากตัวอย่างน้ำที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องไม่สัมผัสแสงแดดโดยตรง การแตกตัวของสารจึงเกิดขึ้นได้น้อยกว่า ส่วนโครมาโทแกรมในตัวอย่างน้ำที่เก็บในตู้เย็นที่  $4^{\circ}\text{C}$  จะเห็นว่าพีคบริเวณน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับโครมาโทแกรมทั้ง 3 สภาวะ อาจจะเนื่องจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำและไม่สัมผัสแสงแดด จึงไม่เกิดการแตกตัวของสาร ซึ่งแสดงไว้ในภาพประกอบที่ 3-12 – ภาพประกอบที่ 3-17



ภาพประกอบที่ 3-12 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำกลั่นบรรจุในขวด PET ที่ตากแดดไว้กลางแจ้ง (outdoor)

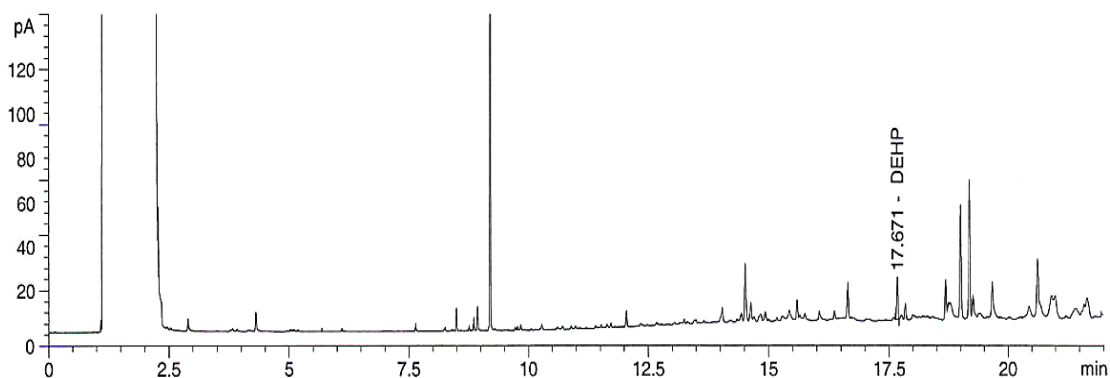


ภาพประกอบที่ 3-13 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำกลั่นบรรจุในขวด PET ที่เก็บไว้ในอาคารที่อุณหภูมิห้อง (indoor)

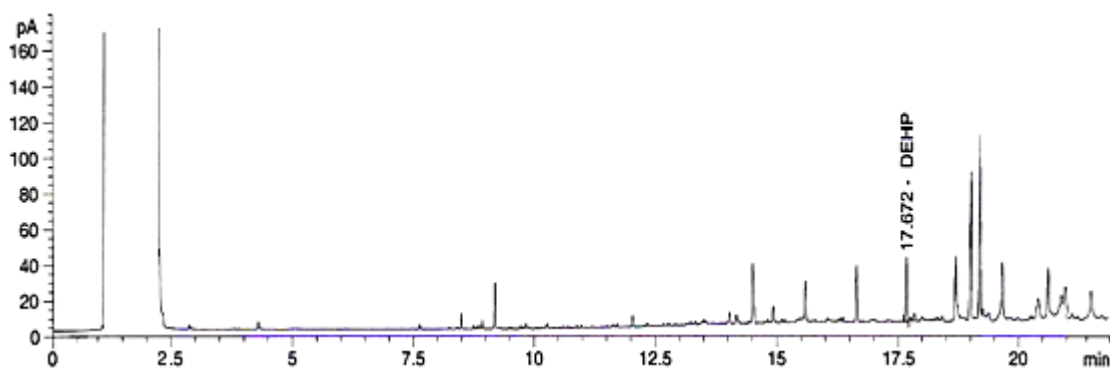


ภาพประกอบที่ 3-14 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำกลั่นบรรจุในขวด PET เก็บไว้ในตู้เย็นที่ 4°C

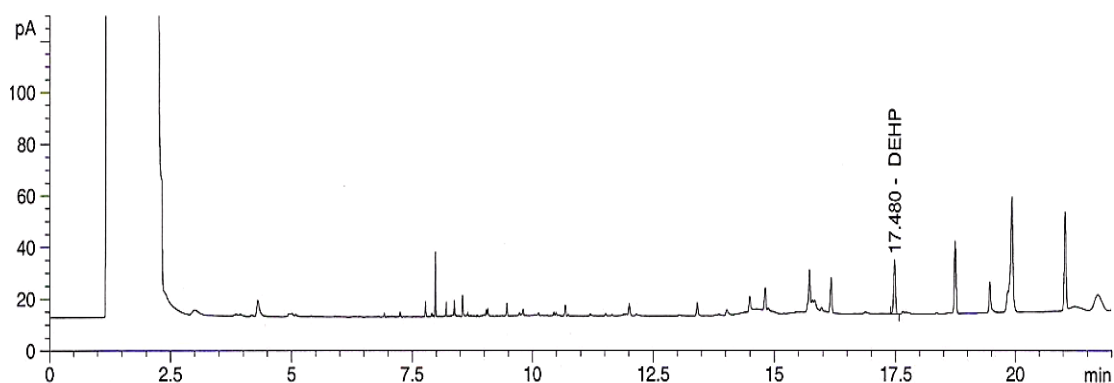




ภาพประกอบที่ 3-15 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำกลั่นบรรจุในขวด HDPE ที่ตากแดดไว้กลางแจ้ง (outdoor)



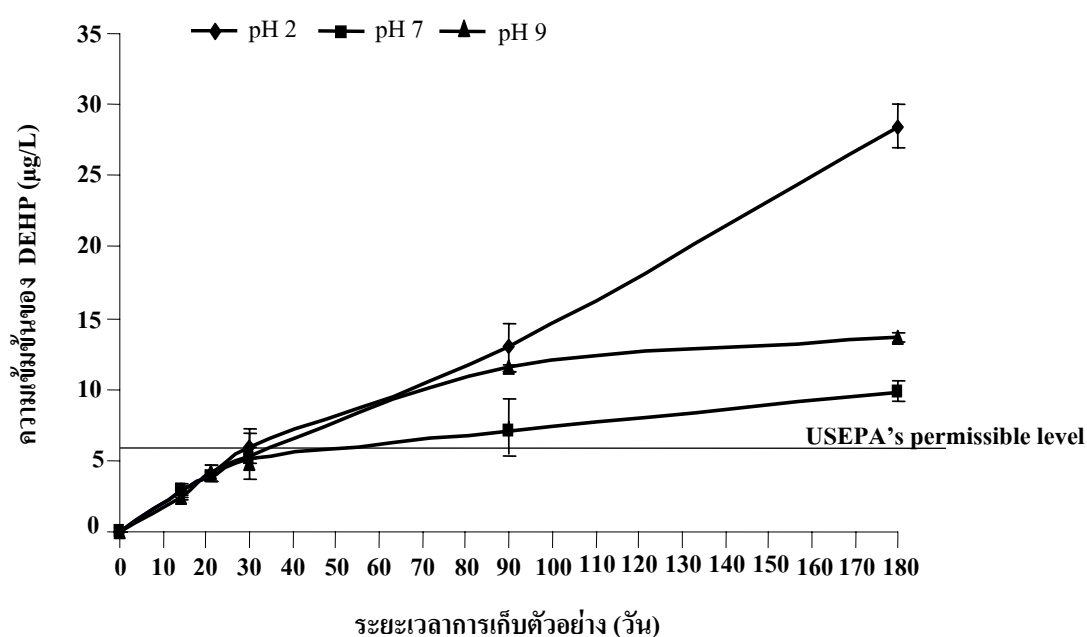
ภาพประกอบที่ 3-16 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำกลั่นบรรจุในขวด HDPE ที่เก็บไว้ในอาคารที่อุณหภูมิห้อง (indoor)



ภาพประกอบที่ 3-17 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำกลั่นบรรจุในขวด HDPE เก็บไว้ในตู้เย็นที่ 4°C

### 3.4.3 การศึกษาผลของระดับความเป็นกรด-ด่าง ที่มีต่อการชะออกมาของ DEHP

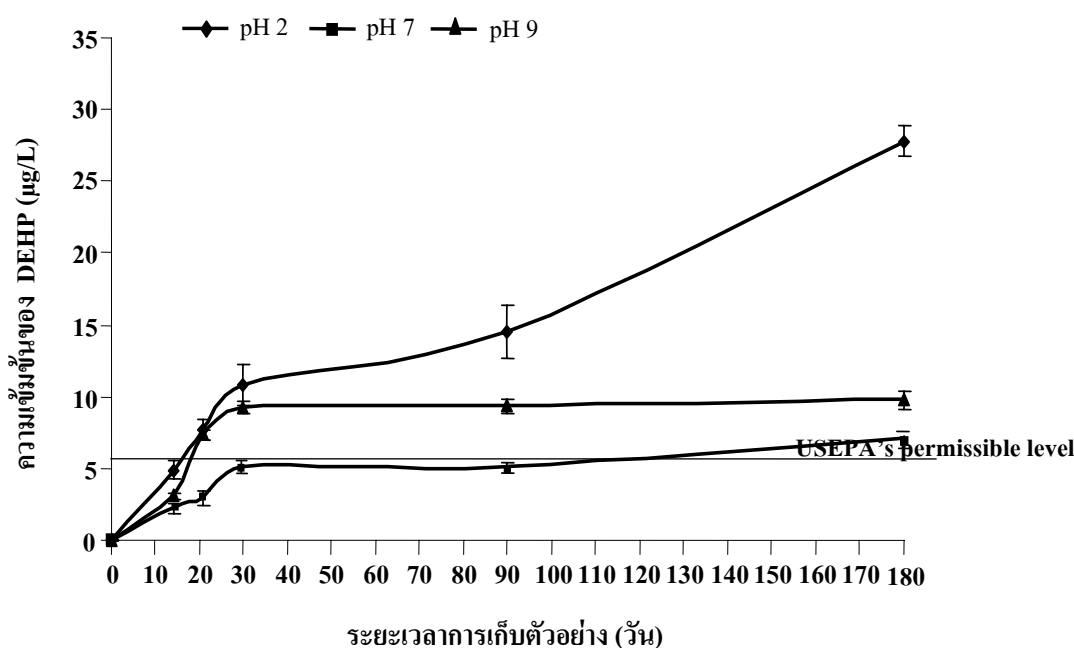
การทดลองนี้ศึกษาถึงผลของระดับความเป็นกรด-ด่าง ที่มีต่อการชะออกมาของ DEHP จากขวดน้ำดื่มพลาสติกทั้งขวด PET และขวด HDPE ระดับพีเอชที่ทำการศึกษา ได้แก่ พีเอชเท่ากับ 2 พีเอชเท่ากับ 7 และพีเอชเท่ากับ 9 ซึ่งขวดพลาสติกตัวอย่างจะเก็บไว้ในตู้มืด เพื่อป้องกันไม่ให้แสงแดดไปมีผลต่อการชะออกมาของ DEHP ทำการเก็บตัวอย่างไว้เป็นเวลานาน 6 เดือน ซึ่งผลการทดลองแสดงไว้ดังภาพประกอบที่ 3-18 และภาพประกอบที่ 3-19



