

การย้ายที่ของสารเติมแต่งในถุงพลาสติกบรรจุอาหารและผลต่อการยืดหดหมักพิมพ์



นาย อัฐพงษ์ ทองด้วง

สถาบันวิทยบริการ

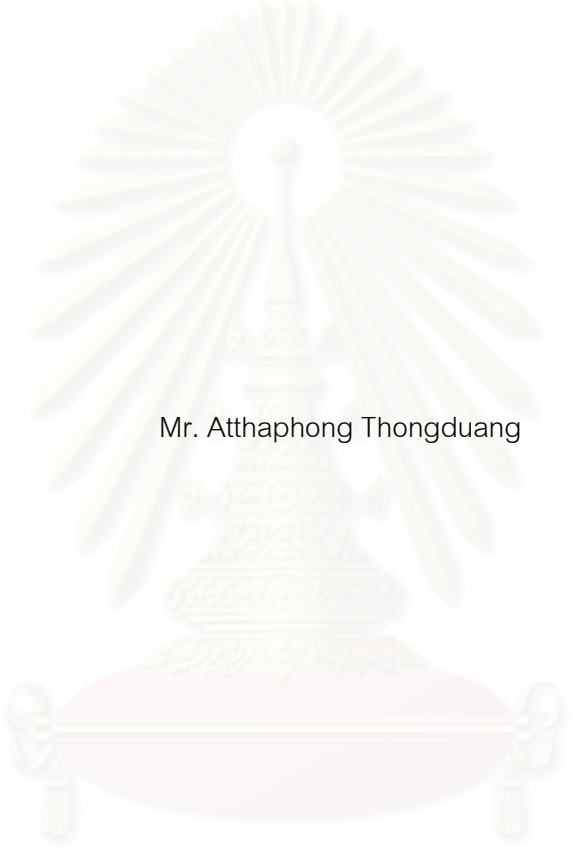
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MIGRATION OF FOOD PLASTIC BAG ADDITIVES AND ITS EFFECT  
ON PRINTING INK ADHESION



Mr. Atthaphong Thongduang

สภามหาวิทยาลัยบูรพา  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Imaging Technology  
Department of Imaging and Printing Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การย้ายที่ของสารเติมแต่งในถุงพลาสติกบรรจุอาหารและผล  
ต่อการยืดหดหมักพิมพ์

โดย

นาย อภิรัฐพงศ์ ทองด้วง

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางภาพ

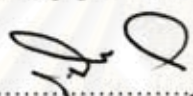
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หาญสืบสาย

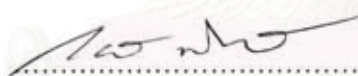
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม


รองศาสตราจารย์ ดร. สุวิมล กীরติพิบูล


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

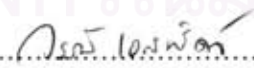
  
..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ นารหนองบัว)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ พรทวี พังศรีศรี)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หาญสืบสาย)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุวิมล กীরติพิบูล)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. วรวิทย์ เฮสทธิรงค์)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. กิตติพงษ์ น่วงรักษ์)

วิทยุอภิวงศ์ ทองด้วง : การย้ายที่ของสารเติมแต่งในถุงพลาสติกบรรจุอาหารและผลต่อการยึดติดหมึกพิมพ์ (MIGRATION OF FOOD PLASTIC BAG ADDITIVES AND ITS EFFECT ON PRINTING INK ADHESION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.อรัญ หาญสืบสาย, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ.ดร.สุวิมล กิรติพิบูล 87 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการย้ายที่ของสารเติมแต่งในถุงพลาสติกบรรจุอาหารที่มีผลต่อการยึดเกาะหมึกพิมพ์โดยอ้างอิงกลุ่มสารเติมแต่งที่ต้องได้รับการพิจารณาเป็นพิเศษตามข้อกำหนดของ Food and Drug Administration ของประเทศสหรัฐอเมริกา คือ 1) กลุ่มสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (antioxidants) ได้แก่ Irganox1010, Irganox1076 และ Irgafos168 และ 2) กลุ่มสารหล่อลื่น (lubricants) ได้แก่ Erucamide, Stearamide และ Oleamide

การวิเคราะห์การย้ายที่ของสารเติมแต่งใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography, HPLC) พบว่าสารเติมแต่งมีปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และสารละลายจำลองอาหารประเภทไขมันมีแนวโน้มการย้ายที่ของสารจากพลาสติกไปสู่อาหารมากกว่าสารละลายจำลองอาหารประเภทแอลกอฮอล์ (เอทานอล) และประเภทอาหารที่มีความเป็นกรดต่างสูงกว่า 5 (น้ำ)

ผลการย้ายที่ของส่วนประกอบในถุงพลาสติกที่มีผลต่อการยึดเกาะหมึกพิมพ์ โดยวัดการยึดติดหมึกพิมพ์ด้วยวิธีการดึงเทป (tape test) พบว่าหมึกพิมพ์สามารถหลุดลอกได้ด้วยวิธีการดึงเทปทดสอบโดยเฉพาะกับสารละลายจำลองอาหารไขมันซึ่งมีแนวโน้มการหลุดมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายอาหารแอลกอฮอล์ ประเภทอาหารที่มีความเป็นกรดและต่างสูงกว่า 5 ใช้น้ำเป็นสารจำลองอาหาร และประเภทอาหารที่มีความเป็นกรดและต่างต่ำกว่า 5 ใช้กรดแอสติติกเป็นสารจำลอง

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่าย  
และเทคโนโลยีการพิมพ์  
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ  
ปีการศึกษา.2551

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

## 4972578223 : MAJOR IMAGE TECHNOLOGY

KEYWORDS : FOOD PACKAGING/ FOOD SAFETY / SURFACE ENERGY

ATTHAPHONG THONGDUANG : MIGRATION OF FOOD PLASTIC BAG  
ADDITIVES AND ITS EFFECT ON PRINTING INK ADHESION. THESIS ADVISOR:  
ARAN HANSUEBS, Ph.D., CO-ADVISOR: SUWIMON KEERATIPIBUL, Ph.D, 91 pp.

This research studied the migration of additives in plastic bags which affected printing ink adhesion. The reference additive groups defined by U.S. food and drug administration were considered 1) An antioxidant group such as Irganox1010, Irganox1076 and Irgafos168, and 2) A lubricant group such as Erucamide, Stearamide and Oleamide.

High performance liquid chromatography has been used as a technique to analyze the migration of additives. It is found that each additive has its quantity lower than the standard level; and the oily or fatty food simulant (n-heptane) showed tendency of plastic bag to migrate more than those of alcoholic food and aqueous (pH > 5) food simulants .

Printing ink adhesions have been measured by the tape test. It is found that inks were peeled off by the tape test. The oily or fatty food simulant showed tendency of plastic bag to be peeled off more than those of the alcoholic, acetic acid and aqueous (pH > 5) food stimulants.

Department : Imaging and Printing Technology  
Field of Study : Imaging Technology  
Academic Year : 2008

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

Co-Advisor's Signature .....

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ รศ.ดร.อรัญ หาญสืบสาย และ รศ.ดร.สุวิมล กิริติพิบูล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความดูแลในการทำงาน ให้ความรู้และความเข้าใจในงานวิจัย นอกจากนี้ยังได้ให้ข้อคิด คำแนะนำ ตลอดจนสนับสนุนให้เกิดความก้าวหน้าอย่างยิ่งในเชิงวิชาการและการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร. วรวิดี เอสทริตจ์ และ รศ.ดร. กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์ ที่กรุณาตรวจแก้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ และให้คำปรึกษาและวิธีคิดที่ดีในหลายด้าน

ขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ และภาควิชาปิโตรเคมีและพอลิเมอร์ที่เป็นกำลังใจและให้คำปรึกษาที่ดี

ขอบคุณเพื่อนพนักงาน และผู้บริหาร บริษัท Toyo Seikan Kaisha ที่ให้ความรู้ในการทำวิจัย และแก้ไขปัญหาให้เป็นอย่างดี

สุดท้ายขอกราบขอบคุณ คุณพ่อคุณแม่และคนในครอบครัวที่คอยเป็นห่วงและกระตุ้นเตือน อยู่เสมอให้ทำงานวิจัยให้เสร็จได้ทันเวลา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 พลาสติก.....	3
2.1.1 พอลิโพรพิลีน (polypropylene).....	4
2.1.2 พอลิเอทิลีน (polyethylene).....	5
2.2 ถุงพลาสติก.....	7
2.3 สารเติมแต่ง (additives).....	9
2.4 การย้ายที่ (migration).....	10
2.5 fourier transform infrared spectroscopy (FTIR).....	12
2.6 โคโรมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography, HPLC).....	15
2.7 อะตอมมิกแอบซอร์ชันสเปกโทรสโกปี (atomic absorption spectroscopy, AAS).....	22
2.7 การพิมพ์สกรีน.....	28
2.8 พลังงานผิวกับการยึดเกาะของหมึกพิมพ์.....	28

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	36
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	36
3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ .....	36
3.1.2 วัสดุและสารเคมี.....	37
3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	38
3.2.1 วิเคราะห์หาชนิดพลาสติก .....	38
3.2.2 การทดสอบปริมาณสารเติมแต่งในถุงพลาสติก.....	39
3.2.2.1 การสร้างและทดสอบความถูกต้องของ calibration curve .....	40
3.2.2.2 วิเคราะห์สารเติมแต่งในถุงพลาสติก.....	41
3.2.2.2.1 วิเคราะห์สารเติมแต่งในถุงพลาสติก โดยการสกัดด้วย	
สารละลายมาตรฐาน (elution test).....	41
3.2.2.2.2 วิเคราะห์สารเติมแต่งในถุงพลาสติกตัวอย่าง โดยการสกัดด้วย	
สารละลายจำลองอาหาร (migration test).....	41
3.2.3 วิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนัก.....	42
3.2.3.1 สร้าง standard curve ของโลหะหนัก.....	42
3.2.3.2 วิเคราะห์สารตะกั่วและแคดเมียมในถุงพลาสติก.....	43
3.2.4 ศึกษาการยึดเกาะหมึกพิมพ์บนพลาสติก.....	43
3.2.4.1 การวิเคราะห์พลังงานผิวของพลาสติก.....	43
3.2.4.2 ทดสอบการยึดเกาะหมึกพิมพ์บนพลาสติก.....	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	45
4.1 วิเคราะห์หาชนิดพลาสติกด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี.....	45
4.2 การทดสอบปริมาณสารเติมแต่งในถุงพลาสติก.....	48
4.2.1 การสร้างและทดสอบความถูกต้องของ calibration curve.....	48
4.2.2 วิเคราะห์สารเติมแต่งในเนื้อพลาสติก.....	50
4.2.2.1 วิเคราะห์สารเติมแต่ง โดยการสกัดด้วยสารละลายมาตรฐาน	
(elution test).....	54
4.2.2.2 วิเคราะห์สารเติมแต่ง โดยการสกัดด้วยสารละลายจำลองอาหาร	
(migration test).....	56



	หน้า
4.3 วิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนัก.....	62
4.3.1 การทำ standard curve ของโลหะหนัก.....	62
4.3.2 วิเคราะห์สารตะกั่วและแคดเมียมในถุงพลาสติก.....	64
4.4 ศึกษาการยี้ดเกาะหมึกพิมพ์บนถุงพลาสติก.....	67
4.4.1 การวิเคราะห์พลังงานผิวของพลาสติก.....	67
4.4.2 ทดสอบการยี้ดเกาะหมึกพิมพ์บนพลาสติก.....	69
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	72
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	72
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	74
รายการอ้างอิง.....	75
ภาคผนวก.....	79
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์.....	80
ภาคผนวก ข อินฟราเรดสเปกตรัมของพลาสติกพอลิเอทิลีน และพอลิโพรพีลีน....	84
ภาคผนวก ค ชื่อทางเคมีและสูตรโครงสร้างสารเติมแต่งที่ใช้ในการทดลอง.....	86
ภาคผนวก ง ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารเติมแต่ง.....	88
ภาคผนวก จ การสร้างรายพิมพ์สกรีน รูปสี่เหลี่ยมขนาด 1 ตารางมิลลิเมตร	
จำนวน 100 ช่อง.....	90
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	91

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 อาหารจำลองสำหรับการทดสอบการย้ายที่ด้วยวิธีการสกัด.....	11
ตารางที่ 2-2 แสดงกลุ่มสารเติมแต่งบางชนิดที่ถูกวิเคราะห์ตามข้อกำหนด U.S. Food and Drug Administration.....	12
ตารางที่ 2-3 ปริมาณสูงสุดของโลหะที่ให้มีได้ในเนื้อพลาสติกที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 295.....	24
ตารางที่ 2-4 ระดับการยึดติดของชั้นฟิล์มจากการทดสอบ tape test .....	33
ตารางที่ 3-1 สภาวะในการวิเคราะห์ประเภทพลาสติกด้วยเครื่อง FTIR.....	39
ตารางที่ 3-2 สารละลายจำลองอาหารสำหรับการทดสอบการย้ายที่ด้วยวิธีการสกัด ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 295.....	42
ตารางที่ 4-1 สรุปลีก (peak) ของอินฟราเรดสเปกตรัมของสารมาตรฐานพอลิเอทิลีน และสารมาตรฐานพอลิโพรพิลีน.....	46
ตารางที่ 4-2 การระบุชนิดของพลาสติกด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแสดงตารางชื่อทางการค้าของถุงพลาสติกบรรจุอาหารที่ใช้ในงานวิจัย.....	47
ตารางที่ 4-3 แสดง retention time ของสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 100 ppm ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารเติมแต่งที่ใส่ในถุงพลาสติกบรรจุอาหาร.....	49
ตารางที่ 4-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ กับ ค่าพื้นที่ใต้พีคของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC.....	50
ตารางที่ 4-5 แสดงความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ (precision) ของสารเติมแต่งมาตรฐาน 6 ชนิด.....	52
ตารางที่ 4-6 ปริมาณสารเติมแต่งในตัวอย่างพลาสติกที่สกัดด้วยสารละลายไซโครเฮกเซน และ 2-โพรพานอล อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง.....	55
ตารางที่ 4-7 ปริมาณสารเติมแต่งในตัวอย่างพลาสติกที่สกัดด้วยสารละลายจำลองอาหารนอร์มัลเฮปแทน (n-haptane) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที.....	57
ตารางที่ 4-8 ปริมาณสารเติมแต่งในตัวอย่างพลาสติกที่สกัดด้วยสารละลายจำลองอาหาร (เอทานอลร้อยละ 50 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที).....	59
ตารางที่ 4-9 ปริมาณสารเติมแต่งในตัวอย่างพลาสติกพอลิโพรพิลีน ที่สกัดด้วยสารละลายจำลองอาหาร (น้ำ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที).....	59

	หน้า
ตารางที่ 4-10 แสดงการเปรียบเทียบวิเคราะห์สารเติมแต่งในพลาสติกพอลิเอทิลีน โดย การสกัดด้วยสารละลายมาตรฐานโดย elution test และวิธี migration test	60
ตารางที่ 4-11 แสดงค่า standard curve ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะ หนักแคดเมียม และตะกั่ว กับ การดูดกลืนแสง ABS ด้วยเครื่องอะตอมมิก แอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี.....	63
ตารางที่ 4-12 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักแคดเมียมและตะกั่ว สกัดด้วยน้ำ ที่ อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน30 นาที ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ ชันสเปกโทรสโกปี.....	64
ตารางที่ 4-13 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักแคดเมียม และตะกั่ว ด้วยกรดแอสซี ติกความเข้มข้นร้อยละ 4 ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ชันสเปกโทรสโกปี	65
ตารางที่ 4-14 พลังงานผิวของหมึกพิมพ์.....	67
ตารางที่ 4-15 พลังงานผิวพลาสติกบรรจุอาหารก่อน และหลังการปรับผิวด้วยวิธีโคโรนา ดิสชาร์จ.....	68
ตารางที่ 4-16 ผลการทดสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์ เมื่อชั้นหมึกตัวอย่างสัมผัสอาหาร โดยตรงทำการทดสอบการหลุดของชั้นหมึกด้วยเทปทดสอบ.....	70
ตารางที่ 4-17 ผลการทดสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์ เมื่อสัมผัสอาหารโดยอ้อม ทำการ ทดสอบการหลุดของชั้นหมึกด้วยเทปทดสอบ.....	70

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน .....	4
รูปที่ 2-2 แสดงสูตรโครงสร้างโมเลกุลพอลิเอทิลีน.....	5
รูปที่ 2-3 แผนภาพองค์ประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	15
รูปที่ 2-4 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง HPLC.....	16
รูปที่ 2-5 การทำงานของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโคปี (atomic absorption spectroscopy, AAS).....	23
รูปที่ 2-6 สภาวะสมดุลของมุมสัมผัสของของเหลวบนวัสดุรองรับ.....	29
รูปที่ 2-7 สภาวะการรับผิวหน้าโดยวิธีโคโรนาดีสชาร์จ (corona discharge).....	31
รูปที่ 4-1 อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวอย่างพอลิเอทิลีน เทียบกับพอลิเอทิลีนมาตรฐาน....	45
รูปที่ 4-2 อินฟราเรดสเปกตรัม ของตัวอย่าง พอลิโพรพิลีน เทียบกับ พอลิโพรพิลีน มาตรฐาน.....	46
รูปที่ 4-3 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารเติมแต่งมาตรฐาน ที่ใช้ในการทดสอบ.....	49
รูปที่ 4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารเติมแต่งมาตรฐานกับ พื้นที่ใต้พีค (area under curve).....	51
รูปที่ 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนัก แคดเมียม และตะกั่ว กับการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโคปี	63

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากสภาพความเป็นอยู่ในปัจจุบัน อาหารปรุงสำเร็จมีความสำคัญมากต่อการดำเนินชีวิตของประชาชนที่อาศัยอยู่ในเขตเมือง เนื่องจากสะดวก ประหยัดเวลา ราคาถูก และมีจำหน่ายทั่วไป เช่น ตลาดสด ร้านอาหาร ศูนย์การค้า และ หาบเร่แผงลอย ซึ่งวิถีชีวิตของคนในเมืองใหญ่นั้น ส่วนใหญ่ต้องออกไปทำงานนอกบ้าน อาหารพร้อมบริโภคจึงเป็นสิ่งจำเป็นในชีวิตประจำวัน ซึ่งเห็นว่าประชาชนทั่วไปหรือผู้ทำงานนอกบ้านนิยมซื้ออาหารพร้อมบริโภคบรรจุถุงกลับไปรับประทานที่บ้าน ผู้บริโภคจำนวนมากเลือกซื้ออาหารโดยพิจารณาจากรสชาติและสีของอาหารเป็นหลัก รองลงมาคือ ราคาถูกและสะดวก มีน้อยมากที่จะพิจารณาทางด้านโภชนาการ สุขลักษณะ และความเสี่ยงจากการบริโภคอาหารที่ไม่ปลอดภัย เช่น การปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรกระบบทางเดินอาหาร และการปนเปื้อนสารเคมีอันตรายที่ใส่เพื่อปรุงแต่งอาหาร และการปนเปื้อนจากสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบของถุงพลาสติกที่ใช้บรรจุอาหาร

กระบวนการผลิตถุงพลาสติกบรรจุอาหารจะใช้ โมโนเมอร์ เช่น เอทีลิน และโพรพีลีน เป็นวัตถุดิบสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน มีการใช้สารเติมแต่ง เพื่อให้ได้พลาสติกที่มีสมบัติที่ดีในการใช้งานหรือกระบวนการผลิตที่สมบูรณ์ เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) สารหล่อลื่น (lubricant) สารปรับปรุงคุณภาพ (modifier) สารเสริม (filler) สารคงสภาพ (stabilizer) สารยับยั้งปฏิกิริยา (inhibitor) ผงสี (pigment) และหมึกพิมพ์ (ink) เป็นต้น การใช้ถุงพลาสติกบรรจุอาหารที่มีคุณภาพต่ำหรือการเลือกบรรจุภัณฑ์ที่ไม่เหมาะสมกับสถานะของอาหาร ทำให้พลาสติกเสื่อมสภาพ และอาจทำให้องค์ประกอบในพลาสติกมีโอกาสย้ายไปสู่อาหาร ส่งผลให้กลิ่นและรสของอาหารเปลี่ยนแปลง เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหาร เกิดการปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายและสะสมในปริมาณมากจะเป็นอันตรายและก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพแก่ผู้บริโภค จากสภาพปัญหาดังกล่าวข้างต้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการประเมินความปลอดภัยของพลาสติกบรรจุอาหาร

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังวิเคราะห์หาประเภทของพลาสติก ปริมาณสารเติมแต่ง (additives) ที่ใช้เป็นส่วนประกอบของถุงพลาสติกบรรจุอาหารหรือโลหะหนักที่มีโอกาสปนเปื้อนสู่อาหาร โดยเก็บตัวอย่างถุงพลาสติกใส่บรรจุอาหารจากผู้ค้าส่งในกรุงเทพมหานคร วิเคราะห์ชนิดของพลาสติกด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (infrared spectroscopy) เพื่อระบุชนิดพลาสติก



ที่ใช้เป็นวัสดุในการผลิตถุงที่เหมาะสมต่อการใช้งาน วิเคราะห์หาสารเติมแต่งในถุงพลาสติกเพื่อหาปริมาณของสารเติมแต่งที่มีโอกาสเคลื่อนย้ายจากถุงพลาสติกสู่อาหารตามข้อกำหนดอาหารและยาสหรัฐอเมริกา โดยสกัดด้วยสารละลายจำลองสภาวะอาหารเปรียบเทียบกับ สารละลายมาตรฐาน ไซโครเฮกเซน และ 2-โพรพานอล (cyclohexane : 2-propanol) อัตราส่วน 1 ต่อ 1 ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography, HPLC) เพื่อทำการวิเคราะห์หาสารเติมแต่ง 2 ประเภทคือ สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (antioxidants) และสารหล่อลื่น (lubricants) ที่ปนเปื้อนสู่อาหาร วิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนัก จากกระบวนการผลิต สกัดด้วยสารละลายกรดแอสติกความเข้มข้นร้อยละ 4 และน้ำ ด้วยเครื่องมืออะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี (atomic absorption spectroscopic)

การศึกษาสมบัติการยึดติดของหมึกพิมพ์บนถุงพลาสติกบรรจุอาหาร เนื่องจากหมึกพิมพ์จัดเป็นวัสดุสัมผัสอาหารทางอ้อมมีโอกาสสัมผัสอาหารทำให้มีศึกษาสภาวะการยึดเกาะของหมึกพิมพ์บนพลาสติกเมื่อสัมผัสอาหาร โดยทดสอบหาพลังงานผิวของถุงพลาสติก และหมึกพิมพ์ด้วยวิธีวัดมุมสัมผัส เพื่อหาสมบัติการพิมพ์ติดของพลาสติกที่ขายตามท้องตลาด จากนั้นปรับผิวหน้าถุงพลาสติกด้วยวิธีโคโรนาดีสชาร์จ เพื่อเพิ่มพลังงานผิวให้เหมาะสมต่อการพิมพ์ พิมพ์ด้วยหมึกสกรีนสำหรับพิมพ์พลาสติก นำตัวอย่างมาสัมผัสตัวทำละลายแทนสภาวะอาหารได้แก่ กรดแอสติก ร้อยละ 4, เอทานอล ร้อยละ 20 และนอร์มัลเฮปเทน เพื่อจำลองสภาวะอาหารที่มีผลต่อการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ จากนั้นทดสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์ต่อชั้นพลาสติกด้วยวิธีเทปเทส (tape test) และจากการทดลองการยึดติดหมึกที่สัมผัสตัวทำละลายแทนสภาวะอาหาร

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการเกิดการย้ายที่ของสารเติมแต่งในถุงพลาสติกบรรจุอาหาร
2. ศึกษาการเกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในถุงพลาสติกบรรจุอาหาร
3. ศึกษาความสามารถในการยึดติดของหมึกพิมพ์ระหว่างการใช้งาน

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ข้อมูลความปลอดภัยของถุงพลาสติกต่อการใช้งานบรรจุอาหาร
2. ข้อมูลเบื้องต้นในการปรับปรุงคุณภาพของพลาสติกบรรจุอาหารในประเทศไทย
3. ข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงสมบัติพลาสติกต่อการยึดเกาะหมึกพิมพ์

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### แนวคิดและทฤษฎี

##### 2.1 พลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุในกลุ่มของพอลิเมอร์ (polymer) ที่นิยมใช้งานมากที่สุด ซึ่งส่วนประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์หนึ่งชนิดหรือมากกว่า และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันซึ่งเป็นการรวมหน่วยเล็ก ๆ ที่เรียกว่ามอนอเมอร์เข้าด้วยกัน โดยน้ำหนักโมเลกุลจะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นกับ มอนอเมอร์ ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ เวลา และความดันขณะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ทำให้เกิดรูปร่างโมเลกุลเป็นโซ่ยาวหรือร่างแห ได้พลาสติกที่มีสมบัติที่แตกต่างไปตามการใช้งาน เช่น มีความเหนียว สามารถขึ้นรูปเป็นเส้นหรือรีดเป็นแผ่นบาง และจุลินทรีย์ไม่สามารถเติบโตบนพลาสติกได้ ทำให้ในปัจจุบันพลาสติกถูกสังเคราะห์และใช้งานในอุตสาหกรรมเกือบทุกชนิด (คณะกรรมการกรรมาผลิตชุดวิชาวัสดุทางการพิมพ์, 2550)

พลาสติกแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

ก. พลาสติกเทอร์มอเซต (thermosetting plastics) พลาสติกประเภทนี้โครงสร้างโมเลกุลเชื่อมโยงกันเป็นร่างแหจับกันแน่น ทำให้ โมเลกุลแข็งแรงมาก คงรูป เป็นพลาสติกที่ทนทานต่อความร้อน ปฏิกิริยาเคมี และความดัน จึงหลอมเหลวยาก แต่จะสลายตัวทันทีที่อุณหภูมิสูงถึงระดับ เมื่อหลอมตัวแล้วจะหมดคุณสมบัติ ในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างนั้น จะไม่สามารถนำมาหลอมใหม่ได้อีก ได้แก่ โพลีเอสเตอร์ (polyester) ยูรีเทน (urethane) และโพลียูรีเทน (polyurethane)

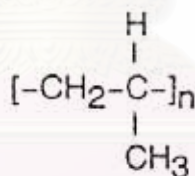
ข. เทอร์มอพลาสติก (thermoplastics) พลาสติกประเภทนี้โครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่ตรงยาว มีการเชื่อมต่อระหว่างโซ่พอลิเมอร์น้อยมาก เมื่อรับความร้อนจะอ่อนตัว และเมื่อเย็นตัวจะแข็งตัว สามารถเปลี่ยนรูปได้ เมื่อผ่านการอัดแรงมากจะไม่ทำลายโครงสร้างเดิม สามารถละลายได้ในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว มีสมบัติพิเศษคือ เมื่อหลอมเหลว สามารถนำมาขึ้นรูปกลับมาใช้ใหม่ได้โดยสมบัติของพลาสติกเหมือนเดิม ตัวอย่าง พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน

### 2.1.1 พอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP)

พอลิโพรพิลีนจัดเป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทหนึ่ง มีโครงสร้างแบบเส้นตรง ปราศจากกิ่งก้านสาขาแยกออกจากลำตัว เนื่องจากโครงสร้างของโมเลกุลของโพรพิลีนมีหมู่เมทิล (-CH<sub>3</sub>) ต่ออยู่ที่อะตอมของคาร์บอนตรงพันธะคู่ซึ่งไม่มีในเอทิลีน ดังนั้น เมื่อเกิดพอลิเมอไรเซชันจึงได้ผลิตภัณฑ์ 3 ลักษณะที่แตกต่างกัน

- ก. แบบไอโซแทกติก (isotactic) หมู่เมทิลอยู่ข้างเดียวกันตลอดสายของโมเลกุล
- ข. แบบซินดิโอแทกติก (syndiotactic) หมู่เมทิลอยู่สลับคนละข้างของแนวสายโซ่โมเลกุลอย่างเป็นระเบียบ
- ค. แบบอะแทกติก (atactic) หมู่เมทิลอยู่ทั้ง 2 ข้างของแนวสายโซ่โมเลกุลอย่างไม่เป็นระเบียบ

การผลิตพอลิโพรพิลีนที่ให้โครงสร้างแตกต่างกันทำให้ได้สมบัติของพอลิโพรพิลีนในการทำงานที่แตกต่างกัน เช่น การผลิตพอลิโพรพิลีนที่ให้โครงสร้างแบบไอโซแทกติก (isotactic) ในปริมาณมาก ได้พอลิโพรพิลีนที่มีสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรง (strength) ความแข็งตึง (stiffness) ความทนต่อความร้อน ทนไขมัน และน้ำมันได้ดี เป็นต้น



**รูปที่ 2-1** สูตรโครงสร้างโมเลกุลของไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน (อำนาจ ศรีวิทย์เจริญ และคณะ, 2534)

พอลิโพรพิลีนจะมีความหนาแน่นประมาณ 0.90 g/cm<sup>3</sup> อิทธิพลของหมู่เมทิล (-CH<sub>3</sub>) ทำให้โมเลกุลอยู่ห่างกัน แต่มีความแข็งแรงสูง ข้อเสียของพอลิโพรพิลีนคือเปราะที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 0 องศาเซลเซียส) และพอลิโพรพิลีนมีค่าความเสถียรภาพต่อแสงรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) และออกซิเจนต่ำกว่าพอลิเอทิลีน จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานกลางแจ้ง เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้พอลิโพรพิลีนมีความเปราะ แตกร้าว และสีซีดจางได้ง่าย จำเป็นต้องเติมสารป้องกันออกซิเดชัน (antioxidant) สารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV stabilizer) และสารคงสภาพ (stabilizer) ในกระบวนการผลิตพอลิโพรพิลีน (อำนาจ ศรีวิทย์เจริญ และคณะ, 2534)

### การใช้งานพอลิโพรพิลีน

ก. ด้านงานฉีด (injection molding) ใช้ทำกล่องแบตเตอรี่ ถังน้ำมันในรถยนต์ กันชนรถยนต์ ฝาจุกพลาสติก

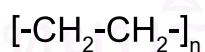
ข. งานเป่าถุง (blown film) งานเป่าถุงระบายความร้อนด้วยน้ำ (water cooled) ทำให้ได้ฟิล์มใส เนื่องจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว จึงมีส่วนที่เป็นอสัณฐานมาก เกิดผลึกน้อย ทำให้ใสตามลักษณะของอสัณฐาน แต่ความแข็งแรงจะเสียไปบ้าง ใช้ทำพลาสติกหุ้มซองบุหรี่ ถุงร้อน งานเป่าถุงระบายความร้อนด้วยอากาศ จะทึบแสงและขุ่นเล็กน้อย เนื่องจากผลึกมีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบมากกว่าในระหว่างที่ผ่านอุณหภูมิ  $T_m$  และ  $T_g$  เพื่อเป็นของแข็งในที่สุด จึงมีความแข็งแรงทนแรงดึงสูง

ค. งานเป่า (blow molding) ใช้ทำภาชนะที่ต้องการความทนทานสูง

ง. งานสิ่งทอ (textile) ต้องการความแข็งแรงสูงแต่ยืดหยุ่น รับแรงมาก ๆ ใช้ทำเส้นใยทอ กระสอบสาน เชือกฟาง แห อวน ผ้าใบปกป้องพืชสวน

### 2.1.2 พอลิเอทิลีน (polyethylene, PE)

พอลิเอทิลีน เป็นพลาสติกที่มีความนิยมนำมาใช้งานมากที่สุดคือประมาณร้อยละ 32 ของพลาสติกทั้งหมด พอลิเอทิลีนได้จากการพอลิเมอไรส์แก๊สเอทิลีนจนกลายเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีโครงสร้างของโมเลกุลต่าง ๆ กัน คือโครงสร้างแบบเชิงเส้น (linear) และโครงสร้างแบบกิ่งก้านสาขา (branched)



รูปที่ 2-2 แสดงสูตรโครงสร้างโมเลกุลพอลิเอทิลีน (อำนาจ ศรีวิไลเจริญ และคณะ, 2534)

พอลิเอทิลีนจัดเป็นเทอร์โมพลาสติก มีความยืดหยุ่น (flexibility) ทำให้มีอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว ( $T_g$ ) ค่อนข้างต่ำ ซึ่งขึ้นกับปริมาณของส่วนที่เป็นอสัณฐานและผลึก ทำให้มีค่า  $T_g$  ตั้งแต่ -130 ถึง 60 องศาเซลเซียส ซึ่งมีทั้งต่ำกว่าและสูงกว่าอุณหภูมิห้อง ดังนั้น พอลิเอทิลีนจึงมีลักษณะทั้งยืดหยุ่นและแข็งที่สภาวะปกติ พอลิเอทิลีนเป็นวัสดุไม่มีขั้ว จึงมีค่าคงตัวของไดอิเล็กทริก

(Dielectric constant) ต่ำและไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ เหมาะที่จะใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า โดยปกติพอลิเอทิลีนจะไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ ที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียสขึ้นไป พอลิเอทิลีนจะเริ่มพองและละลายได้ในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำจะใสมาก และเมื่อความหนาแน่นสูงขึ้นจะขุ่นขึ้นและมีความสามารถทนกรดและด่างได้ดีขึ้นตามความหนาแน่น จึงใช้ทำภาชนะบรรจุกรดและด่าง ผิวหน้าของพอลิเอทิลีนค่อนข้างมันคล้ายมีไข ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการพิมพ์ ต้องปรับผิวหน้าก่อนที่จะนำไปพิมพ์ หากแบ่งประเภทของพอลิเอทิลีนตามความหนาแน่นของโมเลกุล จะแบ่งได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

### 2.1.2.1 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE)

เป็นพอลิเอทิลีนชนิดแรกที่ถูกผลิตขึ้นในทางการค้า มีความหนาแน่นต่ำ (0.91 – 0.94 g/cm<sup>3</sup>) LDPE มีความเป็นระเบียบของโมเลกุลต่ำประมาณร้อยละ 50 ทำให้มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขาแยกออกมามาก ทำให้โมเลกุลจัดเรียงตัวกันอย่างหลวม ๆ และไม่มีระเบียบ ลักษณะค่อนข้างใส มีความเหนียวไม่มากนัก และมีผิวหน้ามัน LDPE ยอมให้แก๊สผ่านได้ เนื่องจากส่วนที่เป็นอสัณฐานจะมีช่องว่างพอให้แก๊สซึมผ่านได้ LDPE มีจุดหลอมเหลว (melting point) 40 – 50 องศาเซลเซียส จึงไม่ควรนำมาใช้งานที่อุณหภูมิสูง นั่นคือ ไม่ควรนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารร้อน แต่ควรนำไปใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ทำให้ LDPE ถูกผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ สำหรับทำถุงเย็น ถุงบรรจุสินค้าทั่วไป ฟิล์มหดรูป (shrink film) และฟิล์มยืดรูป (stretch film) เป็นต้น ในรูปของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยการฉีด (injection molding) เช่น ขวด ถ้วย ถาดสำหรับการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารและยา ของเด็กเล่น และของใช้ในบ้าน ทำฉนวนหุ้มสายไฟ ทำวัสดุเคลือบผิว และใช้กับงานขึ้นรูปโดยการเป่า (blow molding) ทำขวดอ่อนพอลิเอทิลีนชนิดบีบ เมื่อเก็บ LDPE ไว้ยาวนาน ๆ ถูกแสงและออกซิเจน จะมีผลต่อการขยายตัวทางความยาว และความต้านทานต่อแรงดึงลดลง

### 2.1.2.2 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรง (linear low density polyethylene, LLDPE)

LLDPE มีโครงสร้างอยู่ระหว่าง LDPE และ HDPE กล่าวคือ LLDPE มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ยาวและมีกิ่งสั้น ๆ แยกออกจากลำตัวตลอดความยาวของโมเลกุล แต่ไม่มีกิ่งก้านสาขา รุงรังเหมือน LDPE จึงทำให้ LLDPE เป็นพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่มีคุณภาพสูง มีการนำไปใช้งานมากในการทำเป็นฟิล์ม เพราะมีลักษณะเด่นคือ มีความเหนียว ความต้านทานแรงเจาะทะลุ ความทนทานต่อการฉีกขาด ความทรงรูป และสามารถเป่าเป็นฟิล์มได้บางมาก LLDPE



มีการนำมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตวัสดุบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ถุงใช้งานหนัก (heavy duty bag) ถุงแช่แข็ง (frozen bag) ถุงชั้นใน (liner bag) สำหรับบรรจุสิ่งของที่น้ำหนักมาก

### 2.1.3 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE)

HDPE มีความเป็นระเบียบของโมเลกุลถึงร้อยละ 90 เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จะทำให้สมบัติ ความแข็งแกร่ง ความเหนียวทนต่อแรงดึง ความแข็ง ความคงทนต่อความร้อนและ สารเคมี และสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความทนแรงต่อการกระแทก และความใส จะลดลง HDPE มีโครงสร้างของโมเลกุลเป็นสายโซ่ยาว ๆ เกือบไม่มีกิ่งก้านสาขาแยกออกจาก ลำตัว จึงมีการจัดเรียงโมเลกุลได้เป็นระเบียบมากกว่า LDPE เนื่องจาก HDPE มีโครงสร้างที่เป็น ผลึกได้มาก จึงมีความหนาแน่นสูงกว่า LDPE คือ มีความหนาแน่น  $0.94 - 0.965 \text{ g/cm}^3$  มีจุด หลอมเหลวประมาณ 135 องศาเซลเซียส และจุดอ่อนตัวประมาณ 85 องศาเซลเซียสซึ่งสูงกว่า LDPE

HDPE จะเหมาะสมกับงานฉีดแบบ ใช้ทำผลิตภัณฑ์ทั่วไป เช่น ถังน้ำ กะละมัง กระติกน้ำ ถังน้ำอัดลม ถาดน้ำแข็ง และอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในสำนักงาน งานที่ต้องการความ ทนทานต่อสารเคมีสูง เช่น ขวดน้ำยาทำความสะอาดต่าง ๆ ขวดเครื่องสำอาง ภาชนะใส่น้ำมันเครื่อง งานเป่าภาชนะบรรจุอาหารและยา เช่น ขวดนมสด ขวดน้ำดื่ม และมีการนำไปใช้ในการเป่าฟิล์มเพื่อทำเป็นถุงประเภทต่าง ๆ เช่น ถุงหิ้ว เนื่องจากพลาสติกมีความเหนียวและความ แข็งแรงสูง ถุงร้อนที่ทำมาจากพลาสติก HDPE จะมีลักษณะขุ่นมัว มากกว่าพอลิโพรพิลีนที่มี ลักษณะใสกว่า

## 2.2 ถุงพลาสติก

ถุงพลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มพลาสติกที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด ประกอบกับวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีการหีบห่อ ทำให้สามารถผลิตฟิล์มได้หลายชั้นหรือใช้รวม กับวัสดุชนิดอื่นด้วยวิธีการประกบ รีดรวม เคลือบ ทำให้ถุงพลาสติกมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน อย่างกว้างขวาง จนทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้พลาสติกได้ตามลักษณะการใช้งาน ราคา คุณภาพ และลักษณะปรากฏ

ถุงพลาสติก มีความหมายได้หลายประเภท เช่น bag, pouch, sachet และ sack ซึ่งมีความหมายแตกต่างกันคือ bag หมายถึง ถุงที่มีรอยปิดผนึกที่ด้านปลาย 2 ด้าน, pouch หมายถึง

ถุงที่มีรอยปิดผนึกทั้ง 4 ด้าน, sachet หมายถึงถุงที่มีขนาดเล็กซึ่งนิยมใช้บรรจุเครื่องหอมและเครื่องสำอาง และ sack หมายถึงถุงที่มีขนาดใหญ่มักใช้สำหรับบรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักมาก เพื่อการขนส่ง ถุงพลาสติกบรรจุอาหารและเครื่องดื่มแบ่งออกเป็น 2 ประเภท(มยุรา ภาคลำเจียก และอมรรัตน์ สวัสดิ์ทัต, 2533) ได้แก่

**2.2.1 ถุงเย็น** เป็นถุงมีลักษณะค่อนข้างใส นิ่ม ทำมาจากเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีน (polyethylene, PE) มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก น้ำหนักเบา เหนียว และทนต่อแรงกระแทกได้ดี นิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์ มีสมบัติยอมให้น้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย แต่อากาศผ่านเข้าออกได้ มีลักษณะขุ่นใส และทนความร้อนได้พอควร และมีราคาถูก พอลิเอทิลีนมีการผลิตขึ้นทั้งในรูปแบบที่มีความหนาแน่นต่ำและสูง เป็นพลาสติกที่นำมาใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรม เช่น ถุง ขวด แทนรองรับสินค้า พอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) ใช้ทำฟิล์มห่ออาหารและห่อของ ถุงใส่ขนมปัง ถุงเย็นสำหรับบรรจุอาหาร สามารถนำมารีไซเคิลเป็นถุงดำสำหรับใส่ขยะ ถุงหิ้ว ถึงขยะ กระเบื้องปูพื้น เพอร์นิเจอร์

**2.2.2 ถุงร้อน** ส่วนใหญ่ทำมาจากเม็ดพลาสติก พอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP) มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกโครงสร้างเป็นแบบเส้นตรง มีความเป็นผลึกสูง และจุดหลอมเหลวที่สูงถึงประมาณ 160-170 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นต่ำ 0.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่ละลายในสารละลายใด ๆ ที่อุณหภูมิห้อง มีความคงทนต่อกรดและด่างได้ดี และทนต่อความร้อนสูง เป็นพลาสติกที่ให้น้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย แข็งกว่าพอลิเอทิลีน นอกจากนี้มีสมบัติเชิงกลที่ดีมาก เช่น ความเหนียว ความแข็งแรงสูง เป็นพลาสติกที่เหมาะสมสำหรับทำถุงบรรจุอาหารที่ทนร้อนหรือผลิตกล่องบรรจุอาหารสำหรับนำเข้าไมโครเวฟ เพราะมีความยืดหยุ่นสูง ทนความร้อน และสารเคมี สามารถซีลหรือผนึกด้วยความร้อนได้ รวมถึงใช้บรรจุอาหารที่มีไขมันได้โดยไม่เกิดการอุดตัน

ถุงพลาสติกบรรจุอาหารที่ขายตามท้องตลาดถูกนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารอย่างแพร่หลายเพราะมีราคาถูกและหาซื้อหาได้ง่าย น้ำหนักเบา แต่ปัจจุบันมีถุงพลาสติกบางส่วนถูกนำมาใช้เพื่อการพิมพ์ฉลากสินค้าไว้บนพลาสติกโดยตรง แต่เมื่อพลาสติกถูกนำไปใช้งานบรรจุอาหาร มีอาหารบางชนิดมีผลต่อการเร่งการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ ทำให้หมึกพิมพ์มีโอกาสหลุดลอกสู่อาหารหรือสัมผัสกับผู้บริโภค และเข้าสู่ร่างกาย

## 2.3 สารเติมแต่ง (additives)

สารเติมแต่งเป็นสารที่ช่วยให้เนื้อพลาสติกมีสมบัติอ่อนนุ่ม ไม่กรอบ และอายุใช้งานนานขึ้น ตัวอย่างสารเติมแต่งได้แก่ (Pritchard และ Malaika, 1998)

### 2.3.1 สารหล่อลื่น (lubricant)

สารหล่อลื่นใช้เพื่อปรับสมบัติการไหลของเนื้อพลาสติก และควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการขึ้นรูป ช่วยในเรื่องของความเรียบและป้องกันการแตกหักของพลาสติกเมื่อหักงอ ส่วนใหญ่เป็นสารพวก แคลเซียมสเตียเรต พอลิเอทิลีนอิมัลชัน เป็นต้น สารหล่อลื่น (lubricant) ได้แก่ oleamide, erucamidine และ stearamide (Garrido-Lopez, Esquiú และ Tena 2007)

oleamide และ erucamidine เป็นสารหล่อลื่น lubricants หรือ slip agents ซึ่งช่วยลดสัมประสิทธิ์การเสียดทานของเนื้อพลาสติกในกระบวนการผลิตให้มีการผลิตที่สม่ำเสมอ และยังช่วยให้ฟิล์มสามารถจับและใช้งานได้ง่าย ไม่จับตัวกันเป็นแผ่น (Garrido-Lopez et al, 2007)

### 2.3.2 สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant)

สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน คือ สารประกอบที่สามารถป้องกันหรือชะลอกระบวนการเกิดออกซิเดชันที่มีหน้าที่ดูดพลังงานจากแสงยูวีให้อยู่ในรูปที่เสถียรทำให้ไม่เกิดการสลายตัวของเนื้อพลาสติก โดยการลดกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพลาสติกเป็นผลมาจากปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นกับพอลิเมอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ออกซิเจน โอโซน แสงอุลตราไวโอเล็ต ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในเนื้อพลาสติกที่จะก่อให้เกิดกระบวนการที่ทำให้พลาสติกสลายตัวได้แก่ irgafos168, irganox1076 และ irganox 1010 (Piringer และ Baner, 2000)

irganox 1076 และ irganox 1010 เป็นสารเติมแต่งกลุ่มสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) ในบรรจุภัณฑ์อาหาร ซึ่งสารเติมแต่งกลุ่มนี้มีโครงสร้างเป็นทั้ง hydrophilic และ hydrophobic ซึ่งทำให้สารเติมแต่งชนิดนี้เคลื่อนที่ไปที่ผิวเพื่อเพิ่มพลังงานผิวของเนื้อพลาสติกได้ (Heiserman, CanWalker, Begley และ Limm, 2007)

## 2.4 การย้ายที่ (migration)

การย้ายที่ หมายถึง การเคลื่อนย้ายของสารต่าง ๆ จากวัสดุบรรจุหรือภาชนะบรรจุไปสู่อาหารที่สัมผัสโดยตรง เช่น การปนเปื้อนของพลาสติกไฮดรอกซีในอาหารที่ห่อหรือบรรจุในภาชนะพลาสติก เป็นต้น

การย้ายที่เป็นปรากฏการณ์ของการถ่ายเทมวลสาร (mass transfer) ระหว่างภาชนะบรรจุกับอาหารที่สัมผัส ปรากฏการณ์นี้เป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์เชิงเคมีและเชิงกายภาพระหว่างภาชนะบรรจุกับอาหาร โดยทั่วไปการย้ายที่มักเป็นผลเสียต่อคุณภาพและความปลอดภัยของอาหาร และมักพิจารณาเฉพาะการเคลื่อนย้ายของสารจากภาชนะบรรจุไปสู่อาหาร แม้ว่าการเคลื่อนย้ายของสารนี้อาจจะเกิดได้หลายทิศทาง การย้ายที่สามารถเกิดได้กับวัสดุ พลาสติก กระดาษ โลหะ และแก้ว สารที่เคลื่อนย้าย เรียกว่า ไมแกรนท์ (migrant) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอาหารและบรรจุภัณฑ์นี้อาจแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทคือ (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550)

ก. การย้ายที่ของสารจากบรรจุภัณฑ์หรือวัสดุสัมผัสอาหารลงสู่อาหารโดยตรง (migration)

ข. กระบวนการเคลื่อนย้ายของสารจากอาหารไปสู่บรรจุภัณฑ์หรือวัสดุสัมผัสอาหาร ซึ่งตรงข้ามกับไมแกรชั่น (scalping)

ค. การเคลื่อนย้ายขององค์ประกอบอาหารจากภายในออกสู่ภายนอกโดยการซึมผ่านบรรจุภัณฑ์ (exgress permeation)

ง. การเคลื่อนย้ายของสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่อาหารภายในบรรจุภัณฑ์โดยการซึมผ่านบรรจุภัณฑ์ (ingress permeation)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอาหารและบรรจุภัณฑ์นั้นอาจมีทั้งผลดีและผลเสียต่อคุณภาพของอาหารเนื่องจากสารเหล่านี้มิได้เป็นส่วนหนึ่งของสายพอลิเมอร์ และเนื่องจากมีขนาดเล็กจึงสามารถแพร่กระจายและเคลื่อนย้ายออกมาจากพอลิเมอร์ได้ง่าย การปนเปื้อนโดยทั่วไปซับซ้อนและไม่สามารถตรวจพบได้ง่าย สารเคมีหลายชนิดที่เป็นองค์ประกอบหรือที่ใช้ในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์มีอันตรายทั้งต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม กลไกการเคลื่อนย้าย (migration) ของสารเคมีเหล่านี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เวลาในการสัมผัส พื้นที่ของการสัมผัส ชนิดและองค์ประกอบของอาหาร เป็นต้น

Council of directive 85/572/EEC (1985) ระบุว่า วัสดุและวัตถุจะต้องผ่านกระบวนการผลิตที่สอดคล้องกับหลักเกณฑ์และวิธีที่ดีในการผลิต (good manufacturing practice) เมื่อนำไปใช้งานตามปกติหรือตามที่คาดไว้ วัสดุและวัตถุจะต้องไม่ถ่ายเทสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในวัสดุและวัตถุนั้น ๆ ไปสู่อาหารในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบในอาหารหรือทำให้คุณภาพด้านประสาทสัมผัสอาหารเสื่อมลง จนไม่เป็นที่ยอมรับ (Council of directive 85/572/EEC, 1985)

Startin และคณะ (1987) ศึกษาปริมาณ (diethylhexyl adipate, DEHA) ซึ่งเป็นสารเติมแต่งกลุ่มพลาสติกไซเซออร์อินฟิล์มยืด (polyvinyl chloride, PVC) ที่สัมผัสกับอาหารชนิดต่าง ๆ พบปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณ DEHA ปนเปื้อนในอาหาร ได้แก่ อาหารที่มีไขมันสูง จะพบ DEHA มาก และหากความชื้นในอาหารสูงจะพบ DEHA มาก ปริมาณ DEHA ที่ตรวจพบจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูง และเวลาในการเคลื่อนย้าย DEHA จะเร็วมากในช่วงแรกที่ฟิล์มสัมผัสอาหาร และอัตราการเคลื่อนย้ายจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 295 กำหนดให้ตรวจการย้ายที่ของพลาสติก วิธีการทดสอบใช้หลักการสกัดด้วยอาหารจำลอง ซึ่งมี 4 ชนิด (ตารางที่ 2-1) เลือกใช้ตามชนิดของอาหาร หน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่ตรวจสอบการย้ายที่และให้บริการ ได้แก่ กองอาหาร กระทรวงสาธารณสุข และกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 295, 2548)

#### ตารางที่ 2-1 อาหารจำลองสำหรับการทดสอบการย้ายที่ด้วยวิธีการสกัด

ชนิดอาหาร	อาหารจำลอง
อาหารที่มีความเป็นกรด – ต่าง เกิน 5	น้ำ
อาหารที่มีความเป็นกรด – ต่าง ไม่เกิน 5	กรดแอสติค ร้อยละ 4
อาหารที่มีแอลกอฮอล์	เอทานอล ร้อยละ 20
ไขมัน น้ำมัน และอาหารที่มีไขมัน	นอร์มัลเฮปเทน (n-haptane)

ที่มา : ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 295 (2548)



ตารางที่ 2-2 ปริมาณสูงสุดของกลุ่มสารเติมแต่งบางชนิดที่ถูกระงับตามข้อกำหนด (U.S. Food and Drug Administration, 2003)

	ชื่อสามัญ	CAS No	FDA(CFR 21 )	
			section	ปริมาณที่มีได้สูงสุด
antioxdants	irganox1010	6683-19-8	178.2010	5000 ppm (PE / PP)
	irganox1076	2082-79-3	178.2010	2500 ppm (PE / PP)
	irgafos168	31570-04-4	178.2010	2000 ppm (PE) 2500 ppm (PP)
lubricants	erucaminde	112-84-5	178.3860	2500 ppm (PE / PP)
	stearamide	124-26-5	181.28	2500 ppm (PE / PP)
	oleamide	301-02-0	181.28	2500 ppm (PE / PP)

ที่มา : U.S. Food and Drug Administration (2003)

ในประเทศญี่ปุ่นภาครัฐบาลมีการร่วมมือกับภาคเอกชนในทุกระดับตลอดกระบวนการผลิตอาหารไปจนถึงการจำหน่าย โดยต้องทดสอบคุณภาพของเนื้อพลาสติก สารเจือปน และสารเติมแต่ง โดยขึ้นกับประเภทของพอลิเมอร์ รายละเอียดกำหนดใน specification and standards for foods, food additives ตามข้อกำหนด The Food Sanitation Law (Japan External Trade Organization, 2003) เช่นเดียวกับการแพร่กระจาย

## 2.5 อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)

อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เป็นหนึ่งในเทคนิคสเปกโทรสโกปี (spectroscopic) ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบพิสูจน์ และศึกษาโมเลกุลของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยทำการตรวจวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของตัวอย่างที่ความถี่ต่างๆ พลังงานบางส่วนของรังสีอินฟราเรดถูกถ่ายเทไปยังโมเลกุล ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่น (vibration) และการหมุน (rotation) แล้วเกิดการกระเจิงแสงออกไปเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละพันธะ ทำให้สามารถแยกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุล รวมถึงสามารถบอกปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างที่ไม่ทราบชนิด อินฟราเรดเป็นช่วงของสเปกตรัมของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีเลขคลื่น (wave number) อยู่ในช่วงประมาณ 1,2800 ถึง  $10\text{ cm}^{-1}$  หรือมีช่วงความยาวคลื่นจาก 7.8 ถึง  $1,000\ \mu\text{m}$  แต่ในการวิเคราะห์ อินฟราเรดส่วน

ใหญ่จะใช้เลขคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ  $4,000$  ถึง  $400\text{ cm}^{-1}$  (แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสมบุญ, 2534) โดยมีการแบ่งความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรดออกเป็น 3 ช่วง

ก. **ช่วงใกล้อินฟราเรด (near IR region)** เป็นช่วงที่ใกล้ช่วงแสง วิสิเบิล (visible) เกิดการรวมกันของลำแสงในช่วงกลางที่ต่ำกว่า  $2.5\text{ }\mu\text{m}$  และมักพบ absorption bend ที่อ่อนและไม่ชัดเจน (weak) overtone absorption มีประโยชน์ในการวิเคราะห์สารพวก aromatic compound หรือ aromatic substitution

ข. **ช่วงกลางอินฟราเรด (middle IR region)** แบ่งออกได้เป็น

Group – frequency region เป็นช่วงที่อยู่ระหว่าง  $4,000 - 1,300\text{ cm}^{-1}$  หรือ  $2.5 - 8\text{ }\mu\text{m}$  ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์สารกลุ่ม functional groups หรือ complete structure

Finger print region เป็นช่วงที่อยู่ระหว่าง  $1,300 - 650\text{ cm}^{-1}$  สเปกตรัมที่ได้ในช่วงนี้ส่วนใหญ่เกิดจากโครงสร้างที่สมบูรณ์ ดังนั้น สเปกตรัมที่ได้ค่อนข้างยุ่งยาก การวิเคราะห์จึงใช้การเปรียบเทียบกับสเปกตรัมที่ทราบโครงสร้างแล้ว

ค. **ช่วงไกลอินฟราเรด (far IR Region)** เป็นช่วงแสงที่ใช้ในการวิเคราะห์เนื่องจากสเปกตรัมช่วงนี้เกิดจากการสั่นของโครงสร้าง (molecular structure) หรือเกิดจากการหมุนของโมเลกุล

### 2.5.1 กระบวนการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (the Infrared absorption process)

การดูดกลืนรังสีช่วงอินฟราเรดของโมเลกุลมีลักษณะเช่นเดียวกับการดูดกลืนรังสีในช่วงยูวี – วิสิเบิล แต่เนื่องจากรังสีอินฟราเรดมีพลังงานน้อยกว่า ดังนั้น เมื่อโมเลกุลดูดกลืนรังสีอินฟราเรดจะถูกกระตุ้น (excite) ไปยังสภาวะที่พลังงานสูงกว่า โดยมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานเพียงพอทำให้เกิดการสั่นหรือการหมุนเฉพาะบางส่วนของโมเลกุลของสารที่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรด แต่โมเลกุลจะต้องมีลักษณะเฉพาะและต้องมีสภาวะที่เหมาะสมในการดูดกลืนแสงดังนี้

ก. รังสีหรือแสงจะต้องมีพลังงานแสงที่พอเพียง ที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

ข. จะต้องการเกิดการควบคู่ (coupling) พอดีระหว่างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากการแผ่รังสีของสารนั้น เมื่อมีการดูดกลืนพลังงานแล้วจะทำให้เกิดโมเมนต์ขั้ว (dipole moment) ของโมเลกุลนั้นเปลี่ยนไป

เมื่อใช้อินฟราเรดผ่านเข้าโมเลกุลของสารใดก็ตาม แล้วเกิดปรากฏการณ์ทั้งสองอย่างจะเรียกสารนั้นว่า IR active ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ขั้วคู่ แสดงว่าสารนั้นเป็น IR inactive

ถือว่าไม่มีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ทั้งคู่มากจะได้ IR high absorption peak ถ้าเปลี่ยนแปลงน้อยก็จะได้ weak absorption peak (เย็นหทัย แน่นหนา, 2549)

## 2.5.2 เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

2.5.2.1 ต้นกำเนิดรังสีอินฟราเรด (IR source) รังสีอินฟราเรดเกิดจากการเผาแหล่งกำเนิดรังสีให้มีความร้อน 1,000 -1,800 องศาเซลเซียส จึงทำให้ได้รังสีอินฟราเรดที่ต่อเนื่องออกมา รังสีที่ได้ออกมาที่มีความเข้มสูงสุดที่ความถี่ 5,000- 5,500 เซนติเมตร<sup>-1</sup> แหล่งกำเนิดรังสีที่นิยมใช้ คือ เนินสต์ฟิลาเมนต์ (nernst filament) และ โกลบาร์ (globar)

2.5.2.2 เซลล์ใส่สารตัวอย่าง (sample cell) เป็นส่วนที่ใช้สำหรับรองรับตัวอย่างในการวิเคราะห์ ซึ่งมีทั้งแบบที่ใช้สำหรับสารที่แก๊สบรรจุในระบบสุญญากาศ ของเหลวใส่บนแผ่นโลหะแฮไลต์ และปิดด้วยแผ่นโซเดียมคลอไรด์ และสารที่เป็นแผ่นของแข็ง

2.5.2.3 โมโนโครเมเตอร์ (monochromator) ทำหน้าที่เลือกความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดให้ผ่านอุปกรณ์วัดรังสีอินฟราเรดโมโนโครเมเตอร์ คือ ปริซึม (prism) และเกรตติง (grating)

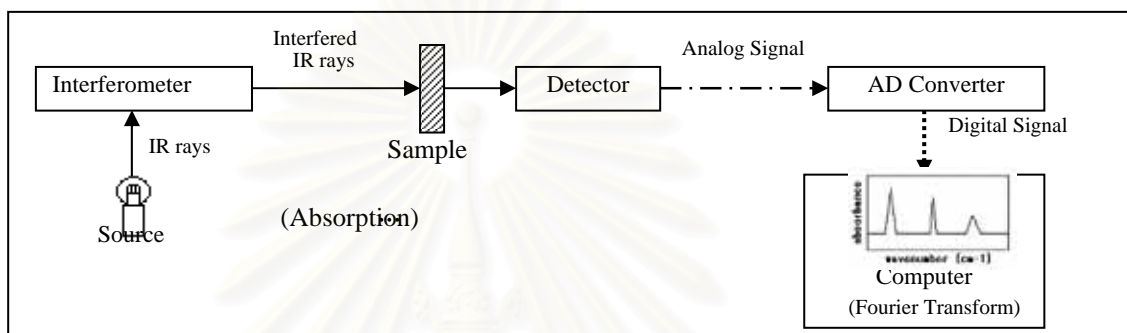
2.5.2.4 เครื่องวัดรังสีอินฟราเรด (IR detectors) แสงที่ผ่านสารทดสอบจะผ่านอุปกรณ์วัดแสง ภายในอุปกรณ์วัดแสงมีส่วนที่เปลี่ยนแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วเข้าสู่ส่วนขยาย จากนั้นจึงส่งต่อไปส่วนบันทึกผล

2.5.2.5 เครื่องบันทึก (recorder หรือ readout devices) สัญญาณจะถูกบันทึกในรูปกราฟ ระหว่างความยาวคลื่นหรือความถี่ของรังสีอินฟราเรดก่อนผ่านสารกับ ร้อยละการส่องผ่านแสง (ร้อยละ T) หรือค่าการดูดกลืนแสง

## 2.5.3 ประโยชน์การใช้งานของเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FTIR)

ใช้หาหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุลซึ่งสัมพันธ์กับโครงสร้างทางเคมี ควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรม และตรวจสอบหาชนิดของพลาสติกที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ นอกจากนี้ยังใช้ตรวจสอบสารปนเปื้อนขนาดเล็กในวัสดุหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก เส้นใย ยาง และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีขนาดเล็กมากหรือมีลักษณะ และสีเหมือนตัวอย่าง จึงยากที่จะเห็นได้ด้วยตา ตัวอย่างการใช้งานเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

1. ตรวจสอบการปนเปื้อนในฟิล์มโพลีเมอร์
2. วิเคราะห์สิ่งปนเปื้อนระดับไมโครเมตร
3. วิเคราะห์สารที่ใช้เคลือบผิว เช่น การเคลือบด้วยโพลีเมอร์, สี, กาว, ฟิล์ม เป็นต้น
4. วิเคราะห์ชนิดของโพลีเมอร์ เช่น พลาสติก, ยาง, เส้นใย และ สารเติมแต่ง
5. วิเคราะห์ชนิดและขนาดแต่ละชั้นของแผ่นฟิล์มลามิเนต



รูปที่ 2-3 แผนภาพองค์ประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ที่มา : Darlene และ Brezinski (1991)

## 2.6 โครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography, HPLC)

โครมาโทกราฟี เป็นเทคนิคการแยกสารผสมออกจากกันโดยอาศัยความแตกต่างในด้านสมบัติที่ต่างกันของสารที่ต้องการแยก เช่น สมบัติการละลาย ขนาดโมเลกุล ประจุบนโมเลกุล หมู่ที่สำคัญทางเคมีหรือความจำเพาะทางชีวภาพของสาร หลักการในการแยกสารออกจากกันอาศัยสมดุลระหว่างเฟสคงที่ (stationary phase) และเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) โดยมีคอลัมน์ที่บรรจุของแข็งซึ่งเป็นเฟสคงที่แล้วให้ตัวทำละลายหรือเฟสเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปชะเอาสารออกมาจากคอลัมน์ที่เวลาต่าง ๆ กัน

high performance liquid chromatography (HPLC) เป็นเทคนิคโครมาโทกราฟีที่พัฒนาเฟสคงที่ให้มีขนาดเล็กกลง โดยใช้เครื่องสูบของเหลวแรงดันสูง (high pressure pump) เป็นเทคนิคแยกสารผสมให้เคลื่อนที่ไปพร้อมตัวทำละลายซึ่งทำหน้าที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) พาสารตัวอย่างที่ถูกฉีดเข้าทางช่องฉีดสาร (injector) เคลื่อนที่ผ่านอนุภาคที่เป็นเฟสคงที่ (stationary phase) ซึ่งบรรจุอยู่ในคอลัมน์ (column) สารผสมเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์แล้วจะถูกแยกออกมาใน

เวลาที่ต่างกัน (retention time, RT) ผ่านเข้าสู่เครื่องตรวจวัด (detector) สัญญาณที่ตรวจวัดได้ ซึ่งอยู่ในรูปสัญญาณไฟฟ้าตามเวลาและปริมาณของสารแต่ละตัวที่ตรวจวัดได้ โดยสัญญาณจะถูกส่งไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณแสดงผลออกมาเป็นโครมาโทแกรม (chromatogram) ประกอบด้วยพีก (peaks) ของสารที่เป็นส่วนประกอบของสารผสม

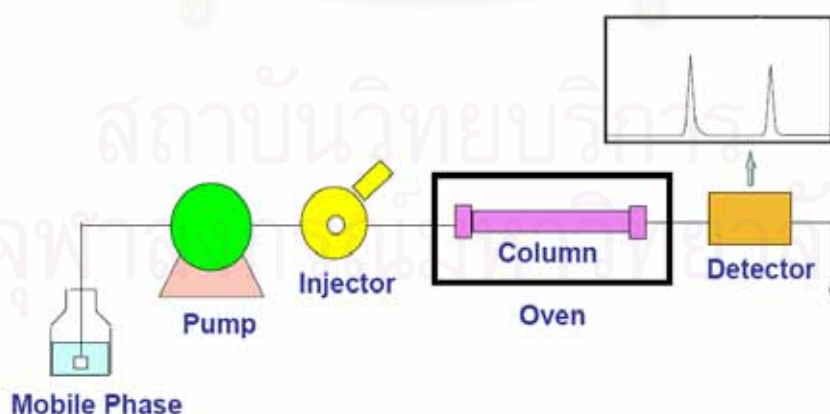
ปกติเฟสคงที่ที่ใช้ในเทคนิคโครมาโทกราฟีจะมีคุณสมบัติที่มีขั้ว เช่น ซิลิกา และใช้เฟสเคลื่อนที่เป็นสารละลายอินทรีย์ซึ่งมีขั้วน้อยกว่า เรียกเทคนิคแบบนี้ว่าโครมาโทกราฟีแบบ normal phase ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเฟสคงที่ให้มีหมู่ฟังก์ชันที่ไม่มีขั้ว เช่น C-18 เกิดพันธะอยู่บนผิวของ Solid Support เช่น ซิลิกา และใช้เฟสเคลื่อนที่ที่คุณสมบัติมีขั้วสูงกว่าในการแยกสารเรียกเทคนิคนี้ว่าโครมาโทกราฟีแบบ Reversed Phase (สุรชัย เลิศสถบดี และสุรศักดิ์ เจริญ, 2547)

การใช้ HPLC ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณ

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative analysis) ตรวจสอบชนิดของสารที่แยกออกมาได้ ทำโดยการเปรียบเทียบค่า Retention time กับสารมาตรฐาน ถ้าสารตัวอย่างและสารมาตรฐานมีค่า Retention time เท่ากัน เป็นสารเดียวกัน

การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) หลังจาก HPLC แยกสารออกมาเป็นพีก (peak) ต่าง ๆ สามารถวัดปริมาณของสารในแต่ละพีกได้โดย

1. วัดความสูงของพีก (peak height) เทียบกับความสูงของพีกของสารมาตรฐานที่ทราบปริมาณ
2. วัดพื้นที่พีก (peak area) เทียบกับพื้นที่ของสารมาตรฐานที่ทราบปริมาณที่ฉีดเข้าไป



รูปที่ 2-4 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง HPLC

ที่มา : Lindholm (2004)



2.6.1 เครื่อง high performance liquid chromatography มีส่วนประกอบที่สำคัญ (วิริยะ มีศรีสุข, 2537) คือ

### 2.6.1.1 ภาชนะบรรจุเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase reservoir)

เป็นภาชนะสำหรับใส่ตัวทำละลายที่ใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ในการวิเคราะห์ โดยมากทำจากแก้วหรือสแตนเลส มีความจุประมาณ 1 ลิตร จำเป็นต้องทำการไล่แก๊สที่ละลายอยู่ในเฟสเคลื่อนที่ เช่น ออกซิเจน ออกก่อน เพราะใช้ออกซิเจนอาจทำปฏิกิริยากับเฟสเคลื่อนที่และเฟสคงที่ที่อยู่ในคอลัมน์ ทำให้สัญญาณการวัดไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในเฟสเคลื่อนที่อาจถูกตรวจวัดได้โดยเครื่องตรวจวัดแบบ electrochemical การเลือกใช้เฟสเคลื่อนที่ จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของการละลายและความบริสุทธิ์ของเฟสเคลื่อนที่นั้น ๆ ขั้นตอนสำคัญในการเตรียมเฟสเคลื่อนที่คือ การกรองด้วยไมโครเมมเบรน เพื่อกำจัดอนุภาคและสิ่งปนเปื้อนในเฟสเคลื่อนที่ออกให้มากที่สุด เพื่อลดสิ่งรบกวนที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการแยกลดลง การกรองสารตัวอย่างเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพราะอนุภาคขนาดเล็กที่อยู่ในสารตัวอย่างอาจก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันของคอลัมน์ได้

### 2.6.1.2 เครื่องสูบน้ำของเหลวความดันสูง (pump)

มีหน้าที่ส่งเฟสเคลื่อนที่ผ่านไปในเครื่อง HPLC อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากอนุภาคของเฟสคงที่ที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์มีขนาดเล็กมาก ทำให้การไหลของเฟสเคลื่อนที่เป็นไปได้ยาก จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องสูบน้ำของเหลวประกอบด้วยลูกสูบหรือกลไกอื่นที่ใช้ในการขับเคลื่อนของเหลว วาล์ว ตัวควบคุมการไหล ตัวลดการเกิดจังหวะ และ pressure transducer ควบคุมและรักษาให้องค์ประกอบต่าง ๆ อยู่ในสภาพสมบูรณ์เพื่อให้อัตราการไหลสม่ำเสมอตลอดการวิเคราะห์ เครื่องสูบน้ำของเหลวมี 2 ชนิด คือ

#### 2.6.1.2.1 เครื่องสูบน้ำของเหลวความดันสูงแบบ isocratic

สำหรับการชะสารที่สนใจออกจากคอลัมน์แบบ isocratic elution ซึ่งเฟสเคลื่อนที่มีองค์ประกอบคงที่ตลอดการวิเคราะห์ เฟสเคลื่อนที่อาจจะเป็นตัวทำละลายชนิดเดียวหรือเป็นตัวทำละลายสองชนิดหรือมากกว่าที่ละลายในกันและกัน ความต้องการที่สำคัญสำหรับเครื่องสูบน้ำของเหลว isocratic คือ ความถูกต้องและความเรียบของการไหล เนื่องจากเครื่องสูบน้ำ

ชนิดของแหล่งระบบตัวทำละลายเพียงชนิดเดียวเท่านั้น ระบบ pressure transducer และวงจรควบคุมระบบ feedback จึงมีโครงสร้างง่าย ๆ และราคาไม่แพง

### 2.6.1.2.2 เครื่องสูบน้ำชนิดของเหลวความดันสูงแบบ gradient

เครื่องสูบน้ำชนิดของเหลวประเภทนี้สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่ระหว่างการวิเคราะห์ ซึ่งเหมาะในการแยกสารผสมที่ซับซ้อนหรือมีคุณสมบัติในการละลายใกล้เคียงกันหรือแตกต่างกันมาก ๆ เครื่องสูบน้ำชนิดนี้สามารถเพิ่มหรือลดความแรงของตัวทำละลายที่ไหลผ่านคอลัมน์ได้โดยการปรับอัตราส่วนของตัวทำละลาย เวลาต่าง ๆ ตลอดการวิเคราะห์

### 2.6.1.3 ส่วนฉีดสารตัวอย่าง (sample Injection system)

วิธีการผ่านสารตัวอย่างเข้าไปยังคอลัมน์นั้นมีความสำคัญค่อนข้างมากต่อประสิทธิภาพของการแยก ตัวอย่างจะถูกใส่เข้าไปในระบบโครมาโทกราฟีโดยผ่านที่ฉีดสารตัวอย่าง เพื่อลดการกระจายและการขยายแถบของพีค (band broadening) วิธีการต่าง ๆ ที่ใช้โดยทั่วไปมีหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมมากที่สุด คือ การฉีดสารโดย microsampling valve ซึ่งจะมี 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่ง load และตำแหน่ง inject เมื่อบรรจุสารตัวอย่างวาล์วควรอยู่ที่ตำแหน่ง load โดยในตำแหน่งที่เฟสเคลื่อนที่จะไหลข้าม sample loop ไป ในขณะที่เดียวกันนักวิเคราะห์สามารถบรรจุสารตัวอย่างเข้าไปใน sample loop โดยเข็มฉีดสารตัวอย่างโดยไม่มีการรบกวนการไหลของเฟสเคลื่อนที่ เมื่อต้องการผ่านสารตัวอย่างเข้าไปในคอลัมน์ ให้หมุนวาล์วไปยังตำแหน่ง inject เพื่อเปลี่ยนตำแหน่งให้เฟสเคลื่อนที่พาสารตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์ต่อไป microsampling valve ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันสามารถใช้ฉีดสารตัวอย่างในปริมาณต่ำสุดตั้งแต่ 5 ไมโครลิตร จนถึงปริมาณหลายมิลลิลิตร วาล์วประเภทนี้ยังสามารถใช้งานได้ที่ความดันสูงถึง 5,000 – 6,000 psi โดยไม่เกิดการรั่วไหล

ขนาดของ sample loop มีหลายขนาดขึ้นกับปริมาตรสารตัวอย่าง โดยทั่วไปจะมีขนาด 5  $\mu\text{L}$  ถึง 5 ml โดยสามารถถอดเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม ซึ่งโดยส่วนใหญ่ขนาดของ Sample Loop ประมาณ 1.5  $\mu\text{L}$  – 0.1 mL เพื่อให้ประสิทธิภาพในการแยกมีความถูกต้องมากที่สุด

loop ที่มีขนาดใหญ่เกินไปอาจจะเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิด band broadening ที่ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกลดลง นิยมใช้เพื่อการเตรียมสารเท่านั้น การฉีดสาร

ตัวอย่างเต็ม loop จะทำให้ผลการวิเคราะห์มีความแม่นยำสูงโดยมีค่าร้อยละของการคืนกลับน้อยกว่า 1 อย่างไรก็ตาม การฉีดสารไม่เต็ม loop ก็นิยมใช้กันทั่วไปซึ่งอาจทำให้ความแม่นยำของการวิเคราะห์ลดลงเนื่องจากเกิดปรากฏการณ์ band broadening ขึ้น ดังนั้น ในการฉีดสารไม่เต็ม Loop นี้ จะต้องใช้ความระมัดระวังสูงโดยต้องควบคุมอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่และอุณหภูมิเป็นอย่างดีรวมทั้งฉีดสารทันทีหลังการบรรจุ เพื่อป้องกัน band broadening เพื่อให้ได้ค่าร้อยละของการคืนกลับของการวิเคราะห์ที่ยอมรับได้

เนื่องจากระบบฉีดสารมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของการแยกที่ต้องการความแม่นยำสูง เพื่อความสะดวกรวดเร็วของการวิเคราะห์ทำให้บริษัทเครื่องมือได้พัฒนาเครื่องฉีดสารอัตโนมัติ (autosamplers) ขึ้น สามารถฉีดสารได้เองโดยอัตโนมัติจากขวดใส่สารตัวอย่างที่เตรียมไว้ได้โดยตรง ซึ่งมีความแม่นยำในการฉีดสารที่สูง

### 2.6.3 คอลัมน์ (column)

คอลัมน์เป็นสิ่งสำคัญที่สุดของเครื่องโครมาโทกราฟี เนื่องจากเป็นจุดที่มีการแยกของผสมออกเป็นองค์ประกอบย่อย โดยคอลัมน์จะมีความจำเพาะเจาะจง ความจุ และประสิทธิภาพต่างกันออกไปตามชนิดของเฟสคงที่ในคอลัมน์ คอลัมน์ที่ใช้สำหรับงานวิเคราะห์ HPLC ต้องผลิตด้วยวัสดุที่ทนต่อความดันและสารเคมีที่ใช้ ตัวคอลัมน์ส่วนมากผลิตจากสเตนเลสหรือแก้วที่มีความแข็งแรงสูง มีความยาว 15 ถึง 150 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2 ถึง 4 มิลลิเมตร เฟสคงที่ที่บรรจุในคอลัมน์มี 2 ชนิด โดยมีอนุภาคหลัก (solid support) ทำจากซิลิกาและอลูมินาชนิดที่มีอนุภาคขนาดเล็กมาก นิยมฉาบเฟสอื่น ๆ ลงบนผิวของซิลิกาและอลูมินาด้วยเพื่อปรับปรุงให้พื้นผิวมีคุณสมบัติเหมาะสมในการวิเคราะห์สารกลุ่มต่าง ๆ เฟสมี 2 ชนิด คือ ชนิดมีขั้วจะเรียกโครมาโทกราฟีแบบนี้ว่า normal phase แต่ถ้าฉาบให้พื้นผิวของอนุภาคหลักไม่มีขั้วจะเรียกโครมาโทกราฟีแบบนี้ว่า reversed phase

#### 2.6.3.1 normal phase BPC

เฟสคงที่ที่มีสภาพที่มีขั้วสูงกว่าเฟสเคลื่อนที่ โดยมากจะใช้สารละลายอินทรีย์ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวจะใช้ในการแยกสารที่มีสภาพขั้วต่ำจนถึงปานกลาง โดยสารจะถูกแยกโดยอาศัยสภาพขั้ว (polarity) หลักการในการแยกสาร คือ ถ้าสารหนึ่งมีสภาพขั้วสูงกว่าอีกตัวหนึ่งจะถูกหน่วงเหนี่ยวในคอลัมน์ได้นานกว่าเนื่องจากจะถูกอนุภาคที่บรรจุในคอลัมน์จับยึดเอาไว้ด้วยสภาพที่มีขั้วเหมือนกัน ส่วนสารผสมที่มีสภาพขั้วต่ำกว่า

จะถูกจับยึดด้วยอนุภาคที่บรรจุในคอลัมน์ได้น้อย โดยเฟสเคลื่อนที่จะพาสารที่มีสภาพขั้วต่ำ ออกมาก่อน การเพิ่มสภาพขั้วของเฟสเคลื่อนที่จะลดการหน่วงเหนี่ยวของสารผสมในคอลัมน์

2.6.3.2 reversed phase BPC เป็นเทคนิคที่นิยมมากที่สุดในการวิเคราะห์โดยเทคนิค HPLC ซึ่ง reversed phase จะมีความหมายตรงกันข้ามกับ normal phase คือ จะเกี่ยวข้องกับการใช้เฟสคงที่ที่ไม่มีขั้ว เช่น C-18 (octadecyl silane) และเฟสเคลื่อนที่ที่มีสภาพขั้วสูง เช่น น้ำ เมทานอล อะซิโตน ไทโวลีน เป็นต้น ดังนั้น สารประกอบที่มีสภาพขั้วสูงจะถูกชะล้างออกมาก่อน เนื่องจากสามารถละลายได้มากในเฟสเคลื่อนที่ ส่วนสารที่มีสภาพขั้วต่ำจะถูกหน่วงเหนี่ยวไว้ทำให้ถูกชะออกมาทีหลัง เทคนิคนี้จะเหมาะสมอย่างมากกับสารที่ไม่ละลายหรือละลายได้น้อยในน้ำ แต่สามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์หรือตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ที่รวมตัวกับน้ำได้ดี (miscible)

#### 2.6.4 เครื่องตรวจวัดสาร (detectors)

เครื่องตรวจวัดสารที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเครื่องตรวจวัดชนิดอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิล (UV detector) หลักการทำงานของเครื่องตรวจวัดชนิดนี้อาศัยการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตของสารตัวอย่าง เครื่องตรวจวัดชนิดนี้เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในการวิเคราะห์ทาง HPLC เพราะมีความไวสัมพัทธ์ต่ออนุภาคนิวทริยและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำ แต่มีความไวสูงต่อสารประกอบอินทรีย์ซึ่งดูดกลืนรังสีในช่วงอัลตราไวโอเล็ตเป็นส่วนใหญ่

ในการวิเคราะห์จะต้องเลือกค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัด เพื่อให้การวัดมีความไวสูงสุด ควรเลือกความยาวคลื่นที่สารดูดกลืนได้สูงสุด แต่โดยทั่ว ๆ ไปจะพิจารณาการดูดกลืนแสงของทุกองค์ประกอบที่สนใจวิเคราะห์ ในปัจจุบัน อัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลดีเทคเตอร์ ที่นิยมใช้ใน HPLC มี 3 ชนิดคือ

1. เครื่องตรวจวัดอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลแบบ fixed wavelength
2. เครื่องตรวจวัดอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลแบบ variable wavelength
3. เครื่องตรวจวัดอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลแบบ photodiode array

#### 2.6.5 เครื่องบันทึกข้อมูล (data collection)

เป็นเครื่องมือส่วนที่แสดงผลการวิเคราะห์โดยรายงานผลเป็นโครมาโทแกรม ในโครมาโทแกรมหนึ่งจะประกอบด้วยสัญญาณที่ได้จากการวัดสารละลายตัวชะซึ่งเป็นเส้นตรงสม่ำเสมอ เรียกว่า base line กับสัญญาณที่ได้จากการวัดสารละลายตัวอย่างซึ่งมีลักษณะเป็นยอดแหลม

เรียกว่า พีค (peak) สารแต่ละชนิดให้พีคที่เวลาต่างกันเรียกว่า retention time ความสูงของพีคที่เพิ่มขึ้นจะสัมพันธ์กับปริมาณสารในตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นด้วย

## 2.6.2 ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของสารในเทคนิคโครมาโทกราฟี (theory of elution chromatography)

เมื่อสารตัวอย่างที่ละลายในเฟสเคลื่อนที่ถูกชะเข้าสู่คอลัมน์ จะเกิดการแบ่งเฟสระหว่างเฟสคงที่กับเฟสเคลื่อนที่ ความแตกต่างระหว่างขั้วของเฟสเคลื่อนที่ (มีขั้วหรือไม่มีขั้ว) และเฟสคงที่ (normal phase หรือ reversed phase) จะเป็นแรงขับ (driving force) ให้สารตัวอย่างที่ต้องการนั้นเคลื่อนที่ออกมาจากคอลัมน์ได้ คือถ้าสารตัวอย่างเป็นสารที่มีขั้วก็ว่าจะไม่ถูกยึดติดไว้นานกับเฟสคงที่ที่ไม่มีขั้ว (reversed phase) แต่ถ้าใช้เฟสคงที่มีขั้ว (normal phase) สารตัวอย่างก็จะถูกยึดติดไว้นานในคอลัมน์

ถ้าสารตัวอย่างที่ผ่านเข้าคอลัมน์มีตัวถูกละลายมากกว่าหนึ่งชนิด และตัวถูกละลายมีค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายต่างกัน พบว่าความสามารถในการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายนั้นจะต่างกัน ทำให้สามารถแยกตัวถูกละลายที่มากกว่าหนึ่งชนิดออกจากกันได้ ถ้าโมเลกุลของตัวถูกละลายทุกตัวมีคุณสมบัติเหมือนกัน และการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายสามารถเคลื่อนที่ได้เท่ากันหมด เราจะได้โครมาโทแกรมที่เป็นแถบของสารแต่ละตัว

เนื่องจากโมเลกุลของตัวถูกละลายทุกตัวเคลื่อนที่ได้ไม่เหมือนกัน บางโมเลกุลเคลื่อนที่เร็ว บางโมเลกุลเคลื่อนที่ช้า ทำให้โครมาโทแกรมที่ได้ไม่เป็นเส้นแคบ ๆ แต่กลับให้แบนด์หรือพีคที่มีความกว้าง (band broadening) ระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของสารแต่ละชนิดออกจากคอลัมน์เรียกว่า retention time

ลักษณะพีคที่ได้จะกว้างหรือแคบมากน้อยแค่ไหน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างคือ

1. การแพร่กระจายของสารตัวอย่างในคอลัมน์ จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ (longitudinal diffusion)
2. การไหลของโมเลกุลของสารตัวอย่างในคอลัมน์มีทิศทางที่แตกต่างกัน และได้ระยะทางที่ต่างกัน เพราะขนาดและรูปร่างของเฟสคงที่ในคอลัมน์แตกต่างกัน (eddy diffusion) คือ ถ้าอนุภาคของเฟสคงที่มีการจัดเรียงตัวที่สม่ำเสมอ (มีช่องว่างให้สารไหลผ่านเท่ากัน) และมีขนาดเล็ก ก็จะทำให้เกิด eddy diffusion น้อยลง ทำให้ได้พีคที่มีความกว้างพอเหมาะ
3. โมเลกุลของสารตัวอย่างไม่สามารถเกิดสมดุลขึ้นระหว่างเฟสเคลื่อนที่และเฟสคงที่ได้ (non equilibrium mass transfer)



เนื่องจากโมเลกุลของสารตัวอย่างจะเข้าสู่คอลัมน์ไม่พร้อมกัน ดังนั้น สารตัวอย่างที่เข้าสู่คอลัมน์แบบกระจายเป็นวงกว้างจะมีผลให้ได้พีคที่กว้าง ก็จะทำให้พีคของสารตัวอย่างแยกออกจากกันได้ไม่ดีเท่าที่ควร

สำหรับการควบคุมองค์ประกอบทั้ง 3 ข้อนั้น สามารถทำได้โดยควบคุมอัตราเร็วของการไหลของเฟสเคลื่อนที่ ขนาดของสารที่บรรจุในคอลัมน์หรือเฟสคงที่ และขนาดของคอลัมน์ พีคจะกว้างมากขึ้นถ้ามีการกระจายมากขึ้น ซึ่งเกิดจากสารตัวอย่างอยู่ในคอลัมน์นานเกินไป การที่จะทำให้สารตัวอย่างไม่อยู่ในคอลัมน์นานเกินไป สามารถทำได้โดยเพิ่มอัตราเร็วของการไหลของเฟสเคลื่อนที่ แต่ถ้าเพิ่มอัตราเร็วของเฟสเคลื่อนที่มากเกินไปก็จะมีผลทำให้การแยกกันของสารตัวอย่างผสมเกิดขึ้นได้ไม่ดี คือ พีคไม่สามารถแยกออกจากกันได้ดี ดังนั้น จึงจำเป็นต้องควบคุมอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ให้อยู่ในภาวะสมดุล คือ พอที่จะทำให้เกิดการแยกของสารตัวอย่างผสมได้ดี สรุปได้ว่าถ้าเกิดการแพร่กระจายของสารตัวอย่างขึ้นในคอลัมน์จะทำให้ได้พีคที่กว้าง สามารถทำให้การแพร่กระจายลดลงโดยเพิ่มอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่เพื่อลดระยะเวลาสมดุลระหว่างเฟสเคลื่อนที่และเฟสคงที่ลง แต่การเพิ่มอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่อาจทำให้พีคกว้างหรือแคบก็ได้ ขึ้นอยู่กับว่าองค์ประกอบใดมีผลมากกว่ากัน ถ้าสมดุลระหว่างเฟสเกิดขึ้นได้เร็วมาก การเพิ่มอัตราการไหลก็จะทำให้ได้พีคที่แคบ เพราะสามารถขจัดผลของการแพร่กระจายได้ แต่ถ้าสมดุลเกิดขึ้นช้า การเพิ่มอัตราเร็วของการไหลเพื่อขจัดผลของการแพร่กระจายไม่สามารถทำให้พีคแคบลงได้ ดังนั้น การควบคุมอัตราเร็วของการไหลของเฟสเคลื่อนที่จึงมีความสำคัญมาก ในการทำโครมาโทกราฟี ฉะนั้น จะต้องมีการค้นคว้าวิจัยเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สามารถทำให้ได้พีคที่ดีและสามารถแยกสารออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์

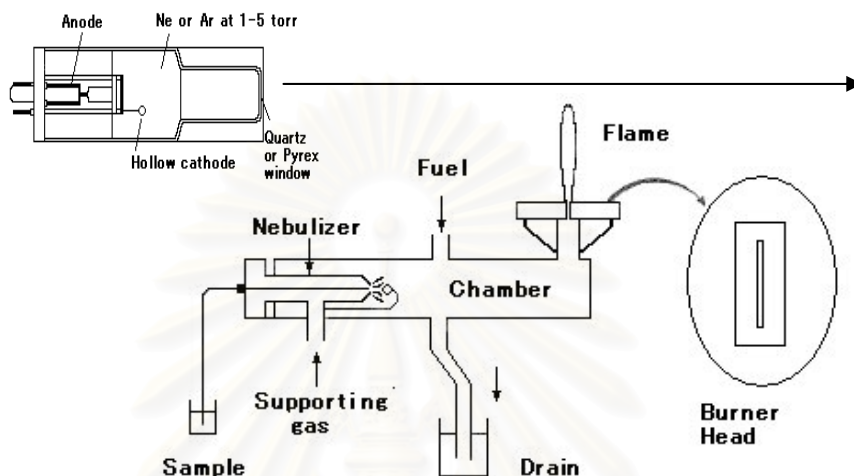
## 2.7 อะตอมมิคแอบซอร์ชันสเปกโทรสโกปี (atomic absorption spectroscopy, AAS)

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุกลุ่มโลหะหนักในเชิงคุณภาพวิเคราะห์และปริมาณวิเคราะห์ และเป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมอิสระ (free atoms) ของธาตุดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS โดยวิธีการทำให้ธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมอิสระที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่ การใช้เปลวไฟ (flame atomic absorption spectroscopy, FAAS) และการใช้เตากราฟไฟท์ (graphite furnace atomic absorption spectroscopy, GFAAS) ซึ่งการจะเลือกใช้วิธีใดนั้น ก็ขึ้นอยู่กับความไวในการตรวจวัด (sensitivity) ที่ต้องการ และลักษณะองค์ประกอบในสารตัวอย่าง

ตัวอย่างถูกผสมกับแก๊สก่อนถูกเผาด้วยเปลวไฟ

ธาตุ Pb สามารถวิเคราะห์ได้ที่ wavelength: 283.3 nm

ธาตุ Cd สามารถวิเคราะห์ได้ที่ wavelength: 228.3 nm



**รูปที่ 2-5** การทำงานของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโคปี (atomic absorption spectroscopy, AAS)

ที่มา : Richard, Beaty และ Kerber (1993)

atomic absorption spectroscopy เป็นการวัดอะตอมที่สามารถดูดกลืนคลื่นแสง โดยสารละลายจะถูกเผาไหม้แล้วเกิดอะตอมไม่ชี้ให้กลายเป็นอะตอมอิสระที่เป็นไอ อะตอมอิสระในสถานะเป็นไอจะอยู่ในสภาพ ground state ดังนั้นเมื่อมีคลื่นจากแหล่งกำเนิดที่เหมาะสม อะตอมอิสระที่เป็นไอจะสามารถดูดกลืนพลังงานหรือปริมาณแสงไว้ ซึ่งปริมาณแสงที่ดูดกลืนจะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของธาตุหรืออะตอมที่ต้องการทราบซึ่งเป็นไปตาม Lambert-Beer's Law

$$\text{Absorbance} = \log_{10} I_0/I_t = a \cdot b \cdot c$$

$I_0$  = ความเข้มข้นของแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง

$I_t$  = ความเข้มข้นของแสงที่ผ่านออกมา

$a$  = ค่า absorptivity (ค่าคงที่)

$b$  = path length (ความยาวของแสงที่ผ่าน)

$c$  = ความเข้มข้น (concentration) ของตัวอย่าง

### 2.7.1 การวิเคราะห์สารโลหะหนัก

โลหะหนักมีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ขึ้น โลหะหนักมีโอกาสนปนเปื้อนเนื่องมาจากเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตที่เป็นโลหะหรืออาจปนเปื้อนสู่ผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการผลิตหรืออาจมาจากน้ำที่ใช้ในกระบวนการต่าง ๆ เช่น กระบวนการหล่อเย็น ทำความสะอาดเครื่องมือ การปนเปื้อนของโลหะหนักในปริมาณเล็กน้อยทำให้ผู้บริโภคเกิดอันตรายจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ ตะกั่ว (Pb) และแคดเมียม (Cd) เป็นโลหะหนักที่พบได้ทั่วไป เนื่องจากตะกั่วถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมผลิตสี เครื่องสำอาง หรือการผสมกับดีบุก จะทำให้จุดหลอมเหลวลดลง 200 °C ตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายจะแปรรูปเข้าสู่กระแสโลหิต ประมาณร้อยละ 10-15 และสะสมอยู่ในกระดูกถึงร้อยละ 95 (Food and Agriculture Organization of the United Nations , 1973)

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่มีได้ในบรรจุภัณฑ์เป็นหัวข้อสำคัญอย่างหนึ่งในการทดสอบถุงพลาสติกบรรจุอาหาร เพราะในกระบวนการผลิตถุงพลาสติกมีโอกาสที่โลหะหนักปนเปื้อนไปในส่วนผสมของพลาสติก เมื่อนำภาชนะบรรจุไปใส่อาหารจึงมีโอกาสที่โลหะหนักจะแพร่กระจายไปสู่อาหาร

ในประเทศไทยมีการกำหนดปริมาณโลหะหนักที่มีได้ตามข้อกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 295 ได้กำหนดรายการสารเคมีที่ต้องวิเคราะห์และปริมาณสูงสุดของสารที่มีได้สำหรับภาชนะบรรจุพลาสติก

**ตารางที่ 2-3 ปริมาณสูงสุดของโลหะที่ให้มีได้ในเนื้อพลาสติกที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหาร**

พลาสติก	ปริมาณสูงสุดที่ให้มีได้ (ppm)	
	ตะกั่ว	แคดเมียม
พอลิไวนิลคลอไรด์	100	100
พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน	100	100
พอลิสไตรีน	100	100
พอลิไวนิลิดีนคลอไรด์	100	100
พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต	100	100
พอลิคาร์บอเนต	100	100
ไนลอน	100	100

ที่มา : ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 295 (2548)

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในอาหารโดยวิธี atomic absorption spectrophotometry เป็นการทำให้โลหะหนักแตกตัวเป็นอะตอมอิสระ เป็นวิธีที่ง่ายและได้ผลรวดเร็ว มีความถูกต้องสูงและนิยมใช้ในวงการวิจัย อุตสาหกรรมการผลิตและตรวจสอบคุณภาพอาหาร (Reilly, 1980)

เพ็ญจา จิตจำริญโชคไชย และคณะ (2546) ใช้วิธี atomic absorption spectrophotometry วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ตะกั่ว และแคดเมียม ในผลิตภัณฑ์นมสดที่สุ่มเก็บตัวอย่างจากร้านค้าทั่วไปในเขตกรุงเทพมหานคร ผลการตรวจวิเคราะห์พบว่า ปริมาณตะกั่วอยู่ในช่วง 0.21-0.26 mg/l ส่วนปริมาณแคดเมียมมีค่าน้อยมากใกล้เคียงศูนย์หรือไม่มีปริมาณของแคดเมียมอยู่ในตัวอย่างนมที่นำมาทดสอบ

### 2.7.2 ความเป็นพิษของแคดเมียม

จากการที่แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมและสินค้าอุปโภค จึงทำให้โลหะแคดเมียมเกิดการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม บรรยากาศ และในอาหาร ทำให้ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางโดยไม่รู้ตัว คนทั่วไปจะได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจากอาหารที่บริโภคเข้าไปเป็นหลัก โดยอาจติดปะปนมากับพืชผัก ผลไม้หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่นำมาปรุงเป็นอาหาร แคดเมียมอาจละลายอยู่ในน้ำดื่ม และได้รับจากอากาศโดยการหายใจเอาอากาศที่มีฝุ่นแคดเมียมฟุ้งกระจายอยู่ โดยเฉพาะในแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้แคดเมียมเป็นวัตถุดิบ เช่น โรงงานทำแบตเตอรี่หรือบริเวณที่เป็นเหมืองทำแร่ สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง ที่มักมีแคดเมียมปนอยู่ด้วย การสัมผัสกับสิ่งของที่มีแคดเมียมเป็นส่วนประกอบและการอยู่ในแหล่งที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในอากาศนาน ๆ จะทำให้แคดเมียมซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายได้อีกด้วย สำหรับผู้ที่สูบบุหรี่จัด จะทำให้ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้น ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในร่างกายครึ่งหนึ่งจะไปสะสมอยู่ที่ตับและไต ทำให้เกิดพิษสะสมได้ในคน การขับแคดเมียมที่ร่างกายดูดซึมเข้าไปแล้วออกจากร่างกายเป็นไปค่อนข้างช้ามาก เพราะวงจรชีวิตของแคดเมียมในคนค่อนข้างยาว 16 -33 ปี โดยความเป็นพิษของแคดเมียม แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะดังนี้ (เขมชาติ ธนาภิชาตญเจริญ และคณะ, 2008)





จ. ความเป็นพิษต่อตับ มีรายงานค่อนข้างน้อยเกี่ยวกับความเป็นพิษต่อตับในคน แต่จากการทดลองในสัตว์ทดลองพบว่ากรรมมีแคดเมียมในน้ำดื่มปริมาณ 1 ppm มีผลทำให้การทำงานของเอ็นไซม์ในตับเปลี่ยนไป

ฉ. จากการทดลองในสัตว์ พบว่า แคดเมียมยังเป็นสารก่อมะเร็ง โดยทำให้เกิดมะเร็งของเนื้อเยื่อ เช่น กล้ามเนื้อกระดูกในหนูทดลอง

### 2.7.3 พิษของสารตะกั่ว

ตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ก่อให้เกิดความเป็นพิษได้ 2 ลักษณะ ได้แก่

#### 2.7.3.1 ความเป็นพิษเฉียบพลัน

ผู้ได้รับตะกั่วจะรู้สึกปวดคอ มีกลิ่นโลหะในปาก กระจายน้ำ คอแห้ง ปวดแสบหน้าท้อง คลื่นไส้ อาเจียน อาเจียนอาจมีลักษณะขาวขุ่นจากเลือดคอลลอยด์ ผู้ได้รับตะกั่วส่วนมากจะมีอาการท้องร่วง และส่วนน้อยท้องผูก อุจจาระมีเลือดหรือมีสีดำอันเนื่องมาจากเลือดซัลไฟด์ ผู้ได้รับตะกั่วบางรายอาจเกิดอาการซีด กล้ามเนื้อกระดูก อ่อนเพลีย เป็นตะคริว โดยเฉพาะที่ขาทั้งสองข้างหรือมีอาการของระบบประสาทส่วนกลาง เช่น ปวดศีรษะ นอนไม่หลับหรืออาจมีอาการผิดปกติที่ไม่มีสาเหตุ เช่น รู้สึกชา ชิมเศร้า ถึงขั้นโคม่าและเสียชีวิตในที่สุด อาการที่รองลงไป ได้แก่ ภาวะไตเสื่อม ทำให้ปัสสาวะน้อยลงกว่าปกติ มีอัลบูมิน และมีเม็ดเลือดในปัสสาวะ เจ็บไต นอกจากนี้ จะมีการสลายตัวของเม็ดเลือดแดง อาจทำให้เสียชีวิตได้ภายใน 2-3 วัน (ปราโมทย์ ศรีสุวรรณ และคณะ, 2008)

#### 2.7.3.2 ความเป็นพิษเรื้อรัง

ผู้ได้รับตะกั่วอาจมีอาการทางระบบทางเดินอาหารและทางระบบประสาท เบื่ออาหาร เหน็ดเหนื่อยในลำคอ ท้องผูก เป็นตะคริวที่หน้าท้อง

อาการทางระบบประสาท เช่น ซ้อมือตก เป็นอัมพาต ไม่มีแรง แต่ยังคงมีความรู้สึก อาการทางสมองหรือเยื่อหุ้มสมองอักเสบ อาการนี้พบน้อยในผู้ใหญ่ ส่วนมากมักเกิดขึ้นกับเด็ก เช่น เด็กที่กำลังง่วงนอน อยู่นิ่ง ๆ ก็หมดสตินานประมาณ 2-3 ชั่วโมง ผลกระทบของตะกั่วต่อมนุษย์มีดังนี้

- ก. อาการทางระบบทางเดินอาหารที่พบบ่อย ได้แก่ เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูก บางรายท้องเสียและปวดท้องอย่างรุนแรง
- ข. อาการทางระบบประสาทที่พบบ่อย ได้แก่ กล้ามเนื้อแขนขาไม่มีแรง ปวดตามกล้ามเนื้อและข้อต่อต่างๆ กล้ามเนื้อเป็นอัมพาต
- ค. อาการทางโลหิตที่พบบ่อย ได้แก่ เลือดจางซีดขาว อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ มึนงง ตัวและตาเหลือง

จากความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียมและตะกั่ว ยังมีโลหะหนักอื่นอีกหลายชนิดที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น สารหนู ปรอท โครเมียม เป็นต้น เนื่องจากโลหะหนักต่าง ๆ เหล่านี้ยังมีความจำเป็นต่อชีวิตประจำวันอยู่ การใช้โลหะหนักเหล่านี้จะทำให้โลหะหนักมีโอกาสที่จะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมและปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ การศึกษาพิษวิทยาของโลหะหนักจึงมีความสำคัญเพื่อหาแนวทางป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตต่อไป

## 2.8 การพิมพ์สกรีน (screen printing)

การพิมพ์สกรีนคือ การพิมพ์ที่เกิดจากการปาดหมึกพิมพ์ผ่านผ้าสกรีน ซึ่งทำด้วยเส้นใยสังเคราะห์ไนลอน (nylon) หรือพอลิเอสเตอร์ (polyester) โดยใช้ยางปาด การพิมพ์สกรีนเป็นระบบการพิมพ์ที่สามารถพิมพ์บนวัสดุได้หลายรูปแบบและหลายชนิด

หลักการพิมพ์สกรีนลงบนพลาสติกมีหลักการเดียวกับที่พิมพ์ลงบนกระดาษ แต่การพิมพ์บนพลาสติกมีความยุ่งยากมากกว่า กล่าวคือ แม้ว่าพลาสติกจะมีผิวหน้าเรียบเหมือนกับกระดาษ แต่พลาสติกเป็นวัสดุที่ไม่มีรูพรุน และการพิมพ์ลงบนพลาสติกอาจต้องพิมพ์ลงบนวัสดุที่มีรูปร่างแตกต่างกัน เช่น ทรงกระบอก ทรงกรวย ดังนั้น ความสัมพันธ์ของวัสดุในการพิมพ์สกรีนควรยึดหลักดังนี้ (อำนาจ ศรีวิไลเจริญ และคณะ, 2538)

## 2.9 พลังงานผิวกับการยึดเกาะของหมึกพิมพ์

พลังงานผิวเป็นแรงที่ผิวของของแข็งกระทำต่อพื้นที่หนึ่งหน่วย มีหน่วยเป็นมิลลินิวตันต่อตารางเมตร ( $\text{mN/m}^2$ ) ซึ่งหมายถึงพลังงานอิสระที่ผิวหรือพลังงานที่ต้องการในการสร้างพื้นผิวใหม่ ค่าพลังงานผิวของของแข็งแทนด้วย  $\gamma_s$  พลังงานผิวจะต่างจากโมเลกุลของของเหลวที่วัดเป็นแรงที่กระทำต่อระยะทางได้โดยตรงและมีการคำนวณได้จากสมการไม่ยุ่งยาก พื้นผิวของวัสดุที่มีสมบัติชอบน้ำหรือเปียกน้ำ (hydrophilic surface) ได้ง่าย และมีพื้นผิวที่มีสภาพขรุขระจะมีพลังงานผิวสูง

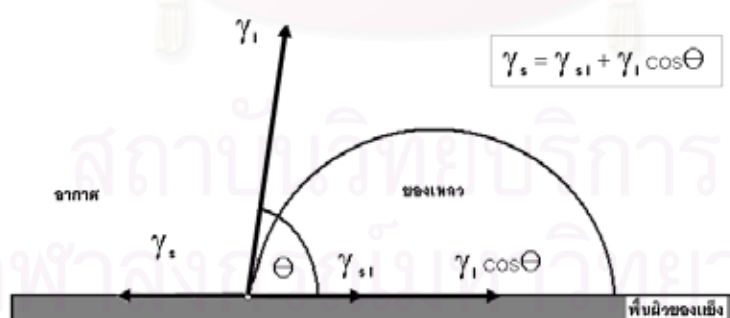
พื้นผิวของวัสดุที่ชอบน้ำมันหรือเป็ยกน้ำมันได้ง่าย (hydrophobic surface) เป็นพื้นผิวที่ไม่มีสภาพขั้วจะมีพลังงานผิวดำ

แรงตึงผิววิกฤต  $\gamma_c$  (critical surface tension) เป็นค่าแรงตึงผิวของของเหลวที่เทียบกับค่าพลังงานผิวของของแข็ง ณ จุดที่เริ่มเกิดการเป็ยกที่สมบูรณั้ มุมสัมผัสเท่ากับ 0 องศา แรงตึงผิววิกฤตหาได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสกับแรงตึงผิวของของเหลวต่างชนิดกันจำนวนหนึ่ง วิธีการหาค่าแรงตึงผิววิกฤตนี้เรียกวิธีของ ซิสแมน (zisman) ซึ่งนำเสนอโดยฟอกส์และซิสแมน (Fox และ Zisman) ในปี 1950 โดยเป็นการหาค่าพลังงานผิวที่สัมพันธ์กับแรงตึงผิววิกฤต

พลังงานผิวของพลาสติกที่สูงกว่าแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ มุมสัมผัสหยดหมึกจะเล็ก หมึกจะเกาะติดได้ดี และพลังงานผิวของพลาสติกที่ต่ำกว่าแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ มุมสัมผัสหยดหมึกจะใหญ่ หมึกจะเกาะติดได้น้อย

การวัดแรงตึงผิวของของเหลวอาศัยจุดเชื่อมต้อของ 3 เฟส (three phase boundary) ด้วยวิธีการหยดของเหลวบนผิวหน้าของแข็ง และหยดของเหลวจะปรับรูปทรงตามความดันอากาศ จนเข้าสู่สมดุล

สมดุลของ 3 เฟส อธิบายด้วย three phase boundary ตามสมการของ Thomus Young ในแง่ผลรวมของเวกเตอร์ ซึ่งสมการจะอธิบายถึงความสัมพันธ์ของพลังงานผิวของแข็งกับมุมสัมผัส (contact angle) ของของเหลวชนิดหนึ่งบนพื้นผิว (ปราโมชย์ ปฐมวัฒนะกุล และคณะ, 2546)



รูปที่ 2-6 สภาวะสมดุลของมุมสัมผัสของของเหลวบนวัสดุรองรับ

จากรูปสามารถเขียนสมการของ Thomas Young ได้ดังนี้

$$\gamma_s = \gamma_{s_l} + \gamma_l \cos \Theta$$

- $\gamma_l$  = แรงตึงผิวของของเหลว  
 $\gamma_s$  = แรงตึงผิวของของแข็ง (พลังงานพื้นผิวของของแข็ง)  
 $\gamma_{s_l}$  = แรงตึงระหว่างผิวของของเหลวกับของแข็ง  
 $\Theta$  = มุมสัมผัส

การคำนวณค่าพลังงานพื้นผิวของพลาสติก

ใช้โปรแกรม Excel ช่วยในการคำนวณโดยใช้สูตร

$$\gamma_{lv} (\cos \Theta + 1) = 2[(\gamma^d_l \gamma^d_s)^{1/2} (\gamma^p_l \gamma^p_s)^{1/2}]$$

ค่าพลังงานผิวของน้ำที่ 20 องศาเซลเซียส

$$\gamma_{lv} = 72.2 \text{ mJ/m}^2 \quad \gamma^p_l = 50.8 \text{ mJ/m}^2 \quad \gamma^d_l = 22.0 \text{ mJ/m}^2$$

ค่าพลังงานผิวของไดไอโอดีเมเทนที่ 20 องศาเซลเซียส

$$\gamma_{lv} = 50.8 \text{ mJ/m}^2 \quad \gamma^p_l = 4.2 \text{ mJ/m}^2 \quad \gamma^d_l = 46.6 \text{ mJ/m}^2$$

ใส่ค่าการวัดมุมสัมผัสหยดน้ำ และสารละลายไดไอโอดีเมเทนบนพลาสติก ด้วยเครื่อง contact angle ในสมการด้านบน หาค่า  $\gamma^d_s$ ,  $\gamma^p_s$  คำนวณพลังงานพื้นผิวของแข็งจากสูตร

Strobeck (1968) สรุปเงื่อนไขที่จะให้ผลการพิมพ์ที่ดี ขึ้นอยู่กับค่าแรงตึงผิววิกฤตดังนี้

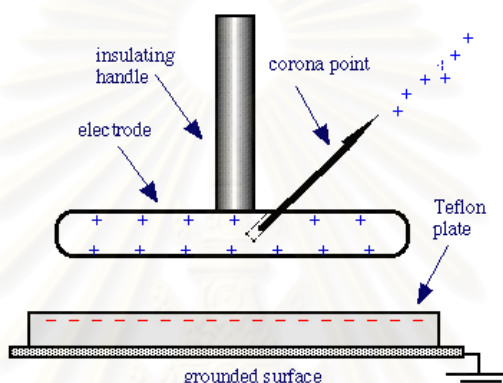
1. แรงตึงผิวของวัสดุรองรับต้องมากกว่าหรือเท่ากับแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์
2. ถ้าแรงตึงผิววิกฤตยิ่งสูง แรงยึดเกาะหมึกพิมพ์ก็จะยิ่งดีขึ้น
- 3 สามารถปรับปรุงแรงยึดเกาะหมึกพิมพ์ได้ ด้วยการเพิ่มแรงตึงผิววิกฤต ด้วยสารเคมี ความร้อนหรือการปรับปรุงผิวหน้าโดยใช้ประจุไฟฟ้าบนผิวหน้าวัสดุรองรับหรือลดแรงตึงผิวของของเหลวที่ใช้ เช่น หมึก

### 2.8.1 การปรับผิวหน้าโดยวิธีโคโรนาดีสชาร์จ (corona discharge)

เป็นวิธีการปรับผิวหน้าที่นิยมใช้กับพลาสติกแผ่นบาง ๆ ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โคโรนาที่ใช้ความถี่ไฟฟ้าสูงมาก ๆ สามารถใช้กับพลาสติกขึ้นรูปชิ้นเล็ก ๆ ได้ แผ่นพลาสติกที่นำมาปรับ

ผิวหน้าจะวิ่งผ่านช่องว่างระหว่างขั้วอานอด (anode) และขั้วสายดิน เมื่อทำให้เกิดความต่างศักย์สูงกระแสไฟฟ้าต่ำ อากาศจะแตกตัวได้เป็นอะตอมที่มีขั้วคล้ายกับการปรับผิวหน้าด้วยเปลวไฟ อะตอมไฮโดรเจนบนผิวหน้าแผ่นพลาสติกจะถูกแทนที่ด้วยอะตอมออกซิเจน ดังนั้นผิวหน้าพลาสติกจึงมีขั้วมากขึ้น (มณี เตชะพลาเลิศ และคณะ, 2531)

ส่วนประกอบของเครื่อง corona discharge treater ประกอบด้วย high frequency generator, high voltage transformer และ electrode 2 แผ่น



รูปที่ 2-7 สภาวะการปรับผิวหน้าโดยวิธีโคโรนาดีสชาร์จ (corona discharge)

กระบวนการของเครื่อง corona discharge treater เริ่มที่ไฟฟ้าที่มีความดันต่ำแต่มีความถี่สูง 60 Hz ผ่านเข้าเครื่อง high frequency generator เกิดความถี่สูงขึ้น ส่วน high voltage transformer แปลงกระแสไฟฟ้าให้มีแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น กระแสไฟฟ้าจะถูก discharge ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองคือ อานอดและสายดินที่แยกห่างกันด้วยตัวกลางที่เป็นฉนวนซึ่งก็คือ ช่องว่างที่เป็นที่อยู่ของอากาศ ขณะที่กระแสไฟฟ้าเข้าไปในอิเล็กโทรดจะเกิดสนามไฟฟ้า ทำให้อากาศระหว่างช่องว่างเกิดการจัดเรียงตัวเองตามแนวสนามไฟฟ้า ผิวหน้าวัสดุที่วางอยู่ในช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองมีแรงดึงดูดทางเคมี ประสิทธิภาพหรือผลของการปรับผิวหน้าขึ้นกับตัวแปรหลายตัวดังต่อไปนี้

1. กำลังไฟฟ้า (power input) กำลังไฟยิ่งมาก ประสิทธิภาพการปรับผิวยิ่งสูงขึ้น
2. ความเร็วของฟิล์มที่วิ่งผ่านเครื่องปรับผิว (linear speed of film) ความเร็วปกติคือ 100-200 ฟุตต่อนาที ความเร็วสูงสุดไม่เกิน 600 ฟุตต่อนาที
3. ความกว้างของขั้วไฟฟ้า (width of electrode system) ความกว้างของฟิล์มที่วิ่งเข้าไปในเครื่องขึ้นอยู่กับขนาดความกว้างของเครื่องปรับผิวหน้า



4. จำนวนขั้วไฟฟ้า (Number of electrodes) ช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้ากับฟิล์ม (air gap) ปกติช่องเปิดมีความกว้างประมาณ 0.060 นิ้วหรือ 1.52 มิลลิเมตร

5. ความถี่ของเครื่องส่งไฟฟ้ากระแสสลับ (oscillator)

การเสื่อมสภาพของผิวหน้าจะเป็นมากในช่วง 4 เดือนแรกหลังการปรับผิวหน้า จากนั้นการเปลี่ยนแปลงจะค่อย ๆ คงที่มีผู้ทำการทดลองโดยใช้พอลิเอทิลีนที่มี slip agent และ lubricant ซึ่งเป็นสารที่มีขั้วจะทำให้มีการเสื่อน้อยลง โดยเฉพาะพลาสติกที่ผ่านการปรับผิวที่ 0.4-0.67 mA ซึ่งโดยปกติแล้ว พลาสติกที่มี lubricant อยู่ด้วยจะมีพลังงานผิววิกฤตสูงอยู่แล้ว (มณี เตชะพลาเลิศ และคณะ, 2531)

## 2.8.2 การทดสอบระดับการปรับผิวหน้าของพลาสติก

ไม่มีวิธีการใดที่สามารถวัดประสิทธิภาพหรือระดับการปรับผิวหน้าพลาสติกให้มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการยึดเกาะ โดยทั่วไปมีการตรวจสอบหลายวิธี การเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับการประเมินผลที่ได้และความสะดวก คือ

การทดสอบโดยดูการเปียกน้ำ

การทดสอบโดยดูแรงยึดเกาะ

การทดสอบโดยใช้สีย้อมคาร์บอล ฟุชซิน (carbol fuchsin test)

การทดสอบโดยการยึดเกาะหมึก (ink adhesion test)

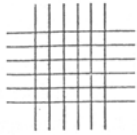
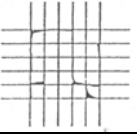
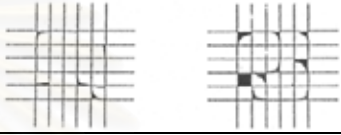
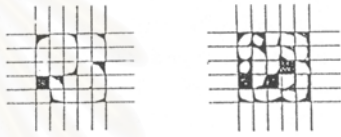
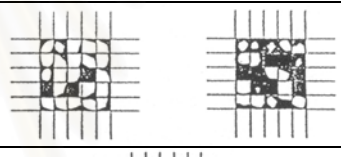
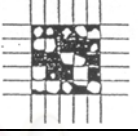
วัดมุมสัมผัส (contact angle test)

การดึงด้วยเทปกาว (tape peel test)

## 2.8.3 ทดสอบการยึดติดของชั้นฟิล์มจากการทดสอบ tape test

ทดสอบการยึดติดของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์กับวัสดุรองรับด้วยวิธี cross-cut tape test 3 ครั้ง โดยกรีดบนชั้นฟิล์มเป็นเส้นตรงยาว 20 มม. จำนวน 11 เส้นในแนวตั้ง แต่ละเส้นห่างกัน 1 มม. และกรีดเส้นในแนวนอน 11 เส้นตัดกับแนวตั้ง จะได้แนวรอยกรีดเป็นตารางจากเส้นที่ตัดกันทั้งแนวตั้งและแนวนอน (cross cut) จากนั้นใช้เทปกาว 3M เบอร์ 600 ติดบนผิวชั้นฟิล์มของหมึกกดให้เทปแนบกับผิวชั้นฟิล์ม ทิ้งไว้ประมาณ 60-120 วินาทีแล้วดึงออกในมุม 180 องศา สังเกตการยึดติดของชั้นฟิล์มโดยแบ่งเป็น 6 ระดับ (ASTM D 3359-02, 2006) ประเมินระดับของการยึดติดสังเกตได้จากลักษณะของชั้นฟิล์มหลังการทดสอบแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ระดับการยึดติดของชั้นฟิล์มจากการทดสอบ tape test

ระดับการยึดติด	ร้อยละพื้นที่ของชั้นฟิล์มที่หลุดลอกหลังการทดสอบ	ลักษณะพื้นผิวภายหลังการทดสอบ
5B	0	
4B	< ร้อยละ 5	
3B	ร้อยละ 5-15	
2B	ร้อยละ 15-35	
1B	ร้อยละ 35-65	
0B	> ร้อยละ 65	

ที่มา : ASTM D 3359-02 (2006)

5B ไม่มีการหลุดลอกของชั้นฟิล์ม

4B ชั้นฟิล์มหลุดลอกน้อยกว่าร้อยละ 5

3B ชั้นฟิล์มหลุดลอกร้อยละ 5-15

2B ชั้นฟิล์มหลุดลอกร้อยละ 15-35

1B ชั้นฟิล์มหลุดลอกร้อยละ 35-65

0B ชั้นฟิล์มหลุดลอกมากกว่าร้อยละ 65

## อิทธิพลของแรงตึงผิวกับการพิมพ์

เมื่อมีความแตกต่างกันระหว่างแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์และพลังงานผิวของแผ่นฟิล์มพลาสติก ปัญหาในการพิมพ์ที่จะเกิดขึ้นคือ หมึกพิมพ์เกาะผิวหน้าพลาสติกไม่สม่ำเสมอ เกิดลักษณะของตาปลา และแรงยึดติดของหมึกพิมพ์บนแผ่นพลาสติกเกือบไม่มีเลย ถ้าพลาสติกมีพลังงานผิวน้อยกว่าแรงตึงผิวของหมึกพิมพ์

องค์ประกอบของพลาสติกมีส่วนสำคัญในการปรับผิวหน้าของพลาสติกซึ่งมีสารเติมแต่งพลาสติกบางชนิด เช่น antioxidants, antistatic agents หรือ slip agents สามารถเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าของพลาสติกภายในระยะเวลาหนึ่ง ทำให้ลดประสิทธิภาพของการปรับผิวหน้า พลังงานผิวลดลง และสูญเสียการยึดติดเกิดแรงยึดติดที่ต่ำหรือไม่สม่ำเสมอ เป็นตาปลาระหว่างการพิมพ์ และทำให้ภาพมีความทึบตันต่อน้ำและสารเคมีลดลง หรือหมึกพิมพ์หลุดลอก ดังนั้น ควรใช้พลาสติกเหล่านี้ภายหลังที่ปรับผิวหน้าแล้วให้เร็วที่สุด ก่อนที่สารดังกล่าวนั้นจะเคลื่อนที่มาบนผิวของพลาสติก นอกจากนี้ในพอลิเมอร์บางชนิดที่ได้รับการปรับผิวหน้า แล้วหมู่ฟังก์ชันบนบริเวณผิวหน้าของพอลิเมอร์มีการเคลื่อนที่สูง ดังนั้น ระหว่างการเก็บพอลิเมอร์ที่ปรับผิวแล้วนี้จะแสดงผลการลดลงของผลการปรับผิว

การเก็บพลาสติกที่ปรับผิวหน้าแล้ว ต้องระมัดระวัง ไม่ควรใช้ผ้าเช็ดหรือถูแม้ในขณะที่ทำการตัดแผ่นพลาสติกจากม้วนหรือกล่อง น้ำมันและเกลือจากมือคนก็สามารถทำให้การยึดติดของหมึกพิมพ์หรือการมีปัญหา ขึ้นงานพลาสติกหรือแผ่นพลาสติกเมื่อเวลาที่ยังไม่ได้ใช้ให้คลุมด้วยแผ่นพลาสติกอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกจะมาจับที่ผิว และสิ่งที่ไม่ควรลืมคือพยายามให้ชั้นหมึกพิมพ์ที่พิมพ์ได้บางที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อให้มีการยึดติดมากที่สุดระหว่างแผ่นพลาสติกและหมึกพิมพ์

ปัญหาการพิมพ์ที่เกิดกับพลาสติก เนื่องมาจากธรรมชาติของผิวพลาสติกเรียบ ไม่มีรูพรุน และมีพลังงานที่ผิวต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พลาสติกจำพวกพอลิโอฟีน ในทางปฏิบัติ วัสดุทุกชนิดสามารถให้หมึกเกาะติดได้หากใช้เทคนิคที่ถูกต้อง กล่าวคือ เปลี่ยนชนิดของหมึกพิมพ์ให้เหมาะสมกับพลาสติกที่ใช้พิมพ์หรือเตรียมผิวหน้าของพลาสติกให้มีพลังงานเหมาะสมก่อนพิมพ์เคลือบหรือลามิเนต เมื่อพิมพ์หมึกพิมพ์บนแผ่นพลาสติก แม้ว่าขณะที่หมึกพิมพ์สามารถเปียกผิวหน้าพลาสติกได้ แต่ก็มิใช่แผ่นฟิล์มนั้นจะมีแรงยึดเหนี่ยวกับแผ่นพลาสติกได้ดี

แรงที่มีบทบาทเกี่ยวกับการยึดติดของโมเลกุลต่าง ๆ แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. แรงแวนเดอร์วาล (van der waal force) เป็นแรงที่เกิดระหว่างหมึกพิมพ์กับกระดาษหรือพลาสติก แรงนี้จะแปรตามชนิดของสารเคมีที่อยู่บนกระดาษหรือพลาสติก
  2. แรงที่เกิดจากพันธะเคมีที่เกิดขึ้น แรงนี้จะช่วยให้การยึดติดมีความแข็งแรงขึ้น โดยที่ผิวของวัสดุมีหมู่เหล่านั้นสามารถทำปฏิกิริยากับหมึกพิมพ์ได้
- ชนิดของแรงดึงดูดแบบพันธะแวนเดอร์วาล จัดลำดับจากมากไปหาน้อยตามชนิดของหมู่ฟังก์ชันได้ดังนี้

ไนทริล (nitrile) และ แอไมด์ (amide) มีค่าสูง ไฮดรอกซิล (hydroxyl) เอสเทอร์ (ester) แอซีเตต (acetate) และคลอไรด์ (chloride) มีค่าปานกลาง อีเทอร์ (ether) และเอทิลีน (ethylene) มีค่าต่ำ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

##### 3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC) Varian รุ่น Prostar 335, U.S.A
  - คอลัมน์: TSK-gel 80Ts 4.6mm x 25cm 5  $\mu$ m Tosoh corporation, Japan
  - เครื่องตรวจวัดแบบอัลตราไวโอเล็ต Varian รุ่น Prostar diode array detector UV 225 นาโนเมตร, U.S.A
2. เครื่อง fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) รุ่น Jasco 6300 TGS detector, Japan
3. ปีกเกอร์ ขนาด 10, 25, 50, 150, 600 และ 1,500 ml
4. ขวดกั่นกลม ขนาด 10, 50 และ 250 ml
5. หลอดหยด (dropper)
6. แท่งแก้วคน (stirring rod)
7. บีเปต (transfer pipette) 0.1, 1 และ 10 ml
8. กระบอกตวง 10, 100 และ 250 ml
9. ช้อนตักสาร (spatula)
10. Syringe filter 0.45  $\mu$ m ขนาด 0.13 mm ของ Alltech, USA
11. ถุงมือผ้า
12. กรรไกรตัดพลาสติก
13. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo รุ่น AB 204-S
14. เครื่องปรับผิวโคโรนาดีสชาร์จ (Corona Discharge) รุ่น 6010 ของ Softal Electronic, Hamburg, Germany
15. เครื่องวัดมุมสัมผัส (Modle CA-A, Kyowa Interface Science, JAPAN)
16. เครื่องสกัดสาร (Evaporator) BUCHI rotavapor R-200, Switzerland
17. กรอบสกรีนขนาด 8 x 10 นิ้ว ผ้าสกรีนเบอร์ 120T



18. เครื่อง flame atomic absorption spectroscopy, FAAS รุ่น Z-6100, Hitachi, Japan

### 3.1.2 วัสดุและสารเคมี

1. ไซโคลเฮกเซน (cyclohexane ความบริสุทธิ์ Purity 99.0 %) ของบริษัทอาศรมเคมีคัล
2. โพรพานอล (2-propanol Purity 99.9 %) ของบริษัทอาศรมเคมีคัล
3. อะซิโตไนไทร์ล (acetonitrile HPLC grade purity 99.98 %) ของบริษัทอาศรมเคมีคัล
4. เอทานอล ร้อยละ 50 (ethanol 50 % purity 99.9 %) ของบริษัทอาศรมเคมีคัล
5. นอร์มัลเฮพเทน (n-heptane purity 99.5 %) ของบริษัทอาศรมเคมีคัล
6. กรดแอซิติค ร้อยละ 4 (acetic acid 4 % purity 99.8 %) ของบริษัทอาศรมเคมีคัล
7. สารละลายไดไอโอดมีเทน (diiodomethane purity 99 %) ของบริษัทอาศรมเคมีคัล
8. อะซิโตน (acetone) ของบริษัทอาศรมเคมีคัล
9. เทปขาว 3M เบอร์ 610
10. สารไวแสง twins ของบริษัท ชัยบูรณ์ บราเดอร์ส
11. กาวอัดสกรีน ไดโครมฟอสต์ G121 ของบริษัท ชัยบูรณ์ บราเดอร์ส
12. น้ำกลั่น Milli-Q

### 3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้ได้สำรวจและเก็บตัวอย่างถุงพลาสติกบรรจุอาหารที่ขายตามท้องตลาดในพื้นที่กรุงเทพมหานครแบ่งตามประเภทถุงร้อนและถุงเย็น จากข้อมูลเว็บไซต์กรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่ามีผู้ผลิตถุงพลาสติกในกรุงเทพมหานครมีจำนวน 311 โรงงาน จึงกำหนดกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้จำนวน 30 ตัวอย่างจากหลายยี่ห้อและบริษัท โดยสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) จากร้านขายส่งในตลาดสดรอบกรุงเทพมหานครที่มีการซื้อขายถุงพลาสติกจำนวนมากเพื่อศึกษาการเกิดการย้ายที่ของสารเติมแต่ง 2 ชนิดคือ ตัวต้านออกซิเดชัน (antioxidants) และสารหล่อลื่น (lubricants) ระหว่างการใช้งาน ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักแคดเมียมและตะกั่วที่เกิดระหว่างการผลิต และศึกษาความสามารถในการยึดติดหมึกพิมพ์ในถุงพลาสติกบรรจุอาหาร ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

#### ตอนที่ 3.2.1 วิเคราะห์ชนิดพลาสติก

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาโครงสร้างของพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตถุง เปรียบเทียบสเปกตรัมของพอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีนมาตรฐานเพื่อระบุประเภทของพลาสติกในถุงตัวอย่างว่าถูกต้อง และเหมาะสมต่อการใช้งานตามที่ระบุไว้บนฉลาก โดยเทคนิคที่ใช้เป็น เทคนิคที่เรียกว่า fourier transform infrared spectroscopy ซึ่งทำได้ดังนี้

ตัดตัวอย่างถุงพลาสติกขนาด 5 X 3 เซนติเมตร ใช้ถุงมือหยิบถุงพลาสติกไปวางในช่องใส่ตัวอย่างของเครื่องมือวิเคราะห์ด้วยรังสีอินฟราเรดดังสภาวะในตารางที่ 3-1 วัดค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของถุงพลาสติก เปรียบเทียบผลที่ได้ตามค่ามาตรฐานเลขคลื่นของพอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีน บันทึกผลการทดลอง และประมวลผลการทดลอง

### ตารางที่ 3-1 สภาวะในการวิเคราะห์ประเภทพลาสติกด้วยเครื่อง (fourier transform

infrared spectroscopy, FTIR)

Equipment	Jasco FT/IR – 6300
Measuring method	transmission
Microscope	-
Detector	transmission groups (TGs)
Resolution	4 cm <sup>-1</sup>
Accumulating number of times	64
Accessories none	-

#### ตอนที่ 3.2.2 การทดสอบปริมาณสารเติมแต่งในถุงพลาสติก

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography, HPLC) ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาชนิดของสารเติมแต่ง 2 ชนิดคือ สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) และสารหล่อลื่น (lubricant) ตามตารางที่ 2-2 (บทที่ 2) ด้วยวิธีการสกัด 2 ชนิดคือ ใช้สารละลายมาตรฐาน (elution test) และสารละลายจำลองอาหาร (migration test) ตามตารางที่ 2-1 (บทที่ 2) เพื่อหาปริมาณของสารเติมแต่งในถุงพลาสติกที่มีโอกาสเคลื่อนย้ายไปสู่อาหารตามข้อกำหนดอาหารและยาสหรัฐอเมริกา สภาวะของเครื่อง HPLC-UV detector มีดังนี้

column : TSK-gel 80Ts- C18 (4.6mm x 25cm 5 μm)

TOSOH CORPORATION

mobile phase: water: acetonitrile 40:60 (0 – 13 min), 1:100

(13 – 45 min)

injection : 5 μl

flow rate : 1.2 ml/min

detector : UV, 225 นาโนเมตร

### 3.2.2.1 การสร้างและทดสอบความถูกต้องของ calibration curve

สร้าง calibration curve ของสารเติมแต่งคือ สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน และสารหล่อลื่น ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก1 ที่ความเข้มข้น 100, 250, 500 และ 1,000 ppm (สารเติมแต่งมาตรฐาน) ฉีดทดสอบด้วยเครื่อง HPLC เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารเติมแต่งมาตรฐานกับพื้นที่ใต้พีค (area under curve) ของ calibration curve ที่ใช้วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารเติมแต่งในตัวอย่างพลาสติก

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ที่ใช้ในการทดสอบ โดยการวิเคราะห์สารเติมแต่งมาตรฐาน 6 ชนิด ด้วยเครื่อง HPLC ด้วยสภาวะตามหัวข้อที่ 3.2.2 เพื่อหาความถูกต้องของผลการทดลอง และหาความน่าเชื่อถือของเครื่องมือทดสอบ แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วนคือ

#### 1. linearity test

เตรียมสารละลายเติมแต่งมาตรฐานความเข้มข้น 100, 250, 500 และ 1,000 ppm ที่เตรียมได้จากภาคผนวก ก1 ไปทดสอบด้วยเครื่อง HPLC และวัดค่าพื้นที่ใต้พีค (AUC) ที่ตำแหน่งค่า retention time ของสารเติมแต่งมาตรฐานทั้ง 6 ชนิด จากนั้นนำข้อมูลมาเขียนกราฟ (calibration curve) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่ใต้พีคของสารเติมแต่งมาตรฐานแต่ละชนิด คำนวณหาสมการแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว เพื่อใช้คำนวณหาสารเติมแต่งในตัวอย่างพลาสติก

#### 2. precision test

เตรียมสารละลายเติมแต่งมาตรฐานความเข้มข้น 100, 500 และ 1,000 ppm ที่เตรียมได้จากภาคผนวก ก1 ไปทดสอบด้วยเครื่อง HPLC โดยการฉีดวิเคราะห์สารละลายเติมแต่งมาตรฐานที่ความเข้มข้นเดียวกันต่อเนื่อง 3 ครั้งจนครบทั้ง 3 ความเข้มข้น จากนั้นนำพื้นที่ใต้พีคของสารเติมแต่งแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นเดียวกันมาคำนวณหาค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพันธ์ (coefficient of determination, %RSD) ดังสูตร

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

เมื่อ % RSD = ร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

$\bar{X}$  = ค่าเฉลี่ย

SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ของพื้นที่ได้ฟีกจะต้องมีค่าไม่เกิน ร้อยละ 15

(Johan Lindholm, 2004)

### 3.2.2.2 วิเคราะห์สารเติมแต่งในถุงพลาสติก

วิเคราะห์สารเติมแต่งในถุงพลาสติก โดยใช้วิธีสกัดเป็น 2 วิธี

#### 3.2.2.2.1 วิเคราะห์สารเติมแต่งในถุงพลาสติก โดยการสกัดด้วยสารละลาย

มาตรฐาน (elution test)

เตรียมถุงพลาสติกเพื่อทำการวิเคราะห์สารเติมแต่งทั้ง 6 ชนิด โดยวิธีการสกัดด้วยสารละลายมาตรฐาน (elution test) ซึ่งเตรียมจากสารละลายไซโครเฮกเซน ผสมกับ 2-โพรพานอล อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร เก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ตามวิธีในภาคผนวก ก2 เพื่อใช้วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC กับตัวอย่างถุงพลาสติกทั้งหมด 30 ตัวอย่าง

#### 3.2.2.2.2 วิเคราะห์สารเติมแต่งในถุงพลาสติกตัวอย่าง โดยการสกัดด้วย

สารละลายจำลองอาหาร (migration test)

เตรียมถุงพลาสติกเพื่อทำการวิเคราะห์สารเติมแต่งทั้ง 6 ชนิด โดยวิธีการสกัดด้วยสารละลายจำลองอาหาร (migration test) 3 ชนิดตามตารางที่ 3-2 ตามวิธีในภาคผนวก ก3 เพื่อใช้วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ทำการวิเคราะห์เบื้องต้นกับตัวอย่างถุงพลาสติกทั้งหมด 10 ตัวอย่าง กับสารละลายจำลองอาหารแต่ละชนิด เพื่อหาแนวโน้มการเคลื่อนย้ายของสารเติมแต่งสูงสุดจากสารละลายจำลองอาหารทั้ง 3 ชนิด และเลือกตัวอย่างที่ให้ผลสูงสุดทำการทดลองกับตัวอย่างที่เหลือจนครบ 30 ตัวอย่าง



**ตารางที่ 3-2** สารละลายจำลองอาหารสำหรับการทดสอบการย้ายที่ด้วยวิธีการสกัด (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 295, 2548)

ชนิดอาหาร	สารละลายที่ใช้ / สภาวะ
อาหารที่มีความเป็นกรด – ต่างเกิน 5	น้ำ / อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
อาหารที่มีแอลกอฮอล์	เอทานอลร้อยละ 20 / อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
ไขมัน น้ำมัน และอาหารที่มีไขมัน	นอร์มัลเฮปเทน / อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

**ตอนที่ 3.2.3 วิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนัก** (แม่้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสมบูรณ์, 2534)

เตรียมถุงพลาสติก 30 ตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ โลหะหนัก 2 ชนิด คือ ตะกั่ว และ แคดเมียม ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ชันสเปกโทรสโกปี ทำการสกัดด้วยสารละลาย 2 ชนิด คือ กรดแอสติกร้อยละ 4 และน้ำปราศจากไอออน ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

#### 3.2.3.1 สร้าง standard curve ของโลหะหนัก

เตรียมตะกั่วและแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 0.1, 0.3, 0.5 และ 1.0 ppm เพื่อใช้คำนวณหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นสารต่อการดูดกลืนแสงของเครื่อง AAS ด้วยระบบ ดังนี้

ภาวะในการวิเคราะห์โลหะหนักที่ย้ายที่สู่อาหารด้วยเครื่อง (flame atomic absorption spectroscopy, FAAS) Type: Z-6100 Hitachi measurement parameter

ธาตุตะกั่ววิเคราะห์ที่ Wavelength: 283.3 nm

ธาตุแคดเมียมวิเคราะห์ที่ Wavelength: 228.3 nm

#### 1 สภาวะการวิเคราะห์สารตะกั่ว ด้วยเครื่อง AAS

- value of current of lamp: 7.5mA
- wavelength: 283.3nm
- slit width: 1.3nm
- burner head: Standard burner
- height of burner: 7.5 mm
- flame: Air-Acetylene
- supporting gas pressure (flow rate): 160kPa(15.0L/min)

- fuel gas pressure (flow rate): 20kPa(1.7L/min)
- 2 สภาวะการวิเคราะห์สารแคดเมียม แคดเมียม ด้วยเครื่อง AAS
- value of current of lamp: 7.5mA
  - wavelength: 228.3nm
  - slit width: 1.3nm
  - burner head: Standard burner
  - height of burner: 5.0 mm
  - flame: Air-Acetylene
  - supporting gas pressure (flow rate): 160kPa(15.0 L/min)
  - fuel gas pressure (flow rate): 15kPa(1.5 L/min)

### 3.2.3.2 วิเคราะห์สารตะกั่วและแคดเมียมในถุงพลาสติก

สกัดสารตะกั่วและแคดเมียมในถุงพลาสติกด้วยสารละลายจำลองอาหาร 2 ชนิดคือ

1. สารละลายจำลองอาหาร กรดแอสติกร้อยละ 4 โดยการเตรียมตัวอย่างพลาสติกทั้ง 30 ตัวอย่างตามวิธีในภาคผนวก ก4
2. สารละลายจำลองอาหารชนิดน้ำ โดยการเตรียมตัวอย่างพลาสติกทั้ง 30 ตัวอย่างตามวิธีในภาคผนวก ก5

### ตอนที่ 3.2.4 ศึกษาการยึดเกาะหมึกพิมพ์บนถุงพลาสติก

#### 3.2.4.1 การวิเคราะห์พลังงานผิวของพลาสติก

วิเคราะห์พลังงานผิวของพลาสติก เปรียบเทียบกับพลังงานพื้นผิวของหมึกพิมพ์เพื่อหาสมบัติการแผ่ตัวของหมึกพิมพ์ที่ทำให้เกิดการพิมพ์ที่ดี

3.2.4.1.1 วัดพลังงานพื้นผิวของพลาสติกก่อนการพิมพ์ด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสตามวิธีในภาคผนวก ก6

3.2.4.1.2 วัดพลังงานผิวของหมึกพิมพ์ ด้วยการปาดหมึกให้พื้นกระจกเรียบและหาพลังงานผิวหมึกด้วยวิธีวัดค่ามุมสัมผัสตามรายละเอียดในภาคผนวก ก6

3.2.4.1.3 นำตัวอย่างพลาสติกไปปรับผิวด้วยวิธีโคโรนาดีสชาร์จ (corona discharge) ให้มีสมบัติการยึดติดหมึกพิมพ์ที่ดี เปรียบเทียบกับพลังงานผิวของหมึกพิมพ์

### 3.2.4.2 ทดสอบการยึดเกาะหมึกพิมพ์บนพลาสติก

คัดเลือกตัวอย่างถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพีลีน อย่างละ 2 ตัวอย่าง ที่มีพลังงานผิวก่อนการปรับผิวใกล้เคียงกัน ปรับผิวหน้าพลาสติกด้วยวิธีโคโรนาดีสชาร์จ ให้มีพลังงานผิวใกล้เคียงกันในช่วง 41- 42 mN/m พิมพ์ถุงพลาสติกด้วยหมึกพิมพ์สกรีนสำหรับพิมพ์พลาสติก โดยใช้แม่พิมพ์สกรีนขนาด  $8 \times 10$  นิ้ว ผ้าสกรีนเบอร์ 120T ทดสอบการยึดติดหมึกพิมพ์ด้วย tape test ของ 3 M เบอร์ 610 เพื่อทดสอบการยึดเกาะหมึกพิมพ์บนพลาสติกที่สัมผัสอาหาร แบ่งสภาวะการทดสอบหมึกพิมพ์สัมผัสอาหารเป็น 2 แบบ คือ

3.2.4.2.1 ทดสอบการยึดเกาะหมึกพิมพ์ที่สัมผัสสารละลายจำลองอาหารโดยตรง ด้วยการให้ผิวหน้าหมึกพิมพ์สัมผัสกับสารจำลองอาหารและวัดการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ที่สัมผัสสารจำลองอาหารทั้ง 4 ชนิด

สารจำลองอาหารที่ใช้ทดสอบการยึดเกาะหมึกพิมพ์บนพลาสติกที่สัมผัสอาหาร

1. น้ำ อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที
2. กรดแอสซิติกร้อยละ 4 อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที
3. เอทานอล ร้อยละ 20 อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที
4. นอร์มัลเฮปเทน (n-heptane) อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที

3.2.4.2.2 ทดสอบการยึดเกาะหมึกพิมพ์ที่สัมผัสสารละลายจำลองอาหารโดยอ้อม ด้วยการให้สารจำลองอาหารสัมผัสกับผิวด้านหลังของพลาสติกที่พิมพ์ ไม่ให้หมึกพิมพ์สัมผัสกับสารจำลองอาหาร วัดการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ที่สัมผัสสารจำลองอาหารทั้ง 4 ชนิด

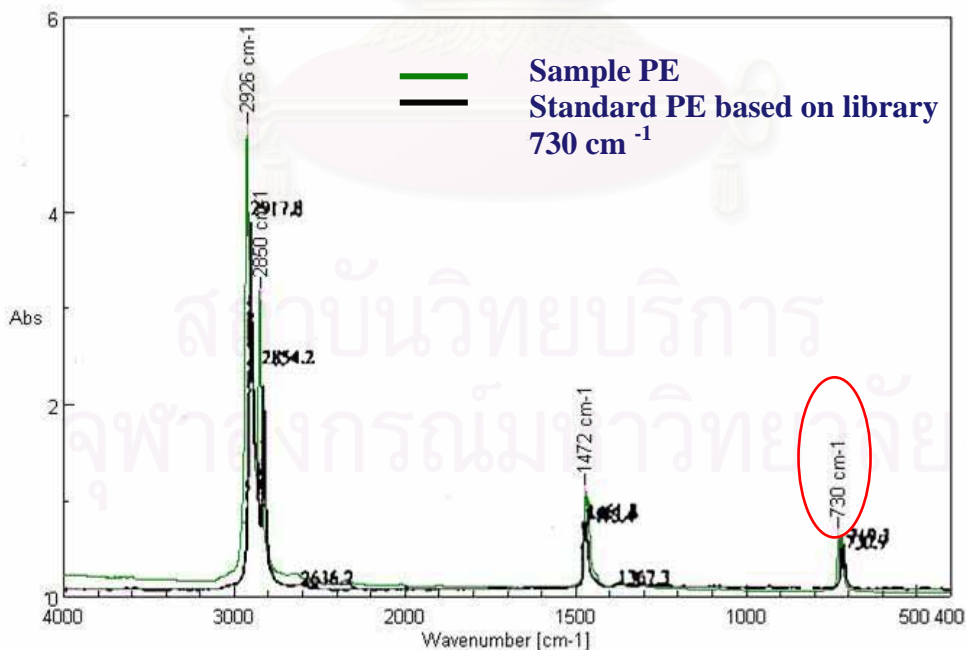
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

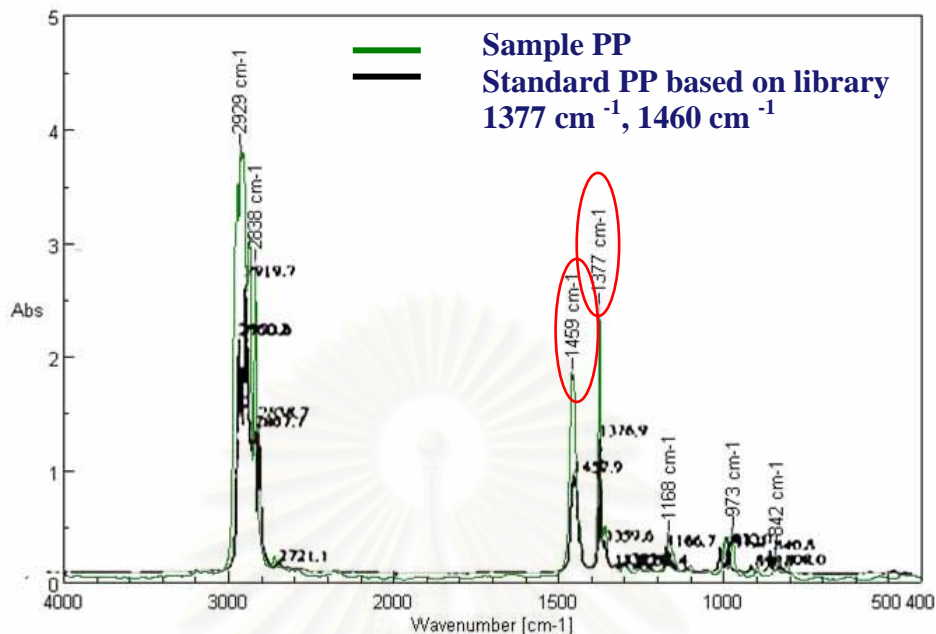
### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 การวิเคราะห์ชนิดพลาสติกด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี

การวิเคราะห์ชนิดพลาสติกของถุงพลาสติกด้วยเปรียบเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมของพลาสติกตัวอย่างเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเอทิลีนมาตรฐาน และพอลิโพรพิลีนมาตรฐาน พบว่าพลาสติกตัวอย่างมีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่นเดียวกันกับพิกมาตรฐานซึ่งเป็นค่าเลขคลื่นเฉพาะตัวของพอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4-1 และรูปที่ 4-2 ซึ่งพอลิเอทิลีนจะมีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเฉพาะตัวที่ตำแหน่งเลขคลื่นที่  $730\text{ cm}^{-1}$  ในตำแหน่งหมู่ฟังก์ชันนอลของ  $-\text{CH}_2-$  ต่อกันตั้งแต่ 4 หมู่ขึ้นไป และพอลิโพรพิลีนจะมีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเฉพาะตัวที่ตำแหน่งเลขคลื่นที่ 1377 และ 1460 ในตำแหน่งหมู่ฟังก์ชันนอลของ  $\text{C}-\text{CH}_3$  ทำให้โมเลกุลเกิดการงอแบบสมมาตร และเกิดการงอแบบอสมมาตร ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 4-1



รูปที่ 4-1 อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวอย่างพอลิเอทิลีน เทียบกับพอลิเอทิลีนมาตรฐาน



รูปที่ 4-2 อินฟราเรดสเปกตรัม ของตัวอย่าง พอลิโพรพิลีน เทียบกับ พอลิโพรพิลีนมาตรฐาน

ตารางที่ 4-1 สรุปพิก (peak) ของอินฟราเรดสเปกตรัมของสารมาตรฐานพอลิเอทิลีน และสารมาตรฐานพอลิโพรพิลีน

พลาสติก	เลขคลื่น (wave number) ( $\text{cm}^{-1}$ )	หมู่ฟังก์ชันนอล
พอลิเอทิลีน	730	$-\text{CH}_2-$ ต่อกันตั้งแต่ 4 หมู่ขึ้นไป
พอลิโพรพิลีน	1377	$\text{C}-\text{CH}_3$ การงอแบบสมมาตร
	1460	$\text{C}-\text{CH}_3$ การงอแบบอสมมาตร

ระดับความสูงของพิกแสดงถึงระดับการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีนซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นสารที่ใช้วิเคราะห์ หรือปริมาณสาร ในการทดลองใช้ตัวอย่างชนิดฟิล์มที่มีความหนาแตกต่างกัน ซึ่งการดูดกลืนแสงอินฟราเรดจะเปลี่ยนแปลงตามความหนาของชั้นฟิล์ม ทำให้พิกมีความสูงสัมพันธ์กับความหนาของชั้นฟิล์มตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 4-2



ตารางที่ 4-2 การระบุชนิดของพลาสติกด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแสดงตามรายชื่อทางการค้าของถุงพลาสติกบรรจุอาหารที่ใช้ในงานวิจัยดังนี้

เลขที่ตัวอย่าง	ขนาด นิ้ว x นิ้ว	ชื่อทางการค้า	ชนิดถุงที่ระบุบนฉลาก	ความหนา (ไมโครเมตร)	ชนิดพลาสติกที่วิเคราะห์ได้
1	6x9	ม้าทอง	ถุงร้อน	38	PP
2	6x9	แอลเอส	ถุงร้อน	31	PP
3	5x10	แอลเอส	ไม่ระบุชนิด	38	PE
4	6x9	จระเข้	ไม่ระบุชนิด	29	PE
5	7x11	ดาวทอง	ถุงร้อน	35	PP
6	6x9	เพชร	ถุงร้อน	34	PP
7	6x11	เพชร	ถุงเย็น	31	PE
8	6x9	ม้าทอง	ถุงร้อน	30	PE
9	4x6	ม้าทอง	ถุงร้อน	36	PP
10	6x9	กุญแจ	ถุงร้อน	36	PP
11	6x11	ปลาคู่ดาว	ถุงเย็น	33	PE
12	6x9	ห่าน	ถุงร้อน	38	PE
13	6x12	หมูบิน	ถุงร้อน	37	PE
14	4.5x7	จระเข้คู่	ถุงร้อน	33	PP
15	6x9	ระฆัง	ถุงร้อน	36	PP
16	6x10	อินทรีแดง	ถุงร้อน	35	PP
17	6x9	เรือใบคู่	ถุงร้อน	37	PP
18	10x15	หมากรุก	ถุงร้อน	41	PP
19	6x9	นกแก้ว	ถุงร้อน	30	PE
20	7x11	ปู	ไม่ระบุชนิด	83	PP
21	7x11	หงส์จีน	ถุงร้อน	37	PP
22	6x9	ช้างแดง	ถุงร้อน	33	PP
23	8x12	KP	ถุงร้อน	21	PP
24	6x9	เพชร	ถุงเย็น	44	PE
25	6x9	ปลาคู่ดาว	ถุงร้อน	33	PP
26	5x8	นกแก้ว	ถุงร้อน	34	PP
27	6x10	นกแก้ว	ถุงร้อน	30	PP

**ตารางที่ 4-2 (ต่อ)** การระบุชนิดของพลาสติกด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแสดงตามรายชื่อทางการค้าของถุงพลาสติกบรรจุอาหารที่ใช้ในงานวิจัยดังนี้

ตัวอย่าง	ขนาด นิ้ว x นิ้ว	ชื่อทางการค้า	ชนิดถุงที่ระบุบนฉลาก	ความหนา (ไมโครเมตร)	ชนิดพลาสติก ที่วิเคราะห์ได้
28	6X9	จระเข้	ไม่ระบุชนิด	37	PP
29	6X9	CHAMPION	ถุงร้อน	32	PP
30	7X11	LEADER PRIZE	ถุงร้อน	32	PP

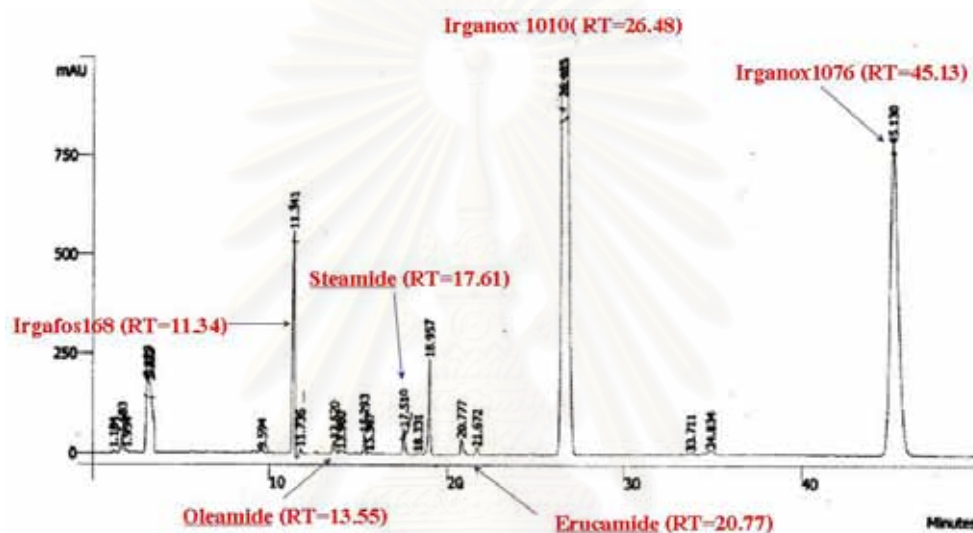
จากตารางที่ 4-2 การวิเคราะห์ชนิดของถุงพลาสติก ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (infrared spectroscopy) สามารถจำแนกพลาสติกเป็น 2 ชนิดคือ พอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีน และพบว่าถุงพลาสติกร้อยละ 30 เป็นพอลิเอทิลีน และร้อยละ 70 เป็นพอลิโพรพิลีน และในกลุ่มทั้งหมดของถุงพลาสติกที่ระบุให้ใช้บรรจุอาหารร้อนจำนวน 23 ตัวอย่างในจำนวนนี้มี 4 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 17.39 ที่ตรวจพบว่าเป็นพอลิเอทิลีน ซึ่งพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนบางกลุ่มไม่ทนความร้อน โดยเฉพาะพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำซึ่งจะสลายตัวเมื่อสัมผัสความร้อนที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส (อำนาจ ศรีวิไลเจริญ และคณะ, 2534) มีโอกาสทำให้พอลิเอทิลีนที่สลายตัวเคลื่อนย้ายไปสู่อาหาร แต่ในการทดลองมีข้อจำกัดคือเครื่อง FTIR ที่ใช้สามารถระบุระบุพลาสติกพอลิเอทิลีนได้แต่ไม่สามารถแยกประเภทของพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นที่แตกต่างกัน

## 4.2 การทดสอบปริมาณสารเติมแต่งในถุงพลาสติก

### 4.2.1 การสร้างและทดสอบความถูกต้องของ calibration curve

การสร้าง calibration curve ของสารเติมแต่ง โดยฉีดสารเติมแต่งความเข้มข้นมาตรฐานด้วยเครื่อง HPLC เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารเติมแต่งมาตรฐานกับพื้นที่ใต้พีค (area under curve พบว่าสารเติมแต่งมาตรฐาน Irganox 1076, Irganox 168, Irganox 1010, Oleamide, Steamide และ Erucamide สามารถเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ด้วยเวลาที่แตกต่างกัน ทำให้ได้ลักษณะโครมาโทแกรมที่แยกจากกันอย่างเห็นได้ชัดเจน และมี retention time ที่ต่างกันดังรูปที่ 4-3 ส่วนค่าการเคลื่อนที่ของสารเติมแต่ง (retention time) แสดงดังตารางที่ 4-3

การวิเคราะห์สารเติมแต่งด้วยเครื่อง HPLC สารเติมแต่งแต่ละตัวใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ออกมาในเวลาที่แตกต่างกัน ทำให้เห็นการแยกของพื้นที่ได้พิกอย่างชัดเจน Irgafos 168, Oleamide, Steamide, Erucamide Irganox 1010 และ Irganox 1076 ใช้เวลาเคลื่อนที่ retention time เท่ากับ 11.341, 13.620, 17.510, 20.777, 26.483 และ 45.130 นาที ตามลำดับ ซึ่งความเร็วในการฉีดสารของเครื่อง HPLC ตามสภาวะการไหลของสารเติมแต่งในรูปที่ 4-3 ทำให้สารเติมแต่งแต่ละตัวมีค่าพิกแยกออกจากกันอย่างเห็นได้ชัด ทำให้สามารถระบุตัวสารเติมแต่งได้ถูกต้อง



รูปที่ 4-3 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารเติมแต่งมาตรฐาน ที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 4-3 retention time ของสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 100 ppm ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารเติมแต่งที่ใส่ในถุงพลาสติกบรรจุอาหาร

ชนิดของสารเติมแต่ง	retention time ของสารมาตรฐาน(นาที)
1. Irganox 1076	45.130
2. Irgafos 168	11.341
3. Irganox 1010	26.483
4. Oleamide	13.620
5. Steamide	17.510
6. Erucamide	20.777

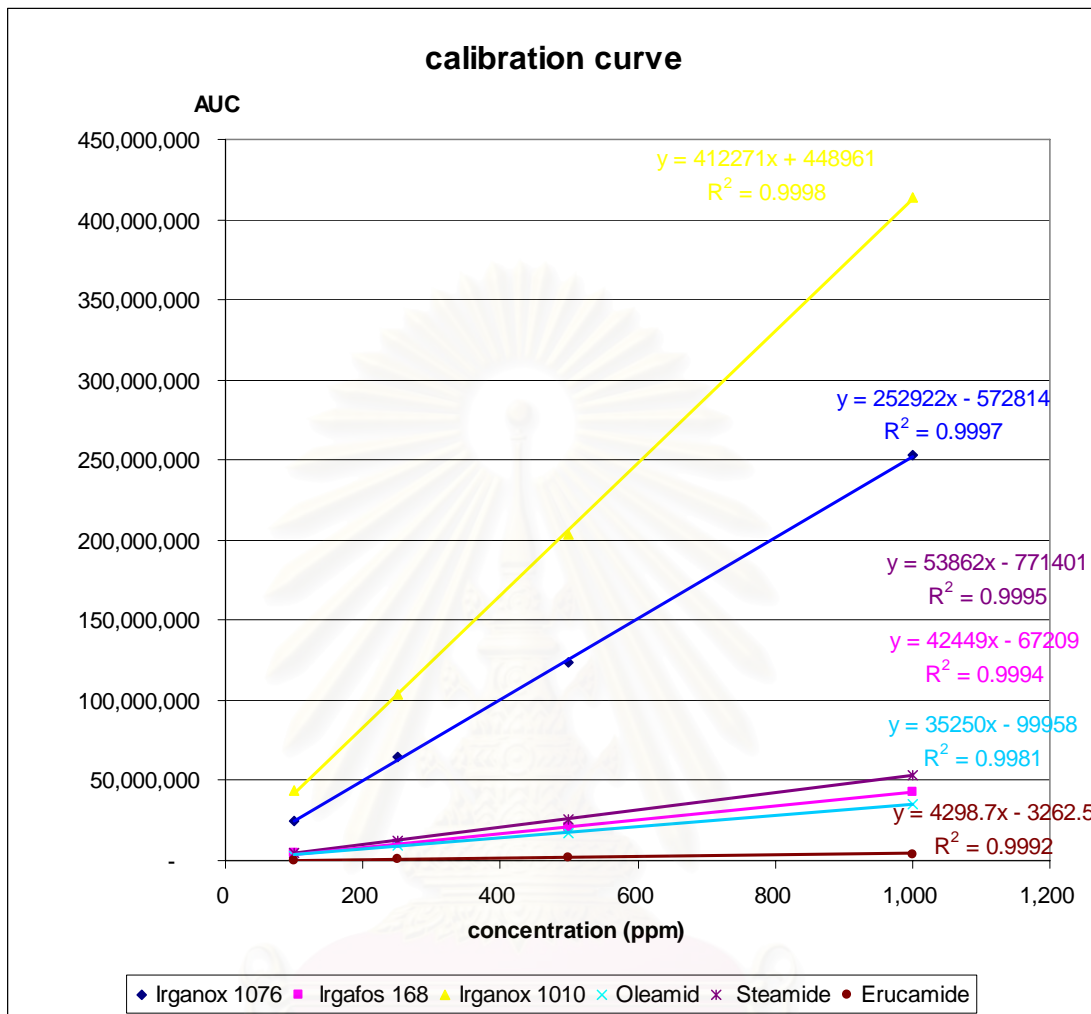
### ทดสอบความถูกต้องของ calibration curve ในการวิเคราะห์สารเติมแต่ง

จากการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารเติมแต่งกับค่าพื้นที่ใต้พีค (area under curve) พบว่า ความเข้มข้นของสารเติมแต่งกับค่าพื้นที่ใต้พีคมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 100 ppm – 1,000 ppm โดยมีค่า coefficient of determination ของ Irganol 1076, Irgafos 168, Irganox 1010, Oleamide, Steamide และ Erucamide เป็น 0.9997, 0.9994, 0.9998, 0.9996, 0.9995 และ 0.9992 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4-4

**ตารางที่ 4-4** ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ กับ ค่าพื้นที่ใต้พีคของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

สารเติม แต่ง	พื้นที่ใต้พีค (area under curve)				R <sup>2</sup>	สมการ Y = mX + c
	100 ppm	250 ppm	500 ppm	1,000 ppm		
Irganol 1076	24,877,986	64,235,856	123,235,920	253,265,504	0.9997	Y = 252922X - 572814
Irgafos 168	4,503,225	10,536,936	20,583,120	42,637,888	0.9994	Y = 42449X - 67209
Irganox 1010	43,491,308	103,381,417	203,519,830	414,104,416	0.9998	Y = 412271X + 448961
Oleamid	3,283,350	9,383,350	1673500	35,371,809	0.9996	Y = 35483X - 190109
Steamide	4,960,760	12,760,944	25,437,120	53,401,180	0.9995	Y = 53862X - 771401
Erucamide	432,872	1,022,872	2,207,617	4,276,175	0.9992	Y = 4298.7X - 3262.5

นำค่าความเข้มข้นของสารเติมแต่งกับค่าพื้นที่ใต้พีค (area under curve, AUC) ของสารเติมแต่งมาตรฐานแต่ละตัว ในตารางที่ 4-4 เพื่อสร้างกราฟ calibration curve แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารเติมแต่งมาตรฐานกับค่าพื้นที่ใต้พีคของของสารเติมแต่ง 6 ชนิดแสดงในรูปที่ 4-4 เพื่อใช้หาความเข้มข้นของสารเติมแต่งจากการทดลอง



รูปที่ 4-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารเติมแต่งมาตรฐานกับพื้นที่ใต้พีค

#### ความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ (precision)

จากการศึกษาความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ (precision) พบว่ามีร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ของ Irganox 1076, Irgafos 168, Irganox 1010, Oleamid, Steamide และ Erucamide เท่ากับ 2.53–3.20, 1.63-2.75, 1.37-2.72, 1.17–2.75, 1.57–2.91 และ 3.29 – 3.91 ตามลำดับ (ตารางที่ 4-5)



ตารางที่ 4-5 ความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ (precision) ของสารเติมแต่งมาตรฐาน 6 ชนิด

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	Area Under Curve			$\bar{X}$	SD	%RSD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
1. Irganox 1076	100	25,873,105	24,877,986	24,455,060	25,068,717	728,009	2.90
	500	119,415,606	123,235,920	127,302,705	123,318,077	3,944,191	3.20
	1000	244,147,946	253,265,504	241,362,025	246,258,492	6,226,075	2.53
2. Irgafos 168	100	4,435,677	4,503,225	4,359,122	4,432,675	72,098	1.63
	500	20,192,041	20,583,120	21,138,864	20,638,008	475,792	2.31
	1000	44,002,300	42,637,888	41,657,217	42,765,802	1,177,763	2.75
3. Irganox 1010	100	42,447,517	43,491,308	44,756,905	43,565,243	1,156,468	2.65
	500	201,688,152	203,519,830	193,343,839	199,517,274	5,424,226	2.72
	1000	403,751,806	414,104,416	412,779,282	410,211,835	5,633,646	1.37
4. Oleamide	100	3,148,733	3,283,350	3,275,142	3,235,742	75,463	2.33
	500	16,421,257	16,773,500	16,738,276	16,644,344	194,000	1.17
	1000	34,947,347	35,371,809	36,822,053	35,713,736	983,014	2.75

ตารางที่ 4-5 (ต่อ) ความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ (precision) ของสารเติมแต่งมาตรฐาน 6 ชนิด

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	Area Under Curve			$\bar{X}$	SD	%RSD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5. Steamide	100	4,926,035	4,960,760	4,732,565	4,873,120	122,956	2.52
	500	24,623,132	25,437,120	26,098,485	25,386,246	738,991	2.91
	1000	52,600,162	53,401,180	51,745,743	52,582,362	827,862	1.57
6. Erucamide	100	414,691	432,872	448,455	432,006	16,899	3.91
	500	2,128,143	2,207,617	2,282,676	2,206,145	77,277	3.50
	1000	4,177,823	4,276,175	4,456,630	4,303,543	141,404	3.29

จากตารางที่ 4-5 พบว่าวิธีวิเคราะห์สารเติมแต่งมาตรฐานที่พบในถุงพลาสติกด้วยวิธี HPLC โดยใช้ UV detector นั้น มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงในช่วง 100 -1,000 ppm และมีความแม่นยำของการวิเคราะห์ (%RSD) อยู่ในช่วง 1.15 – 3.88 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดของ AOC ที่ต้องมีค่าความแม่นยำของการวิเคราะห์ไม่เกินร้อยละ 15 จึงแสดงให้เห็นว่า วิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีดังกล่าวมีความเที่ยงตรงและแม่นยำในช่วงดังกล่าวมากเพียงพอที่จะนำมาใช้ทดสอบหาปริมาณสารเติมแต่งมาตรฐานได้ต่อไป

#### 4.2.2 วิเคราะห์สารเติมแต่งในเนื้อพลาสติก

##### 4.2.2.1 วิเคราะห์สารเติมแต่ง โดยการสกัดด้วยสารละลายมาตรฐาน (elution test)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4-6 และตารางที่ 2-2 พบว่าปริมาณสารเติมแต่งในตัวอย่างถุงพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนนั้น มีปริมาณสาร antioxidant ชนิด Irganox1010, Irganox1076 และ Irgafos168 ในช่วง 20-398 ppm, 20-532 ppm, 25-1,702 ppm ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 5,000 , 2,500 และ 2,500 ppm ที่เป็นปริมาณมากที่สุดที่ FDA ยอมรับได้ และมีปริมาณสาร lubricant ชนิด Erucamide, Stearamide และ Oleamide ในช่วง 81 – 964, 57 – 2,378 และ 6,691 – 1,224 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 2,500 ppm ที่เป็นปริมาณมากที่สุดที่ FDA ยอมรับได้ ส่วนปริมาณสารเติมแต่งในตัวอย่างถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนนั้น มีปริมาณสาร antioxidant ชนิด Irganox1010, Irganox1076 และ Irgafos168 ในช่วง 14-283 ppm, 29-601 ppm, 99-647 ppm ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 5,000 , 2,500 และ 2,000 ppm ที่เป็นปริมาณมากที่สุดที่ FDA ยอมรับได้ และมีปริมาณสาร lubricant ชนิด Erucamide, Stearamide และ Oleamide ในช่วง 67– 146, 425 – 533 และ 899 – 1184 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 2,500 ppm ที่เป็นปริมาณมากที่สุดที่ FDA ยอมรับได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-6 ปริมาณสารเติมแต่งในตัวอย่างพลาสติกที่สกัดด้วยสารละลายไซโครเฮกเซน และ 2-โพรพานอล อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

พลาสติก	เลขที่ ตัวอย่าง	Irgafos 168 (ppm)	Oleamide (ppm)	Steamide (ppm)	Erucamide (ppm)	Irganox 1010 (ppm)	Irganox 1076 (ppm)
PE	3	167	0	533	0	283	29
	4	647	0	425	899	112	601
	7	165	0	0	0	14	275
	8	617	101	0	1184	0	0
	11	132	0	0	0	0	384
	12	115	0	0	0	0	407
	13	0	146	0	0	0	307
	19	324	67	0	0	0	0
	24	99	0	0	0	19	680
PP	1	0	456	0	0	0	0
	2	1491	0	553	1224	306	0
	5	0	415	57	0	0	0
	6	1334	97	677	1216	398	0
	9	134	0	0	0	0	354
	10	0	377	0	0	78	0
	14	0	274	2378	0	68	0
	15	0	699	0	0	52	0
	16	0	574	0	0	97	0
	17	483	0	0	0	32	0
	18	516	0	359	921	0	521
	20	206	0	194	0	233	0
	21	1702	81	539	1198	352	0
	22	887	0	0	0	20	498
	23	620	0	217	0	86	271
25	190	964	0	691	264	0	

**ตารางที่ 4-6 (ต่อ)** ปริมาณสารเติมแต่งในตัวอย่างพลาสติกที่สกัดด้วยสารละลายไซโครเฮกเซน และ 2-โพรพานอล อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

พลาสติก	เลขที่ตัวอย่าง	Irgafos 168 (ppm)	Oleamide (ppm)	Stearamide (ppm)	Erucamide (ppm)	Irganox 1010 (ppm)	Irganox 1076 (ppm)
PP	26	0	206	0	0	14	0
	27	220	0	0	0	0	30
	28	25	0	217	0	87	271
	29	837	108	703	918	0	532
	30	0	302	0	0	0	0

#### 4.2.2.2 วิเคราะห์สารเติมแต่ง โดยการสกัดด้วยสารละลายจำลองอาหาร (migration test)

จากผลการทดลอง พบว่าปริมาณสารเติมแต่งในตัวอย่างถุงพลาสติกพอลิโพรพิลีน นั้น มีปริมาณสาร antioxidant ชนิด Irganox1010, Irganox1076 และ Irgafos168 ในช่วง 170-554 ppm, 54-511 ppm, 42-2,075 ppm ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 5,000 , 2,500 และ 2,500 ppm ที่เป็นปริมาณมากที่สุดที่ FDA ยอมรับได้ และมีปริมาณสาร lubricant ชนิด Erucamide, Stearamide และ Oleamide ในช่วง 35 – 1510, 2 – 448 และ 480 – 1,507 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 2,500 ppm ที่เป็นปริมาณมากที่สุดที่ FDA ยอมรับได้ ส่วนปริมาณสารเติมแต่งในตัวอย่างถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน นั้น มีปริมาณสาร antioxidant ชนิด Irganox1010, Irganox1076 และ Irgafos168 ในช่วง 0-0 ppm, 379-606 ppm, 270-1422 ppm ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 5,000 , 2,500 และ 2,000 ppm ที่เป็นปริมาณมากที่สุดที่ FDA ยอมรับได้ และมีปริมาณสาร lubricant ชนิด Erucamide, Stearamide และ Oleamide ในช่วง 172 – 1,199, 128 – 259 และ 1,588 – 1,617 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 2,500 ppm ที่เป็นปริมาณมากที่สุดที่ FDA ยอมรับได้ ตามตารางที่ 4-7, 4-8 และ 4-9

ตารางที่ 4-7 ปริมาณสารเติมแต่งในตัวอย่างพลาสติกที่สกัดด้วยสารละลายจำลองอาหาร  
นอร์มัลเฮปเทน (n-heptane) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

พลาสติก	เลขที่ ตัวอย่าง	Irgafos 168 (ppm)	Oleamide (ppm)	Steamide (ppm)	Erucamide (ppm)	Irganox 1010 (ppm)	Irganox 1076 (ppm)
PE	3	841	136	243	0	0	0
	4	802	681	155	0	0	543
	7	890	773	128	1588	0	606
	8	1422	919	256	1617	0	0
	11	1179	1199	0	0	0	0
	12	270	0	0	0	0	0
	13	496	445	0	0	0	0
	19	1018	172	0	0	0	0
	24	411	562	0	0	0	379
PP	1	1138	173	128	989	0	0
	2	603	241	153	1285	554	0
	5	255	35	0	798	0	511
	6	244	492	286	1160	495	0
	9	1557	1251	0	0	0	0
	10	1529	218	203	1030	18	495
	14	245	67	0	0	0	0
	15	357	1380	0	0	0	0
	16	0	327	0	0	0	0
	17	0	174	0	0	0	0
	18	0	93	0	0	458	0
	20	419	169	143	0	200	0
	21	310	118	0	0	0	0
	22	0	0	2	1527	0	0
23	184	515	0	0	0	0	



ตารางที่ 4-7 (ต่อ) ปริมาณสารเติมแต่งในตัวอย่างพลาสติกที่สกัดด้วยสารละลายจำลองอาหาร นอร์มัลเฮปเทน (n-haptane) คุณหมุมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

พลาสติก	เลขที่ตัวอย่าง	Irgafos 168 (ppm)	Oleamide (ppm)	Steamide (ppm)	Erucamide (ppm)	Irganox 1010 (ppm)	Irganox 1076 (ppm)
PP	25	1129	133	0	0	0	53
	26	2075	1510	196	0	170	160
	27	311	396	0	0	0	54
	28	42	333	9	480	0	0
	29	922	877	448	1507	0	973
	30	234	397	0	0	0	0

สำหรับการวิเคราะห์สารเติมแต่ง โดยวิธี migration ด้วยสารจำลองสภาวะอาหาร เอทานอล (ethanol ร้อยละ 50) และน้ำ เมื่อเทียบกับการใช้สารจำลองสภาวะอาหารด้วย นอร์มอลเฮปเทน แล้ว พบว่าให้ปริมาณสารเติมแต่งไปในทางเดียวกัน แต่การใช้สารจำลองสภาวะอาหาร เอทานอล และน้ำ จะให้ปริมาณสารเติมแต่งอาหารน้อยกว่า แสดงว่า การใช้สารสกัดนอร์มอลเฮปเทนซึ่งแทนอาหารชนิดไขมันทำให้สารเติมแต่งมีโอกาสเคลื่อนย้ายสู่อาหารได้มากกว่าอาหารชนิดที่แทนด้วย เอทานอล และน้ำ (ดังแสดงในตารางที่ 4-7, 4-8 และ 4-9) ดังนั้นจึงเลือกใช้สารจำลองสภาวะอาหาร นอร์มอลเฮปเทน เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ด้วยวิธี migration เพื่อหาปริมาณสารเติมแต่งที่มากที่สุดที่มีโอกาสเคลื่อนย้ายสู่อาหาร

สถาบันนวัตกรรมการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ตารางที่ 4-8** ปริมาณสารเติมแต่งในตัวอย่่างพลาสติกที่สกัดด้วยสารละลายจำลองอาหาร  
(เอทานอลร้อยละ 50 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที)

พลาสติก	เลขที่ ตัวอย่าง	Irgafos 168 (ppm)	Oleamide (ppm)	Steamide (ppm)	Erucamide (ppm)	Irganox 1010 (ppm)	Irganox 1076 (ppm)
PE	3	92	0	259	0	0	0
	7	0	39	14	310	0	0
	8	18	46	51	758	0	0
	12	0	0	0	0	0	0
	19	0	34	0	652	0	0
PP	2	19	55	63	132	0	0
	6	39	34	60	706	0	0
	9	20	0	18	298	0	4
	20	32	250	0	237	0	0
	27	0	0	60	0	0	0

**ตารางที่ 4-9** ปริมาณสารเติมแต่งในตัวอย่่างพลาสติกพอลิโพรพิลีน ที่สกัดด้วยสารละลาย  
จำลองอาหาร (น้ำ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที)

พลาสติก	เลขที่ ตัวอย่าง	Irgafos 168 (ppm)	Oleamide (ppm)	Steamide (ppm)	Erucamide (ppm)	Irganox 1010 (ppm)	Irganox 1076 (ppm)
PE	3	0	0	0	100	0	0
	7	0	0	0	438	2	0
	8	187	330	0	0	0	7
	12	17	0	0	0	0	0
	19	17	0	0	0	0	7
PP	2	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	8	0	0	15
	9	3	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	8
	27	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4-10 แสดงการเปรียบเทียบวิเคราะห์สารเติมแต่ง ในพลาสติกพอลิเอทิลีน โดยการสกัดด้วยสารละลายมาตรฐานโดย elution test และวิธี migration test

พลาสติก	เลขที่ตัวอย่าง	วิธีและสารที่ใช้สกัด	Irgafos 168 (ppm)	Oleamide (ppm)	Steamide (ppm)	Erucamide (ppm)	Irganox 1010 (ppm)	Irganox 1076 (ppm)
PE	3	cyclohexane : 2-propanol	167	0	533	0	283	29
	3	n-heptane	841	136	243	0	0	0
	3	50% ethanol	92	0	259	0	0	0
	3	water	0	0	0	100	0	0
	7	cyclohexane : 2-propanol	0	0	0	14	274	165
	7	n-heptane	1284	128	1597	371	604	888
	7	50% ethanol	39.1	13.5	312.1	0	0	0
	7	water	0	0	440.9	2.4	0	0
	8	cyclohexane : 2-propanol	101	0	1191	0	0	616
	8	n-heptane	921	257	1626	0	0	1419
	8	50% ethanol	46.3	51.3	762.8	0	0	17.7
	8	water	330.4	0	0	0	6.6	187.1
	12	cyclohexane : 2-propanol	0	0	0	0	406	114
	12	n-heptane	0	0	0	0	0	269
	12	50% ethanol	0	0	0	0	0	0
	12	water	0	0	0	0	0	17
	19	cyclohexane : 2-propanol	324	67	0	0	0	0
	19	n-heptane	1018	172	0	0	0	0
	19	50% ethanol	0	34	0	652	0	0
	19	water	17	0	0	0	0	7

ตารางที่ 4-10 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบวิเคราะห์สารเติมแต่งในพลาสติกพอลิเอทิลีน โดย  
การสกัดด้วยสารละลายมาตรฐานโดย elution test และวิธี migration test

พลาสติก	เลขที่ ตัวอย่าง	วิธีและสารที่ ใช้สกัด	Irgafos 168 (ppm)	Oleamide (ppm)	Steamide (ppm)	Erucamide (ppm)	Irganox 1010 (ppm)	Irganox 1076 (ppm)
PP	2	cyclohexane : 2-propanol	1491	0	553	1224	306	0
	2	n-heptane	2	603	241	153	1285	554
	2	50% ethanol	19	55	63	132	0	0
	2	water	0	0	0	0	0	0
	6	cyclohexane : 2-propanol	97	681	1223	397	0	1331
	6	n-heptane	493	287	1167	0	0	244
	6	50% ethanol	34.3	60.2	710.5	0	0	39.3
	6	water	0	8.3	0	0	15	0
	9	cyclohexane : 2-propanol	134	0	0	0	0	354
	9	n-heptane	1557	1251	0	0	0	0
	9	50% ethanol	20	0	18	298	0	4
	9	water	3	0	0	0	0	0
	20	cyclohexane : 2-propanol	0	195	0	233	0	205
	20	n-heptane	250.6	0	238.7	0	0	31.7
	20	50% ethanol	169	144	0	0	0	418
	20	water	0	0	0	0	8.2	0
	27	cyclohexane : 2-propanol	0	0	0	0	30	220
	27	n-heptane	397	0	0	33	54	311
	27	50% ethanol	0	60	0	0	0	0
	27	water	0	0	0	0	0	0

เมื่อวิเคราะห์ผลจากวิธีการสกัดสารเติมแต่งด้วยวิธี migration ด้วย นอร์มอลเฮปเทน เอทานอล และน้ำ พบว่าให้ปริมาณสารเติมแต่งไปในทางเดียวกัน แต่วิธี migration ด้วย นอร์มอลเฮปเทน จะพบปริมาณสารเติมแต่งอาหารมากกว่า การใช้เอทานอล และน้ำ แสดงให้เห็นถึงถุงพลาสติกที่บรรจุอาหารชนิดไขมันสามารถทำให้สารเติมแต่งเคลื่อนย้ายไปสู่อาหารได้มากกว่าถุงพลาสติกที่บรรจุอาหารชนิดที่มีแอลกอฮอล์ หรือ น้ำ แสดงในตาราง 4-7, 4-8 และ 4-9

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากวิธีการสกัดสารเติมแต่งด้วยวิธี elution และ วิธี migration ด้วย นอร์มอลเฮปเทน พบว่าได้ปริมาณสารเติมแต่งไปในทางเดียวกัน แต่วิธี elution ซึ่งสกัดด้วย สารละลายไซโครเฮกเซน และ 2-โพรพานอล จะให้ปริมาณสารเติมแต่งอาหารน้อยกว่า วิธี migration ด้วย นอร์มอลเฮปเทน แสดงให้เห็นว่า นอร์มอลเฮปเทนในวิธี migration ใช้เป็นสารสกัดที่เหมาะสม เพื่อหาปริมาณสูงสุดในการตรวจหาสารเติมแต่งที่เคลื่อนย้ายสู่อาหารได้ แสดงในตารางที่ 4-10

#### 4.3 วิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนัก

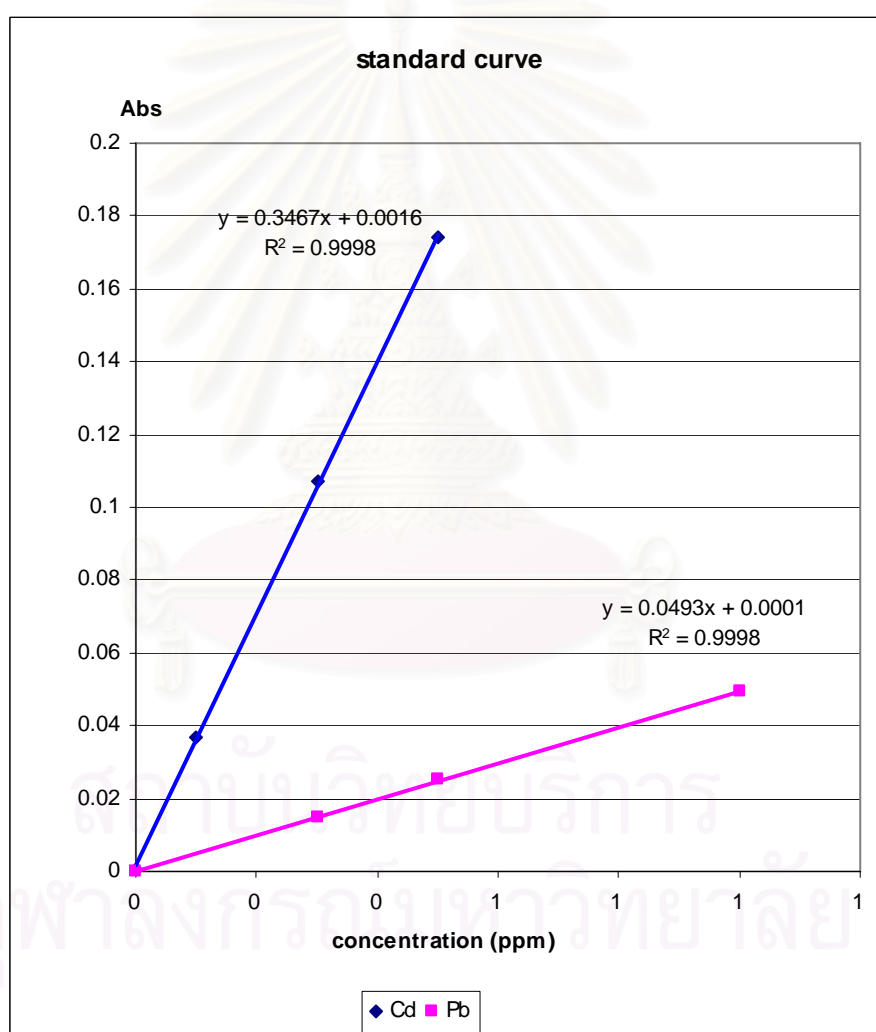
การวิเคราะห์โลหะหนักในถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร โดยสกัดด้วยสารละลายกรด แอซิติคความเข้มข้นร้อยละ 4 และน้ำปราศจากไอออน ด้วยเครื่องมืออะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (atomic absorption spectroscopic) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่เกิดจากการปนเปื้อนระหว่างการผลิตถุงพลาสติก จำนวน 30 ตัวอย่าง

##### 4.3.1 การทำ standard curve ของโลหะหนัก

จากการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักแคดเมียม และ ตะกั่ว กับค่าการดูดกลืนแสง พบว่า ความเข้มข้นของโลหะหนัก แคดเมียม และตะกั่ว กับค่าการดูดกลืนแสง มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 0 ppm – 0.5 ppm และ 0 ppm – 1.0 ppm โดยมีค่า coefficient of determination ของแคดเมียม และ ตะกั่ว เป็น 0.9998, 0.9999 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4-11 และรูปที่ 4- 4

ตารางที่ 4-11 ค่า standard curve ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนัก แคดเมียมและตะกั่ว กับการดูดกลืนแสง ABS ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโคปี

โลหะหนัก	หน่วย : ความเข้มข้น ( ppm)					R <sup>2</sup>	สมการ Y = mX + c
	0.0	0.1	0.3	0.5	1.0		
แคดเมียม	0.0007	0.0367	0.1071	0.1740		0.9998	Y = 0.3467X - 0.0016
ตะกั่ว	0.0002		0.0146	0.0252	0.0494	0.9999	Y = 0.493X - .0001



รูปที่ 4-5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนัก แคดเมียม และตะกั่ว กับการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโคปี



การวิเคราะห์หาโลหะหนัก ตะกั่ว และแคดเมียม ของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี ทำโดยการวัดการดูดกลืนแสงของตะกั่วที่ความเข้มข้นมาตรฐาน 0.0, 0.3, 0.5 และ 1.0 ppm และ การวัดการดูดกลืนแสงของแคดเมียมที่ความเข้มข้นมาตรฐาน 0.0, 0.1, 0.3 และ 0.5 ppm เพื่อใช้สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสง กับความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียม ตามลำดับ ได้กราฟเส้นตรง (standard curve) ที่มี  $R^2$  0.9999 และ 0.9998 ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 4-11 และรูปที่ 4-5

#### 4.3.2 วิเคราะห์สารตะกั่วและแคดเมียมในถุงพลาสติก

ตารางที่ 4-12 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักแคดเมียม และตะกั่ว สกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี

น้ำ 95 องศาเซลเซียส 30 นาที		น้ำหนักตัวอย่าง (g) ต่อ 100 cm <sup>2</sup>	ความเข้มข้น (ppm)	
ตัวอย่าง	ยี่ห้อ		Cd	Pb
1	ม้าทอง	0.312	<0.1	<0.3
2	แอลเอส	0.3037	<0.1	<0.3
3	แอลเอส	0.3412	<0.1	<0.3
4	จระเข้	0.319	<0.1	<0.3
5	ดาวทอง	0.3041	<0.1	<0.3
6	เพชร	0.3022	<0.1	<0.3
7	เพชร	0.418	<0.1	<0.3
8	ม้าทอง	0.3483	<0.1	<0.3
9	ม้าทอง	0.2729	<0.1	<0.3
10	กุญแจ	0.3313	<0.1	<0.3
11	ปลาคู่ดาว	0.2611	<0.1	<0.3
12	ห่าน	0.3239	<0.1	<0.3
13	หมูบิน	0.2715	<0.1	<0.3
14	จระเข้คู่	0.2497	<0.1	<0.3
15	ระฆัง	0.338	<0.1	<0.3
16	อินทรีแดง	0.3095	<0.1	<0.3
17	เรือใบคู่	0.3087	<0.1	<0.3
18	หมากรุก	0.3269	<0.1	<0.3

ตารางที่ 4-12 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักแคดเมียม และตะกั่ว สกัดด้วยน้ำ ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ชันสเปกโทรสโกปี

น้ำ 95 องศาเซลเซียส 30 นาที		น้ำหนักตัวอย่าง (g) ต่อ 100 cm <sup>2</sup>	ความเข้มข้น (ppm)	
ตัวอย่าง	ยี่ห้อ		Cd	Pb
19	นกแก้ว	0.2993	<0.1	<0.3
20	ปู	0.7348	<0.1	<0.3
21	หงส์จีน	0.3792	<0.1	<0.3
22	ช้างแดง	0.2926	<0.1	<0.3
23	KP	0.1705	<0.1	<0.3
24	เพชร	0.3157	<0.1	<0.3
25	ปลาสูดาว	0.3175	<0.1	<0.3
26	นกแก้ว	0.2922	<0.1	<0.3
27	นกแก้ว	0.2824	<0.1	<0.3
28	จระเข้	0.2594	<0.1	<0.3
29	CHAMPION	0.2822	<0.1	<0.3
30	LEADDER PRIZE	0.2932	<0.1	<0.3

ตารางที่ 4-13 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักแคดเมียม และตะกั่ว ด้วยกรดแอสติติกความเข้มข้นร้อยละ 4 ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ชันสเปกโทรสโกปี

กรดแอสติติกความเข้มข้นร้อยละ 4		น้ำหนักตัวอย่าง (g) ต่อ 100 cm <sup>2</sup>	ความเข้มข้น (ppm)	
ตัวอย่าง	ยี่ห้อ		Cd	Pb
1	ม้าทอง	0.322	<0.1	<0.3
2	แอลเอส	0.254	<0.1	<0.3
3	แอลเอส	0.312	<0.1	<0.3
4	จระเข้	0.251	<0.1	<0.3
5	ดาวทอง	0.324	<0.1	<0.3
6	เพชร	0.288	<0.1	<0.3
7	เพชร	0.302	<0.1	<0.3
8	ม้าทอง	0.266	<0.1	<0.3
9	ม้าทอง	0.309	<0.1	<0.3

ตารางที่ 4-13 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักแคดเมียมและตะกั่ว ด้วยกรดแอสติติกความเข้มข้นร้อยละ 4 ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ชันสเปกโทรสโกปี

กรดแอสติติกความเข้มข้นร้อยละ 4		น้ำหนักตัวอย่าง (g)ต่อ 100 cm <sup>2</sup>	ความเข้มข้น (ppm)	
ตัวอย่าง	ยี่ห้อ		Cd	Pb
10	กุญแจ	0.314	<0.1	<0.3
11	ปลาคู่ดาว	0.273	<0.1	<0.3
12	ห่าน	0.295	<0.1	<0.3
13	หมูบิน	0.279	<0.1	<0.3
14	จระเข้คู่	0.280	<0.1	<0.3
15	ระฆัง	0.318	<0.1	<0.3
16	อินทรีแดง	0.337	<0.1	<0.3
17	เรือใบคู่	0.303	<0.1	<0.3
18	หมากรุก	0.354	<0.1	<0.3
19	นกแก้ว	0.277	<0.1	<0.3
20	ปู	0.758	<0.1	<0.3
21	หงส์จีน	0.333	<0.1	<0.3
22	ช้างแดง	0.300	<0.1	<0.3
23	KP	0.196	<0.1	<0.3
24	เพชร	0.384	<0.1	<0.3
25	ปลาคู่ดาว	0.316	<0.1	<0.3
26	นกแก้ว	0.301	<0.1	<0.3
27	นกแก้ว	0.285	<0.1	<0.3
28	จระเข้	0.320	<0.1	<0.3
29	CHAMPION	0.267	<0.1	<0.3
30	LEADDER PRIZE	0.303	<0.1	<0.3

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณ แคดเมียม และ ตะกั่ว พบว่า การวิเคราะห์โลหะหนักที่พบในถุงพลาสติกด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ชันสเปกโทรสโกปี สกัดด้วยสารละลายกรดแอสติติกความเข้มข้นร้อยละ 4 และ น้ำ ทั้ง 2 วิธี มีการตรวจพบปริมาณ แคดเมียม และ ตะกั่วในการวิเคราะห์ที่มีปริมาณน้อย 0.1 ppm และ 0.3 ppm ตามลำดับ หรือไม่ถูกตรวจพบดังแสดงในตารางที่ 4-12 และ 4-13 ซึ่งหมายถึงพลาสติกที่ทำการทดลองมีปริมาณตะกั่ว และแคดเมียมที่

ตรวจพบต่ำกว่าปริมาณสูงสุดที่มีได้ในเนื้อพลาสติกตามประกาศประกาศกระทรวง  
สาธารณสุข ฉบับที่ 295 พ.ศ. 2548

#### 4.4 ศึกษาการยึดเกาะหมึกพิมพ์บนถุงพลาสติก

##### 4.4.1 การวิเคราะห์พลังงานผิวของพลาสติก

จากสมบัติการเปียกผิวของพื้นผิววัสดุที่เป็นของแข็ง การเปียกผิวหรือการแผ่ตัวของ  
ของเหลวบนผิวหน้าของแข็งจะเกิดได้ดีเมื่อพื้นผิวของวัสดุที่เป็นของแข็งมีพลังงานผิวมากกว่าค่า  
พลังงานผิวของหมึกพิมพ์ หรือสามารถปรับปรุงผิวหน้าวัสดุของแข็งให้มีพลังงานผิวสูงกว่าหมึก  
พิมพ์ เบื้องต้นทำการทดสอบพลังงานผิวของหมึกพิมพ์ซึ่งไม่สามารถวัดแรงดึงผิวของของเหลว  
หมึกพิมพ์ได้โดยตรงเพราะหมึกพิมพ์มีการระเหยตัวสูง จึงใช้วิธีการวัดพลังงานผิวชั้นฟิล์มของ  
หมึกที่แห้งตัวแล้ว เปรียบเทียบพลังงานผิวของพลาสติก ในตารางที่ 4-14, 4-15

ตารางที่ 4-14 พลังงานผิวของหมึกพิมพ์

หมึก พิมพ์ สีกรีน ฐานตัว ทำ ละลาย	มุมสัมผัส (องศา)												พลังงานผิว ของชั้น ฟิล์ม (mN/m)
	น้ำ (H <sub>2</sub> O)						ไดไอโอดีมีเทน (CH <sub>2</sub> I <sub>2</sub> )						
	องศาด้านซ้าย			องศาด้านขวา			องศาด้านซ้าย			องศาด้านขวา			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
	99	97	99	98	98	98	49	49	51	49	49	50	36.9

การวัดพลังงานผิวของหมึกพิมพ์ ด้วยการใช่วิธีการวัดมุมสัมผัสของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ที่  
แห้งตัวแล้ว โดยใช้ของเหลวคือ น้ำ และไดไอโอดีมีเทน ทำการวัด 3 จุด พบว่ามุมสัมผัสของน้ำ  
วัดได้เฉลี่ย 49.33 องศา และมุมสัมผัสของไดไอโอดีมีเทนวัดได้เฉลี่ย 98 องศา คำนวณมุม  
สัมผัสเป็นพลังงานผิวของหมึกพิมพ์ได้ 36.9 mN/m

ตารางที่ 4-15 พลังงานผิวพลาสติกบรรจุอาหารก่อน และหลังการปรับผิวด้วยวิธีโคโรนา  
ดิซชาร์จ

พลาสติก	เลขที่ ตัวอย่าง	ก่อนปรับผิว (mN/m)	หลังปรับผิว (mN/m)
PE	3	33.05	41.39
	4	33.6	41.22
	7	31.68	39.1
	8	32.58	40.09
	11	36.09	42.56
	12	36.03	39.22
	13	37.26	42.65
	19	34.42	40.41
	24	34.8	43.19
PP	1	40.31	44.8
	2	32.28	39.9
	5	34.24	43.7
	6	35.04	45.65
	9	39.667	42.57
	10	38.88	44.9
	14	37.75	42.33
	15	32.16	42.75
	16	31.18	41.369
	17	39.27	42.75
	18	36.15	39.44
	20	32.25	41.27
	21	34.737	42.5
	22	31.787	40.88
	23	34.77	41.52
	25	33.27	43.766
	26	31.54	39.06

**ตารางที่ 4-15 (ต่อ) พลังงานผิวพลาสติกบรรจุอาหารก่อน และหลังการปรับผิวด้วยวิธีโคโรนาดีสชาร์จ**

พลาสติก	เลขที่ตัวอย่าง	ก่อนปรับผิว (mN/m)	หลังปรับผิว (mN/m)
PP	27	30.91	40.17
	28	34.47	43.48
	29	35.71	39.05
	30	36.19	40.18

จากการวิเคราะห์ค่าพลังงานผิวของถุงพลาสติกบรรจุอาหารก่อนและหลังการปรับผิวด้วยวิธีโคโรนาดีสชาร์จ จำนวน 30 ตัวอย่าง พบว่าพอลิเอทิลีนมีค่าพลังงานผิวก่อนการปรับผิวอยู่ในช่วง 31.68 - 37.26 mN/m และพอลิโพรพิลีนมีค่าพลังงานผิวก่อนการปรับผิวอยู่ในช่วง 30.91 - 39.27 mN/m (ตารางที่ 4-15) ซึ่งพลาสติกเกือบทั้งหมดมีค่าพลังงานผิวที่ต่ำกว่าพลังงานผิวของหมึกพิมพ์ที่มีค่าเป็น 36.9 mN/m (ตารางที่ 4-14) แสดงว่าถุงพลาสติกส่วนใหญ่ของตัวอย่างในการทดลองมีสภาพไม่เหมาะสมสำหรับการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลายสำหรับการพิมพ์ระบบสกรีน แต่สามารถเพิ่มสมบัติให้พลาสติกสามารถรับการแผ่ตัวของหมึกพิมพ์บนพลาสติก โดยการปรับผิวด้วยวิธีโคโรนาดีสชาร์จทำให้พลาสติกทั้งหมดมีพลังงานผิวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเป็น 41.72 mN/m มากกว่าพลังงานผิวของหมึกพิมพ์ทำให้พลาสติกมีสมบัติการเปียกผิวทำการยึดเกาะหมึกดีขึ้น

#### 4.4.2 ทดสอบการยึดเกาะหมึกพิมพ์บนพลาสติก

เป็นการทดสอบสภาวะอาหารที่มีผลต่อการยึดเกาะหมึกพิมพ์ เนื่องจากถุงพลาสติกที่ใช้ในการทดสอบส่วนใหญ่เป็นถุงพลาสติกที่ใช้บรรจุอาหารโดยตรง ซึ่งบางส่วนถูกนำไปใช้พิมพ์ฉลากสินค้าเพื่อแสดงข้อมูลสินค้า และอิทธิพลของอาหารมีโอกาสทำให้หมึกพิมพ์บนพลาสติกมีโอกาสหลุดลอกไปสู่อาหารและผู้บริโภค ดังนั้นจึงทำแบบสภาวะการทดสอบหมึกพิมพ์สัมผัสอาหารเป็น 2 แบบ คือ

1. สภาวะที่หมึกพิมพ์ตัวอย่างสัมผัสอาหารโดยตรง ซึ่งเกิดจากอาหารหกหล่นระหว่างการตักอาหารใส่ถุงและสัมผัสกับหมึกพิมพ์
2. สภาวะที่หมึกพิมพ์ตัวอย่างสัมผัสอาหารโดยอ้อม ซึ่งเกิดจากการบรรจุอาหารใส่ถุงโดยที่อาหารไม่ได้สัมผัสกับหมึกพิมพ์



ผลการทดสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์ เมื่อชั้นหมึกตัวอย่างสัมผัสอาหารโดยตรงทำ การทดสอบการหลุดของชั้นหมึกด้วยเทปทดสอบแสดงในตารางที่ 4-16 และผลการทดสอบการ ยึดติดของหมึกพิมพ์ เมื่อสัมผัสอาหารโดยอ้อม ทำการทดสอบการหลุดของชั้นหมึกด้วยเทป ทดสอบแสดงในตารางที่ 4-17

**ตารางที่ 4-16** ผลการทดสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์ เมื่อชั้นหมึกตัวอย่างสัมผัสอาหารโดยตรง ทำการทดสอบการหลุดของชั้นหมึกด้วยเทปทดสอบ

พลาสติก	เลขที่ ตัวอย่าง	พลังงาน ผิว (mN/m)	หลังการ พิมพ์ (mN/m)	ร้อยละพื้นที่หลุดลอก (ตารางมิลลิเมตร)			
				นอร์มัลเฮป เทน	เอทานอล ร้อยละ 50	กรดแอสติค ร้อยละ 4	น้ำ
PE	7	42.01	4B (4%)	1B (46%)	2B (20%)	2B (25%)	2B (19%)
	8	41.52	2B (17%)	1B (52%)	1B (41%)	2B (28%)	2B (24%)
PP	20	42.76	4B (3%)	1B (58%)	2B (24%)	3B (10%)	3B (6%)
	25	41.76	3B (15%)	0B (79%)	3B (6%)	3B (13%)	3B (9%)

**ตารางที่ 4-17** ผลการทดสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์ เมื่อสัมผัสอาหารโดยอ้อม ทำการทดสอบ การหลุดของชั้นหมึกด้วยเทปทดสอบ

พลาสติก	เลขที่ ตัวอย่าง	พลังงาน ผิว (mN/m)	หลังการ พิมพ์ (mN/m)	ร้อยละพื้นที่หลุดลอก (ตารางมิลลิเมตร)			
				นอร์มัลเฮป เทน	เอทานอล ร้อยละ 50	กรดแอสติค ร้อยละ 4	น้ำ
PE	7	42.01	4B (4%)	2B (28%)	2B (27%)	2B (23%)	2B (20%)
	8	41.52	2B (17%)	2B (32%)	2B (29%)	2B (25%)	2B (26%)
PP	20	42.76	4B (3%)	1B (41%)	2B (33%)	3B (11%)	3B (13%)
	25	41.76	3B (15%)	2B (30%)	3B (8%)	3B (10%)	3B (12%)

การทดสอบสภาพการยึดเกาะหมึกพิมพ์บนถุงพลาสติกที่ถูกปรับผิวหน้าด้วยวิธีโคโรนาดีสชาร์จเพื่อให้มีพลังงานผิวใกล้เคียงกัน พิมพ์ด้วยการพิมพ์สกรีน หมึกพิมพ์สกรีนสำหรับพิมพ์พลาสติกความละเอียดผ้าสกรีน เบอร์ 120T ทดสอบการยึดเกาะหมึกพิมพ์ที่สัมผัสกับอาหารโดยตรง โดยให้หมึกพิมพ์สัมผัสกับสารละลายจำลองสภาวะอาหาร 4 ชนิดคือ นอร์มัลเฮปเทน, เอทานอลร้อยละ 20, กรดแอสติกร้อยละ 4 และน้ำ ทำการทดสอบการยึดเกาะหมึกพิมพ์ด้วย เทปทดสอบ 3 M เบอร์ 610 แสดงใน ตารางที่ 4-16 พบว่า หมึกพิมพ์ที่เกาะบนพลาสติกที่สัมผัสสารละลายจำลองอาหารทั้ง 4 ชนิด มีแนวโน้มมีค่าการยึดเกาะลดต่ำลงกว่าการยึดเกาะหมึกพิมพ์ก่อนสัมผัสอาหารจำลอง และการยึดเกาะหมึกที่สัมผัสสารละลายนอร์มัลเฮปเทน ที่แทนสภาวะของอาหารกลุ่มไขมันมีค่าการยึดเกาะหมึกต่ำลงมากกว่าสารละลายจำลองสภาวะอาหารกลุ่ม เอทานอล ร้อยละ 20, กรดแอสติกร้อยละ 4 และน้ำ เนื่องจากหมึกพิมพ์สกรีนเป็นหมึกพิมพ์ที่ใช้ตัวทำละลายไม่มีขั้วจะสามารถละลายในสารละลายนอร์มัลเฮปเทน และหลุดลอกสู่อหารได้มากกว่าอาหารละลายจำลองสภาวะอาหารกลุ่ม เอทานอล ร้อยละ 20, กรดแอสติกร้อยละ 4 และน้ำ ที่เป็นสารละลายที่มีขั้ว

เมื่อนำตัวอย่างดังกล่าวมาทดสอบการสัมผัสกับตัวอย่างอาหารแบบอ้อม โดยสัมผัสกับผิวด้านในของถุงพลาสติกซึ่งสารละลายจำลองสภาวะอาหารไม่สัมผัสกับหมึกโดยตรง พบว่าค่าการยึดเกาะหมึกพิมพ์ที่สัมผัสสารละลายนอร์มัลเฮปเทนที่แทนด้วยกลุ่มอาหารไขมันทำให้พลาสติกอ่อนตัวเกิดการเสื่อมสภาพเกิดการหลุดของชั้นหมึกจากพลาสติกได้ง่ายมากกว่าการสัมผัสกับแบบจำลองอาหารที่แทนด้วย เอทานอลร้อยละ 20, กรดแอสติกร้อยละ 4 และน้ำ ที่ไม่ทำให้พลาสติกเสื่อมสภาพ แต่สภาพการยึดเกาะหมึกก็มีแนวโน้มลดลงในปริมาณที่น้อยกว่าสารละลายนอร์มัลเฮปเทน แสดงใน ตารางที่ 4-17

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการสำรวจและศึกษาถุงพลาสติกบรรจุอาหารจากกลุ่มตัวอย่างถุงพลาสติกบรรจุอาหารชนิดร้อน และเย็น ที่ขายตามท้องตลาดในกรุงเทพมหานครจำนวน 30 ตัวอย่างหลายยี่ห้อ และบริษัท เพื่อศึกษาความปลอดภัยของผู้บริโภคต่อการใช้งานถุงพลาสติกบรรจุอาหาร ด้วยการระบุชนิดพลาสติกด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี การวิเคราะห์หาปริมาณสารเติมแต่งโดยโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (HPLC) และโลหะหนัก ด้วยอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี (atomic absorption spectroscopy, AAS) ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

จากการวิจัยแสดงให้เห็นว่า สามารถจำแนกชนิดของพลาสติกประเภท พอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีน ได้ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (infrared spectroscopy) พบว่าถุงพลาสติกทั้งหมดเป็นพอลิโพรพิลีน ร้อยละ 70 และเป็นพอลิเอทิลีนร้อยละ 30 ซึ่งกลุ่มถุงพลาสติกที่ระบุบนฉลากที่สามารถบรรจุอาหารร้อน ตรวจพบว่าเป็นพลาสติกพอลิเอทิลีนร้อยละ 17.39 ซึ่งพอลิเอทิลีนบางกลุ่มโดยเฉพาะพอลิเอทิลีนแบบความหนาแน่นต่ำ มีสมบัติทนความร้อนได้ไม่ดี เมื่อนำไปบรรจุอาหารร้อน จะมีโอกาสทำให้น้ำมันพลาสติกพอลิเอทิลีนกลุ่มดังกล่าว หลอมเหลว และหลุดลอกไปสู่อาหารและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

สรุปการวิเคราะห์สารเติมแต่งในถุงพลาสติกด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (HPLC) ได้ดังต่อไปนี้

การสกัดสารเติมแต่งด้วยวิธี migration ด้วย นอร์มอลเฮปเทน เอทานอล และน้ำ พบว่าการสกัดด้วย นอร์มอลเฮปเทน จะพบปริมาณสารเติมแต่งอาหารมากกว่า วิธีสกัดด้วย เอทานอล และน้ำ แสดงให้เห็นถึงถุงพลาสติกที่ใช้บรรจุอาหารชนิดไขมันสามารถทำให้สารเติมแต่งเคลื่อนย้ายไปสู่อาหารได้มากกว่าถุงพลาสติกที่บรรจุอาหารชนิดที่มีแอลกอฮอล์ หรือ น้ำ ดังนั้นเพื่อหาปริมาณสูงสุดที่มีโอกาสเคลื่อนย้ายสู่อาหารจึงเลือกใช้สารจำลองสภาพอาหาร นอร์มอลเฮปเทน เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ด้วยวิธี migration

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารเติมแต่งจากวิธีการสกัดสารเติมแต่งด้วยวิธี elution ซึ่งสกัดด้วย สารละลายไซโครเฮกเซน และ 2-โพรพานอล และ วิธี migration ด้วย นอร์มอลเฮปเทน พบว่าผลที่ได้ให้ปริมาณสารเติมแต่ง มีผลตรวจพบใกล้เคียงกัน แต่วิธี elution จะตรวจพบปริมาณ

สารเติมแต่งอาหารน้อยกว่า วิธี migration ด้วย นอร์มอลเฮปเทน แสดงว่าการสกัดสารเติมแต่ง วิธี migration ด้วย นอร์มอลเฮปเทน สามารถใช้เป็นวิธีในการหาปริมาณสูงสุดในการตรวจพบหา สารเติมแต่งที่เคลื่อนย้ายสู่อาหาร

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารเติมแต่งจากวิธี elution และ วิธี migration พบว่าปริมาณ สารเติมแต่งที่ตรวจพบมีน้อยกว่าปริมาณตามข้อกำหนดของมาตรฐานอาหารและยาของประเทศ สหรัฐอเมริกา แสดงให้เห็นว่าถุงพลาสติกที่ขายตามท้องตลาดมีปริมาณสารเติมแต่งที่มีโอกาส เคลื่อนที่ไปสู่อาหารได้ในระดับที่ปลอดภัยเมื่อใช้บรรจุอาหารที่มีสถานะอาหารที่เป็นน้ำมัน น้ำ และ แอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบ แต่สำหรับข้อกำหนดตามมาตรฐานอาหารและยาของประเทศ ไทยตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 295 ไม่มีการระบุปริมาณสารเติมแต่งที่มีได้ใน ถุงพลาสติก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก แคดเมียม และ ตะกั่ว ในถุงพลาสติกด้วยเครื่อง อะตอมมิกแอบซอร์ชันสเปกโทรสโกปี เมื่อสกัดด้วยสารละลายจำลองอาหาร (migration test) ด้วย กรดอะซิติกร้อยละ 4 และน้ำ พบว่าปริมาณ แคดเมียม และตะกั่วจากการวิเคราะห์มีปริมาณน้อย มาก หรือไม่ถูกตรวจพบ แสดงว่าถุงพลาสติกที่เป็นตัวอย่างในการทดลองมีระดับของโลหะหนักอยู่ใน ระดับต่ำกว่าข้อกำหนด และปลอดภัยต่อการใช้งานบรรจุอาหาร

ผลการทดสอบสภาพการยึดเกาะหมึกพิมพ์บนถุงพลาสติก แสดงว่าถุงพลาสติกที่ใช้ใน การทดลองมีสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการแผ่ตัวของหมึกพิมพ์ เมื่อเพิ่มพลังงานผิวพลาสติกด้วยวิธี โครนาไดซาร์จ ทำให้พลาสติกมีสมบัติการรองรับหมึกที่ดีขึ้น

จากการวัดการยึดติดหมึกพิมพ์ด้วยวิธีการดึงเทป (tape test) พบว่าหมึกพิมพ์สามารถ หลุดลอกได้ด้วยวิธีการดึงเทป เมื่อทดสอบด้วยสารละลายจำลองอาหารไขมัน (นอร์มอลเฮปเทน) จะมีแนวโน้มการหลุดมากกว่าเมื่อเทียบกับสารละลายอาหารแอลกอฮอล์ (เอทานอล) ประเภท อาหารที่มีความเป็นกรดต่างสูงกว่า 7 (น้ำ) และประเภทอาหารที่มีความเป็นกรดต่างต่ำกว่า 7 (กรดแอสติค) เนื่องจากนอร์มอลเฮปเทนเป็นสารที่ไม่มีขั้ว (non polar) ซึ่งสามารถละลายพลาสติก ที่เป็นสารที่ไม่มีขั้ว (non polar) ทำให้บางส่วนของพลาสติกเกิดการละลายทำให้หมึกพิมพ์หลุด ลอกสู่อาหาร

เมื่อหมึกพิมพ์บนพลาสติกสัมผัสอาหารจำลองทั้ง 4 กลุ่ม พบว่า ค่าการยึดเกาะหมึกพิมพ์ มีแนวโน้มลดต่ำลง โดยสารละลายนอร์มอลเฮปเทนซึ่งแทนอาหารที่เป็นไขมัน จะทำให้ปริมาณการ หลุดลอกของหมึกพิมพ์มากกว่าการสัมผัสกับสารจำลองอาหารที่แทนด้วย เอทานอลร้อยละ 20, กรดแอสติกร้อยละ 4 และ น้ำ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การวิเคราะห์สารเติมแต่งไม่สามารถใช้วิธีสกัดด้วยสารจำลองอาหารกรดแอสติกร้อยละ 4 กับเครื่อง HPLC เพราะการเตรียมตัวอย่างมีการระเหยน้ำออกไปทำให้สารตัวอย่างมีสถานะเป็นกรดเข้มข้น ซึ่งคอลัมน์ของเครื่อง HPLC มีสภาพไม่ทนกรด ซึ่งหากใช้วิธีการสกัดด้วย กรดแอสติกร้อยละ 4 ควรเลือกใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS) ซึ่งเป็นเครื่องที่ใช้ความร้อนในการระเหยสารกลายเป็นไอผ่านคอลัมน์

2. การทดสอบการยืดเกาะหมึกพิมพ์ด้วยการพิมพ์สกรีนบนพลาสติกในการทดลองนี้ใช้สำหรับกลุ่มพลาสติกที่มีการตัดแบ่งเป็นชิ้นย่อย หรือกลุ่มโรงงานขนาดเล็กที่มีปริมาณการผลิตน้อย แต่บางโรงงานมีการขึ้นรูปพลาสติกเป็นแผ่นยาวและพิมพ์ก่อนการตัดแบ่ง จะใช้การพิมพ์ระบบกราฟัวร์ หรือระบบเฟล็กโซกราฟฟี ดังนั้นจึงควรใช้เครื่อง IGT F1 เป็นเครื่องทดสอบการพิมพ์แทนระบบการพิมพ์สกรีน

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- เขมชาติ ธนาภิชาตญเจริญ, นงนาถ เมฆรังสีมันต์ และสุรัชย์ ศิลาภรณ์โชติ. ประโยชน์และความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียม [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp\\_4\\_2551\\_Cadmium.pdf](http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_4_2551_Cadmium.pdf) [22 มีนาคม 2552]
- คณะกรรมการกลุ่มผลิตภัณฑ์วัสดุทางการแพทย์. วัสดุทางการแพทย์หน่วยที่ 9-16. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมิกราช, 2550.
- งามทิพย์ ภู่วโรดม. การบรรจุอาหาร. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.
- สาธารณสุข, กระทรวง. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 295 กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติก, 2548.
- ปราโมทย์ ปฐมวัฒน์กุล และ เขาววัตร มูลทองสงค์. การปรับปรุงพลังงานผิวของแผ่นพอลิโพรพิลีนด้วยคอโรนาดีสชาร์จและอาร์กอนพลาสมา. วิทยาศาสตร์บัณฑิต วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- ปราโมทย์ ศรีสุวรรณ และรินทวัฒน์ สมบัติศิริ. ตะกั่วและพิษของตะกั่ว [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [www.diw.go.th/diw\\_web/html/versionthai/news/ตะกั่วและพิษของตะกั่ว.pdf](http://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/news/ตะกั่วและพิษของตะกั่ว.pdf) [22 มีนาคม 2552]
- เพ็ญจา จิตจำรูญโชคไชย. การวิเคราะห์โลหะหนักในผลิตภัณฑ์อาหารโดยวิธี Atomic Absorption. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.
- มณี เตชะพลาเลิศ และประสาทร ตั้งกาญจนาเจริญศรี. การศึกษาการปรับผิวหน้าพลาสติกเพื่อการพิมพ์บรรจุภัณฑ์. วิทยาศาสตร์บัณฑิต วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.
- มยุรา ภาคลำเจียก และอมรรัตน์ สวัสดิ์ทิต. คู่มือการหีบห่อ. ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2533.
- แม่น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสมบุญ. หลักการและเทคโนโลยีวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ชวนพิมพ์, 2534.



เย็นหทัย แน่นหนา. สเปกโทรสโกปีสำหรับเคมีอินทรีย์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549

วิริยะ มีศรีสุข. เทคนิคปฏิบัติ High Performance Liquid Chromatography. เคมีสาร. ฉบับที่ 4-  
5, 2537.

สุรชัย เลิศสถปดี และสุรศักดิ์ เจริญทอง. การสำรวจการปนเปื้อนจากสารเคลือบกระป๋องที่  
จำหน่ายในประเทศไทยโดยเทคนิค HPLC-FLD และ ATR FTIR. วิทยาศาสตร์บัณฑิต  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

อำนาจ ศรีวิไลเจริญ และ ณุตตรา ศรีประเสริฐ. การพิมพ์สกรีนด้วยหมึกพิมพ์สกรีนระบบฐานน้ำ.  
วิทยาศาสตร์บัณฑิต วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีการพิมพ์. คณะ  
วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาษาอังกฤษ

- American Society for Testing and Materials (ASTM). Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test, Annual Book of ASTM Standards 2006, Section Six Paints, Related Coatings, and Aromatics, Vol. 06.01 Paint-Tests for Chemical, Physical, and Optical Properties; Appearance (ASTM D 3359-02), 2006.
- Council Directive 85/572/EEC. Laying down the list of simulants to be used for testing migration of constituents of plastic materials and articles intended to come into contact with foodstuffs, Official Journal of European Communities L 372, 1985.
- Darlene, R. and Brezinski, C. An Infrared spectroscopy atlas for the coatings industry. Federation of Societies for Coatings Technology, 1991.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Evaluation Mercury Lead Cadmium and Food Additive Amaranth Diethylpyrocarbonate and octyl Gallate. FAO Nutrition Meeting Report Series No.51 A, 1973.
- Garrido-Lopez, A., et al. Practical experience in the use of mathematical models to predict migration of additives from food contact polymers. Journal Chromatogram A.1150, 2007.
- Garrido-Lopez, A., Esquiú, V., and Tena, M. T. Comparison of three gas chromatography methods for the determination of slip agents in polyethylene films, Journal of Chromatography A, Volume 1150, Issues 1-2, 2007.
- Heiserman, W.M., Can, S.Z., Walker, R.A., Begley, T.H., and Limm W. Interfacial behavior of common food contact polymer additives. Journal of Colloid and Interface Science. 311, 2007.
- Japan External Trade Organization (JETRO). Apparatus and contain – packages. Specifications and Standards of Foods Food Additives, 2004.
- Lindholm, J. Development and validation of HPLC methods for Analytical and Preparative purposes. comprehensive summaries of Uppsala dissertation from the faculty of science and technology 995, 2004.

- Pritchard, G. and Malaika, S.A.I. Antioxidants: an overview, Plastic additives an A – Z reference, 1998.
- Piringer, O.-G., and Baner, A.L. plastic and their transformation products. Additive Plastic packaging materials for food : barrier function mass transport quality assurance and legislation. New York : Wiley-VCH, 2000.
- Reilly, C. Metal Contamination of Food. London : Applied Science Publishers, 1980.
- Richard, D. Beaty and Jack, D Kerber. Atomic Absorption Instrumentation. Instrumentation and Techniques in Atomic Absorption Spectrophotometry, 1993.
- Startin, M., Sharman, A., Rose, M.D., and Gilber, J. Migration from plasticized films into foods migration of di-(2-ethylhexy) adipate from PVC films. Foods Additives and Contaminants, 1987.
- Strobech, C. Zisman' critical surface tension a new tool in printing ink. paint and adhesive industry, Farg och Lach, 1968.
- U.S. Food and Drug Administration. Part 178 Indirect food additives: adjuvants and production aids and sanitizers, 178.2010 Antioxidants and/or stabilizers for polymers Plasticizers in polymeric substances. U.S. Code of Federal Regulations (21 CFR), 2003.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

### วิธีวิเคราะห์

#### ก1. การเตรียมสารเติมแต่งที่ความเข้มข้นมาตรฐาน

เตรียมสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน และสารหล่อลื่น ที่ความเข้มข้น 100, 250, 500 และ 1,000 ppm โดย

1. เตรียม stock solution ของสารเติมแต่งมาตรฐาน โดยนำสารเติมแต่ง Irganox 1076, Irgafos 168 ทำละลายด้วย acetone, Irganox 1010 ทำละลายด้วย น้ำ, Oleamide, Steamide และ Erucamide ทำละลายด้วย ethanol ตามลำดับ ให้มีความเข้มข้น 10,000 ppm

2. ปิเปต 5 ml ของ stock solution ที่ได้จากข้อ 1 ใส่ในขวดวัดปริมาตร (ราชบัณฑิตยสถานใช้คำว่า คนโทวัดปริมาตร) (volumetric flask) 50 ml จนครบทุกชนิด จากนั้นปรับปริมาตรด้วย acetone จะได้สารละลายเติมแต่งมาตรฐานความเข้มข้น 1,000 ppm

3. ปิเปต 1 ml ของ สารละลาย ที่ได้จากข้อ 2 ใส่ในขวดวัดปริมาตร 10 ml จากนั้นปรับปริมาตรด้วย acetone จะได้สารละลายเติมแต่งมาตรฐานความเข้มข้น 100 ppm

4. นำสารละลายเติมแต่งมาตรฐานความเข้มข้น 100, 250, 500 และ 1,000 ppm ไปทดสอบด้วยเครื่อง HPLC

#### ก2. การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สารเติมแต่ง โดยการสกัดด้วยสารละลายมาตรฐาน (elution test) โดย

1. ตัดถุงพลาสติกที่เก็บตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่าง) และชั่งน้ำหนักถุงพลาสติกประมาณ 0.5 กรัมโดยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) จดบันทึกน้ำหนัก

2. วางตัวอย่างในขวดขนาด 50 มิลลิลิตรแล้วเติมสารละลายไซโครเฮกเซน และ 2-โพรพานอล ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

3. นำสารละลายในขวด 50 มิลลิลิตรไประเหยตัวอย่างออกด้วยเครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสารละลายเหลือปริมาตร เล็กน้อย

4. เติม  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ในขวดประมาณ 1 กรัม เพื่อกำจัดน้ำออกไป

5. เทสารละลายจากขวดระเหย ใส่ขวดวัดปริมาตร 5 มิลลิลิตร

6. ล้างขวดระเหยด้วยอะซิโตนไทร์ล 2-3 ครั้ง และเทใส่ในขวดวัดปริมาตร 5 มิลลิลิตร จนมีปริมาตรเป็น 5 มิลลิลิตร

7. กรองตัวอย่างด้วย syringe filter ความละเอียด 0.45 ไมครอนเมตร
8. นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณสารเติมแต่งด้วยเครื่อง HPLC จากนั้นคำนวณหาปริมาณสารเติมแต่งแต่ละชนิดที่พบในถุงพลาสติก

### ก3. การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สารเติมแต่ง โดยการสกัดด้วยสารละลายจำลองอาหาร (migration test) โดย

1. ตัดตัวอย่างถุงพลาสติกขนาด 10 x 10 ตารางเซนติเมตรและซังน้ำหนักโดยเครื่องชั่งละเอียด (เทคนิค 4 ตำแหน่ง) ๑ฉบับที่กน้ำหนัก
2. วางตัวอย่างในขวดขนาด 250 มิลลิลิตรแล้วเติมสารละลายจำลองอาหารปริมาตร 200 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายจำลองอาหาร นอร์มัลเฮพเทน, เอทานอล ร้อยละ 50 และน้ำ ตามตารางที่ 3-2
3. นำสารละลายในขวด 250 มิลลิลิตร ไประเหยตัวอย่างออกด้วยเครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสารละลายเหลือปริมาณ เล็กน้อย
4. เติม  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ในขวดระเหยเล็กน้อยเพื่อกำจัดน้ำออกไป
5. เทสารละลายจากขวดระเหย ใส่ขวดวัดปริมาตร 5 มิลลิลิตร
6. ล้างขวดระเหยด้วยอะซิโตนไทร์ล 2-3 ครั้ง และเทใส่ในขวดวัดปริมาตร 5 มิลลิลิตร จนมีปริมาตรเป็น 5 มิลลิลิตร
7. กรองตัวอย่างด้วย syringe filter ความละเอียด 0.45 ไมครอนเมตร
8. นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณสารเติมแต่งด้วยเครื่อง HPLC จากนั้นคำนวณหาปริมาณสารเติมแต่งแต่ละชนิดที่พบในถุงพลาสติก

### ก4. การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สารตะกั่ว และแคดเมียม โดยการสกัดด้วยสารละลายจำลองอาหารกรดแอสติกร้อยละ 4

1. ตัดตัวอย่างถุงพลาสติกขนาด 100 ตารางเซนติเมตรและซังน้ำหนัก ๑ฉบับที่กน้ำหนัก ถุงพลาสติก 30 ตัวอย่าง
2. วางตัวอย่างในขวดขนาด 250 มิลลิลิตรแล้วเติมสารละลายจำลองอาหารกรดแอสติกร้อยละ 4 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที
3. นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS เพื่อหาปริมาณตะกั่วและแคดเมียม
4. ทำการทดลองกับตัวอย่างพลาสติก 30 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ตะกั่ว และแคดเมียม ในถุงพลาสติก สกัดด้วยสารละลายจำลองอาหารกรดแอสติกร้อยละ 4



#### ก5. การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาสาร ตะกั่ว และแคดเมียมในถุงพลาสติก สกัดด้วยสารละลายจำลองอาหารชนิดน้ำ

- 1 ตัดตัวอย่างถุงพลาสติกขนาด 10 x 10 ตารางเซนติเมตรและชั่งน้ำหนัก จดบันทึก น้ำหนัก
- 2 วางตัวอย่างในขวดขนาด 250 มิลลิลิตรแล้วเติมสารละลายจำลองอาหารชนิดน้ำ ปริมาณ 200 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที
- 3 นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS เพื่อหาปริมาณ ตะกั่ว และแคดเมียม
- 4 ทำการทดลองกับตัวอย่างพลาสติก 30 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ตะกั่ว และแคดเมียม ใน ถุงพลาสติก สกัดด้วยสารละลายจำลองอาหารชนิดน้ำ

#### ก6. การวัดพลังงานพื้นผิวด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส

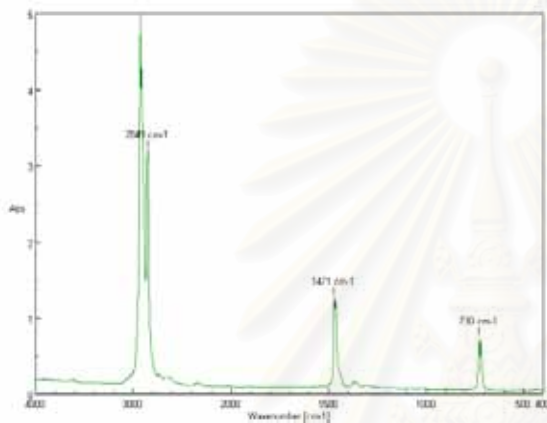
การวัดพลังงานพื้นผิวด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส

- 1 วางวัสดุตัวอย่างขนาดประมาณ 1 X 2 นิ้ว บนแท่นวางของเครื่องวัดมุมสัมผัส
- 2 ใช้หลอดฉีดสารดูดน้ำขึ้นมา ระวังอย่าให้เกิดฟอง จากนั้นนำไปสวมกับตัว droplet regulator แล้วนำไปติดตั้งกับเครื่องวัดมุมสัมผัส
- 3 ส่องกล้องเพื่อปรับตำแหน่งเข็มฉีดสาร ให้อยู่พอดีกับตำแหน่งวัดตัวอย่าง
- 4 ปล่อยหยดสารละลายทดสอบจากหลอดฉีดสาร (โดยหมุนตัว microhand ของ droplet regulator) ให้ได้ประมาณ 20 ไมโครลิตร
- 5 ปรับความคมชัดภาพ จากนั้นทำการวัดค่ามุมสัมผัสทางด้านซ้าย และด้านขวาของหยด สารละลายอ่านค่าที่ได้ แล้วบันทึกผล ทำซ้ำ 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย
- 6 ทดลองซ้ำแบบเดียวกับสารละลายไดโอะโดมีเทนที่เตรียมไว้
- 7 นำค่าเฉลี่ยมุมสัมผัส ที่ได้ไปหาค่า  $\cos\theta$  นำวัสดุตัวอย่างไปหาค่าพลังงานผิวจากการ คำนวณค่าพลังงานพื้นผิวของพลาสติก

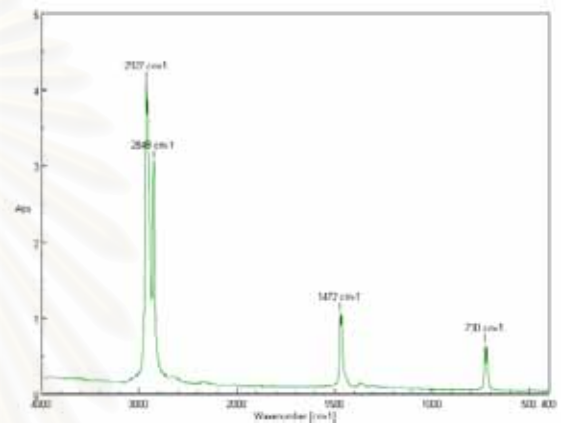


## ภาคผนวก ข

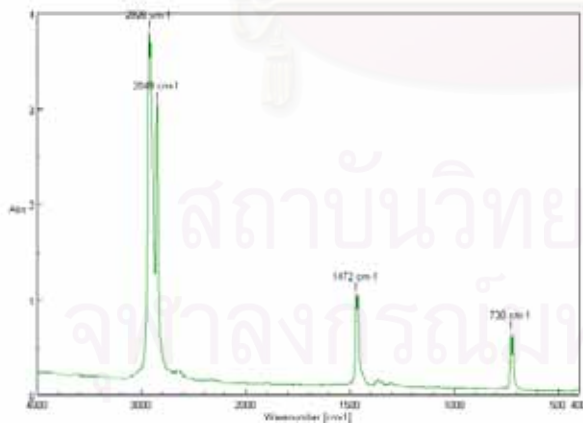
## อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเอทิลีน



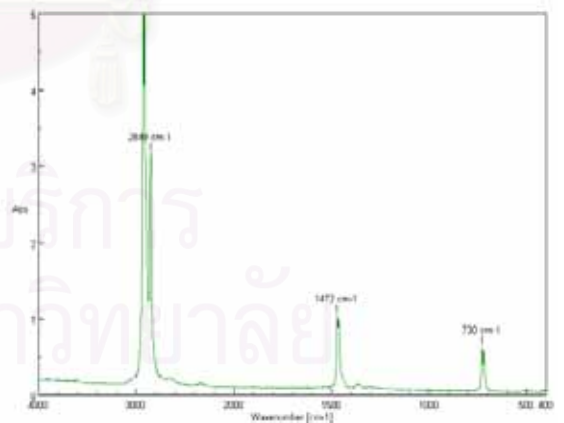
รูปที่ ข-1 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเอทิลีน  
ตัวอย่างที่ 3



รูปที่ ข-2 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเอทิลีน  
ตัวอย่างที่ 4

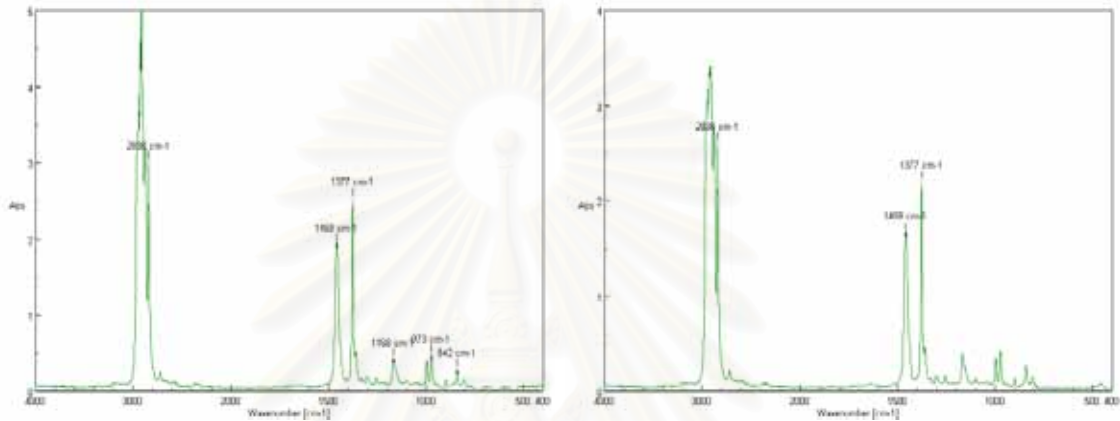


รูปที่ ข-3 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเอทิลีน  
ตัวอย่างที่ 7



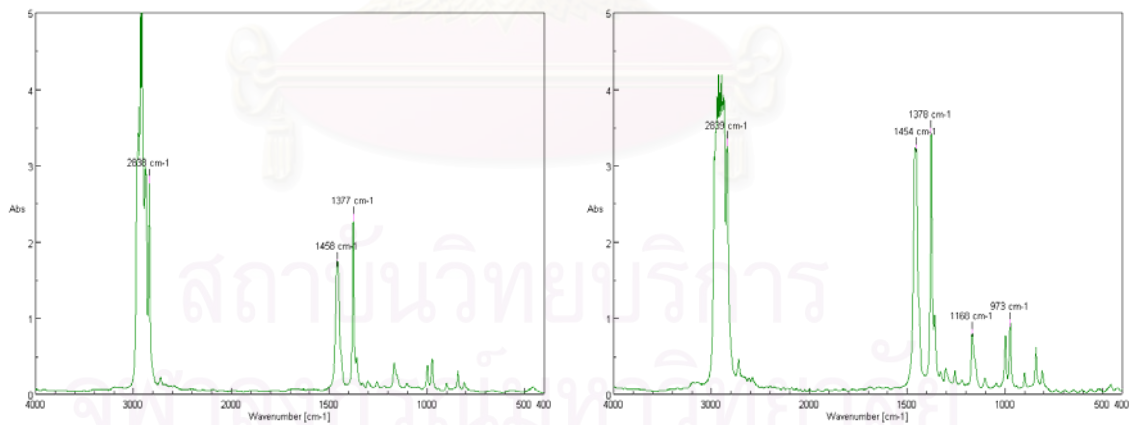
รูปที่ ข-4 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเอทิลีน  
ตัวอย่างที่ 8

## อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิไพโรฟีน



รูปที่ ข-5 อินฟราเรดสเปกตรัมของ  
พอลิไพโรฟีนตัวอย่างที่ 5

รูปที่ ข-6 อินฟราเรดสเปกตรัมของ  
พอลิไพโรฟีนตัวอย่างที่ 10



รูปที่ ข-7 อินฟราเรดสเปกตรัมของ  
พอลิไพโรฟีนตัวอย่างที่ 15

รูปที่ ข-8 อินฟราเรดสเปกตรัมของ  
พอลิไพโรฟีนตัวอย่างที่ 20

## ภาคผนวก ค

## ชื่อทางเคมีและสูตรโครงสร้างสารเติมแต่งที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ ค-1 ชื่อทางเคมีของสารเติมแต่งที่ใช้ในการทดลอง (Wah Lau และ Kay Wong, 1997)

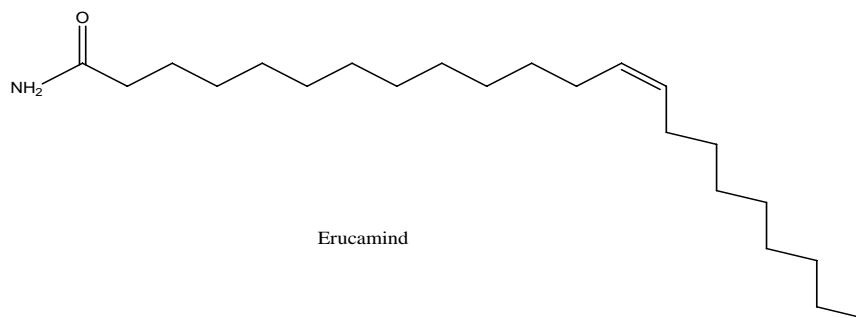
ชื่อทางการค้า	ชื่อทางเคมี
1. Irganox 1076	Octadecyl-3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyhydrocinnamate
2. Irganox 1010	Tetrakis [methylene-3-(3',5'-di-tert-butyl-4'hydroxyphenyl)-propionate]
3. Irganox 168	Tris(2,4-di-tert-butylphenyl)phosphate
4. Oleamide	9-Octadecanoic acid amide
5. Steamide	Octadecanoic acid amide
6. Erucamide	cis-13-Docosenic acid amide



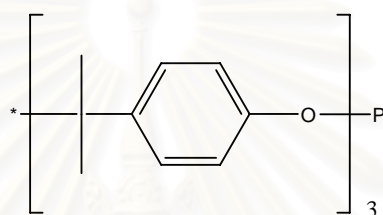
รูปที่ ค-1 โครงสร้าง stearamide



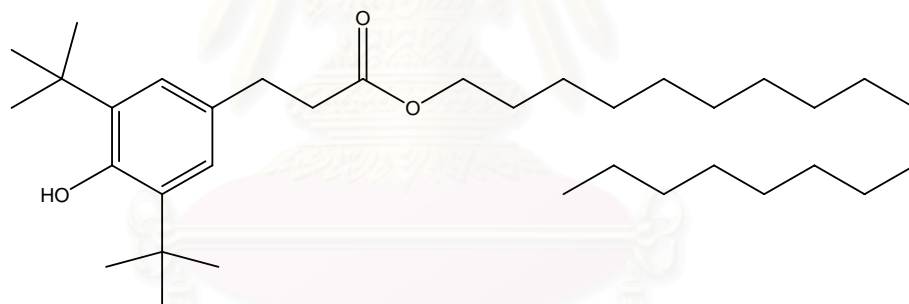
รูปที่ ค-2 โครงสร้าง oleamide (Garrido-Lopez et al, 2007)



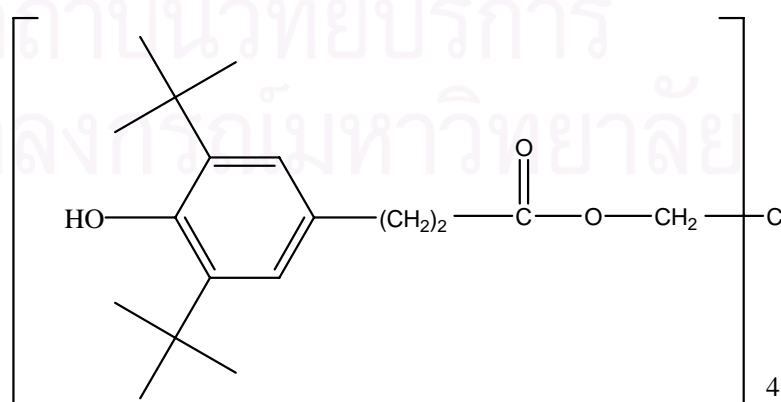
รูปที่ ค-3 โครงสร้าง erucamind



รูปที่ ค-4 โครงสร้าง irgafos168



รูปที่ ค-5 โครงสร้าง irganox1076 (Heiserman, 2007)



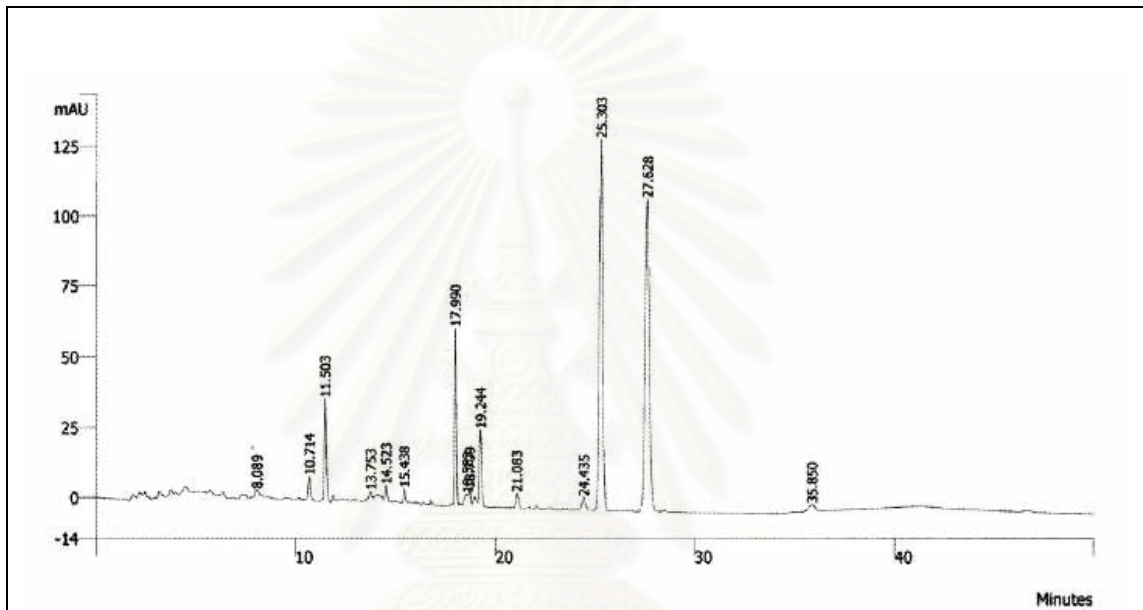
รูปที่ ค-6 โครงสร้าง Irganox1010 (Heiserman, 2007)



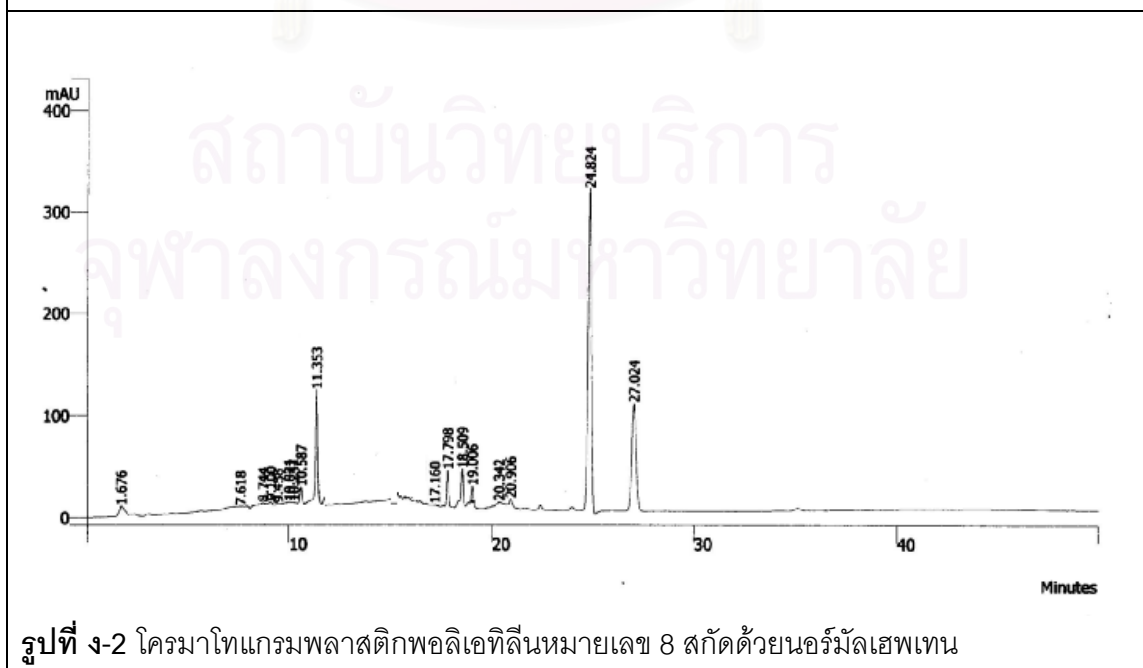
## ภาคผนวก ง

## ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารเติมแต่ง

โครมาโทแกรมพลาสติกพอลิเอทิลีน

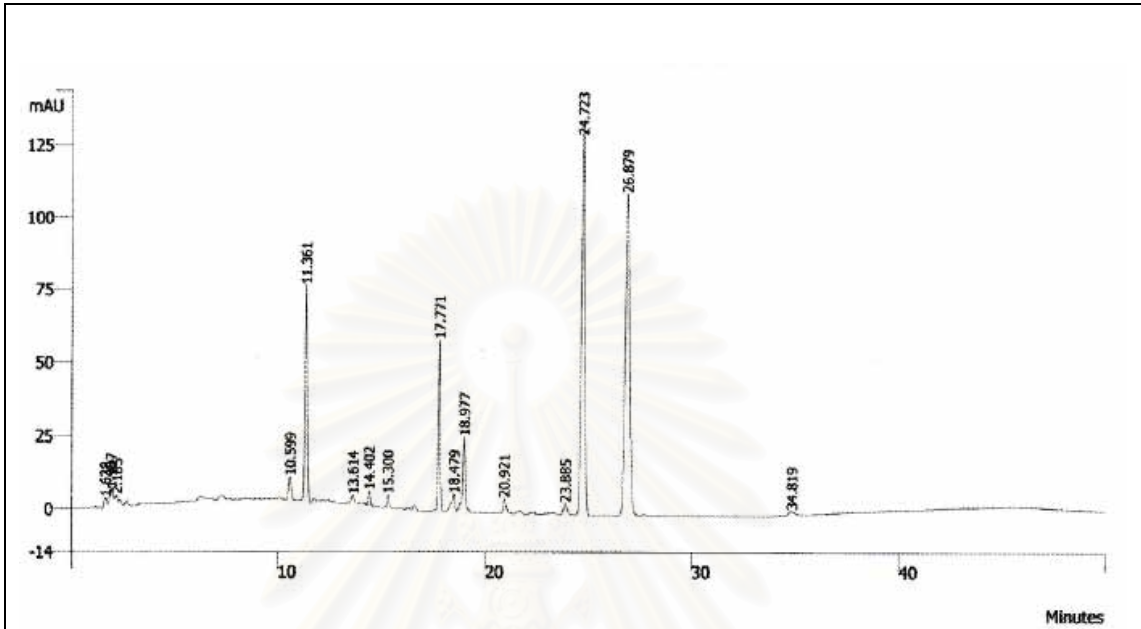


รูปที่ ง-1 โครมาโทแกรมพลาสติกพอลิเอทิลีนหมายเลข 8 สกัดด้วยไซโครเฮกเซน และ 2-โพรพานอล

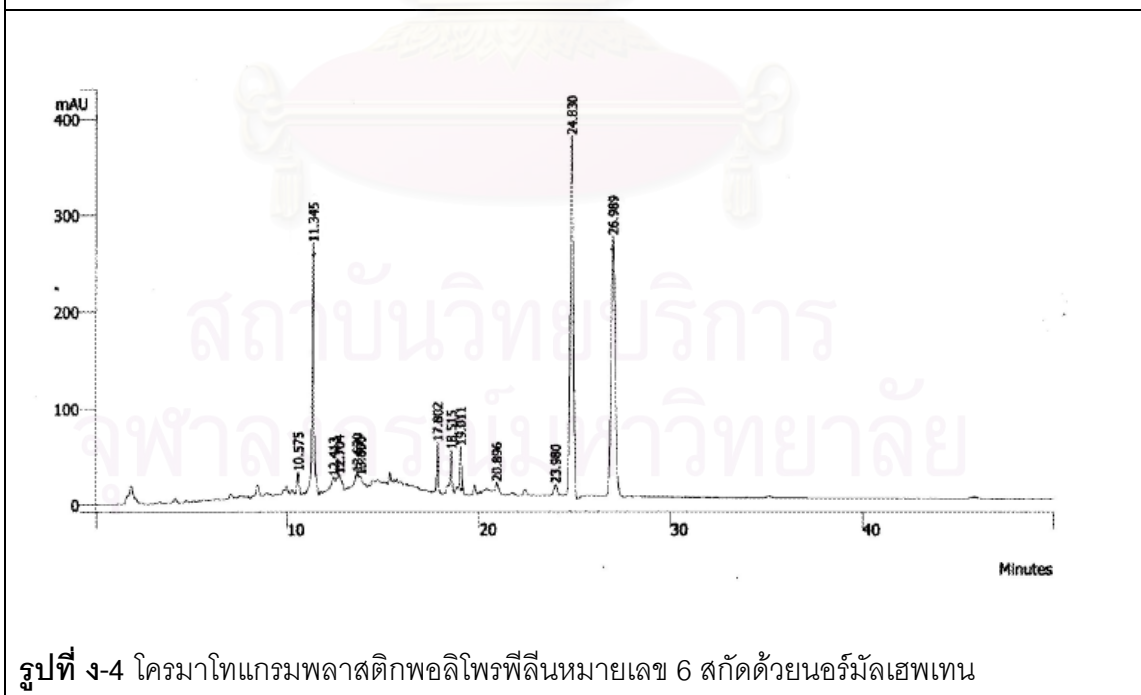


รูปที่ ง-2 โครมาโทแกรมพลาสติกพอลิเอทิลีนหมายเลข 8 สกัดด้วยนอร์มัลเฮกเทน

### โครมาโทแกรมพลาสติกพอลิโพรพิลีน



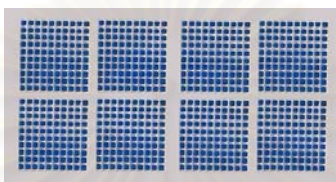
รูปที่ ง-3 โครมาโทแกรมพลาสติกพอลิโพรพิลีนหมายเลข 6 สกัดด้วยไซโครเฮกเซน และ 2-โพรพานอล



รูปที่ ง-4 โครมาโทแกรมพลาสติกพอลิโพรพิลีนหมายเลข 6 สกัดด้วยนอร์มัลเฮกเซน

### ภาคผนวก จ

การสร้างรายพิมพ์สกรีน รูปสี่เหลี่ยมขนาด 1 ตารางมิลลิเมตร จำนวน 100 ช่อง  
กำลังขยาย 1 เท่า เพื่อใช้พิมพ์ทดสอบพลาสติกประเมินการยึดเกาะหมึกพิมพ์ด้วยเทปทดสอบ  
(tape test)



**รูปที่ จ-1** การสร้างลายพิมพ์สกรีน รูปสี่เหลี่ยมขนาด 1 ตารางมิลลิเมตร จำนวน 100 ช่อง  
กำลังขยาย 1 เท่า เพื่อใช้พิมพ์ทดสอบพลาสติกประเมินการยึดเกาะหมึกพิมพ์ด้วยเทปทดสอบ  
(tape test)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอัฐพงษ์ ทองด้วง เกิดวันที่ 19 ตุลาคม 2520 จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจากสาขาวิศวกรรมเคมีสิงทอ คณะอุตสาหกรรมสิงทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ ปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2549



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย