

# รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

## โครงการวิจัยเรื่อง

การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์เพื่อประเมินการปนเปื้อนจากบรรจุภัณฑ์อาหาร

ประจำปีงบประมาณ 2552

### คณะผู้วิจัย

ผศ.ม.ล. ศิริพิศตร์ ไชยันต์

ผศ.ดร. ณัฐชานัญ สิริพัฒน์ไพบูลย์

ผศ.ดร. ดวงหทัย เพ็ญตระกูล

## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2552

### โครงการวิจัยเรื่อง

(ภาษาไทย) การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์เพื่อประเมินการปนเปื้อนจากบรรจุภัณฑ์อาหาร  
(ภาษาอังกฤษ) Development of analytical methods for evaluating contamination levels

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี งบประมาณ 2552

จำนวนเงิน 436,900.00 บาท

ระยะเวลาการทำวิจัย 1 ปี

เริ่มทำการวิจัย ตุลาคม 2551

รายงานความก้าวหน้าของการวิจัย ฉบับสมบูรณ์

ระหว่าง กุมภาพันธ์ - กันยายน 2552

### รายนามคณะผู้วิจัย พร้อมทั้งหน่วยงานที่สังกัดและหมายเลขโทรศัพท์

1. ม.ล. ศิริพัศตร์ ไชยันต์ (ผศ.)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทร. (02) 218-7610 โทรสาร (02) 254-1309 E-mail: siripastr.ja@chula.ac.th

2. นาง ณัฐชนันท์ ลิขิตพัฒน์ไพบูลย์ (ผศ. ดร.)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทร. (02) 218-7608 โทรสาร (02) 254-1309 E-mail: natchanun.l@chula.ac.th

3. นางสาว ดวงหทัย เพ็ญตระกูล (ผศ. ดร.)

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทร. (02) 218-5549 โทรสาร (02) 218-5561 E-mail: duanghat@yahoo.com

(ลงชื่อ)..........หัวหน้าโครงการ

(ผศ. ม.ล. ศิริพัศตร์ ไชยันต์)

วันที่ 1 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2552

กิตติกรรมประกาศ

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก

“ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2552”

## บทคัดย่อ

การปนเปื้อนของพลาสติกไซเซออร์ในอาหารสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาที่อาหารสัมผัสกับบรรจุภัณฑ์ การปนเปื้อนของพลาสติกไซเซออร์ที่เป็นองค์ประกอบของปะเก็นรองฝาโลหะในอาหารประเภทที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบได้ก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนในอาหารส่งออกของไทยในปัจจุบัน การแก้ปัญหาจำเป็นต้องใช้วิธีการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและแม่นยำ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากลไกการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ 4 ชนิดคือ อีพอกซีโคซ์ซอบีนออยล์ ไตรอะซิติก ไดบิวทิลเซบาแคตและไดไอโซนิลไซโคลเฮกเซนไดคาร์บอกซีเลต ในอาหารประเภทน้ำมันที่มักมีการปนเปื้อนจากพลาสติกไซเซออร์สูงกว่าอาหารประเภทอื่นๆ โดยแบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการไมเกรทชันคือ เวลา อุณหภูมิ กระบวนการพาสเจอร์ไรเซชัน และพื้นที่สัมผัส การไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์เกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็ว ปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ที่ไมเกรทลงในตัวแทนอาหารแปรผันตามระยะเวลาที่ตัวแทนอาหารสัมผัสกับปะเก็น พื้นที่สัมผัสที่มากขึ้นจะส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนมากขึ้น นอกจากนั้นแล้วยังพบการปนเปื้อนในปริมาณสูงเมื่อเก็บอาหารที่อุณหภูมิสูงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามก็พบว่าปริมาณการปนเปื้อนหลังการพาสเจอร์ไรเซชันที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 1 ชั่วโมงมีปริมาณคงที่

## สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ข
บทคัดย่อ.....	ค
สารบัญ.....	ง
รายการตารางประกอบ.....	จ
รายการรูปภาพประกอบ.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในงานวิจัย.....	ช
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	5
บทที่ 3 การศึกษาไมเกรนของพลาสติกไซเซออร์โดยใช้แบบจำลอง.....	13
บทที่ 4 อภิปรายและสรุปผลการทดลอง.....	20
เอกสารอ้างอิง.....	21
ภาคผนวก.....	43
ประวัติคณะวิจัย.....	48

## รายการตารางประกอบ

	หน้า
ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ $A_p$ ของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ.....	7
ตารางที่ 2 ประเภทอาหารและตัวแทนอาหารที่ใช้ในการศึกษาการไมเกรท.....	13
ตารางที่ 3 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปะเก็นด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี.....	20
ตารางที่ 4 ชนิดและปริมาณพลาสติกไซเซอร์ที่เป็นองค์ประกอบปะเก็นตัวอย่างจากฝาโลหะขนาด 48 มิลลิเมตรและ 63 มิลลิเมตร.....	27
ตารางที่ 5 สภาวะการวิเคราะห์ ESBO ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี.....	28
ตารางที่ 6 สภาวะการวิเคราะห์พลาสติกไซเซอร์โมเลกุลเล็ก (monomeric plasticizers) ด้วยเทคนิคแก๊ส โครมาโทกราฟี.....	31
ตารางที่ 7 ค่า $m/z$ ของพลาสติกไซเซอร์โมเลกุลเล็ก (monomeric plasticizers).....	32
ตารางที่ 8 ค่า $t_R$ , จุดตัดแกน $y$ , ค่าความชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นของสารมาตรฐาน TAC, DBS และ DINCH.....	33
ตารางที่ 9 ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ในตัวแทนอาหารที่ระยะเวลา 30 วันจากตัวอย่างฝาโลหะขนาด 48 และ 63 มิลลิเมตร.....	35
ตารางที่ 10 ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ในตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิต่างๆ จากตัวอย่างฝาโลหะขนาด 48 และ 63 มิลลิเมตร.....	36

## รายการตารางประกอบ (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 11 ปริมาณพลาสติกไซเซออร์ในตัวแทนอาหารที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 30 วัน จากตัวอย่างฝาโลหะขนาด 48 และ 63 มิลลิเมตร.....	38
ตารางที่ 12 ปริมาณพลาสติกไซเซออร์รวมในตัวแทนอาหารจากตัวอย่างฝาโลหะขนาด 48 และ 63 มิลลิเมตร.....	39

## รายการรูปภาพประกอบ

	หน้า
ภาพที่ 1 ปะเก็นพีวีซีรองฝาโลหะและภาพตัดขวางแสดงส่วนของปะเก็นที่สัมผัสกับปากขวดแก้ว.....	1
ภาพที่ 2 การแพร่บริเวณส่วนต่อประสานระหว่างพอลิเมอร์-สารละลายอาหาร.....	5
ภาพที่ 3 อุปกรณ์พื้นฐานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี และกลไกการแยกที่เกิดในคอลัมน์.....	10
ภาพที่ 4 เครื่องมือตรวจวัดชนิดเฟลม ไอออไนเซชัน.....	10
ภาพที่ 5 องค์ประกอบของ ion source และ mass analyzer ชนิด quadrupole analyzer.....	12
ภาพที่ 6 แผนผังการศึกษาไมเกรชันของพลาสติกไซเซออร์โดยใช้แบบจำลอง.....	14
ภาพที่ 7 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานผสม 1 จากการเตรียมตัวอย่างแบบ direct analysis และทรานเอสเทอร์รีฟิเคชัน.....	21
ภาพที่ 8 ปฏิกริยาทรานเอสเทอร์รีฟิเคชันระหว่างสารประกอบเอสเทอร์และแอลกอฮอล์ในสภาวะต่าง.....	22
ภาพที่ 9 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานผสม 2 จากการเตรียมตัวอย่างแบบ direct analysis และทรานเอสเทอร์รีฟิเคชัน.....	23
ภาพที่ 10 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานผสม 3 จากการเตรียมตัวอย่างแบบ direct analysis และทรานเอสเทอร์รีฟิเคชัน.....	24
ภาพที่ 11 โครมาโทแกรมของปะเก็นตัวอย่างจากฝาโลหะขนาด 48 มิลลิเมตร จากการเตรียมตัวอย่าง แบบ direct analysis และทรานเอสเทอร์รีฟิเคชัน.....	25



## รายการรูปภาพประกอบ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 12 โครมาโทแกรมของปะเก็นตัวอย่างจากฝาโลหะขนาด 48 มิลลิเมตร จากการเตรียมตัวอย่างแบบ direct analysis และทรานเอสเทอร์รีฟิเคชัน.....	26
ภาพที่ 13 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐาน ESBO และ internal standard.....	29
ภาพที่ 14 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน TAC, DBS และ DINCH.....	32
ภาพที่ 15 การไมเกรทของ ESBO, TAC, DBS และ DINCH จากฝาโลหะขนาด 48 มิลลิเมตร ใน ตัวแทนอาหารที่สัมผัสกับปะเก็นที่อุณหภูมิห้อง (30 °C).....	34
ภาพที่ 16 การไมเกรทของ ESBO ในตัวแทนอาหารที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 1 ชั่วโมง จากฝาโลหะตัวอย่างขนาด 48 มิลลิเมตร.....	37

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

acPG	acetylated partial glycerides
ATBC	acetyl- <i>tri</i> -butyl citrate
C12	glycerol monolaurate
C16:0	parmitate
C18:0	stearate
C18:1E	epoxyoleate
C18:2E	epoxylinoleate
C18:3E	epoxylonilenate
C18:1ME	epoxyoleate methyl ester
C18:2ME	epoxylinoleate methyl ester
C18:3ME	epoxylonilenate methyl ester
C20:2E	epoxyeicosanodienolate
C20:2ME	epoxyeicosanodienolate methyl ester
CHAA	cyclohexyl acetic acid
CI	chemical ionization
$D_p$	diffusion coefficient
DBS	dibutyl sebacate
DEA	diethyl adipate
DEHA	di-(2-ethylhexyl) adipate
DEHP	di-(2-ethylhexyl) phthalate

DEP	diethyl phthalate
DES	diethyl sebacate
DIDP	diisodecyl phthalate
DINCH	diisononyl cyclohexane dicarboxylate
DINP	diisononyl phthalate
DMP	dimethyl pimelate
EA	erucamide
EFSA	European Food Safety Authority
2-EHA	2-ethylhexanoic acid
Ehol	2-ethylhexyl alcohol
16-Ehol	2-ethylhexyl palmitate
18-Ehol	2-ethylhexyl stearate
EI	electron ionization
ELO	epoxidized linseed oil
EN	ethylnaphthalene
ESBO	epoxidized soybean oil
EU	European Union
FID	flame ionization detector
GC	gas chromatography
HDPE	high density polyethylenen
INECH	isononyl ethyl cyclohexane dicarboxylate
I.S.	internal standard

LDPE	low density polyethylene
MTBE	methyl- <i>tert</i> -butyl ether
MS	mass spectrometry
OA	oleamide
9-ol	isononyl alcohol
10-ol	isodecyl alcohol
OML	overall migration limit
pA	peak area
PAs	polyadipates
PET	polyethylene terephthalate
PP	polypropylene
PVC	polyvinyl chloride
RASFF	rapid alert for food and feed system
SML	specific migration limit
T <sub>g</sub>	glass transition temperature
t <sub>R</sub>	retention time
TAC	triacetin
THF	tetrahydrofuran

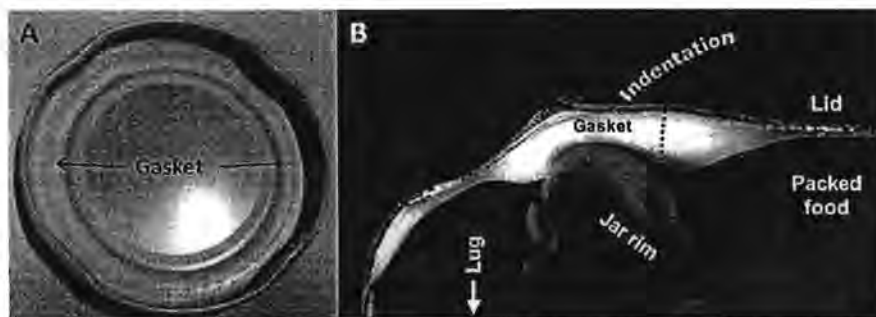
## บทที่ 1

### บทนำ

บรรจุภัณฑ์อาหารมีหน้าที่หลักในการเก็บรักษาอาหารและป้องกันการปนเปื้อนของอาหารจากปัจจัยภายนอก เช่นป้องกันการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีที่อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ พีวีซี (polyvinyl chloride: PVC) เป็นพลาสติกที่นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดหนึ่ง มีลักษณะใส สามารถให้น้ำและอากาศซึมผ่านได้พอสมควร สามารถป้องกันกลิ่นและมีความทนต่อน้ำมันสูง ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์อาหารที่ทำจากวัสดุพีวีซีได้แก่ ก่อ่งใสบรรจุอาหาร แผ่นฟิล์มห่อหุ้มอาหาร (cling film) และปะเก็นรองฝาโลหะ (gasket) เป็นต้น

พีวีซีเป็นเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) ที่ผลิตจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบเติม (addition polymerization) ของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ (vinyl chloride monomer) พันธะที่มีขั้วระหว่างคาร์บอนกับคลอรีน (C-Cl) ทำให้พีวีซีมีลักษณะแข็ง ไม่ยืดหยุ่นที่อุณหภูมิห้อง จึงจำเป็นต้องผสมสารเติมแต่ง (additive) ลงไปเพื่อปรับสมบัติของพีวีซีให้เหมาะสมต่อการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ สารเติมแต่งนี้จะเติมลงในขั้นตอนการผลิตเม็ดพลาสติกหรือในการปรับปรุงสูตร (formulation)

ขวดแก้วที่มีฝาปิดโลหะจะมีแผ่นพลาสติกรูปวงแหวนสีขาวรองอยู่ด้านในของฝาโลหะ (ภาพที่ 1) แผ่นพลาสติกนี้มีลักษณะอ่อนนุ่ม โครงสร้างคล้ายฟองน้ำ เรียกว่าปะเก็นซึ่งทำมาจากพลาสติกซอล (plastisol) ซึ่งเป็นสารประกอบพีวีซีที่มีปริมาณของสารเสริมสภาพพลาสติกหรือพลาสติกไซเซอร์ (plasticizers) สูงถึง 35 – 45% โดยน้ำหนัก [1]



ภาพที่ 1 (A) ปะเก็นพีวีซีรองฝาโลหะ (B) ภาพตัดขวางแสดงส่วนของปะเก็นที่สัมผัสกับปากขวดแก้ว

พลาสติกไซเซอรที่นิยมใช้ในปะเก็นพีวีซี ได้แก่

1. สารกลุ่มอีพอกซี เช่น อีพอกซีไดซ์ซอบบีนออยล์ (epoxidized soybean oil: ESBO), อีพอกซีไลซ์ลินส์ออยล์ (epoxidized linseed oil: ELO) เป็นต้น
2. สารในกลุ่มพทาเลต (phthalates) เช่น ไดเอทิลเฮกซิลพทาเลต (di-(2-ethylhexyl) phthalate: DEHP), ไดไอโซโนนิลพทาเลต (diisononyl phthalate: DINP), ไดไอโซเดซิลพทาเลต (diisodecyl phthalate: DIDP) เป็นต้น
3. สารในกลุ่มเซบาเคต (sebacates) เช่น ไดบิวทิลเซบาเคต (dibutyl sebacate: DBS) เป็นต้น
4. สารในกลุ่มอดิเพต (adipates) เช่น ไดเอทิลเฮกซิลอดิเพต (di-(2-ethylhexyl) adipate: DEHA), โพลีอดิเพต (polyadipates: PAs) เป็นต้น
5. สารในกลุ่มซิเตรต (citrate) ได้แก่ อะซิทิลไตรบิวทิลซิเตรต (acetyl-*tri*-butyl citrate: ATBC)
6. สารในกลุ่มอื่นๆ เช่น ไตรเมลลิเตต (trimellitate), ไตรอะซิทีน (triacetin: TAC) และไดไอโซโนนิลไซโคลเฮกเซนไดคาร์บอกซิเลต (diisononyl-cyclohexane dicarboxylate: DINCH) เป็นต้น

นอกจากนี้แล้วยังมีการเติมสารคงสภาพความร้อน (heat stabilizer) เพิ่มความทนทานต่อความร้อนของพลาสติกขณะขึ้นรูป โดยทั่วไปในกระบวนการขึ้นรูปมีการให้ความร้อนประมาณ 200 °C เป็นเวลา 1 นาที [2] อุณหภูมิสูงจะทำให้พันธะ C-Cl แตกออกและเกิดแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ (hydrogen chloride) ขึ้น หมู่อีพอกซี (epoxy group) ของอีพอกซีไดซ์ซอบบีนออยล์จะจับกับไฮโดรเจนคลอไรด์ (H-Cl) มิให้เข้าไปทำปฏิกิริยากับพีวีซีขณะขึ้นรูป [3] นอกจากนี้ยังมีการเติมสารลื่น (slip agent) เช่น โอลีเอไมด์ (oleamide: OA) และอีรูคาไมด์ (erucamide: EA) เพื่อเพิ่มความสามารถในการไหลของพลาสติกและลดแรงเสียดทานระหว่างพลาสติกกับเครื่องจักรอีกด้วย สารเติมแต่งเหล่านี้จะเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างสายโซ่พีวีซีโดยมิได้เกิดการสร้างพันธะเคมีใหม่ขึ้นแต่อย่างใด เมื่อขึ้นพลาสติกสัมผัสกับอาหารจึงอาจมีการไมเกรท (migration) ของสารเติมแต่งเหล่านี้ออกจากบรรจุภัณฑ์ลงสู่อาหารได้

ผลงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการตรวจพบการปนเปื้อนของพลาสติกไซเซอรในอาหารและบ่อยครั้งที่ปริมาณการปนเปื้อนมีค่าเกินขีดจำกัดการไมเกรท (specific migration limit: SML) ตามข้อกำหนดของสหภาพยุโรป (European Union: EU) การรายงานการปนเปื้อนมีมาตั้งแต่ปีค.ศ. 1998 ที่ตรวจพบการปนเปื้อนของ ESBO ในอาหารสำหรับทารก [1] ในปีค.ศ. 2005 ผลของการสำรวจระดับการปนเปื้อนของพลาสติกไซเซอรในประเทศสวีเดนพบการปนเปื้อนในอาหาร 158 ตัวอย่าง ที่มีน้ำมันและไขมันเป็นองค์ประกอบ โดยการปนเปื้อนมีค่าเกินกว่าขีดจำกัดการไมเกรทรวม (overall migration limit: OML) และ SML ที่กำหนดไว้ พลาสติกไซเซอรที่ตรวจพบได้แก่ ESBO, DINP, DEHP, DIDP, DEHA, ATBC, OA, EA, 16-Ehol, 18-Ehol, DBS, acPG และ DINCH เป็นต้น [4-7] และในปีค.ศ. 2008 ประเทศไทยซึ่งเป็นหนึ่งในประเทศผู้ส่งสินค้าอาหารประเภทเครื่องปรุงรสสำเร็จรูปที่บรรจุในขวดแก้วมีฝาปิดเป็นโลหะไปยังสหภาพยุโรป ได้รับการแจ้งเตือนในระบบการแจ้งเตือนสินค้าอาหารและอาหารสัตว์ (Rapid Alert for Food and Feed System: RASFF) จากกลุ่มประเทศสหภาพยุโรปว่ามีการตรวจพบการปนเปื้อนของ DINP ในสินค้าเครื่องแกงของไทยที่ส่งไปขายยังประเทศเยอรมนี ทำให้ขณะนี้ผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์และผู้ส่งออกอาหารหันมาให้ความสนใจกับปัญหานี้กันอย่างจริงจังมากขึ้น โดยเฉพาะในอาหารที่มีน้ำมันและไขมัน

เป็นองค์ประกอบที่มักมีการตรวจพบการปนเปื้อนของพลาสติกไซเซออร์ในปริมาณสูงมากและมีแนวโน้มของการปนเปื้อนเกินข้อกำหนดของประเทศคู่ค้า

ความสามารถของการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์อาจเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ มีดังนี้ [8]

1. ชนิดของพอลิเมอร์ น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์และความเข้ากันได้ (compatibility) ของพอลิเมอร์กับพลาสติกไซเซออร์
2. ชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ เช่น น้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกไซเซออร์ ความเป็นกิ่งก้านสาขา (branching) ความเป็นขั้ว (polarity) และความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneity) ระหว่างพลาสติกไซเซออร์กับพลาสติก
3. ภาวะของการทดสอบการไมเกรท เช่น ลักษณะของการสัมผัส ระยะเวลา อุณหภูมิ เป็นต้น

เนื่องจากการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด นอกจากนั้นแล้วคุณสมบัติทางเคมีและพิษวิทยาของสารเหล่านี้ล้วนแต่เป็นสารที่มีพิษสูงการปนเปื้อนจึงส่งผลเสียดังต่อผู้บริโภค ดังนั้นการศึกษาความสามารถของการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ชนิดต่างๆ จึงจำเป็นในการประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นแก่ผู้บริโภค องค์ความรู้ใหม่นี้จำเป็นสำหรับกระบวนการพัฒนาปรับปรุงบรรจุภัณฑ์และการเลือกสภาวะของการผลิตที่เหมาะสม เนื่องจากอาหารมีองค์ประกอบซับซ้อนงานวิจัยนี้จึงได้เลือกศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ในอาหาร โดยแบบจำลอง simulation โดยในการศึกษาได้ใช้ตัวแทนอาหาร (food simulants) แทนอาหารจริงเพื่อลด/กำจัดสิ่งรบกวนการวิเคราะห์จากเมทริกซ์ในอาหาร ตัวแทนอาหารที่ใช้ในการศึกษาการไมเกรทมี 4 ชนิด ได้แก่

1. simulant A คือ น้ำกลั่น: ใช้เป็นตัวแทนอาหารประเภทที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (aqueous food) และมีค่า pH มากกว่า 4.5
2. simulant B คือ กรดแอสซิติคความเข้มข้น 3%: ใช้เป็นตัวแทนอาหารประเภทที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบและมีค่า pH น้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.5
3. simulant C คือ สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 10%: ใช้เป็นตัวแทนอาหารประเภทแอลกอฮอล์
4. simulant D คือ น้ำมันมะกอก: ใช้เป็นตัวแทนอาหารประเภทที่มีน้ำมันหรือไขมันเป็นองค์ประกอบ

การปนเปื้อนของพลาสติกไซเซออร์ในอาหารส่วนใหญ่มักพบในอาหารประเภทที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ และอาหารประเภทนี้นิยมบรรจุอยู่ในพลาสติกประเภทพีวีซีเพราะมีสมบัติทนต่อน้ำมันสูง ดังนั้นในการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ในอาหารจึงเลือกศึกษาการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์จากปะเก็นรองฝาโลหะลงสู่ตัวแทนอาหาร คือน้ำมันมะกอก



ขั้นตอนการศึกษาการไมเกรทของพลาสติกไซเซอรในตัวแทนอาหารจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การจำลองการไมเกรทเป็นการศึกษาการไมเกรทของพลาสติกไซเซอรที่เกิดขึ้นตามจริงภายใต้สภาวะที่กำหนดขึ้น โดยสภาวะที่ทำการศึกษาได้แก่อุณหภูมิ ความร้อนที่ได้จากกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันพื้นที่สัมผัสและเวลาที่สัมผัส

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์พลาสติกไซเซอรด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography: GC) ในขั้นตอนนี้เป็นการหาชนิดและปริมาณของพลาสติกไซเซอรโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการระบุองค์ประกอบของปะเก็นที่ใช้ในแบบจำลองด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีพร้อมเครื่องตรวจวัดเฟลมไอออไนเซชัน (gas chromatography – flame ionization detector: GC-FID) และส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณของพลาสติกไซเซอรในตัวแทนอาหารด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatography – mass spectrometry: GC-MS)

แก๊สโครมาโทกราฟีเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารผสมที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ เมื่อสารผสมถูกเปลี่ยนให้อยู่ในวัฏภาคแก๊ส (gas phase) จะผ่านเข้าไปในคอลัมน์ที่บรรจุด้วยวัฏภาคคงที่ (stationary phase) โดยมีวัฏภาคเคลื่อน (mobile phase) หรือแก๊สตัวพา (carrier gas) นำสารผสมเข้าสู่คอลัมน์ กลไกการแยกอาศัยหลักการกระจายตัวที่ต่างกันของสารในวัฏภาคทั้งสอง โดยทั่วไปพลาสติกไซเซอรเป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์ที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้ เนื่องจากพลาสติกไซเซอรบางชนิดเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ที่มีโมเลกุลใหญ่ หรือเป็นสารผสมหลายชนิดมีน้ำหนักโมเลกุลมาก กลายเป็นไอได้ยาก เช่น ESBO, ELO, PA<sub>s</sub> เป็นต้น จึงจำเป็นต้องแปลงสารเหล่านี้ให้เป็นอนุพันธ์ที่มีขนาดเล็กลงและสามารถระเหยเป็นไอก่อนการวิเคราะห์โดย GC

ในการศึกษาการไมเกรทของพลาสติกไซเซอรจะทำการเปรียบเทียบปริมาณพลาสติกไซเซอรในปะเก็นกับปริมาณที่พบในตัวแทนอาหาร เนื่องจากปริมาณของพลาสติกไซเซอรที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในปะเก็นมีมากถึง 35-45% โดยน้ำหนัก จึงสามารถใช้เครื่องมือตรวจวัดชนิดเฟลมไอออไนเซชันในการตรวจวัดได้ ส่วนในกรณีศึกษาปริมาณการไมเกรทในตัวแทนอาหารนั้นปริมาณพลาสติกไซเซอรที่พบมีเพียงเล็กน้อย จึงจำเป็นที่จะต้องใช้เทคนิคการตรวจวัดที่มีความไวสูงกว่า FID ดังนั้นจึงเลือกใช้เครื่องตรวจวัดแมสสเปกโตรเมตรีในการหาปริมาณพลาสติกไซเซอรในตัวแทนอาหาร โดยจะกล่าวถึงหลักการและวิธีการวิเคราะห์ในบทที่ 2 และ 3 ต่อไป



## บทที่ 2

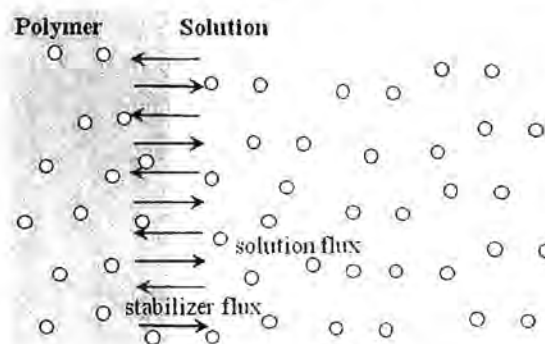
### ทฤษฎี

#### 1. กระบวนการไมเกรชัน

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติกนั้นจำเป็นต้องผสมสารเคมีอื่นๆ ลงไปเพื่อปรับสมบัติและโครงสร้างของสายพอลิเมอร์ให้เป็นไปตามความต้องการใช้งาน สารเคมีเหล่านี้แทรกตัวอยู่ในสายพอลิเมอร์ การสัมผัสระหว่างบรรจุภัณฑ์พลาสติกและอาหารจึงอาจก่อให้เกิดปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพและทางเคมีกับอาหารได้ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอาหารและบรรจุภัณฑ์ แบ่งออกได้ 4 ประเภท ได้แก่

1. ไมเกรชัน (migration) คือ กระบวนการเคลื่อนย้ายของสารเคมีซึ่งเป็นองค์ประกอบในบรรจุภัณฑ์เข้าสู่อาหาร กระบวนการนี้ทำให้สีและกลิ่นของอาหารเปลี่ยนไปจากเดิม (off flavor) การเคลื่อนย้ายของสารเหล่านี้เพียงเล็กน้อยจะส่งผลเสียต่อผู้บริโภคเนื่องจากผู้บริโภคอาจรับประทานสารเหล่านี้เข้าไปพร้อมกับอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารประเภทน้ำมันหรือไขมันเมื่อสัมผัสกับพลาสติกจะทำหน้าที่คล้ายกับตัวทำละลายไปสกัดให้องค์ประกอบของพลาสติกละลายออกมาในปริมาณที่มากขึ้น งานวิจัยนี้จึงให้ความสนใจศึกษาผลที่เกิดจากไมเกรชันแบบนี้
2. สกัลปีง (scalping) คือ กระบวนการเคลื่อนย้ายของสารจากอาหารเข้าสู่บรรจุภัณฑ์ กระบวนการนี้ส่งผลให้กลิ่นและรสชาติของอาหารเจือจางลงจากเดิม
3. อีเกรสเพอร์มีเอชัน (egress permeation) คือ กระบวนการเคลื่อนย้ายองค์ประกอบของอาหารออกไปยังสิ่งแวดล้อมภายนอกบรรจุภัณฑ์ เช่น การสูญเสียความชื้นและแก๊สจากภายในบรรจุภัณฑ์ออกไปจากบรรจุภัณฑ์
4. อินเกรสเพอร์มีเอชัน (ingress permeation) คือ กระบวนการเคลื่อนย้ายของสารภายนอกบรรจุภัณฑ์เข้าสู่อาหารภายในบรรจุภัณฑ์ เช่น การซึมผ่านของความชื้น แก๊ส และกลิ่นจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่อาหารในบรรจุภัณฑ์

การไมเกรสสามารถอธิบายได้ในเชิงของกระบวนการแพร่ (diffusion process) ที่เกิดที่บริเวณส่วนต่อประสาน (interface) ระหว่างบรรจุภัณฑ์กับอาหารบริเวณที่สัมผัส ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การแพร่บริเวณส่วนต่อประสานระหว่างพอลิเมอร์-สารละลายอาหาร[9]

### 1.1 สมการการแพร่ (Diffusion equation modeling)

โมเดลชั้นเกี่ยวข้องกับกระบวนการแพร่ของสารประกอบจากบรรจุภัณฑ์ไปยังอาหาร การโมเดล โดยทั่วไปสามารถอธิบายได้ตามกฎการแพร่ของฟิคส์ (Fick's law) ข้อที่ 1 และ 2 ดังสมการ[9]

$$\text{Fick's 1}^{\text{st}} \text{ law} \quad F = -D \frac{(\delta C_p)}{(\delta x)} \quad \dots\dots (1)$$

$$\text{Fick's 2}^{\text{nd}} \text{ law} \quad \frac{(\delta C_p)}{(dt)} = D_p \frac{(\delta^2 C_p)}{(\delta x^2)} \quad \dots\dots (2)$$

เมื่อ	F	คือ	อัตราการเคลื่อนที่ (transport) ต่อพื้นที่ของพอลิเมอร์
	$D_p$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์สัมพัทธ์การแพร่ของตัวโมเดล (migrant) ในพอลิเมอร์ (ซม. <sup>2</sup> /วินาที)
	$C_p$	คือ	ความเข้มข้นของตัวโมเดลในพอลิเมอร์ (มิลลิกรัม/กรัม)
	x	คือ	the space coordinate measured normal to the polymer – food interface (ซม.)
	t	คือ	เวลาที่ผ่านไป (วินาที)

นอกจากสมการของฟิคส์แล้วยังมีสมการคณิตศาสตร์อื่นๆ ที่ใช้ทำนายการแพร่ของสารเติมแต่งได้ เช่น Crank ได้ทำนายปริมาณการโมเดลของสารเติมแต่งจากพอลิเมอร์ในตัวทำละลายไว้ ดังนี้ [9, 10]

$$M_t = 2C_0\rho \frac{(D_p t)}{(\pi)} \quad \dots\dots (3)$$

เมื่อ	$M_t$	คือ	ปริมาณตัวโมเดลทั้งหมดจากพอลิเมอร์ ณ เวลาหนึ่ง (วินาที)
	$C_0$	คือ	ความเข้มข้นของตัวโมเดลในพอลิเมอร์ (มิลลิกรัม/กรัม)
	$\rho$	คือ	ความหนาแน่นของพอลิเมอร์ (กรัม/ซม. <sup>3</sup> )
	$D_p$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์สัมพัทธ์การแพร่ของตัวโมเดลในพอลิเมอร์ (ซม. <sup>2</sup> /วินาที)
	t	คือ	packaging lifetime (วินาที)

ค่าสัมประสิทธิ์สัมพัทธ์การแพร่ ( $D_p$ ) ในสมการที่ 3 หาได้จากการทดลองเชิงจลนศาสตร์ ซึ่งยุ่งยาก ใช้เวลานาน และค่าใช้จ่ายสูง

บานเนอร์และคณะ (Baner et al.) [11] ได้มีการปรับโมเดลไมเกรชันใหม่ ดังสมการ

$$C_{F,t} = \frac{(A)}{(m_F)} \rho_p C_o \rho D_p t \quad \dots\dots (4)$$

- เมื่อ  $C_{F,t}$  คือ ความเข้มข้นของตัวไมเกรท (มิลลิกรัม/กรัม)  
 $\rho$  คือ ความหนาแน่นของพลาสติก (กรัม/ซม.<sup>3</sup>)  
 $D_p$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์สัมพัทธ์การแพร่ของตัวไมเกรทในพอลิเมอร์ (ซม.<sup>2</sup>/วินาที)  
 $A/m_F$  คือ พื้นที่ผิวของบรรจุภัณฑ์ (ซม.<sup>2</sup>)

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สัมพัทธ์การแพร่ ( $D_p$ ) หาได้จากสมการที่ 5

$$D_p = 10^4 \exp \left[ A_p^{-3} \times MW - b \left( \frac{1}{T} \right) \right] \quad \dots\dots (5)$$

- เมื่อ  $A_p$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์  $A_p$  เป็นค่าคงที่ขึ้นกับความสามารถในการแพร่ (diffusivity) ของพอลิเมอร์  
 $MW$  คือ น้ำหนักโมเลกุลของสารเติมแต่ง หรือสารปนเปื้อน  
 $T$  คือ อุณหภูมิ (เคลวิน)  
 $a$  คือ correlation constant ของน้ำหนักโมเลกุลสาร มีค่าเท่ากับ 0.010  
 $b$  คือ อุณหภูมิที่มีผลต่อทิศทางการแพร่ (diffusion bearing) มีค่าเท่ากับ 10450

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์  $A_p$  ของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ

ค่าสัมประสิทธิ์ $A_p$	พอลิเมอร์
9	LDPE
5	HDPE
5	PP
$\leq 0$	non-polyolefins
-7	PVC (rigid)
-3	PC (T $\leq 120^\circ\text{C}$ )
-3	PET (T $\leq 120^\circ\text{C}$ )

## 1.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการไมเกรท

การไมเกรทของสารเติมแต่งหรือสารปนเปื้อนจากบรรจุภัณฑ์ลงสู่อาหารอาจเกิดจาก 3 ปัจจัย [10] ดังนี้

### 1.2.1 กระบวนการแพร่ภายในพอลิเมอร์ (diffusion within polymer)

การไมเกรทเกิดจากกระบวนการแพร่ของสารที่มีการเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบหรือการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian motion) จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ ตามสมการการแพร่ของฟิคส์ข้อที่ 1 นอกจากนี้อัตราการไมเกรทของสารปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิการเปลี่ยนเนื้อแก้ว (glass transition temperature:  $T_g$ ) โดยพลาสติกที่มีค่า  $T_g$  น้อยกว่าอุณหภูมิห้องจะมีความสามารถในการซึมผ่าน (permeability) ได้มากกว่าพลาสติกที่มีค่า  $T_g$  สูงกว่า

### 1.2.2 การขอลเวชันที่บริเวณส่วนต่อประสานระหว่างบรรจุภัณฑ์กับอาหาร (salvation at the polymer-food interface)

การขอลเวชันของสารเติมแต่งในพอลิเมอร์เกิดจากสารเติมแต่งสามารถละลายในอาหารได้ดีกว่าในพอลิเมอร์จึงทำให้สารเติมแต่งเคลื่อนที่ออกจากพอลิเมอร์ลงสู่อาหารที่สัมผัสได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้สารเติมแต่งพลาสติกส่วนใหญ่สามารถละลายได้ดีในไขมัน ดังนั้นอาหารประเภทไขมัน (fatty foods) ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์พลาสติกจึงมักจะพบปัญหาการปนเปื้อนจากสารเติมแต่งได้มากกว่าอาหารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (aqueous food)

### 1.2.3 การแพร่กระจายเข้าไปในอาหาร (dispersion into bulk food)

โมเลกุลของสารเติมแต่งที่เกิดขอลเวชันกับอาหารในบริเวณส่วนต่อประสานระหว่างพอลิเมอร์กับอาหารจะเกิดการแพร่ออกไปยังเนื้ออาหารตลอดระยะเวลาที่สัมผัส ความสามารถในการละลาย (solubility) และสัมประสิทธิ์การแพร่เป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมปริมาณของการแพร่กระจายและอัตราการไมเกรทของสารเหล่านี้

## 2. หลักการวิเคราะห์ (Analytical methodology) สารปนเปื้อนในอาหาร

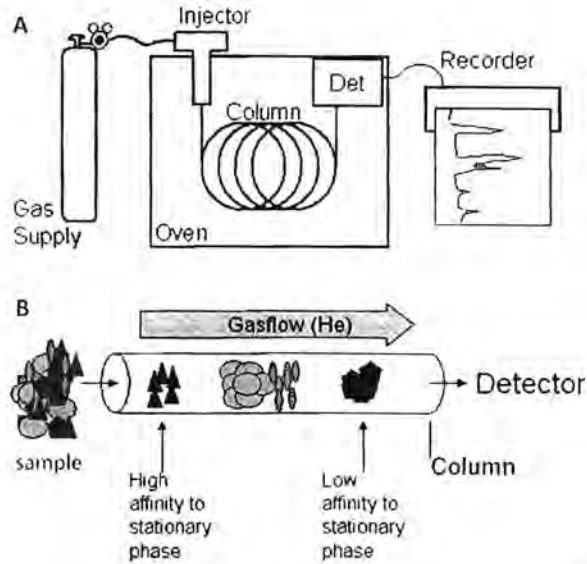
ที่ผ่านมา มีรายงานการตรวจพบการปนเปื้อนของพลาสติกไฮเซอรัหลายชนิดในอาหารเช่น ESBO, DEHP, DINP, DIDP, PAs, DEHA และ DINCH เป็นต้น ระดับการปนเปื้อนของพลาสติกไฮเซอรัที่ตรวจพบอยู่ในช่วง 5 – 2,358 มิลลิกรัม/กิโลกรัม [3,5] การปนเปื้อนของพลาสติกไฮเซอรัส่วนใหญ่เกิดขึ้นในอาหารที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบหลัก การวิเคราะห์การปนเปื้อนของพลาสติกไฮเซอรัจึงต้องเลือกวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับชนิดของพลาสติกไฮเซอรัด้วย โดยทั่วไปรัฐบาลของประเทศต่างๆ จะมีข้อกำหนดด้านความปลอดภัยทางอาหารที่ใช้ในการควบคุมปริมาณการปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นในอาหาร โดยทั่วไปวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์สารปนเปื้อนในอาหาร มีดังนี้ [5, 9]

1. ประเมินค่าความเป็นพิษของสารปนเปื้อนในอาหารที่ส่งผลต่อผู้บริโภค (toxicological potency)
2. ตรวจสอบสารตกค้าง เช่น มอนอเมอร์และสารเติมแต่งในอาหาร
3. ระบุปัจจัยที่มีต่อการไม่เกรทของสารปนเปื้อนในอาหาร
4. ประเมินปริมาณสูงสุดของสารปนเปื้อนในอาหารที่ผู้บริโภคจะได้รับได้

ขั้นตอนของการวิเคราะห์โดยทั่วไปมีดังนี้ การเตรียมตัวอย่าง การสกัด การ cleanup การเพิ่มความเข้มข้น (preconcentration) และการตรวจวัด วิธีการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับชนิดขององค์ประกอบในบรรจุภัณฑ์และสารปนเปื้อนในอาหาร เนื่องจากสารปนเปื้อนส่วนใหญ่ที่พบในพีวีซีเป็นสารกลุ่มเอสเทอร์ซึ่งมีความสามารถในการกลายเป็นไอได้ จึงนิยมใช้เทคนิค GC ในการวิเคราะห์

### แก๊สโครมาโทกราฟี

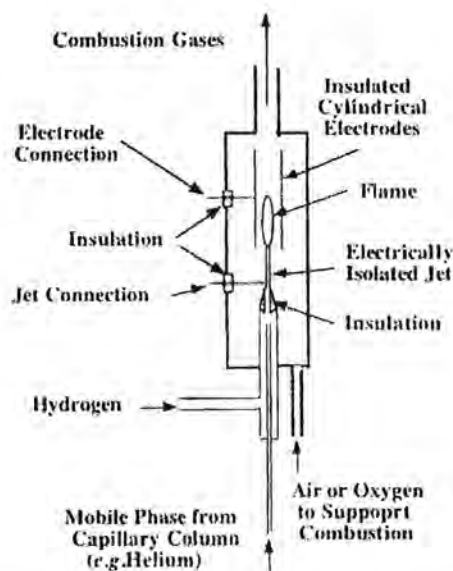
แก๊สโครมาโทกราฟีเป็นเทคนิคการแยกสาร โดยการเปลี่ยนสารให้กลายเป็นไอที่อุณหภูมิหนึ่ง แล้วให้อไอของสารเหล่านั้นผ่านเข้าไปยังคอลัมน์ที่บรรจุด้วยเฟสคงที่ (stationary phase) โดยอาศัยการพาไปของเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) หรือที่เรียกว่าแก๊สตัวพา (carrier gas) องค์ประกอบของสารที่มีความสามารถในการเคลื่อนที่และการกระจายตัวผ่านเฟสคงที่ต่างกันจะแยกออกจากกัน องค์ประกอบที่มีความใกล้เคียงกัน (affinity) ต่อวัฏภาคคงที่ จะเคลื่อนที่ไปได้ช้ากว่าองค์ประกอบที่ไม่มีความใกล้เคียงหรือใกล้เคียงกันน้อยต่อวัฏภาคคงที่ การเลือกวัฏภาคคงที่ที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญมากต่อประสิทธิภาพการแยก ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการแยกคือ ชนิดองค์ประกอบ และอัตราการใช้ของแก๊สตัวพา อุณหภูมิและอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ของคอลัมน์ อุณหภูมิของเข็มและหัวฉีด เป็นต้น เมื่อสารผสมที่ถูกแยกออกจากกันในคอลัมน์จะเคลื่อนที่เข้าสู่เครื่องตรวจวัดต่อไป อุปกรณ์พื้นฐานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 (A) อุปกรณ์พื้นฐานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (B) กลไกการแยกที่เกิดขึ้นภายในคอลัมน์

### เครื่องตรวจวัดชนิดเปลวไอออนในเซชัน ( Flame Ionization Detector: FID)

ในการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบนิยมใช้เครื่องตรวจวัดชนิดเปลวไอออนในเซชันมากที่สุด เพราะมีความไวสูงมากต่อสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและสามารถตรวจวัดได้ต่ำถึงระดับเฟมโตกรัม (femtogram: fg) เมื่อสารเคลื่อนที่ออกจากคอลัมน์จะถูกผสมเข้ากับแก๊สไฮโดรเจนและออกซิเจนก่อนถูกเผาไหม้ที่ความร้อนสูงจนเกิดการสูญเสียอิเล็กตรอน กระแสอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแอโนด จำนวนของอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นแปรผันโดยตรงกับจำนวนคาร์บอนทั้งหมดที่ผ่านออกจากคอลัมน์ ภาพที่ 4 แสดงองค์ประกอบของเครื่องตรวจวัดชนิดเปลวไอออนในเซชัน



ภาพที่ 4 เครื่องมือตรวจวัดชนิดเปลวไอออนในเซชัน (Flame Ionization Detector)



## เครื่องตรวจวัดมวล (Mass spectrometry: MS)

ใช้หลักการการเปลี่ยนสารตัวอย่างให้เป็นไอออน (ionization) เมื่อสารเคลื่อนที่ออกจากคอลัมน์จะผ่านเข้าไปยังแมสสเปกโตรมิเตอร์ (mass spectrometer: MS) ที่มีสถานะเป็นสุญญากาศ โมเลกุลของสารจะผ่านเข้าไปยังแหล่งกำเนิดไอออน (ion source) ซึ่งทำหน้าที่ไอออนไนซ์โมเลกุลที่ผ่านเข้ามาให้กลายเป็นไอออนบวก ไอออนเหล่านี้จะเดินทางผ่านเครื่องคัดเลือกและแยกแยะขนาดมวล (mass analyzer) ก่อนที่จะเดินทางเข้าสู่เครื่องตรวจวัด (detector) เพื่อทำการตรวจหาปริมาณ

องค์ประกอบสำคัญของเครื่องตรวจวัดมวล ได้แก่

### 1. Ionization source แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

1.1 Electron Ionization (EI) จะทำให้สารเกิดการแตกตัวโดยใช้ลำอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนจาก ฟิลาเมนต์ (filament) ที่ร้อนจะผ่านห้องนี้และถูกดึงเข้าหารีเพลลอร์ (repeller) ที่มีความต่างศักย์ 70 โวลต์ ซึ่งจะให้พลังงานกับอิเล็กตรอนสูงถึง 70 อิเล็กตรอนโวลต์ ทำให้สารผสมที่ซับซ้อนของไอออนเกิดการแตกตัวซึ่งสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของสารได้

1.2 Chemical Ionization (CI) ใช้กระบวนการทางเคมีก่อให้เกิดการแตกตัว โดยผสมสารตัวอย่างเข้ากับแก๊สที่ทำปฏิกิริยา (แก๊สมีเทน) จากนั้นผ่านสารผสมเข้าไปใน ionization chamber โดยก่อให้เกิดการแตกตัวด้วยการชนกับอิเล็กตรอน

- ### 2. เครื่องคัดเลือกและแยกแยะขนาดมวล (Mass Analyzer) มีหลายแบบเช่น Magnetic-sector analyzer, Electrostatic analyzer, Time-of-flight analyzer, Ion cyclotron resonance analyzer, Quadrupole mass spectrometer-Quadrupole Mass Spectrometer ใช้หลักการวิเคราะห์ด้วยสนามแม่เหล็ก คือมีแหล่งผลิตไอออน 2 ส่วน ส่วนแรกจะทำให้ตัวอย่างกลายเป็นไอออน และส่วนที่ 2 ทำให้สารมาตรฐานกลายเป็นไอออน ลำไอออนทั้งสองจะถูกบังคับให้ผ่านเครื่องแยกไอออนชุดเดียวกัน ดังนั้นไอออนทั้งหมดจะได้รับอิทธิพลจากสนามแม่เหล็กในสภาวะเดียวกัน แต่ถูกตรวจและวัดด้วยเครื่องแยกไอออนที่ต่างกัน
- ### 3. Detector มีหลายชนิดโดยทั่วไปมักนิยมใช้ Faraday cup detector, Electron multiplier detector, Scintillation counter detector, Photographic plate detector





### บทที่ 3

#### การศึกษาไมเกรชันของพลาสติกไซเซออร์โดยใช้แบบจำลอง

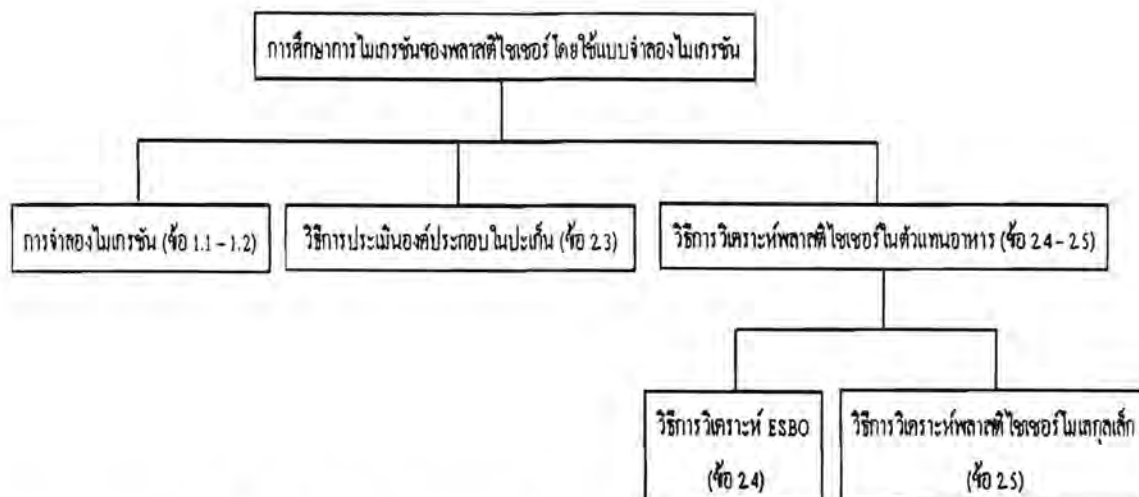
การไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์จากบรรจุภัณฑ์อาหารเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา กลไกการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ลงสู่อาหารมีความซับซ้อนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ในอาหาร ความแตกต่างและความซับซ้อนขององค์ประกอบในอาหารอาจไปรบกวนการวิเคราะห์ด้วย [11] ดังนั้นในการศึกษาไมเกรชันจึงนิยมใช้แบบจำลอง (model) ที่มีจำลองสภาวะต่างๆ ให้เหมือนกระบวนการไมเกรทที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด เนื่องจากอาหารมีหลายประเภทสหภาพยุโรปจึงได้ตั้งข้อกำหนดพื้นฐานสำหรับการศึกษาการไมเกรทในตัวแทนอาหารไว้ตามที่ระบุใน Directive 82/711/EEC [11], Directive 85/571/EEC [12] และ Directive 2007/19/EC [13] ดังนี้

ตารางที่ 2 ประเภทอาหารและตัวแทนอาหารที่ใช้ในการศึกษาการไมเกรท

ประเภทอาหาร (food type)	ตัวแทนอาหาร (simulant)	ชื่อย่อ (abbreviation)
Aqueous foods (pH > 4.5)	น้ำกลั่น	simulant A
Acidic foods (pH ≤ 4.5)	3% (w/v) กรดแอสซิติค	simulant B
Alcohol foods	10% (v/v) เอทานอล	simulant C
Fatty foods	น้ำมันมะกอก	simulant D
Dry foods	-	-

อ้างอิง: Directive 82/711 EEC, Directive 85/572/EEC และ Directive 2007/19/EC [11-13]

ตามที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 1 และ 2 ว่าการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย กอปรกับปัญหาการปนเปื้อนของพลาสติกไซเซออร์ในอาหารประเภทน้ำมันที่มีสาเหตุมาจากปะเก็นรองฝาโลหะกำลังเป็นที่ได้รับความสนใจอยู่ในขณะนี้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์จากปะเก็นรองฝาโลหะลงสู่ตัวแทนอาหารประเภทที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ โดยเลือกใช้น้ำมันมะกอกเป็นตัวแทนอาหารในการศึกษาครั้งนี้ โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ระยะเวลา อุณหภูมิที่สัมผัส การพาสเจอร์ไรเซชันและขนาดของพื้นที่สัมผัส ภาพที่ 6 แสดงแผนผังการศึกษาไมเกรชันของพลาสติกไซเซออร์ในตัวแทนอาหาร



ภาพที่ 6 แผนผังการศึกษาไมเกรชันของพลาสติกโพลีสไตรีนโดยใช้แบบจำลอง

## ขั้นตอนการศึกษาไมเกรชันของพลาสติกโพลีสไตรีนในตัวแทนอาหาร

### ตอนที่ 1 การจำลองไมเกรชัน

#### 1.1 แบบจำลองการไมเกรท

- 1.1.1 ตัวแทนอาหารที่ใช้สำหรับศึกษาการไมเกรทของพลาสติกโพลีสไตรีน คือ น้ำมันมะกอก
- 1.1.2 ตัวอย่างฝาโลหะที่ใช้สำหรับศึกษาการไมเกรทของพลาสติกโพลีสไตรีนในตัวแทนอาหารมี 2 ตัวอย่าง ได้แก่
  - 1.1.2.1 ตัวอย่างฝาโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 มิลลิเมตร น้ำหนัก 6.6 กรัม ภายในมีปะเก็นพีวีซี กว้าง 13 มิลลิเมตร น้ำหนักปะเก็น 0.99 กรัม/ฝา พร้อมขวดแก้วใส ปริมาตรบรรจุ 115 มิลลิลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 51.2 มิลลิเมตร สูง 86.5 มิลลิเมตร น้ำหนัก 105 กรัม
  - 1.1.2.2 ตัวอย่างฝาโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63 มิลลิเมตร น้ำหนัก 11.0 กรัม ภายในมีปะเก็นพีวีซี กว้าง 13 มิลลิเมตร น้ำหนักปะเก็น 0.99 กรัม/ฝา พร้อมขวดแก้วใส ปริมาตรบรรจุ 228.9 มิลลิลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 67.2 มิลลิเมตร สูง 96 มิลลิเมตร น้ำหนัก 156 กรัม

#### 1.2 วิธีการจำลองการไมเกรท

##### การทดลอง

- 1.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์
  - 1.2.1.1 กระจกตวง ขนาด 10 มิลลิลิตร
  - 1.2.1.2 บีกเกอร์ ขนาด 125 มิลลิลิตร
  - 1.2.1.3 ตู้อบ (oven and incubator)
    - a. GC oven รุ่น 5890A ยี่ห้อ Agilent Technologies
    - b. ตู้อบ (Incubator)

## 1.2.2 สารเคมี

### 1.2.2.1 น้ำมันมะกอก

## 1.2.3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการจำลองไมเกรชัน

- 1.2.3.1 ปิดฝาโลหะเข้ากับขวดแก้ว นำขวดแก้ววางไว้ใน incubator ให้ความร้อนที่ 100 °C เป็นเวลา 15 นาที วางให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 1.2.3.2 เทตัวแทนอาหาร 10 กรัม ลงขวดแก้ว ปิดฝาให้สนิท
- 1.2.3.3 คั่วขวดแก้วที่บรรจุตัวแทนอาหารในตู้อบ GC ควบคุมอุณหภูมิที่ 30 °C เวลา 30 วัน เพื่อศึกษาผลของเวลาที่มีต่อปริมาณการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ในตัวแทนอาหาร
- 1.2.3.4 ศึกษาผลของกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันที่มีต่อการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ในตัวแทนอาหาร โดยนำขวดแก้วที่บรรจุตัวแทนอาหารไปผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 1 ชั่วโมงในลักษณะคว่ำ จากนั้นวางให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปควบคุมอุณหภูมิในตู้อบ GC ที่ 30 °C นาน 30 วัน
- 1.2.3.5 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ โดยคั่วขวดแก้วที่บรรจุตัวแทนอาหารในตู้อบ GC ที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 30, 40 และ 60 °C นาน 10 วัน ตามลำดับ
- 1.2.3.6 เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ นำขวดแก้วที่บรรจุตัวแทนอาหารวางไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเขย่าขวดแก้วไปมาประมาณ 10 ครั้ง

## ตอนที่ 2 การประเมินองค์ประกอบของปะเก็นและการวิเคราะห์พลาสติกไซเซอรันในตัวแทนอาหาร

### การทดลอง

#### 2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์

- 2.1.1 ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 10, 100, 250 มิลลิลิตร
- 2.1.2 ขวดแก้วสีชาขนาด 20 มิลลิลิตร
- 2.1.3 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีรุ่น 7890A พร้อมเครื่องตรวจวัดเฟลมไอออนไนเซชัน ยี่ห้อ Agilent Technologies.
- 2.1.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีรุ่น 7890A พร้อมเครื่องตรวจวัดมวลรุ่น 5975C ยี่ห้อ Agilent Technologies.
- 2.1.5 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีรุ่น Trace GC Ultra™ พร้อมเครื่องตรวจวัดมวลรุ่น DQS™ II ยี่ห้อ Thermo Scientific.
- 2.1.6 คะปิลลารีคอลัมน์: 30 m. x 0.25 mm. i.d. x 0.25  $\mu$ m film thickness, (5% phenyl) - methylpolysiloxane, (DB-5) ยี่ห้อ Agilent Technologies.
- 2.1.7 คะปิลลารีคอลัมน์: 15 m. x 0.25 mm. i.d. x 0.2  $\mu$ m film thickness, (90% biscyanopropyl/ 10% phenylcyanopropyl polysiloxane), (Rtx-2330) ยี่ห้อ Restek.
- 2.1.8 คะปิลลารีคอลัมน์: 15 m. x 0.25 mm. i.d. x 0.25  $\mu$ m film thickness, (50% biscyanopropyl/ 10% phenylcyanopropyl polysiloxane), (Rtx-225) ยี่ห้อ Restek.
- 2.1.9 บีกเกอร์ (beaker)
- 2.1.10 ปิเปต (graduated pipette) ขนาด 1, 10 มิลลิลิตร
- 2.1.11 ไมโครไซริงจ์ (micro-syringe)
- 2.1.12 ไมโครปิเปต (micro-pipette)

#### 2.2 สารเคมี

- 2.2.1 เตตระไฮโดรฟูราน (tetrahydrofuran : THF) ยี่ห้อ Fluka ( Germany)
- 2.2.2 ไดโซเดียมไฮโดรเจนซิเตรต (disodium hydrogen citrate sesquihydrate) ยี่ห้อ Aldrich (Germany)
- 2.2.3 เอทิลเนฟทาลีน (1-ethyl naphthalene: EN) ยี่ห้อ Aldrich (Germany)
- 2.2.4 กรดไซโคลเฮกซิลอะซีติก (cyclohexyl acetic acid: CHAA) ยี่ห้อ Aldrich (U.S.A.)
- 2.2.5 ไดเมทิลพิมิเลต (dimethyl pimelate: DMP) ยี่ห้อ Aldrich (U.S.A.)
- 2.2.6 เอทานอล ยี่ห้อ Merck (Germany)
- 2.2.7 เมทิลเทอร์บิวทิลอีเทอร์ (methyl-*t*-butyl ether: MTBE) ยี่ห้อ Lab-scan (Ireland)
- 2.2.8 เฮกเซน ยี่ห้อ Merck (Germany)
- 2.2.9 อีพอกซีไดซ์ซอยบีนออยล์ (epoxidized soybean oil: ESBO) ยี่ห้อ Fluka (Germany)

- 2.2.10 โอลีเอไมด์ (oleamide: OA) ยี่ห้อ Sigma (U.S.A.)
- 2.2.11 อีรูคาไมด์ (erucamide: EA) ยี่ห้อ Aldrich (Germany)
- 2.2.12 ไดเอทิลเฮกซิลฟทาเลต (di-(2-ethylhexyl) phthalate: DEHP) ยี่ห้อ Aldrich (Germany)
- 2.2.13 ไดไอโซเดซิลฟทาเลต (diisodecyl phthalate: DIDP) ยี่ห้อ Fluka (Japan)
- 2.2.14 ไดไอโซโนนิลฟทาเลต (diisononyl phthalate: DINP) ยี่ห้อ Aldrich (Germany)
- 2.2.15 โพลีออดีเพท (polyadipates: PAs) จาก KLZK (Switzerland)
- 2.2.16 ไดเอทิลเฮกซิลออดีเพท (di-(2-ethylhexyl) adipate: DEHA) ยี่ห้อ Aldrich (U.S.A.)
- 2.2.17 อะซิติกไตรบิวทิลซิเตรต (acetyl-tri butyl citrate: ATBC) ยี่ห้อ Aldrich (U.S.A.)
- 2.2.18 ไดไอโซโนนิลไซโคลเฮกเซนไดคาร์บอกซิเลต (diisononyl-cyclohexae-1,2-dicarboxylate: DINCH) จาก KLZK (Switzerland)
- 2.2.19 ไดบิวทิลเซบาเคต (dibutyl sebacate: DBS) ยี่ห้อ Sigma (Japan)
- 2.2.20 อะซิติกเลคพาเซียมกลีเซอไรด์ (acetylate partial glyceride: acPG) จาก KLZK (Switzerland)
- 2.2.21 ไตรอะซิทีน (triacetin : TAC) จาก KLZK (Switzerland)
- 2.2.22 ไดอีพอกซี เมทิล ไอโคซาไดอีโนเอต (diepoxy methyl eicosadienoate: C20:2E) ยี่ห้อ Fluka (Germany)
- 2.2.23 เฮปเทน ยี่ห้อ Fluka (Germany)
- 2.2.24 เมทานอล ยี่ห้อ Merck (Germany)
- 2.2.25 โลหะโซเดียม (sodium metal) ยี่ห้อ Aldrich (France)
- 2.2.26 ไดออกเซน (1,4-dioxane) ยี่ห้อ Carlo Erba (Germany)
- 2.2.27 ไดเฮปทิลฟทาเลต (diheptyl phthalate : DHP) ยี่ห้อ Aldrich (United Kingdom)
- 2.2.28 ไดโพรพิลเซบาเคต (dipropyl sebacate:DPS) จาก KLZK (Switzerland)

### 2.3 วิธีการประเมินองค์ประกอบของประกัน

- 2.3.1 การเตรียมสารละลาย internal standard เข้มข้น 1000 ppm ในเตตระไฮโดรฟูราน  
ละลาย internal standard ได้แก่ DMP, EN และ CHAA ในเตตระไฮโดรฟูรานปริมาตร 250 มิลลิลิตร
- 2.3.2 สารละลายพลาสติกไซเซอร์มาตรฐานผสมในสารละลาย internal standard (ข้อ 2.3.1)
  - 2.3.2.1 สารละลายมาตรฐานผสม 1 (standard mixture 1) ละลาย ESBO, DIDP ชนิดละ 50 มิลลิกรัม OA, EA, DEHP ชนิดละ 10 มิลลิกรัมในสารละลายข้อ (2.3.1) ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร
  - 2.3.2.2 สารละลายมาตรฐานผสม 2 (standard mixture 2) ละลาย DINCH 50 มิลลิกรัม DEHA, ATBC, DBS และ TAC อย่างละ 10 มิลลิกรัมในสารละลายข้อ (2.3.1) ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร

2.3.2.3 สารละลายมาตรฐานผสม 3 (standard mixture 3) ละลาย DINP 50 มิลลิกรัม, acPG และ PAs อย่างละ 10 มิลลิกรัมในสารละลายข้อ (2.3.1) ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร

2.3.3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการประเมินองค์ประกอบของปะเก็น

2.3.3.1 ลอกชั้นปะเก็นบริเวณที่ไม่สัมผัสกับอาหารมาใช้ในการวิเคราะห์

2.3.3.2 ชั่งปะเก็นหนักประมาณ 50 มิลลิกรัม ใส่ลงในขวดแก้วสีชา

2.3.3.3 เติมสารละลายข้อ (2.3.1) เขย่าอย่างแรงแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 15-30 นาทีหรือจนปะเก็นละลายหมด

2.3.3.4 เติมเอทานอล เขย่าอย่างแรง วางไว้ที่อุณหภูมิห้องจนตะกอนแยกชั้น

2.3.3.5 เก็บสารละลายส่วนใสด้านบนเพื่อทำการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

2.3.3.6 การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์แบบ direct analysis โดยปีเปิดสารละลายส่วนใสข้อ (2.3.3.5) ลงในขวดแก้วสีชาเติม MTBE แล้วเขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน

2.3.3.7 การเตรียมตัวอย่างแบบปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (transesterification) โดยปีเปิดสารละลายส่วนใสข้อ (2.3.3.5) ลงในขวดแก้วสีชา เติม 15% เอทอกไซค์ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 นาที จากนั้นเติม MTBE / 40% hexane และ 10% ไดโซเดียมไฮโดรเจนซเตรต เขย่าอย่างแรงแล้วทิ้งไว้จนสารละลายแยกชั้นสมบูรณ์

2.3.3.8 นำสารสกัดข้อ (2.3.3.6) และ (2.3.3.7) วิเคราะห์ด้วย GC-FID

2.4 วิธีการวิเคราะห์ ESBO ในตัวแทนอาหาร

2.4.1 การเตรียมสารละลาย internal standard เข้มข้น 1000 ppm ในไดออกเซน  
ละลายสารมาตรฐาน C20:2 หนัก 10 มิลลิกรัมใน 1,4-ไดออกเซน

2.4.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน ESBO เข้มข้น 1000 ppm ในไดออกเซน  
ละลายสารมาตรฐาน ESBO หนัก 10 มิลลิกรัมใน 1,4-ไดออกเซน

2.4.3 สารละลายมาตรฐานผสม

2.4.3.1 ปีเปิดสารละลายมาตรฐานข้อ (2.4.1) และ ข้อ (2.4.2) อย่างละ 100 ไมโครลิตร เติมลงในไดออกเซนปริมาตร 4 มิลลิลิตร

2.4.3.2 เติมสารละลาย 5% เมทอกไซค์ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 นาที

2.4.3.3 เติมสารละลาย 15% ไดโซเดียมไฮโดรเจนซเตรต และเฮปแทนอย่างละ 10 มิลลิลิตร ตามลำดับ เขย่าอย่างแรงจนสารละลายแยกชั้นสมบูรณ์

2.4.3.4 นำสารละลายส่วนใสด้านบนไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS



- 2.4.4 การเตรียมตัวอย่าง
- 2.4.4.1 ชั่งตัวแทนอาหารที่ผสมเข้ากันดีแล้วหนัก 500 มิลลิกรัม ลงขวดแก้วสีชา จากนั้นเติม ไดออกเซน ปริมาตร 4 มิลลิลิตร
- 2.4.4.2 เติมสารละลายข้อ (2.4.1) ปริมาตร 30 ไมโครลิตร
- 2.4.4.3 เติมสารละลาย 5% เมทอกไซค์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยา 1 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
- 2.4.4.4 เติมสารละลาย 15% ไดโซเดียมไฮโดรเจนซัลเฟต และเฮปแทนอย่างละ 10 มิลลิลิตร ตามลำดับ เขย่าอย่างแรงจนสารละลายแยกชั้นสมบูรณ์
- 2.4.4.5 เก็บสารละลายส่วนใสด้านบนไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS
- 2.5 วิเคราะห์พลาสติกไซเซอร์โมเลกุลเล็ก (monomeric plasticizers) ในตัวแทนอาหาร
- 2.5.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน internal standard ความเข้มข้น 10000 ppm ใน MTBE ละลาย DHP 100 มิลลิกรัม ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วย MTBE
- 2.5.2 สารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 10000 ppm ใน MTBE ละลาย DBS, DINCH และ TAC อย่างละ 100 มิลลิกรัม ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วย MTBE
- 2.5.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานผสม
- 2.5.3.1 สารละลายผสม internal standard ความเข้มข้น 1000 ppm ในเฮกเซน  
เปิดสารละลายข้อ (2.5.1) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และ 30% DPS ปริมาตร 33 ไมโครลิตร ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยเฮกเซน
- 2.5.3.2 สารละลายมาตรฐานผสมความเข้มข้น 1000 ppm ในเฮกเซน  
เปิดสารละลายมาตรฐาน DBS, TAC อย่างละ 100 ไมโครลิตร และสารละลายมาตรฐาน DINCH ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ในข้อ (2.5.3) ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยเฮกเซน
- 2.5.4 การสร้างกราฟมาตรฐาน
- 2.5.4.1 ชั่งน้ำมันมะกอก 200 มิลลิกรัม เติม 20% MTBE ในเฮกเซน ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายข้อ (2.5.3.1) ปริมาตร 20 ไมโครลิตร
- 2.5.4.2 เปิดสารละลายมาตรฐานข้อ (2.5.3.2) ปริมาตร 0.3 – 80 ไมโครลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายข้อ (2.5.4.1) และหยคน้ำมันมะกอก 1 หยด
- 2.5.5 การเตรียมตัวอย่าง
- 2.5.5.1 ชั่งตัวแทนอาหารที่ผสมเข้ากันดีแล้ว 100 มิลลิกรัม เติมสารละลายข้อ (2.5.3.1) และเติม 20% MTBE ในเฮกเซน ปริมาตร 5 มิลลิลิตร
- 2.5.5.2 เจือจางตัวอย่างเป็น 1:10 ด้วย 20% MTBE ในเฮกเซน แล้วหยคน้ำมันมะกอก 1 หยด
- 2.5.5.3 วิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS

## บทที่ 4

### อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์โดยใช้แบบจำลอง ได้ทำการประเมินผลของระยะเวลา อุณหภูมิที่สัมผัส การพาสเจอร์ไรเซชัน และขนาดของพื้นที่สัมผัส ตามวิธีการศึกษาที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยเปรียบเทียบของค์ประกอบในปะเก็นกับปริมาณที่พบในตัวแทนอาหารเพื่อระบุปริมาณและแนวโน้มการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ในอาหารประเภทน้ำมัน

#### ผลการประเมินองค์ประกอบของพลาสติกไซเซออร์ในปะเก็น

การประเมินองค์ประกอบของพลาสติกไซเซออร์ในปะเก็นตัวอย่างขนาด 48 มิลลิเมตรและ 63 มิลลิเมตร โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบของพลาสติกไซเซออร์ในปะเก็น แสดงไว้ในตารางที่ 3 และภาพที่ 7, 9 – 12 แสดงโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานพลาสติกไซเซออร์และปะเก็นตัวอย่างขนาด 48 มิลลิเมตรและ 63 มิลลิเมตร ตามลำดับ

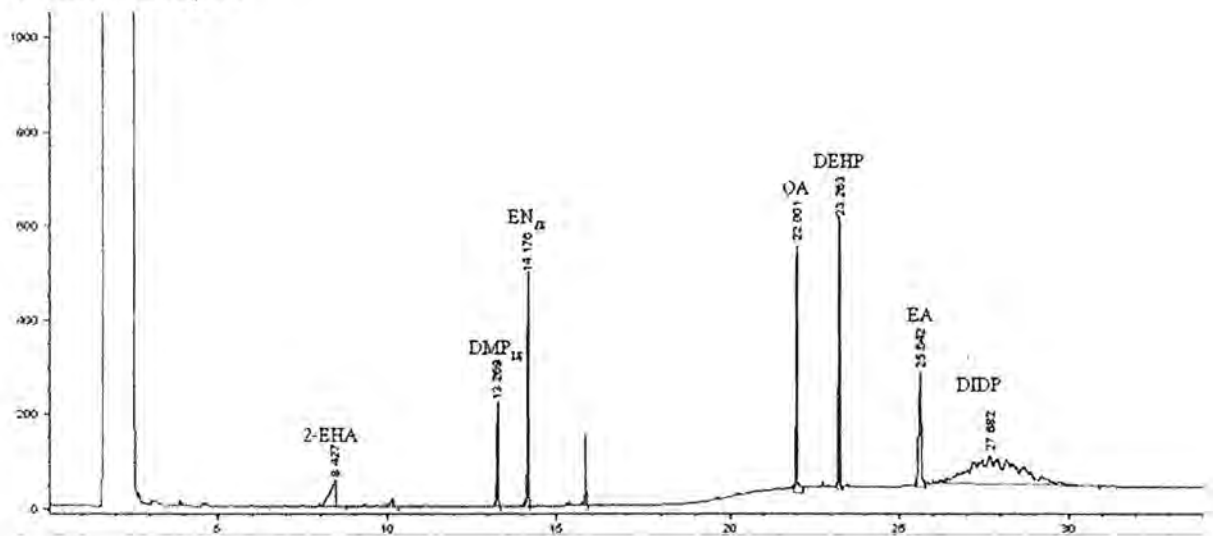
#### ตารางที่ 3 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปะเก็นด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