ภาพประกอบที่ 3-18 ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

จากกราฟแสดงผลการทดลองการชะ DEHP ออกจากขวด PET ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ พบว่าระดับของ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 2 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองถึง 180 วัน จากการสังเกตพบว่าเมื่อเก็บตัวอย่างไว้เป็นเวลานานขวดพลาสติกจะเริ่มมีสีขุ่นขึ้น เนื่องจากในสภาวะความเป็นกรด สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่พันธะของพอลิเมอร์ในพลาสติก ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะ ดังนั้นจึงเกิดช่องว่างระหว่างโมเลกุลของพลาสติก DEHP จึงออกมาได้ง่ายขึ้น และอาจจะเนื่องจากที่สภาวะความเป็นกรดนั้น DEHP เกิดการไฮโดรไลซิสได้น้อยมาก (Thuren and Sodergren, 1987 อ้างอิงใน staples *et al.*, 1997) จึงทำให้ DEHP ที่ถูกชะออกมานั้นมีมากกว่าที่ถูกไฮโดรไลซ์ไป ส่วนตัวอย่างน้ำที่

มีพีเอชเท่ากับ 7 และพีเอชเท่ากับ 9 ระดับของ DEHP ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บตัวอย่างไว้นาน 90 วันขึ้นไป เนื่องจากที่สภาวะความเป็นด่าง DEHP สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ (Lertsirisopon *et al.*, 2008) ทำให้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บตัวอย่างไว้นานจนเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) คือมีส่วนที่ถูกชะออกมามีค่าใกล้เคียงกับส่วนที่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยค่า และพบว่าเมื่อเก็บตัวอย่างไว้นานกว่า 30 วันขึ้นไป ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่มีพีเอชเท่ากับ 2 และพีเอชเท่ากับ 9 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP สูงกว่าในตัวอย่างน้ำที่มีพีเอชเท่ากับ 7 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งตัวอย่างน้ำที่มีพีเอชเท่ากับ 2 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเก็บไว้ที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) ส่วนตัวอย่างน้ำที่มีพีเอชเท่ากับ 9 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ไม่แตกต่างกันหลังจากเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 90 วันขึ้นไป และในตัวอย่างน้ำที่มีพีเอชเท่ากับ 7 จะเห็นได้ว่าแม้จะถูกชะออกมาได้น้อยกว่าที่พีเอชอื่นๆ แต่ก็มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เพราะไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรดหรือด่าง



ภาพประกอบที่ 3-19 ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด HDPE ที่ระดับความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

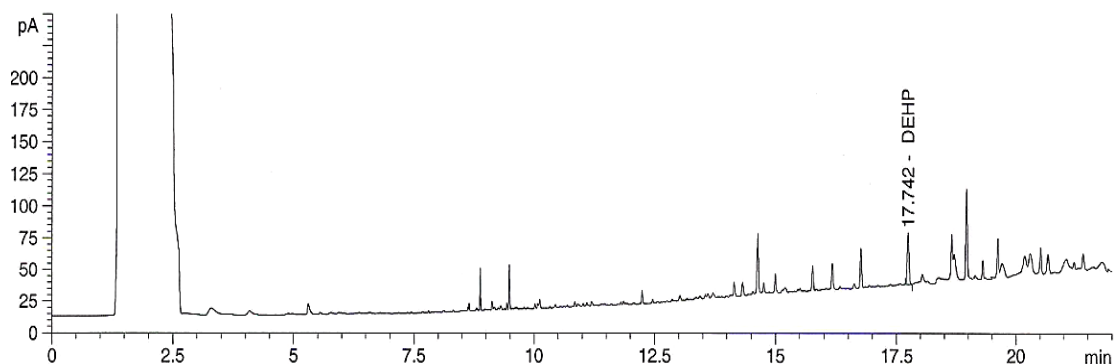
สำหรับขวด HDPE ระดับของ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่มีพีเอชเท่ากับ 2 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มทำการทดลองถึง 180 วัน ในตัวอย่างน้ำที่มีพีเอชเท่ากับ 7 ระดับของ

DEHP มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ส่วนตัวอย่างน้ำที่มีพีเอชเท่ากับ 9 ระดับของ DEHP จะเริ่มคงที่เมื่อเก็บตัวอย่างไว้นานกว่า 30 วันขึ้นไป ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่มีพีเอชเท่ากับ 2 มากกว่าในตัวอย่างน้ำที่มีพีเอชเท่ากับ 9 และพีเอชเท่ากับ 7 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ผลการทดลองในขวด HDPE สอดคล้องกับผลการทดลองในขวด PET ต่างกันตรงปริมาณของ DEHP ในขวด PET มีค่าสูงกว่าในขวด HDPE และตัวอย่างน้ำที่มีพีเอชเท่ากับ 9 ที่บรรจุในขวด HDPE จะเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) ก่อนขวด PET เนื่องจากระดับ DEHP ในขวด HDPE มีน้อยกว่าในขวด PET

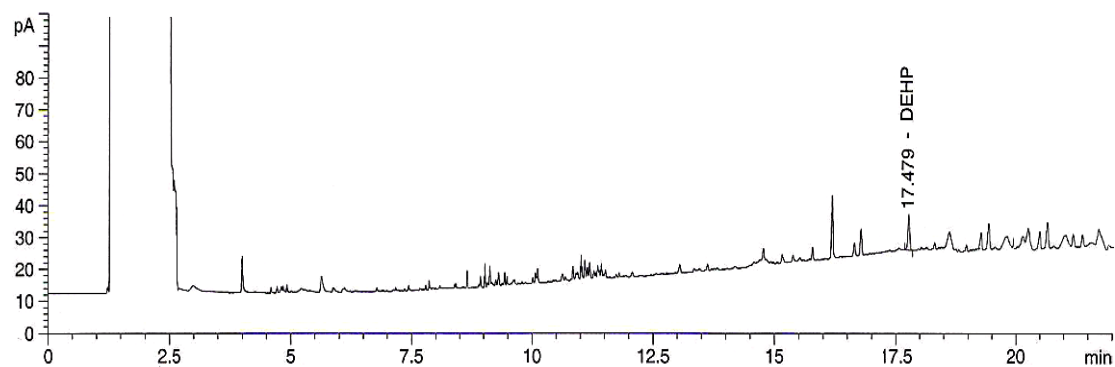
เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในน้ำกลั่นที่บรรจุในขวด PET กับที่บรรจุในขวด HDPE ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ พบว่าในตัวอย่างน้ำที่มีพีเอชเท่ากับ 2 เมื่อเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 14 วันถึง 30 วัน ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในขวด HDPE มีค่าสูงกว่าในขวด PET อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) การที่ DEHP ถูกชะออกมาได้มากกว่า อาจเป็นเพราะ HDPE มีความหนาแน่นน้อยกว่าจึงถูกชะออกมาได้ง่ายกว่า แต่เมื่อเก็บตัวอย่างไว้ตั้งแต่ 90 วันขึ้นไป พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในขวด PET และขวด HDPE มีค่าไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ส่วนในตัวอย่างน้ำที่มีพีเอชเท่ากับ 7 เมื่อเก็บตัวอย่างเป็นเวลานาน 14 วันถึง 30 วัน ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในขวด PET และขวด HDPE มีค่าไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) แต่เมื่อเก็บตัวอย่างนานกว่า 30 วันขึ้นไป ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในขวด PET มีค่าสูงกว่าในขวด HDPE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แสดงว่า DEHP ถูกชะออกมามากจากขวด PET ที่มี DEHP มากกว่าและมีความหนาแน่นมากกว่าขวด HDPE และที่พีเอชเท่ากับ 9 เมื่อเก็บตัวอย่างน้ำเป็นเวลา 21 วันถึง 30 วัน ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในขวด HDPE สูงกว่าในขวด PET อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่เมื่อเก็บตัวอย่างไว้นานกว่า 90 วันขึ้นไป ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในขวด PET มีค่าสูงกว่าในขวด HDPE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แสดงว่า DEHP ถูกชะออกมาได้ง่ายในขวด HDPE แต่เมื่อเกิน 90 วันขึ้นไป DEHP จะถูกชะออกมาได้น้อยลงมาก เนื่องจากปริมาณ DEHP ลดลงมากแล้ว

ผลจากการเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำกลั่นที่มีพีเอชเท่ากับ 7 และพีเอชเท่ากับ 9 เมื่อเก็บตัวอย่างเป็นเวลานานกว่า 90 วันขึ้นไป ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในขวด PET สูงกว่าในขวด HDPE ส่วนในตัวอย่างน้ำที่มีพีเอชเท่ากับ 2 เมื่อเก็บตัวอย่างไว้เป็นตั้งแต่ 90 วันขึ้นไป พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในขวด PET และในขวด HDPE มีค่าไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ที่วิเคราะห์ได้ในการศึกษาส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่มที่ EPA กำหนดไว้ ดังนั้นการนำขวดพลาสติกทั้ง 2 ประเภท มาใส่อาหารหรือเครื่องดื่มที่มีระดับ

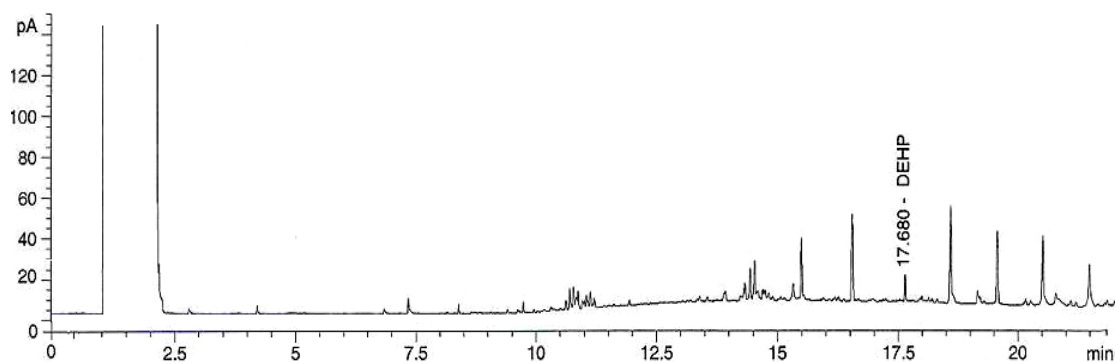
ความเป็นกรด-ด่างสูง จะทำให้ DEHP ถูกชะออกมาปนเปื้อนในอาหารและเครื่องดื่มได้มาก จากผลการวิเคราะห์ DEHP ของชุดการทดลองนี้พบว่ามี retention time เฉลี่ยเท่ากับ  $17.63 \pm 0.12$  นาที จากโครมาโทแกรมทั้งในขวด PET และขวด HDPE จะให้ผลสอดคล้องกันคือ โครมาโทแกรมของตัวอย่างน้ำที่ระดับพีเอชเท่ากับ 2 และตัวอย่างน้ำที่ระดับพีเอชเท่ากับ 9 จะเห็นว่ามีพีคอื่นขึ้นมาและเริ่มสูงขึ้นในช่วงหลัง อาจเนื่องมาจากที่สภาวะความเป็นกรดและด่างนั้น สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดเป็นสารอื่นได้ สำหรับตัวอย่างน้ำที่ระดับพีเอชเท่ากับ 7 จะสังเกตเห็นว่าโครมาโทแกรมจะมีพีคอื่นขึ้นน้อยและไม่สูง เนื่องจากที่สภาวะความเป็นกลางนั้นไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งโครมาโทแกรมทั้งหมดแสดงไว้ในภาพประกอบที่ 3-20- ภาพประกอบที่ 3-25



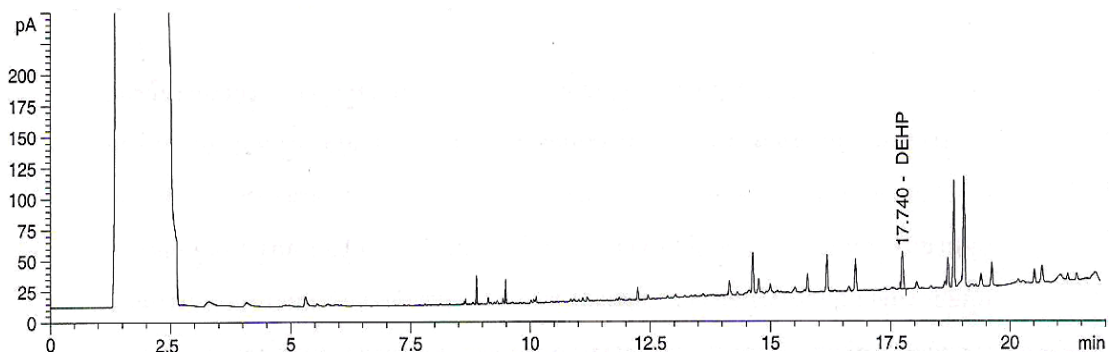
ภาพประกอบที่ 3-20 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 2 บรรจุนในขวด PET



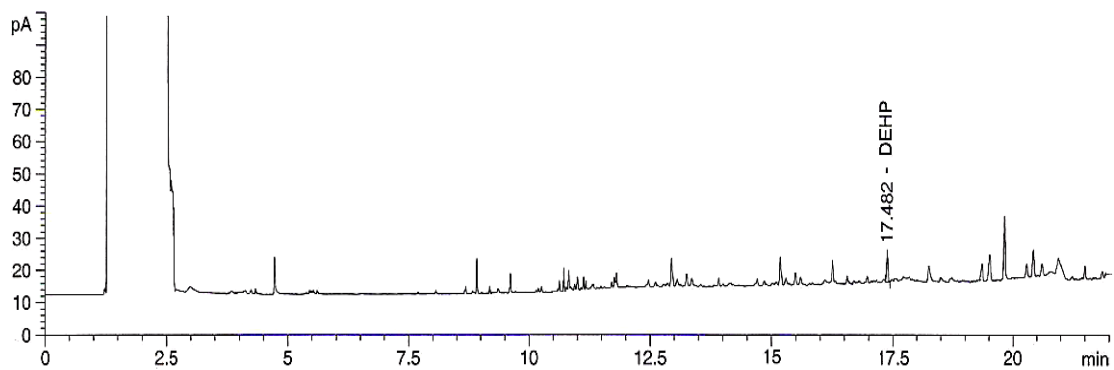
ภาพประกอบที่ 3-21 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 7 บรรจุนในขวด PET



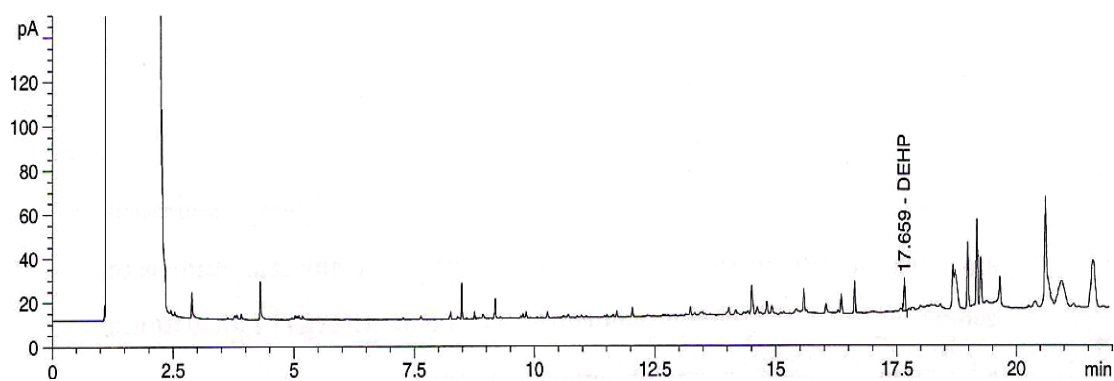
ภาพประกอบที่ 3-22 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 9 บรรจุนในขวด PET



ภาพประกอบที่ 3-23 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 2 บรรจุในขวด HDPE



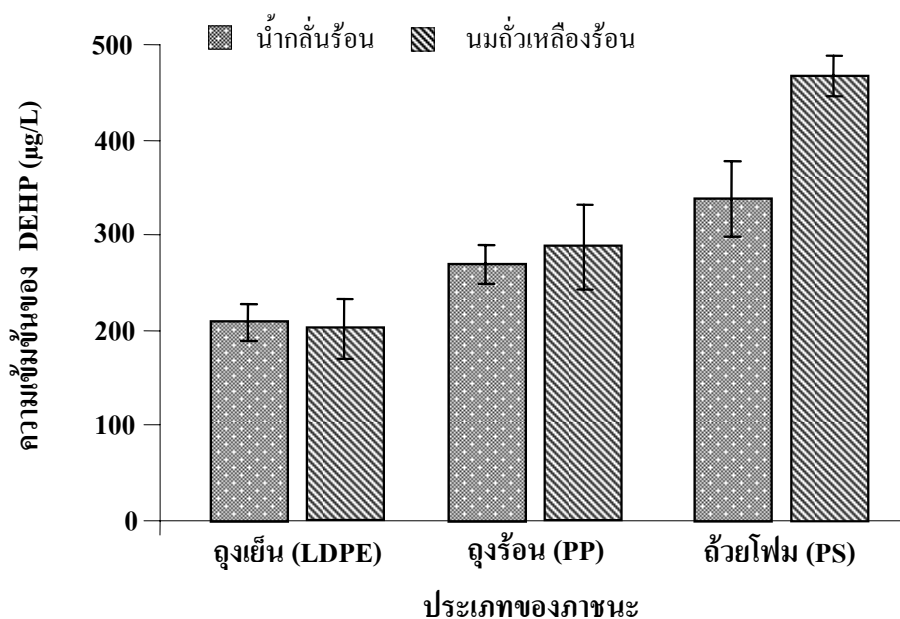
ภาพประกอบที่ 3-24 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 7 บรรจุในขวด HDPE



ภาพประกอบที่ 3-25 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 9 บรรจุในขวด HDPE

### 3.5 การศึกษาความเข้มข้นของ DEHP ในตัวอย่างน้ำร้อนและนมถั่วเหลืองร้อนที่บรรจุในภาชนะบรรจุอาหาร

นอกจากพลาสติกจะถูกนำมาใช้ในการผลิตขวดบรรจุอาหารหรือน้ำดื่มแล้ว ยังมีการนำพลาสติกมาผลิตเป็นภาชนะบรรจุอาหารหรือเครื่องดื่มได้อีกหลายประเภท ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการสำรวจร้านอาหารจำนวน 10 ร้านในศูนย์อาหารแห่งหนึ่ง พบว่าภาชนะบรรจุอาหารที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ ถูพลาสติกชนิดถูร้อน (polypropylene, PP) ถูพลาสติกชนิดถูเย็น (low density polyethylene, LDPE) และถ้วยโฟม (polystyrene, PS) ซึ่งอาหารร้อนหรือเครื่องดื่มร้อนที่บรรจุในภาชนะประเภทต่างๆ นั้นมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 90°C ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกทำการศึกษาความสามารถในการชะออกมาของ DEHP ในภาชนะบรรจุอาหารทั้ง 3 ประเภทนี้ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ชุดที่ 1 ใช้น้ำก้นร้อนอุณหภูมิ 90°C ชะ DEHP ออกจากภาชนะประเภทต่างๆ และชุดที่ 2 ใช้นมถั่วเหลืองร้อนอุณหภูมิ 90°C ชะ DEHP ออกจากภาชนะประเภทต่างๆ เช่นเดียวกัน ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 3-26



ภาพประกอบที่ 3-26 ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำก้นร้อนและนมถั่วเหลืองร้อนที่ถูกชะออกมาจากภาชนะประเภทต่างๆ



