



สภาวะที่มีผลต่อการชะออกมาของ ได-(2-เอทิลเฮกซิล) ชาติ (DEHP)

จากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกที่สัมผัสอาหาร

Conditions Which Affect the Leaching of Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate (DEHP)

from Latex Gloves and Plastic Gloves for Food Handling

ไพไลพร สมพงษ์

Pilaiporn Somphong

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	สภาวะที่มีผลต่อการชะออกมาของ ได-(2-เอทิลเฮกซิล) ซาลेट (DEHP) จากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกที่สัมผัสอาหาร
ผู้เขียน	นางสาวพิไลพร สมพงษ์
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

วิธีการวิเคราะห์สาร ได (2-เอทิลเฮกซิล) ซาลेट (DEHP) ในตัวอย่างถุงมือยางและถุงมือพลาสติกได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography, GC) ซึ่งใช้คาปิลลารีคอลัมน์ชนิด 5 % phenyl 95 % dimethylpolysiloxane ร่วมกับตัวตรวจวัดชนิดเปลวไฟไอออไนเซชัน (flame ionization detector, FID) ได้ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด DEHP เท่ากับ 5.3 นาโนกรัมต่อกรัม ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (r) มากกว่า 0.99 ในช่วงความเข้มข้นระหว่าง 0.05-100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิเคราะห์ DEHP ในเนื้อถุงมือยางอเนกประสงค์ชนิดบาง ถุงมือยางตรวจโรค ถุงมือยางอเนกประสงค์ชนิดหนา 2 ยี่ห้อและถุงมือพลาสติก PE ได้ค่าเฉลี่ยดังนี้ 42.70 ± 8.21 , 52.01 ± 9.06 , 54.72 ± 8.13 , 45.41 ± 9.01 และ 34.92 ± 7.98 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อทดลองชะ DEHP ออกจากถุงมือด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าในถุงมือยางชนิดบางที่อุณหภูมิ 4 และ 25 °C ปริมาณ DEHP ที่ชะออกมาน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 95 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนในถุงมือยางชนิดหนาพบว่าปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 50 °C น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 95 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ปริมาณการชะ DEHP ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิมากกว่าระยะเวลาในการแช่ สำหรับถุงมือพลาสติกมีลักษณะบางและเป็นฉนวนความร้อนที่น้อยกว่าจึงสามารถชะ DEHP ออกมาได้มากกว่าถุงมือยางที่อุณหภูมิเดียวกัน ผลการทดลองชะ DEHP ในถุงมือยางชนิดบางด้วยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 95 °C ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะมีมากกว่าที่อุณหภูมิ 25 และ 50 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดย DEHP จะถูกชะออกมามากที่สุดภายใน 15 นาที

จากการทดลองแช่ถุงมือทุกชนิดด้วยน้ำที่ pH 2 และ pH 4.6 พบว่าปริมาณ DEHP จะถูกชะออกมามากกว่าที่ pH 7 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในสภาวะต่างที่ pH 9 พบว่า DEHP มีปริมาณน้อยในน้ำชะในระยะเวลาต่าง ๆ เนื่องจาก DEHP ถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

ได้ดีกว่าที่ pH 2 เมื่อนำถุงมือทั้งสามชนิดสัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ก่อนนำไปสัมผัสน้ำกลั่น และน้ำมันปาล์มจะสามารถชะ DEHP ได้มากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทุกตัวอย่าง

Thesis Title Conditions which Affect the Leaching of Di-(2-ethylhexyl) Phthalate (DEHP) from Latex Gloves and Plastic Gloves for Food Handling

Author Miss Pilaiporn Somphong

Major Program environmental Management

Academic Year 2011

ABSTRACT

A quantitative method of analysis of di (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) in rubber glove and plastic glove was developed using a gas chromatograph equipped with a capillary column (5 % phenyl 95 % dimethylpolysiloxane) and flame ionization detector (FID). The limit of detections is 5.3 ng/g. The coefficient of linear correlation (r) greater than 0.99 and relative standard deviation (% RSD) less than 10 %.

The average levels of DEHP determined from thin Multi-purpose gloves, disposable examination glove, thick Multi-purpose gloves and polyethylene (PE) glove were 42.70 ± 8.21 , 52.01 ± 9.06 , 54.72 ± 8.13 , 45.41 ± 9.01 and 34.92 ± 7.98 $\mu\text{g/g}$, respectively. Soaking thin multi-Purpose gloves with distilled water at various temperature, DEHP was found leached out at 4 and 25°C significantly less than those at 50 and 95 °C ($p < 0.05$). similar, when thick multipurpose rubber gloves were soaked, DEHP was found leached out at 4, 25 and 50 °C significantly less than that at 95 °C ($p < 0.05$). The leaching of DEHP depended on temperature more than on duration of soaking. DEHP was found leached out from plastic gloves more than from rubber glove at same temperature because of their thinness and less heat insulation. DEHP was leached out from rubber glove soaked in palm oil at 95 °C significantly more than those at 25 and 50 °C ($p < 0.05$). Most DEHP was leached out within 15 minutes in palm oil.

DEHP was leached out from all types of the glove in acidic condition (pH 2 and pH 4.6) significantly than that at neutral pH ($p < 0.05$). The leaching also increased as duration of soaking was increased ($p < 0.05$). In a basic condition (pH 9), DEHP was found least in the leachate and its level was not increased with time because more DEHP was hydrolyzed in this condition.

Preexposure to 70 % ethyl alcohol caused more DEHP leached out from all types of gloves after soaked in either distilled water or palm oil.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ นสพ. ดร. บรรจง วิทยวีรศักดิ์ ซึ่งกรุณาได้รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ตลอดจนชี้แนะแนวทางแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นให้ผ่านไปด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้และขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธันวดี สุขสาโรจน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ ทองลิ้มปี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิไลรัตน์ ชีวะเศรษฐกรรม คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษาแก้ไขข้อบกพร่องและแนะนำแนวทางในการทำการวิจัยตลอดจนช่วยตรวจสอบความถูกต้องจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และนักวิทยาศาสตร์คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ช่วยเหลือและแนะนำการใช้เครื่องมือ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อหนูและคุณแม่ น้อย สมพงษ์ เป็นอย่างสูงที่สนับสนุนทุนการศึกษาตลอดจนทุกคนในครอบครัวที่ให้ความรัก ความห่วงใย ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจเสมอมา

ท้ายสุดขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกท่านที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

พิไลพร สมพงษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพ	(15)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 ตรวจสอบเอกสาร	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	30
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	30
บทที่ 2 วิธีการทดลอง	31
2.1 สารมาตรฐานและวัสดุ	31
2.2 สารเคมี	28
2.3 เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์	32
2.4 การเตรียมอุปกรณ์	33
2.5 การเตรียมชิ้นถุงมือในการทดลอง	33
2.6 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน DEHP และ internal standard stock solution	35
2.7 การสร้างกราฟมาตรฐาน	36
2.8 เทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (solid phase extraction)	36
2.9 วิธีการทดลอง	37
2.10 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง	39
2.11 การปรับสถานะเครื่อง GC-FID	40
2.12 การประกันคุณภาพการวิเคราะห์	40
2.13 สถานที่ทำการวิจัย	42
2.14 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	42
	(8)

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	43
3.1 การประกันคุณภาพของวิธีวิเคราะห์	44
3.2 ปริมาณ DEHP ในเนื้อถุงมือยางและถุงมือพลาสติก	48
3.3 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการชะ DEHP ออกจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติก	49
3.4 อิทธิพลของน้ำมันปาล์มต่อการชะ DEHP ออกจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติก	52
3.5 อิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อการชะ DEHP ออกจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติก	55
3.6 อิทธิพลในการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือที่สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 %	58
3.7 ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาต่อพื้นที่ผิวของถุงมือ	59
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	65
ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวก	73
ภาคผนวก ก Calibration curve และ curve	74
ภาคผนวก ข ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากสภาวะต่าง ๆ	77
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ทางสถิติ	84
ประวัติผู้เขียน	104

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	ส่วนประกอบของน้ำยางสด	2
1-2	ปริมาณ DEHP ที่มีผลกระทบต่อสัตว์ทดลอง	22
1-3	ค่าเฉลี่ย DEHP ที่ปนเปื้อนในอาหาร (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)	26
2-1	สภาวะเครื่อง GC-FID ในการวัดสาร DEHP	40
3-1	ค่า LOD ของวิธีการวิเคราะห์ DEHP จากรายงานวิจัยอื่น ๆ	45
3-2	ค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery) ของสารประกอบ DEHP ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในชิ้นส่วนถุงมือยางและถุงมือพลาสติกที่อุณหภูมิ 25 °C	46
3-3	ค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery) ของสารประกอบ DEHP ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 25 °C	46
3-4	ค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery) ของสารประกอบ DEHP ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 95 °C	47
3-5	ค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery) ของสารประกอบ DEHP ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 25 °C	47
3-6	ค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery) ของสาร DEHP ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 95 °C	48
3-7	ปริมาณ DEHP ในเนื้อถุงมือยางและถุงมือพลาสติก	48
3-8	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักและพื้นที่ผิวในถุงมือ 1 คู่	60
3-9	ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกด้วยน้ำกลั่นต่อพื้นที่ผิว 1 ตารางเซนติเมตร ที่ระยะเวลา 3 นาที และ 15 นาที	61
3-10	ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกด้วยน้ำกลั่นต่อพื้นที่ผิว 1 ตารางเซนติเมตร ที่ระยะเวลา 30 นาที และ 45 นาที	61
3-11	ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกด้วยน้ำมันปาล์มที่พื้นที่ผิว 1 ตารางเซนติเมตร ที่เวลา 3 และ 15 นาที	62
3-12	ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกด้วยน้ำมันปาล์มที่พื้นที่ผิว 1 ตารางเซนติเมตร ที่เวลา 30 และ 45 นาที	62

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
3-13	ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ต่อพื้นที่ผิว 1 ตารางเซนติเมตร ที่ระยะเวลา 30 นาที	63
3-14	ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกด้วยน้ำกลั่นปรับ pH ต่อพื้นที่ผิว 1 ตารางเซนติเมตร	63
ข-1	DEHP ในเนื้อถุงมือยางและถุงมือพลาสติก	79
ข-2	ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาต่อการชะออกมาของ DEHP ด้วยน้ำกลั่น	79
ข-3	ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาต่อการชะออกมาของ DEHP ด้วยน้ำมันปาล์ม	81
ข-4	ปริมาณ DEHP ถูกชะออกมาที่ pH 2	83
ข-5	ปริมาณ DEHP ถูกชะออกมาที่ pH 4.6	83
ข-6	ปริมาณ DEHP ถูกชะออกมาที่ pH 7	84
ข-7	ปริมาณ DEHP ถูกชะออกมาที่ pH 9	84
ข-8	ผลของเอทิลแอลกอฮอล์ต่อการชะออกมาของ DEHP ในน้ำกลั่น	85
ข-9	ผลของเอทิลแอลกอฮอล์ต่อการชะออกมาของ DEHP ในน้ำมันปาล์ม	85
ค-1	ผลการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดบางโดยใช้น้ำกลั่นปรับอุณหภูมิ	86
ค-2	ผลการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดหนาโดยใช้น้ำกลั่นปรับอุณหภูมิ	86
ค-3	ผลการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางพลาสติกโดยใช้น้ำกลั่นปรับอุณหภูมิ	87
ค-4	ผลการเปรียบเทียบผลของระยะเวลาต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดบางโดยใช้น้ำกลั่นปรับอุณหภูมิ	87
ค-5	ผลการเปรียบเทียบผลของระยะเวลาต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดหนาโดยใช้น้ำกลั่นปรับอุณหภูมิ	87
ค-6	ผลการเปรียบเทียบผลของระยะเวลาต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดบางโดยใช้น้ำกลั่นปรับอุณหภูมิ	87

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค-7	ผลการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดบางโดยใช้น้ำกลั่นปรับอุณหภูมิ	88
ค-8	ผลการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดหนาโดยใช้น้ำกลั่นปรับอุณหภูมิ	88
ค-9	ผลการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือพลาสติกโดยใช้น้ำกลั่นปรับอุณหภูมิ	88
ค-10	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดบาง ที่ pH 2 ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน	89
ค-11	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดหนา ที่ pH 2 ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน	89
ค-12	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือพลาสติก ที่ pH 2 ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน	89
ค-13	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดบางที่ pH 4.6 ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน	90
ค-14	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดหนา ที่ pH 4.6 ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน	90
ค-15	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือพลาสติก ที่ pH 4.6 ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน	90
ค-16	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดบางที่ pH 7 ระยะเวลาแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน	91
ค-17	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดหนาที่ pH 7 ระยะเวลาแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน	91
ค-18	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือพลาสติก ที่ pH 7 ระยะเวลาแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน	91
ค-19	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดบาง ที่ pH 9 ระยะเวลาแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน	91

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค-20	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิด หนาที่ pH 9 ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน	92
ค-21	ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือพลาสติก ที่ pH 9 ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน	92
ค-22	Multiple comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของ ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่อุณหภูมิ 4, 25, 50 และ 95 °C ในชิ้นส่วนถุงมือยางชนิดบางด้วยน้ำกลั่น	92
ค-23	Multiple comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของ ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่อุณหภูมิ 4, 25, 50 และ 95 °C ในชิ้นส่วนถุงมือยางชนิดหนาด้วยน้ำกลั่น	93
ค-24	Multiple comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของ ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่อุณหภูมิ 4, 25, 50 และ 95 °C ในชิ้นส่วนถุงมือพลาสติกด้วยน้ำกลั่น	94
ค-25	Multiple comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของ ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่ระยะเวลา 3, 15, 30 และ 45 นาที ในชิ้นส่วนถุงมือยางชนิดบางด้วยน้ำกลั่น	95
ค-26	Multiple comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของ ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่ระยะเวลา 3, 15, 30 และ 45 นาที ในชิ้นส่วนถุงมือยางชนิดหนาด้วยน้ำกลั่น	96
ค-27	Multiple comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของ ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่ระยะเวลา 3, 15, 30 และ 45 นาที ในชิ้นส่วนถุงมือพลาสติกด้วยน้ำกลั่น	97
ค-28	Multiple comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของ ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 95 °C ในชิ้นส่วน ถุงมือยางชนิดบางด้วยน้ำมันปาล์ม	98

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค-29	Multiple comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 95 °C ในชิ้นส่วนถุงมือยางชนิดหนาด้วยน้ำมันปาล์ม	98
ค-30	Multiple comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 95 °C ในชิ้นส่วนถุงมือพลาสติกด้วยน้ำมันปาล์ม	99
ค-31	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาด้วยน้ำกลั่นจากถุงมือยางชนิดบางที่ใช้สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง	100
ค-32	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาด้วยน้ำกลั่นจากถุงมือยางชนิดหนาที่ใช้สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง	101
ค-33	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาด้วยน้ำกลั่นจากถุงมือพลาสติกที่ใช้สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง	102
ค-34	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาด้วยน้ำมันปาล์มจากถุงมือยางชนิดบางที่ใช้สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง	103
ค-35	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาด้วยน้ำมันปาล์มจากถุงมือยางชนิดหนาที่ใช้สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง	103
ค-36	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาด้วยน้ำมันปาล์มจากถุงมือพลาสติกที่ใช้สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง	103

รายการภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	ขั้นตอนการเติมสารเคมีในน้ำยาง	7
1-2	ทิศทางการทำงานในกระบวนการจุ่ม	9
1-3	การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยการ stretch blow molding	17
1-4	สูตรโครงสร้างทั่วไปของสารกลุ่มธาเลต	19
1-5	ขั้นตอนการสังเคราะห์ DEHP	20
1-6	สูตรโครงสร้างของ DEHP	21
1-7	เส้นทางการเกิดเมแทบอลิต์ของ DEHP	23
1-8	บทบาทของ DEHP ในการขัดขวางการทำงานของฮอร์โมน	24
1-9	ปัจจัยในการเกิดไมเกรชัน	27
1-10	ไดอะแกรมของแก๊สโครมาโทกราฟี	28
1-10	เฟลมไอออไนเนชั่น (FID)	29
2-1	ตำแหน่งชิ้นส่วนถุงมือที่นำไปใช้ในการทดลอง	33
2-2	ขนาดชิ้นส่วนถุงมือที่ใช้ในการทดลอง	34
2-3	ถุงมือยางอเนกประสงค์ชนิดบาง	34
2-4	ถุงมือยางอเนกประสงค์ชนิดหนา	34
2-5	ถุงมือพลาสติกโพลีเอทิลีน	35
2-6	คอลัมน์บรรจุ ฟลอริซิล และแอนไฮดริสโซเดียมซัลเฟต	37
3-1	โครมาโทแกรมของ DEHP ความเข้มข้น 0.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและ internal standard ที่ความเข้มข้น 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	43
3-2	โครมาโทแกรมของ DEHP ความเข้มข้น 0.7 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	44
3-3	ปริมาณการชะ DEHP ออกจากถุงมือยางชนิดบางด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 4, 25, 50 และ 95 °C	50
3-4	ปริมาณการชะ DEHP ออกจากถุงมือยางชนิดหนาด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 4, 25, 50 และ 95 °C	51
3-5	ปริมาณการชะ DEHP ออกจากถุงมือพลาสติกด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 4, 25, 50 และ 95 °C	52
3-6	ปริมาณการชะ DEHP ออกจากถุงมือยางชนิดบางด้วยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 95 °C	39

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-7	ปริมาณการชะ DEHP ออกจากถุงมือยางชนิดหนาด้วยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 95 °C	54
3-8	ปริมาณการชะ DEHP ออกจากถุงมือพลาสติกด้วยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 95 °C	55
3-9	ปริมาณการชะออกมาของ DEHP จากถุงมือยางชนิดบางที่ pH ต่าง ๆ	56
3-10	ปริมาณการชะออกมาของ DEHP จากถุงมือยางชนิดหนาที่ pH ต่าง ๆ	57
3-11	ปริมาณการชะออกมาของ DEHP จากถุงมือพลาสติกที่ pH ต่าง ๆ	57
3-12	ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาด้วยน้ำกลั่นจากถุงมือที่ใช้สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง	58
3-13	ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาด้วยน้ำมันปาล์มจากถุงมือที่ใช้สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง	59
ก-1	รูปที่ 1 Calibration curve ของ DEHP ที่ระดับความเข้มข้น 0.05, 0.50, 1.00, 5.00 และ 20.00 ไมโครกรัมต่อกรัม	76
ก-2	รูปที่ 2 Calibration curve ของ DEHP ที่ระดับความเข้มข้น 1.0, 5.0, 10.0, 20.0 และ 50.0 ไมโครกรัมต่อกรัม	76
ก-3	รูปที่ 3 Calibration curve ของ DEHP ที่ระดับความเข้มข้น 0.05, 0.5, 1.00, 5.00 และ 10.0 ไมโครกรัมต่อกรัม	77
ก-4	รูปที่ 4 Calibration curve ของ DEHP ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1.0, 5.0, 5.00 และ 20.0 ไมโครกรัมต่อกรัม	77
ก-5	รูปที่ 5 data ของ DEHP	78

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ในปัจจุบันมีความต้องการใช้ถุงมือสัมผัสอาหารเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีความต้องการควบคุมคุณภาพและความสะอาดของผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีการนำถุงมือพลาสติกและถุงมือยางมาสวมใส่ในการเตรียมและประกอบอาหารอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหาร ในการผลิตถุงมือพลาสติกและถุงมือยางมีการใช้สารพลาสติกไซเซอร์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่อ่อนตัวและเหนียว พลาสติกไซเซอร์ที่นิยมนำมาใช้มากคือ สารกลุ่ม ฆาเลต ได้แก่ ได-2-เอทิลเฮกซิล ฆาเลต (DEHP), ไดบิวทิล ฆาเลต (DBP), เบนซิล เบนทิล ฆาเลต (BBP) เป็นต้น แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ DEHP เนื่องจากมีคุณภาพดี ราคาถูก แต่สารนี้เป็นอันตรายต่อร่างกายโดยจะมีผลต่อปอด ตับ และไต นอกจากนี้ยังสามารถก่อให้เกิดมะเร็งได้ในสัตว์ทดลอง (Park *et al.*, 2002) ปัจจุบัน EU Scientific Committee for Toxicity, Ecotoxicity and the Environment (CSTEE, 1998) ได้กำหนดให้ ฆาเลตสามารถผสมในผลิตภัณฑ์ได้ไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และผู้บริโภคได้รับสาร DEHP ได้ไม่เกิน 37 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน จากการทดลองใช้ถุงมือ PVC สัมผัสอาหารทดสอบพบว่าค่า DEHP อยู่ที่ 16.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากเดิมอาหารมีการปนเปื้อน DEHP ที่ 0.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Tsumura *et al.*, 2000) การปนเปื้อน DEHP ในอาหารทดสอบนั้นมีค่าสูงกว่าที่ EU กำหนด

ประเทศไทยในฐานะสมาชิกร่วมทำงาน (p-member) ของ ISO/TC45-rubber and rubber products ได้เสนอให้มีการกำหนดมาตรฐาน rubber or thermoplastic glove for food industry and food service specification เพื่อประโยชน์ในการยกระดับถุงมือประเภทนี้ให้มีมาตรฐานเพื่อสร้างความมั่นใจในความปลอดภัยต่อผู้บริโภค จึงควรมีการศึกษาระดับการปนเปื้อนและการชะออกมาของ DEHP จากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกที่ใช้สำหรับสัมผัสอาหารเพื่อควบคุมปริมาณ DEHP ในถุงมือสัมผัสอาหารในระดับที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและเป็นข้อมูลสำหรับผู้บริโภคในการเลือกใช้ถุงมือที่เหมาะสมสัมผัสอาหารต่อไป

1.2 ตรวจสอบเอกสาร

น้ำยางสดที่ได้จากการกรีดยางพารามีลักษณะเป็นของเหลวข้นคล้ายน้ำมัน มีอนุภาคขนาด 0.05-0.50 ไมครอน น้ำยางสดเป็นส่วนหนึ่งของไซโตพลาสซึมในท่อน้ำยาง สามารถทำให้ไหลออกจากท่อน้ำยางโดยวิธีการกรีดยางหรือเจาะ น้ำยางสดจะมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่า pH ประมาณ 6.5-7.0 ขนาดอนุภาคของเม็ดยางอยู่ระหว่าง 400-25,000 Å ความหนืดของน้ำยางมีค่าประมาณ 12-15 centipoises และอาจมีค่าแปรปรวนขึ้นอยู่กับปริมาณส่วนประกอบในน้ำยาง นอกจากนั้นยังขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุของต้นยาง ฤดูกาล และวิธีการกรีดยาง น้ำยางสดอยู่ในสภาวะแขวนลอยและมีประจุเป็นลบจึงผลัดกันตลอดเวลาทำให้คงสภาพอยู่ได้จนกว่าสภาพแวดล้อมและปัจจัยต่าง ๆ ที่มารบกวน เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด ซึ่งทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนของน้ำยาง แสดงสมบัติของน้ำยางสดดังตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 ส่วนประกอบของน้ำยางสด

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	27-48
เนื้อยางแห้ง	25-45
โปรตีน	1-1.5
เรซิน	1-2.5
ซีเล้า	1
น้ำตาล	1
น้ำ	ส่วนที่เหลือจนครบ 100

(ที่มา: วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2549)

ยางเป็นวัสดุในกลุ่มพอลิเมอร์มีสมบัติเด่น คือ ความยืดหยุ่นมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “elastomers” แต่ยังมีจุดอ่อนเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะไปตามอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงโมเลกุลขยายตัวทำให้ยางนิ่มลงและโมเลกุลหดตัวเมื่ออุณหภูมิต่ำทำให้ยางแข็งขึ้น การเปลี่ยนแปลงลักษณะตามอุณหภูมิดังกล่าวทำให้ไม่สามารถใช้งานยางได้ในระดับอุตสาหกรรมและมีการศึกษาค้นคว้าอย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับสารเคมีที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพให้เหมาะสมกับการใช้งานได้มากขึ้น

1.2.1 สารเคมีสำหรับยาง

สารเคมีสำหรับยาง (rubber additives) หมายถึง สารเคมีต่าง ๆ ที่ผสมลงไปในยาง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตามที่ต้องการ ยางที่ผสมสารเคมีแล้วยังไม่อาจนำไปใช้งานได้ ต้องให้สารเคมีเหล่านั้นทำปฏิกิริยากับยางก่อนการให้สารเคมีเข้าทำปฏิกิริยากับยางสามารถเร่งด้วยการให้ความร้อน ยางที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยากับสารเคมีเรียกว่ายางไม่คงรูปหรือยางไม่เชื่อมโยง (green compounds หรือ uncured compounds) ส่วนยางที่เข้าทำปฏิกิริยากับสารเคมีแล้วเรียกว่ายางคงรูปหรือยางเชื่อมโยง (vulcanized rubbers หรือ cured rubbers) การที่ต้องมีการผสมยางกับสารเคมีเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องบางประการเนื่องจากยางมีสมบัติเป็นทั้งพลาสติกและอีลาสติก สมบัติเป็นพลาสติก คือ ความสามารถที่ยางพยายามรักษารูปร่างเดิมก่อนที่เกิดการเปลี่ยนไปตามแรงกระทำ การที่ยางมีสมบัติเป็นทั้งพลาสติกและอีลาสติกนี้ทำให้ไม่สามารถนำยางไปใช้งานได้โดยตรง เราสามารถแบ่งสมบัติของยางดังนี้

- ยางเป็นเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) ที่อุณหภูมิต่ำยางมีความแข็งกระด้างแต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นยางมีความนิ่มนิ่ม การมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกทำให้การใช้งานของยางอยู่ในช่วงอุณหภูมิจำกัด ยางมีความแข็งแรงต่ำ มีความต้านทานต่อแรงดึงต่ำและมีความต้านทานต่อการสึกหรอต่ำ
- ยางสามารถละลายได้ง่ายในตัวทำละลายหลายชนิด

1.2.2 กระบวนการแปรรูปยาง

ในยางดิบที่ยังไม่ได้ผสมกับสารเคมีจะมีความเหนียวและมีความยืดหยุ่นของส่วนประกอบที่อยู่ในยางดิบและทำให้ยากในการนำไปผ่านกระบวนการต่าง ๆ เช่น การรีดยางให้เป็นแผ่นเรียบจากเครื่องรีดกึ่ง (calender) หรือการทำท่อยางหรือเส้นยางจากเครื่องอัดรีด (extruder) เป็นต้น เมื่อมีการผสมสารเคมีที่เหมาะสมลงในยางจะทำให้ยางมีคุณสมบัติดังนี้

- ทำให้ยางมีช่วงอุณหภูมิของการใช้งานกว้างขึ้น
- ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยเปลี่ยนจากอ่อนไปจนถึงผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถในการทนความร้อน เช่น ขวดใส่น้ำร้อนและผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงมากที่สุด เช่น เปลือกหุ้มหม้อเบตเตอรี
- เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต ถ้าใช้เนื้อยางอย่างเดียวจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ถ้าสามารถผสมสารอื่นที่มีราคาถูกลงไป เช่น เขม่าดำ (carbon black) เคลย์ หรือดินขาว (clay) จะทำให้ลดต้นทุนการผลิตลง

1.2.3 สารที่ใช้ผสมยาง

สารที่ใช้ผสมในยางเพื่อการผลิตวัสดุยางสำเร็จรูปจำแนกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. สารทำให้ยางคงรูปหรือสารเชื่อมโยง (vulcanizing agents) เช่น กำมะถัน สารประเภทที่มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบและสารประเภทเปอร์ออกไซด์
2. สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (activators) คือ สารเคมีที่ใส่ในยางเพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาให้เกิดช้า ปานกลาง หรือเร็ว
3. สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง (accelerators) เช่น กรดสเทียริกและซิงค์ออกไซด์
4. สารตัวเติม (fillers) ได้แก่ เคลย์ ซิลิกา แคลเซียมคาร์บอเนตและเขม่าดำ เป็นต้น
5. สารช่วยในการแปรรูปยางหรือพลาสติกไซเซอร์ (plasticizers) เช่น สารทำให้ยางนิ่มโดยทางเคมีและสารที่ทำให้ยางนิ่มทางกายภาพ
6. สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (protective agents) เช่น สารต้านทานปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidants) และสารต้านทานปฏิกิริยาไอโซน (antiozonants)
7. สารเคมีอื่น ๆ (miscellaneous ingredients) ได้แก่ สารที่ทำให้เกิดสี (colorant) สารที่ทำให้เกิดฟอง (blowing agents) และสารหน่วง (retarders) เป็นต้น

1.2.3.1 สารช่วยในการแปรรูปยางหรือพลาสติกไซเซอร์

สารพลาสติกไซเซอร์ที่ใส่ในกระบวนการแปรรูปยางมีคุณสมบัติดังนี้

- 1.) เพื่อช่วยในกระบวนการขึ้นรูปยาง เนื่องจากการเติมสารตัวเติมต่าง ๆ เข้าไปในยางทำให้ยางแข็งขึ้น สารพลาสติกไซเซอร์ทำให้ยางที่คงรูปแล้วและยางที่ยังไม่คงรูปอ่อนลงทำให้การไหลของยางสู่แม่พิมพ์ตลอดจนกระบวนการแปรรูปยางง่ายขึ้น
- 2.) เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติของยาง ยางที่ใส่สารพลาสติกไซเซอร์จะนิ่มขึ้น มีความแข็งลดลง มีความยืดหยุ่นสูงขึ้น
- 3.) เพื่อลดต้นทุน การใส่สารตัวเติมลงไปในยางปริมาณมาก ๆ ทำให้ยางแข็งจนไม่สามารถใส่สารตัวเติมลงไปได้อีกแต่ถ้าเติมสารพลาสติกไซเซอร์จะทำให้ยางนิ่มขึ้นยางมีความแข็งลดลงสามารถใส่สารตัวเติมลงได้อีก
- 4.) เพื่อการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ เช่น ยางไนไตรล์และยางคลอโรพรีน ถ้าหากใส่พลาสติกไซเซอร์ทำให้ยางมีความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำลงและสามารถขยายขอบเขตการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำลงได้อีก
- 5.) เพื่อลดพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปยาง การใส่สารพลาสติกไซเซอร์

ลงไปในยางทำให้ยางนุ่มขึ้น ดังนั้นพลังงานที่ต้องใช้ในการผสมยางรวมทั้งอุณหภูมิในการขึ้นรูปยางลดลง

1.2.3.2 ประเภทของพลาสติกไซเซอร์ที่ผสมในยาง

พลาสติกไซเซอร์ คือ สารที่ใส่เข้าไปในยางเพื่อช่วยในการแปรรูปยางได้ง่ายขึ้น โดยจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหน้าที่และปริมาณที่ใช้ เช่น

- ถ้าใช้ในปริมาณไม่เกิน 5 phr เรียกว่า สารช่วยในการผลิต (processing aid) คือ ช่วยในการแปรรูป ช่วยให้การผสมสารเคมีเข้าในยางทำได้ง่ายขึ้น

- ถ้าใช้ในปริมาณ 5-15 phr เรียกว่า สารทำให้นิ่ม (softener) คือ ใส่นำไปให้ยางนุ่มลงทั้งในขณะที่ยังไม่วัลคาไนซ์และวัลคาไนซ์แล้ว

- ถ้าใช้ในปริมาณเกิน 15 phr เรียกว่า สารเพิ่มเนื้อ (extender) กรณีนี้ใส่เพื่อลดต้นทุน

พลาสติกไซเซอร์สามารถแยกได้ทั้งด้านเคมีและกายภาพดังนี้

1.) สารที่ทำให้ยางนุ่มโดยทางเคมี (chemical plasticizers) เป็นสารเคมีที่เมื่อเข้าไปในยางในปริมาณน้อยทำให้ยางนุ่มและลดเวลาของการบดขย้างลงหรือเรียกว่า สารตัดสายโซ่หรือเปปไทเซอร์ (peptisers) ใช้กับยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ที่มีความหนืดสูงซึ่งมีโมเลกุลใหญ่และขึ้นรูปได้ยาก ปริมาณสารที่ใช้ประมาณ 2 phr มักใส่สารเคมีประเภทนี้ลงไปในยางเมื่อเริ่มต้นตรงการผสมในเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้งและปล่อยให้สารเคมีทำปฏิกิริยาเป็นระยะเวลาสั้นๆ ก่อนที่ใส่สารอื่นลงไป