พารามิเตอร์	สภาวะที่เหมาะสม
Column	30 m. x 0.25 mm. i.d. x 0.25 $\mu$ m DB-5 [(5%phenyl)-methylpolysiloxane capillary column]
Temperature program	initial 60 $^{\circ}$ C for 1min, 15 $^{\circ}$ C/min to 90 $^{\circ}$ C, 5 $^{\circ}$ C/min to 140 $^{\circ}$ C, 15 $^{\circ}$ C/min to 320 $^{\circ}$ C
Mode	split/splitless
Injection temperature	270 $^{\circ}$ C
Injection volume	1 $\mu$ L
Carrier gas	helium, 3mL/min
Detector	FID

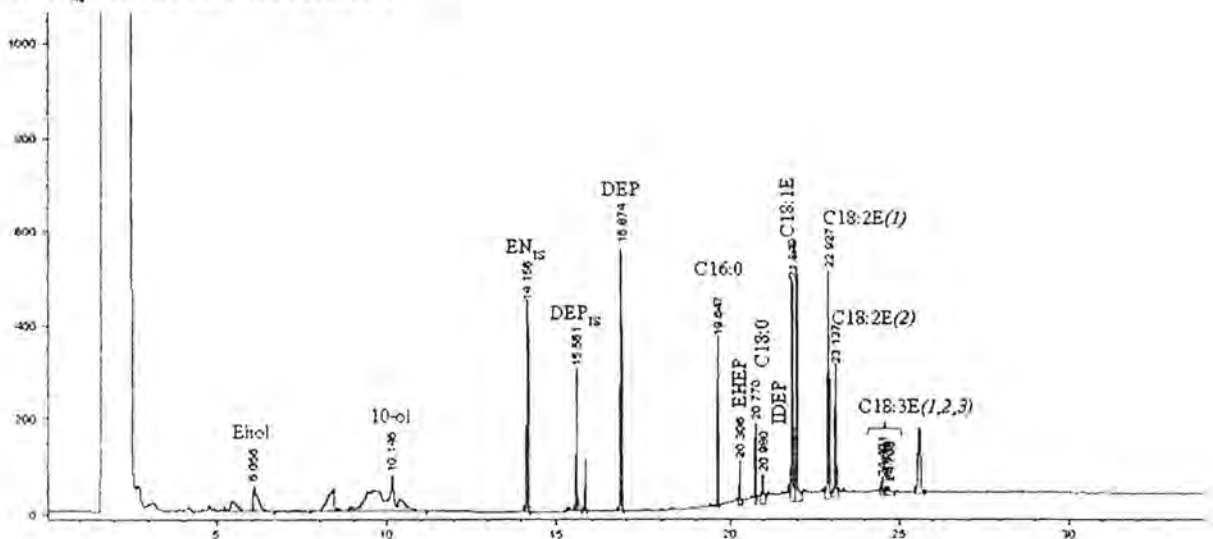


สารละลายมาตรฐานผสมที่ 1 ประกอบด้วย OA, DEHP, EA, DIDP และ ESBO จากโครมาโทแกรมในภาพที่ 7 แสดงให้เห็นว่า OA, DEHP, EA และ DIDP ซึ่งเป็นพลาสติกไซเซอรั่มโมเลกุลเล็กสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคการเตรียมตัวอย่างแบบ direct analysis ขณะที่ ESBO เป็นพลาสติกไซเซอรั่มขนาดใหญ่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ จึงทำการเตรียมอนุพันธ์ของ ESBO ด้วยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันเพื่อให้ได้สารประกอบเอสเทอร์ขนาดเล็กของปาล์มิเตต (palmitate: C16:0), สเตียร์เรต (stearate: C18:0), อีพอกซีโอเลต (epoxyoleate: C18:1E), อีพอกซีไลโนเลต (epoxylinoleate: C18:2E), และ อีพอกซีไลโนเลต (epoxylinolenate: C18:3E) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่อยู่ใน ESBO นอกจากนี้ PAs ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีอติเพทหลายตัวผสมอยู่เมื่อทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันแล้วจะเกิด ไดเอทิลอติเพท (diethyladipate: DEA) ที่เป็นองค์ประกอบหลักของ PAs

A: direct analysis

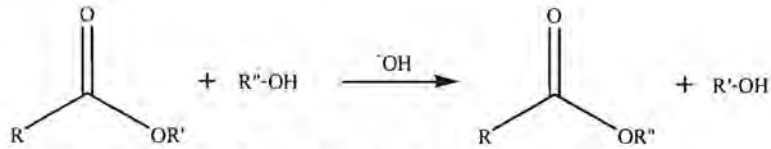


B: ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน



ภาพที่ 7 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานผสม 1 (A) โครมาโทแกรมจากการเตรียมตัวอย่างแบบ direct analysis และ (B) โครมาโทแกรมจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนหมู่แอลคิล (R, R') ที่ตำแหน่งปลายของหมู่เอสเทอร์ (  $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OR}'$  ) ด้วยแอลกอฮอล์ (R''-OH) ในสภาวะต่าง

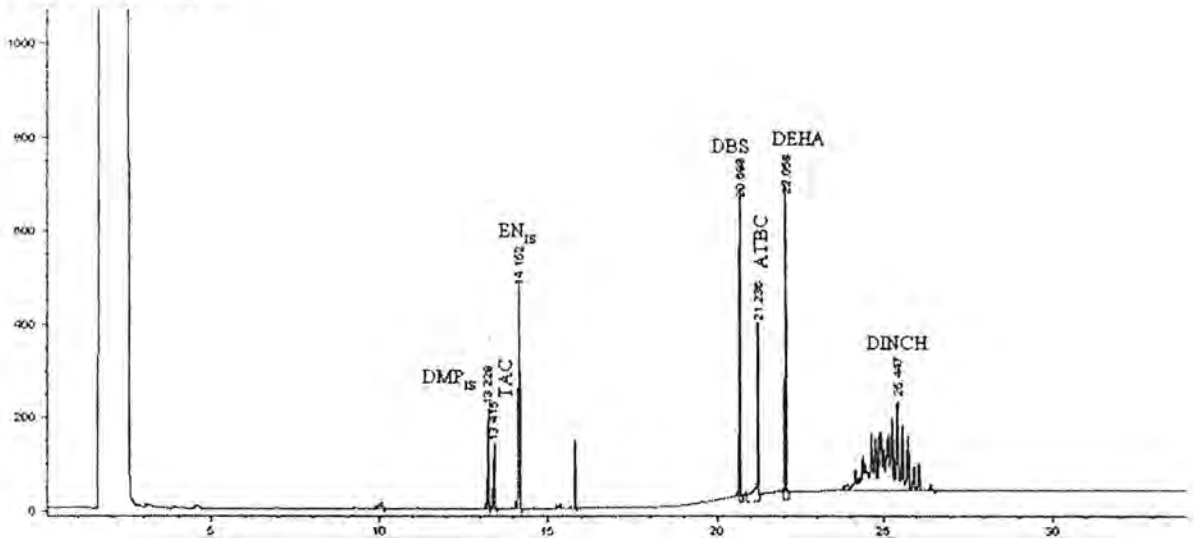


ภาพที่ 8 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างสารประกอบเอสเทอร์และแอลกอฮอล์ในสภาวะต่าง

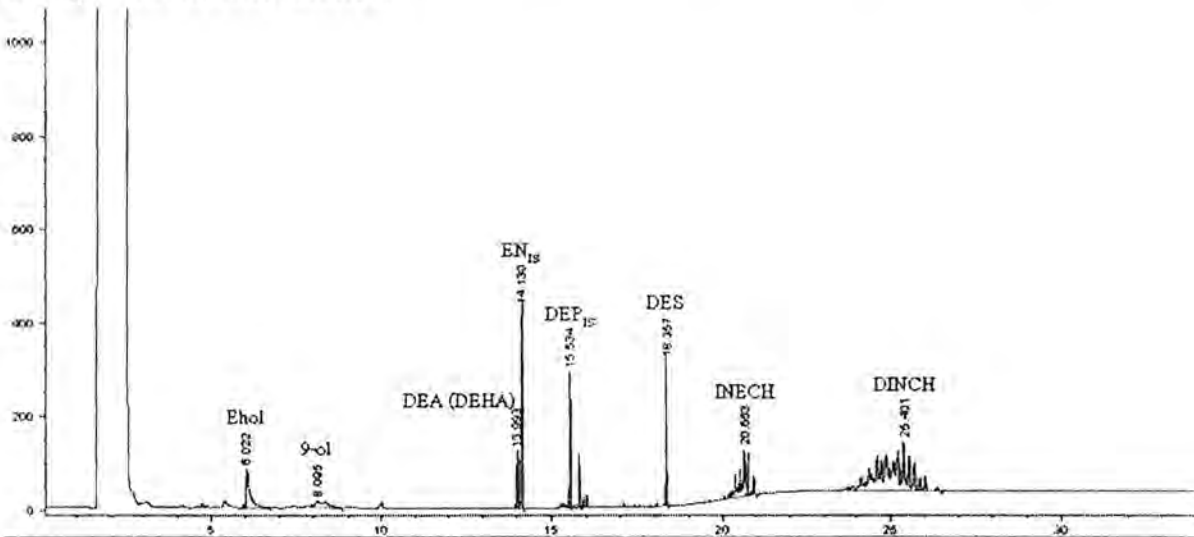
พลาสติกไซเซอรเป็นสารประกอบไดเอสเทอร์หลังจากทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันจะได้อนุพันธ์ของพลาสติกไซเซอรนั้นออกมาดังแสดงใน โครมาโทแกรมปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน เช่น DBS เป็นสารประกอบไดเอสเทอร์ที่ปลายของหมู่เอสเทอร์มีหมู่บิวทิล  $[-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3]$  ทั้ง 2 ตำแหน่ง หลังจากทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันแล้วจะได้ไดเอทิลเซบาแคต (diethylsebacate: DES) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของ DBS จากปรากฏการดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันสามารถใช้ในการยืนยันผลการวิเคราะห์จาก direct analysis ได้อีกด้วย

สารละลายมาตรฐานผสมที่ 2 ประกอบด้วย DBS, ATBC, DEHA และ DINCH ดังแสดงในภาพที่ 9A และภาพที่ 9B แสดง Ehol, 9-ol เป็นอนุพันธ์ของ DEHP ส่วน DEA และ DES เป็นอนุพันธ์ของ DEHA และ DBS ตามลำดับ ขณะที่ INECH เป็นอนุพันธ์ของ DINCH

A: direct analysis



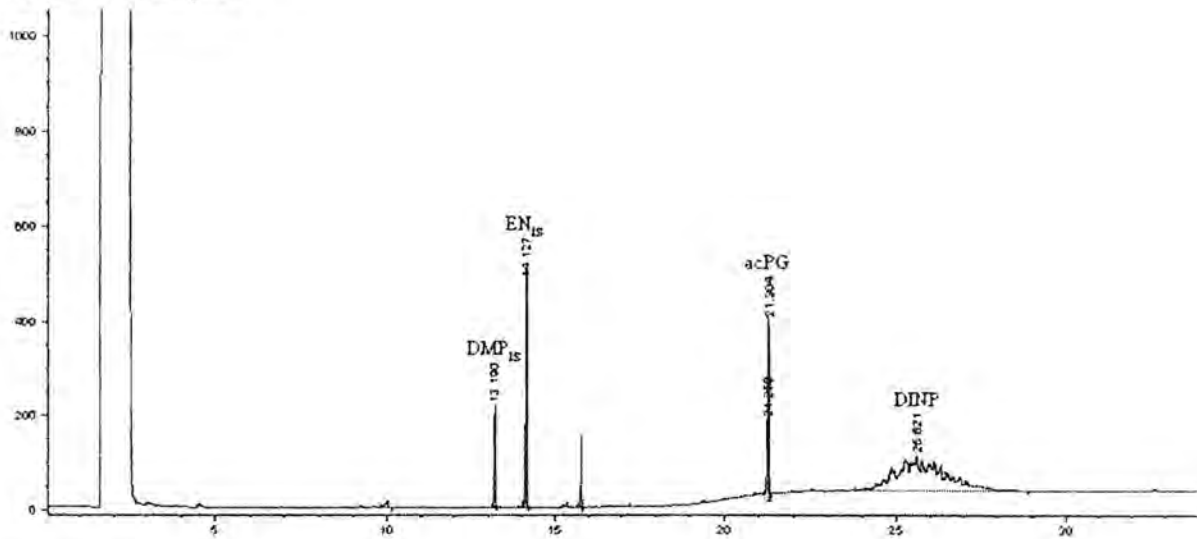
B: ปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน



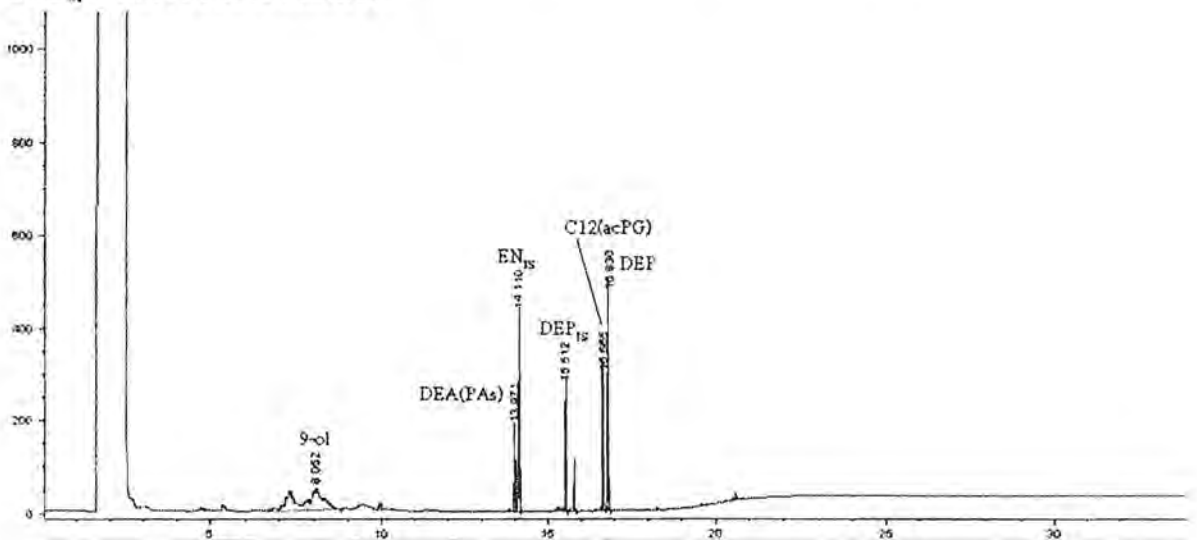
ภาพที่ 9 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานผสม 2 (A) โครมาโทแกรมจากการเตรียมตัวอย่างแบบ direct analysis และ (B) โครมาโทแกรมจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน

สารละลายมาตรฐานผสมที่ 3 ประกอบด้วย acPG และ DINP ดังแสดงในภาพที่ 10A ส่วนภาพที่ 10B แสดงให้เห็นกลีเซอรอลมอนอลอเรต (glycerol monolaurate: C12) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของ acPG และ 9-ol, DEP เป็นอนุพันธ์ของ DEHP ตามลำดับ

A: direct analysis



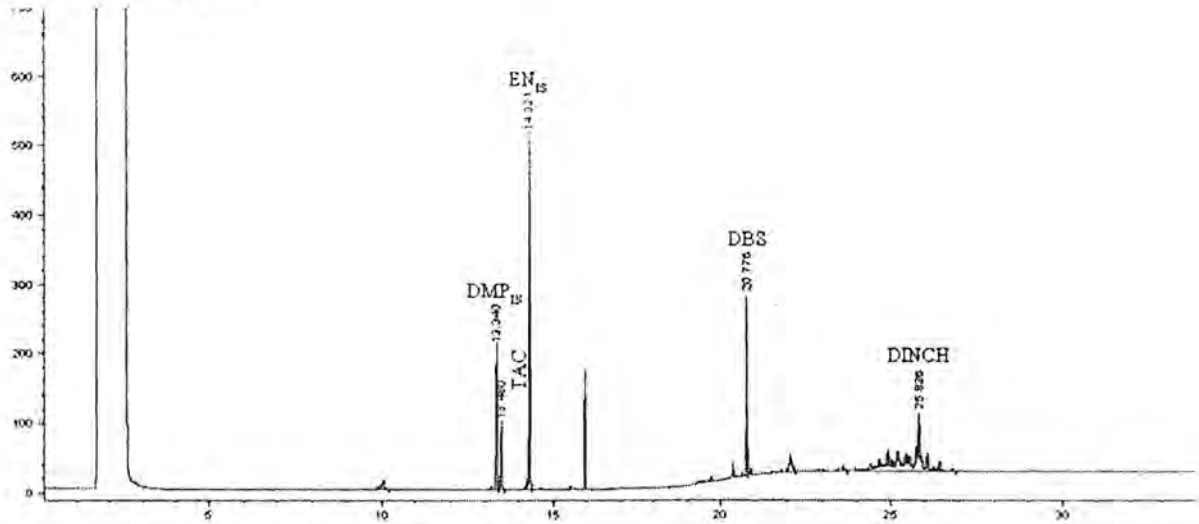
B: ปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน



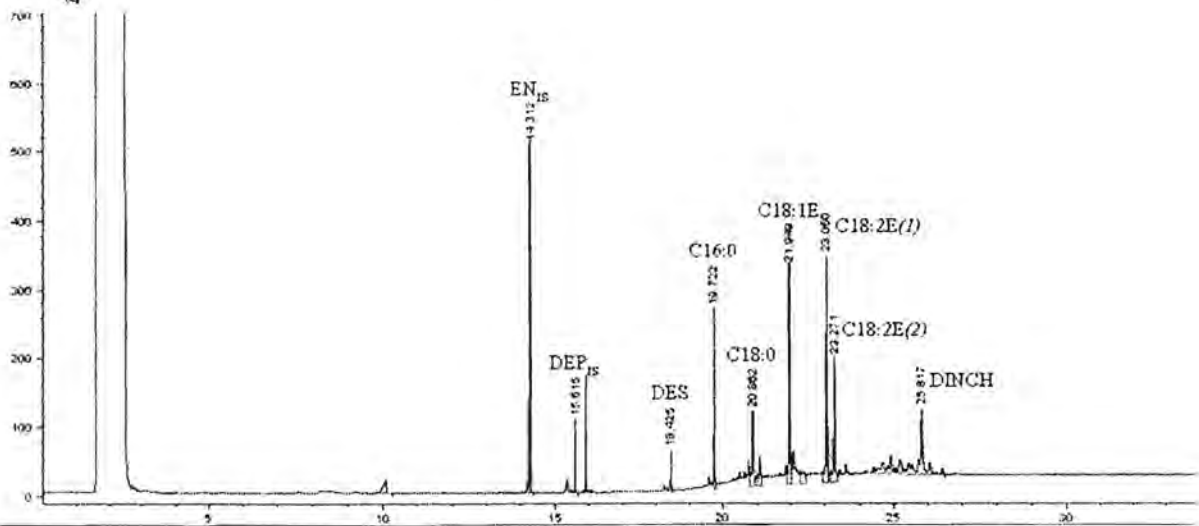
ภาพที่ 10 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานผสม 3 (A) โครมาโทแกรมจากการเตรียมตัวอย่างแบบ direct analysis และ (B) โครมาโทแกรมจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

จากการวิเคราะห์ปะเก็นตัวอย่างพบว่าปะเก็นขนาด 43 มิลลิเมตร และ 63 มิลลิเมตร ประกอบด้วย TAC, DBS, DINCH และ ESBO ดังแสดงในภาพที่ 11 และ 12 ตามลำดับ

A: direct analysis

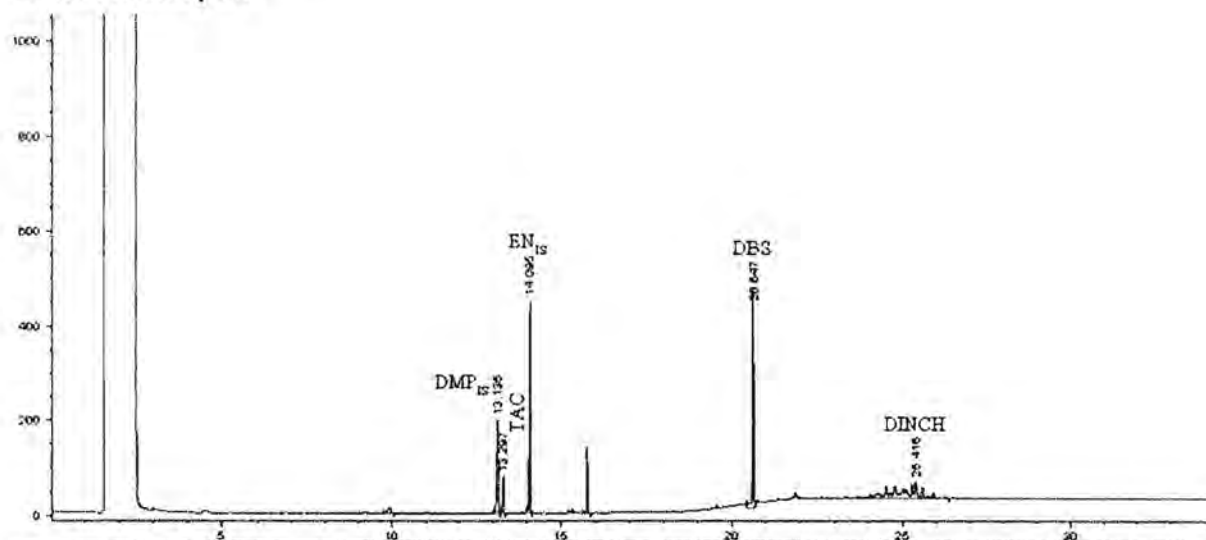


B: ปฏิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

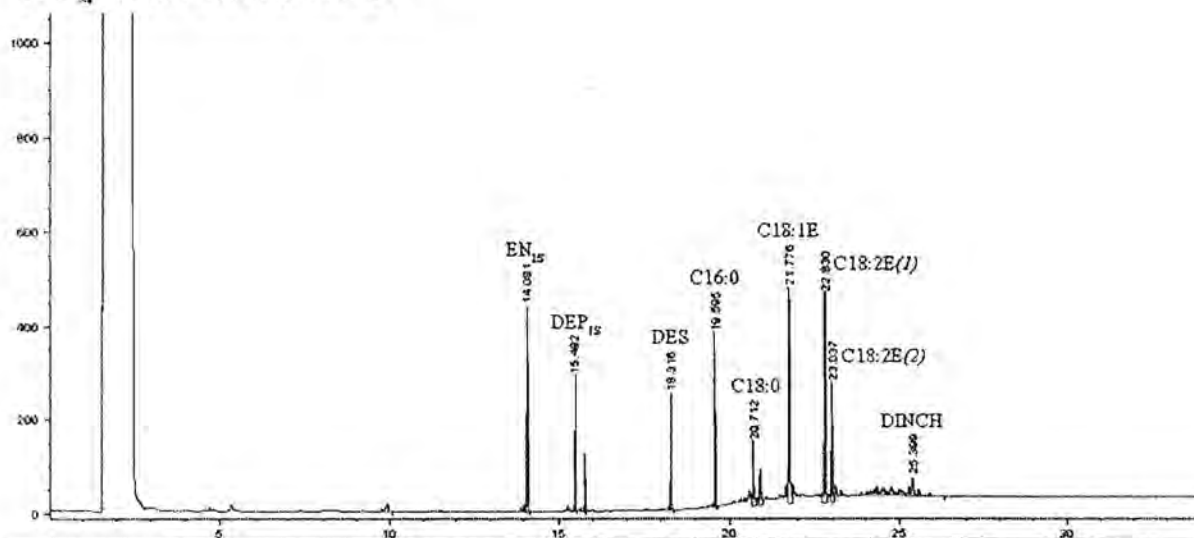


ภาพที่ 11 โครมาโทแกรมของปะเก็นตัวอย่างขนาด 48 มิลลิเมตร (A) โครมาโทแกรมจากการเตรียมตัวอย่างแบบ direct analysis และ (B) โครมาโทแกรมจากปฏิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