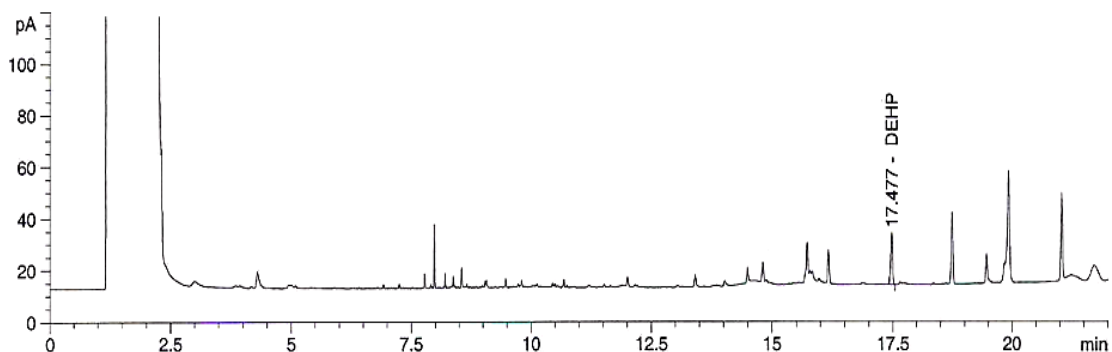
จากภาพประกอบที่ 3-26 การใช้ น้ำกลั่นร้อน ในการชะ DEHP ออกมาจากภาชนะประเภทต่างๆ พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในน้ำกลั่นร้อนที่ถูกชะออกมาจากถ้วยโฟม (PS) ถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน (PP) และถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE) เท่ากับ  $340 \pm 40$  ไมโครกรัมต่อลิตร  $270 \pm 20$  ไมโครกรัมต่อลิตร และ  $210 \pm 20$  ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยพบว่า น้ำกลั่นร้อนที่ถูกชะจากถ้วยโฟม (PS) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP สูงกว่าที่ชะออกมาจากถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน (PP) และถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) อาจจะเนื่องมาจากวิธีการผลิตโฟมนั้นจะมีการอัดอากาศเข้าไปทำให้โฟมซึ่งประกอบด้วย PS ประมาณ 2-5 % เท่านั้น ที่เหลือเป็นอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่าง ดังนั้นจึงทำให้โครงสร้างโมเลกุลของถ้วยโฟมนั้นมีการจับตัวกันอยู่อย่างหลวมๆ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550) DEHP จึงสามารถถูกชะออกมาได้ง่ายกว่า ส่วนในน้ำกลั่นร้อนที่ถูกชะออกมาจากถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน (PP) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP สูงกว่าที่ชะออกมาจากถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE) เนื่องจากระดับ DEHP ที่ตรวจพบในเนื้อของถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน (PP) มีสูงกว่าในเนื้อของถุงเย็น (LDPE)

ส่วนการใช้นมถ้วเหลืองร้อนในการชะ DEHP ออกมาจากภาชนะประเภทต่างๆ พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในนมถ้วเหลืองที่ถูกชะออกมาจากถ้วยโฟม (PS) ถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน (PP) และถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE) เท่ากับ  $440 \pm 20$  ไมโครกรัมต่อลิตร  $280 \pm 50$  ไมโครกรัมต่อลิตร และ  $190 \pm 30$  ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยที่พบว่านมถ้วเหลืองร้อนที่ชะออกมาจากถ้วยโฟม (PS) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP สูงที่สุด รองลงมาเป็นนมถ้วเหลืองร้อนที่ชะออกมาจากถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน (PP) และถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE) ตามลำดับ

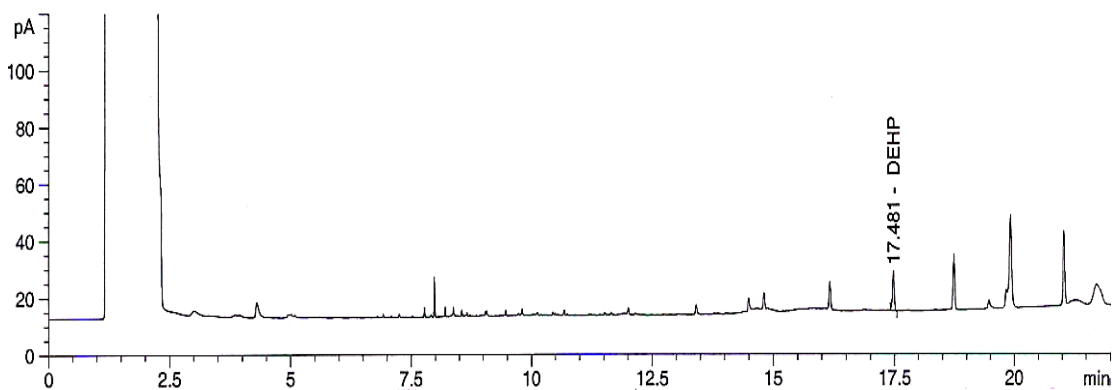
เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองพบว่าทั้งน้ำกลั่นร้อนและนมถ้วเหลืองร้อนที่ใช้ชะ DEHP ออกมาจากถ้วยโฟม (PS) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP สูงกว่าน้ำกลั่นร้อนและนมถ้วเหลืองร้อนที่ชะออกมาจากถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน (PP) และถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้นมถ้วเหลืองร้อนที่ชะออกมาจากถ้วยโฟมมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP สูงกว่าน้ำกลั่นร้อนที่ชะออกมาจากถ้วยโฟม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากในนมถ้วเหลืองที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นมีปริมาณไขมันอยู่ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง DEHP นั้นเป็นสารที่มีความเป็นขั้วน้อย (nonpolar) ละลายได้ดีในไขมัน ทำให้นมถ้วเหลืองสามารถชะ DEHP ได้ดีกว่าน้ำกลั่น แต่ในตัวอย่างถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน (PP) และถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE) พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในน้ำกลั่นและนมถ้วเหลืองกลับมีค่าไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) อาจจะเนื่องจากพลาสติกทั้ง 2 ประเภทมีความหนาแน่นสูงกว่าในถ้วยโฟม และลักษณะโครงสร้างของพลาสติกเป็นแบบกึ่ง จึงทำให้ DEHP ชะออกมาได้ยากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่า

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในน้ำกลั่นและนมถั่วเหลืองที่บรรจุในภาชนะบรรจุอาหารทั้ง 3 ประเภท มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ EPA ที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่ม ( $6 \mu\text{g/L}$ ) (USEPA, 2002)

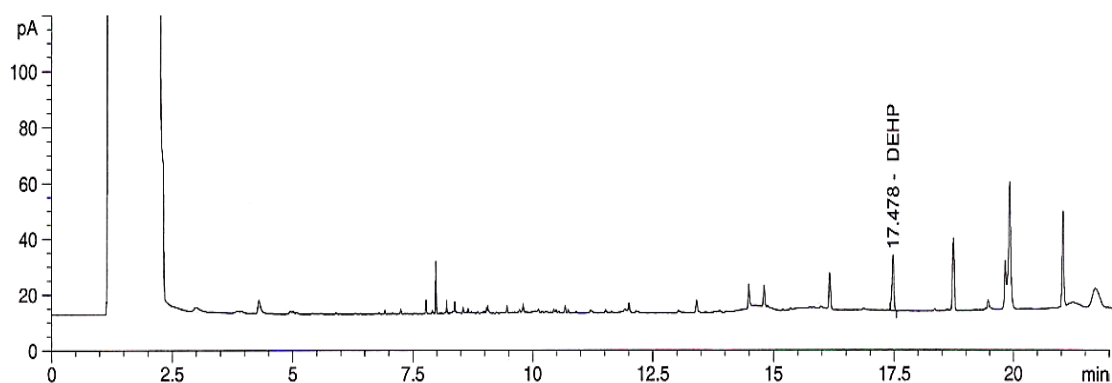
ดังนั้นการนำภาชนะบรรจุอาหารทั้ง 3 ประเภทมาใส่อาหารที่ร้อนและโดยเฉพาะอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีปริมาณไขมันสูง ทำให้ DEHP มีโอกาสปนเปื้อนลงไปในอาหารหรือเครื่องดื่ม และส่งผลกระทบต่อสุขภาพและความปลอดภัยของผู้บริโภคได้ จากโครมาโทแกรมของ DEHP ในชุดการทดลองใช้น้ำกลั่นร้อนและนมถั่วเหลืองร้อนพบว่า retention time เฉลี่ยเท่ากับ  $17.59 \pm 0.01$  นาที โครมาโทแกรมของตัวอย่างน้ำกลั่นที่ถูกชะออกมาจากทั้ง 3 ภาชนะมีลักษณะที่คล้ายกัน และจะเห็นว่าพีคอื่นๆ ขึ้นมาไม่เยอะ ส่วนโครมาโทแกรมของตัวอย่างนมถั่วเหลืองของทั้ง 3 ภาชนะก็มีลักษณะที่คล้ายกันเช่นกัน แต่จะเห็นว่าพีคอื่นๆ ขึ้นมาสูงและถี่กว่าในน้ำกลั่นมาก เนื่องจากในนมถั่วเหลืองนั้นมีองค์ประกอบหลายอย่างผสมอยู่ ซึ่งโครมาโทแกรมแสดงดังภาพประกอบที่ 3-27 – ภาพประกอบที่ 3-32



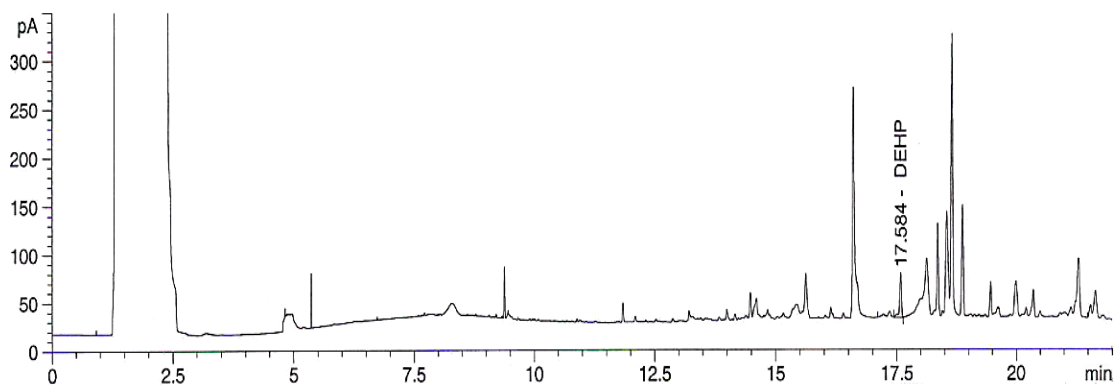
ภาพประกอบที่ 3-27 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำกลั่นร้อนที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด  
ถุงร้อน (PP)



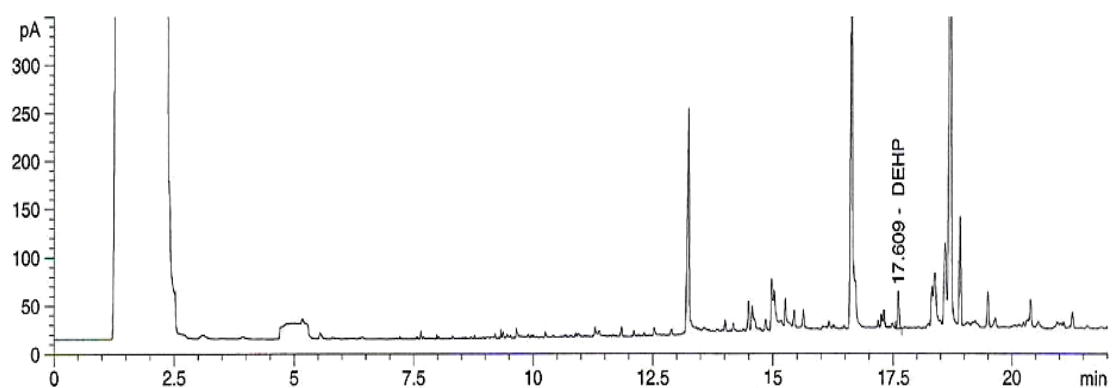
ภาพประกอบที่ 3-28 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำกลั่นร้อนที่บรรจุในถุงพลาสติก  
ชนิดถุงเย็น (LDPE)



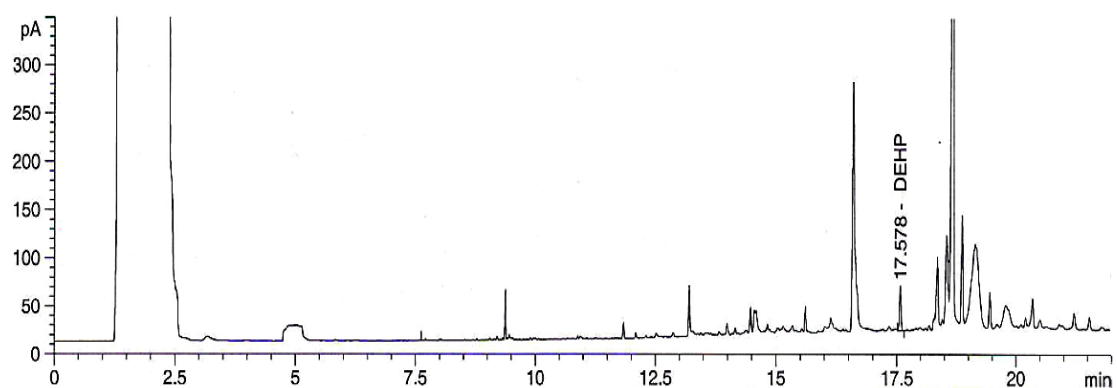
ภาพประกอบที่ 3-29 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างน้ำกลั่นร้อนที่บรรจุในถ้วยโฟม



ภาพประกอบที่ 3-30 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างนมถั่วเหลืองร้อนที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิดถั่วร้อน (PP)



ภาพประกอบที่ 3-31 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างนมถั่วเหลืองร้อนที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิดถั่วเย็น (LDPE)



ภาพประกอบที่ 3-32 โครมาโทแกรมของ DEHP ในตัวอย่างนมถั่วเหลืองร้อนที่บรรจุในถ้วยโฟม

## บทที่ 4

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 4.1 สรุปผลการวิจัย

4.1.1 กราฟมาตรฐานของ DEHP ที่ช่วงความเข้มข้น 1-50 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) เท่ากับ 0.9989 และมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9979 แสดงว่ากราฟมาตรฐานมีช่วงความเป็นเส้นตรงที่ยอมรับได้และสมการของกราฟมาตรฐานนั้นมีความแม่นยำในการทำนายในช่วงความเข้มข้นดังกล่าว ส่วนกราฟมาตรฐานของ DEHP ที่ช่วงความเข้มข้น 0.1-50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) เท่ากับ 0.9988 และมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9977 ดังนั้นกราฟมาตรฐานมีช่วงความเป็นเส้นตรงที่ยอมรับได้และสมการของกราฟมาตรฐานนั้นมีความแม่นยำในการทำนายในช่วงความเข้มข้น 0.1-50 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.1.2 เปอร์เซนต์การคืนกลับในตัวอย่างเนื้อพลาสติก น้ำกลั่น และนมถั่วเหลือง มีค่า 80 เปอร์เซนต์ขึ้นไป ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์มีค่าไม่เกิน 10 เปอร์เซนต์ ในทุกตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงถือว่าวิธีวิเคราะห์นี้มีความเที่ยงเพียงพอในการวิเคราะห์ และพบว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ (method detection limit, MDL) ในตัวอย่างน้ำเท่ากับ 0.306 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนในตัวอย่างนมถั่วเหลืองพบว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้เท่ากับ 12 ไมโครกรัมต่อลิตร

4.1.3 เนื้อของขวดน้ำดื่มพลาสติก PET มีระดับของ DEHP มากที่สุด รองลงมาเป็นเนื้อของขวดน้ำดื่มพลาสติก HDPE ถูงพลาสติกชนิดถูร้อน (PP) ถูงพลาสติกชนิดถูเย็น (LDPE) และถ้วยโฟม (PS) ตามลำดับ (PET > HDPE > PP > LDPE > PS)

4.1.4 การเก็บน้ำดื่มไว้ในอาคารที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย  $26.13^{\circ}\text{C} \pm 1.28^{\circ}\text{C}$  เป็นระยะเวลา 21 วันขึ้นไปในขวดน้ำดื่มพลาสติกแบบใส (ขวด PET) และ 30 วันขึ้นไปในขวดน้ำดื่มพลาสติกแบบขาวขุ่น (ขวด HDPE) จะทำให้น้ำในขวดพลาสติกมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP สูงกว่าเกณฑ์ที่ USEPA กำหนดให้มีได้ในน้ำดื่ม 6 ไมโครกรัมต่อลิตร และยังเก็บตัวอย่างไว้เป็นเวลานาน จะยิ่งทำให้ DEHP ถูกชะออกมามากขึ้นเรื่อยๆ

4.1.5 ในขวด PET ที่เก็บไว้ในอาคาร (อุณหภูมิ  $26.13^{\circ}\text{C} \pm 1.28^{\circ}\text{C}$ ) DEHP จะถูกชะออกมามากที่สุด รองลงมาเป็นการเก็บไว้ในสภาวะที่ถูกตากแดด (อุณหภูมิ  $29.17^{\circ}\text{C} \pm 1.77^{\circ}\text{C}$ ) และการแช่เย็นที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ส่วนในขวด HDPE หลังจาก 30 วันขึ้นไป DEHP จะถูกชะ

ออกมามากที่สุดเมื่อเก็บไว้ในอาคาร รองลงมาเป็นการเก็บไว้ในตู้เย็นและการเก็บไว้ในสถานะที่ถูกตากแดดกลางแจ้ง ตามลำดับ

4.1.6 ในสถานะที่เป็นกรดแก่ (พีเอชเท่ากับ 2) จะมีผลต่อการชะออกมาของ DEHP มากกว่าในสถานะที่เป็นค่าอ่อนๆ (พีเอชเท่ากับ 9) และความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในสถานะที่เป็นกรดแก่ (พีเอชเท่ากับ 2) และสถานะเป็นกลาง (พีเอชเท่ากับ 7) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บไว้ในขวดน้ำดื่มพลาสติกนานขึ้น ส่วนในสถานะที่ระดับพีเอชเท่ากับ 9 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในขวด HDPE และขวด PET มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงอีกหลังจากเก็บไว้นาน 1 เดือนและ 3 เดือนขึ้นไป ตามลำดับ

4.1.7 เมื่อบรรจุน้ำกลั่นร้อนและนมถั่วเหลืองร้อนในภาชนะพลาสติกบรรจุอาหารชนิดต่างๆ DEHP ถูกชะออกมาจากถ้วยโฟมมากที่สุด รองลงมาเป็นถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน และถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น ตามลำดับ ส่วนในนมถั่วเหลืองร้อนที่ชะออกมาจากถ้วยโฟมมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP สูงกว่าในน้ำกลั่นร้อนที่ชะออกมาจากถ้วยโฟม ความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ที่ถูกชะออกมาในน้ำกลั่นร้อนและนมถั่วเหลืองร้อนมีค่าสูงเกินเกณฑ์ที่ USEPA กำหนดให้มิได้ในน้ำดื่ม (6 ไมโครกรัมต่อลิตร)

## 4.2 ข้อเสนอแนะ

### 4.2.1 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

4.2.1.1 ควรใช้ internal standard แทน external standard ในการวิเคราะห์ด้วย GC และควรใช้ GC-MS ในการวิเคราะห์เพื่อยืนยันว่าเป็นสารประกอบ DEHP จริง

4.2.1.2 ควรมีการศึกษาการชะออกมาของ DEHP ในภาชนะพลาสติกประเภทอื่นๆ เช่น ถังมือพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร หรือในวัสดุทางการแพทย์ เช่น ถังใส่เลือด ขวดพลาสติกที่ใช้บรรจุยา น้ำ เป็นต้น

### 4.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ผู้บริโภคและผู้จำหน่าย

4.2.2.1 ควรหลีกเลี่ยงการบริโภคน้ำดื่มที่บรรจุในขวดพลาสติกและควรหันมาบริโภคน้ำดื่มที่บรรจุในขวดแก้วแทน

4.2.2.2 ผู้บริโภคไม่ควรบริโภคน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกที่มีการเก็บไว้นานเกิน 1 เดือน และควรเก็บขวดน้ำดื่มไว้ในตู้เย็น

4.2.2.3 ควรมีข้อกำหนดระดับของ DEHP ในบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ใช้สำหรับบรรจุอาหารและยา โดยเฉพาะขวดบรรจุน้ำมันปรุงอาหาร ขวดบรรจุน้ำส้มสายชู ขวดพลาสติกที่บรรจุยาลดกรดในกระเพาะอาหาร เป็นต้น

4.2.2.4 ไม่ควรนำอาหารหรือเครื่องดื่มน้ำที่มีอุณหภูมิร้อนมากมาใส่ลงใน  
ถุงพลาสติกหรือถ้วยโฟม

4.2.2.5 รณรงค์ให้ประชาชนใช้บรรจุภัณฑ์จากธรรมชาติ เช่น ใบตอง  
โฟมที่ทำมาจากกาบหมาก หรือพลาสติกที่ย่อยสลายได้ เช่น พลาสติกที่ทำจากมันสำปะหลัง ชาน  
อ้อย ข้าวโพด เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2544. เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (MSDS): phthalate. (ออนไลน์)  
ค้นหาได้จาก <http://msds.pcd.go.th/abc.asp?vName=P> (12 พฤษภาคม 2552)
- จิราการ โกศัยเสวี, ศิริพันธ์ สุขมาก, พนิดา ไชยยันต์บรรณ, จินตนา ภู่มงกุฏชัย และประชาติปัดย์  
พงษ์ภิญโญ. 2549. รายงานผลวิจัยเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพและพัฒนาการตรวจ  
วิเคราะห์สารพิษตกค้างในห้องปฏิบัติการ. กรมวิชาการเกษตร
- เจริญ นาคะสรรค์. 2547. กระบวนการแปรรูปพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ โฟร์  
เพชร.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2536. มอก. 1136-2536 พลาสติกหุ้มห่ออาหาร. ประกาศ  
กระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1868.
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC). 2550. เทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อ  
การพัฒนาที่ยั่งยืน.(ออนไลน์) ค้นหาได้จาก [http://www2.mtec.or.th/special/  
biodegradable\\_plastic/type\\_and\\_usage\\_plas.html](http://www2.mtec.or.th/special/biodegradable_plastic/type_and_usage_plas.html). (25 กรกฎาคม 2552).
- สุภาณี หิรัญธนกิจจกุล. 2538. พลาสติกไซเซออร์. ความรู้เกี่ยวกับสิ่งเป็นพิษ ตอนที่ 10. กลุ่มงาน  
พิษวิทยาและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข  
กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.
- สุภาพ ธาราศักดิ์. 2540. การศึกษาปฏิกิริยาเคมีการย่อยสลายพอลิเอธิลีน เทเรพทาเลต. วิทยานิพนธ์  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
ธนบุรี.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2002. Toxicological profile for di(2-  
ethylhexyl) phthalate (DEHP). Final Report, ATDSR/TP-9. Public Health  
Service, US Department of Health and Human Services, Atlanta.
- Aignasse, M.F., Prognon, P., Stachowicz, M., Gheyouché R. and Pradeau D. 1995. A new simple  
and rapid HPLC method for determination of DEHP in PVC packaging and  
releasing studies. **International Journal of Pharmaceutics** 113: 241-146.
- APHA AWWA and WEF. 2005. **Standard Methods for the Examination of Water and  
Wastewater**. 21<sup>th</sup> edition, Washington DC: American Public Health Association.



- Balafas, D., Shaw, K.J. and Whitfield, F.B. 1999. Phthalate and adipate esters in Australian packaging materials. **Food Chemistry** 65: 279-287.
- Biscardi, D., Monarca, S. and Fuscoc, R.D. 2003. Evaluation of the migration of mutagens/carcinogens from PET bottles into mineral water by Tradescantia/micronuclei test, Comet assay on leukocytes and GC/MS. **The Science of the Total Environment** 302: 101–108.
- 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 Technol. Biotechnol** 45(1): 91-95.
- Campanelli, J.R., Cooper, G. and Kamel, M.R., 1994. Catalysed-hydrolytic of poly(ethylene terephthalate) melts. **Journal of Applied Polymer Science** 53: 985-991.
- Cao, X.-L. 2008. Determination of phthalates and adipates in bottle water by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography/mass spectrometry. **Journal of Chromatography A** 1178: 231–238.
- 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** 111: 771–777.
- Casajuan, N. and Lacorte, S. 2003. Presence and release of phthalic esters and other endocrine disrupting compounds in drinking water. **Chromatographia** 57: 649-655.
- Chen, C.Y. 2010. The oxidation of di-(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) in aqueous solution by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> photolysis. **Water Air Soil Pollut** 209: 411-417.
- CSTEE. 1998. Opinion on phthalate migration from soft PVC toys and child-care articles. Opinion expressed at the 6th CSTEE plenary meeting. Brussels.
- CSTEE. 2002. Bis-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) Human health part. European Commission Health & Consumer Protection Directorate-General.
- Dalgaard, M., Nellemann, C., Lam, H.R., Sorensen, I.K. and Ladefoged, O. 2001. The acute effects of mono(2-ethylhexyl)phthalate (MEHP) on testes of prepubertal Wistar rats. **Toxicology Letters** 122: 69-79.

- Defoe, D. L., Holcombe, G. W. and Dean, E. 1990. Solubility and toxicity of eight phthalate esters to four aquatic organisms. **Environmental Toxicology and Chemistry** 9: 623–636.
- Department of Health and Human Services (DHHS). 2002. Di (2-Ethylhexyl)Phthalate (DEHP). Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Duty, S. M., Antonia, M. C. and Silva, M. J. 2005. Phthalate exposure and reproductive hormones in adult men. **Human Reproduction** 20(3): 604-610.
- EU. 2006. European Union Risk Assessment Report for bis(2-ethylhexyl) phthalate. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- European commission. 2008. Risk Assessment Report. Bis (2-Ethylhexyl) phthalate (DEHP). Swedish Chemicals Agency.
- European Union Directives. 1993. Council Directive 93/68/EEC of 22 July 1993. Official Journal L 220: 1–22.
- EURACHEM. 1998. A laboratory guide to method validation and related topics. The fitness for purpose of analytical methods. LGC (Teddington) Ltd.
- FAO/WHO. 1999. In-house validation of methods of analysis for pesticide. Codex committee on pesticide residues. session 31. United Kingdom.
- Gesler, R. M. 2009. Toxicology of di-2-ethylhexyl phthalate and other phthalic acid ester plasticizers. **Environmental Health Perspectives** 3: 73-79.
- Hollified, H.C. 1979 Rapid nephelometric estimate of water solubility of highly insoluble organic chemicals of environmental interest. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.** 23: 579-586.
- Horn, W., Nail, S., Cooper, D. and Nicell, J. 2004. Plasticizer metabolites in the environment. **Water Research** 38: 3693-3698.
- Jen, J.-F. and Liu T.-C. 2006. Determination of phthalate esters from food-contacted materials by on-line microdialysis and liquid chromatography. **Journal of Chromatography A** 1130: 28–33.
- Leivadara, S.V., Nikolaou, A. D. and Lekkas, T. D. 2007. Determination of organic compounds in bottled waters. **Food Chemistry** 108: 277–286.

- Lertsirisopon, R., Soda, S., Sei, K. and Ike, M. 2009. Abiotic degradation of four phthalic acid esters in aqueous phase under natural sunlight irradiation. **Journal of Environmental Sciences** 21: 285-290.
- Leyder, F. and Boulanger, P. 1983. Ultraviolet absorption, aqueous solubility and octanol-water partition for several phthalates. **Bull. of Environm. Contam. Toxicol.** 30, 152-157.
- Li, X., Zeng, Z., Chen, Y. and Xu, Y. 2004. Determination of phthalate acid esters plasticizers in plastic by ultrasonic solvent extraction combined with solid-phase microextraction using calyx[4]arene fiber. **Talanta** 63: 1013-1019.
- Penalver, A., Pocurull, E. and Borrull, F. 2000. Determination of phthalate esters in water samples by solid-phase microextraction and gas chromatography with mass spectrometric detection. **Journal of Chromatography A** 872: 191–201.
- Prapatpong, P. and Kanchanamayoon, W. 2010. Determination of phthalate esters in drinking water using solid-phase extraction and gas chromatography. **Journal Applied Sciences** 10(21): 1987-1990.
- Prokupkova, G., Holadova, K., Poustka, J. and Hajslova, J. 2002. Development of a solid-phase microextraction method for the determination of phthalic acid esters in water. **Analytical Chimica Acta** 457: 211-223.
- Rastogi, S.C. 1998. Gas Chromatographic Analysis of Phthalate Ester in Plastic Toys. National Environmental Research Institute, Department of Environmental Chemistry.
- Sathyanarayana, S. 2008. Phthalates and children's health. **Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care** 38: 34-49.
- Schmid, P., Kohler, M., Meierhofer, R., Luzi, S. and Wegelin, M. 2008. Does the reuse of PET bottles during solar water disinfection pose a health risk due to the migration of plasticizers and other chemicals into the water. **Water Research** 42: 5054-5060.
- Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCENIHR). 2008. The safety of medical devices containing DEHP-plasticized PVC or other plasticizers on neonates and other groups possibly at risk.

- Shen, H.-Y. 2005. Simultaneous screening and determination of eight phthalates in plastic products for food use by sonication-assisted extraction/GC-MS method. **Talanta** 66: 734-739.
- Staples, C A., Peterson, D R., Parkerton T F. and Adams W J. 1997. The environmental fate of phthalate esters: a literature review. **Chemosphere** 35:667-749.
- The Commission of the European Communities. 2007. **Commission Regulation (EC) No 372/2007 of 2 April 2007**. Brussels: EU.
- USEPA. 2002. List of drinking water contaminants & MCLs. (online) Available from: [http://www.epa.gov/safewater/mcl.html#d\\_dbps](http://www.epa.gov/safewater/mcl.html#d_dbps) (17 May 2009).
- WHO. 1992. Diethylhexyl phthalate. **Environmental Health Criteria** No.131. Geneva: WHO.
- WHO. 1996. Di (2-ethylhexyl) phthalate in drinking-water. **Guidelines for Drinking-Water Quality**, 2<sup>nd</sup> ed. vol. 2. Health criteria and other supporting information.
- WHO. 2006. **Guidelines for Drinking-Water Quality**. Incorporating First Addendum, third ed., vol 1. Geneva: WHO.
- Xu, G., Li, F. and Wang, Q. 2008. Occurrence and degradation characteristics of dibutyl phthalate (DBP) and di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) in typical agricultural soils of China. **Science of the Total Environment** 393: 333-340.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลอง

ตารางภาคผนวก ก-1 ระดับของ DEHP ในเนื้อของภาชนะพลาสติกบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม

ภาชนะ	ความเข้มข้นของ DEHP ( $\mu\text{g/g}$ )					$\bar{x}$	SD
	1	2	3	4	5		
ขวด PET	36.80	35.98	40.30	39.20	38.74	38.20 <sup>a</sup>	1.77
ขวด HDPE	24.70	22.61	21.34	26.59	23.20	23.69 <sup>b</sup>	2.02
ถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน (PP)	25.64	24.22	25.40	28.72	25.90	25.97 <sup>b</sup>	1.67
ถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE)	17.90	19.47	18.24	16.91	15.80	17.65 <sup>c</sup>	1.38
ถ้วยโพล (PS)	22.62	25.15	23.36	24.94	25.32	24.28 <sup>b</sup>	1.21

หมายเหตุ ในแนวดิ่ง ตัวอักษรยกที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ตารางภาคผนวก ก-2 ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET และ ขวด HDPE เก็บไว้ในอาคารที่อุณหภูมิห้อง (indoor)

ระยะเวลาการเก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ DEHP (µg/L) ในขวด PET						SD	ความเข้มข้นของ DEHP (µg/L) ในขวด HDPE						SD
	1	2	3	4	5	$\bar{x}$		1	2	3	4	5	$\bar{x}$	
	1 ชั่วโมง	nd	nd	nd	nd	nd		-	-	nd	nd	nd	nd	
7 วัน	1.21	1.38	1.53	1.69	1.45	1.45 <sup>a</sup>	0.18	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
14 วัน	3.43	3.05	2.41	3.11	3.68	3.14 <sup>b</sup>	0.48	2.12	2.43	2.09	1.74	2.78	2.23 <sup>a,*</sup>	0.39
21 วัน	5.62	5.97	6.95	7.36	6.78	6.54 <sup>c</sup>	0.72	5.74	5.32	4.98	4.61	5.37	5.20 <sup>b,*</sup>	0.43
30 วัน	8.56	8.22	8.43	8.23	7.64	8.22 <sup>d</sup>	0.35	7.16	6.53	7.01	6.95	7.24	6.98 <sup>c,*</sup>	0.28
90 วัน	22.19	25.18	21.86	19.69	19.98	21.78 <sup>e</sup>	2.20	20.10	19.11	18.70	19.80	20.75	19.69 <sup>d,*</sup>	0.81
180 วัน	26.45	27.21	25.48	28.69	26.92	26.95 <sup>f</sup>	1.17	21.57	21.38	21.33	23.17	20.98	21.69 <sup>e,*</sup>	0.86

หมายเหตุ nd = not detected

ในแนวนั่ง ตัวอักษรยกที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* = ค่าแตกต่างจากขวด PET ในสภาวะเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )



ตารางภาคผนวก ก-3 ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET และ ขวด HDPE เก็บไว้ที่สภาวะตากแดดกลางแจ้ง (outdoor)

ระยะเวลาการเก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ DEHP (µg/L) ในขวด PET						SD	ความเข้มข้นของ DEHP (µg/L) ในขวด HDPE						SD
	1	2	3	4	5	$\bar{x}$		1	2	3	4	5	$\bar{x}$	
	1 ชั่วโมง	nd	nd	nd	nd	nd		-	-	nd	nd	nd	nd	
14 วัน	2.54	2.15	2.39	2.49	2.36	2.39 <sup>a</sup>	0.15	2.15	2.03	2.12	1.93	1.96	2.03 <sup>a,*</sup>	0.09
21 วัน	4.95	4.57	5.58	5.46	4.79	5.07 <sup>b</sup>	0.43	3.94	3.81	4.59	3.84	4.31	4.10 <sup>b,*</sup>	0.34
30 วัน	6.44	6.32	7.67	7.14	6.98	6.91 <sup>c</sup>	0.55	5.36	6.23	6.78	6.38	6.16	6.18 <sup>c</sup>	0.52
90 วัน	19.85	19.75	18.45	25.39	17.60	20.21 <sup>d</sup>	3.05	7.98	6.76	7.68	7.65	6.50	7.31 <sup>d,*</sup>	0.64
180 วัน	24.57	21.29	26.47	21.35	22.80	23.29 <sup>e</sup>	2.22	9.93	9.66	8.90	9.88	9.50	9.57 <sup>e,*</sup>	0.42

หมายเหตุ ในแนวตั้ง ตัวอักษรยกที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

\* = ค่าแตกต่างจากขวด PET ในสภาวะเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก ก-4 ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET และ ขวด HDPE เก็บไว้ที่สภาวะ 4°C

ระยะเวลาการเก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของสาร DEHP (µg/L) ในขวด PET							SD	ความเข้มข้นของสาร DEHP (µg/L) ในขวด HDPE							SD
	1	2	3	4	5	$\bar{x}$	1		2	3	4	5	$\bar{x}$			
	1 ชั่วโมง	nd	nd	nd	nd	nd	-		-	nd	nd	nd	nd	nd	-	
14 วัน	2.13	1.60	2.19	2.49	2.36	2.15 <sup>a</sup>	0.34	1.52	2.11	2.01	1.97	2.13	1.95 <sup>a</sup>	0.25		
21 วัน	3.72	3.89	4.04	4.21	3.93	3.95 <sup>b</sup>	0.17	2.71	2.27	3.12	2.86	3.09	2.81 <sup>b,*</sup>	0.35		
30 วัน	6.74	6.28	6.35	6.58	6.89	6.57 <sup>c</sup>	0.26	6.19	6.36	6.18	5.86	5.62	6.04 <sup>c</sup>	0.30		
90 วัน	16.50	14.41	14.83	13.88	12.65	14.45 <sup>d</sup>	1.41	10.35	11.30	9.59	9.87	9.66	10.15 <sup>d,*</sup>	0.71		
180 วัน	15.40	16.12	18.63	16.39	15.65	16.44 <sup>e</sup>	1.28	11.50	12.95	12.16	12.86	11.94	12.28 <sup>e*</sup>	0.62		

หมายเหตุ ในแนวตั้ง ตัวอักษรยกที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

\* = ค่าแตกต่างจากขวด PET ในสภาวะเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก ก-5 การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ที่สภาวะต่างๆ

ระยะเวลาการเก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ DEHP (µg/L) ที่สภาวะต่างๆ					
	ขวด PET			ขวด HDPE		
	outdoor	indoor	4°C	outdoor	indoor	4°C
1 ชั่วโมง	nd	nd	nd	nd	nd	nd
14 วัน	2.39 <sup>a</sup> ±0.15	3.14 <sup>b</sup> ±0.48	2.15 <sup>c</sup> ±0.34	2.03 <sup>a</sup> ±0.09	2.23 <sup>a</sup> ±0.39	1.95 <sup>a</sup> ±0.25
21 วัน	5.07 <sup>a</sup> ±0.43	6.54 <sup>b</sup> ±0.72	3.95 <sup>c</sup> ±0.17	4.10 <sup>a</sup> ±0.34	5.20 <sup>b</sup> ±0.43	2.81 <sup>c</sup> ±0.35
30 วัน	6.91 <sup>a</sup> ±0.55	8.22 <sup>b</sup> ±0.35	6.57 <sup>c</sup> ±0.26	6.18 <sup>a</sup> ±0.52	6.98 <sup>a</sup> ±0.28	6.04 <sup>a</sup> ±0.30
90 วัน	20.21 <sup>a</sup> ±3.05	21.78 <sup>b</sup> ±2.20	14.45 <sup>c</sup> ±1.41	7.31 <sup>a</sup> ±0.64	19.69 <sup>b</sup> ±0.81	10.15 <sup>c</sup> ±0.71
180 วัน	23.29 <sup>a</sup> ±2.22	26.95 <sup>b</sup> ±1.17	16.44 <sup>c</sup> ±1.28	9.57 <sup>a</sup> ±0.42	21.69 <sup>b</sup> ±0.86	12.28 <sup>c</sup> ±0.62

หมายเหตุ ในแนวนอน ตัวอักษรยกที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก ก-6 ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET และ ขวด HDPE ที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 2

ระยะเวลาการเก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ DEHP ( $\mu\text{g/L}$ ) ในขวด PET						SD	ความเข้มข้นของ DEHP ( $\mu\text{g/L}$ ) ในขวด HDPE						SD
	1	2	3	4	5	$\bar{x}$		1	2	3	4	5	$\bar{x}$	
	1 ชั่วโมง	nd	nd	nd	nd	nd		-	-	nd	nd	nd	nd	
14 วัน	2.70	3.32	2.44	3.12	3.16	2.95 <sup>a</sup>	0.37	4.64	4.95	3.98	4.95	5.78	4.86 <sup>a,*</sup>	0.65
21 วัน	3.46	3.93	4.64	3.89	4.52	4.09	0.49	7.71	7.95	8.32	6.46	7.98	7.66 <sup>b,*</sup>	0.72
30 วัน	4.82	6.30	6.11	7.33	5.50	6.01 <sup>b</sup>	0.93	11.76	11.16	10.59	9.53	8.12	10.76 <sup>c,*</sup>	1.44
90 วัน	10.90	12.80	12.40	15.60	11.90	12.93 <sup>c</sup>	1.76	16.80	13.50	12.40	15.21	12.83	14.48 <sup>d</sup>	1.83
180 วัน	29.24	29.94	25.92	28.65	27.96	28.44 <sup>d</sup>	1.54	28.65	28.36	25.93	28.14	27.95	27.77 <sup>e</sup>	1.08

หมายเหตุ ในแนวตั้ง ตัวอักษรยกที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* = ค่าแตกต่างจากขวด PET ในสภาวะเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ตารางภาคผนวก ก-7 ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET และ ขวด HDPE ที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 7

ระยะเวลาการเก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ DEHP (µg/L) ในขวด PET						SD	ความเข้มข้นของ DEHP (µg/L) ในขวด HDPE						SD
	1	2	3	4	5	$\bar{x}$		1	2	3	4	5	$\bar{x}$	
	1 ชั่วโมง	nd	nd	nd	nd	nd		-	-	nd	nd	nd	nd	
14 วัน	2.52	3.14	2.85	2.91	2.76	2.84 <sup>a</sup>	0.23	2.17	2.43	2.09	1.95	2.48	2.22 <sup>a,*</sup>	0.22
21 วัน	2.93	2.89	3.62	4.03	3.91	3.48	0.54	2.56	2.63	3.12	3.09	3.27	2.93 <sup>a</sup>	0.37
30 วัน	4.46	5.16	5.64	4.71	5.78	5.15 <sup>b</sup>	0.57	5.24	4.40	5.10	5.15	5.53	5.08 <sup>b</sup>	0.42
90 วัน	6.83	6.88	6.99	7.20	7.33	7.05 <sup>c</sup>	0.21	4.66	4.82	4.75	5.82	5.54	5.12 <sup>b,*</sup>	0.53
180 วัน	9.93	9.87	9.74	9.32	10.37	9.85 <sup>d</sup>	0.38	6.81	7.59	6.39	6.60	7.95	7.07 <sup>c,*</sup>	0.67

หมายเหตุ ในแนวตั้ง ตัวอักษรยกที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* = ค่าแตกต่างจากขวด PET ในสภาวะเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ตารางภาคผนวก ก-8 ความเข้มข้นของ DEHP ในน้ำกลั่นบรรจุขวด PET และ ขวด HDPE ที่มีระดับพีเอชเท่ากับ 9

ระยะเวลาการเก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ DEHP (µg/L) ในขวด PET						SD	ความเข้มข้นของ DEHP (µg/L) ในขวด HDPE						SD
	1	2	3	4	5	$\bar{x}$		1	2	3	4	5	$\bar{x}$	
	1 ชั่วโมง	nd	nd	nd	nd	nd		-	-	nd	nd	nd	nd	
14 วัน	2.37	2.12	2.28	3.09	2.22	2.42 <sup>a</sup>	0.39	3.29	3.64	2.93	2.87	2.74	3.10 <sup>a</sup>	0.37
21 วัน	4.42	4.03	3.96	3.81	4.34	4.11 <sup>b</sup>	0.26	6.75	7.48	7.93	6.89	7.84	7.38 <sup>b,*</sup>	0.54
30 วัน	3.51	3.06	6.24	8.25	5.98	5.31 <sup>b</sup>	2.13	9.37	9.12	9.38	9.22	9.21	9.26 <sup>c,*</sup>	0.11
90 วัน	16.81	11.86	12.80	11.13	10.40	12.50 <sup>c</sup>	2.52	9.24	8.94	9.46	8.41	9.69	9.35 <sup>c,*</sup>	0.28
180 วัน	12.90	13.75	13.93	14.71	12.96	13.65 <sup>c</sup>	0.75	9.75	9.46	9.32	9.59	9.47	9.56 <sup>c,*</sup>	0.17

หมายเหตุ ในแนวตั้ง ตัวอักษรยกที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

\* = ค่าแตกต่างจากขวด PET ในสภาวะเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก ก-9 การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ

ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ DEHP (µg/L) ที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง					
	ขวด PET			ขวด HDPE		
	pH 2	pH 7	pH 9	pH 2	pH 7	pH 9
1 ชั่วโมง	nd	nd	nd	nd	nd	nd
14 วัน	2.95 <sup>a</sup> ±0.37	2.84 <sup>b</sup> ±0.23	2.42 <sup>c</sup> ±0.39	4.86 <sup>a</sup> ±0.65	2.22 <sup>b</sup> ±0.22	3.10 <sup>c</sup> ±0.37
21 วัน	4.09 <sup>a</sup> ±0.49	3.48 <sup>a</sup> ±0.54	4.11 <sup>a</sup> ±0.26	7.66 <sup>a</sup> ±0.72	2.93 <sup>b</sup> ±0.37	7.38 <sup>c</sup> ±0.54
30 วัน	6.01 <sup>a</sup> ±0.93	5.15 <sup>a</sup> ±0.57	5.31 <sup>a</sup> ±2.13	10.76 <sup>a</sup> ±1.44	5.08 <sup>b</sup> ±0.42	9.26 <sup>c</sup> ±0.11
90 วัน	12.93 <sup>a</sup> ±1.76	7.05 <sup>b</sup> ±0.21	12.50 <sup>c</sup> ±2.52	14.48 <sup>a</sup> ±1.83	5.12 <sup>b</sup> ±0.53	9.35 <sup>c</sup> ±0.28
180 วัน	28.44 <sup>a</sup> ±1.54	9.85 <sup>b</sup> ±0.38	13.65 <sup>c</sup> ±0.75	27.77 <sup>a</sup> ±1.08	7.07 <sup>b</sup> ±0.67	9.56 <sup>c</sup> ±0.17

หมายเหตุ ในแนวนอน ตัวอักษรยกที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก ก-10 ความเข้มข้นของ DEHP ในตัวอย่างน้ำกลั่นร้อนและนมถั่วเหลืองร้อนอุณหภูมิ 90°C ที่บรรจุในภาชนะต่างๆ

ภาชนะ	ความเข้มข้นของ DEHP (mg/L)						SD	ความเข้มข้นของ DEHP (mg/L)						SD
	ในตัวอย่างน้ำ							ในตัวอย่างนมถั่วเหลือง						
	1	2	3	4	5	$\bar{x}$		1	2	3	4	5	$\bar{x}$	
ถุงพลาสติกชนิดถุงเย็น (LDPE)	0.20	0.21	0.19	0.21	0.23	0.21 <sup>a</sup>	0.02	0.23	0.18	0.16	0.20	0.21	0.19 <sup>a</sup>	0.03
ถุงพลาสติกชนิดถุงร้อน (PP)	0.28	0.29	0.26	0.28	0.25	0.27 <sup>b</sup>	0.02	0.28	0.27	0.23	0.36	0.25	0.28 <sup>b</sup>	0.05
ถ้วยโฟม (PS)	0.38	0.32	0.29	0.35	0.37	0.34 <sup>c</sup>	0.04	0.43	0.47	0.42	0.42	0.44	0.44 <sup>c,*</sup>	0.02

หมายเหตุ ในแนวตั้ง ตัวอักษรยกที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* = ค่าแตกต่างจากน้ำ ในสถานะเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )





ภาพประกอบภาคผนวก ก-1 แสดงขั้นตอนการสกัด (solid phase extraction) ตัวอย่างด้วย C18



ภาพประกอบภาคผนวก ก-2 แสดงขั้นตอนการระเหยใน water bath ที่อุณหภูมิ 40°C



ภาพประกอบภาคผนวก ก-3 สถานที่สำหรับเก็บตัวอย่างสำหรับสภาวะตากแดดกลางแจ้ง



ภาพประกอบภาคผนวก ก-4 สถานที่สำหรับเก็บตัวอย่างไว้ในอาคารที่อุณหภูมิห้อง



ภาพประกอบภาคผนวก ก-5 สถานที่สำหรับเก็บตัวอย่างสำหรับสภาวะ 4°C



ภาพประกอบภาคผนวก ก-6 สถานที่สำหรับเก็บตัวอย่างสำหรับสภาวะกรด-ด่าง และกลุ่มควบคุม

ภาคผนวก ข  
วิธีวิเคราะห์ทางสถิติ

### การทดสอบของแมน-วิทนี (Mann-Whitney U test หรือ Mann-Whitney test)

การทดสอบของแมน-วิทนี ใช้ทดสอบข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. ให้  $N_1$  แทน ขนาดของกลุ่มของข้อมูลที่มีขนาดเล็ก  
 $N_2$  แทน ขนาดของกลุ่มของข้อมูลที่มีขนาดใหญ่
2. เอาข้อมูลของ  $N_1$  และ  $N_2$  รวมกัน แล้วเรียงอันดับจากต่ำสุดไปหาสูงสุด
3. รวมอันดับของกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก แล้วแทนด้วย  $R_1$   
 ในกรณีที่กลุ่มตัวอย่าง  $N_1, N_2$  มีขนาดเท่ากัน  $R_1$  ในสูตรหา  $U$  ให้ใช้  $R$  ตัวที่เป็นผลรวมของอันดับที่มีค่าน้อยกว่า

4. แทนค่า  $N_1, N_2, R_1$  ในสมการที่ 2.2.5

$$\text{สูตร} \quad U = N_1 N_2 + \frac{N_1(N_1 + 1)}{2} - R_1 \quad 2.2.5$$

5. แทนค่า  $U, N_1, N_2$  ในสมการที่ 2.2.6

$$U' = N_1 N_2 - U \quad 2.2.6$$

6. หาค่า  $U$  จากตารางที่ระดับนัยสำคัญ ถ้าค่า  $U$  หรือ  $U'$  ที่หาได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า  $U$  ที่เปิดจากตาราง จะสรุปว่าข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

### การทดสอบของครัสคาล-วอลลิส (Kruskal – Wallis one-way analysis of variance of ranks หรือ Kruskal – Wallis test หรือ H-test)

การทดสอบของครัสคาล-วอลลิส ใช้เมื่อต้องการเปรียบเทียบผลระหว่างกลุ่มมากกว่า 2 กลุ่ม ที่เป็นอิสระจากกัน จำนวนตามสมการที่ 2.2.6

$$\text{สูตร} \quad H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1) \quad 2.2.6$$

$$df = k - 1$$

เมื่อ  $R_i =$  ผลรวมของอันดับ  $n_i$  ค่าที่กำหนดให้สำหรับแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

$n_i =$  จำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่ม

$n =$  ผลรวมของจำนวนข้อมูลทั้งหมด

$k =$  จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

นำค่า  $H$  ที่คำนวณจากสมการมาเปรียบเทียบกับค่าไค-สแควร์ ( $X^2$ ) ที่เปิดจากตาราง ถ้า  $H$  ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า  $X^2$  จะสรุปได้ว่าจะสรุปว่าข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างที่นำมาเปรียบเทียบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวอรทัย พุ่มดวง

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5110920025

วุฒิการศึกษา

วุฒิ

ชื่อสถาบัน

ปีที่สำเร็จการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2549

(วิศวกรรมเคมี)

การตีพิมพ์และเผยแพร่ผลงาน

การเผยแพร่ในการประชุมวิชาการ

อรทัย พุ่มดวง และบรรจง วิทย์วีรศักดิ์. 2553. สภาวะที่มีผลต่อการชะออกมาของ di-(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) จากขวดน้ำพลาสติกบรรจุน้ำดื่ม. การประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ครั้งที่ 3. 20-21 พฤษภาคม 2553. ชลบุรี.