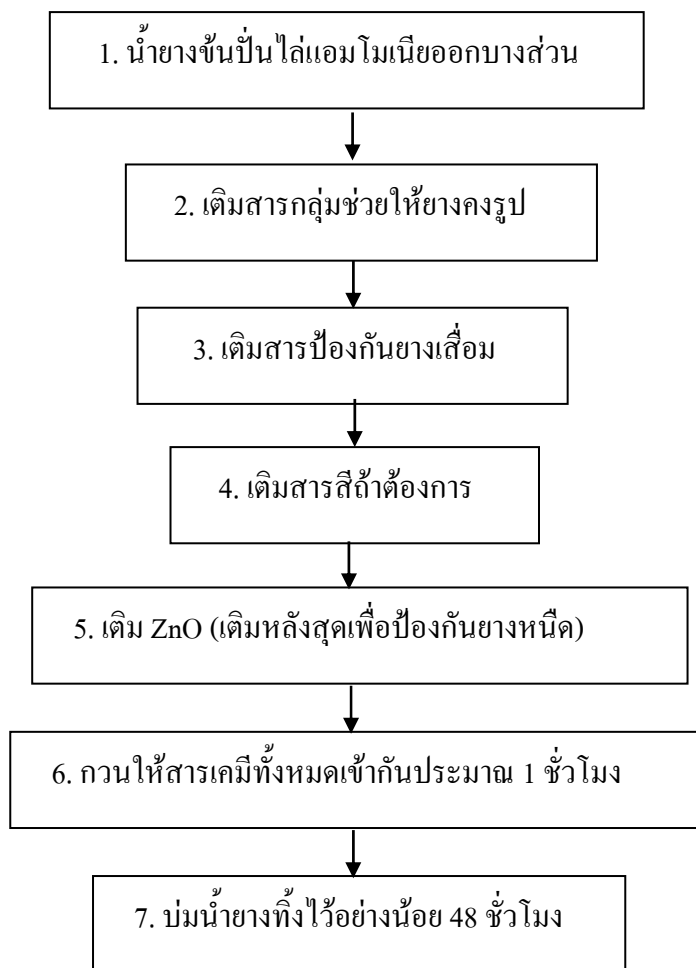
2.) สารที่ทำให้ยางนุ่มโดยทางกายภาพ (physical plasticizer) เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ที่ใส่เข้าไปแล้วทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นระหว่างโมเลกุลของยางทำให้โมเลกุลของยางเคลื่อนไหวได้ง่าย ยางนุ่มลง ขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น เป็นสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับยางและต้องเป็นสารที่ผสมเข้ากันได้ (compatible) กับยางและสารอื่นได้ พลาสติกไซเซอร์ที่สำคัญของสารชนิดนี้ได้แก่น้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันเอสเทอร์ (สุพิชญ์ ปัญญาวัฒน์พงศ์, 2545)

- น้ำมันปิโตรเลียม (petroleum oil) เป็นน้ำมันที่เข้ากันได้ดีกับยาง ทำให้ความหนืดของยางลดลงเป็นน้ำมันที่ไม่ระเหย ไม่ติดสีและสีไม่ตก น้ำมันชนิดนี้เมื่อใช้ทำให้ยางมีสมบัติตรงกันข้ามกับการใช้สารตัวเติม คือ มีผลให้ความแข็งแรงลดลง น้ำมันที่ใช้กับยางประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนในน้ำมันแตกต่างกันซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

- อะโรมาติก (aromatic) หมายถึง พวกน้ำมันมีพันธะคู่ มีสีคล้ำ ความหนืดสูงมากเท่สุภาชนะลำบาก แนฟธินิก (naphthenic) หมายถึง พวกน้ำมันที่มีโซ่กิ่งไม่มีพันธะคู่ มีสีขาวมีความหนืดต่ำและไหลได้ง่าย
- น้ำมันเอสเทอร์ (ester) เป็นเอสเทอร์ของกรดอินทรีย์หรือกรดฟอสฟอริก ใช้ในการผสมยางแทนน้ำมัน เช่น ยางไนไตรด์ ยางคลอโรพรีน น้ำมันชนิดนี้ลดความแข็งของยางลงได้มากกว่าน้ำมันปิโตรเลียม ตัวอย่างน้ำมันเอสเทอร์ เช่น กลุ่ม ซาเลต ได้แก่ DEHP (ได-2-เอทิลเฮกซิล) ซาเลต), DIOP (ได-2-ไอโซออกทิล ซาเลต) กลุ่ม อะดิเพท ได้แก่ DOA (ไดออกซิล อดิเพท)

1.2.3 กระบวนการผลิตถุงมือยาง

ในกระบวนการผลิตถุงมือยาง น้ำยางชั้นจะถูกเตรียมโดยผสมสารเคมีแม่พิมพ์รูปมือ ที่ผ่านการทำความสะอาดและเป่าแห้งแล้วจุ่มลงในน้ำยางผสมสารเคมีค้อย ๆ ยกแม่พิมพ์ขึ้นโดยพยายามให้น้ำยางจับตัวที่ผิวของแบบพิมพ์ถุงมือให้สม่ำเสมอแล้วจึงนำไปอบถอดออกจากพิมพ์ ล้างทำความสะอาดนำเข้าอบให้คงรูป การอบมีทั้งแบบใช้เครื่องทำความร้อนไฟฟ้าและแบบที่ใช้ไอน้ำ จากนั้นนำไปตรวจสอบคุณภาพและบรรจุเพื่อจัดจำหน่าย ลำดับการเติมสารเคมีผสมกับน้ำยางได้แสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนในการเติมสารเคมีในน้ำยาง
(ที่มา: สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2548)

1.2.3.1 ขั้นตอนการจุ่ม (dipping)

เมื่อบ่มน้ำยางผสมจนได้อายุที่เหมาะสมแล้ว ต่อไปก็เป็นขั้นตอนการจุ่ม โดยการนำพิมพ์ที่เตรียมไว้มาจุ่มในน้ำยางผสม พิมพ์ที่นิยมใช้ทำจากกระเบื้อง พิมพ์ของถุงมือยางมีผิวเรียบหรือผิวหยาบขึ้นอยู่กับชนิดของถุงมือที่จะผลิต ลักษณะผิวของพิมพ์จะมีผลต่อการเกาะขอบของสารช่วยจับตัว (coagulant) และการเกาะพิมพ์ของน้ำยางผสมปกติถุงมือที่บางมาก ๆ จะใช้พิมพ์ผิวเรียบ นอกจากนี้ควรทำความสะอาดพิมพ์ให้ดีเสียก่อนเพราะสิ่งสกปรกจะทำให้เกิดตำหนิต่าง ๆ บนถุงมือยางได้ เทคนิคการจุ่มน้ำยางมีหลายวิธีดังนี้

- 1.) การจุ่มน้ำยางโดยตรง
- 2.) การจุ่มโดยใช้สารช่วยจับตัว

3.) การจุ่มโดยใช้พิมพ์เรียบ

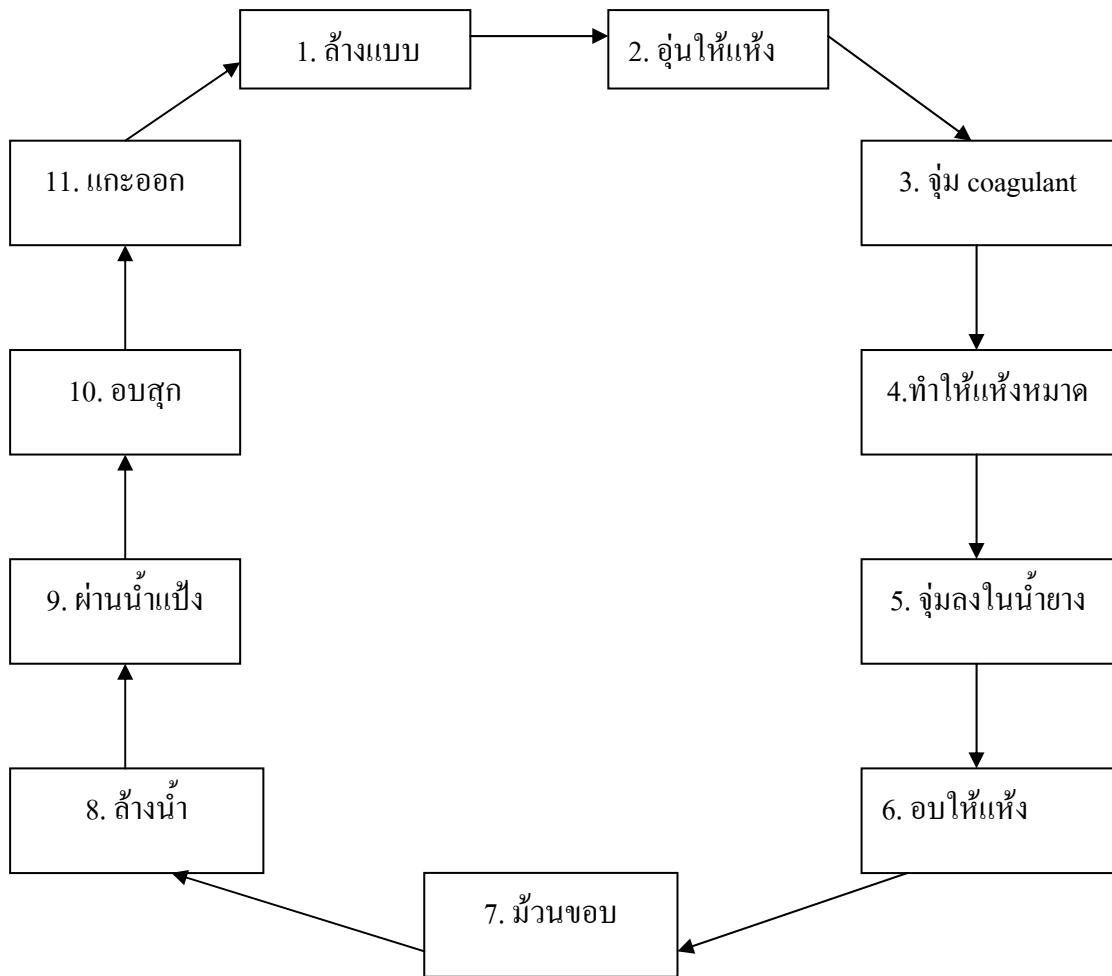
4.) การจุ่มโดยใช้ขั้วไฟฟ้าช่วย

เทคนิคการจุ่มของสารช่วยจับตัวจะเป็นที่นิยมและเหมาะสมสำหรับการผลิตถุงมือ โดยทั่วไปซึ่งเทคนิคการจุ่มโดยใช้สารช่วยจับตัวมีวิธีการ คือ จุ่มพิมพ์ลงในสารช่วยจับตัวแล้วจึงจุ่มพิมพ์ลงในน้ำยางผสม

สารที่ช่วยทำให้น้ำยางจับตัวและช่วยให้น้ำยางเกาะพิมพ์นี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามวิธีที่ใช้

1.) สารช่วยจับตัวเปียก (wet coagulant dipping) หมายถึง การใช้สารที่เป็นของเหลว เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก จุ่มพิมพ์ที่เปียกลงในน้ำยางผสมวิธีการนี้ไม่นิยมในการทำถุงมือ

2.) สารจับตัวแห้ง (dry coagulant dipping) หมายถึง การจุ่มพิมพ์ลงในสารช่วยจับตัว ที่นิยมใช้ คือ สารละลายของเกลือแคลเซียม เช่น แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมไนเตรต แล้วทิ้งให้พิมพ์แห้งหรือหมาดเสียก่อนจึงจุ่มลงในน้ำยางผสม สำหรับขั้นตอนการผลิตถุงมือ ยาง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ทิศทางการทำงานในกระบวนการจุ่ม
(ที่มา: ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์ และคณะ, 2541)

1.2.4 ประเภทของถุงมือยาง แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ 3 ประเภท ได้แก่

1.) ถุงมือยางสำหรับใช้ทางการแพทย์ (medical glove) ถูกกำหนดให้เป็นเครื่องมือทางการแพทย์ ดังนั้นในการผลิตและการส่งออกถุงมือยางประเภทนี้จึงต้องผ่านการตรวจสอบมาตรฐานจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) เพื่อให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพตามมาตรฐานซึ่งแบ่งย่อยเป็น

1.1) ถุงมือศัลยกรรม (surgical glove)

ใช้ในทางศัลยกรรมหรือผ่าตัด ถุงมือนี้มีเนื้อบาง แข็งแรง มีความยาวถึงข้อศอก ผ่านกรรมวิธีการฆ่าเชื้อ 100 % ด้วยรังสีแกมมา ใช้เพียงครั้งเดียวทิ้ง

1.2) ถุงมือตรวจโรค (examination glove) ใช้ในงานตรวจโรคทั่วไป มีลักษณะบางกระชับมือ สั้นแค่มือ ไม่มีขี้ผึ้งขี้ยา ใช้ครั้งเดียวทิ้ง ไม่มีการนำกลับมาใช้อีก

2) ถุงมือสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม (industrial glove) มีขนาดใหญ่ แข็งแรงเพื่อความทนทานต่องานในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานผลไม้กระป๋อง เป็นต้น

3) ถุงมือสำหรับใช้ในครัวเรือน (household glove) เป็นถุงมือที่แม่บ้านใช้ในการทำความสะอาด ซักล้าง มีขนาดใหญ่ แข็งแรง ทนทาน มีอายุการใช้งานนาน สวมใส่สบาย นุ่มมือ

1.2.5 คุณภาพของถุงมือยาง

โดยทั่วไปถุงมือยางแต่ละประเภท มีการตรวจสอบคุณภาพเข้มงวดแตกต่างกันไปในที่นี้จะกล่าวถึงคุณภาพของถุงมือยางชนิดตรวจโรคซึ่งมีการผลิตและบริโภคเป็นส่วนใหญ่ (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2539) ดังนี้

คุณลักษณะของถุงมือยางสำหรับตรวจโรค

1.) ลักษณะทั่วไป

1.1) ถุงมือยางสำหรับตรวจโรค เมื่อตรวจพินิจต้องปราศจากตำหนิที่เป็นผลเสียต่อการใช้งาน เช่น ฟองอากาศ สิ่งแปลกปลอมในเนื้อยาง ขอบถุงมือยางต้องไม่มีวนกลับขณะใช้งาน

1.2) การเจือสี สีที่ใช้ต้องมีความปลอดภัย

1.3) การแต่งกลิ่น กลิ่นที่ใช้ต้องไม่เป็นพิษและไม่ทำให้อายุการใช้งานของถุงมือยางลดลง

2.) ขนาดและมิติ

ถุงมือยางสำหรับตรวจโรคแบ่งออกเป็น 5 ขนาด ได้แก่ extra small หรือ XS, small หรือ S, medium หรือ M, large หรือ L และ extra large หรือ XL โดยเกณฑ์กำหนดขนาดมิติและความคลาดเคลื่อนเมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3578

3.) การรั่วซึม

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5151 ซึ่งเป็นการทดสอบการรั่วโดยใช้น้ำหรือทดสอบการรั่วแบบใช้ลมเป่า

4.) การปราศจากเชื้อทดสอบตามมาตรฐาน U.S. Pharmacopeia

5.) ปริมาณแป้งไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

6.) ปริมาณโปรตีนทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 5712 ไม่เกิน 200 ไมโครกรัม ต่อตารางเซนติเมตร

7.) ความทนต่อแรงดึง โมดูลัสและความยืดหยุ่น

เป็นการทดสอบแรงที่ใช้ดึงขึ้นตัวอย่างถุงมือและระยะที่ยืดได้ของถุงมือจนขาดทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 412-98 a

7.1) ความทนต่อแรงดึง (tensile strength) บ่งบอกความแข็งแรงของถุงมือ เป็นสมบัติที่มีความสำคัญในการระบุคุณภาพถุงมือหากค่าทนทานต่อแรงดึงสูงหมายถึง ถุงมือมีความแข็งแรง

7.2) ค่าโมดูลัส (modulus) บ่งบอกถึงความแข็งแต่นิ่มของถุงมือได้ โดยระยะยืด 500 % หมายถึง ค่าโมดูลัสสูงเนื่องจากใช้แรงในการยืดถุงมือมากนั่นคือ ถุงมือจะแข็งกว่าถุงมือที่มีค่าโมดูลัสต่ำ

7.3) ค่าการยืด ณ จุดขาด (elongation at break) หมายถึง ระยะยืดถุงมือที่สามารถยืดได้จนขาด

อย่างไรก็ตามต้องมีการทดสอบความทนต่อแรงดึง โมดูลัสและความยืดหยุ่นของถุงมือหลังการบ่มเร่งแบบใช้อากาศหมุนเวียนที่อุณหภูมิ 70 ± 2 °C เป็นเวลา 166 ± 2 hr หรือ 100 ± 2 °C เป็นเวลา 22 ± 0.3 hr ก่อนนำมาทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3578-05 ซึ่งจะ เป็นสมบัติของถุงมือหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิสูง

1.2.5.1 การเสื่อมสภาพของยาง (degradation)

การเสื่อมสภาพของยางสามารถเกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ได้หลายสาเหตุ สาเหตุหลักที่สำคัญ คือ เกิดจากปัจจัยภายในตัวของยางเองเนื่องจากยางมีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลจะทำให้ยางสามารถเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่ายโดยเฉพาะการใช้งานที่ต้องสัมผัสกับแสงแดด ออกซิเจน โอโซน ความร้อน หรือการมีโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การเสื่อมสภาพอาจสังเกตได้จากการแข็งตัว การอ่อนตัวรวมถึงการล้าตัวและการขยายตัวของรอยแตก โดยทั่วไปการเสื่อมสภาพจะเกิดได้เร็วยิ่งขึ้นที่อุณหภูมิสูง หรือในภาวะที่มีการปนเปื้อนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชัน เช่น โลหะทองแดง แมงกานีส เป็นต้น กลไกการเสื่อมสภาพของยางมีดังนี้

1.) การเสื่อมสภาพเนื่องจากออกซิเจน

ยางคงรูปที่มีพันธะคู่หลงเหลืออยู่ภายในโมเลกุลสามารถจับกับออกซิเจนในอากาศได้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นปฏิกิริยาถูกโซ่ที่เกิดผ่านอนุมูลอิสระ (free radical)

ผลิตภัณฑ์ชนิดแรกที่เกิดระหว่างปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H₂O₂) ซึ่งจะแตกตัวต่อไปให้อนุมูลอิสระที่พร้อมจะทำปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไป

2.) การเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อน (heat ageing)

ความร้อนเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพได้ เช่น ทำให้ยางเกิดการสลายตัวเชิงความร้อนของการเชื่อมโยงและการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของยางที่ว่องไวต่อความชื้นจะทำให้ยางอ่อนตัวและความร้อนจะทำให้ยางเชื่อมโยงต่อไปได้ (ทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล) ส่งผลทำให้ยางมีความแข็งเพิ่มขึ้น การทดสอบสมบัติความทนทานต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อนเพียงอย่างเดียวสามารถทำได้โดยการดำเนินการทดสอบในสถานะที่ไร้ออกซิเจน เช่น ทดสอบภายใต้สุญญากาศหรือภายใต้ก๊าซเฉื่อย

3.) การเสื่อมสภาพเนื่องจากโอโซน (ozone aging)

ยางคงรูปที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเมื่อใช้งานในสถานะที่ถูกยึดออกภายใต้สภาพอากาศทั่วไปจะเกิดรอยแตกขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งยางเกิดการเสียรูป ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเสียสภาพอันเนื่องมาจากโอโซน ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นในอากาศ เนื่องจากโอโซนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ กลไกการเกิดปฏิกิริยาเป็นดังนี้ คือ เมื่อโอโซนเข้าทำปฏิกิริยากับยางที่ตรงตำแหน่งพันธะคู่เกิดเป็น โอโซนไนด์ (ozonide) โอโซนไนด์ที่เกิดขึ้นจะไม่เสถียรและว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้เกิดการแตกตัว (พงษ์ธร แซ่อูย, 2548)

4.) ผลิตภัณฑ์ยางที่สัมผัสอาหาร (อรสา ภัทรไพบูลย์ชัย, 2547)

ผลิตภัณฑ์ยางที่สัมผัสอาหารแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ยางที่ต้องสัมผัสกับอาหารโดยตรงและตลอดเวลา เช่น ภาชนะบรรจุอาหารและฝาผนึกขวดแก้ว

กลุ่มที่ 2 ยางที่สัมผัสชั่วคราวกับอาหารที่เป็นของเหลว เช่น ยางท่อลำเลียงอาหาร ยางซีลสำหรับหม้อนึ่งความดัน ลินยางและจุกขวด

กลุ่มที่ 3 ยางที่สัมผัสกับน้ำมันและอาหารที่มีไขมัน ได้แก่ ท่อนม สายพานลำเลียงอาหาร

กลุ่มที่ 4 ยางสัมผัสกับน้ำดื่มและอาหารแห้ง เช่น สายพานลำเลียง ยางหุ้มลูกกอล์ฟ ยางส่วนประกอบของปั้มน้ำ

กลุ่มที่ 5 กลุ่มพิเศษ เช่น ของเล่นเด็ก ลูกโป่ง หัวนมยางกัดสำหรับเด็ก ฟันยาง นกมวย

5.) ชนิดและปริมาณสารเคมีที่ยอมรับได้ในผลิตภัณฑ์สัมผัสอาหารแต่ละกลุ่ม

- ยางธรรมชาติต้องเป็นชนิดสีจางและมีสารที่ถูกสกัดด้วย อะซีโตนไม่เกิน 3.5 %
 - สารตัวเติม สารตัวเติมอื่น ๆ ไม่มีข้อกำหนดแต่เขม่าดำมีข้อกำหนดดังนี้ ผลึกกันยางกลุ่มที่ 1 ใช้เขม่าดำได้ไม่เกิน 2.5 % กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 4 ใช้ได้ไม่จำกัดปริมาณ กลุ่มที่ 3 ใช้ได้ไม่เกิน 30 % และกลุ่มพิเศษห้ามใช้เขม่าดำเลย
 - น้ำมันควรเป็นน้ำมันพาราฟิน ผลึกกันยางกลุ่มที่ 1 ถึง 4 ใช้น้ำมันได้ไม่เกิน 5 % แต่กลุ่มพิเศษห้ามใช้
 - สารวัลคาไนซ์ กำมะถันใช้ได้ในทุกกลุ่ม
 - สารตัวเร่ง ผลึกกันยางกลุ่มที่ 1 และ 2 ห้ามใช้สารเร่งกลุ่มซัลฟิनाไมด์ แต่กลุ่มโซอาโซลและ ETU สามารถใช้ได้ถึง 0.05 % กลุ่มไซยูแรม โซโอคาร์บาเมตและกัวนีนินใช้ได้ถึง 1.2 % กลุ่มที่ 3 สามารถใช้ MBTS 1 % และ DPG 0.3 % กลุ่มที่ 4 สามารถใช้ได้ทุกตัวและกลุ่มพิเศษใช้ได้บางตัวในปริมาณน้อย
 - สารกระตุ้น ผลึกกันยางกลุ่มที่ 1 ถึง 4 ใช้ซิงค์ออกไซด์ได้ไม่เกิน 3 % และกลุ่มพิเศษใช้ซิงค์ออกไซด์ได้ไม่เกิน 1 %
 - สารหน่วง ผลึกกันยางทุกกลุ่มใช้ phthalic anhydride ได้ไม่เกิน 2.5 % ของผลึกกันยาง
 - สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ ผลึกกันยางทุกกลุ่มใช้ในกลุ่มฟินอลไม่เกิน 1 % ได้แก่ BHT, styrenated phenol (Antage SP), methylene bis-phenol
 - สารต้านทานปฏิกิริยาไอโซน ผลึกกันยางทุกกลุ่มใช้ซีฟี่พาราฟินและ microcrystalline wax ได้ไม่เกิน 3 % (ออร์สา ภัทรไพบุญชัย, 2547)

1.2.6 พลาสติก

พลาสติกหมายถึง สารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นใช้แทนวัสดุธรรมชาติบางชนิดเมื่อเย็นก็แข็งตัวเมื่อถูกความร้อนก็อ่อนตัว (thermoplastic) บางชนิดแข็งตัวถาวร พลาสติกมีแหล่งกำเนิดจาก 5 แหล่งใหญ่ ดังนี้

- 1.) แหล่งผลิตผลทางเกษตร เช่น เซลลูโลสไนเตรต (cellulose nitrate) เซลลูโลสอะซีเตต (cellulose acetate) เซลลูโลสอะซีเตต บิวไทเรต (cellulose acetate butyrate) เอธิลเซลลูโลส เคซีน (ethyl cellulose casein)
- 2.) แหล่งน้ำมันและถ่านหินเป็นแหล่งที่ใช้ผลิตพลาสติกชนิดต่าง ๆ ได้มากที่สุด เช่น พอลิสไตรีน (polystyrene) ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (phenol-formaldehyde) เมลานิน-

ฟอร์มาลดีไฮด์ (melamine formaldehyde) พอลิเอทิลีน (polyethylene) ยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ (urea-formaldehyde) ไนลอน (nylon) พอลิเอสเตอร์ (polyester) อะคริลิก (acrylic) และ อีพอกซี (epoxy) เป็นต้น

3.) แหล่งน้ำมันและลินแร่ เช่น พอลิไวนิลบิวทราล (polyvinyl butyral) พอลิไวนิลคาร์บาซอล (polyvinylcarbazole) พอลิไวนิลอะซีเตท, พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) ซิลิโคน (silicone) พอลิไวนิลอะซีเตทคลอไรด์ (polyvinyl acetate-chloride) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride) เป็นต้น

4.) ลินแร่มีน้อย เช่น แคลเซียม (calcium) อลูมิเนียมซิลิเกต (aluminium silicate)

1.2.6.1 ประเภทของพลาสติก

เราสามารถแบ่งประเภทของพลาสติกตามสมบัติทนความร้อนแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

1.) เทอร์โมพลาสติก (thermoplastic)

เทอร์โมพลาสติกมีโครงสร้างโพลิเมอร์เป็นแบบเส้นตรงหรือแบบกิ่งสั้น ๆ เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและหลอมเหลวเป็นของเหลวหนืดและเมื่อเย็นตัวลงก็จะแข็งตัวซึ่งการหลอมเหลวและเย็นตัวนี้สามารถเกิดกลับไปกลับมาได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพหรือโครงสร้างของโพลิเมอร์เปลี่ยนไปมากนัก พลาสติกประเภทนี้สามารถขึ้นรูปโดยการฉีดเข้าแม่พิมพ์ขณะที่พลาสติกถูกทำให้อ่อนตัวและไหลได้ด้วยความร้อนและความดันได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างตามต้องการ สามารถนำไปใช้งานได้ เมื่อใช้เสร็จแล้วสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้โดยการบดและหลอมด้วยความร้อนเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้อีกจึงเป็นที่นิยมนามาก พลาสติกในกลุ่มนี้ประกอบด้วย

1.1) พอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP) PP เป็นพลาสติกที่แข็งแรงทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทนต่อสารเคมี ความร้อน และน้ำมัน ทำให้มีสีสวยงามได้ ส่วนใหญ่นิยมนำมาทำภาชนะบรรจุอาหารเช่น กล่อง ขาม จาน ถัง ตะกร้า หรือกระบอกสำหรับใส่น้ำแข็งเย็น PP สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยนิยมผลิตเป็นกล่องแบตเตอรี่รถยนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น กันชน และกรวยสำหรับน้ำมัน

1.2) พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride, PVC) PVC มีลักษณะขุ่นทึบ เป็นพลาสติกแข็งใช้ทำท่อเช่น ท่อน้ำประปา แต่สามารถทำให้นิ่มโดยใส่สารพลาสติกไซเซอร์ ใช้ทำสายยางใส แผ่นฟิล์มสำหรับห่ออาหาร ม่านในห้องอาบน้ำ แผ่นกระเบื้องยาง แผ่น

พลาสติกปูโต๊ะ ขวดใส่แชมพูสระผม PVC เป็นพลาสติกที่มีสมบัติหลากหลาย สามารถนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์อื่นได้อีกมาก เช่น ประตู หน้าต่าง วงกบ และหนังเทียม PVC สามารถนำกลับมารีไซเคิล เพื่อผลิตท่อประปาสำหรับการเกษตร กรวยจราจร และเฟอร์นิเจอร์หรือม้านั่งพลาสติก

1.3) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) เป็นพลาสติกที่นิ่มสามารถยืดตัวได้มาก มีความใส นิยมนำมาทำเป็นฟิล์มสำหรับห่ออาหาร และห่อของ ถุงใส่ขนมปังและถุงเย็นสำหรับบรรจุอาหาร LDPE สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยใช้ผลิตเป็น ถุงมือพลาสติก ถุงดำสำหรับใส่ขยะ ถุงหูหิ้วหรือถังขยะ

1.4) พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (polyethylene terephthalate, PET) ทนแรงกระแทก ไม่เปราะแตกง่าย สามารถทำให้ใสมาก มองเห็นสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในจึงนิยมใช้บรรจุน้ำดื่ม น้ำมันพืช และมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซได้เป็นอย่างดี

2. เทอร์โมเซตติงพลาสติก (thermosetting plastic)

เทอร์โมเซตติงพลาสติกมีสมบัติพิเศษ คือ ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และทนต่อปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยาก คงรูปหลังผ่านความร้อน หรือแรงดันเพียงครั้งเดียว เมื่อเย็นจะแข็งมาก ทนความร้อนและความดัน ไม่อ่อนตัวและเปลี่ยนรูปร่างไม่ได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงก็จะแตกและไหม้เป็นขี้เถ้าสีดำ พลาสติกชนิดนี้โมเลกุลจะเชื่อมโยงเป็นร่างแหแข็งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจะแข็งแรงมากจึงไม่สามารถนำมาหลอมเหลวได้ กล่าว คือ เกิดการเชื่อมต่อกันไปมาระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลของพอลิเมอร์ (cross linking among polymer chains) เหตุนี้หลังจากพลาสติกเย็นจนแข็งตัวแล้วจะไม่สามารถทำให้อ่อนได้อีกโดยใช้ความร้อน หากแต่จะสลายตัวทันทีที่อุณหภูมิสูงและสามารถทนแรงอัดได้

1.2.6.2 ผลิตภัณฑ์พลาสติก

พลาสติกที่ผลิตจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน เรียกว่าวัตถุดิบพลาสติกมี 3 รูปแบบ คือ เป็นผง เป็นเม็ดและเป็นของเหลวชั้นคล้ายยางที่เรียกว่าเรซิน (resin) เป็นสารเคมีพื้นฐานที่ทำให้เกิดพลาสติกซึ่งมีหลายชนิดแต่ละชนิดมีคุณสมบัติและคุณภาพต่างกันเมื่อนำมาใช้ต้องเลือกให้เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่จะผลิตออกมา วัตถุดิบพลาสติกเหล่านี้จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป ผลิตภัณฑ์พลาสติกต่าง ๆ จะมีรูปร่างแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งาน กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกเหล่านี้มีหลายวิธีดังนี้

1.) การอัดแบบชนิดแรงอัด (compression molding) หมายถึง การทำงานพลาสติกโดยเติมพลาสติกลงในแบบเปิดแล้วใช้ความดันอัดปิดแม่พิมพ์พร้อมทั้งให้ความร้อนให้พลาสติกเข้าไปแทนที่ช่องว่างรูปทรงของชิ้นงาน วิธีการนี้ใช้ในการผลิตชิ้นงานเทอร์โมเซตติง เช่น

เมลามีน ฟีนอลิก ยูเรีย เป็นกรรมวิธีตั้งแต่แรกเริ่มโดยที่โมเลกุลเทอร์โมเซตติงจะเกาะตัวกันเป็นตาข่ายในขณะที่มีอุณหภูมิสูงแล้วทำการหล่อเย็นให้เทอร์โมพลาสติกแข็งตัว นอกจากนี้ยังใช้กับเทอร์โมพลาสติกได้บางชนิด มีโพลีไวนิล และโพลีสไตรีน ชนิดของผลิตภัณฑ์ เช่น ซ้อน ชาม จาน อุปกรณ์ไฟฟ้า ค้ามือจับเตารีด หูหม้อ หูกระทะ แผ่นเสียง เป็นต้น

2.) การอัดแบบชนิดฉีด (injection molding) หมายถึง กรรมวิธีผลิตโดยเริ่มจากการหลอมละลายพลาสติกและอัดพลาสติกเข้าไปในแม่พิมพ์ออกมาเป็นชิ้นงานสำเร็จรูปสามารถผลิตได้ปริมาณมากและรวดเร็ว นิยมใช้อย่างกว้างขวาง ใช้ทำชิ้นงานทั่วไป เช่น ถังน้ำ ตะกร้า ก่อง วิธีนี้ใช้กับพลาสติกจำพวกเทอร์โมพลาสติกเกือบทุกชนิด เช่น อะซีทัลอะคริลิก ฟลูออโรคาร์บอน พอลิเอไมด์ พอลิโอเลฟิน พอลีสไตรีน และโพลีไวนิล

3.) การอัดแบบชนิดเป่า (blow molding) มีดังนี้

3.1) ชนิดอัตรัด (extrusion blow molding) กรรมวิธีผลิตแบบนี้คัดแปลงจากแบบรีดโดยรีดพลาสติกหลอมละลายให้ลงมาเป็นท่อ (parison) เข้าไปในแม่พิมพ์ตอนล่าง แม่พิมพ์จะปิดพร้อมทั้งบีบปลายท่อให้ติดกันปลายท่ออีกด้านหนึ่งซึ่งจะถูกตัดขาด ท่อเป่าลมจะยึดตัวเข้าประกอกับรูตอนบนที่เปิดอยู่ ลมจะถูกอัดเข้าไป ท่อพลาสติกซึ่งยังอ่อนตัวอยู่จะถูกอากาศอัดไปแนบกับแม่พิมพ์ได้รูปร่างชิ้นงานตามต้องการแล้วจึงเปิดแม่พิมพ์เอาชิ้นงานออก ชนิดของพลาสติกที่ใช้กับกรรมวิธีนี้ได้แก่ พลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกทุกชนิดแต่พอลิเอทิลีนเป็นพลาสติกที่นิยมใช้มากที่สุดใช้ผลิตเป็นประเภทขวดพลาสติกบรรจุของเหลวซึ่งผลิตภัณฑ์ภายในกลวงมีเปลือกนอกบาง

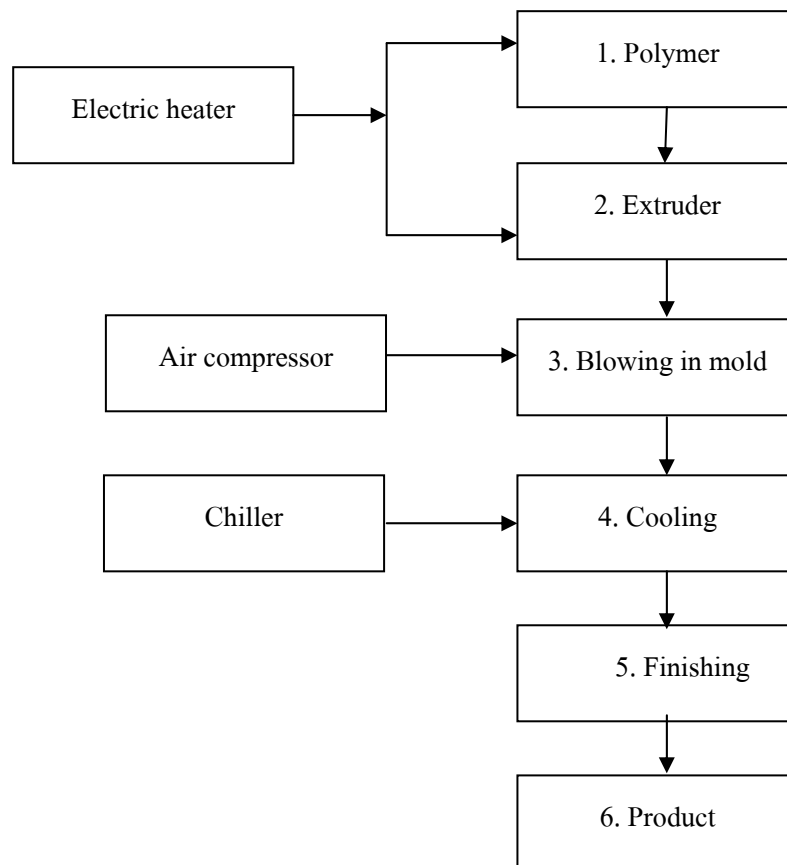
3.2) ชนิดฉีดเป่า (injection blow molding) ทำโดยการฉีดพลาสติกเป็นท่อ (parison) ก่อนแล้วจึงย้ายไปเป่าในแม่พิมพ์เป่าเพื่อให้ได้ชิ้นงานตามแบบ

4.) การอัดแบบชนิดอัตรัด (extrusion) หมายถึง การผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ยาวต่อเนื่องกันไม่รู้จบจากสารพลาสติกที่เป็นฝุ่นหรือเป็นเม็ด ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยวิธีนี้เช่น สายไฟฟ้า ท่อยาง ถุงพลาสติก รวมทั้งชิ้นงานที่เป็นแผ่นบาง เช่น ฝ้ายาง หรือฟิล์มพลาสติก กรรมวิธีนี้สามารถผลิตได้ปริมาณชิ้นงานมากกว่าแบบฉีดในระยะเวลาที่เท่า ๆ กันแต่พลาสติกที่ใช้ในงานอัตรัดมีข้อจำกัด คือ พลาสติกนั้นเมื่ออ่อนตัวต้องมีความหนืดสูงทั้งนี้เมื่อผ่านหัวได (die) ออกมาจะต้องทรงรูปได้ชั่วระยะเวลาหนึ่งก่อนเข้าไปยังอุปกรณ์ปรับขนาดและระบบหล่อเย็น ชนิดของพลาสติกที่ใช้เป็นพวกเทอร์โมพลาสติก เช่น พีวีซี สไตรีน พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน อะคริลิก

5.) การอัดแบบชนิดรีด (calendering) หมายถึง กรรมวิธีหลอมเม็ดพลาสติกผ่านหัวไคร่องกว้าง แล้วไปผ่านลูกกลิ้งรีดให้เป็นแผ่น (อุตสาหกรรมปิโตรเคมีและพลาสติก, 2532)

1.2.6.3 กระบวนการผลิตถุงมือพลาสติก

Blow molding เป็นการเป่าขึ้นรูปถุงมือพลาสติก โดยเริ่มจากวัตถุดิบ คือ เม็ดพลาสติกชนิด PVC, PP, PE เป็นต้น นำเม็ดพลาสติกมาหลอมใน extruder โดยใช้ความร้อนจาก heater ไฟฟ้า จากนั้นสกรูจะอัดพลาสติกเหลวโดยใช้หลักการขับเคลื่อนสกรูและการปิด-เปิด mold ด้วยระบบ hydraulics ส่งผ่านหัว die head ออกมาเป็นลักษณะทรงกระบอก (parison) จากนั้น mold จะเคลื่อนตัวมาประกบแล้วเป่าลมโดยใช้อากาศอัดเพื่อให้เนื้อพลาสติกขยายเต็มตาม mold เมื่อเต็ม mold แล้วจะมีน้ำเย็นจากเครื่อง chiller ไหลมาหล่อเย็นเพื่อให้ชิ้นงานแข็งตัวคงรูปตามแม่พิมพ์ที่ต้องการ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยการ stretch blow molding
(ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2549)

1.2.6.4 ผลของพลาสติกไซเซอร์ต่อพลาสติก

การเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซอร์ลงในพอลิเมอร์จะมีผลทำให้ความแข็งของพอลิเมอร์นั้นลดลง ผลึกมักจะถูกทำให้ نرمหรือยืดหยุ่นดีขึ้น การเลือกพลาสติกไซเซอร์ หลักในการเลือกใช้พลาสติกไซเซอร์ชนิดหนึ่ง ๆ ร่วมกับพอลิเมอร์ตัวใดตัวหนึ่งนั้นอาจมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้

- การเข้ากันได้กับวัสดุที่ทำการผสม
- มีค่าการระเหยต่ำ
- ทำให้วัสดุที่ผสมมีความนิ่มมากขึ้น
- เกือบต่อปฏิกิริยาเคมี ปราศจากกลิ่น และ รส และไม่เป็นพิษ
- ด้านทานการเคลื่อนย้ายออกจากวัสดุที่ผสม
- เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ ไม่ไวไฟ
- ด้านทานต่อการถูกย่อยสลายโดยแสงและความร้อนได้
- มีราคาถูก

1.2.6.5 สมบัติของพลาสติกไซเซอร์

1.) ทฤษฎีการหล่อลื่น (lubrication theory)

พลาสติกไซเซอร์จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น โดยโมเลกุลของพลาสติกไซเซอร์จะแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ไม่เกิดพันธะกับพอลิเมอร์ ทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดต่ำลง ดังนั้นพอลิเมอร์ที่แข็งคล้ายแก้วจะเปลี่ยนสภาพเป็นยืดหยุ่นและอ่อนนิ่ม

2.) ทฤษฎีการละลาย (solvent theory)

พลาสติกไซเซอร์เป็นของเหลวที่มีจุดเดือดสูงสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ได้ดีและติดแน่นอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์โดยไม่ให้สูญหายไปได้ง่าย นอกจากนี้พลาสติกไซเซอร์ไม่ควรมีแรงดึงดูดกับพอลิเมอร์มากเกินไปเพราะจะทำให้โมเลกุลของพลาสติกไซเซอร์ติดแน่นกับโมเลกุลของพอลิเมอร์และจะกลับทำให้สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นผลเช่นนี้เรียกว่า แอนติ-พลาสติกไซเซชัน (anti-plasticization) ดังนั้น โมเลกุลของพลาสติกไซเซอร์ควรเคลื่อนที่ได้ในพอลิเมอร์แต่ไม่ควรเคลื่อนมารวมกันที่ผิวหน้าของพอลิเมอร์

3.) ทฤษฎีความมีขั้ว (polarity theory)

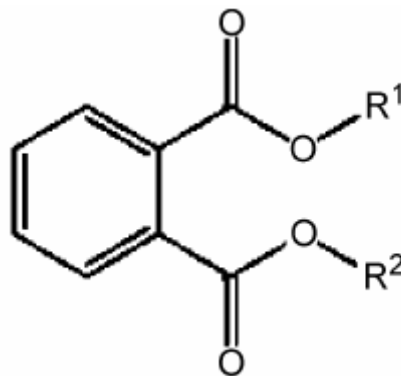
จากทฤษฎีความมีขั้ว แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพลาสติกไซเซอร์ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับพลาสติกไซเซอร์จะต้องสมดุลกันเป็นอย่างดีเพื่อจะทำให้เจลที่ได้มี

เสถียรภาพสูง ดังนั้นพลาสติกไซเซออร์จะต้องประกอบด้วยหมู่มีขั้วและหมู่ไม่มีขั้วที่สอดคล้องกับความมีขั้วของพอลิเมอร์โดยสภาพมีขั้วหรือความเป็นพอลาร์ของพลาสติกไซเซออร์จะขึ้นอยู่กับหมู่ที่ประกอบด้วย ออกซิเจน ฟอสฟอรัสและซัลเฟอร์ (อุตสาหกรรมปิโตรเคมีและพลาสติก, 2532)

1.2.7 ชาติเลต (Phthalate)

ชาติเลต ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติกโดยใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์และใช้เป็นสเตบิไลเซอร์ สารหล่อลื่น อิมัลซิฟายเออร์ เป็นต้น สารกลุ่ม ชาติเลต ที่นิยมใช้กันมาก คือ ได-(2-เอทิลเฮกซิล) ชาติเลต (DEHP) ไดโซดีซิล ชาติเลต (DIDP) และ ไดโซโนนิล ชาติเลต (DINP) แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ DEHP เนื่องจากมีราคาถูก ทำให้ช่วยประหยัดต้นทุนการผลิต ชาติเลต จะอยู่ในพลาสติกอ่อน (soft vinyl product) ซึ่งเป็นพลาสติกที่ทำจาก PVC จะมี ชาติเลต ผสมอยู่ประมาณ 20-40 % โดยน้ำหนักและพลาสติกประเภทนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ถังมือ ขวดน้ำ ประเก็นในขวดอาหาร เป็นต้น

สารประกอบกลุ่มชาติเลตเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทเอสเทอร์มีสมบัติในการละลายน้ำได้น้อยแต่จะละลายในน้ำมันได้ดีและมีการระเหยที่ต่ำมีขั้วเล็กน้อยที่หมู่คาร์บอกซิล ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 สูตรโครงสร้างโดยทั่วไปของสารกลุ่มชาติเลต

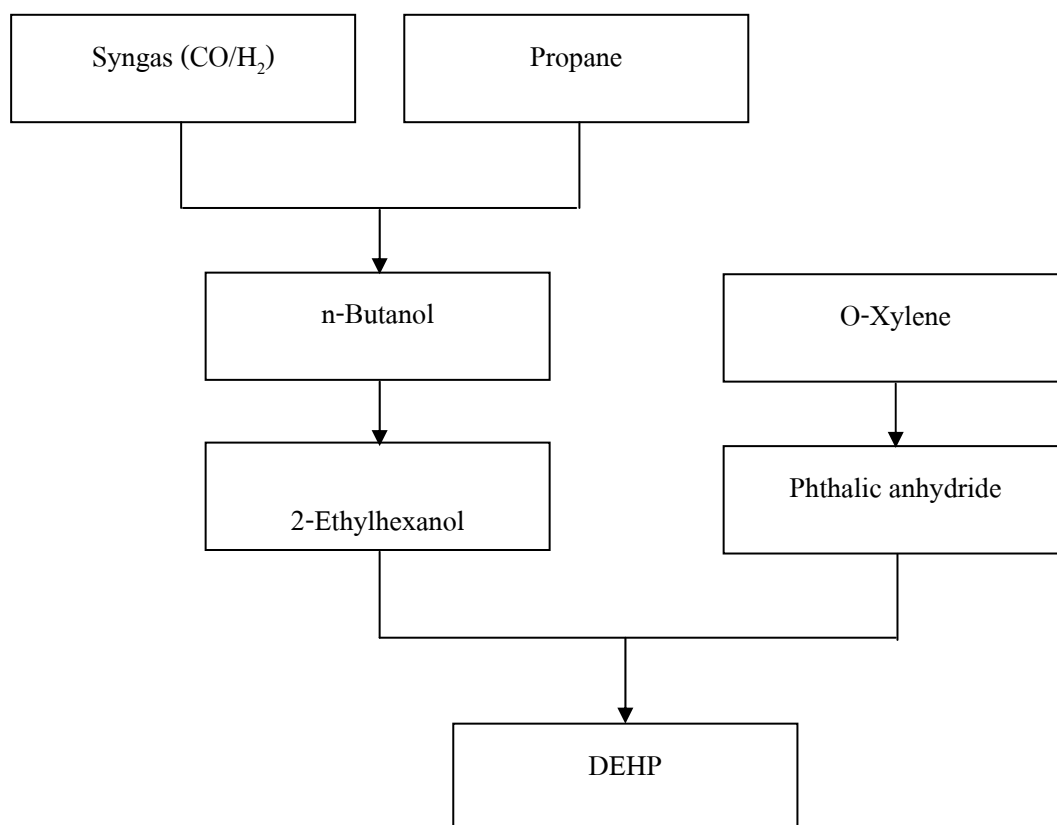
(ที่มา: Cgunfowokan *et al.*, 2005)

สารประกอบกลุ่มชาติเลตสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางการกิน ทางหายใจและซึมผ่านทางผิวหนัง จากการศึกษาความเป็นพิษของ DEHP ในหนูเป็นระยะเวลา 1 ปี ที่ความเข้มข้น

60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน พบว่าไม่มีการเกิดพิษแบบเฉียบพลันแต่จะเกิดความเป็นพิษแบบพิษเรื้อรัง (Gesler, 2009)

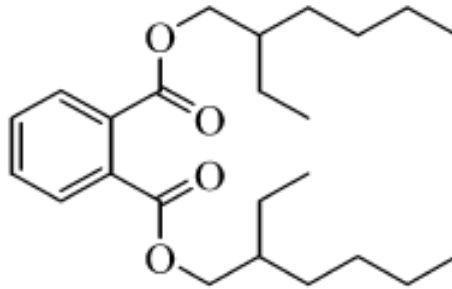
1.2.8 ได-(2-เอทิลเฮกซิล) ธาเลต (DEHP)

DEHP มีสมบัติในการละลายน้ำได้เล็กน้อยแต่จะละลายในน้ำมันได้ดีและมีการระเหยที่ต่ำ มีส่วนผสมที่หมู่คาร์บอกซิล DEHP สามารถสังเคราะห์ได้โดยใช้ 2-เอทิลเฮกซานอล และธาลิกแอนไฮดรายด์ ที่อุณหภูมิและความดันสูง ขั้นตอนการสังเคราะห์ DEHP ดังรูปที่ 5 และได้แสดงสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 ขั้นตอนการสังเคราะห์ DEHP

(ที่มา: Koch *et al.*, 2006)



รูปที่ 6 สูตร โครงสร้างของ DEHP

(ที่มา: European Commission, 2008)

เนื่องจาก DEHP มีความคงทนในสิ่งแวดล้อมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางการกินทางการหายใจและซึมผ่านทางผิวหนังได้ซึ่งร่างกายสามารถรับสัมผัสสารนี้ได้หลายทางจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งสมบัติของ DEHP นั้นจะมีสูตรโมเลกุล $C_{24}H_{38}O_4$ มีน้ำหนักโมเลกุล 390.62 กรัมต่อโมล สถานะของเหลวใสไม่มีสี จะมีกลิ่น เอมีนอ่อน ๆ จุดหลอมเหลวและจุดเยือกแข็งอยู่ที่ $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือ $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีจุดเดือดที่ $385\text{ }^{\circ}\text{C}$ ความหนาแน่น 0.98 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ และสามารถละลายน้ำได้ที่ 3 ไมโครกรัมต่อลิตร (European Commission, 2008)

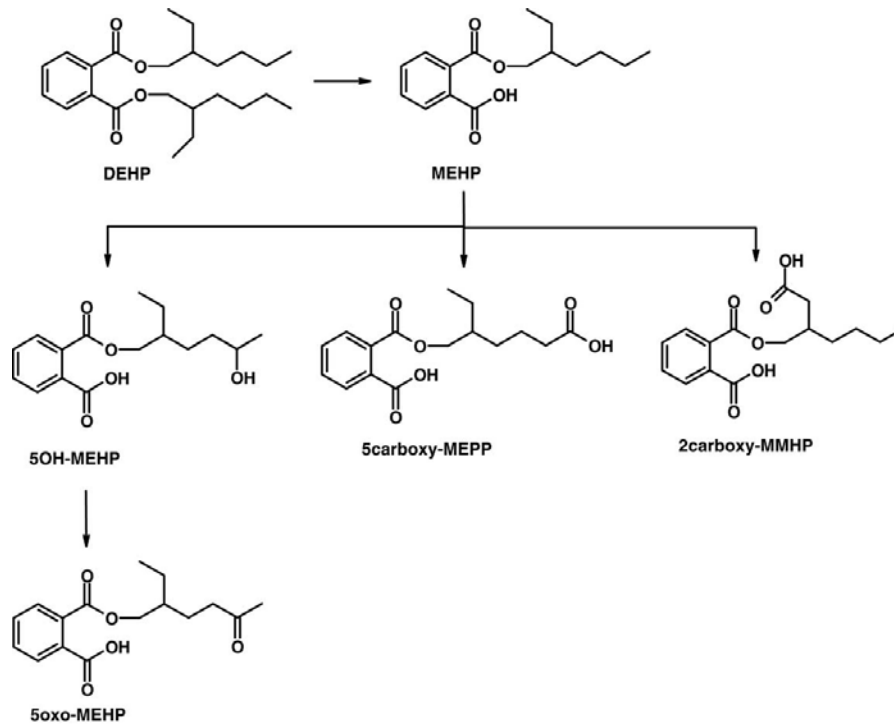
เมื่อได้รับสาร DEHP เข้าสู่ร่างกายจะมีผลต่อดับ ไต มีฤทธิ์ไปรบกวนฮอร์โมนเพศทั้งในเพศหญิงและเพศชายแต่จะมีผลต่อเพศชายมากกว่าซึ่งทำให้มีโอกาสเป็นหมันได้ แสดงผลการได้รับ DEHP ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีผลต่อสัตว์ทดลองดังตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-2 ปริมาณ DEHP ที่มีผลกระทบต่อสัตว์ทดลอง

ปริมาณ DEHP ที่ได้รับ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ผลกระทบ	% สัตว์ทดลองที่ได้รับ ผลกระทบ	Relative Potency
750	น้ำหนักทารกแรกเกิด ลดลง	15	1.0
750	เกิดการเปลี่ยนแปลง ฮอร์โมน	35	1.0
750	ลูกอ๊นท์มีน้ำหนัก ลดลง	30	1.0
750	อวัยวะสืบพันธุ์ในเพศ ผู้มีการหดตัวสั้นลง	2.45	1.0
750	มีผลต่อเพศของทารก แรกเกิด	88	1.0
750	การเปิดของรูเปิดท่อ ปัสสาวะผิดปกติ	67	1.0
750	การพัฒนาอวัยวะไม่ สมบูรณ์	90	1.0

(ที่มา: Digangi *et al.*, 2002)

เนื่องจาก DEHP เป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์จึงเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้เมื่อเจอความร้อนเมื่อ DEHP ถูกไฮโดรไลซิสแล้วจะสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นสารชนิดต่างๆได้ ความเป็นพิษที่ตรวจพบส่วนมากจะเกิดจากสารประกอบของ MEHP เป็นสารเมแทบอลิต์ของสาร DEHP เพราะสารประกอบของ MEHP มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายโซ่ที่สั้นลงทำให้เกิดความเป็นพิษที่สูงขึ้นและสาร MEHP สามารถทำลายกับอวัยวะได้และลดการผลิตเชื้ออสุจิจึงทำให้เกิดการเป็นหมันในผู้ชาย (Duty *et al.*, 2005) มีฤทธิ์ไปขัดขวางการทำงานของต่อมไร้ท่อการเมแทบอลิซึมของ DEHP ได้แสดงไว้ในรูปที่ 7

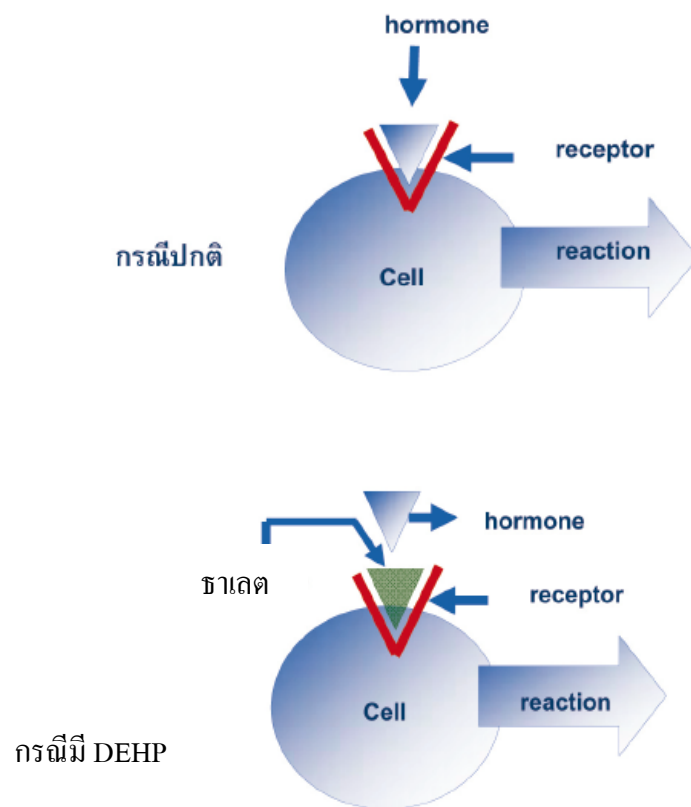


รูปที่ 7 เส้นทางการเกิดเมแทบอลิต์ของ DEHP

(ที่มา: Preuss *et al.*, 2005)

ชาเลตมีผลต่อฮอร์โมน โดยชาเลตจะเข้าไปรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ ได้แก่ การทำปฏิกิริยากับตัวรับฮอร์โมน (interaction with hormone receptors) เนื่องจากเมแทบอลิต์ของชาเลตมีสมบัติคล้ายกับฮอร์โมนสามารถจับกับตัวรับฮอร์โมนได้ทำให้ความสมดุลของฮอร์โมนในร่างกายมีความผิดปกติไป นอกจากนี้ยังมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของฮอร์โมน (effect on hormone metabolism) โดยปกติฮอร์โมนมีการสังเคราะห์และเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเพื่อรักษาระดับของฮอร์โมนในร่างกายทำให้เกิดความสมดุลแต่ชาเลตทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงส่งผลกระทบต่อจำนวนตัวรับฮอร์โมนซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนตัวรับฮอร์โมนและยังมีผลต่อการสังเคราะห์ การเก็บ การหลั่ง รวมทั้งการขนส่งฮอร์โมนและการกำจัดฮอร์โมนเพื่อความสมดุลของร่างกาย ตัวอย่าง เช่น ชาเลตจะจับกับโปรตีนทำให้การขนส่งฮอร์โมนไทรอยด์ (thyroid hormone) กลูโคคอร์ติคอยด์ (glucocorticoids) ถูกขนส่งไปยังอวัยวะเป้าหมายเกิดความไม่สมดุลสำหรับอันตรายจากการขัดขวางการทำงานของต่อมไร้ท่อนั้นความผิดปกติส่วนใหญ่มีผลกระทบในระบบสืบพันธุ์ จากความไม่สมดุลของฮอร์โมนเนื่องจากสภาวะบางอย่างที่แสดงถึงวัยเจริญพันธุ์ผิดปกติจากการสร้างสาร วิเทลโลจีนิ (vitellogenin) ในไข่แดงไม่สมดุลจะทำให้เพิ่มอัตราการแท้ง

ตามธรรมชาติและเพิ่มอัตราความผิดปกติของการพัฒนาระบบสืบพันธุ์ในเพศชาย การขัดขวางการทำงานของฮอร์โมนแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 บทบาทของ DEHP ในการขัดขวางการทำงานของฮอร์โมน
(ที่มา: ดัดแปลงจาก Koch *et al.*, 2006)

1.2.9 การปนเปื้อน DEHP ในอาหาร

ธาเลตถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางทั้งในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ เช่นพลาสติกฟิล์มห่ออาหาร บรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ และเป็นพลาสติกไซเซอรในพลาสติก PVC ส่วนในอุตสาหกรรมยางก็ได้ใช้ DEHP เป็นพลาสติกไซเซอรเป็นองค์ประกอบมีชื่อว่า “Vulkanol 81” ใช้เพื่อให้ยางไม่หดตัวเมื่ออุณหภูมิต่ำลง (Tan, 2010) นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบของเครื่องใช้ในบ้าน เช่น ชุดรับแขก พื้นบ้าน ชิ้นส่วนรถยนต์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องสำอาง เป็นต้น (Nanni *et al.*, 2010) จะเห็นว่าในชีวิตประจำวันเราได้สัมผัสธาเลตตลอดเวลา ธาเลตสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทางการหายใจ การ

กินและการสัมผัสผิวหนังในรูปแบบสารละลาย มีการใช้ชาเลตเป็นจำนวนมากและสะสมในสิ่งแวดล้อมเนื่องจากชาเลตเป็นสารที่คงทนในสิ่งแวดล้อมจึงสามารถสะสมในสิ่งแวดล้อมและถ่ายทอดในระบบห่วงโซ่อาหารได้ ชาเลตที่สะสมในสิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมาก คือ DEHP เนื่องจากการนำมาใช้เป็นจำนวนมากและสามารถสะสมในสายใยอาหารได้ (Frank *et al.*, 2003) การสะสมในสายใยอาหารนั้นเมื่อผู้บริโภคอยู่ในลำดับสูงขึ้น การสะสมของสาร DEHP ก็จะสามารถสะสมได้เพิ่มขึ้นตามลำดับขั้นของผู้บริโภคเช่นกัน สำหรับการสะสม DEHP ในตะกอนดินนั้น จากการศึกษาพบว่า DEHP สามารถดูดซับบนผิวของตะกอนดินได้อย่างรวดเร็ว มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0039-0.0056 ต่อนาที่ และมีการดูดซับตะกอนได้ในปริมาณสูง (สัญญา สิริวิทยาปกรณ์, 2549) ซึ่งการดูดซับที่ดีและเร็วนั้นส่งผลกระทบต่อ การแพร่กระจายและการสะสม DEHP ในแหล่งน้ำและเข้าสู่ระบบห่วงโซ่อาหารและถ่ายทอดมายังผู้บริโภคสูงสุดนั้นคือ มนุษย์ต่อไป

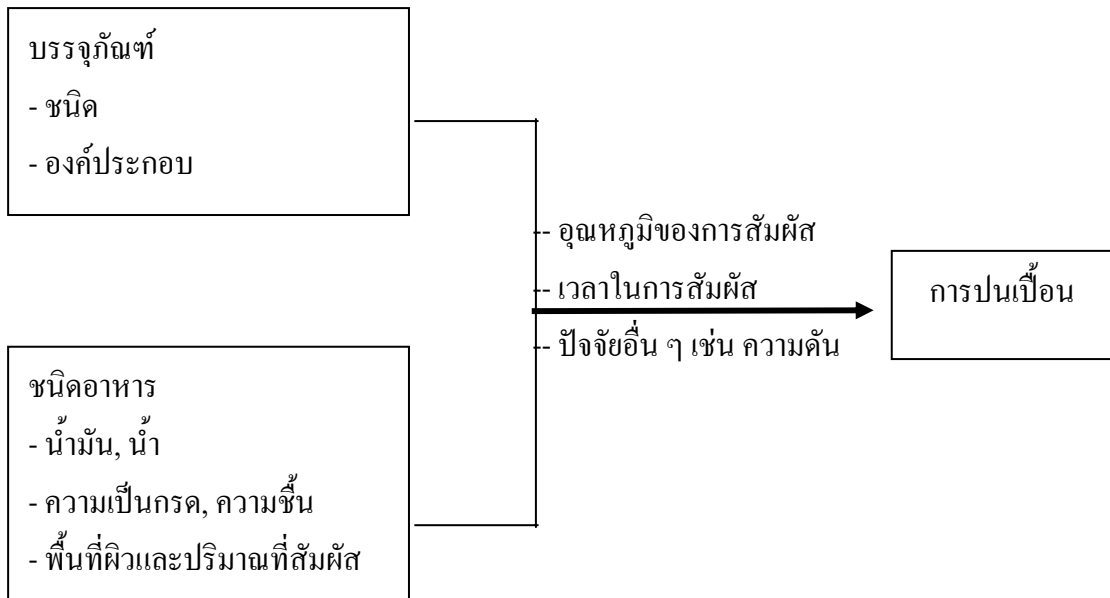
เมื่อมีการสะสม DEHP ในสิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมากทั้งในดิน ในน้ำ ในอากาศ จึงมีการสะสม DEHP ในอาหาร จากการวิเคราะห์อาหารหลายชนิดตามธรรมชาติพบว่ามี DEHP สะสมอยู่ดังตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1-3 ค่าเฉลี่ย DEHP ที่ปนเปื้อนในอาหาร (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด)

อาหาร	ค่าเฉลี่ยและช่วงความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อกรัม)
เครื่องดื่ม	0.043 (0.006-1.7)
อาหารเข้าจากที่ทำจากธัญพืช	0.05 (0.02-1.7)
ผลิตภัณฑ์นม	0.96 (0.059-16.8)
ไข่ไก่	0.12 (< 0.01-0.6)
ไขมันและน้ำมัน	2.4 (0.7-11.9)
ปลา	0.001
ผลไม้	0.02 (< 0.02-0.11)
ธัญพืช	0.14 (< 0.1-1.5)
เนื้อสด	0.05 (< 0.005-0.8)
นม	0.035 (< 0.005 -1.4)
ถั่ว	0.045 (< 0.08 – 0.8)
ผักชนิดต่าง ๆ	0.48 (< 0.0098-2.2)

(ที่มา: Clark *et al.*, 2003)

การสะสม DEHP ในสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยที่สำคัญในการได้รับ DEHP เข้าสู่ร่างกายจากการรับประทานอาหาร นอกจากนี้ก็มาจากการปนเปื้อนในกระบวนการผลิตและการปนเปื้อนจากบรรจุภัณฑ์ที่เกิดจากการเกิดไมเกรชัน (migration) หรือการเคลื่อนย้ายของอนุภาคหรือโมเลกุล ซึ่งเป็นองค์ประกอบของบรรจุภัณฑ์คู่อาหาร ปัจจัยของการเกิดไมเกรชันขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของบรรจุภัณฑ์ ชนิดและองค์ประกอบของอาหารและปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ อุณหภูมิของการสัมผัส ระยะเวลาในการสัมผัส เป็นต้น (รูปที่ 9)



รูปที่ 9 ปัจจัยในการเกิดไมเกรชั่น

(ที่มา: ทิมวิชัยการปนเปื้อนจากบรรพจน์อาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2002)

นอกจากบรรพจน์ที่อาหารแล้วในปัจจุบันยังนิยมใช้ถุงมือยางและถุงมือพลาสติกสัมผัสอาหารเพื่อป้องกันแบคทีเรียที่มาจากมนุษย์และสิ่งแวดล้อมสู่อาหาร ถุงมือยางและถุงมือพลาสติกจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร จากการศึกษาการปนเปื้อนของ DEHP ในอาหาร โดยใช้ถุงมือ PVC ในการสัมผัสอาหาร พบว่าในอาหารก่อนการใช้ถุงมือพลาสติก PVC มี DEHP ปนเปื้อน 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และหลังจากการใช้ถุงมือพลาสติก PVC ประกอบอาหารพบว่ามี DEHP เพิ่มขึ้นเป็น 18.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

จากการควบคุมมาตรฐานทางด้านอาหารของสหภาพยุโรปได้บังคับใช้กฎระเบียบด้านวัสดุและสิ่งของที่สัมผัสอาหาร (food contact materials) เพื่อป้องกันสารอันตรายหลุดลอกออกจากวัสดุที่สัมผัสอาหารและปนเปื้อนสู่อาหาร ปัจจุบัน EU ได้กำหนดค่า tolerable daily intake (TDI) ของ 3 ชนิดไว้ ดังนี้

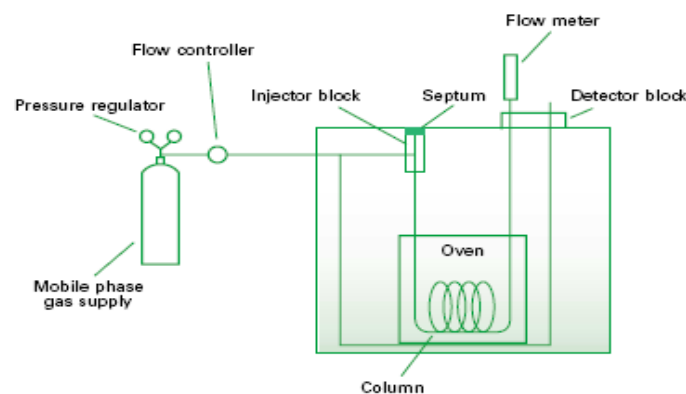
- เบนซิล-บิวทิล ไซลีน (BBP) TDI = 0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน
- ได-ไอโซโนนิล ไซลีน (DINP) TDI = 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน
- ได-บิวทิล ไซลีน (DBP) TDI = 0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน
- ได-(2-เอทิลเฮกซิล) ไซลีน (DEHP) TDI = 0.037 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน

ค่า TDI ของสาร DEHP ที่กำหนดมีค่าต่ำสุดในบรรดาสารกลุ่มธาเลตด้วยกัน ซึ่งหมายความว่า DEHP มีความเป็นพิษสูงสุด จากข้อมูลของ EU พบว่าหากผลิตภัณฑ์อาหาร มีระดับของ DINP และ DIDP > 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและระดับของ DEHP > 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะส่งผลให้มีค่า TDI เกินจากค่าที่กำหนดไว้ข้างต้น ซึ่งหาก EU สุ่มตรวจพบสินค้านั้นก็จะถูกสั่งเก็บจากตลาดทันที (The Commission of the European Communities, 2007)

ปัจจุบันมีการกำหนดมาตรฐานระหว่างประเทศเกี่ยวข้องกับยาง และผลิตภัณฑ์ยางขึ้นมามีชื่อว่า ISO TC45-rubber and rubber products ซึ่งมีประมาณ 400 มาตรฐานด้วยกัน ในจำนวนนี้มีมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับถุงมือยางด้วยแต่ยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานของถุงมือยางที่ใช้สัมผัสอาหารโดยตรงและยังไม่มีการกำหนดระดับการปนเปื้อนที่ยอมรับได้ของสารก่อกลายพันธุ์ชนิดต่าง ๆ ในถุงมือยาง

1.2.10 เทคนิคในการวิเคราะห์ด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography)

เทคนิคนี้ตัวอย่างที่วิเคราะห์อาจอยู่ในรูปของเหลวหรือก๊าซจะถูกฉีดเข้าไปในแก๊สเฉื่อยซึ่งทำหน้าที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ (carrier gas) ตัวอย่างถูกพาผ่าน capillary column ซึ่งเป็นส่วนขององค์ประกอบของตัวอย่างแยกออกจากกันตามความสามารถในการกระจายอยู่ระหว่างเฟสเคลื่อนที่และเฟสคงที่ ไดอะแกรมของระบบมีลักษณะดังรูปที่ 10

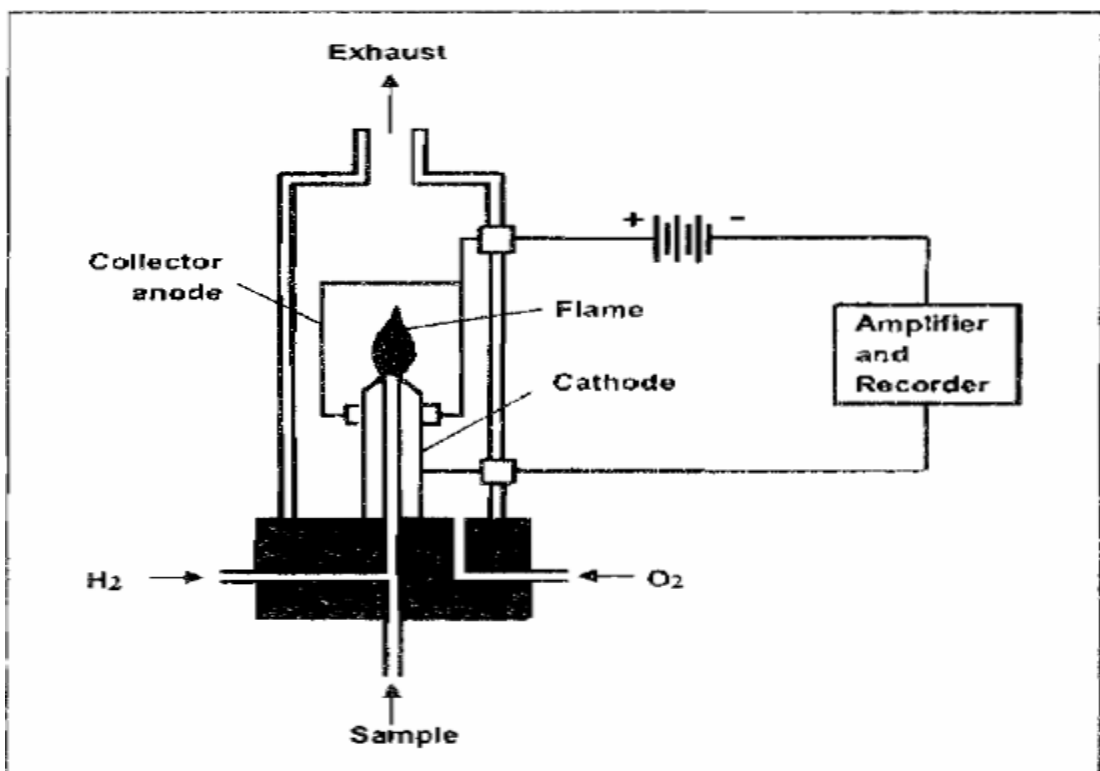


รูปที่ 10 ไดอะแกรมของแก๊สโครมาโทกราฟี

(ที่มา: www.lks.ac.th)

เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (Flame Ionization Detector, FID) เป็นดีเทคเตอร์มาตรฐานที่ถูกรับรองอย่างกว้างขวางในแก๊สโครมาโทกราฟี เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ทุกชนิดสามารถเกิดการไอออไนซ์ (ionization) ได้ในเปลวไฟทำให้เกิดกระแสของไอออนที่สามารถ

สะสมอยู่ระหว่างขั้ว ที่มีประจุตรงข้าม 2 ขั้วได้ตามปริมาณของไอออนกระแสที่เกิดขึ้นซึ่งยังมีปริมาณน้อยต้องใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อขยายให้มีปริมาณกระแสไฟฟ้ามากขึ้น ลักษณะดีเทคเตอร์ชนิดนี้มีรูปร่างดังรูปที่ 11 เปลวไฟที่ใช้ในการทำให้สารอินทรีย์เกิดการไอออไนซ์ คือ เปลวไฟจากแก๊สไฮโดรเจน ดังนั้นอาจเรียกชื่อดีเทคเตอร์ชนิดนี้ว่า “hydrogen flame ionization detector” ปริมาณหรือจำนวนอะตอมของคาร์บอนที่เกิดการไอออไนซ์ หรือถูกออกซิไดซ์ จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณกระแสของไอออนที่เกิดขึ้นซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของสารตัวอย่าง FID สามารถวิเคราะห์สารประกอบที่มีความเข้มข้นน้อย ๆ ได้ดีกว่าเทอร์มัลคอนดักติวิตีดีเทคเตอร์ (thermal conductivity detector, TCD) ถึง 1,000 เท่าได้แสดงดีเทคเตอร์ FID ดังรูปที่ 11

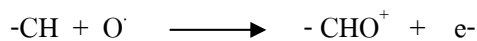


รูปที่ 11 เปลวไอออไนเซชัน (FID)

(ที่มา: ชูติมา ศรีวิบูลย์, 2546)

FID ประกอบด้วยแก๊ส 3 ชนิด คือ แก๊สตัวพารวมกับไฮโดรเจนและอากาศ แก๊สไฮโดรเจนจะทำหน้าที่เป็นเชื้อเพลิงในการจุดเปลวไฟด้วย heater และมีอากาศเป็นตัวช่วยทำให้เกิดการสันดาป (combustion) อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนและอากาศต้องปรับให้ถูกต้องและเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมกับแก๊สตัวพา: ไฮโดรเจน ประมาณ 1.2: 1 และอัตราการไหลของอากาศ คือ 300-600 มิลลิลิตรต่อนาที เปลวไฟของไฮโดรเจน-อากาศจะถูกจุดที่หัวฉีด โดยมีตำแหน่งของขั้ว

(electrode) วางอยู่เหนือเปลวไฟเพื่อเป็นที่สะสมของไอออนตัวอย่าง (analyte ion) (รูปที่ 11) แก๊สตัวพาและไอของตัวอย่างจะเข้าสู่เปลวไฟแล้วทำให้สารตัวอย่างซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์เกิดการไอออไนซ์ ได้อิเล็กตรอนและไอออนบวกดังนั้นเปลวไฟของแก๊สไฮโดรเจน-อากาศที่บริสุทธิ์ประกอบด้วย H, O, OH (radical) อยู่ในสภาวะเร้า (excited species) และเมื่อมีโมเลกุลของสารอินทรีย์เข้ามาในเปลวไฟ เปลวไฟก็จะทำให้โมเลกุลของตัวอย่างเกิด thermal fragmentation ได้เป็น CH ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ oxygen radicals ที่มีอยู่ในเปลวไฟทันที



ปริมาณของไอออไนซ์โมเลกุลจะขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของสารตัวอย่างอินทรีย์ และปริมาณของสารขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารตัวอย่าง $-CHO^+$ ของตัวอย่างจะวิ่งเข้าไปสะสมที่ขั้วซึ่งให้ศักย์ไฟฟ้าที่เป็นลบเมื่อเทียบกับ flame jet ประมาณ -150 v ส่วนอิเล็กตรอนจะวิ่งไปยัง flame jet สัญญาณที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไปยังอิเล็กทรอนิกส์และต่อไปยังเครื่องบันทึก (ชุดไมโครคอมพิวเตอร์, 2546)

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาสถานะที่มีผลต่อการชะออกมาของ ได-(2-เอทิลเฮกซิล) ซาเลต (DEHP) จากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกที่ใช้สัมผัสอาหาร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นให้แก่หน่วยงานที่รับผิดชอบในการกำหนดและควบคุมมาตรฐานถุงมือยางและถุงมือพลาสติกที่ใช้สัมผัสอาหาร
2. ใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นให้แก่ผู้บริโภคในการเลือกถุงมือยางและถุงมือพลาสติกที่เหมาะสมเพื่อความปลอดภัยต่อการปนเปื้อน DEHP ในอาหาร

บทที่ 2

วิธีการทดลอง

2.1 สารมาตรฐานและวัสดุ

2.1.1 สารมาตรฐาน (standard chemical)

Di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) (purity 99.7%, GC grade, Fluka, Germany)

2.1.2 Internal Standard

Benzyl benzoate (purity 99.5%, GC grade, Chem Service, Germany)

2.1.3 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

1. ถังมือยางธรรมชาติอเนกประสงค์ชนิดบาง
2. ถังมือยางธรรมชาติใช้ตรวจโรคชนิดบาง
3. ถังมือยางธรรมชาติอเนกประสงค์ชนิดหนา ยี่ห้อที่ 1
4. ถังมือยางธรรมชาติอเนกประสงค์ชนิดหนา ยี่ห้อที่ 2
5. ถังมือพลาสติก PE

2.2 สารเคมี

- ฟลอริซิล (Florisil 60-100 mesh)
- โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4 , AR grade: LAB-SCAN, Thailand)
- เมทานอล (CH_3OH , AR grade: LAB-SCAN, Thailand)
- อะซิโตน ($\text{CH}_3\text{COOCH}_3$, AR grade: Merck, Germany)
- เฮกเซน (C_6H_{14} , HPLC grade: LAB-SCAN, Thailand)
- เฮกเซน (C_6H_{14} , AR grade: LAB-SCAN, Thailand)
- กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.01 N (AR-grade: LAB-SCAN, Thailand)
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.01 N (AR-grade: LAB-SCAN, Thailand)

2.3 เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์

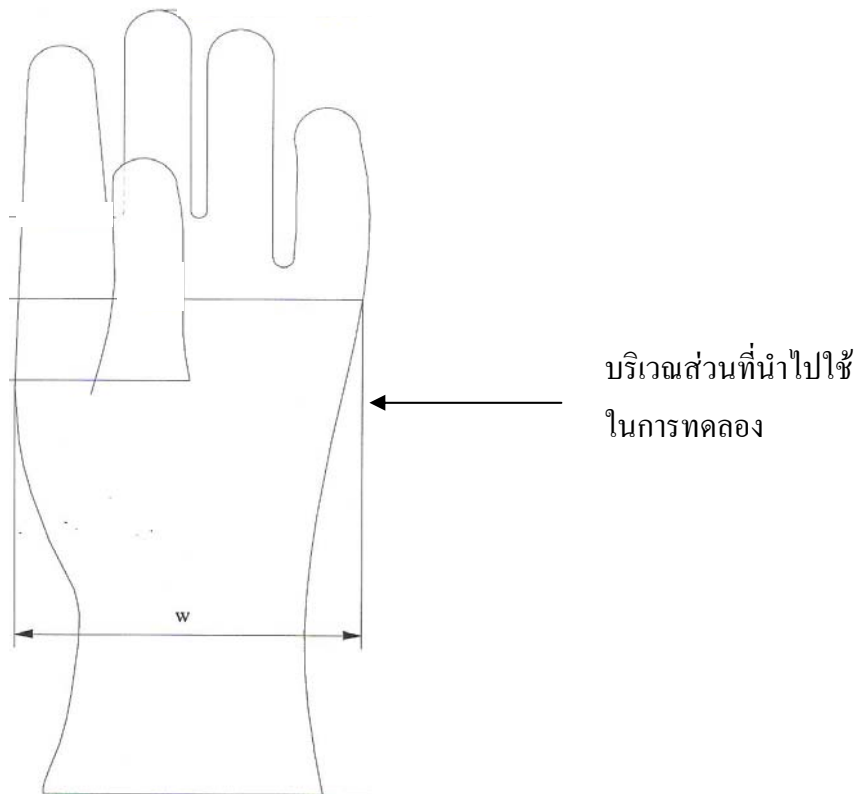
- เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatograph, GC-FID) GC 8960 series ที่มี flame ionization detector (Agilent, USA)
- Capillary column: HP-5MS (30 m length × 0.25 mm I.D., 0.25 µm film thickness) 5 % phenyl 95 % dimethylpolysiloxane), (Agilent, USA)
- Chemstation software (Agilent, USA)
- High purity helium carrier gas (purity 99.995 %) (TIG, Thailand)
- Oxidant gas, air zero grade (purity 99.995 %) (TIG, Thailand)
- High purity hydrogen gas (purity 99.995 %) (TIG, Thailand)
- เครื่องทำน้ำปราศจากไอออน (deionizer) Millipore รุ่น Milli-Q 185 plus (Switzerland)
- เครื่องชั่งความละเอียด 3 ตำแหน่ง Mettler Toledo รุ่น PB 303-S (Switzerland)
- เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo รุ่น AB 204 (Switzerland)
- เครื่องกวนของเหลว (Jartester) Phipps & Bird รุ่น PB 700TM (Switzerland)
- เครื่องวัดพีเอช (pH meter) Russel รุ่น 150 (Thailand)
- เครื่องกวน (stirrer) Framo รุ่น M 21/1 (Switzerland)
- เครื่อง rotary evaporator (Switzerland)
- เครื่อง shaker (Switzerland)
- ตู้ดูดควัน (hood) Major super flow fume cupboard (Thailand)
- ตู้ดูดความชื้น (desiccator) electronic hygostat (Thailand)
- แผ่นกรอง GF/F (Whatman) ขนาดรูเปิด 0.7 µm
- เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)
- ปิเปต ขนาด 0.5-25 มิลลิลิตร
- บีกเกอร์ ขนาด 10, 5, 1000 มิลลิลิตร
- Volumetric flask ขนาด 25, 50, 100 และ 1,000 มิลลิลิตร
- Vial ขนาด 2.0 มิลลิลิตร พร้อมฝา
- ขวดวัดปริมาตร ขนาด 250 มิลลิลิตร
- ขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร
- กระจกตวงขนาด 25 มิลลิลิตร
- พาราฟิล์ม
- อลูมิเนียมฟอยล์

- น้ำปราศจากไอออน
- น้ำมันปาล์ม
- เอทิลแอลกอฮอล์ 70 %

2.4 การเตรียมอุปกรณ์

เพื่อป้องกันการปนเปื้อนสาร DEHP ที่มาจากเครื่องแก้วและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ จึงต้องล้างทำความสะอาดเครื่องแก้วด้วยน้ำยาทำความสะอาดเครื่องแก้วแล้วล้างให้สะอาดด้วยน้ำประปาแล้วจึงนำไปล้างด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน นำเครื่องแก้วไปอบเพื่อไล่สารอินทรีย์ที่ยังค้างอยู่ จากนั้นนำเครื่องแก้วไปชะด้วย อะซิโตน และ เฮกเซน

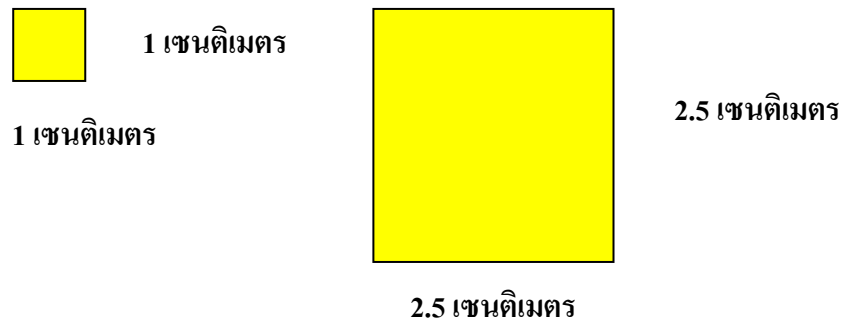
2.5 การเตรียมชิ้นถุงมือในการทดลอง



รูปที่ 2.1 ตำแหน่งชิ้นส่วนถุงมือที่นำไปใช้ในการทดลอง

ในการตัดชิ้นส่วนถุงมือได้เลือกบริเวณฝ่ามือเนื่องจากเป็นพื้นที่สัมผัสอาหารและเป็นที่ยากต่อการตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม

ในการทดลองได้เตรียมตัวอย่างโดยการตัดถุงมือเป็นชิ้นขนาด 1 เซนติเมตร × 1 เซนติเมตร ในการทดลองสกัด DEHP ออกจากชิ้นส่วนถุงมืออย่าง และตัดชิ้นส่วนขนาด 2.5 เซนติเมตร × 2.5 เซนติเมตร ในการทดลองหาสภาวะที่มีผลต่อการชะออกมาของ DEHP



รูปที่ 2.2 ขนาดชิ้นส่วนถุงมือที่ใช้ในการทดลอง

ถุงมือที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้



รูปที่ 2.3 ถุงมือยางอเนกประสงค์
ชนิดบาง



รูปที่ 2.4 ถุงมือยางอเนกประสงค์
ชนิดหนา



รูปที่ 2.5 ถุงมือพลาสติกโพลีเอทิลีน (PE)

ถุงมือที่ใช้ในการทดลองมีสมบัติดังนี้

- 1) ถุงมือยางอเนกประสงค์ชนิดบางสวมใส่สบาย มีน้ำหนักเฉลี่ย 8.00 กรัม และมีพื้นที่ผิวเฉลี่ย 171.69 ตารางเซนติเมตร ต่อ 1 คู่ ขนาดกลาง (M) (รูปที่ 2.4)
- 2) ถุงมือยางอเนกประสงค์ชนิดหนาเป็นถุงมือที่มีความหนาแข็งแรงเหมาะที่จะใช้ในการทำความสะอาดซักรีดและนำไปใช้ในอุตสาหกรรม มีน้ำหนักเฉลี่ย 48.00 กรัม มีพื้นที่ผิวเฉลี่ย 300.00 ตารางเซนติเมตร ต่อ 1 คู่ ขนาดกลาง (M) (รูปที่ 2.5)
- 3) ถุงมือพลาสติก PE เป็นถุงมือพลาสติกที่มีน้ำหนักเบานิยมใช้สวมใส่ในการประกอบอาหาร มีน้ำหนักเฉลี่ย 1.30 กรัม และมีพื้นที่ผิวเฉลี่ย 295.75 ตารางเซนติเมตร ต่อ 1 คู่ ขนาดทั่วไป (รูปที่ 2.6)

2.6 การเตรียมสารละลาย DEHP และ internal standard stock solution

เตรียมสารละลาย DEHP (stock solution) โดยเปิดความเข้มข้นสารมาตรฐาน DEHP 1 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย hexane ได้ความเข้มข้นที่ 1 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร นำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C ห่อทับด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์แล้วพันทับด้วยพาราฟิล์ม (U.S.EPA, 1996)

เตรียมสารละลาย benzyl benzoate (internal standard stock solution) โดยการเปิดความเข้มข้นสารมาตรฐาน 1 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย hexane ได้ความเข้มข้นที่ 1 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร นำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C ห่อทับด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์แล้วพันทับด้วยพาราฟิล์ม (U.S.EPA, 1996)

เตรียมสารละลายมาตรฐาน DEHP จาก stock solution โดยใช้เฮกเซนในการปรับปริมาตรให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน DEHP เท่ากับ 0.05, 5, 20, 100 และ 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และเติม benzyl benzoate ให้ได้ความเข้มข้นสุทธิ 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็น internal standard

2.7 การสร้างกราฟมาตรฐาน (Standard curve calibration)

เตรียมสารละลายมาตรฐาน DEHP จาก stock solution โดยใช้เฮกเซนในการปรับปริมาตรให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน DEHP เท่ากับ (0.05, 0.50, 1.0, 5.0, 20) และ (10, 20, 50, 100 และ 500) ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แล้วเติม benzyl benzoate ให้ได้ความเข้มข้นสุทธิ 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็น internal standard คูณสารละลายมาตรฐาน 2 มิลลิลิตร ใส่ขวด vial แล้วฉีด 1 ไมโครลิตร เข้าเครื่อง GC บันทึกพื้นที่ที่พีก สร้างกราฟมาตรฐานโดยการหาอัตราส่วนของพื้นที่ที่พีก (peak area ratio) ดังนี้

$$\text{อัตราส่วนพื้นที่ที่พีก} = \frac{\text{พื้นที่ที่พีกของสาร DEHP}}{\text{พื้นที่ที่พีกของ internal standard}}$$

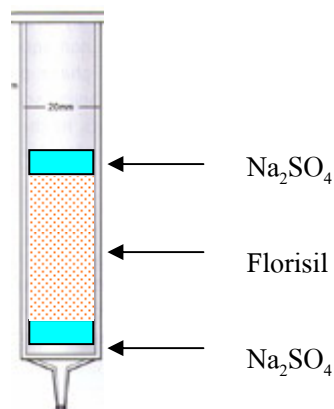
สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐานต่ออัตราส่วนพื้นที่ที่พีกโดยสามารถหาค่าความเข้มข้นของตัวอย่างจากสมการ $y = ax + b$

2.8 เทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (solid phase extraction)

เทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (solid phase extraction, SPE) เป็นการแยกสารปนเปื้อนออกโดยสารที่ต้องการถูกดูดซับบนวัสดุภาคหนึ่ง ในคอลัมน์ (ตัวดูดซับที่อยู่ในคอลัมน์) จากนั้นเติมตัวทำละลายเพื่อดึงเอาสารที่สนใจที่เกาะกับตัวดูดซับแล้วนำไปวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งจากการทดลองนี้ได้ใช้ฟลอริซิลเป็นวัสดุภาคหนึ่ง ในคอลัมน์เพื่อดูดซับ DEHP ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

- 1.) นำฟลอริซิลไปอบที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เก็บใส่ขวดแก้วปิดฝาห่อทับด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (U.S.EPA, 1996)
- 2.) เตรียมแอนไฮดริสโซเดียมซัลเฟตนำไปอบที่อุณหภูมิ 150-200 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เก็บใส่ขวดแก้วปิดฝาห่อทับด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (U.S.EPA, 1996)

เตรียมคอลัมน์บรรจุฟลอริซิลโดยใช้กระดาษกรองขนาดรูเปิด 0.7 ไมโครเมตร (GF/F) ตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.9 เซนติเมตร รองไว้เป็นฐานในคอลัมน์แก้ว ซึ่งมีความสูง 6.8 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.9 เซนติเมตร แล้วบรรจุด้วยแอนไฮดรัส โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) 0.50 กรัม แล้วกดให้แน่นตามด้วยฟลอริซิลหนัก 1.00 กรัม ปิดทับด้วยแอนไฮดรัส โซเดียมซัลเฟต 0.50 กรัม (รูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.6 คอลัมน์บรรจุฟลอริซิลและแอนไฮดรัส โซเดียมซัลเฟต

2.9 วิธีการทดลอง

- การสกัด DEHP ในถุงมือได้ตัดแปลงวิธีการของ ภมรรัตน์ เกื้อเส้ง (2549) และวิธีการของ Tsumura *et al.*, (2000)

ซึ่งชิ้นส่วนถุงมือยางและถุงมือพลาสติกขนาด 1.0 เซนติเมตร \times 1.0 เซนติเมตร มา 3 กรัม ด้วยเครื่องซั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง นำตัวอย่างที่ซั่งได้ใส่ในขวดรูปชมพู่เติมเฮกเซน (AR grade) และอะซิโตน (AR grade) ในอัตราส่วน 1:1 (v/v) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 140 ครั้งต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำตัวอย่างที่ได้ปิดทับด้วยอลูมิเนียมฟอยล์และพันทับด้วยพาราฟิล์ม นำไปแช่ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 ชั่วโมง เมื่อครบ 20 ชั่วโมง แยกชิ้นส่วนถุงมือด้วยการกรองกับกระดาษกรองขนาดรูเปิด 0.7 ไมโครเมตร (GF/F) ล้างกระดาษกรองด้วยเฮกเซนครั้งละ 10 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง จะได้สารละลายตัวอย่างใส่ในขวดก้นกลม นำสารละลายตัวอย่างไปลดปริมาตรด้วยเครื่องลดปริมาตร (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 40 °C จนเกือบแห้ง ละลายสารตัวอย่างด้วย อะซิโตน:เฮกเซน = 1:1 (v/v) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปกำจัดสารปนเปื้อน

- การกำจัดสารปนเปื้อน (U.S.EPA, 1996)

เติมเฮกเซน 5 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์แก้วแล้วปล่อยให้จากนั้นค่อย ๆ ผ่านสารละลายตัวอย่างครั้งละ 10 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้งลงในคอลัมน์แก้วที่สารละลายทำการชะ DEHP ที่ดูดซับอยู่ในคอลัมน์โดยการเติม เฮกเซน:อะซิโตน (HPLC grade) = 90:10 (v/v) 10 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์นำสารละลายตัวอย่างที่ออกจากคอลัมน์ไปลดปริมาตรด้วยเครื่องลดปริมาตรที่อุณหภูมิ 40 °C จนเกือบแห้งเติม internal standard ความเข้มข้นสุทธิ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 2 มิลลิลิตร ด้วยเฮกเซน (HPLC grade) ผสมสารละลายใส่ขวด vial นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID

- การศึกษาสภาวะที่มีผลในการชะ DEHP ในถุงมือด้วยน้ำกลั่น

ชั่งชิ้นส่วนถุงมือยางและถุงมือพลาสติกขนาด 2.5 เซนติเมตร × 2.5 เซนติเมตร มา 3 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง นำชิ้นส่วนถุงมือมาแช่น้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 4, 25, 50 และ 95 °C ใช้เวลาในการแช่น้ำกลั่นที่ 3, 15, 30 และ 45 นาที นำน้ำที่ได้มาวิเคราะห์ DEHP โดยนำน้ำมาลดปริมาตรด้วยเครื่องลดปริมาตร ที่อุณหภูมิ 60 °C จนเกือบแห้งเหลือประมาณ 0.3 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลาย อะซิโตนและเฮกเซนที่อัตราส่วน 1:1 (v/v) ให้ได้ 10 มิลลิลิตร เขย่าสักครู่ ผสมสารละลายตัวอย่างจากขวดไปกำจัดสารปนเปื้อนด้วยคอลัมน์ฟลอริซิลเหมือนการทดลองที่ 1 นำมาเพิ่มความเข้มข้นโดยการลดปริมาตรด้วยเครื่องลดปริมาตรแล้วเติม benzyl benzoate (internal standard) ที่ความเข้มข้น 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเฮกเซนจนได้ 2 มิลลิลิตร ผสมสารละลายตัวอย่างใส่ขวด vial นำไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้น DEHP ด้วยเครื่อง GC-FID

- การศึกษาสภาวะที่มีผลในการชะ DEHP ในถุงมือด้วยน้ำมันปาล์ม

การทดลองนี้จะควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันปาล์มที่ 25, 50 และ 95 °C เวลาในการสัมผัส 3, 15, 30 และ 45 นาที นำชิ้นส่วนถุงมือยางและถุงมือพลาสติกขนาด 2.5 เซนติเมตร × 2.5 เซนติเมตร มาชนิดละ 3 กรัม แช่ด้วยน้ำมันปาล์มปริมาตร 20 มิลลิลิตร ตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่กำหนดแล้วแยกน้ำมันออกจากชิ้นส่วนถุงมือ นำน้ำมันที่ได้มาสกัดหา DEHP โดยการกำจัดน้ำมันปาล์ม ด้วยวิธี saponification โดยเติม โซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.1 N) : เมทานอล : น้ำ อัตราส่วน 40 : 100 : 100 (v/v/v) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 40 °C เป็นเวลา 20 นาที ใช้กรวยแยกสาร (separatory funnel) แล้วตั้งไว้ให้สารละลายและน้ำมันแยกชั้นกัน จากนั้นไขก๊อกแยกชั้นสารละลายใสออกจากน้ำมันปาล์ม นำน้ำมันปาล์มที่ได้ไปสกัดซ้ำ 2 ครั้ง จากนั้นนำสารละลายใสที่ได้มารวมกัน นำสารละลายที่ได้ไปลดปริมาตรด้วยเครื่องลดปริมาตรที่อุณหภูมิ 40 °C จนเกือบแห้งเหลือประมาณ 0.3 มิลลิลิตร แล้วชะด้วย อะซิโตน: เฮกเซน 1:1 (v/v) 20 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปกำจัดสารปนเปื้อนด้วยคอลัมน์ที่บรรจุฟลอริซิลเหมือนการทดลองที่ 1 และ 2

นำสารละลายตัวอย่างมาลดปริมาตรด้วยเครื่องลดปริมาตรเติม internal standard ความเข้มข้นสุทธิ 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยเฮกเซนจนได้ 2 มิลลิลิตร คูณสารละลายตัวอย่างใส่ขวด vial นำไปวิเคราะห์ความเข้มข้น DEHP ด้วยเครื่อง GC-FID

- การศึกษาการชะ DEHP ด้วยน้ำกลั่นในถุงมือก่อนสัมผัสด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70 %

ชั่งชิ้นส่วนถุงมือยางและถุงมือพลาสติกมา 3 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่งแล้วนำมาสัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วผึ่งให้แห้ง จากนั้นนำมาแช่ด้วยน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร โดยใช้ระยะเวลาในการแช่ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 25 °C การทดลองนี้มีกลุ่มควบคุมโดยนำน้ำกลั่น ที่ไม่ได้สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์มาเปรียบเทียบกับปริมาณการชะ DEHP จากถุงมือที่สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 %

- การศึกษาการชะ DEHP ด้วยน้ำมันปาล์มในถุงมือที่สัมผัสด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ก่อนแล้วนำมาสัมผัสด้วยน้ำมันปาล์ม

การทดลองนี้ใช้เวลาในการแช่ 30 นาทีและอุณหภูมิ 25 °C ทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 4 โดยใช้ น้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ ระยะเวลาในการแช่และชุดการทดลองเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบปริมาณการชะ DEHP ด้วยน้ำมันปาล์มออกจากถุงมือที่ผ่านการสัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 %

- การศึกษาการชะ DEHP ด้วยน้ำปรับ pH ในถุงมือ

ในการทดลองนี้จะใช้น้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร นำมาปรับ pH ให้เท่ากับ 2, 4.6, 7 และ 9 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.01 N นำชิ้นส่วนถุงมือชนิดละ 3 กรัม มาแช่น้ำที่ปรับ pH ในขวดแก้วปิดฝาป้องกันแสงแดดป้องกันการระเหยของน้ำด้วยพาราฟิล์มแล้วห่อทับด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ ใช้เวลาในการแช่เป็นเวลา 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน ที่อุณหภูมิห้องเมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดนำน้ำชะถุงมือมาวิเคราะห์ DEHP เหมือนการทดลองที่สกัด DEHP ด้วยน้ำกลั่น

2.10 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง

1.) ตั้งสภาวะเครื่องตามตารางที่ 2.1

2.) ศึกษาระยะมาตรฐานของ DEHP ที่มี benzyl benzoate เป็น internal standard เพื่อหาค่ารีเทนชันไทม์ของสารมาตรฐานได้ค่ารีเทนชันไทม์ของ DEHP และ benzyl benzoate 11.03 ± 0.05 นาที และ 7.69 ± 0.05 นาที ตามลำดับ

3.) เขียนกราฟระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน DEHP กับอัตราส่วนพื้นที่พีคของสาร internal standard

4.) วิเคราะห์ตัวอย่างที่มี benzyl benzoate เป็น internal standard เปรียบเทียบอัตราส่วนพื้นที่พีคของสารที่วิเคราะห์กับพื้นที่ internal standard จากกราฟมาตรฐาน

2.11 การปรับสถานะเครื่อง GC-FID

ตารางที่ 2.1 สถานะเครื่อง GC-FID ในการวัดสาร DEHP

โปรแกรม/โหมด	สถานะการทำงาน
Inlet conditions	Mode: splitless Injector temperature 255 °C
Column	HP-5 5 % Phenyl methyl siloxane Length: 30 m Diameter: 320 µm Film thickness: 0.25 µm
Detector	FID Flow rate : He ₂ (carrier gas) 1.2 mL/min H ₂ (fuel gas) 40 mL/min N ₂ (make- up gas) 30 mL/min Air (oxidant gas) 300 mL/min
Oven temperature	110 °C initial time 1.00 min 20 °C/minute to 300 °C 2 minute
Runtime	15 minute

(ที่มา: ภมรรัตน์ เกื้อเส้ง, 2549)

2.12 การประกันคุณภาพการวิเคราะห์

การวิจัยทางด้านเคมีวิเคราะห์ต้องมีการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการและนำข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองมาใช้หลักทางสถิติ เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือมีความถูกต้องและแม่นยำ

2.12.1) ร้อยละการคืนกลับ (% recovery) เพื่อยืนยันความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ โดยการหาปริมาณ DEHP ที่ได้คืนกลับหลังจากการเติมสารละลายมาตรฐาน (spike) DEHP ที่ 3

ระดับความเข้มข้นลงในตัวอย่างถุงมือทุกยี่ห้อที่ทำการทดลองและทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ
เปรียบเทียบกับชิ้นส่วนถุงมือที่ไม่เติมสารละลายมาตรฐาน DEHP

$$\% \text{ Recovery} = \frac{C_{ss} - C_s}{C_{std}} \times 100 \quad (1)$$

C_{ss} = ปริมาณ DEHP ที่ตรวจพบในชิ้นส่วนถุงมือที่เติมสารละลายมาตรฐาน DEHP

C_s = ปริมาณ DEHP ที่ตรวจพบในชิ้นส่วนตัวอย่างถุงมือที่ไม่เติมสารละลายมาตรฐาน DEHP

C_{std} = ปริมาณสารละลายมาตรฐาน DEHP ที่เติมในตัวอย่างถุงมือ

สำหรับชุดการทดลองชะด้วยน้ำกลั่นและน้ำมันปาล์มได้เติมสารมาตรฐาน DEHP ที่ 3
ระดับความเข้มข้นในน้ำกลั่นและน้ำมันปาล์มเพื่อหา % recovery ของ DEHP ดังสมการ

$$\% \text{ Recovery} = \frac{C_{ss}}{C_{std}} \times 100 \quad (2)$$

C_{ss} = ปริมาณสารละลายมาตรฐาน DEHP ที่วิเคราะห์ได้จากสารสกัดตัวอย่างถุงมือ
ด้วยน้ำกลั่นและน้ำมันปาล์ม

C_{std} = ปริมาณสารละลายมาตรฐาน DEHP ที่เติมในน้ำกลั่น หรือน้ำมันปาล์ม

การได้คืนกลับ (% recovery) ของ DEHP อยู่ในช่วง 70-120 % ถือว่ายอมรับได้
(U.S.EPA, 1996)

2.12.2) ความเที่ยง (precision) หมายถึงขนาดความใกล้เคียงของการวัดปริมาณของสิ่ง
เดียวโดยวัดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ถ้าวัดได้ใกล้เคียงกันมากหรือซ้ำกันมาก ๆ แสดงว่าการวัดมีความเที่ยง
สูงการศึกษาความเที่ยงของผลการทดลองศึกษาได้จาก ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าร้อยละ
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ใช้สูตร ดังนี้

$$\% \text{ RSD} = \frac{SD}{X} \times 100$$

2.12.3 ศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่วิธีวิเคราะห์สามารถตรวจพบได้ (Limit of detection: LOD) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิธีวิเคราะห์สามารถวัดปริมาณได้ (Limit of quantitation: LOQ) โดยทั่วไป LOD คือ ปริมาณสารที่ให้สัญญาณ (signals) เป็น 3 เท่าของสัญญาณรบกวน (noise, N) และ LOQ คือ ปริมาณสารที่ให้สัญญาณประมาณ 10 เท่าของสัญญาณรบกวน สูตรการหา LOD และ LOQ (Food and Drug Administration, 2009) แสดงดังนี้

$$\text{LOD} = 3 \times \text{SD}_{\text{blank}}$$

$$\text{LOQ} = 10 \times \text{SD}_{\text{blank}}$$

วิธีการหา LOD และ LOQ จากการทดลอง

เนื่องจาก blank ที่วัดได้มีค่าน้อยมากและบางการทดลองเป็นศูนย์จึงเตรียมสารมาตรฐาน DEHP และ internal standard ที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดมา 3 ระดับความเข้มข้นเดิมในสารละลาย blank แล้วผ่านวิธีการทดลองเหมือนตัวอย่าง จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วย GC-FID เพื่อหาค่า LOD และ LOQ ดังนี้

1.) นีดสารละลายตัวอย่าง 10 ซ้ำ ใน 3 ระดับความเข้มข้น บันทึกโครมาโทแกรม และอ่านค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

2.) หาปริมาณต่ำสุดที่ตรวจพบ (LOD) และปริมาณต่ำสุดที่หาปริมาณได้ (LOQ)

2.13 สถานที่ทำการวิจัย

ดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

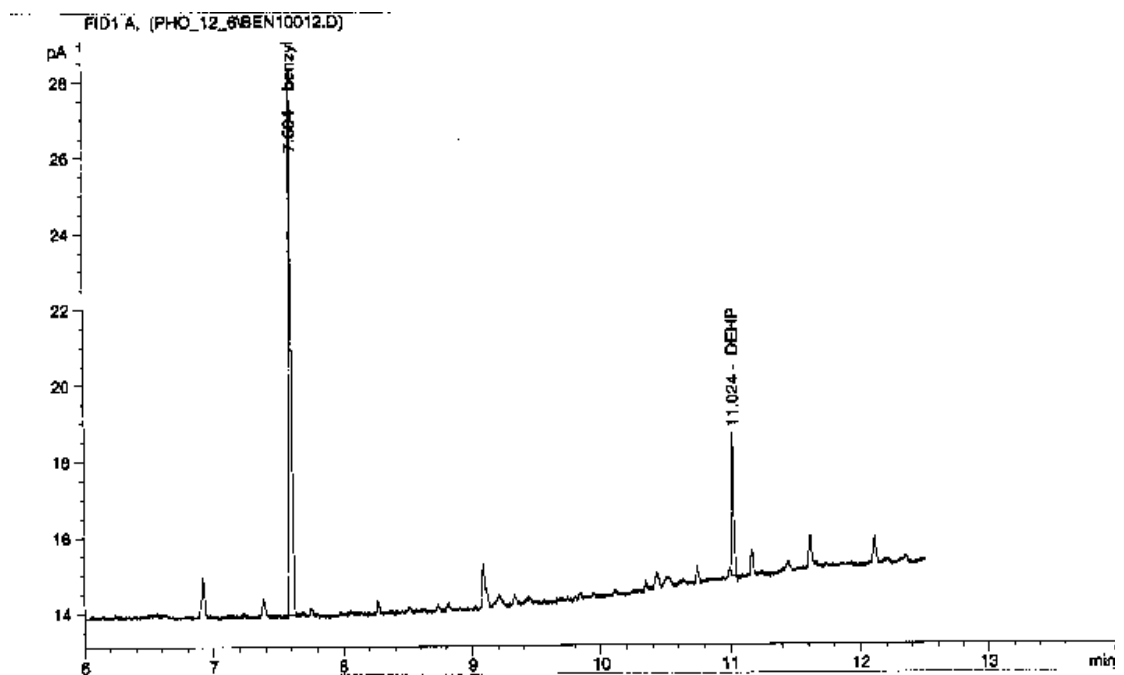
2.14 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาเป็นค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย DEHP ที่ระดับอนุกรมต่าง ๆ ระหว่างชนิดถุงมือด้วยสถิติ One-Way ANOVA และ Tukey test และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดสอบและกลุ่มควบคุม โดยใช้ independent t-test การประมวลผลข้อมูลทั้งหมดใช้โปรแกรม SPSS version 14

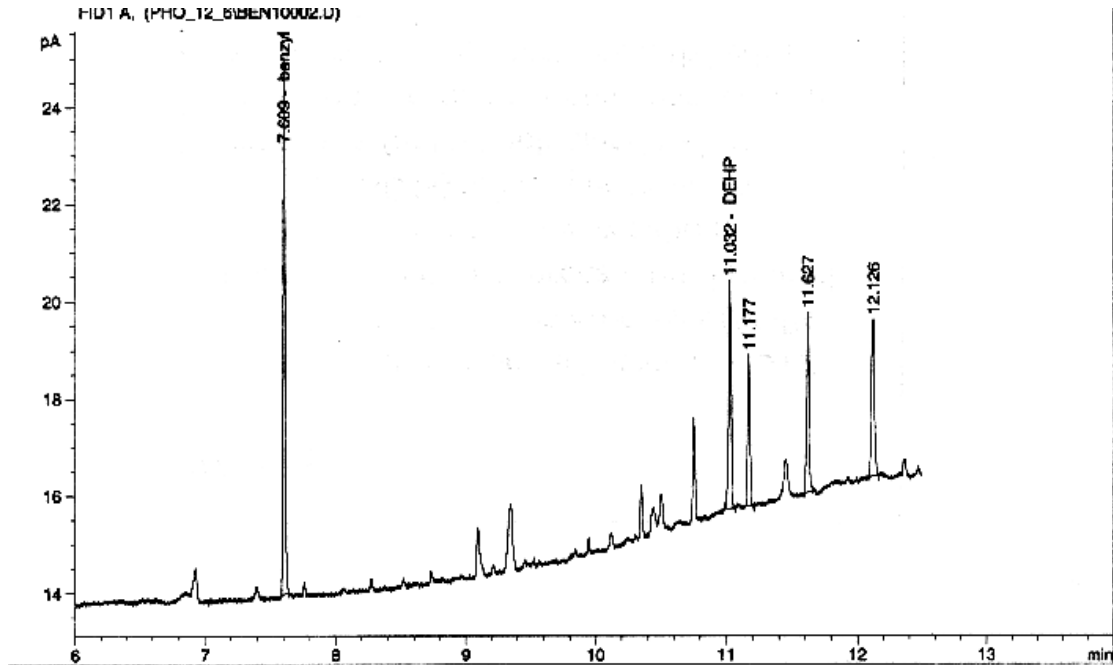
บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การศึกษานี้ได้วิเคราะห์ DEHP ด้วยเครื่อง GC-FID โดยใช้ benzyl benzoate เป็น internal standard (Carrillo *et al.*, 2007; Xiao *et al.*, 2003; U.S.EPA, 1996) คอลัมน์ที่ใช้ คือ 5 % phenyl 95 % dimethylpolysiloxane, (HP-5MS, Agilent, USA) สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ เริ่มต้นที่ อุณหภูมิ 110 °C คงไว้ 1 นาที เพิ่มขึ้น 20 °C ต่อ นาที จนถึง 300 °C คงไว้ 2 นาที (ภมรรัตน์ เกื้อเส้ง, 2549) โครมาโทแกรมของ DEHP และ benzyl benzoate ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน DEHP ความเข้มข้น 0.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (RT = 11.02 ± 0.05 นาที) Benzyl benzoate (internal standard) ที่ความเข้มข้น 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (RT = 7.69 ± 0.05 นาที)



รูปที่ 3.2 โครมาโทแกรมของ DEHP ความเข้มข้น 0.7 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (RT = 11.03 ± 0.05 นาที) ที่ถูกชะออกมาจากถุงมือด้วยน้ำกลั่นและ benzyl benzoate (internal standard) ที่ความเข้มข้น 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (RT = 7.69 ± 0.05 นาที)

ในการทดลองสกัดตัวอย่างด้วยตัวทำละลายร่วมกับ SPE โดยใช้ ฟลอร์ซิล (U.S. EPA, 1996) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID ได้พีคของ DEHP และ benzyl benzoate ที่ชัดเจนมีพีคของสารอื่นรบกวนน้อย Benzyl benzoate แสดงพีคที่เวลา 7.690 นาที และ DEHP ที่เวลา 11.032 นาที สำหรับค่า retention time (RT) ของ DEHP ที่ยอมรับได้สำหรับวิธีการวิเคราะห์นี้ คือ 11.032 ± 0.05 นาที

3.1 การประกันคุณภาพของวิธีวิเคราะห์ (method validation)

ผลการศึกษาความเข้มข้นที่น้อยที่สุดที่สามารถตรวจวัดได้ (LOD) และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณได้ (LOQ) คือ 5.3 นาโนกรัมต่อกรัม และ 18 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ % RSD มีค่าต่ำกว่า 10 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ค่า r ที่ได้มีค่ามากกว่า 0.99 ในช่วงความเข้มข้น อยู่ในช่วง (0.05, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0) และ (5.0, 10.0, 50.0 100.0) ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร วิธี

นี้จึงสามารถวิเคราะห์สาร DEHP ปริมาณน้อยได้ LOD ของการวิเคราะห์ DEHP จากรายงานการวิจัยอื่น ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ค่า LOD ของวิธีการวิเคราะห์ DEHP จากรายงานการวิจัยอื่น ๆ

sample	method	LOD (นาโนกรัมต่อกรัม)	References
Toys	SE-GC-FID	5000	Rastogi <i>et al.</i> , 1998
Foods	SE-GC-MS	10	Gruber <i>et al.</i> , 1998
Foods	SE-SPE-GC-MS	23	Tsumaru <i>et al.</i> , 2001
Foods	SE-SPE-GC-MS	70	Petersen <i>et al.</i> , 2000
Baby food	SE-SPE-GC-MS	37	Tsumaru <i>et al.</i> , 2002

SE = solvent extraction, SPE = solid phase extraction

3.1.1 ปริมาณร้อยละการได้คืนกลับของสารมาตรฐาน (% recovery)

การหา % recovery เป็นการวิเคราะห์การได้คืนกลับของสารมาตรฐานที่ทราบปริมาณด้วยการเติม (spike) สารละลายมาตรฐาน DEHP ลงไปในชิ้นส่วนถุงมือยางและถุงมือพลาสติกแล้วสกัด DEHP ออกมาจากชิ้นส่วนถุงมือคำนวณได้ค่า % recovery ดังแสดงในตารางที่ 3-3 สำหรับการทดลองหา % recovery ในน้ำทำโดยการเติมสารละลายมาตรฐาน DEHP ลงไปในน้ำกลั่นควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C และ 95 °C ได้ค่า % recovery ดังตารางที่ 3-4 และ 3-5 สำหรับการหา % recovery ในน้ำมันปาล์มควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C และ 95 °C นั้นได้ค่า % recovery ดังตารางที่ 3-6 และ 3-7

ในทุกการทดลองได้ทำ blank 3 ซ้ำ ผลการวิเคราะห์ blank ทุกตัวอย่างพบว่ามีค่าต่ำกว่าค่า LOD สำหรับค่า % recovery ของ DEHP ที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง 70-120 % (U.S.EPA, 2002)

ตารางที่ 3-2 ค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery) ของสารประกอบ DEHP ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในชิ้นส่วนถุงมือยางและถุงมือพลาสติกที่อุณหภูมิ 25 °C

ชนิดถุงมือ	ระดับความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อกรัม)		
	13	33	53
ถุงมือยางอเนกประสงค์ชนิดหนายี่ห้อที่ 1	80.57	90.21	110.00
ถุงมือยางอเนกประสงค์ชนิดหนายี่ห้อที่ 2	81.15	88.34	88.21
ถุงมือยางตรวจโรค	85.13	88.12	90.15
ถุงมือยางอเนกประสงค์ชนิดบาง	81.10	86.70	88.51
ถุงมือพลาสติก PE	90.10	93.12	95.00

ตารางที่ 3-3 ค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery) ของสารประกอบ DEHP ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 25 °C

ความเข้มข้นของสาร DEHP ในน้ำ (ไมโครกรัมต่อมิลลิตร)	ค่าที่วิเคราะห์ได้ (ไมโครกรัมต่อมิลลิตร)	% Recovery
0.50	0.43	86.00
5.00	4.18	83.60
10.00	8.40	84.00
35.00	32.00	91.43

ตารางที่ 3-4 ค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery) ของสารประกอบ DEHP ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 95 °C

ความเข้มข้นของ DEHP (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	ค่าที่วิเคราะห์ได้ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	% Recovery
0.50	0.46	92.00
10.00	8.12	81.20
20.00	17.13	85.65
35.00	32.00	91.43

ตารางที่ 3-5 ค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery) ของสารประกอบ DEHP ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 25 °C

ความเข้มข้นของ DEHP (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	ค่าที่วิเคราะห์ได้ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	% Recovery
5.00	4.30	84.00
15.00	12.57	83.85
25.00	17.13	85.65
45.00	39.41	87.58

ตารางที่ 3-6 ค่าร้อยละการได้คืนกลับ (% recovery) ของสารประกอบ DEHP ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 95 °C

ความเข้มข้นของ DEHP (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	ค่าที่วิเคราะห์ได้ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	% Recovery
5.00	3.58	71.64
10.00	7.44	74.36
30.00	24.95	83.20
45.00	39.41	87.58

3.2 ปริมาณ DEHP ในเนื้อถุงมือยางและถุงมือพลาสติก

ปริมาณ DEHP ที่วิเคราะห์ได้ในถุงมือยางและถุงมือพลาสติกชนิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 ปริมาณ DEHP ในเนื้อถุงมือยางและถุงมือพลาสติก

ชนิดถุงมือ	ค่าเฉลี่ย \pm SD (ไมโครกรัมต่อกรัม)
ถุงมือยางอเนกประสงค์ชนิดหนายี่ห้อที่ 1 (n = 10)	54.72 \pm 9.06
ถุงมือยางอเนกประสงค์ชนิดหนายี่ห้อที่ 2 (n = 10)	52.01 \pm 4.17
ถุงมือยางตรวจโรค (n = 10)	45.41 \pm 7.25
ถุงมือยางอเนกประสงค์ชนิดบาง (n = 10)	42.70 \pm 5.27
ถุงมือพลาสติก PE (n = 10)	34.92 \pm 7.98

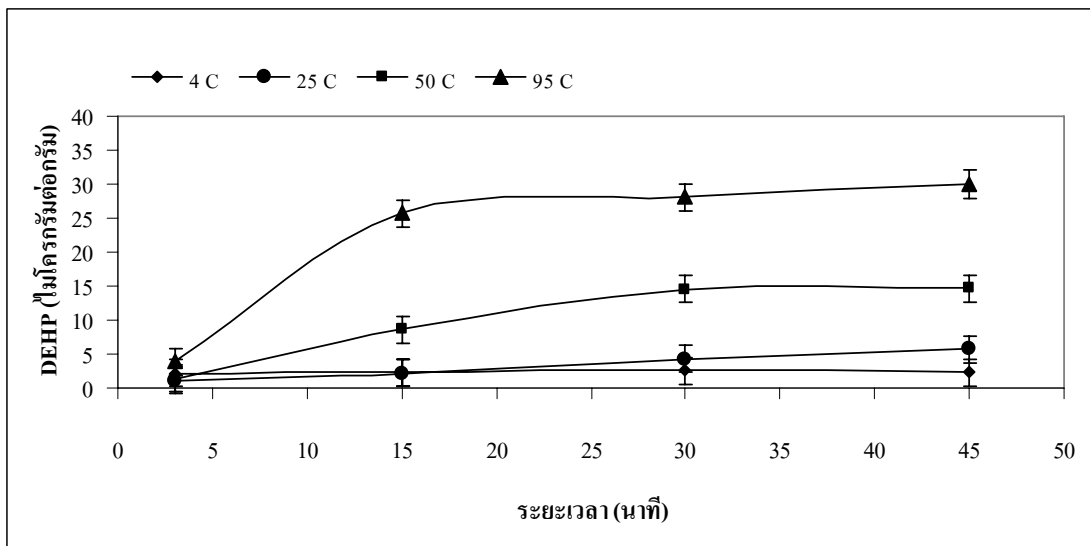
จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าในถุงพลาสติก PVC มีปริมาณ DEHP ที่ 0.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Aighasse, 1994) และกล่องภาชนะบรรจุอาหารกลางวันในประเทศญี่ปุ่นตรวจพบปริมาณ DEHP 0.80-11.80 มิลลิกรัมต่อกกรัม (Tsumura *et al.*, 2000) ส่วนในถุงมือพลาสติก PVC ขนาดกลางชนิดหนา และ ถุงมือพลาสติก PVC ขนาดกลางชนิดบาง มีปริมาณ DEHP ที่ 8.77 และ 5.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Tsumura *et al.*, 2000) สำหรับฟิล์มห่ออาหารนั้นตรวจพบ DEHP 8.70 มิลลิกรัมต่อกกรัม (Guo *et al.*, 2009) ซึ่งตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมประเทศไทย (มอก-1136, 2536) กำหนดให้ต้องไม่ตรวจเจอ DEHP ในฟิล์มยืดห่ออาหารเลย

จากผลการทดลองวิเคราะห์ DEHP ในถุงมือ 5 กลุ่ม จึงเลือกตัวอย่างถุงมือ 3 ชนิดที่ผู้บริโภคนำมาใช้งานมากที่สุด ได้แก่ ถุงมือยางอเนกประสงค์ชนิดบาง ถุงมือยางอเนกประสงค์ชนิดหนาและถุงมือพลาสติก PE เพื่อนำมาศึกษาสภาวะที่มีผลต่อการชะออกมาของ DEHP การใช้ถุงมือในการประกอบอาหารนั้นมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสัมผัสอาหาร ได้แก่ อุณหภูมิของอาหาร ระยะเวลาในการสัมผัส ปริมาณน้ำและไขมันในอาหาร ความเป็นกรด-ด่าง ของอาหาร พื้นที่ผิวสัมผัส เป็นต้น ซึ่งปัจจัยดังกล่าวอาจส่งผลต่อการชะออกมาของ DEHP

3.3 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการชะ DEHP ออกจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติก

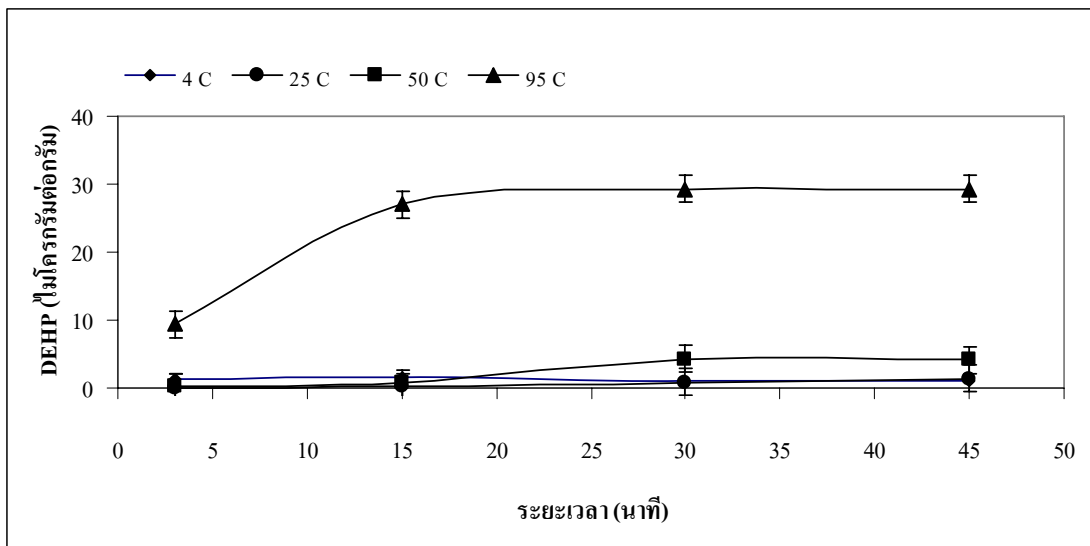
ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาสัมผัสต่อการชะออกมาของ DEHP ด้วยน้ำกลั่นได้กำหนดอุณหภูมิที่ 4, 25, 50 และ 95 °C นำไปแช่เป็นระยะเวลา 3, 15, 30 และ 45 นาที

จากผลการทดลองชะถุงมือยางชนิดบาง (รูปที่ 3.3) ที่ระดับอุณหภูมิ 4 และ 25 °C ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่ปริมาณการชะออกมาจะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่อุณหภูมิ 50 และ 95 °C ตามลำดับ ปริมาณการชะออกมาของ DEHP ที่อุณหภูมิ 95 °C มีค่าสูงสุดหลังจากแช่ไปไม่เกิน 15 นาที หลังจากนั้นปริมาณของ DEHP ในน้ำชะมีค่าคงที่



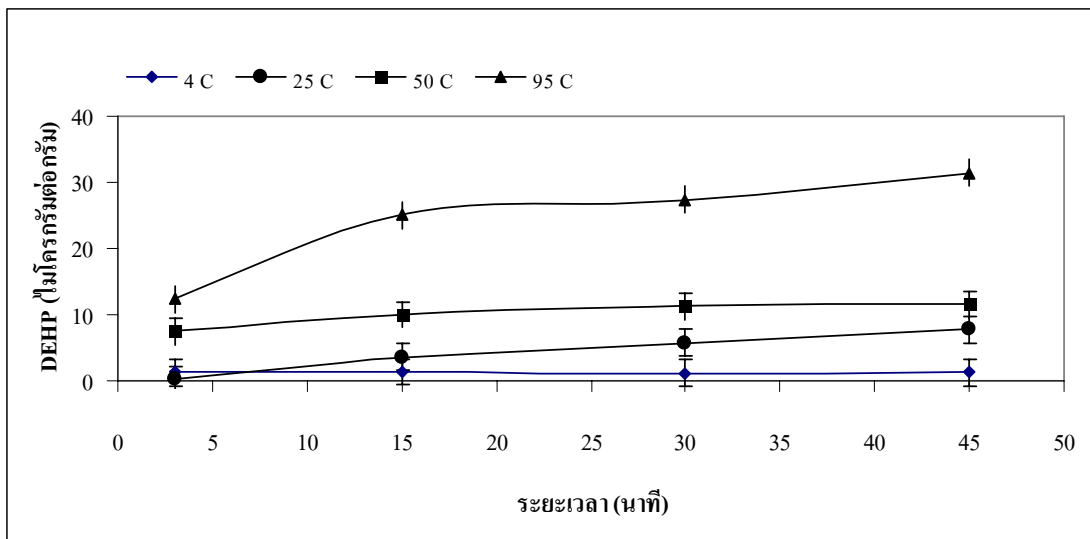
รูปที่ 3.3 ปริมาณการชะ DEHP ออกจากถุงมือยางชนิดบางด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 4, 25, 50 และ 95 °C

เมื่อเปลี่ยนการทดลองมาเป็นถุงมือยางชนิดหนา (รูปที่ 3.4) พบว่าที่อุณหภูมิ 4 °C และ 25 °C ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาปริมาณน้อยไม่มีความแตกต่างกับถุงมือยางชนิดบางไม่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น แต่ที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกจากถุงมือยางชนิดหนามีค่าน้อยกว่าถุงมือยางชนิดบางและไม่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นสาเหตุอาจเนื่องมาจากความหนาของถุงมือทำให้แพร่ความร้อนได้น้อย พลังงานจลน์ไม่เพียงพอที่จะทำให้ DEHP ถูกชะออกมาจากถุงมือยางชนิดหนาได้เท่ากับถุงมือชนิดบาง แต่ที่อุณหภูมิ 95 °C ปริมาณการชะ ออกมาของ DEHP มากกว่าที่อุณหภูมิอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมามีค่าสูงที่สุดเมื่อแช่ในน้ำภายในระยะเวลา 15 นาที ฉะนั้นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือ คือ อุณหภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยที่นำอาหารมาสัมผัสประเก็นพลาสติกที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 10 วันค่าการชะออกมาของ DEHP ต่ำกว่าในอาหารที่สัมผัสประเก็นพลาสติกที่อุณหภูมิ 60 °C (Grob, 2006) และจากการศึกษาการชะออกมาของ DEHP ในแผ่น PVC ที่อุณหภูมิ 4, 33, 60 และ 100 °C พบว่าที่อุณหภูมิ 100 °C จะมีปริมาณ DEHP ชะออกมามากที่สุด (Reito *et al.*, 2005)



รูปที่ 3.4 ปริมาณการชะ DEHP ออกจากถุงมือยางชนิดหนาด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 4, 25, 50 และ 95 °C

จากผลการศึกษาในถุงมือพลาสติก (รูปที่ 3.5) ได้แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการชะออกมาของ DEHP ได้เด่นชัด โดยที่ปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือพลาสติกที่อุณหภูมิ 4 °C น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 95 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 95 °C ปริมาณการชะออกมาสูงสุดในระยะเวลา 15 นาที เหตุผลที่ DEHP ถูกชะออกมาจากถุงมือพลาสติกได้มากกว่าถุงมือยางที่อุณหภูมิดังกล่าวเนื่องจากถุงมือพลาสติกมีลักษณะบางเป็นฉนวนความร้อนที่น้อยกว่าถุงมือยางจึงเกิดการชะออกมาของ DEHP ได้ง่ายกว่าเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นทำให้พลังงานจลน์ในระบบเพิ่มมากขึ้นเกิดการเคลื่อนที่ของ DEHP ออกมามากขึ้น



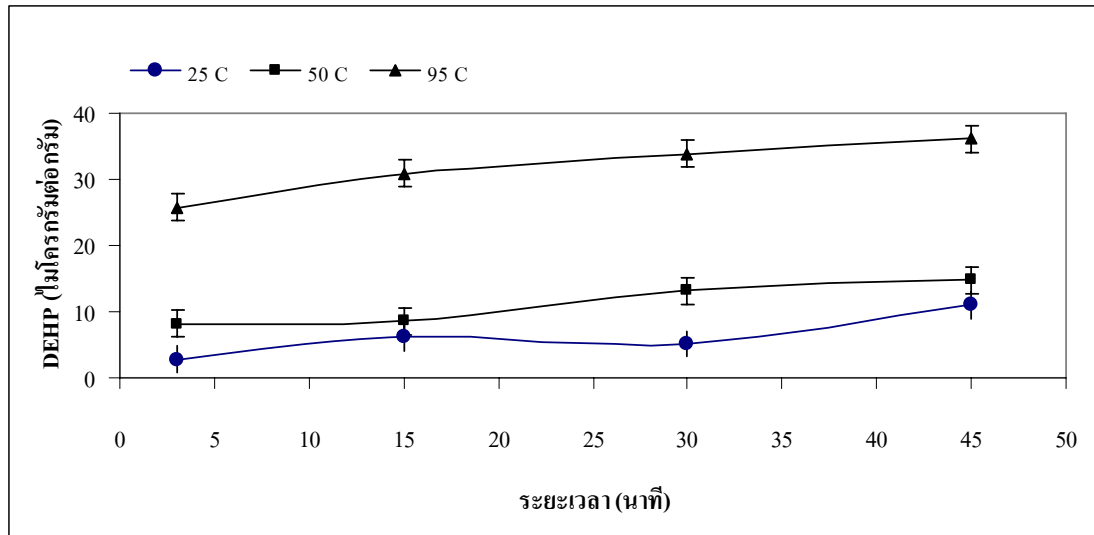
รูปที่ 3.5 ปริมาณการชะ DEHP ออกจากถุงมือพลาสติกด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 4, 25, 50 และ 95 °C

3.4 อธิทธิพลของน้ำมันปาล์มต่อการชะ DEHP ออกจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติก

น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่ใช้มากในการปรุงอาหาร โดยเฉพาะอาหารทอดจะทำให้มีความหอมและกรอบจึงนำไปใช้มากในภาคอุตสาหกรรมและในครัวเรือนเนื่องจากปาล์มน้ำมันผลิตได้มากกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่นต่อพื้นที่จึงราคาถูกกว่าน้ำมันชนิดอื่น (สมมาตร แสงประดับ, 2554) และมีปริมาณวิตามินอีในปริมาณสูงซึ่งวิตามินอีจะเป็นตัวต้านการทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนและคาร์บอนของโมเลกุลในน้ำมันพืชจึงเป็นผลดีต่อผู้บริโภค (กัลยา กิจบุญชู, 2554) เนื่องจากน้ำมันปาล์มมีกรดไขมัน (fatty acid) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุ C H และ O มีหมู่ฟังก์ชัน คือ หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) เพียง 1 หมู่ อยู่ที่ปลายด้านหนึ่งเป็นส่วนที่มีขั้วมีคุณสมบัติชอบน้ำและมีหมู่อาร์ (side chain) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) ที่ต่อกันเป็นโซ่ยาวเป็นส่วนที่ไม่มีขั้วมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำเนื่องจากหมู่อาร์ส่วนที่ไม่มีขั้วของกรดไขมันมีคุณสมบัติที่เด่นกว่าหมู่คาร์บอกซิลจึงทำให้กรดไขมันไม่ละลายน้ำและสามารถละลายได้ในน้ำมัน (Criado *et al.*, 2004) ซึ่งมีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับเอสเทอร์ที่ละลายในน้ำได้เล็กน้อยที่หมู่คาร์บอกซิลแต่สามารถละลายได้ดีในน้ำมันปาล์ม

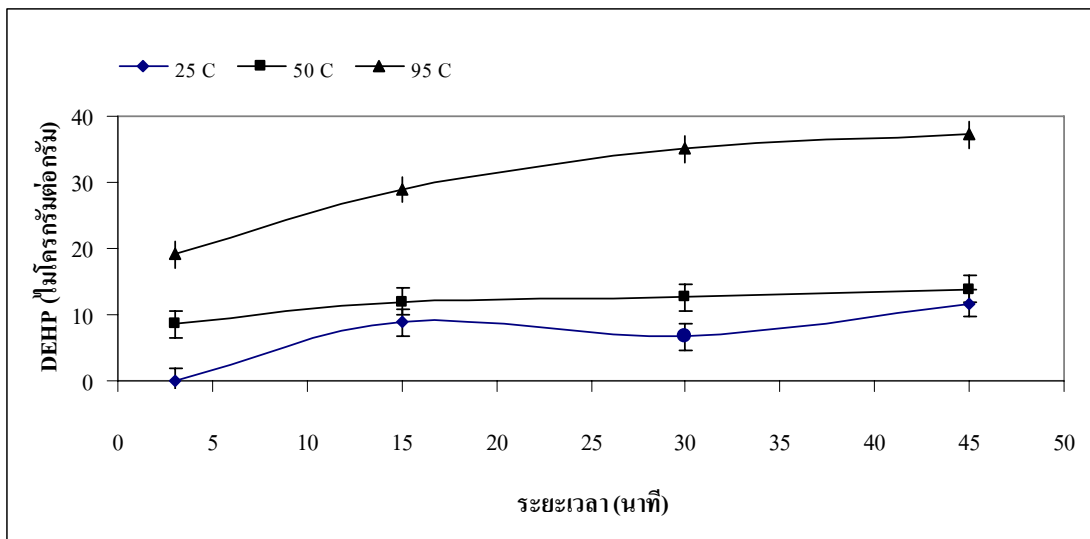
จากผลการศึกษาปริมาณการชะออกมาของ DEHP ด้วยน้ำมันปาล์มในถุงมือยางชนิดบาง (รูปที่ 3.6) ที่อุณหภูมิ 25 และ 50 °C ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ DEHP จะถูกชะออกมามากขึ้นที่อุณหภูมิ 95 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) DEHP จะถูกชะออกมามากที่สุดภายในระยะเวลา 15 นาที คล้ายกับการชะด้วยน้ำกลั่น แต่มีข้อแตกต่าง คือ ปริมาณ DEHP จะชะออกมาอย่างรวดเร็วตั้งแต่ 3 นาทีแรกเนื่องจากยางเป็นพอลิเมอร์ที่

ไม่มีขั้ว น้ำมันปาล์มสามารถแทรกซึมเข้าสู่ถุงมือยางได้ดีจึงสามารถชะ DEHP ออกมาได้เร็วกว่าใน น้ำกลั่น



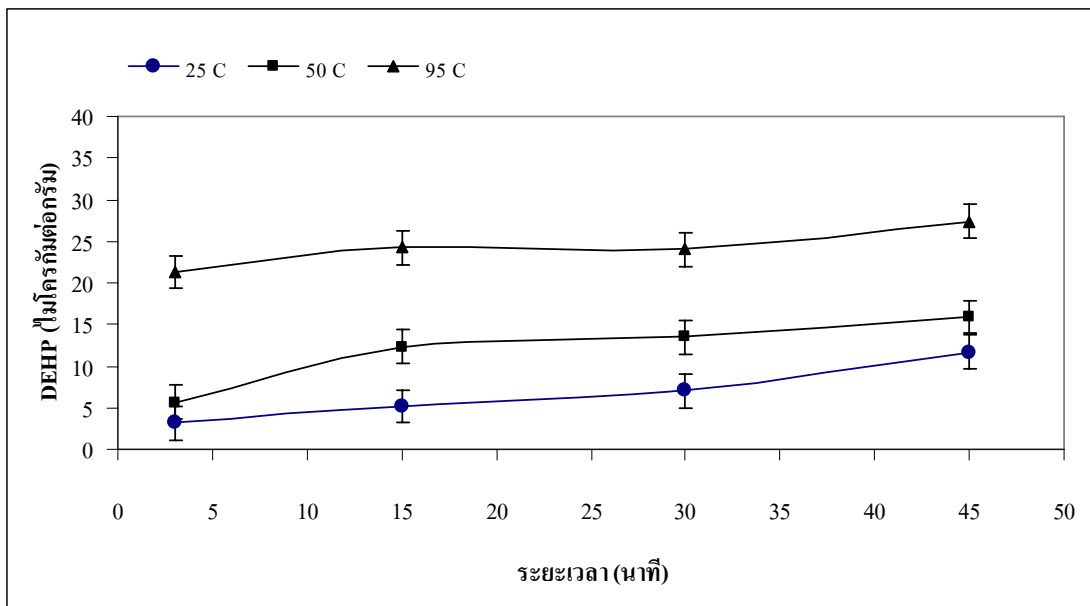
รูปที่ 3.6 ปริมาณการชะ DEHP ออกจากถุงมือยางชนิดบางด้วยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 95 °C

จากผลการทดลองในถุงมือยางชนิดหนา (รูปที่ 3.7) ที่อุณหภูมิ 25 และ 50 °C ปริมาณ DEHP ถูกชะออกมาในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ไม่แตกต่างกับถุงมือยางชนิดบางและมากกว่า การชะด้วยน้ำกลั่น (รูปที่ 3.4) เนื่องจากน้ำมันปาล์มแทรกซึมเข้าไปสู่เนื้อถุงมือยางชนิดหนาได้ดีกว่าน้ำและ DEHP สามารถละลายได้ดีในน้ำมันปาล์มจึงสามารถเคลื่อนย้ายออกมาในปริมาณที่มากกว่าที่อุณหภูมิ 95 °C จึงทำให้ DEHP ถูกชะออกมาได้มาก ความหนาของถุงมือยางไม่มีผลต่อการชะออกมาของ DEHP เนื่องจากปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาสูงสุดมีค่าไม่แตกต่างจากที่ถูกชะ ออกจากถุงมือยางชนิดบาง (รูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.7 ปริมาณการชะ DEHP จากถุงมือยางชนิดหนาด้วยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 95 °C

ในถุงมือพลาสติก PE (รูปที่ 3.8) ที่อุณหภูมิ 25 และ 50 °C ปริมาณการชะออกมาของ DEHP แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และปริมาณ DEHP ถูกชะออกมามากขึ้นที่อุณหภูมิ 95 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มระยะเวลาการแช่ให้นานขึ้น ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาในระยะเวลาต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อาจเป็นเพราะ DEHP ถูกชะออกจากเนื้อพลาสติกได้อย่างรวดเร็วและปริมาณ DEHP ในเนื้อพลาสติกมีปริมาณน้อยจึงทำให้ชะออกมาได้น้อยปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในน้ำมันปาล์มไม่แตกต่างจากปริมาณการชะออกมาในน้ำกลั่น (รูปที่ 3.5)

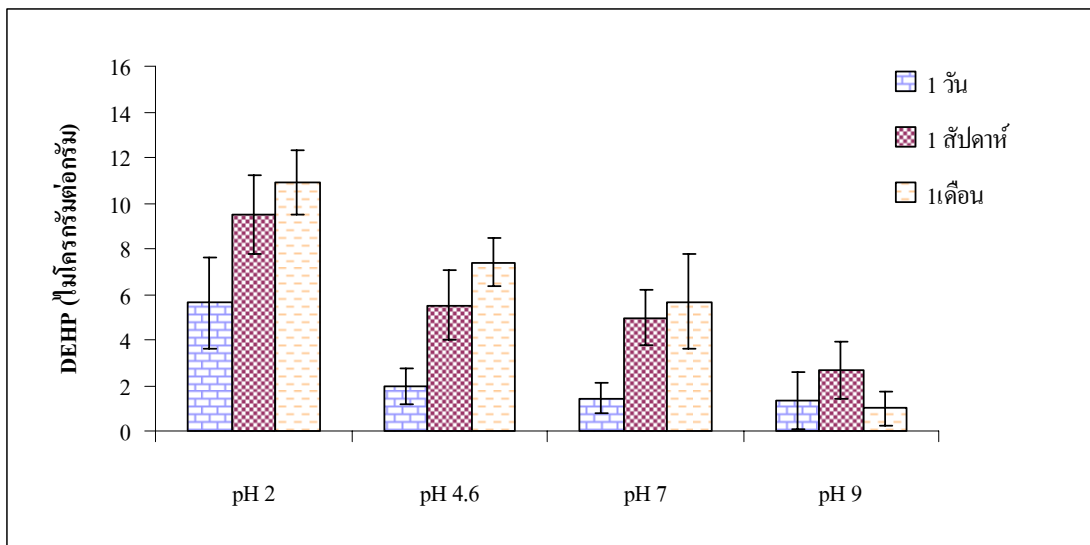


รูปที่ 3.8 ปริมาณการชะ DEHP จากน้ำมันปาล์มในถุงมือพลาสติกที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 95 °C

3.5 อิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อการชะ DEHP ออกจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติก

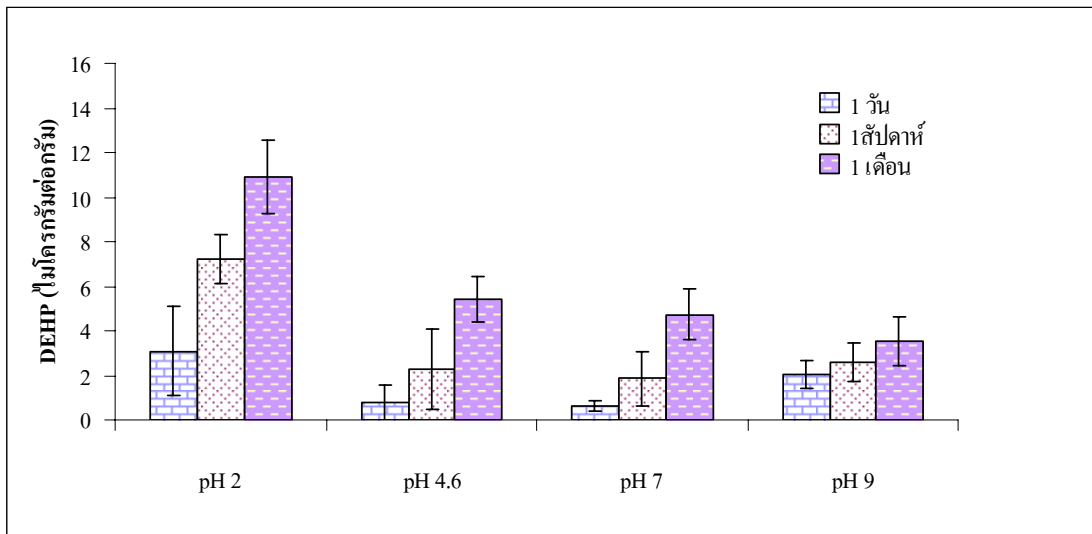
ค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือค่า pH เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้เพื่อบอกระดับความเข้มข้นของความเป็นกรดหรือด่างของสารละลาย ค่า pH มีค่าเท่ากับ logarithm ของความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ซึ่งค่า pH สัมพันธ์โดยตรงกับอัตราส่วนของไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออน ถ้าสารละลายไฮโดรเจนไอออนมากจะยิ่งเป็นกรดมาก แต่ถ้าปริมาณไฮดรอกซิลไอออนมีมากกว่าไฮโดรเจนไอออนสารละลายนั้นจะเป็นด่างและถ้าไอออนทั้งสองมีปริมาณเท่ากัน สารละลายนั้นก็จะเป็นกลาง

จากผลการทดลองที่ pH 2, 4.6 และ 7 (รูปที่ 3.9) ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงมือยางชนิดบางที่ pH 2 มากกว่าที่ pH 7 และเมื่อเพิ่มระยะเวลาการชะมากขึ้นเป็น 1 สัปดาห์ปริมาณ DEHP จะชะออกมาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่เมื่อแช่ชิ้นส่วนถุงมือยางชนิดบางเป็นระยะเวลา 1 เดือน ปริมาณ DEHP ในน้ำชะก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นเนื่องจาก DEHP ส่วนใหญ่ถูกชะออกมาแล้วตั้งแต่ระยะเวลา 1 สัปดาห์ ส่วนที่ pH 9 ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาจะเพิ่มมากขึ้นที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์ แต่กลับลดลงในระยะเวลา 1 เดือน



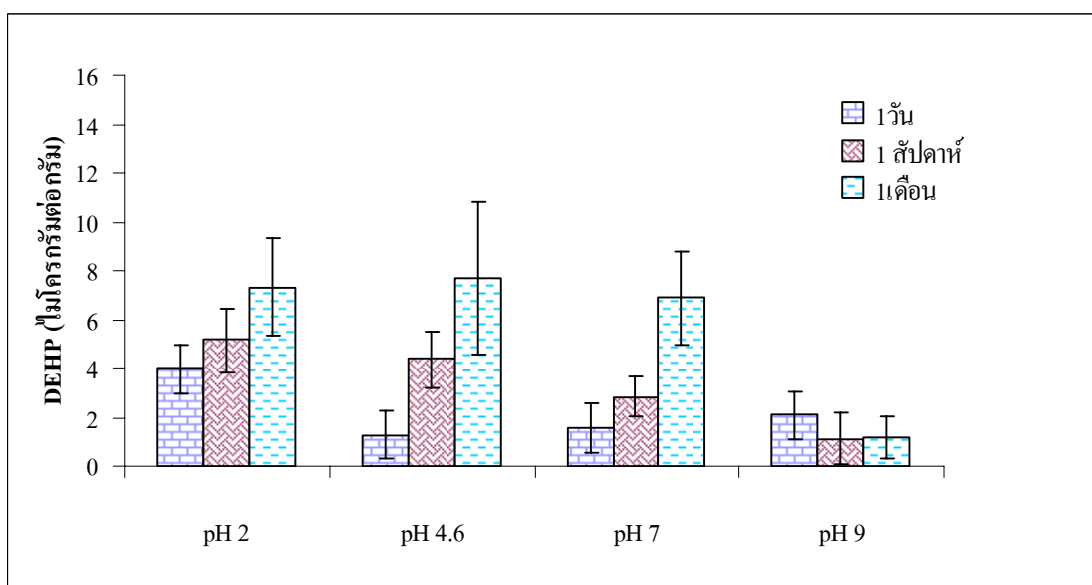
รูปที่ 3.9 ปริมาณการชะออกมาของ DEHP จากถุงมือยางชนิดบางที่ pH ต่าง ๆ

ในถุงมือยางชนิดหนา (รูปที่ 3.10) ที่ pH 2 DEHP ถูกชะออกมาได้มากกว่าที่ pH 7 เช่นเดียวกับการทดลองในถุงมือยางชนิดบาง (รูปที่ 3.9) สำหรับผลของการเพิ่มระยะเวลาในการชะ DEHP ออกมาจากถุงมือยางชนิดหนาที่ระดับ pH 2, 4.6 และ 7 พบว่าปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออก จากถุงมือยางชนิดหนาเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการแช่จาก 1 วัน ถึง 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน ตามลำดับ ซึ่ง แตกต่างจากในถุงมือยางชนิดบาง (รูปที่ 3.9) แต่ที่ pH 9 ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาใน ช่วงเวลา 1 วัน-1 เดือน ไม่แตกต่างกันทางสถิติเนื่องจาก DEHP ในถุงมือยางชนิดหนาถูกชะออกมา มากกว่าถุงมือยางชนิดบางทำให้ตรวจพบปริมาณ DEHP ไม่เปลี่ยนแปลงที่ระยะเวลา 1 เดือน ที่ pH 9 เบสสามารถสลาย DEHP ได้อย่างรวดเร็วโดยเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลได้โดยตรงไม่ ต้องโปรโทเนตก่อนและเป็นปฏิกิริยาที่ไม่ย้อนกลับได้คาร์บอกซิเลตไอออน (carboxylate ions) ใน สารละลายกรดก็สามารถไฮโดรไลซิสได้เหมือนกันแต่น้อยกว่าในเบสเนื่องจากในสารละลายกรด จะมีการ โปรโทเนตที่ออกซิเจนของหมู่เอสเทอร์เพื่อนำน้ำที่เป็นนิวคลีโอไทด์ที่ไม่แรงเข้าทำ ปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิล (Boer *et al.*, 1963; Koch *et al.*, 2006; Shahab *et al.*, 1995) สอดคล้องกับรายงานการศึกษาในระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้โอโซนและปรับ pH ในน้ำ เพื่อกำจัด DEHP พบว่า % removal DEHP ที่ pH 2 และ pH 7 ค่า ต่ำกว่าที่ pH 11 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ที่สภาวะเป็นด่าง DEHP สลายตัวได้ดีกว่าที่สภาวะเป็นกรดและเป็นกลาง (Khan and Jung, 2008)



รูปที่ 3.10 ปริมาณการชะออกมาของ DEHP จากถุงมือยางชนิดหนาที่ pH ต่าง ๆ

ในถุงมือพลาสติก (รูปที่ 3.11) ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่ระดับ pH 2 และ 4.6 มากกว่าที่ระดับ pH 7 เช่นเดียวกับการทดลองในถุงมือยางชนิดบางและชนิดหนา สำหรับผลของระยะเวลาแช่ต่อการชะ DEHP ออกจากถุงมือพลาสติกนั้นคล้ายคลึงกับผลที่เกิดกับถุงมือยางชนิดบาง แต่สำหรับที่ pH 9 ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระยะเวลา 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน

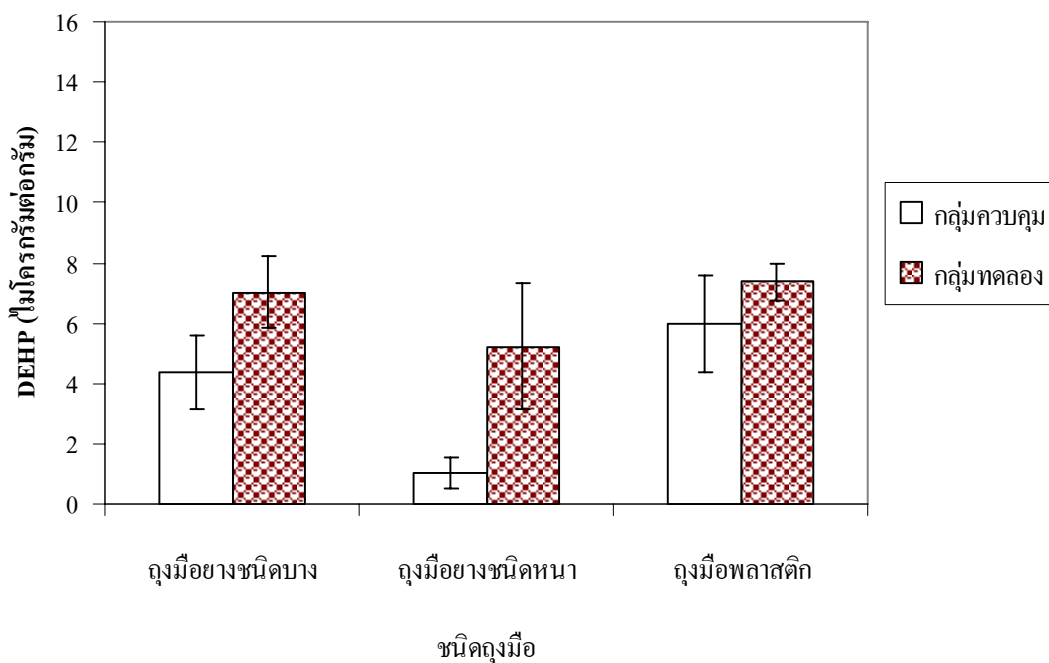


รูปที่ 3.11 ปริมาณการชะออกมาของ DEHP จากถุงมือพลาสติกที่ pH ต่าง ๆ

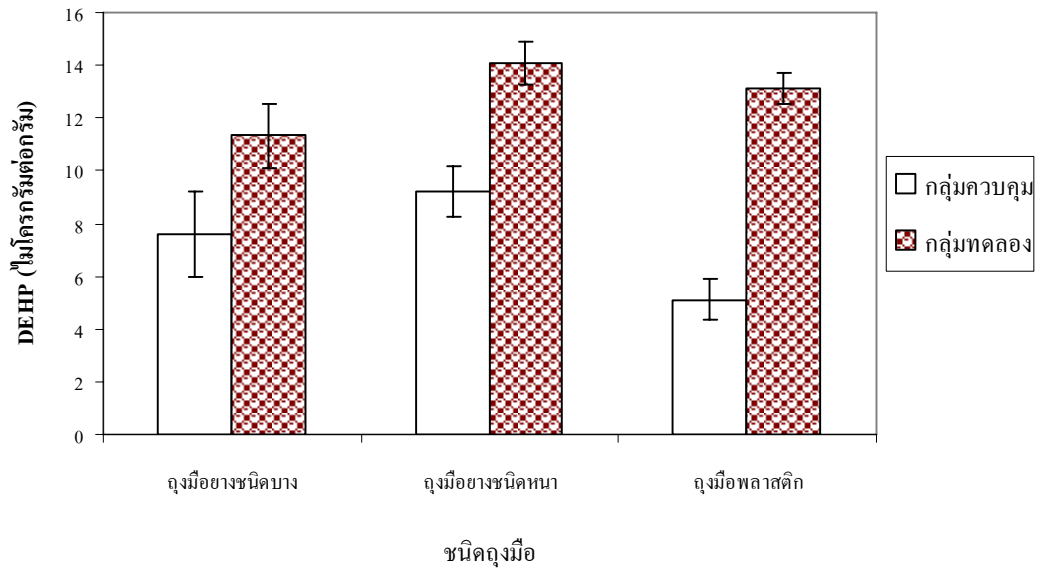
3.6 อิทธิพลในการชะออกของ DEHP ในถุงมือที่สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 %

เนื่องจากเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี จึงนิยมนำไปใช้ในการฉีดพ่นบนถุงมือก่อนเข้าสายการผลิตอาหารในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ในการทดลองได้ทำการศึกษาผลของเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ต่อการชะออกของ DEHP ในถุงมือยางและถุงมือพลาสติกที่สัมผัสด้วยน้ำกลั่นและน้ำมันปาล์ม โดยให้กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมอยู่ในสถานะเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการชะออกมาได้ของ DEHP ในถุงมือทั้ง 3 ชนิด กลุ่มควบคุมหมายถึงถุงมือที่สัมผัสน้ำหรือน้ำมันปาล์มโดยไม่ได้สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกจากถุงมือที่สัมผัสด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ก่อนพบว่ามีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทุกชุดการทดลอง (รูปที่ 3.12 และ รูปที่ 3.13)



รูปที่ 3.12 ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาด้วยน้ำกลั่นจากถุงมือที่ใช้สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง



รูปที่ 3.13 ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาด้วยน้ำมันปาล์มจากถุงมือที่ใช้สัมผัสสเตอริลแอลกอฮอล์ 70 % ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

เนื่องจาก DEHP สามารถละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ (Andrew *et al.*, 1999) จึงถูกชะออกมาที่ผิวของถุงมือทั้งสามชนิดได้ง่าย เมื่อนำถุงมือไปแช่น้ำกลั่นและน้ำมันปาล์มก็สามารถชะ DEHP สู่น้ำกลั่นและน้ำมันปาล์มได้มากกว่ากลุ่มควบคุม สอดคล้องกับรายงานการวิจัยที่ใช้เทอริลแอลกอฮอล์ 67.9 % ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ถุงมือ PVC แล้วนำไปสัมผัสอาหารพบว่าปริมาณการชะออกมาของ DEHP มากกว่าการไม่ได้ใช้เทอริลแอลกอฮอล์ก่อนการสัมผัสอาหาร (Tsumura *et al.*, 2000)

3.7 ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาต่อพื้นที่ผิวของถุงมือ

จากการตัดชิ้นส่วนถุงมือที่ใช้ในการทำการทดลองเพื่อคำนวณหาอัตราการชะออกมาของ DEHP ต่อพื้นที่ผิวของถุงมือ ซึ่งน้ำหนักของถุงมือแต่ละคู่มีความแตกต่างกัน พื้นที่ผิวก็มีความแตกต่างกันอันเนื่องมาจากความหนาบางที่ต่างกัน แสดงน้ำหนักและพื้นที่ผิวเฉลี่ยในถุงมือ คิดเฉพาะด้านที่นำมาใช้สัมผัสอาหาร ดังตาราง ที่ 3-10

ตารางที่ 3-8 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักและพื้นที่ผิวในถุงมือ 1 คู่

ชนิดถุงมือ	น้ำหนักถุงมือเทียบกับพื้นที่ผิว	
	น้ำหนักถุงมือ (กรัม)	พื้นที่ผิวใช้สัมพัทธ์ (ตารางเซนติเมตร)
ถุงมือยางชนิดบาง	8.0	171.6
ถุงมือยางชนิดหนา	48.0	300.0
ถุงมือพลาสติก	1.3	295.7

เนื่องจากถุงมือแต่ละชนิดและยี่ห้อที่แตกต่างกันจะมีขนาดพื้นที่ผิวที่แตกต่างกัน ฉะนั้น ปริมาณ DEHP จะถูกชะออกมาจากถุงมือต่างกัน ซึ่งจากการทดลองได้นำชิ้นส่วนถุงมือมาคำนวณพื้นที่ผิวถุงมือเป็น 1 ตารางเซนติเมตร จากด้านของถุงมือที่นำมาใช้งานจริงได้และคำนวณปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาต่อพื้นที่ผิวดังตารางที่ 3-9 ถึง 3-16

ตารางที่ 3-9 ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกด้วยน้ำกลั่น (ไมโครกรัม ต่อพื้นที่ผิว 1 ตารางเซนติเมตร)

ชนิดถุงมือ	ระยะเวลาในการแช่ 3 นาที				ระยะเวลาในการแช่ 15 นาที			
	4 °C	25 °C	50 °C	95 °C	4 °C	25 °C	50 °C	95 °C
ถุงมือยางชนิดบาง	0.10	0.05	0.07	0.19	0.12	0.14	0.03	0.02
ถุงมือยางชนิดหนา	0.19	0.02	0.03	1.44	0.27	0.42	0.12	0.04
ถุงมือพลาสติก	0.01	0.00	0.03	0.05	0.01	1.25	4.16	0.11

ตารางที่ 3-10 ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกด้วยน้ำกลั่น (ไมโครกรัม ต่อพื้นที่ผิว 1 ตารางเซนติเมตร)

ชนิดถุงมือ	ระยะเวลาในการแช่ 30 นาที				ระยะเวลาในการแช่ 45 นาที			
	4 °C	25 °C	50 °C	95 °C	4 °C	25 °C	50 °C	95 °C
ถุงมือยางชนิดบาง	0.12	0.21	0.13	0.03	0.11	0.28	0.22	0.03
ถุงมือยางชนิดหนา	0.18	0.71	0.67	0.05	0.16	0.71	0.75	0.05
ถุงมือพลาสติก	0.01	1.36	4.50	0.12	0.01	1.45	4.51	0.14

ตารางที่ 3-11 ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกด้วยน้ำมันปาล์ม (ไมโครกรัม ต่อพื้นที่ผิว 1 ตารางเซนติเมตร)

ชนิดถุงมือ	ระยะเวลาในการแช่ 3 นาที			ระยะเวลาในการแช่ 15 นาที		
	25 °C	50 °C	95 °C	25 °C	50 °C	95 °C
ถุงมือยางชนิดบาง	0.14	0.40	1.25	0.30	1.35	0.02
ถุงมือยางชนิดหนา	0.33	1.28	2.94	0.42	1.85	0.05
ถุงมือพลาสติก	0.01	0.03	0.10	1.50	4.45	0.11

ตารางที่ 3-12 ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกด้วยน้ำมันปาล์ม (ไมโครกรัม ต่อพื้นที่ผิว 1 ตารางเซนติเมตร)

ชนิดถุงมือ	ระยะเวลาในการแช่ 30 นาที			ระยะเวลาในการแช่ 45 นาที		
	25 °C	50 °C	95 °C	25 °C	50 °C	95 °C
ถุงมือยางชนิดบาง	0.14	0.64	1.64	0.53	0.72	1.75
ถุงมือยางชนิดหนา	0.33	1.94	5.40	1.80	2.13	5.72
ถุงมือพลาสติก	0.01	0.06	0.11	0.03	0.07	0.12

ตารางที่ 3-13 ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ (ไมโครกรัม ต่อพื้นที่ผิว 1 ตารางเซนติเมตร)

ชนิดถุงมือ	ระยะเวลาการแช่ 30 นาที			
	น้ำกลั่น		น้ำมันปาล์ม	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
ถุงมือยางชนิดบาง	0.21	0.34	0.37	0.55
ถุงมือยางชนิดหนา	0.16	0.81	1.42	2.15
ถุงมือพลาสติก	0.03	0.03	0.02	0.06

ตารางที่ 3-14 ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกด้วยน้ำกลั่นปรับ pH (ไมโครกรัมต่อพื้นที่ผิว 1 ตารางเซนติเมตร) ระยะเวลาในการแช่ 1 วัน

ชนิดถุงมือ	ระดับ pH			
	2.0	4.6	7.0	9.0
ถุงมือยางชนิดบาง	0.27	0.10	0.07	0.06
ถุงมือยางชนิดหนา	0.47	0.11	0.10	0.32
ถุงมือพลาสติก	0.02	0.01	0.01	0.01

ตารางที่ 3-15 ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกด้วยน้ำกลั่นปรับ pH (ไมโครกรัมต่อพื้นที่ผิว 1 ตารางเซนติเมตร) ระยะเวลาในการแช่ 7 วัน

ชนิดถุงมือ	ระดับ pH			
	2.0	4.6	7.0	9.0
ถุงมือยางชนิดบาง	0.46	0.27	0.24	0.13
ถุงมือยางชนิดหนา	1.11	0.35	0.28	0.40
ถุงมือพลาสติก	0.02	0.02	0.01	0.00

ตารางที่ 3-16 ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกด้วยน้ำกลั่นที่ปรับ pH (ไมโครกรัม ต่อพื้นที่ผิว 1 ตารางเซนติเมตร) ที่ระยะเวลาแช่ 30 วัน

ชนิดถุงมือ	ระดับ pH			
	2.0	4.6	7.0	9.0
ถุงมือยางชนิดบาง	0.28	0.36	0.28	0.05
ถุงมือยางชนิดหนา	1.69	0.83	0.73	0.54
ถุงมือพลาสติก	0.03	0.03	0.03	0.01

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

วิธีการวิเคราะห์สาร ได (2-เอทิลเฮกซิล) ซาเลต (DEHP) ในตัวอย่างถุงมือยางและถุงมือพลาสติกได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography, GC) ซึ่งใช้คาปิลลารีคอลัมน์ชนิด 5 % phenyl 95 % dimethylpolysiloxane ร่วมกับตัวตรวจวัดชนิดเปลวไฟไอออไนเซชัน (flame ionization detector, FID) ได้ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด DEHP เท่ากับ 5.30 นาโนกรัมต่อกรัม ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (r) มากกว่า 0.99 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ 6 % แสดงว่าวิธีการวิเคราะห์นี้มีความเที่ยงตรงและผลการวิเคราะห์เชื่อถือได้

4.1 ปริมาณ DEHP ในเนื้อถุงมือยางและถุงมือพลาสติก

ผลการวิเคราะห์ DEHP ในเนื้อถุงมือยางอเนกประสงค์ชนิดบาง ถุงมือยางตรวจโรค ถุงมือยางอเนกประสงค์ชนิดหนา 2 ยี่ห้อและถุงมือพลาสติก PE ได้ปริมาณเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ DEHP เท่ากับ 42.70 ± 5.27 , 52.00 ± 4.17 , 54.72 ± 9.06 , 45.41 ± 7.25 และ 34.92 ± 7.98 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

4.2 อิทธิพลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการชะออกของ DEHP ด้วยน้ำกลั่นและน้ำมันปาล์มในถุงมือยางและถุงมือพลาสติก

ผลการทดลองแช่ถุงมือยางชนิดบางในน้ำกลั่นที่ระดับอุณหภูมิ 4 และ 25 °C พบว่าปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาไม่มีความแตกต่างกันแต่จะเพิ่มสูงขึ้นที่อุณหภูมิ 50 และ 95 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ตามลำดับ ปริมาณ DEHP จะถูกชะออกมามากที่สุดภายใน 15 นาที ปัจจัยที่สำคัญในการเคลื่อนย้ายออกของ DEHP คือ อุณหภูมิมากกว่าระยะเวลาในการแช่ส่วนในถุงมือยางชนิดหนาที่อุณหภูมิ 50 °C ความร้อนและพลังงานจลน์ไม่เพียงพอที่จะชะ DEHP ออกมาได้มากและไม่แตกต่างกันทางสถิติกับปริมาณที่ชะออกมาที่อุณหภูมิ 4 และ 25 °C ส่วนในถุงมือพลาสติกอิทธิพลของความร้อนมีผลต่อการชะของมาของ DEHP ค่อนข้างมากที่อุณหภูมิ 4 °C ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 95 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากถุงมือพลาสติกมีลักษณะบางและเป็นฉนวนความร้อนที่น้อยกว่ายางจึงเกิดการชะออกมาได้มากกว่าถุงมือยางที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 50 °C

ผลการทดลองแช่ถุงมือยางชนิดบางในน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 25 และ 50 °C พบว่าปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ปริมาณ DEHP จะถูกชะออกมามากขึ้นที่

อุณหภูมิ 95 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และ DEHP จะถูกชะออกมามากที่สุดภายใน 3 นาที การชะ DEHP ในถุงมือยางชนิดหนาด้วยน้ำมันปาล์มก็ให้ผลคล้ายกัน ความหนาของถุงมือยางไม่มีผลต่อการชะออกมาของ DEHP เนื่องจากน้ำมันปาล์มแทรกซึมเข้าไปสู่เนื้อถุงมือยางได้บ้าง และ DEHP สามารถละลายได้ดีในน้ำมันปาล์มจึงเกิดการชะออกมาของ DEHP ได้ดีกว่าในน้ำ ส่วนในถุงมือพลาสติก DEHP ถูกชะออกมาในน้ำมันปาล์มไม่แตกต่างจากในน้ำเนื่องจากพลาสติกมีปริมาณ DEHP ที่น้อยกว่าถุงมือยางชนิดบางและถุงมือยางชนิดหนาจึงถูกชะออกมาได้ในระดับที่ใกล้เคียงกับการชะด้วยน้ำ

4.3 อิทธิพลของ pH ต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางและถุงมือพลาสติก

ในการทดลองสกัด DEHP โดยใช้ น้ำกลั่นปรับ pH โดยใช้ 0.01 N NaOH และ 0.01 N HCl ให้ได้ pH 2, 4.6, 7 และ 9 แช่ชิ้นส่วนถุงมือเป็นระยะเวลา 1 วัน ถึง 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน พบว่าที่ pH 2 และ pH 7 ในถุงมือยางชนิดบางปริมาณ DEHP ถูกชะออกมาเพิ่มขึ้นที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งแตกต่างจากถุงมือพลาสติกและถุงมือยางชนิดหนาที่ DEHP สามารถชะออกมาเพิ่มขึ้นที่ระยะเวลา 1 วัน ถึง 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนที่ pH 9 พบว่า DEHP จะถูกไฮโดรไลซ์ได้ดีที่สภาวะนี้ ทำให้ตรวจพบปริมาณ DEHP ในน้ำชะถุงมือทั้งสามชนิดได้น้อยแม้ว่าระยะเวลาการชะเพิ่มขึ้นเพราะเบสสามารถสลาย DEHP ได้อย่างรวดเร็วได้คาร์บอกซิเลตไอออนและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะไม่ผันกลับ ซึ่งแตกต่างจากสารละลายกรดที่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้และต้องมีการโปรโตเนตเพื่อนำน้ำเข้าทำปฏิกิริยากับเอสเทอร์ทำให้ DEHP สลายในกรดได้น้อยกว่าในด่าง (Boer *et al.*, 1963)

4.4 อิทธิพลของเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ในการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางและถุงมือพลาสติก

ในการทดลองชะ DEHP ออกจากถุงมือที่สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ก่อนนำไปแช่ในน้ำกลั่นพบว่าสามารถชะ DEHP ออกมามากกว่ากลุ่มควบคุมทุกชุดการทดลอง เช่นเดียวถ้าใช้ถุงมือสัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % แล้วนำไปแช่ในน้ำมันปาล์มก็จะสามารถชะ DEHP ออกมามากกว่ากลุ่มควบคุมเนื่องจาก DEHP สามารถละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ จึงสามารถชะ DEHP ออกจากเนื้อถุงมือได้ดีเมื่อนำถุงมือไปสัมผัสน้ำและน้ำมันปาล์มก็ทำให้เกิดการชะสู่น้ำและน้ำมันปาล์มได้มากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทุกตัวอย่าง

4.5 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการชะ DEHP ในภาชนะบรรจุอาหารชนิดต่าง ๆ
- 2) ควรมีการกำหนดมาตรฐานและประเภทถุงมือที่ใช้ในการสัมผัสอาหาร โดยเฉพาะเพื่อความปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค

เอกสารอ้างอิง

ชุติมา ศรีวิบูลย์. 2546. การวิเคราะห์โดยเครื่องโครมาโทกราฟี. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ชัยวัฒน์ เจนวนิช. 2543. พอลิเมอร์เชิงพาณิชย์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ประสานมิตร.

ธนู อุดมพันธ์. 2532. คู่มือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ประสานมิตร.

พงษ์ธร แซ่อูย. 2547. ยาง ชนิด สมบัติและการใช้งาน. กรุงเทพฯ (เอ็มเทค) พิมพ์ครั้งที่ 1
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.

ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์ เสาวนีย์ ก่ออุตุกุลรังสีและกิตติ ตั้งคำ. 2541. รายงานการวิจัยเรื่องการทำ
ถุงมือยางจากน้ำยางโปรตีนต่ำ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ภมรรัตน์ เกื้อเส้ง. 2549. “การวิเคราะห์สารธาตและอติเพตเอสเทอร์ปริมาณน้อยที่ปนเปื้อนใน
อาหารบรรจุภัณฑ์”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรุษฎีบัณฑิต สาขาเคมีวิเคราะห์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2549. ยางธรรมชาติการผลิตและการใช้งาน. พิมพ์ครั้งที่ 1: กรุงเทพฯ.
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

สำนักเทคโนโลยีและความปลอดภัย. 2548. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม
ประเภทผลิตภัณฑ์ยาง (ออนไลน์). สืบค้นจาก:
http://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/profile/profile2.87.asp
(12 กันยายน 2552).

สุพิช ปัญญาวัฒน์พงษ์ 2545. “เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติและพอลิเอทิลีน
ชนิดความหนาน้ำต่ำ”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สมมาตร แสงประดับ. 2551. ระบบตลาดปาล์มน้ำมันในจังหวัด ชุมพร สุราษฎร์ธานีและกระบี่ (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://thai oil maketing.tr.th> (12 กันยายน 2553).

ศุภชัย ไร่เทียมวงศ์. 2534. **เคมีวิเคราะห์เชิงปริมาณ**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรสา ภัทรไพบุญชัย. 2547. การอบรมเชิงปฏิบัติการ การทำผลิตภัณฑ์ยางพาราด้วยเทคนิคการอัด เบ้า, ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ยางพารา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อรอุษา สรวารี. 2546. **สารแต่งเติมพอลิเมอร์**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Adibi, J., Perera, W., Camann, D.E. 2003. "Prenatal exposure to phthalates among women in New York city" **Environmental Health Perspectives** 111: 1719-1722.

Aignasse, M.F., Prognon, P., Stachowicz, M., Gheyouche, R. 1994. "A new sample and rapid HPLC method for determination of DEHP in PVC Packaging and releasing studies" **Pharmaceutics** 113: 241-246.

Andrew, P., Hullock, F.Y, Vishnuvajjala, B.R., Nguyenle, T., Wang, E. 1999. "Compatibility and stability of bryostain in infusion devices investigational" **New Drugs** 516: 227-236.

Blow, C.M.. 1971. **Rubber Technology and Manufacture**. London: Cox and Wayman.

Carrillo, J.D., Martinez, M.P., Tena, M.T. 2007 "Determination of phthalate in wine by headspace solid-phase microextraction followed by gas chromatography-mass spectrometry use of deuterated phthalates as internal standards" **Chromatography** 1181: 125-130.

Chen, M.L., Chin, J.S., Tang, C.L 2007. "The internal exposure of Taiwanese to phthalate An evidence of intensive use of plastic materials" **Environment International** 34:79-85.

CSSTEE (Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment). 1998. Opinion on phthalate migration from soft PVC toys and child-care articles. Opinion expressed at the 6 th CSSTEE Plenary Meeting. Brussels.

Digangi, J.H., Rossi, M. 2002. "Aggregate exposures to phthalates in humans" **Reprod Toxicol** 17 :165-170.

European commission. 2008. Summary Risk Assessment Report: Bis (2-Ethylhexyl) Phthalate. (DEHP), Swedish Chemicals Agency.

Fracasso, M.E., Franceschetti, P., Mossini, E., Tieghi, S., Perbellini, L. and Romeo, L. 1999. "Exposure to mutagenic airborne particulate in rubber manufacturing plant" **Mutation Research** 441: 43-51.

Frank, A.P., Webster, G., Cherly, E., Ikono, M. 2003 "Bioaccumulation of phthalate ester in aquatic food-webs" **The Handbook of Environmental Chemistry** vol 3 part Q: 201-225.

Gibson, R., Wang, M-J., Padgett, E. and Beck, A. 2005. "Analysis of 4-nonylphenols phthalates, and polychlorinated biphenyls in soils and biosolids". **Chemosphere** 61: 1336-1344.

Grob, R.L. 2004. **Modern Practice of Gas Chromatography**. 4th edition. New York: John Wiley & Sons. 1045 p.

Gudzinowicz, B.J. 1967. **Gas Chromatographic Analysis of Drugs and Pesticides**. New York: Marcel Dekker, Inc. 605 p.

Guo, Z., Wang, S., Wei, D., Wang, M., Zhang, H., Duan, J. 2009. "Development and application of a method for analysis of phthalates in ham sausages by solid-phase extraction and gas chromatography-mass spectrometry" **Meat Science** 84: 484-490.

Hakkarainen, M. 2008 "Migration of monomeric and polymeric PVC plasticizer" **Polymer** 211: 159-185.

- Hu, x.y., Wen, B.,Shan, x.g. 2003. "Survey of ohthalate pollution in arable soils in china" **J Dairy Sci** 83: 1715-1722.
- Itoh, H., Yoshida, K., Masunaga, S. 2005. "Evaluation of effect of governmental control of human exposure to two phthalates in Japan using a urinary biomarker approach" **Environ-Health** 208: 237-245.
- Khan, H.M., Jong, J.Y. 2008 "Ozonation catalyzed by homogeneous and heterogeneous catalysts for degradation of DEHP in aqueous phase" **Chemosphere** 72: 609-696.
- Koch, H.M., Drexler, H., Angerer, J. 2003. "An estimation of the daily in take of di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) and other phthalates in the general population". **Toxicol** 78:123-120.
- Korte, K., Alanko, K., Eckerman, H., Estlander, T., and Jolamki, R. 2003. "Allergic contact dermatitis from bisphenol A in PVC glove" **Allergy Hospital** 49: 202-205.
- Nanni, N., Fiselier, k., Grob, k. Aureli, p. 2010. "Contamination of vegetable oils marketed in Italy by phthalic acid esters" **Food Control** 8032 : 1-6.
- Ogunfowokan, A.O., Adenuga, A.A., Okoh, I.K. 2005 "Survey of levels of phthalate ester plasticizer in a sewage lagoon effluent and a receiving stream" **Environmental Monitoring and Assessment** 118: 457-408.
- Park, J.D., Habeebu, S.S.M.&Klaasren, C.D. 2002. "Testicular toxicity of di-(ethyhexyl)phthalate in yong Sprague-Dawley rat" **Toxicology** 171: 105-115.
- Shahab, A., Shamsi, m., Neil, D., Weathers, M. 1995 "Capillary electrophoresis of phosphate ester surfactants with adenosine monophosphate and indirect photometric detection" **Chromatography** 737: 315-324.

Tsumura, Y., Ishimitsu, S., Saito, I., Kaihara, A., Yoshii, k., Nakamura, Y. and Tonogai, Y. 2000.
“Di(2-ethylhexyl) phthalate contamination of retail packed lunches caused by PVC
glove used in the preparation of foods” **National Institute of Health Sciences** 18: 569-
579.

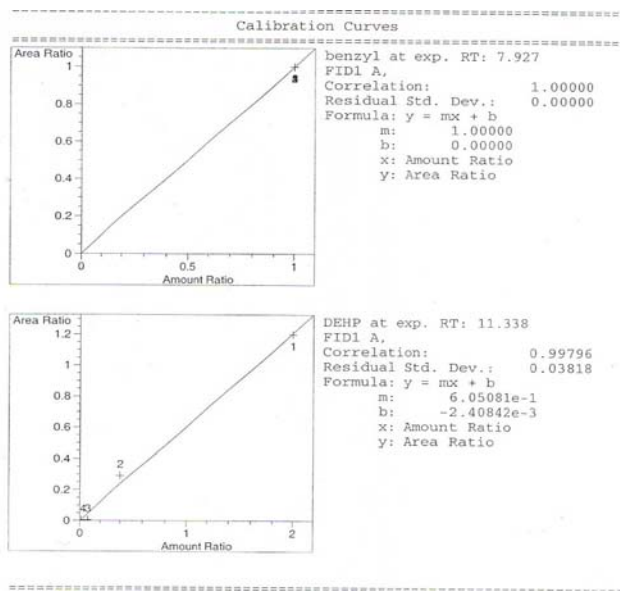
U.S.EPA. 1996. Draft for Public Health Goal for Di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) in Drinking
Water. Pesticide and Environmental Toxicology Section. Office of Environmental
Toxicology Section. Office of Environmental Health Hazard Assessment. California
Environmental Protection Agency.

U.S.EPA.2005. Di (2-ethylhexyl)Bis (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP). Environmental Protection
Agency, National Center for Environmental Assessment, Office of Research and
Development. Washington, DC.

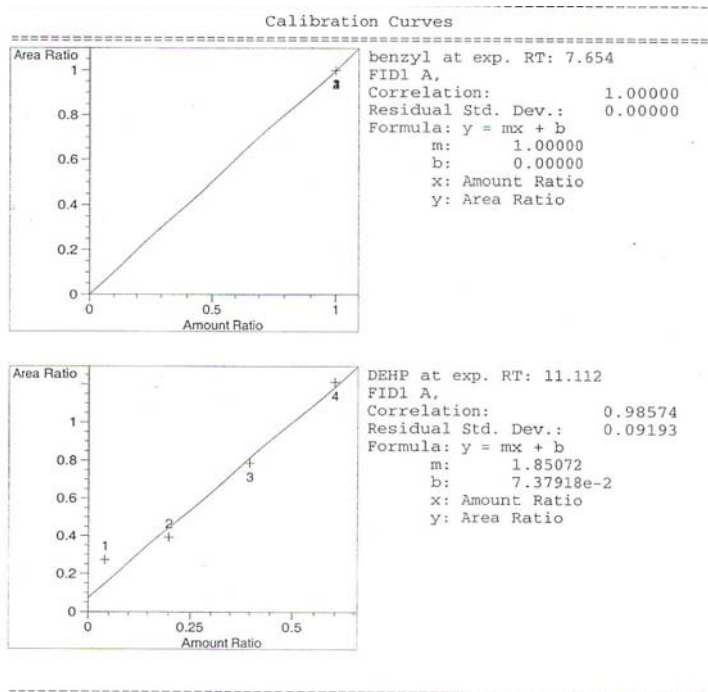
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

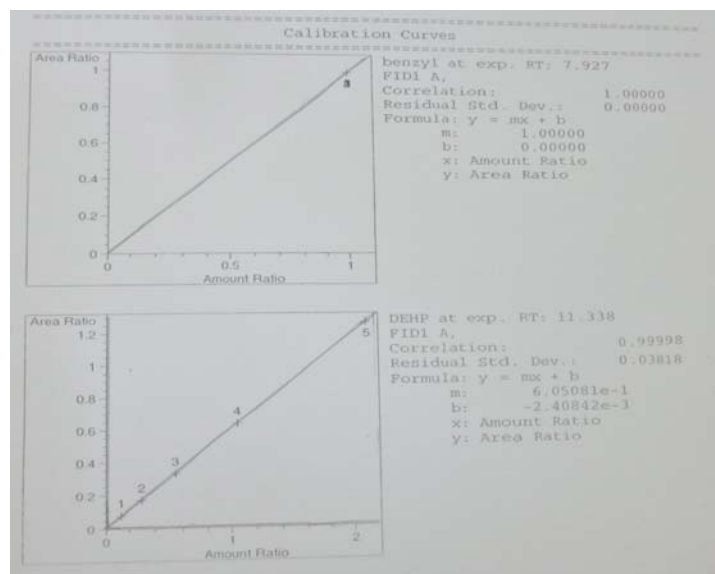
Calibration data และ curve



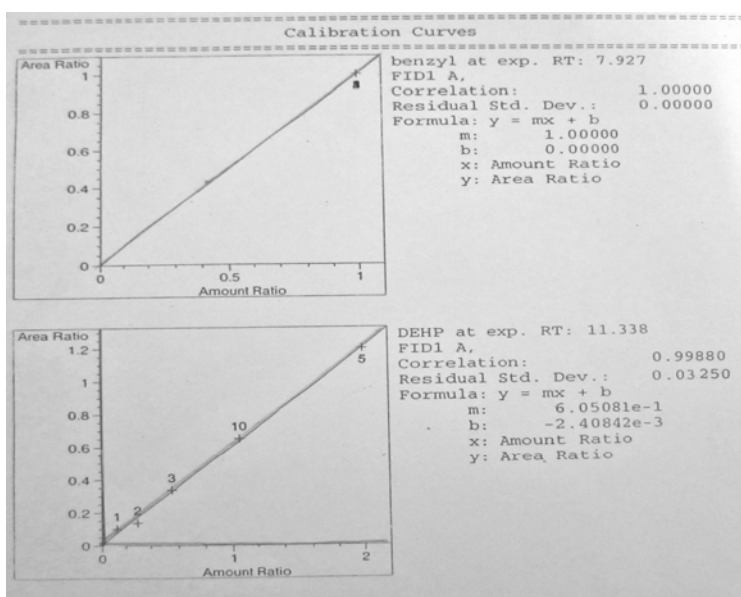
รูปที่ ก-1 Calibration curve ของ DEHP ที่ระดับความเข้มข้น 0.05, 0.50, 1.00, 5.00 และ 20.00 ไมโครกรัมต่อกรัม



รูปที่ ก-2 Calibration curve ของ DEHP ที่ระดับความเข้มข้น 1.0, 5.0, 10.0, 20.0 และ 50.0 ไมโครกรัมต่อกรัม



รูปที่ ก-3 Calibration curve ของ DEHP ที่ระดับความเข้มข้น 0.05, 0.5, 1.00, 5.00 และ 10.0 ไมโครกรัมต่อกรัม



รูปที่ ก-4 Calibration curve ของ DEHP ที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1.0, 5.0, 5.00 และ 20.0 ไมโครกรัมต่อกรัม

รูปที่ ๓-5 Calibration data ของ DEHP

Method C:\HPCHEM\2\METHODS\PHOON005.M

```

=====
                        Calibration Table
=====

```

Calib. Data Modified : 6/21/2010 3:43:21 PM

Calculate Based on : Internal Standard
Peak Area

Rel. Reference Window : 1.000 %
Abs. Reference Window : 0.001 min
Rel. Non-ref. Window : 1.000 %
Abs. Non-ref. Window : 0.000 min
Uncalibrated Peaks : not reported
Partial Calibration : Yes, identified peaks are recalibrated
Correct All Ret. Times: No, only for identified peaks

Curve Type : Linear
Origin : Included
Weight : Equal

Recalibration Settings:
Average Response : Average all calibrations
Average Retention Time: Floating Average New 75%

Calibration Report Options :
Printout of recalibrations within a sequence:
Calibration Table after Recalibration
Normal Report after Recalibration
If the sequence is done with bracketing:
Results of first cycle (ending previous bracket)

Default Sample ISTD Information (if not set in sample table):

ISTD #	ISTD Amount [microg/L]	Name
1	100.00000	benzyl

Signal 1: FID1 A,

RetTime [min]	Lvl Sig	Amount [microg/L]	Area	Amt/Area	Ref Grp Name
7.654	1 1	100.00000	28.07120	3.56237	I1 benzyl
	2	100.00000	30.99183	3.22666	
	3	100.00000	29.40709	3.40054	
	4	100.00000	29.31838	3.41083	
11.112	1 1	4.00000	7.67529	5.21153e-1	+ 1 DEHP
	2	20.00000	12.16572	1.64396	
	3	40.00000	23.13024	1.72934	
	4	60.00000	35.51437	1.68946	

1 Warnings or Errors :

Warning : Cal. table open and changed while report was generated.

```

=====
                        Peak Sum Table
=====

```

No Entries in table

```

=====

```

ภาคผนวก ข
ปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาจากสภาวะต่าง ๆ

ตารางที่ ข-1 ปริมาณ DEHP ในถุงมือ 5 ชนิด

จำนวน ตัวอย่างที่	ค่าเฉลี่ย DEHP (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)				
	ถุงมือยาง อเนกประสงค์ ชนิดบาง	ถุงมือยางหนา อเนกประสงค์ ชนิดที่ 1	ถุงมือยางหนา อเนกประสงค์ ชนิดที่ 2	ถุงมือยางตรวจ โรค	ถุงมือพลาสติก PE
1	67.54	98.34	68.75	58.43	41.26
2	62.63	77.36	99.45	58.12	42.52
3	69.45	85.89	86.72	66.13	49.13
4	54.76	88.76	88.56	58.74	50.12
5	69.45	88.42	98.59	61.34	64.26
6	54.76	88.37	96.74	56.14	54.14
7	65.81	68.84	89.58	68.90	56.50
8	61.94	68.22	75.86	57.23	45.55
9	65.41	78.25	98.74	53.14	66.16
10	78.36	78.36	94.13	50.12	54.12
ค่าเฉลี่ย \pm SD	65.01 \pm 8.21	82.08 \pm 9.06	89.71 \pm 8.13	58.83 \pm 9.01	63.72 \pm 7.98

ตารางที่ ข-2 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาต่อการชะออกมาของ DEHP ด้วยน้ำกลั่น

อุณหภูมิ 4 °C	ชนิดถุงมือ	ปริมาณ DEHP (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ที่ถูกชะ ออกจากชิ้นส่วนถุงมือต่อตัวอย่างที่					ค่าเฉลี่ย \pm SD
		1	2	3	4	5	
3 นาที	ถุงมือพลาสติก	1.35	1.11	1.23	1.43	1.30	1.25 \pm 1.04
	ถุงมือยางชนิดบาง	2.20	2.12	2.45	2.00	1.38	2.23 \pm 1.12
	ถุงมือยางชนิดหนา	1.43	1.51	1.82	1.65	1.30	1.8 \pm 1.25
15 นาที	ถุงมือพลาสติก	1.85	1.73	1.92	2.09	2.00	1.99 \pm 1.34
	ถุงมือยางชนิดบาง	3.12	3.35	3.42	3.14	3.17	3.37 \pm 0.86
	ถุงมือยางชนิดหนา	2.35	2.45	2.41	2.10	2.30	2.49 \pm 1.02
30 นาที	ถุงมือพลาสติก	2.10	1.51	1.62	1.50	2.00	1.72 \pm 1.13
	ถุงมือยางชนิดบาง	3.51	4.00	3.95	3.61	3.24	3.81 \pm 0.56

	ถุงมือยางชนิดหนา	3.12	3.25	3.42	3.50	3.48	3.35 ± 0.67
45 นาที	ถุงมือพลาสติก	1.71	1.62	1.92	2.10	2.00	1.83 ± 1.08
	ถุงมือยางชนิดบาง	3.50	3.90	2.90	3.40	2.52	3.49 ± 1.14
	ถุงมือยางชนิดหนา	1.45	1.60	1.50	1.60	1.50	1.53 ± 0.97

อุณหภูมิ 25 °C/ เวลา	ชนิดถุงมือ	ปริมาณ DEHP (ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตร) ที่ถูกชะ ออกจากชิ้นส่วนถุงมือต่อตัวอย่างที่					ค่าเฉลี่ย ± SD
		1	2	3	4	5	
3 นาที							
	ถุงมือพลาสติก	3.05	5.12	6.12	4.15	5.12	4.71 ± 1.16
	ถุงมือยางชนิดบาง	6.05	5.12	5.01	3.01	2.01	4.24 ± 1.66
	ถุงมือยางชนิดหนา	2.01	3.02	4.21	5.01	2.02	3.25 ± 1.33
15 นาที	ถุงมือพลาสติก	5.23	7.16	8.66	8.00	9.54	7.71 ± 1.64
	ถุงมือยางชนิดบาง	9.54	10.37	11.25	8.16	7.00	9.26 ± 1.70
	ถุงมือยางชนิดหนา	11.00	12.34	15.82	14.00	12.54	13.14 ± 1.83
30 นาที	ถุงมือพลาสติก	11.17	7.95	10.12	8.15	9.54	4.71 ± 1.16
	ถุงมือยางชนิดบาง	15.14	20.15	14.54	16.72	14.00	4.24 ± 1.66
	ถุงมือยางชนิดหนา	16.00	15.95	17.14	16.00	14.52	3.25 ± 1.33
45 นาที	ถุงมือพลาสติก	11.54	12.34	15.12	10.12	11.00	12.02 ± 1.91
	ถุงมือยางชนิดบาง	16.25	17.15	16.00	18.25	15.03	16.54 ± 1.21
	ถุงมือยางชนิดหนา	18.54	17.25	16.00	17.04	19.54	17.59 ± 1.32
อุณหภูมิ 50 °C/ เวลา	ชนิดถุงมือ						
3 นาที	ถุงมือพลาสติก	10.25	7.12	8.12	9.25	8.00	8.54 ± 1.21
	ถุงมือยางชนิดบาง	11.05	10.95	12.53	13.05	14.05	12.33 ± 1.32
	ถุงมือยางชนิดหนา	12.05	14.05	13.01	11.23	12.05	12.48 ± 1.08
15 นาที °C	ถุงมือพลาสติก	12.54	17.25	21.00	20.00	21.72	18.50 ± 3.74
	ถุงมือยางชนิดบาง	6.00	15.00	13.14	14.20	16.00	12.8 ± 3.98
	ถุงมือยางชนิดหนา	14.00	16.00	20.00	19.00	21.05	18.01 ± 2.92
30 นาที °C	ถุงมือพลาสติก	20.21	25.24	19.41	16.14	20.14	20.23 ± 3.29
	ถุงมือยางชนิดบาง	20.12	22.12	19.55	18.00	19.00	19.76 ± 1.53
	ถุงมือยางชนิดหนา	15.45	16.15	22.72	19.15	21.10	18.91 ± 3.12
45 นาที °C	ถุงมือพลาสติก	21.05	23.25	24.25	25.06	26.00	23.92 ± 1.81
	ถุงมือยางชนิดบาง	21.00	22.54	23.25	24.12	20.00	22.18 ± 1.67
	ถุงมือยางชนิดหนา	16.04	18.54	22.54	23.00	24.00	20.82 ± 3.36

อุณหภูมิ 95 °C							
3 นาที	ถุงมือพลาสติก	30.12	32.91	29.25	33.15	35.00	32.00 ± 2.35
	ถุงมือยางชนิดบาง	30.01	35.01	40.00	42.00	46.00	38.60 ± 6.22
	ถุงมือยางชนิดหนา	30.01	29.12	28.01	27.15	29.00	28.65 ± 1.10

อุณหภูมิ 95 °C/เวลา	ชนิดถุงมือ	ปริมาณ DEHP (ไมโครกรัมต่อมิลลิตร) ที่ถูกชะออกจากชิ้นส่วนถุงมือต่อตัวอย่างที่					ค่าเฉลี่ย ± SD
		1	2	3	4	5	
15 นาที	ถุงมือพลาสติก	41.15	39.15	34.17	33.15	34.17	36.35 ± 3.56
	ถุงมือยางชนิดบาง	49.00	50.15	49.12	46.72	39.15	46.30 ± 5.33
	ถุงมือยางชนิดหนา	41.00	42.00	45.00	46.00	42.00	43.39 ± 2.39
30 นาที	ถุงมือพลาสติก	40.22	40.23	30.41	39.15	30.14	36.03 ± 5.27
	ถุงมือยางชนิดบาง	55.12	50.12	49.75	48.00	51.00	33.86 ± 2.65
	ถุงมือยางชนิดหนา	50.15	50.15	58.15	55.15	49.54	52.63 ± 3.84
45 นาที	ถุงมือพลาสติก	43.25	42.00	41.00	40.00	39.00	41.05 ± 1.66
	ถุงมือยางชนิดบาง	56.00	53.00	52.45	54.15	55.15	54.15 ± 1.46
	ถุงมือยางชนิดหนา	55.12	58.92	55.72	55.12	54.12	55.80 ± 1.84

ตารางที่ ข-3 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาต่อการชะออกมาของ DEHP ด้วยน้ำมันปาล์ม

อุณหภูมิ 25 °C/เวลา	ชนิดถุงมือ	ปริมาณ DEHP (ไมโครกรัมต่อมิลลิตร) ที่ถูกชะออกจากชิ้นส่วนถุงมือต่อตัวอย่างที่					ค่าเฉลี่ย ± SD
		1	2	3	4	5	
3 นาที	ถุงมือพลาสติก	3.05	5.12	6.12	4.15	5.12	4.71 ± 1.16
	ถุงมือยางชนิดบาง	6.05	5.12	5.01	3.01	2.01	4.24 ± 1.66
	ถุงมือยางชนิดหนา	2.01	3.02	4.21	5.01	2.02	3.25 ± 1.33
15 นาที	ถุงมือพลาสติก	5.23	7.16	8.66	8.00	9.54	7.71 ± 1.64
	ถุงมือยางชนิดบาง	9.54	10.37	11.25	8.16	7.00	9.26 ± 1.70
	ถุงมือยางชนิดหนา	11.00	12.34	15.82	14.00	12.54	13.14 ± 1.83
30 นาที	ถุงมือพลาสติก	11.17	7.95	10.12	8.15	9.54	4.71 ± 1.16
	ถุงมือยางชนิดบาง	15.14	20.15	14.54	16.72	14.00	4.24 ± 1.66
	ถุงมือยางชนิดหนา	16.00	15.95	17.14	16.00	14.52	3.25 ± 1.33
45 นาที	ถุงมือพลาสติก	11.54	12.34	15.12	10.12	11.00	12.02 ± 1.91
	ถุงมือยางชนิดบาง	16.25	17.15	16.00	18.25	15.03	16.54 ± 1.21
	ถุงมือยางชนิดหนา	18.54	17.25	16.00	17.04	19.54	17.59 ± 1.32

อุณหภูมิ 50 C°	ชนิดถุงมือ						
3 นาที	ถุงมือพลาสติก	10.25	7.12	8.12	9.25	8.00	8.54 ± 1.21
	ถุงมือยางชนิดบาง	11.05	10.95	12.53	13.05	14.05	12.33 ± 1.32
	ถุงมือยางชนิดหนา	12.05	14.05	13.01	11.23	12.05	12.48 ± 1.08
15 นาที °C	ถุงมือพลาสติก	12.54	17.25	21.00	20.00	21.72	18.50 ± 3.74
	ถุงมือยางชนิดบาง	6.00	15.00	13.14	14.20	16.00	12.8 ± 3.98
	ถุงมือยางชนิดหนา	14.00	16.00	20.00	19.00	21.05	18.01 ± 2.92
30 นาที °C	ถุงมือพลาสติก	20.21	25.24	19.41	16.14	20.14	20.23 ± 3.29
	ถุงมือยางชนิดบาง	20.12	22.12	19.55	18.00	19.00	19.76 ± 1.53
	ถุงมือยางชนิดหนา	15.45	16.15	22.72	19.15	21.10	18.91 ± 3.12
45 นาที °C	ถุงมือพลาสติก	21.05	23.25	24.25	25.06	26.00	23.92 ± 1.81
	ถุงมือยางชนิดบาง	21.00	22.54	23.25	24.12	20.00	22.18 ± 1.67
	ถุงมือยางชนิดหนา	16.04	18.54	22.54	23.00	24.00	20.82 ± 3.36
อุณหภูมิ 95 °C							
3 นาที	ถุงมือพลาสติก	30.12	32.91	29.25	33.15	35.00	32.00 ± 2.35
	ถุงมือยางชนิดบาง	30.01	35.01	40.00	42.00	46.00	38.60 ± 6.22
	ถุงมือยางชนิดหนา	30.01	29.12	28.01	27.15	29.00	28.65 ± 1.10
15 นาที							
	ถุงมือพลาสติก	41.15	39.15	34.17	33.15	34.17	36.35 ± 3.56
	ถุงมือยางชนิดบาง	49.00	50.15	49.12	46.72	39.15	46.30 ± 5.33
	ถุงมือยางชนิดหนา	41.00	42.00	45.00	46.00	42.00	43.39 ± 2.39
30 นาที	ถุงมือพลาสติก	40.22	40.23	30.41	39.15	30.14	36.03 ± 5.27
	ถุงมือยางชนิดบาง	55.12	50.12	49.75	48.00	51.00	33.86 ± 2.65
	ถุงมือยางชนิดหนา	50.15	50.15	58.15	55.15	49.54	52.63 ± 3.84
45 นาที	ถุงมือพลาสติก	43.25	42.00	41.00	40.00	39.00	41.05 ± 1.66
	ถุงมือยางชนิดบาง	56.00	53.00	52.45	54.15	55.15	54.15 ± 1.46
	ถุงมือยางชนิดหนา	55.12	58.92	55.72	55.12	54.12	55.80 ± 1.84

ตารางที่ ข-4 ปริมาณ DEHP ถูกชะออกมาจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกที่ pH 2

ชนิดถุงมือ/เวลา	ปริมาณ DEHP (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ที่ถูกชะออกจากชิ้นส่วน ถุงมือตัวอย่างที่					ค่าเฉลี่ย \pm SD
	1	2	3	4	5	
ถุงมือพลาสติก						
1 วัน	5.20	7.25	8.12	5.00	4.23	5.96 \pm 1.64
1 สัปดาห์	7.12	6.00	8.00	9.5	7.94	7.71 \pm 1.29
1 เดือน	12.00	13.00	12.00	10.00	8.00	11.00 \pm 2.00
ถุงมือยางหนา						
1 วัน	3.01	2.54	3.94	6.54	7.12	4.63 \pm 2.00
1 สัปดาห์	10.00	12.25	9.78	12.54	10.59	7.22 \pm 1.11
1 เดือน	18.00	15.00	16.72	14.32	17.85	16.38 \pm 1.66
ถุงมือยาง						
1 วัน	7.12	3.00	6.75	8.12	7.13	8.61 \pm 1.98
1 สัปดาห์	12.00	13.00	15.73	14.23	16.00	14.19 \pm 1.72
1 เดือน	16.00	17.01	16.32	17.98	14.17	16.33 \pm 1.41

ตารางที่ ข-5 ปริมาณ DEHP ถูกชะออกมาจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกที่ pH 4.6

ชนิดถุงมือ	ปริมาณ DEHP (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ที่ถูกชะออกจากชิ้นส่วน ถุงมือตัวอย่างที่					ค่าเฉลี่ย \pm SD ($\mu\text{g/mL}$)
	1	2	3	4	5	
ถุงมือพลาสติก						
1 วัน	1.21	2.14	3.12	1.25	2.00	1.92 \pm 0.80
1 สัปดาห์	5.00	6.00	7.12	6.72	7.95	6.56 \pm 1.12
1 เดือน	12.14	15.23	13.15	7.00	10.11	11.53 \pm 3.13
ถุงมือยางหนา						
1 วัน	0.15	1.23	1.59	2.14	0.52	0.75 \pm 0.80
1 สัปดาห์	2.15	1.54	3.19	6.14	4.13	2.28 \pm 1.80
1 เดือน	9.25	7.48	9.00	8.15	6.73	8.12 \pm 1.04
ถุงมือยาง						
1 วัน	3.15	4.16	2.10	3.12	2.15	2.94 \pm 0.82
1 สัปดาห์	9.00	11.00	8.16	7.12	6.15	8.28 \pm 5.52
1 เดือน	11.00	10.25	12.54	11.75	10.00	11.10 \pm 1.05

ตารางที่ ข-6 ปริมาณ DEHP ถูกชะออกมาจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกที่ pH 7

ชนิดถุงมือ	ปริมาณ DEHP (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ที่ถูกชะออกจากชิ้นส่วนถุงมือตัวอย่างที่					ค่าเฉลี่ย \pm SD
	1	2	3	4	5	
ถุงมือพลาสติก						
1 วัน	0.13	3.00	4.00	3.50	1.25	2.37 \pm 1.62
1 สัปดาห์	4.00	5.00	4.25	3.15	5.14	4.36 \pm 0.80
1 เดือน	12.14	11.15	7.12	12.15	11.00	10.31 \pm 1.91
ถุงมือยางชนิดหนา						
1 วัน	0.15	0.73	1.75	0.95	1.25	0.96 \pm 1.25
1 สัปดาห์	1.25	1.20	0.92	2.75	3.17	3.17 \pm 1.23
1 เดือน	6.15	7.18	8.92	6.12	7.15	7.096 \pm 1.14
ถุงมือยางชนิดบาง						
1 วัน	2.12	1.15	2.00	2.54	3.01	2.16 \pm 0.69
1 สัปดาห์	7.14	8.16	9.14	7.00	6.00	7.48 \pm 1.19
1 เดือน	16.00	11.21	8.15	7.15	6.15	8.53 \pm 2.06

ตารางที่ ข-7 ปริมาณ DEHP ถูกชะออกมาจากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกที่ pH 9

ชนิดถุงมือ	ปริมาณ DEHP (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ที่ถูกชะออกจากชิ้นส่วนถุงมือตัวอย่างที่					ค่าเฉลี่ย \pm SD
	1	2	3	4	5	
ถุงมือพลาสติก						
1 วัน	1.44	2.55	2.00	7.11	5.22	2.08 \pm 2.41
1 สัปดาห์	0.25	1.41	2.15	3.12	1.51	1.12 \pm 1.05
1 เดือน	0.75	1.41	1.51	2.15	3.12	1.78 \pm 0.89
ถุงมือยางชนิดหนา						
1 วัน	2.54	4.11	3.25	2.54	3.00	3.08 \pm 0.64
1 สัปดาห์	3.14	4.15	3.02	4.15	5.17	2.61 \pm 0.87
1 เดือน	5.12	7.11	5.13	4.12	5.00	5.29 \pm 1.09
ถุงมือยางชนิดบาง						
1 วัน	1.35	0.12	2.14	3.14	3.00	1.30 \pm 1.25
1 สัปดาห์	2.14	3.24	4.28	5.12	5.12	3.98 \pm 1.27
1 เดือน	2.14	2.31	1.00	0.50	1.50	1.49 \pm 0.76

ตารางที่ ข-8 อิทธิพลของเอทิลแอลกอฮอล์ต่อการชะออกมาของ DEHP จากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกด้วยน้ำกลั่น

ชนิดถุงมือ	ปริมาณ DEHP (ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตร) ที่ถูกชะออกจาก ชิ้นส่วนถุงมือต่อตัวอย่างที่					ค่าเฉลี่ย \pm SD
	1	2	3	4	5	
ถุงมือยางชนิดบาง						
กลุ่มควบคุม	8.12	5.18	6.02	7.42	6.1	6.58 \pm 2.41
กลุ่มทดลอง	11.02	8.10	9.78	11.12	12.73	10.55 \pm 1.05
ถุงมือยางชนิดหนา						
กลุ่มควบคุม	2.12	1.25	2.51	1.07	0.72	1.53 \pm 0.64
กลุ่มทดลอง	6.01	7.12	9.01	11.05	6.04	7.84 \pm 0.87
ถุงมือพลาสติก						
กลุ่มควบคุม	9.12	7.52	9.14	11.15	8.14	9.01 \pm 1.25
กลุ่มทดลอง	11.05	10.12	9.45	10.43	11.05	11.05 \pm 1.27

ตารางที่ ข-9 อิทธิพลของเอทิลแอลกอฮอล์ต่อการชะออกมาของ DEHP จากถุงมือยางและถุงมือพลาสติกด้วยน้ำมันปาล์ม

ชนิดถุงมือ	ปริมาณ DEHP (ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตร) ที่ถูกชะออกจากชิ้นส่วน ถุงมือต่อตัวอย่างที่					ค่าเฉลี่ย \pm SD
	1	2	3	4	5	
ถุงมือพลาสติก						
กลุ่มควบคุม	10.00	9.00	11.00	12.00	15.00	11.40 \pm 2.41
กลุ่มทดลอง	17.15	18.16	18.00	16.60	15.12	17.0 \pm 1.05
ถุงมือยางชนิดหนา						
กลุ่มควบคุม	15.05	14.05	12.16	16.82	11.01	13.82 \pm 0.64
กลุ่มทดลอง	22.00	23.15	22.13	20.14	18.12	21.12 \pm 0.87
ถุงมือยางชนิดบาง						
กลุ่มควบคุม	8.15	9.02	6.05	7.14	8.09	7.69 \pm 1.25
กลุ่มทดลอง	15.01	18.25	22.01	23.06	20.00	19.66 \pm 1.27

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ทางสถิติ

ความแตกต่างของการชะออกมาของ DEHP ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในชิ้นส่วนถุงมือยางและถุงมือพลาสติก ทดสอบโดยใช้วิธี One-Way ANOVA ต่อไปนี้

สมมติฐาน

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ ปริมาณการชะ DEHP ที่ระดับอุณหภูมิ 4, 25, 50 และ 95 °C มีค่าไม่ต่างกัน

$H_1: \mu_i \neq \mu_j$ อย่างน้อย 1 คู่; $i \neq j$; $i, j = 1, 2, 3$ ปริมาณการชะออกมาของ DEHP ที่ระดับอุณหภูมิ 4, 25, 50 และ 95 °C แตกต่างกัน

ตารางที่ ค-1 ผลการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางด้วยน้ำกลั่นปรับอุณหภูมิ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	973.810	3	324.603	6.779	.006
Within Groups	574.562	12	47.880		
Total	1548.372	15			

ตารางที่ ค-2 ผลการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางหนาด้วยน้ำกลั่นปรับอุณหภูมิ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1495.061	3	498.354	20.111	.000
Within Groups	297.368	12	24.781		
Total	1792.429	15			

ตารางที่ ค-3 ผลการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือพลาสติกโดยใช้น้ำกลั่นปรับอุณหภูมิ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1224.263	3	408.088	20.033	.000
Within Groups	244.452	12	20.371		
Total	1468.715	15			

ตารางที่ ค-4 ผลการเปรียบเทียบผลของระยะเวลาต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดบางด้วยน้ำกลั่นปรับอุณหภูมิ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	673.268	3	224.423	13.217	.000
Within Groups	271.668	16	16.979		
Total	944.936	19			

ตารางที่ ค-5 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดหนาด้วยน้ำกลั่นปรับอุณหภูมิ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2225.534	3	741.845	123.886	.000
Within Groups	95.810	16	5.988		
Total	2321.344	19			

ตารางที่ ค-6 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือพลาสติกด้วยน้ำกลั่นปรับอุณหภูมิ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	201.852	3	67.284	5.518	.009
Within Groups	195.092	16	12.193		
Total	396.944	19			

ตารางที่ ค-7 ผลการเปรียบเทียบระดับอนุหภูมิต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดบาง
ด้วยน้ำมันปาล์มปรับอนุหภูมิ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1407.170	2	703.585	49.833	.000
Within Groups	127.069	9	14.119		
Total	1534.239	11			

ตารางที่ ค-8 ผลการเปรียบเทียบระดับอนุหภูมิในการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดหนา
ด้วยน้ำมันปาล์มปรับอนุหภูมิ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1121.798	2	560.899	19.086	.001
Within Groups	264.489	9	29.388		
Total	1386.286	11			

ตารางที่ ค-9 ผลการเปรียบเทียบระดับอนุหภูมิในการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือพลาสติกด้วย
น้ำมันปาล์มปรับอนุหภูมิ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	721.324	2	360.662	36.839	.000
Within Groups	88.111	9	9.790		
Total	809.434	11			

ตารางที่ ค-10 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดบางที่ pH 2
ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	270.375	2	135.188	45.691	.000
Within Groups	35.505	12	2.959		
Total	305.880	14			

ตารางที่ ค-11 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดหนาที่ pH 2
ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	345.968	2	172.984	59.392	.000
Within Groups	34.951	12	2.913		
Total	380.919	14			

ตารางที่ ค-12 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือพลาสติกที่ pH 2
ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	65.470	2	32.735	11.749	.001
Within Groups	33.435	12	2.786		
Total	98.905	14			

ตารางที่ ค-13 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดบางที่ pH 4.6
ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	172.280	2	86.140	48.882	.000
Within Groups	21.146	12	1.762		
Total	193.426	14			

ตารางที่ ค-14 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดหนาที่ pH 4.6
ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	127.112	2	63.556	38.000	.000
Within Groups	20.070	12	1.673		
Total	147.182	14			

ตารางที่ ค-15 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือพลาสติกที่ pH 4.6
ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	229.641	2	114.821	29.512	.000
Within Groups	46.687	12	3.891		
Total	276.328	14			

ตารางที่ ค-16 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดบางที่ pH 7
ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	151.092	2	75.546	12.743	.001
Within Groups	71.141	12	5.928		
Total	222.233	14			

ตารางที่ ค-17 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดหนาที่ pH 7
ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	109.985	2	54.993	61.099	.000
Within Groups	10.801	12	.900		
Total	120.786	14			

ตารางที่ ค-18 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือพลาสติกที่ pH 7
ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	190.388	2	95.194	37.457	.000
Within Groups	30.497	12	2.541		
Total	220.885	14			

ตารางที่ ค-19 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดบางที่ pH 9
ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13.736	2	6.868	4.304	.039
Within Groups	19.150	12	1.596		
Total	32.886	14			

ตารางที่ ค-20 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือยางชนิดหนาที่ pH 9
ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12.424	2	6.212	7.777	.007
Within Groups	9.585	12	.799		
Total	22.009	14			

ตารางที่ ค-21 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือพลาสติกที่ pH 9
ระยะเวลาการแช่ที่ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 1 เดือน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12.424	2	6.212	7.777	.007
Within Groups	9.585	12	.799		
Total	22.009	14			

ตารางที่ ค-22 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ
DEHP ที่ถูกชะออกมาที่อุณหภูมิ 4, 25, 50 และ 95 °C ในชิ้นส่วนถุงมือยางด้วยน้ำกลั่น

(I) อุณหภูมิที่	(J) อุณหภูมิที่	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4 °C	25 °C	-.98250	4.89286	.997	-15.5089	13.5439
	50 °C	-7.48750	4.89286	.451	-22.0139	7.0389
	100 °C	-19.57000*	4.89286	.008	-34.0964	-5.0436
25 °C	4 °C	.98250	4.89286	.997	-13.5439	15.5089
	50 °C	-6.50500	4.89286	.563	-21.0314	8.0214
	100 °C	-18.58750*	4.89286	.012	-33.1139	-4.0611
50 °C	4 °C	7.48750	4.89286	.451	-7.0389	22.0139
	50 °C	6.50500	4.89286	.563	-8.0214	21.0314
	100 °C	-12.08250	4.89286	.116	-26.6089	2.4439

95 °C	4 °C	19.57000*	4.89286	.008	5.0436	34.0964
	25 °C	18.58750*	4.89286	.012	4.0611	33.1139
	50 °C	12.08250	4.89286	.116	-2.4439	26.6089

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

ตารางที่ ค-23 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่อุณหภูมิ 4, 25, 50 และ 95 °C ในชิ้นส่วนถุงมือยางหนาด้วยน้ำกลั่น

(I) อุณหภูมิที่	(J) อุณหภูมิที่	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4 °C	25 °C	.61500	3.51999	.998	-9.8355	11.0655
	50 °C	-1.30000	3.51999	.982	-11.7505	9.1505
	100 °C	-22.49500*	3.51999	.000	-32.9455	-12.0445
25 °C	4 °C	-.61500	3.51999	.998	-11.0655	9.8355
	50 °C	-1.91500	3.51999	.946	-12.3655	8.5355
	100 °C	-23.11000*	3.51999	.000	-33.5605	-12.6595
50 °C	4 °C	1.30000	3.51999	.982	-9.1505	11.7505
	50 °C	1.91500	3.51999	.946	-8.5355	12.3655
	100 °C	-21.19500*	3.51999	.000	-31.6455	-10.7445
95 °C	4 °C	22.49500*	3.51999	.000	12.0445	32.9455
	25 °C	23.11000*	3.51999	.000	12.6595	33.5605
	50 °C	21.19500*	3.51999	.000	10.7445	31.6455

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

ตารางที่ ค-24 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่อุณหภูมิ 4, 25, 50 และ 95 °C ในชิ้นส่วนถุงมือพลาสติกด้วยน้ำกลั่น

(I) อุณหภูมิ ที่	(J) อุณหภูมิ ที่	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
4 °C	25 °C	-3.11500	3.19147	.765	-12.5902	6.3602
	50 °C	-8.84500	3.19147	.070	-18.3202	.6302
	100 °C	-22.81250*	3.19147	.000	-32.2877	-13.3373
25 °C	4 °C	3.11500	3.19147	.765	-6.3602	12.5902
	50 °C	-5.73000	3.19147	.322	-15.2052	3.7452
	100 °C	-19.69750*	3.19147	.000	-29.1727	-10.2223
50 °C	4 °C	8.84500	3.19147	.070	-.6302	18.3202
	50 °C	5.73000	3.19147	.322	-3.7452	15.2052
	100 °C	-13.96750*	3.19147	.004	-23.4427	-4.4923
95 °C	4 °C	22.81250*	3.19147	.000	13.3373	32.2877
	25 °C	19.69750*	3.19147	.000	10.2223	29.1727
	50 °C	13.96750*	3.19147	.004	4.4923	23.4427

*. The mean difference is significant at the 0.05 level

ตารางที่ ค-25 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่ระยะเวลา 3, 15, 30 และ 45 นาที ในชิ้นส่วนถุงมือยางชนิดบาง ด้วยน้ำกลั่น

(I) ระยะเวลา (นาที)	(J) ระยะเวลา (นาที)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
3.00	15.00	-8.22400 (*)	2.60609	.028	-15.6801	-.7679
	30.00	-12.19400 (*)	2.60609	.001	-19.6501	-4.7379
	45.00	-15.54600 (*)	2.60609	.000	-23.0021	-8.0899
15.00	3.00	8.22400 (*)	2.60609	.028	.7679	15.6801
	30.00	-3.97000	2.60609	.447	-11.4261	3.4861
	45.00	-7.32200	2.60609	.055	-14.7781	.1341
30.00	3.00	12.19400 (*)	2.60609	.001	4.7379	19.6501
	15.00	3.97000	2.60609	.447	-3.4861	11.4261
	45.00	-3.35200	2.60609	.584	-10.8081	4.1041
45.00	3.00	15.54600 (*)	2.60609	.000	8.0899	23.0021
	15.00	7.32200	2.60609	.055	-.1341	14.7781
	30.00	3.35200	2.60609	.584	-4.1041	10.8081

* The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ ค-26 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่ระยะเวลา 3, 15, 30 และ 45 นาที ในชิ้นส่วนถุงมือยางชนิดหนาด้วยน้ำกลั่น

(I) ระยะเวลา (นาที)	(J) ระยะเวลา (นาที)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval	
3.00	15.00	-14.54200 (*)	1.54766	.000	-18.9699	-10.1141
	30.00	-23.97000 (*)	1.54766	.000	-28.3979	-19.5421
	45.00	-27.14200 (*)	1.54766	.000	-31.5699	-22.7141
15.00	3.00	14.54200 (*)	1.54766	.000	10.1141	18.9699
	30.00	-9.42800 (*)	1.54766	.000	-13.8559	-5.0001
	45.00	-12.60000 (*)	1.54766	.000	-17.0279	-8.1721
30.00	3.00	23.97000 (*)	1.54766	.000	19.5421	28.3979
	15.00	9.42800 (*)	1.54766	.000	5.0001	13.8559
	45.00	-3.17200	1.54766	.212	-7.5999	1.2559
45.00	3.00	27.14200 (*)	1.54766	.000	22.7141	31.5699
	15.00	12.60000 (*)	1.54766	.000	8.1721	17.0279
	30.00	3.17200	1.54766	.212	-1.2559	7.5999

* The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ ค-27 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่ระยะเวลา 3, 15, 30 และ 45 นาที ในชิ้นส่วนถุงมือพลาสติก ด้วยน้ำกลั่น

(I) ระยะเวลา (นาที)	(J) ระยะเวลา (นาที)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
3.00	3.00	-8.22400 (*)	2.60609	.028	-15.6801	-.7679
	15.00	-12.19400 (*)	2.60609	.001	-19.6501	-4.7379
	45.00	-15.54600 (*)	2.60609	.000	-23.0021	-8.0899
15.00	3.00	8.22400 (*)	2.60609	.028	.7679	15.6801
	30.00	-3.97000	2.60609	.447	-11.4261	3.4861
	45.00	-7.32200	2.60609	.055	-14.7781	.1341
30.00	15.00	12.19400 (*)	2.60609	.001	4.7379	19.6501
	30.00	3.97000	2.60609	.447	-3.4861	11.4261
	45.00	-3.35200	2.60609	.584	-10.8081	4.1041
45.00	3.00	15.54600 (*)	2.60609	.000	8.0899	23.0021
	15.00	7.32200	2.60609	.055	-.1341	14.7781
	45.00	3.35200	2.60609	.584	-4.1041	10.8081

* The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ ค-28 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 95 °C ในชิ้นส่วนถุงมือยางชนิดบางด้วยน้ำมันปาล์ม

(I) อุณหภูมิที่	(J) อุณหภูมิที่	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
25 °C	50 °C	-4.40500	2.65695	.272	-11.8232	3.0132
	100 °C	-24.85500*	2.65695	.000	-32.2732	-17.4368
50 °C	25 °C	4.40500	2.65695	.272	-3.0132	11.8232
	100 °C	-20.45000*	2.65695	.000	-27.8682	-13.0318
95 °C	4 °C	24.85500*	2.65695	.000	17.4368	32.2732
	50 °C	20.45000*	2.65695	.000	13.0318	27.8682

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

ตารางที่ ค-29 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 95 °C ในชิ้นส่วนถุงมือยางชนิดหนาด้วยน้ำมันปาล์ม

(I) อุณหภูมิที่	(J) อุณหภูมิที่	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95 % Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
25 °C	50 °C	-3.75250	3.83325	.607	-14.4550	6.9500
	100 °C	-22.12750*	3.83325	.001	-32.8300	-11.4250
50 °C	25 °C	3.75250	3.83325	.607	-6.9500	14.4550
	100 °C	-18.37500*	3.83325	.003	-29.0775	-7.6725
95 °C	4 °C	22.12750*	3.83325	.001	11.4250	32.8300
	50 °C	18.37500*	3.83325	.003	7.6725	29.0775

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

ตารางที่ ก-30 Multiple Comparisons ด้วยวิธี Tukey (HSD) ทดสอบความแตกต่างของปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาที่อุณหภูมิ 25, 50 และ 95 °C ในชิ้นส่วนถุงมือพลาสติกด้วย น้ำมันปาล์ม

(I) อุณหภูมิที่	(J) อุณหภูมิที่	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
25 °C	50 °C	-6.28500*	2.21248	.046	-12.4622	-.1078
	100 °C	-18.66250*	2.21248	.000	-24.8397	-12.4853
50 °C	25 °C	6.28500*	2.21248	.046	.1078	12.4622
	100 °C	-12.37750*	2.21248	.001	-18.5547	-6.2003
95 °C	4 °C	18.66250*	2.21248	.000	12.4853	24.8397
	50 °C	12.37750*	2.21248	.001	6.2003	18.5547

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

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการทดสอบ T-Test แบบ Independent Samples Test

การทดลองนี้ทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่ใช้เอทิลแอลกอฮอล์ในการสัมผัสถุงมือแตกต่างกับกลุ่มที่ไม่ใช้เอทิลแอลกอฮอล์ในการสัมผัสถุงมือซึ่งกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มเป็นอิสระออกจากกัน

ตั้งสมมติฐาน

$H_0: \mu_d = \mu_2$ การใช้ถุงมือสัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์มีผลต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือ

$H_1: \mu_d \neq \mu_2$ การใช้ถุงมือในการสัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์มีผลต่อการชะออกมาของ DEHP ในถุงมือ

กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ตารางภาคผนวกที่ ค-31 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาด้วยน้ำกลั่นจากถุงมือยางชนิดบางที่ใช้สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
								95% Confidence Interval of the Difference	
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Equal variances assumed	.468	.513	-4.260	8	.003	-3.98200	.93472	-6.13747	-1.82653
Equal variances not assumed			-4.260	7.076	.004	-3.98200	.93472	-6.18744	-1.77656

ตารางภาคผนวกที่ ค-32 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาด้วยน้ำกลั่นจากถุงมือยางชนิดหนาที่ใช้สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
								95 % Confidence Interval of the Difference	
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Equal variances assumed	1.857	.210	-5.036	8	.001	-5.70200	1.13217	-8.31278	-3.09122
Equal variances not assumed			-5.036	5.604	.003	-5.70200	1.13217	-8.52050	-2.88350

ตารางภาคผนวกที่ ค-33 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาด้วยน้ำกลั่นจากถุงมือพลาสติกที่ใช้สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
								95% Confidence Interval of the Difference	
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Equal variances assumed	.052	.826	-3.175	8	.013	-2.55400	.80443	-4.40902	-.69898
Equal variances not assumed			-3.175	7.770	.014	-2.55400	.80443	-4.41864	-.68936

ตารางภาคผนวกที่ ค-34 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาด้วยน้ำมันปาล์มจากถุงมือยางชนิดบางที่ใช้สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ระหว่าง
กลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
								95 % Confidence Interval of the Difference	
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Equal variances assumed	1.857	.210	-5.036	8	.001	-5.70200	1.13217	-8.31278	-3.09122
Equal variances not assumed			-5.036	5.604	.003	-5.70200	1.13217	-8.52050	-2.88350

ตารางภาคผนวกที่ ค-35 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาด้วยน้ำมันปาล์มจากถุงมือยางชนิดหนาที่ใช้สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ระหว่าง
กลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.097	.764	-5.353	8	.001	-7.29000	1.36185	-10.43043	-4.14957
Equal variances not assumed			-5.353	7.837	.001	-7.29000	1.36185	-10.44180	-4.13820

ตารางภาคผนวกที่ ค-36 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณ DEHP ที่ถูกชะออกมาด้วยน้ำมันปาล์มจากถุงมือพลาสติกที่ใช้สัมผัสเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
								95% Confidence Interval of the Difference	
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Equal variances assumed	3.830	.086	-7.929	8	.000	-11.96400	1.50892	-15.44357	-8.48443
Equal variances not assumed			-7.929	5.000	.001	-11.96400	1.50892	-15.84277	-8.08523

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล

นางสาวไพไลพร สมพงษ์

รหัสประจำตัวนักศึกษา

5010920045

วุฒิการศึกษา

วุฒิ
การศึกษาระดับบัณฑิต
(วิทยาศาสตร์-เคมี)

ชื่อสถาบัน

มหาวิทยาลัยทักษิณ

ปีที่สำเร็จการศึกษา

2550

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ไพไลพร สมพงษ์, บรรจง วิทยวิศักดิ์. การชะออกของ DEHP จากถุงมือสัมผัสอาหาร. ในเอกสาร
ประชุมวิชาการระดับบัณฑิตศึกษารั้งที่ 6. 18 กันยายน 2553. กรุงเทพมหานคร ฯ.
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.