A: direct analysis



B: ปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน



ภาพที่ 12 โครมาโทแกรมของปะเก็นตัวอย่างขนาด 63 มิลลิเมตร (A) โครมาโทแกรมจากการเตรียมตัวอย่างแบบ direct analysis และ (B) โครมาโทแกรมจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน

การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณของพลาสติกไซเซอรในปะเก็นตัวอย่างขนาด 48 มิลลิเมตร และ 63 มิลลิเมตร พบว่าปะเก็นขนาด 48 มิลลิเมตร มีปริมาณพลาสติกไซเซอรทั้งหมดคิดเป็น  $54.6 \pm 1.4\%$  โดยน้ำหนักปะเก็นประกอบด้วย TAC  $12.3 \pm 1.2\%$ , DBS  $4.5 \pm 0.04\%$ , DINCH  $13.6 \pm 0.2\%$  และ ESBO  $24.2 \pm 1.0\%$  ส่วนปะเก็นขนาด 63 มิลลิเมตร มีปริมาณพลาสติกไซเซอรทั้งหมด  $71.5 \pm 8.1\%$  โดยน้ำหนักปะเก็น ประกอบด้วย TAC  $21.8 \pm 3.1\%$ , DBS  $11.1 \pm 1.4\%$ , DINCH  $14.9 \pm 2.6\%$  และ ESBO  $23.8 \pm 1.3\%$  ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ชนิดและปริมาณพลาสติกไฮเซอรที่เป็องค้ประกอบในปะเก็นตัวอย่างขนาด 48 มิลลิเมตร (G48) และ 63 มิลลิเมตร (G63)

ปะเก็น	พลาสติกไฮเซอรในปะเก็น (% โดยน้ำหนัก)				
	TAC	DBS	DINCH	ESBO	รวม
G48_1	11.2	4.5	13.4	25.3	54.4
G48_2	11.2	4.5	13.5	24.5	53.7
G48_3	11.2	4.5	13.8	23.0	52.5
G48_4	13.4	4.5	13.4	25.2	56.5
G48_5	13.4	4.5	13.5	24.9	55.7
G48_6	13.4	4.5	13.8	22.2	54.6
G63_1	20.1	10.3	12.6	22.8	65.8
G63_2	21.4	10.3	14.0	23.3	69.0
G63_3	19.9	10.0	12.6	22.3	65.0
G63_4	28.0	13.7	19.3	26.1	87.1
G63_5	20.0	11.1	14.6	23.7	69.4
G63_6	21.2	11.1	16.2	24.3	72.8

## ผลการวิเคราะห์ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ในตัวแทนอาหาร

การวิเคราะห์ของพลาสติกไซเซอร์ในตัวแทนอาหาร ใช้เทคนิคทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีมาสเปกโตรเมตรี (GC-MS) ดังที่กล่าวในบทที่ 1,2 และ 3 ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ในตัวแทนอาหารพบว่าพลาสติกไซเซอร์ที่ไม่เกรทลงในตัวแทนอาหาร ได้แก่ ESBO, TAC, DBS และ DINCH

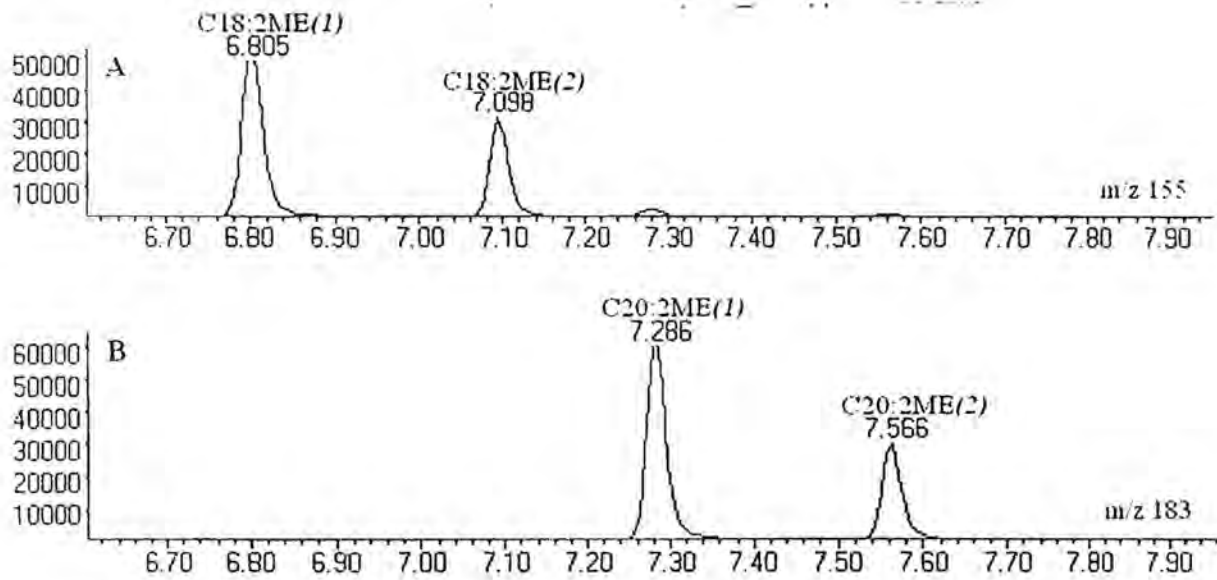
## ผลการวิเคราะห์ปริมาณของ ESBO ในตัวแทนอาหาร

การวิเคราะห์ ESBO อาศัยเทคนิคการเตรียมตัวอย่างโดยการทำอนุพันธ์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เนื่องจาก ESBO เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่ จุดเดือดสูง จึงทำให้ระเหยกลายเป็นไอได้ยาก การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันด้วยเมทานอลในสภาวะต่างจะทำให้เกิดอนุพันธ์เมทิลเอสเทอร์ของ ESBO ได้แก่ อีพอกซีโอเลเอตเมทิลเอสเทอร์ (epoxyoleate methyl ester: C18:1ME), อีพอกซีไลโนเลเอตเมทิลเอสเทอร์ (epoxylinoleate methyl ester: C18:2ME) และอีพอกซีไลโนเลนเอตเมทิลเอสเทอร์ (epoxylinolenate methyl ester: C18:3ME) สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ ESBO ในตัวแทนอาหารแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 13 แสดงโครมาโทแกรมของสารมาตรฐาน ESBO และ internal standard ตามลำดับ

## ตารางที่ 5 สภาวะการวิเคราะห์ ESBO ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

พารามิเตอร์	สภาวะที่เหมาะสม
Column	15 m. x 0.25 mm. i.d. x 0.20 $\mu$ m Rtx-2330 [90% biscyanopropyl / 10% phenylcyanopropyl polysiloxane capillary column]
Carrier gas	helium, 3mL/min
Injection volume	1 $\mu$ L
Injection temperature	300 $^{\circ}$ C
Injection mode	split/splitless
Temperature program	initial 110 $^{\circ}$ C for 1min, 20 $^{\circ}$ C/min to 200 $^{\circ}$ C, 8 $^{\circ}$ C/min to 260 $^{\circ}$ C for 2min
Detector	mass spectrometer (MS) SIM mode (m/z 155 for ESBO and m/z 183 for internal standard, C20:2E)
Auxiliary temperature	300 $^{\circ}$ C





ภาพที่ 13 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐาน (A) ESBO และ (B) internal standard ตามลำดับ

การวิเคราะห์ปริมาณของ ESBO ใช้วิธี internal standard method โดยมีอีพอกซีอีโคซานไดอีนไดอีโนเอตเมทิลเอสเทอร์ (epoxyeicosanodienoate methyl ester: C20:2ME) เป็น internal standard จากนั้นใช้พื้นที่ใต้พีคของ C18:1ME และ C18:2ME ในการคำนวณปริมาณของ ESBO เนื่องจากเป็นองค์ประกอบหลักที่มีปริมาณรวมกันมากที่สุด ใน ESBO (78% ใน ESBO)

## การคำนวณ

การคำนวณ response factor ของ ESBO

$$\text{Response Factor of ESBO} = \frac{pA_{IS} \times m_{ESBO}}{m_{IS} \times pA_{ESBO}}$$

เมื่อ	$pA_{ESBO}$	=	พื้นที่ใต้พีคของ C18:1ME และ C18:2ME
	$pA_{IS}$	=	พื้นที่ใต้พีคของ C20:2ME
	$m_{ESBO}$	=	น้ำหนักของ ESBO (มิลลิกรัม)
	$m_{IS}$	=	น้ำหนักของ internal standard (มิลลิกรัม)

จากการผลการคำนวณค่า response factor จะได้ว่า ESBO มีค่า response factor (RF) เท่ากับ 1.11

การคำนวณปริมาณของ ESBO (mg/kg)

$$\text{Concentration of ESBO} = \frac{pA_{IS} \times pA_{ESBO} \times RF_{ESBO}}{m_{\text{simulant}} \times pA_{IS}} \times 10^6$$

เมื่อ	$RF_{ESBO}$	=	response factor ของ ESBO
	$m_{\text{food}}$	=	น้ำหนักของตัวอย่างอาหาร (มิลลิกรัม)
	$m_{IS}$	=	น้ำหนักของ internal standard (มิลลิกรัม)
	$pA_{IS}$	=	พื้นที่ใต้พีคของ C20:2ME
	$pA_{ESBO}$	=	พื้นที่ใต้พีคของของ C18:1ME และ C18:2ME

## ผลการวิเคราะห์พลาสติกไซเซอร์โมเลกุลเล็กในตัวแทนอาหาร

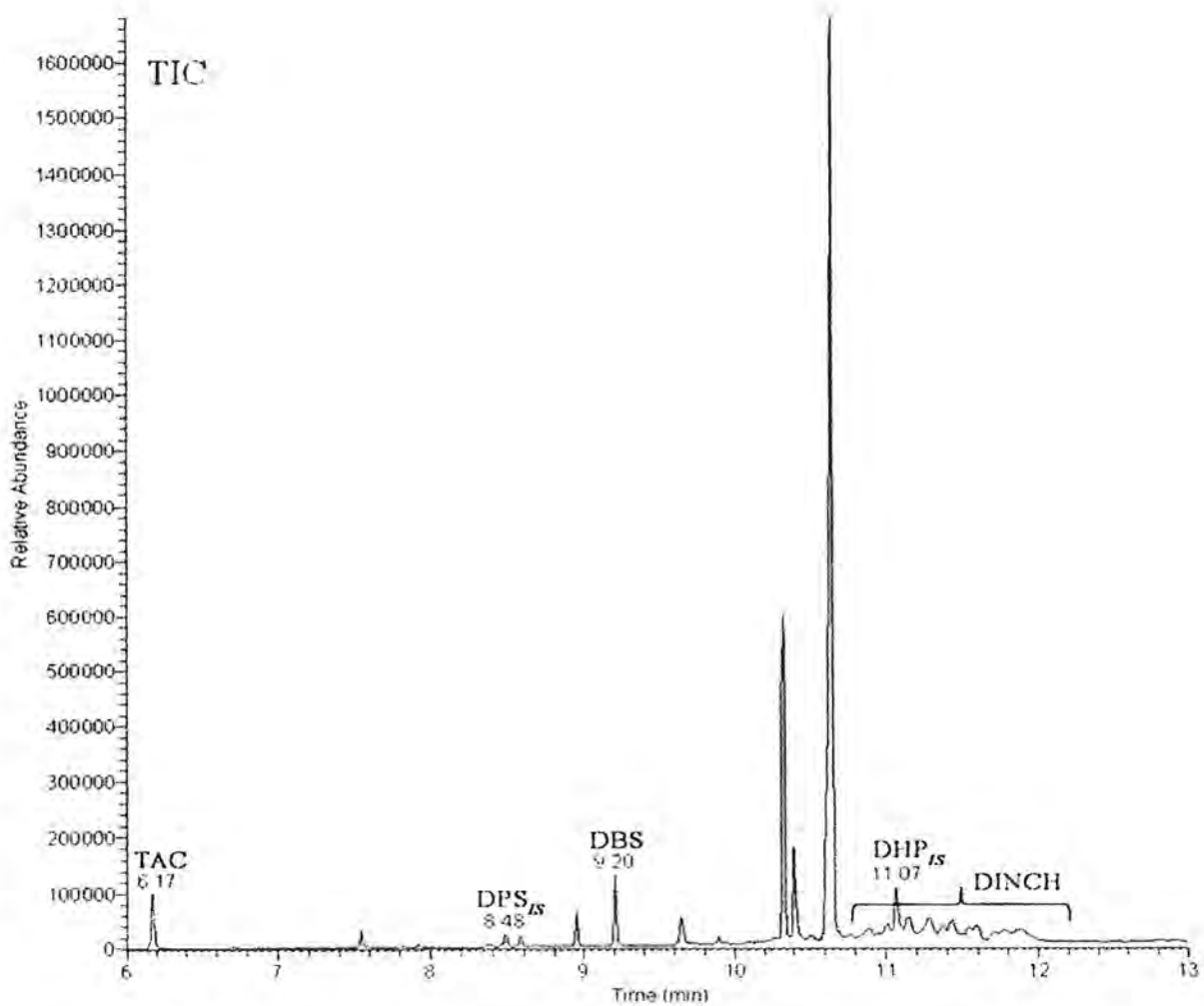
การวิเคราะห์ปริมาณพลาสติกไซเซอร์โมเลกุลเล็ก ได้แก่ TAC, DBS และ DINCH ในตัวแทนอาหาร ด้วยเทคนิค PTV GC-MS และทำการ backflush เพื่อกำจัดเมทริกซ์น้ำมันออกจากระบบทาง split outlet สภาวะการวิเคราะห์พลาสติกไซเซอร์โมเลกุลเล็กที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 6 และภาพที่ 14 แสดง โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน TAC, DBS และ DINCH

ตารางที่ 6 สภาวะการวิเคราะห์พลาสติกไซเซอร์โมเลกุลเล็ก (monomeric plasticizers) ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

พารามิเตอร์	สภาวะที่เหมาะสม
Column	pre-column: 0.5 m. x 0.25 mm. i.d. x 0.1 $\mu$ m. DB-1 [100% dimethyl polysiloxane] T-piece: universal press-fit T-piece, 13 cm. x 0.25 mm. i.d. x 0.25 $\mu$ m fused silica tubing separation column: 15 m. x 0.25 mm. i.d. x 0.25 $\mu$ m. Rtx-225 [50% cyanopropyl / 50% phenylmethylpolysiloxane]
Carrier gas	helium, 3mL/min
Injection volume	2 $\mu$ L
Injection temperature	60 $^{\circ}$ C
Injection mode	PTV, split/splitless
PTV injector	Liner: 2 mm. i.d. glass liner, plug of glass wool at 6 cm. Temperature program: initial 60 $^{\circ}$ C for 0.2 min, 14.5 $^{\circ}$ C/min to 250 $^{\circ}$ C, 14.5 $^{\circ}$ C/min to 350 $^{\circ}$ C for 5 min Pressure: 180kPa
Temperature program	initial 90 $^{\circ}$ C for 4 min, 25 $^{\circ}$ C/min to 190 $^{\circ}$ C, 15 $^{\circ}$ C/min to 250 $^{\circ}$ C for 10 min
Detector	mass spectrometer (MS), SIM mode
Auxiliary temperature	300 $^{\circ}$ C

ตารางที่ 7 ค่า m/z ของพลาสติกไซเซอร์โมเลกุลเล็ก (monomeric plasticizers)

plasticizers	m/z
TAC	145
DHP (internal standard)	149
DINCH	155
DPS (internal standard)	185
DBS	185



ภาพที่ 14 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐาน TAC, DBS, DINCH, DHP และ DPS

การวิเคราะห์ปริมาณของ TAC, DBS และ DINCH ใช้วิธีการสร้างกราฟมาตรฐานโดยมี ไดเฮปทิลฟทาเลต (diheptyl phthalate: DHP) เป็น internal standard วิเคราะห์ปริมาณของ TAC, DINCH และใช้ ไดโพรพิลเซบาเทต (dipropyl sebacate: DPS) เป็น internal standard วิเคราะห์ปริมาณของ DBS

เมื่อนำพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐาน TAC, DBS และ DINCH มาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคและความเข้มข้นพบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงตามสมการ

$$y = mx + c$$

เมื่อ  $y$  คือ อัตราส่วนพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐานต่อพื้นที่ใต้พีคของ internal standard  
 $x$  คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

กราฟมาตรฐานสร้างระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐานในช่วง 0 – 400 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้น ( $R^2$ ) สูงกว่า 0.9980 ค่าจุดตัดแกน  $y$  (y-intercept) เข้าใกล้ศูนย์และค่าความชันมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าความไววิเคราะห์ (sensitivity) ของการวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกัน การตรวจวัดไม่เกิด bias ค่าเวลารีเทนชัน (retention time:  $t_R$ ) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้น ( $R^2$ ) ของการวิเคราะห์ TAC, DBS และ DINCH ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงค่า  $t_R$ , จุดตัดแกน  $y$ , ค่าความชัน และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นของ TAC, DBS และ DINCH

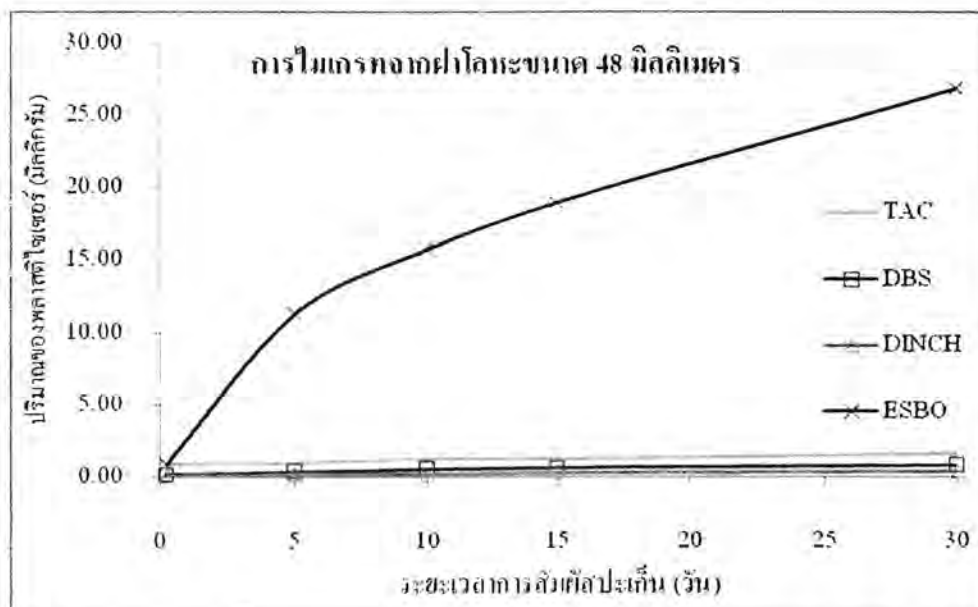
พลาสติกไซเซอร์	ครั้งที่	$t_R$ (min)	ค่าความชัน (slope)	จุดตัดแกน $y$ (y-intercept)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้น ( $R^2$ )
TAC	1	6.24	0.0006	0.0103	0.9986
	2	6.39	0.0071	0.4430	0.9983
	3	6.32	0.0098	0.0425	0.9999
DBS	1	9.26	0.3071	-2.3371	0.9996
	2	9.38	0.1309	-0.3119	0.9997
	3	9.32	0.1642	0.1769	0.9998
DINCH	1	11.23	0.1941	-0.0200	0.9977
	2	11.41	0.0681	-0.0961	0.9998
	3	11.32	0.1643	0.1027	0.9998

## ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อไมเกรชันของพลาสติกไซเซอรในตัวแทนอาหาร

จากการวิเคราะห์ปริมาณของพลาสติกไซเซอรในตัวแทนอาหารพบว่าพลาสติกไซเซอรแต่ละชนิดจะสามารถไมเกรทลงสู่ตัวแทนอาหารได้แตกต่างกัน โดยปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาการไมเกรทของพลาสติกไซเซอรมีดังนี้

### 1. ผลของเวลาต่อการไมเกรทของพลาสติกไซเซอร

การศึกษาผลของเวลาที่มีต่อการไมเกรทของพลาสติกไซเซอรในตัวแทนอาหาร ศึกษาโดยการจำลองให้ตัวแทนอาหารสัมผัสกับปะเก็นตลอดระยะเวลาตั้งแต่ 6 ชั่วโมงจนถึง 30 วันที่อุณหภูมิห้อง ( $30^{\circ}\text{C}$ ) ผลการทดลองพบว่า ปริมาณของ TAC, DBS, DINCH และ ESBO เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ตัวแทนอาหารสัมผัสกับปะเก็น ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 การไมเกรทของ ESBO, TAC, DBS และ DINCH จากฝ้าโลหะขนาด 48 มิลลิเมตร ในตัวแทนอาหารที่สัมผัสกับปะเก็นตลอดเวลา ณ อุณหภูมิห้อง ( $30^{\circ}\text{C}$ )

จากภาพที่ 15 แสดงการไมเกรทของพลาสติกไซเซอรในตัวแทนอาหารที่เกิดจากฝ้าโลหะขนาด 48 มิลลิเมตรพบว่า ESBO เกิดการไมเกรทได้สูงสุด โดยการไมเกรทของ ESBO ที่เวลา 30 วันเพิ่มขึ้นจากการไมเกรทเบื้องต้น 31 เท่า ขณะที่ TAC, DBS, DINCH เกิดการไมเกรทเพียงเล็กน้อย และการไมเกรทสูงสุดเกิดขึ้นที่ 30 วัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากการไมเกรทเบื้องต้นประมาณ 2 - 4 เท่า ตามลำดับ ส่วนการไมเกรทของพลาสติกไซเซอรจากฝ้าโลหะขนาด 63 มิลลิเมตรพบว่าเป็นไปในทำนองเดียวกัน โดยการไมเกรทของ ESBO เพิ่มขึ้นจากเบื้องต้น 40 เท่า ส่วน TAC, DBS และ DINCH เพิ่มขึ้น 2 - 3 เท่า ตามลำดับ

การไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์เริ่มต้นขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันระหว่างปะเก็นกับตัวแทนอาหาร พลาสติกไซเซออร์ที่บริเวณพื้นผิวร่วมจะถูกสกัดโดยตัวแทนอาหารและเคลื่อนที่ออกจากปะเก็นเข้าไปละลาย อยู่ในตัวแทนอาหาร เมื่อเวลาผ่านไปพลาสติกไซเซออร์ในปะเก็นจะเคลื่อนย้ายออกมายังบริเวณผิวร่วมเพิ่ม มากขึ้นและไมเกรทลงสู่ตัวแทนอาหารเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์จากฝาโลหะขนาด 48 มิลลิเมตรกับฝาโลหะขนาด 63 มิลลิเมตร พบว่าการไมเกรทที่เกิดขึ้นจากฝาโลหะขนาด 63 มิลลิเมตรมากกว่าฝาโลหะขนาด 48 มิลลิเมตร 2 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 9 และหากเมื่อพิจารณาการไมเกรทที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาพบว่า TAC (MW. 218) เกิดการไมเกรทได้มากกว่า DBS และ DINCH (MW. 314 และ 424) ตามลำดับ เนื่องมาจากพลาสติกไซเซออร์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจะเกิดการเคลื่อนที่ไปยังบริเวณผิวร่วมได้ง่ายกว่าและ รวดเร็วกว่าจึงถูกสกัดและไมเกรทลงสู่ตัวแทนอาหารได้มากกว่า ในขณะที่ ESBO ที่มีขนาดโมเลกุลที่ ใหญ่กว่า TAC, DBS และ DINCH แต่เนื่องจาก ESBO มีหมู่ฮิพอกซีที่สามารถเกิดอันตรกิริยากับตัวแทน อาหารได้ดีจึงถูกสกัดด้วยตัวแทนอาหารบริเวณผิวร่วมและไมเกรทลงไปยังตัวแทนอาหารได้มาก

ตารางที่ 9 ปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ในตัวแทนอาหารที่ระยะเวลา 30 วัน จากตัวอย่าง โลหะขนาด 48 และ 63 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ตัวอย่าง	พลาสติกไซเซออร์	ปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ที่ไมเกรทลงสู่ตัวแทนอาหาร ณ เวลาต่างๆ (มิลลิกรัม)				
		6 ชั่วโมง	5 วัน	10 วัน	15 วัน	30 วัน
ฝาโลหะขนาด 48 มิลลิเมตร	TAC	0.88 ± 0.36	0.97 ± 0.29	1.06 ± 0.27	1.24 ± 0.18	1.55 ± 0.52
	DBS	0.17 ± 0.05	0.32 ± 0.15	0.49 ± 0.11	0.63 ± 0.11	0.74 ± 0.10
	DINCH	0.08 ± 0.01	0.13 ± 0.00	0.19 ± 0.12	0.26 ± 0.06	0.33 ± 0.05
	ESBO	0.87 ± 0.01	11.24 ± 2.88	15.69 ± 0.15	18.92 ± 6.34	26.84 ± 0.78
ฝาโลหะขนาด 63 มิลลิเมตร	TAC	1.11 ± 0.14	1.28 ± 0.13	1.37 ± 0.14	1.53 ± 0.23	1.86 ± 0.09
	DBS	0.93 ± 0.05	1.40 ± 0.12	1.84 ± 0.08	2.73 ± 0.05	3.09 ± 0.24
	DINCH	0.14 ± 0.03	0.21 ± 0.05	0.26 ± 0.05	0.33 ± 0.03	0.46 ± 0.03
	ESBO	1.37 ± 0.24	15.98 ± 1.06	24.60 ± 1.73	41.48 ± 4.37	55.03 ± 7.01



## 2. ผลของอุณหภูมิต่อการไมเกรทของพลาสติกไซเซอร์

การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการไมเกรทของพลาสติกไซเซอร์ในตัวแทนอาหาร ศึกษาโดยการจำลองให้ตัวแทนอาหารสัมผัสกับปะเก็นตลอดเวลาที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 60 °C เป็นระยะเวลา 10 วัน ผลการทดลองพบว่า ปริมาณของ TAC, DBS, DINCH และ ESBO เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ในตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิต่างๆ นาน 10 วัน จากตัวอย่างฝาโลหะ ขนาด 48 และ 63 มิลลิเมตร ตามลำดับ

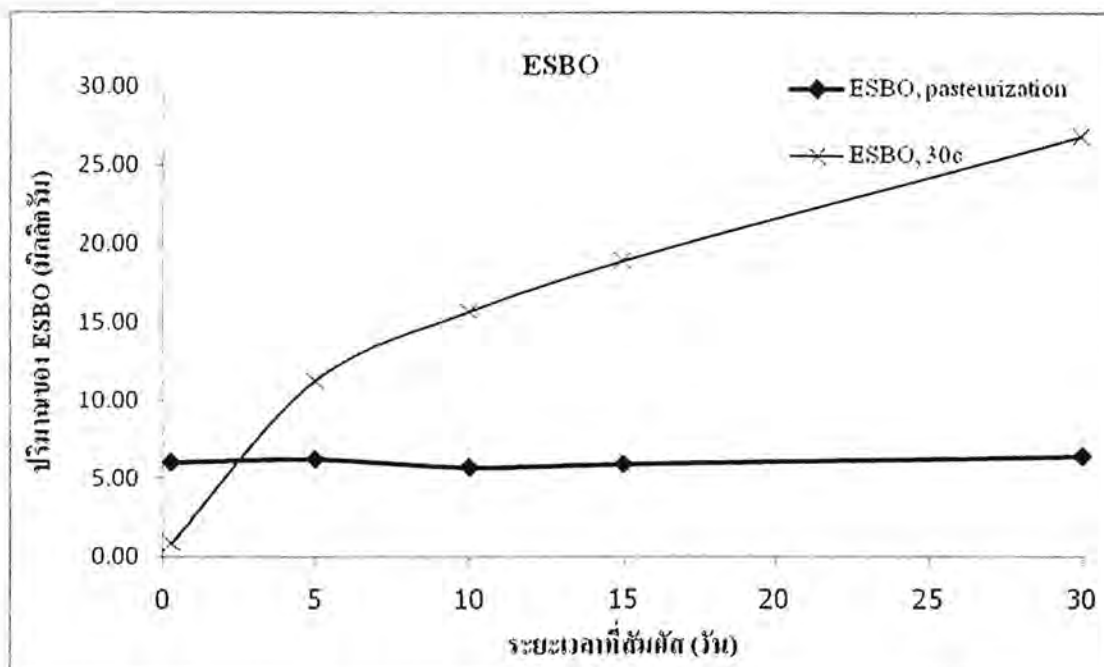
ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ที่ไมเกรทลงสู่ตัวแทนอาหาร (มิลลิกรัม)			
		TAC	DBS	DINCH	ESBO
ฝาโลหะขนาด 48 มิลลิเมตร	30	1.06 ± 0.27	0.49 ± 0.11	0.19 ± 0.12	15.69 ± 0.15
	40	1.19 ± 0.00	0.74 ± 0.11	0.24 ± 0.02	29.60 ± 8.57
	60	1.83 ± 0.53	1.03 ± 0.23	0.29 ± 0.02	49.22 ± 0.00
ฝาโลหะขนาด 63 มิลลิเมตร	30	1.37 ± 0.14	1.84 ± 0.08	0.26 ± 0.05	24.60 ± 1.73
	40	1.68 ± 0.12	2.36 ± 0.45	0.31 ± 0.01	36.28 ± 3.03
	60	2.15 ± 0.26	3.43 ± 0.22	0.43 ± 0.02	70.54 ± 0.95

การไมเกรทของ TAC, DBS, DINCH และ ESBO จากฝาโลหะขนาด 48 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิห้อง (30 °C) มีค่าเท่ากับ 1.06, 0.49, 0.19 และ 15.69 มิลลิกรัม ตามลำดับ เมื่อปะเก็นสัมผัสกับตัวแทนอาหารที่อุณหภูมิสูงขึ้นคือที่ 40, 60 °C พบว่าการไมเกรทของพลาสติกไซเซอร์จะเพิ่มขึ้น โดย ESBO จะไมเกรทเพิ่มขึ้น 1.9 เท่าที่ 40 °C และเพิ่มขึ้น 3.1 เท่าที่ 60 °C ขณะที่ TAC, DBS และ DINCH เพิ่มขึ้น 1.3 เท่าที่ 40 °C และ 1.8 เท่าที่ 60 °C และการไมเกรทของพลาสติกไซเซอร์จากฝาโลหะขนาด 63 มิลลิเมตรเป็นไปในทำนองเดียวกัน

อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะกระตุ้นให้โมเลกุลของพลาสติกไซเซอร์เคลื่อนที่ได้ดีขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วงเร่งให้พลาสติกไซเซอร์เคลื่อนที่ไปยังบริเวณผิวร่วมและเกิดการไมเกรทลงสู่ตัวแทนอาหารได้เพิ่มมากขึ้น

### 3. ผลของการพาสเจอร์ไรเซชันต่อการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์

การศึกษาผลของการพาสเจอร์ไรเซชันที่มีต่อการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ในตัวแทนอาหาร ศึกษาโดยการนำตัวแทนอาหารผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นให้ตัวแทนอาหารสัมผัสกับปะเก็นตลอดเวลาที่อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นระยะเวลานาน 30 วัน ผลการทดลองพบว่า ปริมาณของ TAC, DBS, DINCH และ ESBO เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 11



ภาพที่ 16 การไมเกรทของ ESBO ในตัวแทนอาหารที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 1 ชั่วโมง จากฝาโลหะขนาด 48 มิลลิเมตร

จากภาพที่ 16 พบว่าการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์หลังจากผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันมีลักษณะที่แตกต่างจากการไมเกรทในสภาวะอื่นๆ การไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ภายหลังการพาสเจอร์ไรเซชันจะมีค่าสูงกว่าการไมเกรทที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรเซชัน เมื่อเวลาผ่านไปการไมเกรทที่เกิดขึ้นจะค่อนข้างคงที่ เห็นได้อย่างชัดเจนจากการไมเกรทของ ESBO ที่เวลา 6 ชั่วโมง ปริมาณของ ESBO ที่ไมเกรทภายหลังการพาสเจอร์ไรเซชันสูงกว่าการไมเกรทที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรเซชันประมาณ 6.9 เท่า เมื่อเวลาผ่านไปการไมเกรทจะลดลงเล็กน้อยและไม่มีการไมเกรทเพิ่มขึ้นอีก จนที่เวลาประมาณ 30 วันการไมเกรทของ ESBO ที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันมีค่าน้อยกว่าการไมเกรทที่ไม่ผ่านการพาสเจอร์ไรเซชันประมาณ 4.2 เท่า ภาพแสดงการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ชนิดอื่นๆ แสดงในภาพผนวกภาพที่ 1 – 8

การไมเกรทที่เพิ่มขึ้นอย่างมากช่วงเริ่มต้น เป็นผลมาจากความร้อนที่ได้รับเมื่อตัวแทนอาหารสัมผัสกับปะเก็นจะไปเร่งให้พลาสติกไซเซออร์เคลื่อนที่ออกมายังบริเวณผิวร่วมและไมเกรทหลงไปยังตัวแทนอาหารเพิ่มมากขึ้น การไมเกรทที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดชั้นของ de-plasticized ชั้นที่บริเวณผิวร่วม ซึ่งจะไปกีดขวางการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ไปยังตัวแทนอาหาร ดังนั้นการไมเกรทจึงเกิดได้น้อยมากหรือไม่เกิดเพิ่มขึ้นอีก

ผลของการไมเกรทที่เกิดจากฝาโลหะขนาด 63 มิลลิเมตร เป็นไปในทำนองเดียวกันกับการไมเกรทของ พลาสติกไซเซออร์จากฝาขนาด 48 มิลลิเมตร โดยการไมเกรทที่เกิดจากฝาโลหะขนาด 63 มิลลิเมตรมีปริมาณสูงกว่าฝาโลหะขนาด 48 มิลลิเมตรประมาณ 2 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ในตัวแทนอาหารที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นระยะเวลา 30 วัน จากตัวอย่างโลหะขนาด 48 มิลลิเมตรและ 63 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ตัวอย่าง	พลาสติกไซเซออร์	ปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ที่ไมเกรทหลงสู่ตัวแทนอาหาร ณ เวลาต่างๆ (มิลลิกรัม)				
		6 ชั่วโมง	5 วัน	10 วัน	15 วัน	30 วัน
ฝาโลหะขนาด 48 มิลลิเมตร	TAC	1.09 ± 0.42	1.01 ± 0.39	0.92 ± 0.38	0.95 ± 0.30	0.89 ± 0.31
	DBS	0.26 ± 0.03	0.21 ± 0.02	0.25 ± 0.03	0.28 ± 0.04	0.38 ± 0.09
	DINCH	0.09 ± 0.02	0.07 ± 0.03	0.07 ± 0.03	0.08 ± 0.03	0.06 ± 0.03
	ESBO	6.00 ± 1.30	6.20 ± 1.50	5.67 ± 0.15	5.87 ± 1.11	6.38 ± 0.33
ฝาโลหะขนาด 63 มิลลิเมตร	TAC	0.98 ± 0.06	1.00 ± 0.09	1.07 ± 0.07	1.27 ± 0.07	1.32 ± 0.17
	DBS	0.73 ± 0.19	0.80 ± 0.13	1.16 ± 0.16	2.04 ± 0.13	2.30 ± 0.11
	DINCH	0.10 ± 0.03	0.10 ± 0.02	0.10 ± 0.04	0.13 ± 0.04	0.14 ± 0.02
	ESBO	8.50 ± 0.90	9.10 ± 0.90	9.50 ± 4.76	12.50 ± 8.22	14.90 ± 0.98

#### 4. ขนาดพื้นที่สัมผัสต่อการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์

จากผลการศึกษาการไมเกรทที่ผ่านมาย่างค้น ได้มีการศึกษาการไมเกรทที่เกิดขึ้นจากฝาโลหะขนาด 48 และ 63 มิลลิเมตร พบว่าการไมเกรทที่เกิดขึ้นจากตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดนี้มีความสอดคล้องเป็นไปในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณาพื้นที่สัมผัสของฝาโลหะกับขนาดของปะเก็นในส่วนที่สัมผัสกับตัวแทนอาหารพบว่า ฝาโลหะขนาด 48 มิลลิเมตร มีปริมาณของปะเก็นส่วนที่สัมผัสอาหารเท่ากับ 115 มิลลิกรัม คิดเป็นพื้นที่สัมผัส 2.71 ตารางเซนติเมตร ส่วนฝาโลหะขนาด 63 มิลลิเมตร มีปริมาณของปะเก็นส่วนที่สัมผัสอาหารเท่ากับ 230 มิลลิกรัม คิดเป็นพื้นที่สัมผัส 3.51 ตารางเซนติเมตร ผลการไมเกรทรวมของ พลาสติกไซเซออร์ตัวแทนอาหารเป็นดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ปริมาณพลาสติกไซเซออร์รวมที่ไมเกรทจากตัวอย่างฝาโลหะขนาด 48 และ 63 มิลลิเมตร ตามลำดับ

สภาวะการไมเกรท	ปริมาณพลาสติกไซเซออร์รวมที่ไมเกรทลงสู่ตัวแทนอาหารจากตัวอย่างฝาโลหะ (มิลลิกรัม)		
	48 มม.	63 มม.	
ที่อุณหภูมิห้อง (30 °C)	6 ชั่วโมง	2.00	3.55
	5 วัน	12.66	18.87
	10 วัน	17.43	28.07
	15 วัน	21.05	46.07
	30 วัน	29.46	60.44
ที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชัน (100 °C นาน 1 ชั่วโมง)	6 ชั่วโมง	7.68	10.31
	5 วัน	7.70	11.00
	10 วัน	7.12	11.83
	15 วัน	7.18	15.94
ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 10 วัน	30 °C	7.71	18.66
	40 °C	17.43	28.07
	60 °C	31.77	40.73
		52.37	76.55

ผลการไมเกรทที่เกิดขึ้นกับฝาโลหะขนาด 48 มิลลิเมตรจะมีปริมาณน้อยกว่าฝาโลหะขนาด 63 มิลลิเมตร ประมาณ 2 เท่า เนื่องจากพื้นที่สัมผัสที่มากขึ้น จึงทำให้มีพื้นที่ที่พลาสติกไซเซออร์จะสัมผัสกับ

ตัวแทนอาหารที่บริเวณผิวสัมผัสร่วม ได้มากขึ้น ปริมาณการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ในตัวแทนอาหารจึงเพิ่มขึ้นด้วย

### สรุปผลการทดลอง

การไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์จากปะเก็นรองฝาโลหะของขวดแก้วสามารถทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลองการไมเกรทที่ได้มีการกำหนดสถานะขึ้น เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ในตัวแทนอาหาร ได้แก่ ระยะเวลา อุณหภูมิ ความร้อนจากกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันและพื้นที่สัมผัส การวิเคราะห์พลาสติกไซเซออร์ที่เป็นองค์ประกอบในปะเก็นด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าปะเก็นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยพลาสติกไซเซออร์ 4 ชนิด ได้แก่ อีพอกซีไคซ์ซอxygenบีนออยล์ (ESBO), ไตรอะซิติก (TAC) ไดบิวทิลเซบาแคต (DBS) และไดไมโซโนนิลไซโคลเฮกเซนไดคาร์บอกซิเลต (DINCH) และผลจากการวิเคราะห์ปริมาณพลาสติกไซเซออร์ในตัวแทนอาหารแสดงให้เห็นว่าปริมาณการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์จะแตกต่างกันตามสถานะที่ได้มีการจำลองขึ้น

การไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์เกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันระหว่างปะเก็นกับตัวแทนอาหารและเมื่อเพิ่มระยะเวลาการสัมผัสให้นานขึ้นปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ที่ไมเกรทจะเพิ่มขึ้นด้วย ESBO เป็นพลาสติกไซเซออร์ที่มีปริมาณการไมเกรทสูงกว่าพลาสติกไซเซออร์อื่นๆ และการไมเกรทของ TAC DBS และ DINCH จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ อุณหภูมิที่ได้รับระหว่างที่มีการสัมผัสกันของปะเก็นกับตัวแทนอาหารส่งผลต่อปริมาณการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ เนื่องจากความร้อนจะไปช่วยเร่งให้พลาสติกไซเซออร์เกิดการเคลื่อนที่มายังบริเวณผิวสัมผัสร่วมได้เร็วและไมเกรทลงไปยังตัวแทนอาหารได้มากขึ้นด้วย ขณะที่ความร้อนจากกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันจะช่วงเร่งให้พลาสติกไซเซออร์เคลื่อนที่มายังผิวร่วมได้มากขึ้นแต่จะทำให้เกิดขึ้น de-plasticized ขึ้นที่บริเวณผิวร่วมด้วยซึ่งจะไปชะลอการไมเกรทและเมื่อเวลาผ่านไปการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์จะลดลงหรืออาจไม่เกิดการไมเกรทเพิ่มขึ้นอีก อย่างไรก็ตามการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์จะเกิดขึ้นได้อีกครั้งหลังจากที่มีการสัมผัสกันใหม่ระหว่างปะเก็นกับตัวแทนอาหาร นอกจากนี้การไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ยังขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่สัมผัสของปะเก็นกับตัวแทนอาหาร การเพิ่มพื้นที่สัมผัสจึงเป็นการเพิ่มโอกาสการไมเกรทของพลาสติกไซเซออร์ลงไปยังตัวแทนอาหาร ปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่ไมเกรทจึงเพิ่มขึ้นด้วย

จากงานวิจัยนี้จึงอาจเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาวิธีการและกระบวนการในการบรรจุภัณฑ์อาหาร เพื่อช่วยในการลดความเสี่ยงอันจะเกิดขึ้นกับผู้บริโภคที่ได้รับสารเคมีที่ปนเปื้อนออกมาจากบรรจุภัณฑ์อาหาร และลดความเสียหายที่จะเกิดกับผู้ผลิตหากปริมาณการปนเปื้อนในอาหารถูกตรวจพบและมีปริมาณเกินกว่าที่ข้อกำหนดของประเทศผู้ค้าด้วย



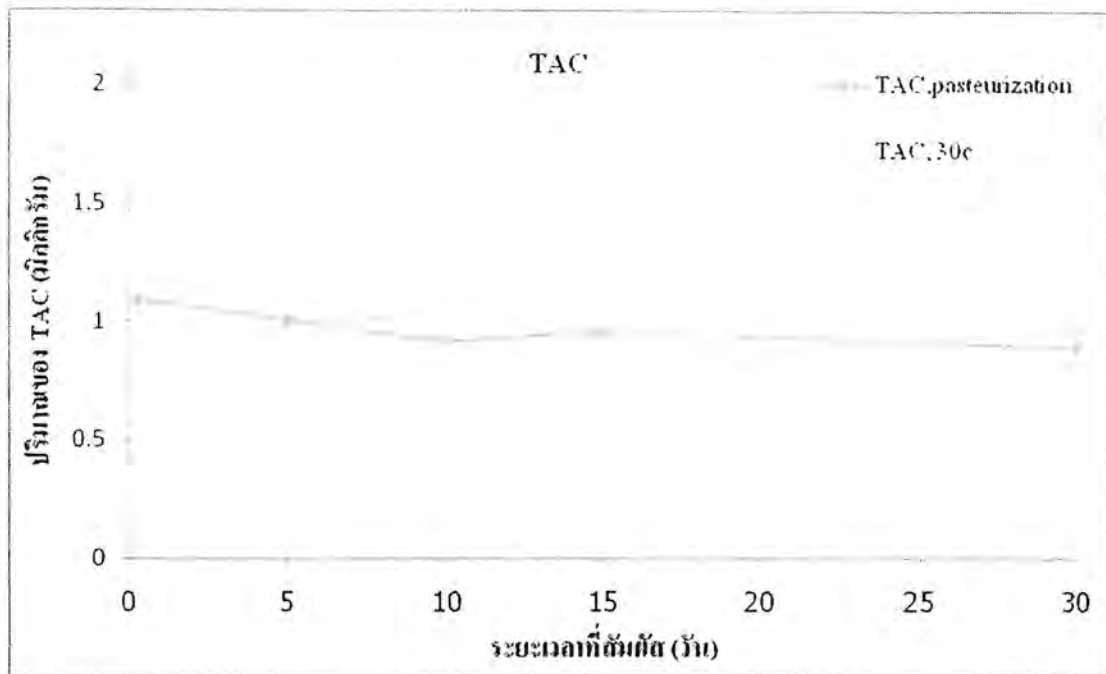
## เอกสารอ้างอิง

1. Epoxidized soybean oil (ESBO) migrating from the gaskets of lids into food packed in glass jars. Fankhauser-Noti. A., Fiselier. K., Biedermann-Brem. S., Biedermann. M., Grob. K., Armellini. F., Rieger. K., Skjeveak. I. *Eur. Food Technol.* 2005 (221) 416 – 422.
2. Compositional GC-FID analysis of the additives to PVC, focusing on the gaskets of lids for glass jars. Biedermann-Brem. S., Biedermann. M., Fiselier. K., and Grob. K. *Food Addit. and Contam.* 2005 (22) 1274 – 1284.
3. PVC plasticizers/additives migrating from the gasket of metal closure into oily food: Swiss market survey June 2005. Fankhauser-Noti. A., Biedermann-Brem. S. and Grob. K. *Eur. Food Technol.* 2006 (223) 447 – 453.
4. Migration of monomeric and polymeric PVC plasticizers. Hakkarainen. M. *Adv. Polym Sci.* 2008 (211) 159 – 185.
5. Analytical screening of polyadipates and other plasticizers in poly(vinyl chloride) gasket seals and in fatty food by gas chromatography-mass spectrometry. Ezerkis. Z., Morkunas. V., Suman. M., and Simoneau. C. *Anal Chim Acta.* 2007 (604) 29 – 38.
6. Migration of plasticizers from PVC gaskets of lids for glass jars into oily foods: Amount of gasket material in food contact, proportion of plasticizer migrating into food and compliance testing by simulation. Fankhauser-Noti. A., Grob. K. *Trends in Food Science and Technology.* 2006 (17) 105 – 112.
7. Migrability of PVC plasticizers. Marcilla. A., Garcia. S. and Garcia-Quesada. *Polymer Testing.* 2008 (27) 221 – 233.
8. Migration of substances from food packaging material to foods. Arvanitoyannis, I.S. and Bosnea, L. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 2004 (44) 63 – 75.
9. Contamination in food from packaging material. Lau, O. W., Wong, S.K. *Review: Journal of Chromatogr A.* 2000 (882) 255 – 270.
10. Evaluation of migration models that might be used in support of regulations for food-contact plastic. Begly. T, Castle. L., et at. *Food Addit. and Contaminants.* 2005 (22) 73 – 90.
11. Commission of the European Communities, Directive 82/711/EEC Laying down the basic rules of necessary for testing migration of the constituents of plastic material and articles intended to come into contact with foodstuffs, 18 October 1982.

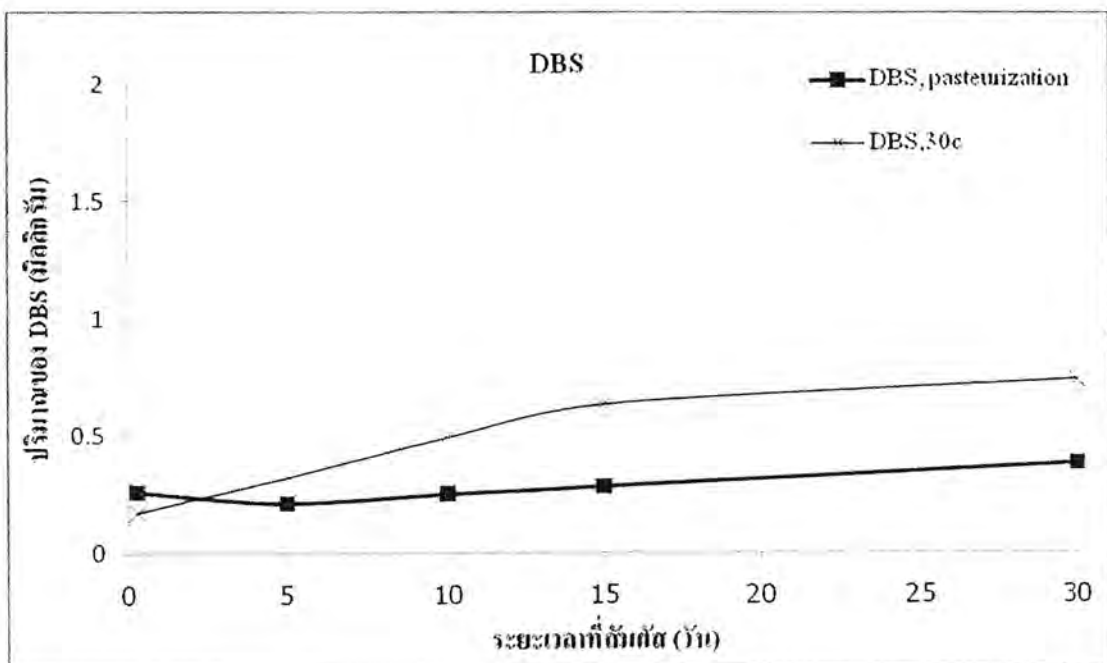
12. Commission of the European Communities, Directive 85/572/EEC Laying down the basic rules of necessary for testing migration of the constituents of plastic material and articles intended to come into contact with foodstuffs, 19 December 1985.
13. Commission of the European Communities, Directive 82/711/EEC Amending Directive 2002/70/EC relating to plastic materials and articles intended to come into contact with food and Council Directive 85/572/EEC laying down the list of stimulants to be used for testing migration of constituents of plastic materials and articles intended to come into contact with foodstuffs, 30 March 2007.



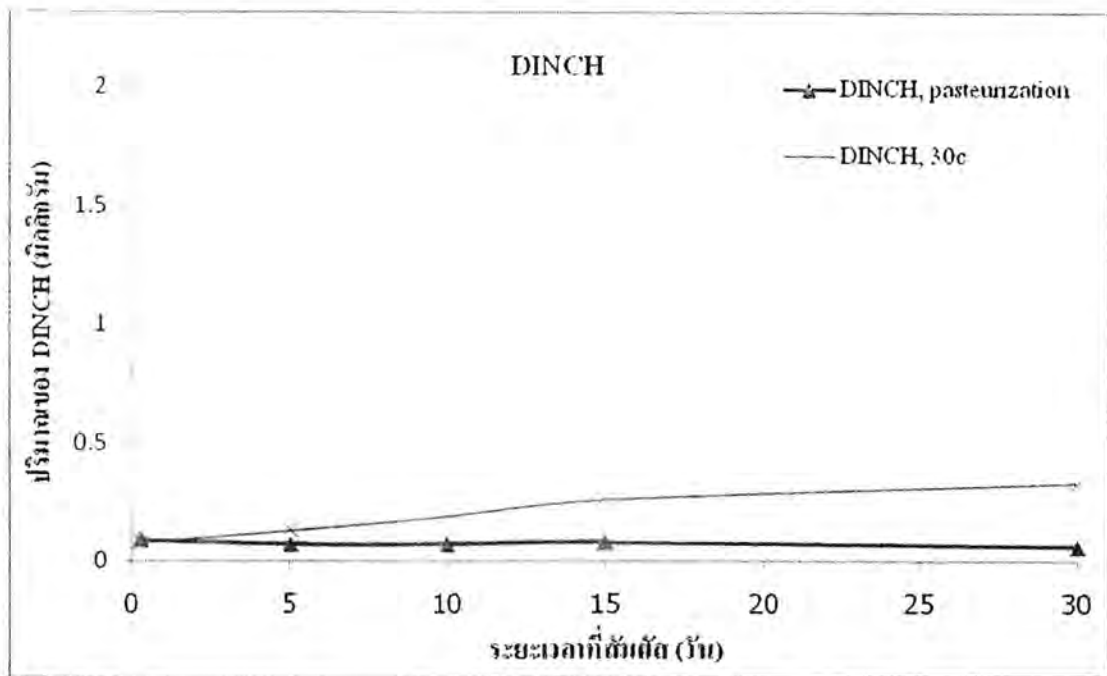
## ภาคผนวก



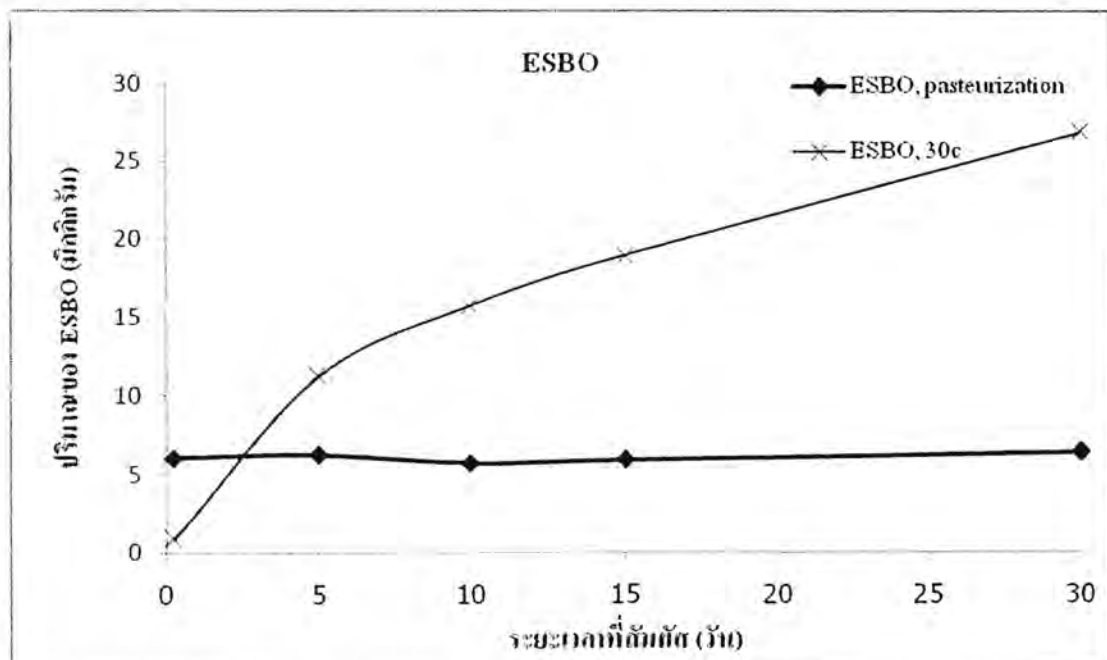
ภาพที่ 1 การไม่เกรทของ TAC ในตัวแทนอาหารที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 1 ชั่วโมง จากฝาขนาด 48 มิลลิเมตร



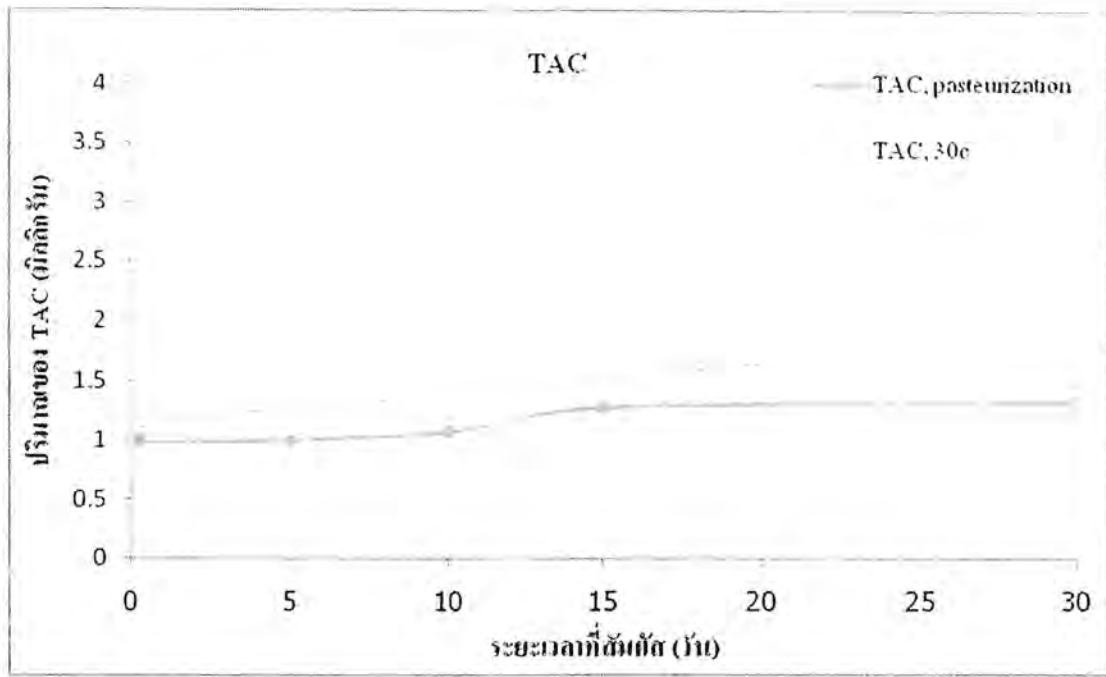
ภาพที่ 2 การไม่เกรทของ DBS ในตัวแทนอาหารที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 1 ชั่วโมง จากฝาขนาด 48 มิลลิเมตร



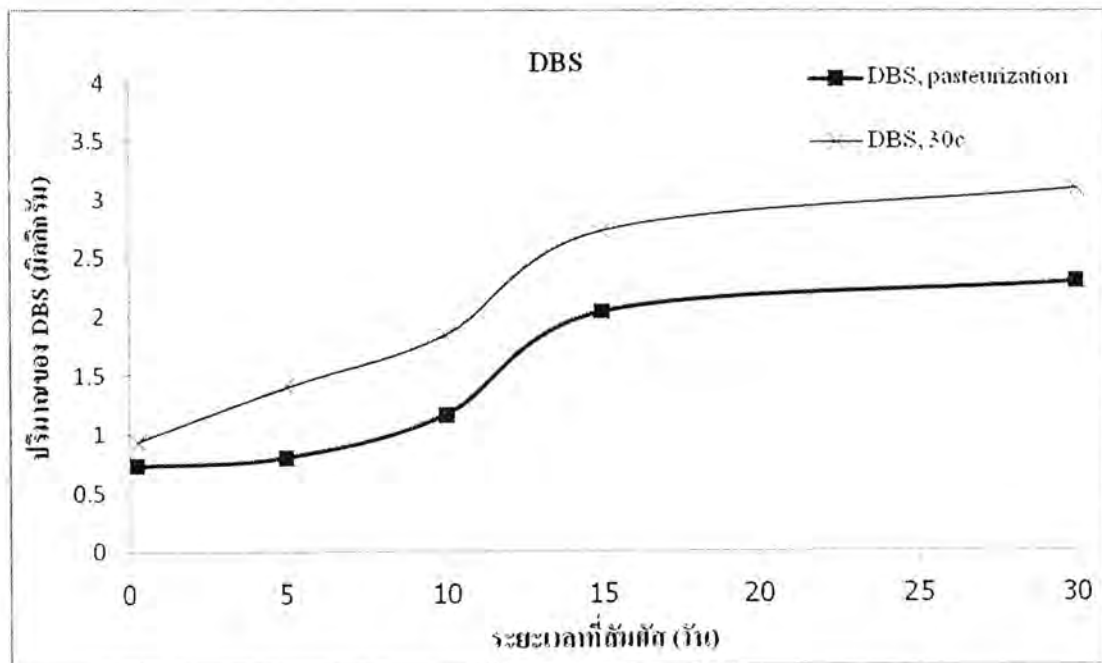
ภาพที่ 3 การไมเกรทของ DINCH ในตัวแทนอาหารที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 1 ชั่วโมง จากฝาขนาด 48 มิลลิเมตร



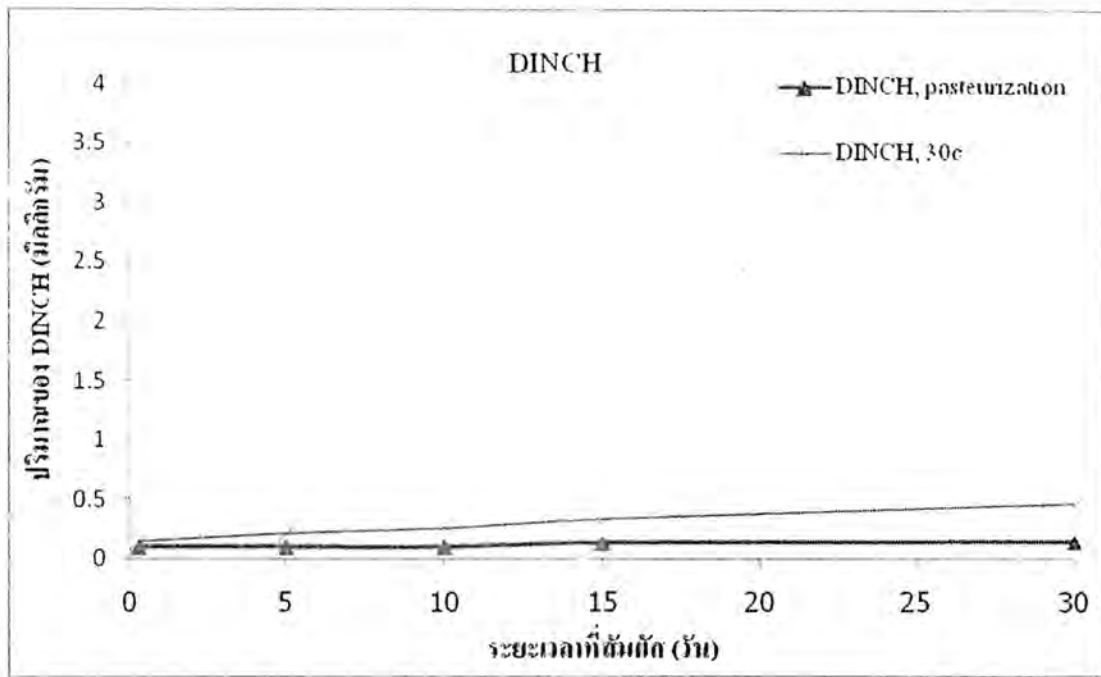
ภาพที่ 4 การไมเกรทของ ESBO ในตัวแทนอาหารที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 1 ชั่วโมง จากฝาขนาด 48 มิลลิเมตร



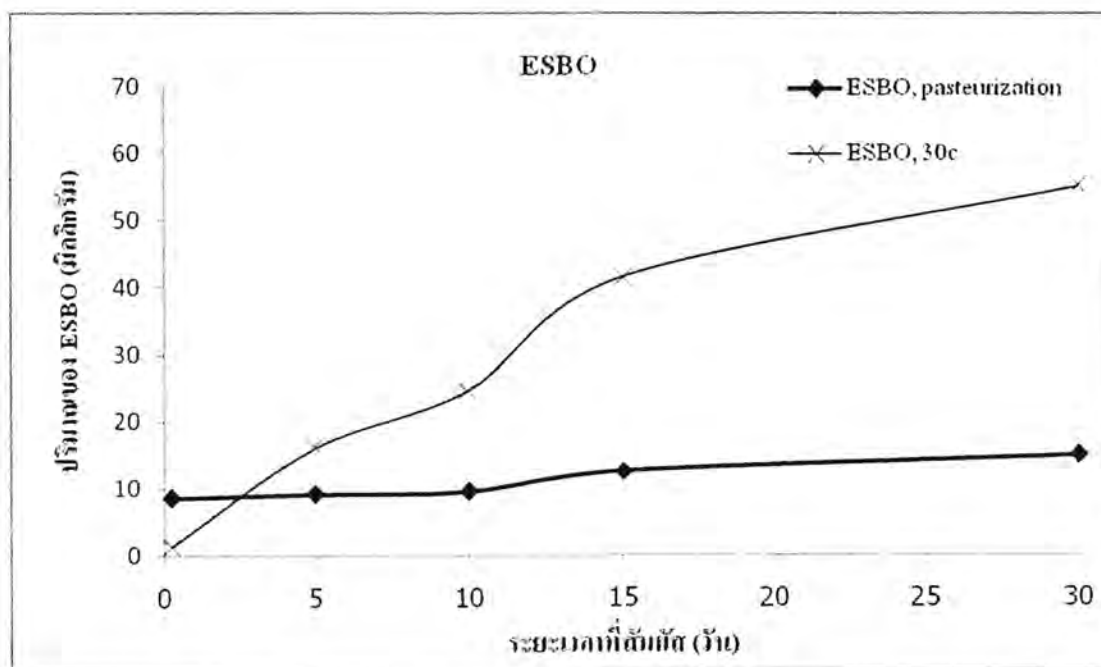
ภาพที่ 5 การไม่เกรทของ TAC ในตัวแทนอาหารที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 1 ชั่วโมง จากฝาขนาด 63 มิลลิเมตร



ภาพที่ 6 การไม่เกรทของ DBS ในตัวแทนอาหารที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 1 ชั่วโมง จากฝาขนาด 63 มิลลิเมตร



ภาพที่ 7 การไมเกรทของ DINCH ในตัวแทนอาหารที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 1 ชั่วโมง จากฝาขนาด 63 มิลลิเมตร



ภาพที่ 8 การไมเกรทของ ESBO ในตัวแทนอาหารที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชันที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 1 ชั่วโมง จากฝาขนาด 63 มิลลิเมตร

## ประวัติคณะวิจัย

## ผู้ร่วมวิจัย -1

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มล. ศิริพัศตร์ ไชยันต์

Assistant Professor M.L. Siripastr Jayanta

สถานที่ติดต่อ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ห้อง 1228/1 อาคารมหาทกฏ  
ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330  
โทรศัพท์ (02) 2187610 โทรสาร (02) 6712288  
E-mail: siripastr.ja@chula.ac.th

เลขหมายประจำตัวประชาชน 3 1009 000182 09 5

### การศึกษา

- 2526 วท.บ. (เคมี) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 2529 M.Sc. (Analytical Chemistry) California Polytechnic State University at San Obispo, California, U.S.A.
- 2534 M.Sc. (Physical Chemistry) State of University of New York at Stony Brook, New York, U.S.A.

### สาขาวิชาที่ชำนาญพิเศษ:

- การแยกสารและโครมาโทกราฟี (Separation and Chromatography)
- การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ใหม่และการประเมินความเชื่อถือได้ของวิธีการวิเคราะห์ (Method development and validation)
- การประเมิน stability และ shelf-life ของยาตามข้อกำหนด NDA – ANDA
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่และกระบวนการ scale – up
- ขงธรรมชาติด้านการผลิตน้ำยางข้น การขึ้นสูตรน้ำยาง กระบวนการจุ่มผลิตภัณฑ์ การผลิตวัสดุใหม่จากขงธรรมชาติ
- ระบบคุณภาพอุตสาหกรรม (Quality system)
- การประยุกต์ทางเคมีเพื่อความยั่งยืน (Green Chemistry) ทางอุตสาหกรรมและความปลอดภัยทางเคมี
- เทคนิคการเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

งานวิจัยที่ดำเนินการไปแล้ว:

เรื่องที่ 1 การพัฒนาวิธีวิเคราะห์พิวรีนนิวคลีโอไทด์ในไขหอยเม่นไทยโดยเทคนิค GPC

แหล่งทุน: OECF และ โครงการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเผยแพร่: • Phocharoen, S. Jayanta, O. Chailapakul, T. Shiri. GPC Method Development for Determination Purine Nucleotides in Thai Sea Urchin Rose. Poster, International Conference & Exhibition on Pure and Applied Chemistry 2002 (PACCON), Bangkok, Thailand.



**เรื่องที่ 2** การผลิตสวาททดแทนไขมันสำหรับอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำจากโปรตีนถั่วเขียว

**แหล่งทุน:** จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและกองทุนเพื่อการวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตร – อุตสาหกรรมอาหารของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**การเผยแพร่:**

- Sirikulchayanont, P. Pradeprasena, S. Jayanta. Production of Fat Replacer for Oil in Water Emulsion From Mungbean Protein. Poster, International Conference & Exhibition on Pure and Applied Chemistry 2002 (PACCON), Bangkok, Thailand.
- P. Sirikulchayanont, S. Jayanta. , P. Pradeprasena. Characteristics of Microparticulated particles from Mung Bean Protein, International Journal of Food Properties, Volume 10, 3 July 2007, pages 621-630.

**เรื่องที่ 3** การวิเคราะห์หระกับการปนเปื้อนของสารบิสฟีนอล-เอ-ไดโกลซิดิลอีเธอร์ บิสฟีนอล-เอฟ-ไดโกลซิดิลอีเธอร์และ สารอนุพันธ์ที่เกี่ยวข้องจากสารเคลือบกระป๋องในอาหารกระป๋องประเภทน้ำมันที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย

**แหล่งทุน:** จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**การเผยแพร่:**

- N. Leepipatpiboon, W. Somboonsup, O Khow, S. Pungboonlue, N. Kulkaew, Contamination of Coatings in Canned Foods Manufactured in Thailand: Determination by HPLC, Full manuscript presented at Thaifex & Halfex 2004, the 6<sup>th</sup> Argo-Industry Conference, Food Safety: Thai Strategies Towards the World's Kitchen, May 28-29, 2004, Impact, Muang Thong Thani, Bangkok, Thailand.
- N. Leepipatpiboon, S. Jayanta, O. Khow, W. Somboonsup. Determination of Bisphenol-A-Diglycidyl Ether, Bisphenol-F-Diglycidyl Ether and Certain Derivatives in Oil-based Foods, Oral Presentation, 29<sup>th</sup> Congress on Science and Technology of Thailand, Khom Kean, Thailand, October 2003.

**เรื่องที่ 4** การตรวจหาการปนเปื้อนของสารบิสฟีนอล-เอ-ไดโกลซิดิลอีเธอร์ บิสฟีนอล-เอฟ-ไดโกลซิดิลอีเธอร์ และสาร อนุพันธ์ในอาหารกระป๋องประเภทน้ำผสมน้ำมันและประเภทน้ำที่ผลิตในประเทศไทย

**แหล่งทุน:** จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

**การเผยแพร่:**

- N. Leepipatpiboon, W. Somboonsup, O Khow, S. Jayanta. Isolation and Characterization of Bisphenol-F-Diglycidyl Ether Derivatives. Poster, 29<sup>th</sup> Congress on Science and Technology of Thailand, Khom Kean, Thailand, October 2003.
- N. Leepipatpiboon, S. Jayanta, W. Somboonsup, O Khow. Determination of Bisphenol-A-Diglycidyl Ether, Bisphenol-F-Diglycidyl Ether and Their Hydroxy and Chlorohydroxy Derivatives. Poster, 29<sup>th</sup> Congress on Science and Technology of Thailand, Khom Kean, Thailand, October 2003.
- N. Leepipatpiboon, O. Khow and S. Jayanta. Simultaneous Determination of BADGE, BFDGE, and Their Derivatives in Oil-In-Water and Aqueous-Based Canned Foods by HPLC with Fluorescence Detection, J. Chromatogr A, 1073 (2005) 331-339.

**งานวิจัยที่ดำเนินการไปแล้ว:**

**เรื่องที่ 1** การวิเคราะห์โปรตีน กรดอะมิโน ทอกซินแบะสารยั้งั้งโภชนาการ ในพืชเกษตรกรรมของจังหวัดน่าน

**แหล่งทุน** ทุนอุดหนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2548-2550

- เรื่องที่ 2  
แหล่งทุน การสกัดและการดัดแปร โปรตีนจากพืชเกษตรกรรมของจังหวัดน่านเพื่อใช้ในประโยชน์เชิงอุตสาหกรรม  
ทุนอุดหนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2548-2550
- เรื่องที่ 3  
แหล่งทุน การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในอาหาร โดยการทำอนุพันธ์แบบก่อนเข้าคอลัมน์กับ 6-aminoquinoline-N-hydroxy-succinimyl carbamate ด้วยเทคนิครีเวอร์สเฟสโครมาโทกราฟี  
งบประมาณแผ่นดินในชุดโครงการวิจัยเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตร-อุตสาหกรรมอาหาร ปี 2544-2546
- เรื่องที่ 4  
แหล่งทุน การสำรวจการปนเปื้อนจากสารเคลือบกระป๋องในอาหารกระป๋องที่จำหน่ายในประเทศไทยโดยเทคนิค HPLC-FLD, ATR-FTIR และ LC-MS  
โครงการการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- เรื่องที่ 5  
แหล่งทุน การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกลิ่นและรสในน้ำนมโค  
งบประมาณแผ่นดิน  
การเผยแพร่:
  - U. Koesukwiwat, S. Jayanta, and N. Leepipatpiboon. Simultaneous Extraction and Determination of Sulfonamides, Tetracyclines and Pyrimethamine in Cow Milk by LC-MS. Poster, ISC 2006, Copenhagen, Denmark, 21-25 August 2006.
  - U. Koesukwiwat, S. Jayanta, and N. Leepipatpiboon. Validation of a Liquid Chromatography- Mass spectrometry Multi-residue Method for the simultaneous Determination of Sulfonamides, Tetracyclines and Pyrimethamine in Milk. J. Chromatogr A, 1140 (2007) 147-156.
  - U. Koesukwiwat, S. Jayanta, and N. Leepipatpiboon. Validation of a Liquid Chromatography- Mass spectrometry Multi-residue Method for the simultaneous Determination of Sulfonamides, Tetracyclines and Pyrimethamine in Bovine's Milk. J. Chromatogr A, 1140 (2007) 102-111.
- เรื่องที่ 6  
แหล่งทุน การเคลื่อนย้ายของพลาสติกไซเซอรจากปะเก็นรองฝาโลหะของขวดแก้วสุ้อาหาร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยปี 2550
- เรื่องที่ 7  
แหล่งทุน การพัฒนาวิธีวิเคราะห์เพื่อประเมินการปนเปื้อนจากบรรจุภัณฑ์อาหาร  
งบประมาณแผ่นดินปี 2550-2551 และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ผู้ร่วมวิจัย -2

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐชนัน ลีพิพัฒน์ไพบูลย์

Assistant Professor Dr. Natchanun Leepipatpiboon

---

### Contact Information:

Department of Chemistry, Faculty of Science  
Chulalongkorn University  
Phayathai Road, Patumwan  
Bangkok 10330, THAILAND

**Office:** Mahamakut Building

**Tel:** 02-2187608

**Fax:** 02-2187598

**E-mail:** Natchanun.l@chula.ac.th

### Teaching / Research Field:

Analytical Chemistry

### Research Unit:

Chromatography and Separation Research Unit

### Current Research Topics:

- Hyphenated Techniques
- Separation Sciences
- Trace analysis
- Sample preparation

### Education:

1981 B.Sc. (Chemistry), Mahidol University, THAILAND

1984 M.Sc. (Analytical Chemistry) Chulalongkorn University, THAILAND

1987 Dr.rer.nat (Analytical Chemistry) University of Innsbruck, AUSTRIA

### Scholarship and Awards:

- Aug – Sep 2006** Fellowship under Thailand-Japan Technology Transfer Project (TJTTP-JBIC): Bioremediation Research “Chemical Analysis of Transgenic *Ipomoea aquatica* harbouring serine acetyltransferase and cysteine synthase genes grown under stress conditions.” at Nara Institute of Science and Technology, Nara, Japan
- Jun – Aug 2005** Fellowship under Thailand-Japan Technology Transfer Project (TJTTP-JBIC): Bioremediation Research “Sulfate Phytoremediation through Transgenic *Ipomoea Aquatica*” at Nara Institute of Science and Technology, Nara, Japan

- 12 Sep-7 Oct 2005 Participant Fellowship from Human Resources Development and Nuclear Technology in FAO/IAEA Training Workshop "Introduction to Quality Assurance / Quality Control Measures in Pesticide Residue Analytical Laboratories" at Siebendorf Laboratory and Vienna, AUSTRIA
- Oct – Dec 2000 Fellowship under Thailand-Japan Technology Transfer Project (TJTTP-JBIC): "Technique on Food and Drug Analysis." at Tokyo Metropolitan research laboratory of Public Health, Tokyo, Japan
- Jan – Dec 1999 Research fellowship on "Reference Material and Isotope Dilution Mass Spectrometry" at Swiss Federal Laboratory Testing and Research, St.Gallen Switzerland
- May – June 1990 Research fellowship on "Chromatographic Techniques", University of Massachusetts Lowell, Lowell, USA
- 28 Feb-1 Mar, 2005 Training course on "Estimation of Measurement Uncertainty in Routine Analysis." National Measurement Institute, Australia and Internal Institute of Metrology (Thailand)
- 2004 Training Course on "Radio Protection Course Level I", Office of Atoms for Peace, Ministry of Science and Technology,
- March 01-04, 2004 Training Course on advance LC-MS techniques at Raleigh North Carolina, USA
- 2004 Practical Training on "Dioxin and Furan Analysis" at Pace Analytical (EPA's Dioxin Contact Laboratory Program and UNEP's Global Laboratory Network), Minneapolis, Minnesota, USA
- 2001 Training course on Advance HPLC Research and Development, Atlanta, USA
- 11-13 Dec 2001 Training Course on Method Validation at LGC, Laboratory of Government Chemist, United Kingdom ,
- 17-19 Nov, 1999 Training course on "Measurement Uncertainty" Swiss Federal Laboratory Testing and Research, St.Gallen, Switzerland ,
- 1999 Training on "Dioxin Analysis" at Swiss Federal Laboratory Testing and Research at Duebendorf, Switzerland
- 1988 Special Course on "Chemical Industry" at BASF Ludwighafen, Germany
- 1987 Training on "Electro analytical Chemistry", at Metrohm Company Ltd., Herisau, Switzerland

**Special Position & Extra Works:**

- 18 Sep-6 Oct 2006 Invited Lecturer on "Liquid Chromatography/Mass Spectrometry" both Lecture and Practical in FAO/IAEA Training Workshop "Introduction to Quality Assurance / Quality Control Measures in Pesticide Residue Analytical Laboratories" at Siebendorf Laboratory and Vienna, AUSTRIA
- 2003-present Co-instructor on "Environmental Analysis" course, Doctor of Philosophy Program on Environmental Management
- 1998-present Sub-committee in Interdepartmental Program of Master of Science Program in environmental Science
- 2002-2006 Guest Lecturer on "Analytical Method in Food Toxicology" Department of Food and Nutrition Toxicology, Institute of Nutrition, Mahidol University.
- 2003-present Sub-committee on Food and Nutrition of National Agency Atoms for Peace, Office of Atoms for Peace, Ministry of Science and Technology

- 2003-present** Special Lecturer on “Professional Chemical Analysis” Department of Science Service, Ministry of Science and Technology.
- 2005-present** Special Lecturer on “Professional Chemical Analysis on Chromatography” Department of Science Service, Ministry of Science and Technology.
- 2001-2004** Special Lecturer under Worldbank Training Project on “Instrumental Analysis : GC, HPLC, GC-MS, LC-MS.”
- 2003** Technical Consultant in subcommittee of Method Development and National Testing Method, Department of Medical Science, Ministry of Public Health.
- 2002** Special Lecturer on “Training of Trainers Workshop on Pesticide Laws” organized by UN ESCAP at Rangoon, Myanmar

**Publications:**

- 1) Montra Piriypittaya, Siripastr Jayanta, Somenath Mitra, **Natchanun Leepipatpiboon\*** “Micro-scale membrane extraction of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in water followed by high-performance liquid chromatography and post-column derivatization with fluorescence detector “ **2008 J.Chromatogr.A**, 1189, 219-225.
- 2) Parichart Moontongchoon, Supachitra Chadchawan, **Natchanun Leepipatpiboon**, Ancharida Akaracharanya, Atsuhiko Shinmyo, Hiroshi Sano, “Cadmium-tolerance of transgenic *Ipomoea aquatica* expressing serine acetyltransferase and cysteine synthase.” **2008** , Plant Biotechnology 25, 201-203.
- 3) Kieatsuda Poouthree, Warura Soonthornantikul, **Natchanun Leepipatpiboon**, Amorn Petsom, Thumnoon Nhujak\*, “ Comparison of resolution in microemulsion electrokinetic chromatography and micellar electrokinetic chromatography employing suppressed electroosmosis: application to bisphenol-A-diglycidyl ether and its derivatives .”, **2007**, Electrophoresis, 28, 3705-3711
- 4) Urairat Koesukwiat, Siripastr Jayanta and **Natchanun Leepipatpiboon\***, “Solid-Phase Extraction for Multi-Residue Determination of Sulfonamides, Tetracyclines, and Pyrimethamine in Bovine’s Milk.” *J.Chromatogr.A* 1149(**2007**) 102-111
- 5) Urairat Koesukwiat, Siripastr Jayanta and **Natchanun Leepipatpiboon\***, “Validation of a Liquid Chromatography-Mass Spectrometry Multi-Residue Method for the Simultaneous Determination of Sulfonamides, Tetracyclines, and Pyrimethamine in Milk.” *J.Chromatogr.A*, 1140 (**2007**) 147-156
- 6) Kieatsuda Poouthree, **Natchanun Leepipatpiboon**, Amorn Petsom, Thumnoon Nhujak\*, “ Retention factor and retention index of homologous series compounds in microemulsion electrokinetic chromatography employing suppressed electroosmosis.”, *Electrophoresis*, **2007**, 28, 767-778
- 7) Thaniyavarn J, Chongchin A, Wanitsuksombut N, Thaniyavarn S, Pinphanichakarn P, **Leepipatpiboon N**, Morikawa M, Kanaya S., “Biosurfactant production by *Pseudomonas aeruginosa* A41 using palm oil as carbon source.” *J Gen Appl Microbiol.* 52(4): 215-22, **2006**



- 8) Jomkhwan Meerak, Ancharida Akaracharanya, **Natchanun Leepipatpiboon**, Supachitra Chadchawan, Pulla Kaothein-Nakayama, Atsuhiko Shinmyo, Hiroshi Sano, "Simultaneous expression of serine acetyltransferase and cysteine synthase results in enhanced sulfate uptake and increased biomass in *Ipomoea aquatica*" *Plant Biotechnology* 23, 185-189 (2006)
- 9) Angkana phokrai, Ancharida Akaracharanya, Supat Chareonpompwattana, **Natchanun Leepipatpiboon**, Tatsuo Nakamura, Yube Yamaguchi, Atsuhiko Shinmyo, Hiroshi Sano, "Sulfate Phytoremediation through Transgenic *Ipomoea aquatica* Forsk. Harbouring Rice (*Oryza sativa* L.) Cysteine Synthase Gene", *J.Sci.Res.Chula.Univ.*31:1,(2006)
- 10) **N. Leepipatpiboon\***, O. Sae-Khow and S. Jayanta "Simultaneous determination of bisphenol-A-diglycidyl ether, bisphenol-F-diglycidyl ether, and their derivatives in oil-in-water and aqueous-based canned foods by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection" *Journal of Chromatography A* 1073 (2005), 331-339.
- 11) N. Sakulkoo, A. Akaracharanya, S. Chareonpompwattana, **N. Leepipatpiboon**, T. Nakamura, Y. Yamaguchi, A. Shinmyo, H. Sano "Hyper assimilation of sulfate and tolerance to sulfide and cadmium in transgenic water spinach expressing an *Arabidopsis* adenosine phosphosulfate reductase" *Plant Biotechnology* 22 (2005) 27-32.
- 12) G.Fortunato, **V.Leepipatpiboon**, Ch.Bissig, Ch.Moor and S.Wunderli, "Zinc and Tin as Primary Materials to Achieve Traceability of Calibration Standard to the SI." *Chimia*, 53(1999) N0 7/8 331.
- 13) Wunderli, S., Fortunato, G., Bissig, Ch. And **Leepipatpiboon, V.**, "From Pure Metals to Certified Isotopic Reference Materials." *Journal of Chinese Mass Spectrometry Soc.*, special 20 (1999) 3-4.
- 14) **V. Leepipatpiboon** "Trace Enrichment by Solid-Phase Extraction for the Analysis of Heavy Metals in Water" *Journal of Chromatography A*, 697 (1995), 137-143.

**Patent:**

Teeraphat Srinorakutara, Wichian Kijprechawanich, Ancharida Akaracharanya, **Natchanun Leepipatpiboon**, Sarun Techasaen, Bundit Fungsin, Witsanu Punpan, Loxley Public Company Limited, Office of the Permanent Secretary for Defence .

**Thai Patent :**

"New Process and Optimum Conditions of Sugar Production From Cassava Wastes (Pulps) For Use as an Alternative Raw Material on Ethanol Production" Application Number:0701001583 Application Date: 2 April 2007

### ผู้ร่วมวิจัย -3

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงหทัย เพ็ญตระกูล  
Assistant Professor Dr. Duanghathai Pentrakoon

สถานที่ติดต่อ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330  
โทรศัพท์ (02) 2185544-6 โทรสาร (02) 2185561  
E-mail: duanghat@sc.chula.ac.th

เลขหมายประจำตัวประชาชน 3 1001 00741 36 7

#### การศึกษา

- 2536 B.Sc. (Polymer Science and Technology) Manchester Materials Science Centre, University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST), U.K.
- 2538 M.Sc. (Polymer Science and Technology) Manchester Materials Science Centre, University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST), U.K.
- 2542 Ph.D. (Polymer Science and Technology) Manchester Materials Science Centre, University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST), U.K.

#### การทำงาน

- พ.ศ. - พ.ศ. 2542 ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวางแผนและพัฒนา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 2548 - 2550 ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายบริการวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 2543 - ปัจจุบัน อาจารย์ระดับ 8 ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### งานวิจัย

- 2536 *Plastics in Packaging* (B.Sc. project)
- 2537 *Interpretation of Structure and Properties of Phase-Separated Polymer Materials* (M.Sc. project)
- 2538 *Cushioning Behaviour of Polymeric Foams* (Ph.D. project)
- 2542 *ผลของเส้นใยเซลลูโลสต่อสมบัติเชิงกลของโฟมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ* (อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมงานวิจัยระดับปริญญาโท)
- 2543 *การสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของแป้งมันสำปะหลังและสไตรีนโดยวิธีพอลิเมอไรเซชันแบบฟรีแรดิคัล* (อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมงานวิจัยระดับปริญญาโท)



- 2544 *Bearing Pads for Railway Bridge Using Composite Materials* (โครงการของบริษัท Nontri Co., Ltd.)  
การศึกษาการใช้สารฟลูออโรพอลิเมอร์ร่วมกับสารฟลูออโรพอลิเมอร์ในการขึ้นรูปโฟมอีวีเอ/พีอี (โครงการของบริษัท ครายคัลเลอร์ แปซิฟิค จำกัด (Clariant))
- 2545 การเตรียมโฟมที่ช่วยลดเสียงจากเครื่องยนต์และอากาศยาน (อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมงานวิจัยระดับปริญญาโท)  
การเตรียมโฟมจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ของแป้งมันสำปะหลังและพอลิสไตรีน (งานวิจัยระดับปริญญาตรี)
- 2546 การพัฒนาผู้ประกอบการบรรจุภัณฑ์พลาสติกในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (โครงการที่ได้รับการสนับสนุนจาก สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม)  
การลดของเสียในกระบวนการการผลิตโฟมที่อีวีเอ (โครงการเครือข่ายกิจกรรมฝึกงานเทคโนโลยีสะอาด (ณ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย) ร่วมกับบริษัท ศรีสำอางค์ ซัพพลายเออร์ จำกัด)  
การศึกษาเทคนิคการผสม และอัตราส่วนของ PE Virgin/PE Recycle ในการเตรียมโฟม PE/EVA (โครงการที่ได้รับการสนับสนุนจากชุดโครงการ IPUS ของ สกว.)  
โครงการพัฒนาสิ่งทอที่ใช้ในอุตสาหกรรม Technical Textile (โครงการร่วมระหว่าง บริษัท ทีทีไอเอส จำกัด กับ กรมส่งเสริม การส่งออก กระทรวงพาณิชย์)
- 2547 फिल्मนาโนคอมโพสิตของแป้งมันสำปะหลังและมอนอเมอร์โพลีโอสไนด์ (โครงการที่ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนรัชดาภิเษก สมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)  
การศึกษาสภาพตลาดของ Yarn Dyed Polyester ในประเทศไทย (โครงการร่วมระหว่าง บริษัท ทีทีไอเอส จำกัด กับ บริษัท Tuntex (Thailand) Public Co. Ltd.)
- 2549 Comparative Assessment Study of Patent Offices in Southeast Asia and China (โครงการที่ได้รับการสนับสนุนจาก Kenan Institute Asia)  
โครงการศึกษาเพื่อจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาาระบบบ่มเพาะวิสาหกิจ (โครงการที่ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานส่งเสริม วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม)

#### ผลงานวิจัยและวิชาการ

1. D. Pentrakoon and G.L.A. Sims, "Impact and Static Compression Behaviour of Cellular Polymers", *Thai Academic Conference*, 1997.
2. G.L.A. Sims and D. Pentrakoon, "Initial Impact Studies on Open and Closed-Cell Foams", *Cellular Polymers*, vol. 16, no. 6, 431-443, 1997.
3. K. Chaicharoen, P. Pholtem, D. Pentrakoon, and P. Potiyaraj, "Processing of EVA/PE Foams by the Combined Exothermic and Endothermic Blowing Agent System", *J. Sci. Res. Chula. Univ.*, vol. 27, no. 1, 2002.
4. T. Thanpitcha, N. Kritchayanon, D. Pentrakoon, and V. Pimpan, "An Initial Study of Starch-g-polystyrene Foam Prepared by a Steaming Process", *J. Met. Mater. Miner.*, vol. 12, no. 2, 2003
5. P. Kampeerapapun, K. Srikulkit, and D. Pentrakoon, "Preparation of Cassava Starch/Montmorillonite Nanocomposite Film", *J. Sci. Res. Chula. Univ.*, volume 29, no. 2, 2004

6. D. Pentrakoon and J.W. Ellis, **An Introduction to Plastic Foams**, Chulalongkorn University Press, Bangkok, 2005
7. P. Kampeerappun, D. Aht-ong, D. Pentrakoon, and K. Srikulkit, "Preparation of Cassava Starch/Montmorillonite Composite Film", *Carbohydrate Polymers*, volume 67, 2006
8. วีระเดช กิระดิชนวิทย์ ควงหทัย เพ็ญตระกูล และ วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ "การหาคุณลักษณะการกราฟต์ของแป้งมันสำปะหลังที่กราฟต์ด้วยพอลิสไตรีนโดยใช้เทคนิค TGA" *วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ ปีที่ 2 ฉบับที่ 2: 167-177, 2546*
9. ควงหทัย เพ็ญตระกูล "ความท้าทายในยุคนิยมยางยืด" *Colourway* ปีที่ 8 ฉบับที่ 40 พฤษภาคม-มิถุนายน 2545 หน้า 52-54.
10. ควงหทัย เพ็ญตระกูล "การฝึกอบรมในหัวข้อเรื่อง Cleaner Production Technology II in Germany" *Colourway* ปีที่ 8 ฉบับที่ 41 กรกฎาคม-สิงหาคม 2545 หน้า 32-37.
11. ควงหทัย เพ็ญตระกูล และ ปิไลนธ์ วังไฉน "ความสำเร็จในการปั่นเส้นใยไหมแมงมุมที่มีประสิทธิภาพสูง (ตอน 1)" *Colourway* ปีที่ 8 ฉบับที่ 45 มีนาคม-เมษายน 2546 หน้า 61-63.
12. ควงหทัย เพ็ญตระกูล "ตลาดเฉพาะของเล็บเทค" *พลาสติก* ปีที่ 20 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน-ธันวาคม 2547 หน้า 30-34.
13. ควงหทัย เพ็ญตระกูล "ทำร้ายความรู้สึก" *วารสารบรรจุภัณฑ์* ปีที่ 15 ฉบับที่ 57 มกราคม-มีนาคม 2548 หน้า 46-51.

#### งานบริการวิชาการ

- ส.ค. 2544      วิทยากรรับเชิญจากสถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม บรรยายเรื่อง "การเลือกใช้วัสดุสำหรับบรรจุภัณฑ์" ในโครงการการจัดการและพัฒนาบรรจุภัณฑ์สินค้าชุมชน จังหวัดนครศรีธรรมราช
- ม.ค. 2545      วิทยากรรับเชิญจากสถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม บรรยายเรื่อง "กลยุทธ์การออกแบบบรรจุภัณฑ์ด้านอาหาร" ในโครงการจัดงาน SMEs Day จัดโดยสถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม วิทยากรบรรยายเรื่อง "Environmental Performance Indicators (EPI)" ในการสัมมนาที่ สถาบันวิจัยสถานะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- พ.ค. 2545      วิทยากรบรรยายเรื่อง "การทดสอบสมบัติเชิงกล" ในการสัมมนาหัวข้อ เทคนิคการทดสอบสมบัติของวัสดุ จัดโดยภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ และสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- มิ.ย. 2545      วิทยากรการประชุมเชิงปฏิบัติการ โครงการส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์สุขภาพชุมชนตามแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง จัดโดยสาธารณสุขจังหวัดนครปฐม
- ก.ค. 2545      วิทยากรรับเชิญจากสถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม สำหรับโครงการส่งเสริมและพัฒนาสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์เพื่อการส่งออก
- ก.ย. 2546      วิทยากรบรรยายเรื่อง "สถานการณ์ Technical Textile ในตลาดโลก" ในการสัมมนาหัวข้อ อุตสาหกรรม Technical Textiles: สถานการณ์ ภาพรวม และแนวโน้ม ทางเลือกใหม่ของอุตสาหกรรมสิ่งทอ จัดโดยบริษัท ทีทีไอเอส จำกัด ร่วมกับ กรมส่งเสริมการส่งออก กระทรวงพาณิชย์
- ม.ค. 2547      วิทยากรบรรยายเรื่อง "Mobiltech Medtech Agrotech: ผลิตภัณฑ์ Technical Textiles ที่น่าจับตามอง" ในการสัมมนาหัวข้อ 3 กลุ่มผลิตภัณฑ์ Technical Textile ทางเลือกใหม่ของอุตสาหกรรม Mobiltech - Medtech - Agrotech จัดโดยบริษัท ทีทีไอเอส จำกัด ร่วมกับ กรมส่งเสริมการส่งออก กระทรวงพาณิชย์ ในงาน BIFF & BIL 2004

- เม.ย.- ส.ค. 2547 ที่ปรึกษาในโครงการ ITB ของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ร่วมกับคณะที่ปรึกษาจากสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- ธ.ค. 2547 ที่ปรึกษาในโครงการ MDICP 6 ของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ร่วมกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ม.ค.- มี.ค. 2548 ร่วมโครงการอุทยานธรรมชาติวิทยาตามพระราชดำริพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี
- ม.ค.- ธ.ค. 2548 ที่ปรึกษาในโครงการ MDICP 7 ของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ร่วมกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี