การเสื่อมสภาพของขวดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตและของเหลวที่บรรจุในขวดภายใต้แสงแดด

DEGRADATION OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE BOTTLE AND CONTAINING LIQUID UNDER SUNLIGHT

เกศรา สงค์ประเสริฐ
ธีร์สุดา แก้วแย้ม
อรุณรัตน์ พุทธบาล

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEGRADATION OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE BOTTLE AND CONTAINING LIQUID UNDER SUNLIGHT

Kedsara Songprasert
Teesuda Keawyeam
Arunrut Puttaban

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การเสื่อมสภาพของขวดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตและของเหลวที่บรรจุในขวดภายใต้แสงแดด
Degradation of polyethylene terephthalate bottle and containing liquid under sunlight

ชื่อนักศึกษา
เกศรา สงค์ประเสริฐ รหัสนักศึกษา 55050886
ธีร์สุดา แก้วแย้ม รหัสนักศึกษา 55050932
อรุณรัตน์ พุทธบาล รหัสนักศึกษา 55051041

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ปีการศึกษา 2558
สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ประธานกรรมการ	
ดร. กลิ่นสุคนธ์ สุรรณรัตน์ กรรมการ	
รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การเสื่อมสภาพของขวดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตและของเหลวที่บรรจุในขวดภายใต้แสงแดด

ชื่อนักศึกษา เกศรา สงค์ประเสริฐ รหัสนักศึกษา 55050886
ธีร์สุดา แก้วแย้ม รหัสนักศึกษา 55050932
อรุณรัตน์ พุทธบาล รหัสนักศึกษา 55051041

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา เคมี
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของแสงแดดที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของขวดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (polyethylene terephthalate : PET) และของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในขวด โดยได้ทำการศึกษาขวดน้ำ 3 ชนิด ได้แก่ ขวดน้ำดื่มขวดใส ขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียว และขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพู ได้ทำการนำขวดทั้ง 3 ชนิดนี้โดยใช้ชนิดละ 5 ขวดไปวางบนดาดฟ้าตึกวิทยาศาสตร์เก่า ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อให้ขวดได้สัมผัสกับแสงแดดโดยตรง และอีกชนิดละ 1 ขวดนำไปเก็บไว้ในที่ที่ไม่โดนแสงแดด โดยจะวางขวดไว้เป็นระยะเวลา 8 เดือน ตั้งแต่วันที่ 20 พฤษภาคม 2558 – 20 มกราคม 2559

ผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์ขวดพลาสติกโดยใช้เทคนิค FT-IR DSC และการทดสอบแรงดึงขวดพลาสติก PET พบว่าคุณสมบัติทางกายภาพของขวดน้ำที่นำไปวางบนดาดฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงทุกขวด นอกจากนี้ในส่วนของของเหลวได้มีการทดสอบหมู่คาร์บอนิลและ Tollens' reagent แสดงให้เห็นว่าพบหมู่ฟังก์ชัน aldehyde และ ketone ส่วนค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดและปริมาณไอออนในของเหลวก็มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน จากผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาที่แสงแดดสัมผัสกับขวด อุณหภูมิ และแหล่งที่มาของขวดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งขวดพลาสติกและของเหลวภายในขวดพลาสติก

คำสำคัญ : พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต, แอลดีไฮด์

เอกสารนี้ใช้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Degradation of polyethylene terephthalate bottle and containing liquid under sunlight
Students	Kedsara Songprasert Student ID 55050886
	Teesuda Keawyeam Student ID 55050932
	Arunrut Puttaban Student ID 55051041
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Assoc.prof.Malinee Chaisupakitsin

ABSTRACT

This project aims to determined the effect of sunlight on the physicochemical changes of PET bottles and liquid filled in the bottles. Three kinds of PET bottles were selected ; water clear PET carbonated green PET and carbonated pink PET. Theses bottles were laid on the loft of Science Building, KMITL, and exposed to full sunshine for a period of 8 months (from 20 May 2015 to 20 January 2016)

The results from FT-IR, DSC and Tensile testing indicate, the physicochemical properties of all bottled samples are changes. Moreover, carbonyl testing and Tollens' reagent show positive test of aldehydes and ketones in the liquid after exposure time. The pH, conductivity, total dissolve solid and anion content in all types of liquid are changes. The overall results suggested that sunlight exposure period, temperature and source of water cause changes in both plastic bottles and liquid.

Keywords : polyethylene terephthalate (PET), aldehyde

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของทุกๆ ท่าน และขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งและขอขอบพระคุณกรรมการสอบโครงงานพิเศษ คือ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และดร. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ที่ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ สาขาวิชาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดูและอบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงเพื่อนๆ และบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ผู้จัดทำโครงงานขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

เกศรา สงค์ประเสริฐ
ธีร์สุดา แก้วแย้ม
อรุณรัตน์ พุทธบาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญรูป ..... ช
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขต 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 พอลิเมอร์ 4
2.1.1 ประเภทของพอลิเมอร์ 4
2.1.2 การเปลี่ยนสถานะของพอลิเมอร์ 5
2.2 พอลิทิลีนเทเรฟทาเลต 7
2.3 น้ำอัดลม 11
2.4 สีผสมอาหาร 13
2.5 แสงอัลตราไวโอเลต 17
2.6 เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ 20
2.7 งานวิจับที่เกี่ยวข้อง 29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 31
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ 31
3.2 วิธีการทดลอง 33
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 39
4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน 39
4.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล 43
4.3 สัณฐานวิทยาของพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต 45
4.4 การวิเคราะห์อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลว 47
4.5 ค่าพีเอช (pH) ของน้ำ 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.6 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ 49
4.7 วิเคราะห์ปริมาณของแข็ง (Total Dissolved Solids) 50
4.8 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Ion Chromatography 51
4.9 ปริมาณตะกอน 2,4 – Dinitrophenyl hydrazone 52
4.10 การทดสอบกับ Tollen's reagent 55
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 58
5.1 สรุปผลการวิจัย 58
5.2 ข้อเสนอแนะ 58
เอกสารอ้างอิง 59
ภาคผนวก 62
ภาคผนวก ก 63
ภาคผนวก ข 72
ภาคผนวก ค 75
ภาคผนวก ง 80
ภาคผนวก จ 83
ภาคผนวก ช 94
ภาคผนวก ช 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	อุณหภูมิ T_m และ T_g ของพอลิเมอร์บางชนิด	6
2.2	สมบัติทั่วไปของ PET	8
2.3	สมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต	9
2.4	ตัวอย่างสีที่ใช้ผสมในน้ำอัดลม	16
2.5	ค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาดสำหรับพอลิเมอร์ทั่วไปที่พบในชีวิตประจำวัน	27
4.1	หมู่ฟังก์ชันที่พบในขวดพลาสติกทั้ง 3 ชนิด	41
4.2	พื้นผิวพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่ไม่ได้นำไปวางไว้กลางแดดและนำไปวางไว้กลางแดดเป็นเวลา 8 เดือน	46
4.3	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของขวดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต	47
4.4	ความเข้มข้นของไอออนซิดประจุลบที่ตรวจพบในน้ำทั้ง 3 ชนิด	51
4.5	ปริมาณตะกอน 2,4-Dinitrophenyl hydrazone ของของเหลว	54
ข-1	ผลค่าแรงดึงสูงสุดของขวดน้ำดื่มขวดใสที่ไม่ได้รับแสงแดดและที่นำไปวางไว้กลางแดดเป็นเวลา 8 เดือน	72
ข-2	ค่าความแข็งแรงดึงของขวดน้ำดื่มขวดใสที่ไม่ได้รับแสงแดดและที่นำไปวางไว้กลางแดดเป็นเวลา 8 เดือน	72
ข-3	ผลค่าแรงดึงสูงสุดของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวไม่ได้รับแสงแดดและที่นำไปวางไว้กลางแดดเป็นเวลา 8 เดือน	73
ข-4	ค่าความแข็งแรงดึงของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวที่ไม่ได้รับแสงแดดและที่นำไปวางไว้กลางแดดเป็นเวลา 8 เดือน	73
ข-5	ค่าความแข็งแรงดึงของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูที่ไม่ได้รับแสงแดดและที่นำไปวางไว้กลางแดดเป็นเวลา 8 เดือน	74
ข-6	ค่าความแข็งแรงดึงของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูที่ไม่ได้รับแสงแดดและที่นำไปวางไว้กลางแดดเป็นเวลา 8 เดือน	74
ง-1	ค่า pH ของน้ำในขวดพลาสติกที่นำไปวางไว้กลางแสงแดดในระยะเวลา 1, 3, 4, 6, 8 เดือน และขวดพลาสติกที่เก็บไว้ในที่มืด	80
ง-2	ค่า Conductivity ของน้ำในขวดพลาสติกที่นำไปวางไว้กลางแสงแดดในระยะเวลา 1, 3, 4, 6, 8 เดือน และขวดพลาสติกที่เก็บไว้ในที่มืด	81
ง-3	ค่า TDS ของน้ำในขวดพลาสติกที่นำไปวางไว้กลางแสงแดดในระยะเวลา 1, 3, 4, 6, 8 เดือน และขวดพลาสติกที่เก็บไว้ในที่มืด	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ช-1	คุณภาพหรือมาตรฐานน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตามประกาศกระทรวง สาธารณสุข (ฉบับที่256) พ.ศ. 2545 เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่4).....	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของพอลิไวนิลคลอไรด์	4
2.2	โครงสร้างของ LDPE	4
2.3	โครงสร้างของเบคิไลต์	5
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของพอลิเมอร์	6
2.5	รหัสรีไซเคิลของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต	10
2.6	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET)	10
2.7	แสดงแถบสเปคตรัม (Spectrum) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ	17
2.8	ช่วงความยาวคลื่นของแสงยูวีชนิดต่างๆ	18
2.9	หลักการทางานของเครื่องFT-IR Spectrophotometer	20
2.10	การเตรียมตัวอย่างของเหลวโดยเตรียมเป็น Thin-film	21
2.11	การเตรียมตัวอย่างของเหลวโดยเติมสารใน liquid cell	21
2.12	การเตรียมตัวอย่างชนิดผงโดยเตรียมใน Nujol	21
2.13	การเตรียมตัวอย่างที่เป็นของแข็ง	22
2.14	% Transmittance ของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต	22
2.15	เครื่อง FT-IR Spectrophotometer	23
2.16	เครื่อง DSC (differential scanning colorimeter)	24
2.17	เครื่อง Ion Chromatograph	24
2.18	รูปร่างตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่ใช้ทดสอบความเค้นและความเครียด	25
2.19	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น- ความเครียด	26
2.20	การทดสอบความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ที่มีสมบัติต่าง ๆ กัน	26
2.21	Universal Tensile machine	26
2.22	กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดา (light microscope)	28
3.1	น้ำดื่มขวดใส	31
3.2	น้ำอัดลมขวดสีเขียว	31
3.3	น้ำอัดลมขวดสีชมพู	31
3.4	สตรูโครงสร้างของ 2, 4-Dinitrophenyl hydrazine (2, 4-DNP)	37
4.1	การวิเคราะห์FT-IR ของขวดน้ำดื่มขวดใสเมื่อนำไปวางกลางแดด	40
4.2	การวิเคราะห์FT-IR ของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวเมื่อนำไปวางกลางแดด	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	การวิเคราะห์FT-IR ของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูเมื่อนำไปวางกลางแดด	41
4.4	ตำแหน่งหมู่ฟังก์ชันของพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต(PET)	42
4.5	ค่าแรงดึงสูงสุดกับเวลาที่วางพลาสติกวางไว้กลางแสงแดด	43
4.6	ความแข็งแรงดึงกับเวลาที่วางพลาสติกไว้กลางแสงแดด	44
4.7	การเกิดปฏิกิริยา Norrish type I Norrish type II การสลายตัวผ่าน 6- membered ring	45
4.8	การเกิดปฏิกิริยา Norrish type II	45
4.9	แสดงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอออนลบที่ตรวจพบกับน้ำ	48
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับเวลาที่วางพลาสติกไว้กลางแสงแดดและที่ไม่ได้วางไว้กลางแสงแดด	48
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า conductivity กับเวลาที่วางพลาสติกไว้กลางแสงแดดและที่ไม่ได้วางไว้กลางแสงแดด	49
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TDS กับเวลาที่วางพลาสติกไว้กลางแสงแดดและที่ไม่ได้วางไว้กลางแสงแดด	50
4.13	แสดงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอออนลบ (SO_4^{2-}) ที่ตรวจพบกับน้ำ	51
4.14	สมการแสดงปฏิกิริยาระหว่างแอลดีไฮด์หรือคีโตนกับ 2,4-Dinitrophenylhydrazine	52
4.15	การเกิด acetaldehyde เมื่อใช้งานขวดพลาสติก	53
4.16	ภาพถ่ายหลอดทดลองของเหลวชนิดที่เป็นน้ำดื่มซึ่งได้รับแสงแดดตามระยะเวลาที่กำหนด	54
4.17	ภาพถ่ายหลอดทดลองของเหลวชนิดที่เป็นน้ำอัดลมขวดสีเขียวซึ่งได้รับแสงแดดตามระยะเวลาที่กำหนด	54
4.18	ภาพถ่ายหลอดทดลองของเหลวชนิดที่เป็นน้ำอัดลมขวดสีชมพูซึ่งได้รับแสงแดดตามระยะเวลาที่กำหนด	54
4.19	โลหะเงินฉาบที่ผนังหลอดทดลองเมื่อทดสอบกับน้ำดื่มขวดใส	55
4.20	โลหะเงินฉาบที่ผนังหลอดทดลองเมื่อทดสอบกับน้ำอัดลมขวดสีเขียว	56
4.21	โลหะเงินฉาบที่ผนังหลอดทดลองเมื่อทดสอบกับน้ำอัดลมขวดสีชมพู	56
4.22	การเกิดปฏิกิริยาของแอลดีไฮด์ ซึ่งจะถูก ออกซิไดซ์ด้วย Tollen's reagent ให้เกลือคาร์บอกซิเลต	57
ก-1	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำดื่มขวดใสที่ไม่ได้รับแสงแดด	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก-2	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำดื่มขวดใสเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 1 เดือน.....	63
ก-3	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำดื่มขวดใสเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 3 เดือน.....	64
ก-4	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำดื่มขวดใสเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 4 เดือน.....	64
ก-5	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำดื่มขวดใสเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 6 เดือน.....	65
ก-6	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำดื่มขวดใสเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน.....	65
ก-7	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวเมื่อนำไปวางไว้ในที่มืด.....	66
ก-8	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 1 เดือน.....	66
ก-9	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 3 เดือน.....	67
ก-10	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 4 เดือน.....	67
ก-11	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 6 เดือน.....	68
ก-12	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน.....	68
ก-13	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูนำไปวางไว้ในที่มืด.....	69
ก-14	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 1 เดือน.....	69
ก-15	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 3 เดือน.....	70
ก-16	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 4 เดือน.....	70
ก-17	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 6 เดือน.....	71
ก-18	หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน.....	71
ค-1	ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก(Tm (Co)) ของน้ำดื่มขวดใสที่ไม่ได้รับแสงแดด.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ค-2	ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก(Tm (Co)) ของน้ำดื่มขวดใสที่ได้รับแสงแดดเป็นเวลา 4เดือน.....	76
ค-3	ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก(Tm (Co)) ของน้ำดื่มขวดใสที่ได้รับแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน.....	76
ค-4	ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก(Tm (Co)) ของน้ำอัดลมขวดสีเขียวที่ไม่ได้รับแสงแดด.....	77
ค-5	ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก(Tm (Co)) ของน้ำอัดลมขวดสีเขียวที่ได้รับแสงแดดเป็นเวลา 4 เดือน.....	77
ค-6	ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก(Tm (Co)) ของน้ำอัดลมขวดสีเขียวที่ได้รับแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน.....	78
ค-7	ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก(Tm (Co)) ของน้ำอัดลมขวดสีชมพูที่ไม่ได้รับแสงแดด.....	78
ค-8	ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก(Tm (Co)) ของน้ำอัดลมขวดสีชมพูที่ที่ได้รับแสงแดดเป็นเวลา 4 เดือน.....	79
ค-9	ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก(Tm (Co)) ของน้ำอัดลมขวดสีชมพูที่ได้รับแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน.....	79
จ-1	กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ด้วย Ion Chromatography ของสาร Fluoride.....	83
จ-2	กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ด้วย Ion Chromatography ของสาร Chloride.....	83
จ-3	กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ด้วย Ion Chromatography ของสาร nitrite.....	84
จ-4	กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ด้วย Ion Chromatography ของสาร Sulfate.....	84
จ-5	ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดใสที่ไม่ได้วางไว้กลางแสงแดด.....	85
จ-6	ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดใสที่วางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 4 เดือน.....	86
จ-7	ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดใสที่วางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน.....	87
จ-8	ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำอัดลมขวดสีเขียวที่ไม่ได้วางไว้กลางแสงแดด.....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
จ-9	ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำอัดลมขวดสีเขียวที่วางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 4 เดือน	89
จ-10	ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำอัดลมขวดสีเขียวที่วางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน	90
จ-11	ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำอัดลมขวดสีชมพูที่ไม่ได้วางไว้กลางแสงแดด	91
จ-12	ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำอัดลมขวดสีชมพูที่วางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 4 เดือน	92
จ-13	ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำอัดลมขวดสีชมพูวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ปัจจุบันประชาชนนิยมดื่มเครื่องดื่มหลายชนิด เนื่องจากให้ความสดชื่นและมีรสชาติหวาน ช่วยกระตุ้นให้ร่างกายรู้สึกกระฉับกระเฉงมากกว่าการดื่มน้ำเปล่า โดยเครื่องดื่มที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ชาเขียว น้ำผลไม้ และน้ำอัดลม อย่างไรก็ตามเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมมาเป็นเวลานานก็คือ น้ำอัดลม ซึ่งหมายถึง เครื่องดื่มที่ได้จากการปรุงแต่งกลิ่น สี รส และอัดแก๊สลงไป จัดเป็นเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ (alcohol) ผสม จากสถิติยอดการผลิตน้ำอัดลม มีแนวโน้มการผลิตมากขึ้น คือ ปี 2552 มีปริมาณ 2,301.0 ล้านลิตร เพิ่มขึ้นจากปีก่อนที่มียอดการผลิต 2,192.7 ล้านลิตรซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยของปี 2543 – 2551 ถึง 1,798.5 ล้านลิตร (ช่อลัดดา, 2553)

ในชีวิตประจำวันประชาชนส่วนมากต้องการความสะดวกสบายมาเป็นอันดับต้น ๆ จึงมีการผลิตน้ำแบบบรรจุขวดมาจำหน่ายอย่างแพร่หลาย และนิยมใช้ขวดพลาสติกในการนำมาบรรจุน้ำ เนื่องจากมีความคงทน สะดวกต่อการขนส่ง รวมทั้งน้ำอัดลมและน้ำเปล่ามักนิยมบรรจุลงในขวด ซึ่งจะเห็นได้จากปริมาณขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น แม้ว่าในช่วง 1 – 2 ปีที่ผ่านมานี้มีการพัฒนาเกี่ยวกับขวดพลาสติกเพื่อให้กำจัดได้ง่ายมีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการใช้งาน ในขณะเดียวกันก็มีข่าวเกี่ยวกับอันตรายจากที่อาจจะเกิดขึ้นได้หากเราดื่มน้ำจากขวดน้ำพลาสติกที่ตั้งทิ้งไว้กลางแดดเป็นเวลานาน (หากเก็บไว้ที่ที่มีอุณหภูมิสูง) ว่าอาจจะได้รับสารก่อมะเร็งได้ ทำให้ประชาชนส่วนมากเลิกนำน้ำดื่มบรรจุขวดไปใส่ไว้ในรถยนต์ อย่างไรก็ตามพบว่าตามร้านสะดวกซื้อบางร้านที่ยังนำน้ำดื่มออกมาวางจำหน่ายหน้าร้านไม่ได้เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ จึงอาจทำให้ถูกแสงแดดจากธรรมชาติส่งผลกระทบต่อบรรจุภัณฑ์ได้ แสงแดดที่ส่งผลกระทบต่อบรรจุภัณฑ์อาจส่งผลกระทบต่อน้ำที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์นั้น ทำให้หลายคนสงสัยกันว่าน้ำบรรจุขวดพลาสติกที่ถูกแสงแดดเป็นเวลานานเมื่อนำมาบริโภคจะเป็นอันตรายหรือไม่ขวดบรรจุภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของแสงแดดที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติกและที่มีต่อน้ำที่บรรจุอยู่ซึ่งขวดพลาสติกบรรจุน้ำดื่มที่ใช้ทำการศึกษามี 2 ยี่ห้อ ได้แก่ ขวดน้ำดื่มขวดใส ขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียว และน้ำอัดลมขวดสีชมพู ซึ่งใช้พลาสติกประเภท พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (polyethylene terephthalate : PET) เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติกที่ได้รับการคิดค้นขึ้นมาเพื่อการบรรจุน้ำอัดลม โดยเฉพาะสมบัติเด่นทางด้านความใสแววับเป็นประกาย โดยจะเห็นว่าขวดน้ำพลาสติกจะคงคุณสมบัติที่ดีไว้ตลอดการใช้งานแต่อาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและย่อยสลายได้ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายหลังการทิ้งไว้กลางแดดเป็นเวลานานทำให้พลาสติกมีสมบัติต่างๆ เช่น ความแข็งแรง ,ความเหนียว, น้ำหนักโมเลกุลหรือมวลลดลง และสลายไปในที่สุด

ในการวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการเสื่อมสภาพของพลาสติกบรรจุน้ำดื่ม 2 ยี่ห้อ ได้แก่ ขวดน้ำดื่มขวดใส ขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียว และน้ำอัดลมขวดสีชมพู และวิเคราะห์คุณสมบัติของเหลวในขวดบรรจุภัณฑ์ โดยทำการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพขององค์ประกอบขวดน้ำพลาสติกในส่วนของขวดบรรจุภัณฑ์และวิเคราะห์ของเหลวที่บรรจุอยู่ภายในขวด เมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นหรือไม่ ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยนี้นอกจากทำให้ทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของขวดบรรจุภัณฑ์น้ำดื่มแล้วทำให้ทราบอีกด้วยว่าน้ำที่บรรจุอยู่ภายในขวดเมื่อได้รับแสงเป็นเวลานานจะสามารถนำมาดื่มได้หรือไม่ นอกจากนี้ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงส่วนประกอบของพลาสติกบรรจุภัณฑ์ให้มีการทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ และทำให้มีการย่อยสลายได้เร็วขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.เพื่อศึกษาผลของแสงแดดที่มีต่อขวดพลาสติกบรรจุภัณฑ์น้ำดื่มชนิด PET

2.เพื่อศึกษาอิทธิพลของแสงแดดที่มีต่อน้ำหรือของเหลวที่บรรจุในขวดพลาสติก

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.นำขวดพลาสติกบรรจุน้ำดื่มขวดใส ขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียว และน้ำอัดลมขวดสีชมพู ชนิดละ 5 ขวด วางบนดาดฟ้าตึกวิทย์เก่าชั้น 5 คณะวิทยาศาสตร์และชนิดละ 1 ขวดวางไว้ในที่ที่ไม่โดนแสงแดด ตั้งแต่วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ.2558 ถึงวันที่ 20 มกราคม 2559 โดยวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เวลา 13.00 น.ของทุกวันในเวลาราชการ

2.เมื่อครบเวลา 0, 1, 3, 4, 6และ 8 เดือนหยิบขวดชนิดละ 1 ขวด ออกมาถ่ายรูปบันทึกลักษณะทางกายภาพและเก็บไว้ในตู้มืด

3.ขวดน้ำตัวอย่างที่เก็บจากดาดฟ้า จะนำมาทดสอบโดยเทของเหลวออกจากขวด

- ส่วนที่เป็นของเหลว บันทึกสี, วัด pH, ค่าการนำไฟฟ้า, การทดสอบหาหมู่คาร์บอนิลด้วย 2, 4-Dinitrophenylhydrazine (2, 4-DNP), การทดสอบด้วยทอลเล่นรีเอเจนต์ (Tollen's reagent test), การวิเคราะห์หาปริมาณไอออนโดยใช้ เทคนิค Ion Chromatography (IC) และการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (TDS)

- ส่วนที่เป็นพลาสติกตรวจโครงสร้างทางเคมีด้วย Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), ดูการแตกร้าวหรือรอยขีดข่วนที่เกิดบนผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์ Optical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microscope (OM), ทดสอบสมบัติเชิงกลของพลาสติกด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine) และการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC)

4. ทำการทดสอบเช่นเดียวกันนี้กับตัวอย่างที่เก็บไว้ในที่ที่ไม่โดนแสงแดดตั้งแต่เมื่อเริ่มทำการทดลอง

5. เปรียบเทียบผลการทดลอง ข้อ 3 กับ ข้อ 4 เพื่อทราบอิทธิพลของแสงที่มีต่อของเหลวและบรรจุภัณฑ์พลาสติก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อให้ทราบอิทธิพลของแสงแดดที่มีต่อพลาสติกบรรจุภัณฑ์และของเหลวที่อยู่ภายใน
2. เพื่อเป็นฐานข้อมูลการเลือกใช้พลาสติกบรรจุภัณฑ์สำหรับเครื่องดื่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิเมอร์

พอลิเมอร์ (Polymer) คือ สารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีมวลโมเลกุลมาก ประกอบด้วยหน่วยเล็ก ๆ ของสารที่อาจจะเหมือนกันหรือต่างกันมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์

2.1.1 ประเภทของพอลิเมอร์

2.1.1.1 แบ่งตามการเกิดเป็นเกณฑ์ เป็น 2 ชนิด คือ

ก . พอลิเมอร์ธรรมชาติ เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น โปรตีน แป้ง เซลลูโลส ไกลโคเจน กรดนิวคลีอิก และยางธรรมชาติ (พอลีไอโซปรีน)

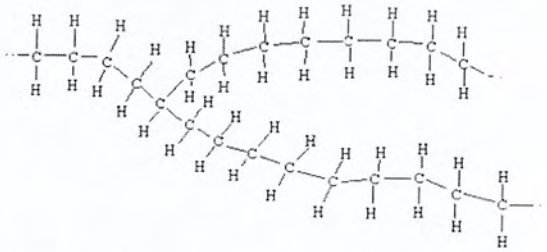
ข . พอลิเมอร์สังเคราะห์ เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์เพื่อใช้ประโยชน์ต่าง ๆ เช่น พลาสติก ไนลอน ดาครอน และลูไซต์ เป็นต้น

2.1.1.2 แบ่งตามโครงสร้างของพอลิเมอร์ แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

ก. พอลิเมอร์แบบเส้น (Chain length polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์สร้างพันธะต่อกันเป็นสายยาว โซ่พอลิเมอร์เรียงชิดกันมากว่าโครงสร้างแบบอื่น ๆ จึงมีความหนาแน่น และจุดหลอมเหลวสูง มีลักษณะแข็ง ขุ่นเหนียวกว่าโครงสร้างอื่นๆ ตัวอย่าง PVC พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีน ดังภาพ

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของพอลิไวนิลคลอไรด์ (พอลิเมอร์, 2555)

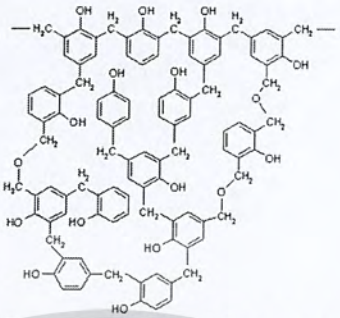
ข. พอลิเมอร์แบบกิ่ง (Branched polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ยึดกันแตกกิ่งก้านสาขา มีทั้งโซ่สั้นและโซ่ยาว กิ่งที่แตกจากพอลิเมอร์ของโซ่หลักทำให้ไม่สามารถจัดเรียงโซ่พอลิเมอร์ให้ชิดกันได้มาก จึงมีความหนาแน่นและจุดหลอมเหลวต่ำยืดหยุ่นได้ ความเหนียวต่ำ โครงสร้างเปลี่ยนรูปได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตัวอย่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ดังภาพ



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของ LDPE (มหาวิทยาลัยบูรพา, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. พอลิเมอร์แบบร่างแห (Croos -linking polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ต่อเชื่อมกันเป็นร่างแห พอลิเมอร์ชนิดนี้มีความแข็งแกร่ง และเปราะหักง่าย ตัวอย่างเบคิไลต์ เมลามีนใช้ทำถ้วยชาม ดังภาพ



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเบคิไลต์ (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2558)

2.1.2 การเปลี่ยนสถานะของพอลิเมอร์ (มหาวิทยาลัยบูรพา, 2547)

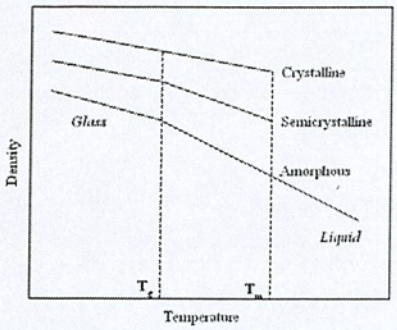
อุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (Glass Transition Temperature : Tg) พอลิเมอร์ที่แสดงค่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชันเป็นพอลิเมอร์ที่มีการจัดเรียงสายโซ่โมเลกุลแบบไม่เป็นระเบียบหรือพอลิเมอร์อสัณฐาน ที่อุณหภูมิต่ำกว่า Tg พอลิเมอร์จะมีลักษณะเป็นของแข็งคล้ายแก้ว (glasslike) แข็งและเปราะ เมื่อถูกทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่า Tg มาก ๆ สมบัติบางอย่างของพอลิเมอร์จะเปลี่ยนไป เช่น ความหนาแน่น ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น

อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature : T_m) พอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกจะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งผลึกเป็นของเหลวที่อุณหภูมิหลอมเหลว ณ อุณหภูมินี้พันธะระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์จะอ่อนลง เมื่อพอลิเมอร์ได้รับแรงโมเลกุลจะเลื่อนผ่านกันและไหลได้ ความแข็งแรงและโมดูลัสของความยืดหยุ่นมีค่าใกล้ศูนย์ ณ สภาวะนี้เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูป พอลิเมอร์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น การหล่อ การฉีดขึ้นรูป เป็นต้น จุดหลอมเหลวของพอลิเมอร์หลายชนิดแสดงดังตารางที่ 2.1 พอลิเมอร์ทั่วไปที่มีลักษณะกึ่งผลึก (semicrystalline) หรือมีทั้งส่วนที่เป็นผลึกและส่วนอสัณฐานปนกันอยู่ จะแสดงการเปลี่ยนสถานะทั้งอุณหภูมิหลอมเหลว และอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน

อุณหภูมิสลายตัว (Degradation Temperature : T_d) ที่อุณหภูมิสูงมากๆ พันธะโควาเลนต์ระหว่างอะตอมในสายโซ่พอลิเมอร์ สามารถถูกทำลายลง และทำให้พอลิเมอร์ไหม้ อุณหภูมิดังกล่าวนี้นี้คืออุณหภูมิของการสลายตัว นอกจากนี้ ก๊าซออกซิเจน รังสีอัลตราไวโอเลต และแบคทีเรียก็สามารถทำให้พอลิเมอร์เกิดการสลายตัวได้แม้อยู่ในอุณหภูมิต่ำ

T_g ของพอลิเมอร์ทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 – 0.75 เท่าของ T_m พอลิเมอร์ โครงสร้างของพอลิเมอร์ก็มีผลต่อ T_g ด้วย เช่น พอลิเอทิลีนมี T_g ต่ำ (ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง) เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิสไตรีน ซึ่งมีหมู่แทนที่ต่อกับคาร์บอนในสายโซ่หลักจะมี T_g สูงกว่า (85-125 °C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของพอลิเมอร์ (มหาวิทยาลัยบูรพา, 2547)

ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิ T_m และ T_g ของพอลิเมอร์บางชนิด (มหาวิทยาลัยบูรพา, 2547)

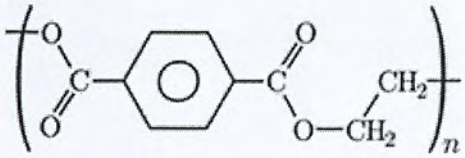
Polymer	T_m (°C)	T_g (°C)
Addition Polymers		
Low-density (LD) polyethylene	115	-120
High-density (HD) polyethylene	137	-120
Polyvinyl chloride	175 - 212	87
Polypropylene	168 - 176	-16
Polystyrene	240	85 - 125
Polyacrylonitrile	320	107
Polytetrafluoroethylene (Teflon)	327	
Polychlorotrifluoroethylene	220	
Polymethyl methacrylate (Acrylic)		90 - 105
ABS		88 - 125
Condensation polymers		
Polyamide (Nylon 6,6)	265	50
Acetal	181	-85
Polycarbonate	230	145
Polyester	255	75
Elastomers		
Silicone		-123
Polybutadiene	120	-90
Polychloroprene	80	-50
Polyisoprene	30	-73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (บทความวิทยาศาสตร์สารเคมีในชีวิตประจำวันเกี่ยวกับพลาสติก, 2550)

ชื่อพ้อง : Polyethylene terephthalate, PETP, PET-P

สูตรโครงสร้างทางเคมี



ทั้งนี้จำนวน n อยู่ระหว่าง 130 – 150 ซึ่งทำให้ PET มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 25,000

ความเป็นมา

PET เป็นวัสดุที่ผลิตขึ้นโดย Rex Whinfield และ James Dickson แห่ง Calico Printers' Association เมือง Manchester ประเทศอังกฤษ ในปี ค .ศ.1941 สำหรับการผลิตพอลิเมอร์ (polymer) ที่เป็นไฟเบอร์สังเคราะห์ (synthetic fibre) ในอุตสาหกรรมสิ่งทอจำพวกโพลีเอสเทอร์ (polyesters) ซึ่งปัจจุบันไฟเบอร์สังเคราะห์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอผลิตจาก PET ประมาณร้อยละ 50 โดยมีทั้งที่ทำจาก PET เพียงอย่างเดียว หรือ PET ผสมกับฝ้ายและขนสัตว์

ในปลายทศวรรษ 1950 PET ได้รับการพัฒนาเป็นแผ่นฟิล์มสำหรับการผลิตวิดีโอเทป แผ่นฟิล์มเอ็กซเรย์ และบรรจุภัณฑ์ และในราวต้นทศวรรษ 1970 มีการนำ PET มาขึ้นรูปเป็นขวดที่มีน้ำหนักเบา ไม่แตก และทนต่อแรงกระแทก โดยได้รับการจดสิทธิบัตรในปี ค .ศ.1973

การผลิต PET

PET เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ (monomer) หลายๆ ตัว ซึ่งได้จากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (esterification) ระหว่าง terephthalic acid (TPA) กับ ethylene glycol (EG หรือ ethanediol) โดยมีน้ำเกิดขึ้นในปฏิกิริยา หรือเกิดจากโมโนเมอร์ซึ่งได้จากปฏิกิริยาระหว่าง dimethyl terephthalate กับ ethylene glycol โดยมีเมทานอลเกิดขึ้นในปฏิกิริยา ซึ่งสารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิต PET นั้นได้จากอุตสาหกรรมน้ำมัน ทั้งนี้ความบริสุทธิ์ของสารตั้งต้นเป็นสิ่งสำคัญมาก และมีผลต่อคุณภาพของ PET ที่ได้ โดยเฉพาะเมื่อใช้ในการผลิต

ภาชนะบรรจุอาหาร

PET ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีความเหนียว ทนทาน และมีความยืดหยุ่นต่อแรงกระทบกระแทก จึงไม่แตกเมื่อถูกแรงกดดัน ในการนำ PET มาผลิตวัสดุต่าง ๆ เทคนิคการให้ความร้อน การทำให้เย็นที่อุณหภูมิ และระยะเวลาต่าง ๆ ที่เรียกว่า "heat setting" จะทำให้ได้ PET ที่มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานต่าง ๆ กัน เช่น เป็นแผ่นฟิล์ม หรือขวดพลาสติกใส เป็นพลาสติกขุ่นสำหรับบรรจุภัณฑ์ หรือถาด ซึ่งสามารถทนต่อแรงกระแทก และอุณหภูมิแตกต่างกัน ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันเหล่านี้ล้วนมาจาก PET ที่มีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนกันทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้การเติมสารอื่น ๆ เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของ PET เช่น การเติม isophthalic acid (IPA หรือ 1,4-cyclohexanedimethanol) จะทำให้ได้แผ่นฟิล์ม หรือขวดที่มีความหนาขึ้น

ตารางที่ 2.2 สมบัติทั่วไปของ PET (ธนาวดี, 2551)

คุณสมบัติ	
T_g	73-80 °C (163-176 °F)
T_m	245-265 °C (473-509 °F)
ความหนาแน่น	1,29-1.40 g/cm^3
Typical yield, 25 mm film	30 m^2/kg (21,000 in^2/lb)
Tensile strength	48.2-72.3 mPa (7.0-10.5 x 103 psi)
Tensile modulus	2,756-4,135 mPa (4-6 x 105 psi)
Elongation at brake	30-3,000 %
Tear strength, film	30 g/ 25 mm (0.066 lb/mil)
WVTR	390-510 g mm/m^2 day at 37.8 °C, 90% RH
O_2 Permeability, 25°C	1.2-2.4 x 103 cm^3 mm/m^2 day atm
CO_2 Permeability, 25°C	5.9-9.8 x 103 cm^3 mm/m^2 day atm
Water absorption, 0.32 cm thick, 24 hour	0.1-0.2%

คุณสมบัติทางกายภาพ (ณัทกาญจน์และคณะ, 2557)

โดยทั่วไปพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต (polyethylene terepthalate) PET มีความถ่วงจำเพาะ 1.38 และเป็นพอลิเมอร์ที่มีส่วนที่เป็นผลึกอยู่มาก แต่ถ้าให้ความเย็นอย่างรวดเร็วแก่พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่หลอมเหลวจะทำให้เป็นอสัณฐานทั้งหมด และยังโปร่งแสงอีกด้วย โดยมีความถ่วงจำเพาะ 1.38 ถ้าพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต เป็นผลึกอย่างสมบูรณ์จะมีความถ่วงจำเพาะ 1.455 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตมีลักษณะโปร่งใส มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ประมาณ 80 °C เป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ (non-hydrophilic) โดยเมื่อนำไปจุ่มในน้ำที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 1 สัปดาห์ พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตจะดูดน้ำได้น้อยกว่า 0.5% ของปริมาณน้ำทั้งหมดโดยที่คุณสมบัติเชิงกลยังคงเหมือนเดิม

สมบัติทางความร้อน (ณัทกาญจน์และคณะ, 2557)

จุดหลอมเหลวของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตจะอยู่ที่ 225 °C Zero Strength ของ พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตจะอยู่ที่ 248 °C (Zero Strength หมายถึง อุณหภูมิที่พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลตต้านทานต่อแรง 1.4 kg/cm^2 เป็นเวลา 5 วินาทีได้) โดยแสดงคุณสมบัติอื่นๆ ดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (ณัทกาญจน์และคณะ, 2557)

คุณสมบัติ	ค่าที่วัดได้
จุดหลอมเหลว (°C)	250 - 260
จุดเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (°C)	80
ค่าความร้อนจำเพาะ (cal/g-degree) ที่ 25 °C	0.315
ค่าความร้อนจำเพาะ (cal/g-degree) ที่ 200 °C	0.476
ความสามารถในการนำความร้อน (cal/cm.sec.degree)	3.63×10^{-4}
Zero Strength (°C)	248

ความสามารถในการซึมผ่าน (ณัทกาญจน์และคณะ, 2557)

ฟิล์มพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตทนต่อการซึมผ่านของแก๊ส เช่น แก๊สออกซิเจนและไนโตรเจน โดยฟิล์มพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่มีความหนา 0.5 mm ที่ 100% ความชื้นสัมพัทธ์ จะให้ออกซิเจนผ่านได้ 5.7 g/(m^2)(hr) และยอมให้ไนโตรเจนซึมผ่านได้ 5.2 g/(m^2)(hr)

ความต้านทานต่อแสง (ณัทกาญจน์และคณะ, 2557)

ความต้านทานของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตต่อการเสียสภาพจากแสง (Photochemical Degradation) อยู่ในเกณฑ์ดี บางครั้งการเสียสภาพจากความร้อน (Thermal Degradation) จะเกิดขึ้นเมื่อพอลิเมอร์ถูกให้ความร้อนเหนือจุดหลอมเหลว

การใช้งาน (ธนาวดี, 2551)

PET เป็นไฟเบอร์สังเคราะห์ที่ใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ รวมทั้งสิ่งทอซึ่งมักถูกเรียกเป็นชื่อย่อว่า โพลีเอสเทอร์ เนื่องจาก PET เป็นพลาสติกที่แก๊สซึมผ่านได้ยากกว่าพลาสติกที่มีราคาถูกซึ่งไม่ทนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำอัดลม และเครื่องดื่มที่มีความเป็นกรด เช่น น้ำผลไม้ นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบา และทนต่อแรงกระแทกได้ดี ผู้ผลิตจึงนิยมใช้ PET ในการบรรจุน้ำอัดลม น้ำดื่ม น้ำผลไม้ เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และผลิตเป็นฟิล์มพลาสติก หรือภาชนะบรรจุอาหารสำหรับไมโครเวฟ โดยปกติภาชนะพลาสติกจะมีสัญลักษณ์ที่เป็นตัวเลขระบุชนิดของพลาสติกอยู่ที่ก้นขวดหรือบนภาชนะ เพื่อความสะดวกสำหรับการจำแนกชนิดของพลาสติกเพื่อนำกลับไปเวียนทำใหม่ (recycle) โดยภาชนะที่ทำจาก PET จะได้รับสัญลักษณ์เป็นเลข 1 ซึ่งหมายถึง Resin Identification Code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 รหัสรีไซเคิลของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต
(บทความวิทยาศาสตร์ สารเคมีในชีวิตประจำวันเกี่ยวกับพลาสติก,2550)

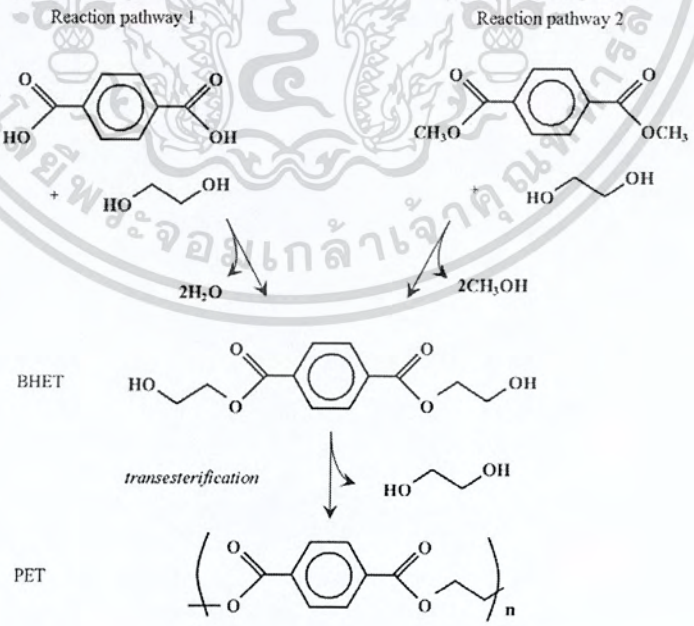
พลาสติก PET ที่ใช้แล้วจะถูกนำไปเวียนทำใหม่ในการผลิตภาชนะใหม่ ส่วนประกอบของเสื้อยืด เสื้อกันหนาว ถุงนอน รองเท้า กระเป๋า พรม ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ ฯลฯ

ความเป็นพิษ

PET ค่อนข้างปลอดภัยเมื่อกลืน สัมผัส หรือสูดดม ไม่เป็นสารก่อกลายพันธุ์ และไม่รบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ จึงไม่มีผลต่อระดับฮอร์โมนต่าง ๆ

นิยมนำมาผลิตเป็นขวดสำหรับเครื่องดื่ม แต่แนวโน้มในการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับเครื่องอุปโภคต่างๆมีเพิ่มขึ้น ฟิล์มPET ที่เป็น biaxial orientation มีสมบัติในการป้องกันการแพร่ผ่านของกลิ่นได้ดี และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้โดยการเคลือบผิวฟิล์มวัสดุอื่นเช่น polyvinylidiene chloride อะลูมิเนียม หรือ ซิลิกอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ PET ยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี เนื่องจากกระบวนการผลิตเป็น biaxial orientation
(บทความวิทยาศาสตร์ สารเคมีในชีวิตประจำวันเกี่ยวกับพลาสติก, 2550)

กลไกการสังเคราะห์ PET



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) (Hayden K. Webb, 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 น้ำอัดลม (พิมพ์เพ็ญ, 2553)

น้ำอัดลม (beverage) เป็นเครื่องดื่มอัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (carbonated beverage) ที่มีส่วนประกอบหลักคือ น้ำโซดา (carbonated water) มีรสหวาน ด้วยสารให้ความหวาน (sweetener) เติมสี (coloring agent) และวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรส (flavoring agent) ไม่มีแอลกอฮอล์ น้ำที่ใช้เป็นน้ำสะอาดตามคุณภาพหรือมาตรฐานน้ำดื่ม มีปริมาณร้อยละ 86-93 ผสมกับน้ำตาลร้อยละ 7-14 สารปรุงแต่งกลิ่น รส และสีที่ได้จากส่วนผสมของผลไม้ พืชผัก หรือสมุนไพร ที่ยอมให้ใช้ได้ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข แล้วอัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อให้มีรสซ่า เป็นเครื่องดื่มที่เป็นแหล่งของพลังงาน ซึ่งร่างกายสามารถได้รับได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากปริมาณน้ำตาลที่เป็นส่วนประกอบ และน้ำตาลที่ใช้อยู่ในรูปของเหลว ซึ่งสามารถจะผ่านช่องปากลงสู่กระเพาะอาหารได้อย่างรวดเร็ว แพทย์จึงมักจะแนะนำให้เด็กและผู้ใหญ่ดื่มน้ำอัดลม หากไม่สามารถรับประทานอาหารอื่นได้ นอกจากจะเพิ่มปริมาณของเหลวที่ร่างกายได้รับแล้ว น้ำอัดลมยังมีผลช่วยบรรเทาอาการคลื่นเหียนจากการแพ้ท้อง หรือหลังการผ่าตัด ช่วยในระบบย่อยอาหาร และดับความกระหาย

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำอัดลม คือ

1. น้ำ น้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำอัดลมจะต้องเป็นน้ำสะอาดตามคุณภาพหรือมาตรฐานของน้ำดื่มตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งจะต้องนำมาผ่านกระบวนการตกตะกอนด้วยสารเคมี กรองผ่านทราย ลดความกระด้าง เติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค และกรองด้วยถ่านกัมมันต์ (activated carbon)

2. น้ำตาล น้ำตาลที่ใช้เป็นน้ำตาลซูโครสซึ่งใช้ได้ทั้งในรูปเกล็ดและของเหลว แต่ควรมีน้ำตาลอินเวิร์ตร้อยละ 0.0015 ปริมาณร้อยละ 0.017 pH เป็นกลาง เมื่อละลายน้ำแล้วได้สารละลายใส ไม่มีสี

3. มีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่า 400 โคโลนี ต่อ 10 มิลลิลิตรของน้ำตาล หลังจากเพาะเชื้อ 3 วันที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

4. หัวน้ำเชื้อ (concentrate) หมายถึง สารให้กลิ่นรส สี กรด และวัตถุกันเสียที่มีการเตรียมให้อยู่ในลักษณะของหัวน้ำเชื้อ โดยบริษัทแม่ที่เป็นเจ้าของเครื่องหมายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งบรรจุมาใช้ในภาชนะที่กันความชื้นอย่างดีและเก็บในห้องเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 4-10 องศาเซลเซียส บางชนิดอยู่ในสภาพเหลว แต่บางชนิดจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกอยู่ในรูปผลึกและผง ส่วนมากเป็นพวกกรดซิตริก สี และวัตถุกันเสีย ส่วนที่สองอยู่ในรูปของเหลวเป็นสารที่ให้กลิ่นรส

5. แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้จะอยู่ในรูปของเหลวซึ่งจะต้องไม่มีแก๊สชนิดอื่นปนอยู่ มีลักษณะและคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คาร์บอนไดออกไซด์สำหรับเครื่องดื่มดังนี้คือ มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5 โดยมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ไม่เกิน 10 ส่วนในล้านส่วน ปริมาณไนตริกออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ ไม่เกิน 8.6 ส่วนในล้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน และจะต้องมีการตรวจสอบความเป็นกรด ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ฟอสฟีน (phosphine) และสารอินทรีย์ที่เป็นสารรีดิวซ์ (organic reducing substance)

กรรมวิธีการผลิตน้ำอัดลม กรรมวิธีการผลิตน้ำอัดลมในโรงงานอุตสาหกรรม มีขั้นตอนดังนี้

1. การเตรียมน้ำบริสุทธิ์ เป็นขั้นตอนการเตรียมน้ำที่ใช้ในการผสมน้ำตาลและหัวน้ำเชื้อให้ได้น้ำอัดลมที่มีคุณภาพดี มีกลิ่นรสสม่ำเสมอ จำเป็นต้องใช้น้ำที่บริสุทธิ์กว่าน้ำดื่มปกติ โดยนำน้ำที่มีคุณภาพมาตรฐานตามน้ำดื่มมาปรับปรุงให้มีลักษณะปรากฏ รสชาติ และกลิ่นรสที่ดีขึ้น และกำจัดเกลือแร่บางชนิด ซึ่งอาจทำได้หลายวิธีขึ้นกับคุณภาพของแหล่งน้ำที่นำมาใช้ในการผลิต วิธีที่ง่ายที่สุด คือ การกำจัดสารแขวนลอยโดยผ่านการกรองด้วยทราย กำจัดกลิ่นรสที่แปลกปลอมหรือไม่ต้องการ โดยเฉพาะกลิ่นคลอรีน ด้วยการกรองผ่านผงถ่านกัมมันต์

2. การเตรียมน้ำเชื่อม เป็นการนำน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์มาผสมกับน้ำพร้อมกับเติมผงถ่านเพื่อฟอกสีน้ำตาลให้ขาว กรองให้ได้น้ำเชื่อมใสแล้วผ่านน้ำเชื่อมมายังถังที่ทำความเย็น เพื่อลดอุณหภูมิน้ำเชื่อมลงให้เหลือ 24 องศาเซลเซียส เพื่อให้กลิ่นหัวน้ำเชื้อคงอยู่ ถ้าอุณหภูมิสูงกลิ่นจะระเหยไป จากนั้นนำน้ำเชื่อมไปผ่านการฆ่าเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเลตก่อนที่จะนำไปผสมกับหัวน้ำเชื้อในขั้นตอนต่อไป การผสมน้ำเชื่อมกับหัวน้ำเชื้อ เป็นขั้นตอนการนำน้ำเชื่อมที่เตรียมได้มาผสมกับหัวน้ำเชื้อซึ่งหากเป็นหัวน้ำเชื้อที่ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ในรูปของเหลวและรูปของผลึกหรือผง จะต้องนำทั้งสองส่วนมาผสมเข้าด้วยกันเสียก่อน แล้วจึงนำมาผสมกับน้ำเชื่อม กวนด้วยใบพัดให้เป็นเนื้อเดียวกัน จะได้น้ำเชื่อมสำเร็จรูป (finished syrup) ซึ่งจะมีความเข้มข้นและความหวานสูง จึงต้องนำไปเจือจางให้มีความหวานตามที่ต้องการสำหรับน้ำอัดลมแต่ละชนิด ซึ่งจะอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 9.5-14.0

3. การผสม (mixing) ส่วนผสมต่างๆ เช่น น้ำเชื่อม สารแต่งกลิ่นรส (flavoring agent) สี (coloring agent) กรดซิตริกให้เป็นเนื้อเดียวกัน ตรวจวัดความเข้มข้นของส่วนผสม ด้วยการวัดค่า brix และ pH

4. การอัดแก๊ส การอัดแก๊สลงในน้ำอัดลมเป็นขั้นตอนสำคัญมากที่สุด เพราะจะทำให้เกิดรสซ่าของเครื่องดื่ม การอัดแก๊สจะเป็นการละลายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลงในน้ำเชื่อมที่ผสมกับหัวน้ำเชื้อและทำให้เจือจางแล้ว ซึ่งการละลายจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ความดันสูง การอัดแก๊สในโรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เหลว ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนจะเปลี่ยนสถานะมาอยู่ในรูปแก๊ส เมื่อเปิดแก๊สออก แก๊สจะผ่านคาร์โบเนเตอร์ (carbonator) ที่สามารถควบคุมปริมาณแก๊สที่จะเติมลงในเครื่องมือได้ การอัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่องดื่มจะอัดในปริมาตร 1-5 ขึ้นกับชนิดของเครื่องดื่ม

5. การบรรจุ น้ำอัดลมที่ได้ผ่านการอัดแก๊สแล้วจะผ่านเข้าเครื่องบรรจุที่มีขวดหรือกระป๋องมารองรับและปิดฝา นำไปบรรจุลัง เรียงเป็นกะบะ แล้วเก็บไว้ในโรงเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สำหรับขวดที่ใช้ในการบรรจุเครื่องดื่มนั้นจะเป็นขวดที่มีการหมุนเวียนเก็บจากตลาดมาใช้ ดังนั้นจึงต้องผ่านการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อก่อนที่จะนำมาใช้บรรจุเครื่องดื่มอีก การทำความสะอาดขวดจะใช้เครื่องล้างขวดซึ่งอาจแช่ขวดในสารละลายของโซดาไฟ หรือใช้หัวฉีดสารละลายโซดาไฟกับน้ำร้อยละ 3-4 ที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส ลงในขวด แล้วฉีดด้วยน้ำทั้งด้านในและด้านนอกขวดให้สะอาดจนหมดสารละลายโซดาไฟซึ่งจะต้องตรวจสอบก่อนที่จะนำขวดไปใช้

2.4 สีผสมอาหาร (ค้วน, 2559)

ด้วยความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ และวิวัฒนาการในการผลิตอาหาร ผู้ผลิตจึงใช้วัตถุอย่างอื่นที่มิใช่เป็นอาหารโดยธรรมชาติ เข้ามาผสมอยู่ในอาหารมากมายหลายชนิด โดยเฉพาะวัตถุที่ใช้แต่งสีอาหารให้น่ารับประทาน ก็คือ สีผสมอาหาร นั่นเอง ซึ่งก็มิได้มีคุณค่าต่อการบริโภคเลย ซ้ำยังจะเป็นพิษแก่ผู้บริโภคด้วย ฉะนั้นถ้าไม่จำเป็นควรหลีกเลี่ยงการใส่สีในอาหารและเลิกรับประทานอาหารที่ใส่สี

2.4.1 ประเภทของสีผสมอาหาร

สีผสมอาหารแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. สีสังเคราะห์ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1.1 สีอินทรีย์สังเคราะห์ (certified color หรือ synthetic colorant) แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

– สีสังเคราะห์ที่ละลายน้ำ แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ (dyes) เหมาะสำหรับอาหารที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ

– สีสังเคราะห์ที่ละลายได้ในน้ำมัน (lakes) เหมาะสำหรับอาหารประเภทไขมัน ส่วนสีสังเคราะห์ที่อนุญาตให้ใช้ในอาหาร ได้แก่ ปองโซ 4 อาร์(ponceau4 R), คาร์โมอีซีน หรือ เอโซรูบิน (carmosine or azorubine), เออริโทรซีน (erythrosine) จัดอยู่ในกลุ่มของสีแดง ส่วนตาร์ตราซีน (tartasine), ซันเซ็ต เย็ลโลว์ เอ็ฟ ซี เอ็ฟ (sutset yellow FCF), ไรโบฟลาวิน (riboflavin) จัดอยู่ในกลุ่มของสีเหลือง ส่วนฟาสต์ กรีน เอ็ฟ ซี เอ็ฟ (fast green FCF) จัดอยู่ในกลุ่มของสีเขียว ส่วนอินดิโกคาร์มีน หรือ อินดิโกติน (indigocarmine or indigotine), และบริลเลียนท์ บลู เอ็ฟ ซี เอ็ฟ (brilliant blue FCF) จัดอยู่ในกลุ่มของสีน้ำเงิน

1.2 สีสังเคราะห์เลียนแบบสารธรรมชาติ ได้แก่ บีตาแครอทีน, บีตา-อะโป-8-แครอทีนาล เป็นต้น

2. สีจากธรรมชาติ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

2.1 สีอนินทรีย์ ได้แก่ ผงถ่าน ปูนขาว และไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide) เป็นต้น

2.2 สีที่สกัดได้จากธรรมชาติ (natural pigment) ได้แก่ สีที่สกัดจากส่วนใดส่วนหนึ่งของพืช ผัก ผลไม้ จุลินทรีย์ และสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีผสมอาหารจากธรรมชาติ

สีผสมอาหารจากธรรมชาติแบ่งตามโครงสร้างของรงควัตถุ (pigment) ได้เป็น 4 กลุ่ม คือ

1. อนุพันธ์เททราไพโรล (tetrapyrole derivative) ได้แก่ คลอโรฟิลล์ (chorlophyll) และฮีม (heme) แต่คลอโรฟิลล์ที่พบในพืชจะเปลี่ยนแปลงโทนสีได้เร็วมาก เนื่องจากมีแมกนีเซียมในโมเลกุลทำให้ไวต่อปฏิกิริยากับธาตุอื่น เช่น ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนทำให้สีเขียวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

2. อนุพันธ์ไอโซพรีนอยด์ (isoprenoid derivative) ได้แก่ แครอทีนอยด์ชนิดต่างๆ เช่น บีตาแครอทีน, บีตา–อะโป–8–แครอทีนาล และแคนทาแซนทีน สารเหล่านี้จะให้สีเหลืองส้มจนถึงแดง

3. อนุพันธ์เบนโซไพราน (benzopyran derivative) สารสีกลุ่มนี้เรียกว่า แอนโทไซยานิน พบในพืชที่มีสีแดง สีน้ำเงินถึงม่วงเข้ม รวมถึงสารในกลุ่มแอนโทแซนทิน และแทนนิน แต่สีกลุ่มนี้เปลี่ยนแปลงได้ง่ายจึงไม่ค่อยนิยม

4.สีชนิดอื่น ๆ ได้แก่ สีแดงจากครั่ง สีเหลืองจากขมิ้น สีม่วงจากดอกอัญชัน สีเหลืองหรือสีแสดจากดอกคำฝอย เป็นต้น

สีผสมอาหารที่ได้มาตรฐาน

1. ไม่มีสารพิษ และสารสีไม่เกิดอันตรายแก่ผู้บริโภค
2. พบโลหะหนักของโครเมียม แคดเมียม ปรอท และซาเซเนียม อย่างใดอย่างหนึ่ง ไม่เกิน 1 ppm
3. พบสารหนู ไม่เกิน 5 ppm
4. พบตะกั่ว ไม่เกิน 20 ppm
5. พบโลหะหนักชนิดอื่นๆ รวมกันไม่เกิน 20 ppm

ข้อกำหนดปริมาณการใช้

1. เครื่องดื่ม ไอศกรีม ลูกกวาด และขนมหวานที่ใช้สีผสมอาหารตามข้อ 2 ให้ใช้ได้ไม่เกิน 70 มิลลิกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม ยกเว้นสีปองโซ 4 อาร์ และสีบริลเลียนต์บลู เอ็ฟ ซี เอ็ฟ ที่อนุโลมไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม

2. อาหารอื่นที่มิใช่อาหารตาม ข้อ 1

– สีปองโซ 4 อาร์ (Ponceau 4 R) ใส่ในอาหารได้ ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม

– สีเอโซรูบิน (Azorubine) ใส่ในอาหารได้ ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม

– สีเออริโทรซิน (Erythrosine) ใส่ในอาหารได้ ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม

– สีตาร์ตราซีน (Tartrazine) ใส่ในอาหารได้ ไม่เกิน 200 มิลลิกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม

– สีซันเซ็ต เย็ลโลว์ เอ็ฟ ซี เอ็ฟ (Sunset Yellow F C F) ใส่ในอาหารได้ ไม่เกิน 200 มิลลิกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม

– สีฟาสต์ กรีน เอ็ฟ ซี เอ็ฟ (Fast Green F C F) ใส่ในอาหารได้ ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

– สีอินดิโกคาร์มีน หรือ อินดิโกติน (Indigocarmine/Indigotine) ใส่ในอาหารได้ ไม่เกิน 200 มิลลิกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม

– สีบริลเลียนต์ บลู เอ็ฟ ซี เอ็ฟ (Brilliant Blue F.C.F.) ใส่ในอาหารได้ ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม

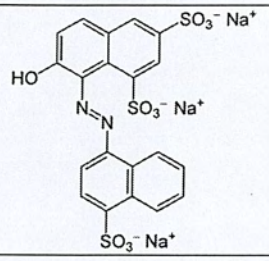
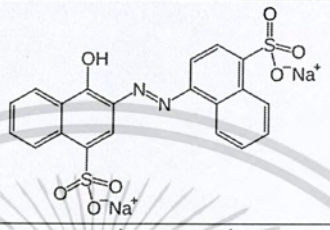
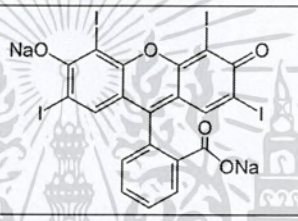
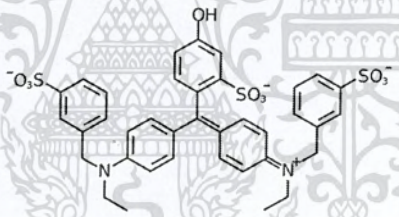
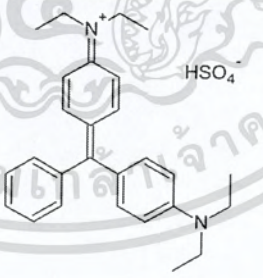
อันตรายจากสีสังเคราะห์

1. สีสังเคราะห์มีผลต่อสมดุล และประสิทธิภาพของน้ำย่อยในกระเพาะอาหารอาจทำให้เกิดอาการอาหารย่อยยาก ท้องอืด ท้องเฟ้อ เป็นต้น

2. สีสังเคราะห์บางชนิดอาจมีส่วนผสมหรือปนเปื้อนโลหะหนัก ถึงแม้จะไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด เช่น แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว เป็นต้น แต่หากรับประทานต่อเนื่องเป็นเวลานานอาจเกิดการสะสม และก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายได้ เช่น มีอาการวิงเวียนศีรษะ เบื่ออาหาร ลำไส้อักเสบ และอาจเกิดมะเร็งตามมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

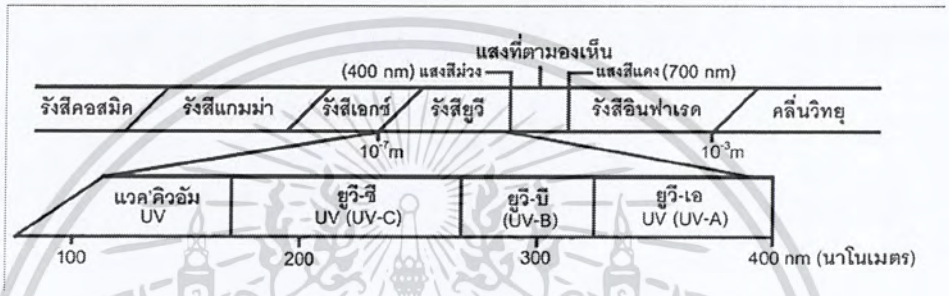
ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างสีที่ใช้ผสมในน้ำอัดลม (Wikipedia, 2559)

ชนิดของสี	สูตรโครงสร้าง	หมายเหตุ
ปองโซ 4 อาร์ (ponceau4 R)		จัดอยู่ในกลุ่มของสีแดง
คาร์โมอีซีน หรือ เอโซรูบิน (carmosine or azorubine)		จัดอยู่ในกลุ่มของสีแดง
เออริโทรซีน (erythrosine)		จัดอยู่ในกลุ่มของสีแดง
ฟาสต์ กรีน เอ็ฟ ซี เอ็ฟ (fast green FCF)		จัดอยู่ในกลุ่มของสีเขียว
บิลเลียน กรีน (Brilliant Green)		จัดอยู่ในกลุ่มของสีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 แสงอัลตราไวโอเลต (แสวง, 2559)

แสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet Light) แสงอัลตราไวโอเลต หรือ แสงยูวี (Ultraviolet) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นเดียวกับคลื่นวิทยุ รังสี เอ็กซ์รังสีแกมมา แสงแดด หรือ แสงสว่าง ก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นกัน แต่มีช่วงความยาวคลื่นที่ตาของ มนุษย์สามารถรับรู้ความรู้สึกได้ ทำให้เราสามารถมองเห็นสิ่งต่างๆ เราจึงเรียกว่า แสงสว่าง หรือ แสงที่ตา มองเห็น (Visible light) แสงหรือรังสีที่กล่าวมาแล้วต่างเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนกันเพียงแต่มีความยาวคลื่นต่างกัน ถ้านำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ มาเรียงลำดับตามขนาดความยาวคลื่น ในหน่วยนาโนเมตร (nm) จะได้แถบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเรียกว่าสเปคตรัม (Spectrum) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.7 แสดงแถบสเปคตรัม (Spectrum) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ เรียงตามขนาดความยาวคลื่น (นาโนเมตร nm) (1 นาโนเมตร เท่ากับ 10-9 เมตร หรือ 1,000 นาโนเมตร เท่ากับ 1 ไมครอน) (แสวง, 2559)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นจะมีพลังงานสูงกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นมาก ซึ่งความยาวคลื่นแปรผกผันกับความถี่ กล่าวคือ แสงที่มีความยาวคลื่นสั้น ความถี่จะสูง และแสงที่มีความยาวคลื่นยาว จะมีความถี่ต่ำ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสง (c) ความสัมพันธ์ของความยาวคลื่น (λ) และความถี่เป็นดังนี้ $c=\lambda v$ หรือ $v=c\lambda$ [1]

สามารถคานวณหาค่าพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้จากสมการที่ 1

$$u=hv=hc\lambda \qquad (1)$$

U คือ พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (จูล J)

h คือ ค่าคงที่ของแฟรงค์ (Planck constant) ซึ่งมีค่า 6.6261×10^{-34} (จูลวินาที Js)

V คือ ความถี่ (ต่อวินาที s^{-1})

c คือ ความเร็วแสง 2.9979 x 108 เมตรต่อวินาที m/s

λ คือ ความยาวคลื่น (เมตร m)

แสงอัลตร้าไวโอเลต หรือ แสงยูวี เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 100 ถึง 400 นาโนเมตร ซึ่งมีพลังงานสูงพอที่จะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ถ้าแสงยูวีที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 200 นาโนเมตร มีพลังงานมากพอที่จะทำลายพันธะทางเคมีได้อาจทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

radicals) ที่มีพลังงานสูงทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้อย่างต่อเนื่อง เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสาร ก่อให้เกิดสารอนุพันธ์ของสารตั้งต้นได้มากมาย รวมทั้งสามารถทำลายพันธะของออกซิเจน O_2 ทำให้เกิดก๊าซโอโซน O_3

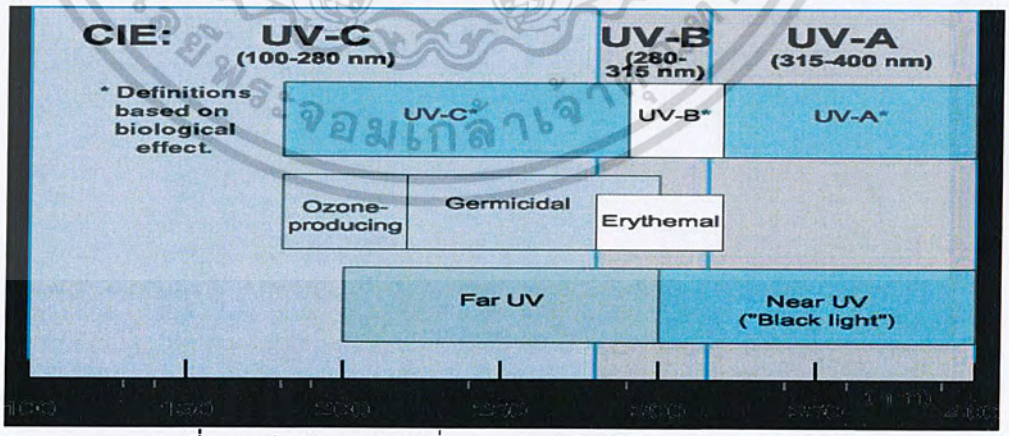
แสงยูวีแบ่งเป็น *3* ช่วงตามลักษณะที่มีผลกระทบทางชีวภาพ

1. UV A ช่วงความยาวคลื่น 315 – 400 nm เป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีพลังงานต่ำที่สุดของแสงยูวีซึ่งจะส่งผลกระทบทำให้ผิวหนังมีสีน้ำตาล *(Sun tanning)* แต่เนื่องจากเป็นคลื่นที่อยู่ใกล้กับแสงที่ตามองเห็น จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า *near UV*

2. UV B ช่วงความยาวคลื่น 280 – 315 nm จะมีพลังงานสูงขึ้น สามารถทำให้ผิวหนังไหม้เกลียม และมีหลักฐานว่า เป็นต้นเหตุของการเกิดมะเร็งผิวหนัง

3. UV C ช่วงความยาวคลื่น 200 - 280 nm ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าแสงยูวีทั้งสองชนิดแรก สามารถดูดกลืนโดย DNA, RNA ในนิวเคลียสของเซลล์ทำให้เซลล์เกิดการกลายพันธุ์ เกิดเซลล์มะเร็ง และเกิดการตายของเซลล์ สมัยโบราณมีการใช้แสงยูวีฆ่าเชื้อเซลล์ที่อยู่บนผิวหนังของคนที่เป็นโรคเรื้อน ถ้ามองแสงยูวีด้วยตาเปล่า อาจทาให้เกิดการไหม้ของจอประสาทตา ทำให้ตาบอด และทำให้สารประกอบในกระจกตาขุ่น เป็นโรคต้อกระจก

เนื่องจาก UV C สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ จึงเรียกว่า Germicidal UV range แสงยูวีที่มีความคลื่นน้อยกว่า 200 nm จะมีพลังงานมากพอที่จะทำลายพันธะทางเคมี และถูกดูดกลืนโดยสารประกอบ บางครั้งอาจเรียกว่า Ozone UV เพราะเป็นแสงยูวีที่สามารถกระตุ้นออกซิเจนในอากาศเป็นโอโซนได้ เนื่องจากแสงยูวีช่วงความยาวคลื่นนี้ถูกดูดกลืนโดยไอน้ำ และออกซิเจนในอากาศ ดังนั้น ถ้าแสงยูวีที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 200 นาโนเมตร เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศจะถูกดูดกลืนหมด ต้องเป็นตัวกลางที่เป็นสุญญากาศแสงยูวีจึงจะส่องผ่านได้ จึงเรียก Vacuum UV



รูปที่ 2.8 ช่วงความยาวคลื่นของแสงยูวีชนิดต่างๆ (แสวง, 2559)

Ozone Producing คือ แสงยูวีที่มีพลังงานสูง สามารถทำให้ออกซิเจน O_2 ในอากาศกลายเป็นโอโซน O_3

Germicidal คือ แสงยูวีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Erythemal	คือ แสงยูวีที่ทำให้เกิดอาการอาการผื่นแดงที่ผิวหนัง
Far UV	คือ แสงยูวีที่มีความยาวคลื่นแตกต่างจากความยาวคลื่นของแสงที่ตามองเห็นมาก
Near UV	คือ แสงยูวีที่มีความยาวคลื่นใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของแสงที่ตามองเห็น หรือเรียกว่าแสงแบล็คไลต์ (Black light) ซึ่งเป็นแสงสีม่วงเข้มๆ สะท้อนกับพื้นสีขาวได้ดี ใช้เป็นแสงประกอบการแสดง

โดยปกติแสงยูวีในธรรมชาติที่มาจากดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านอวกาศมาจนถึงชั้นบรรยากาศของโลก ซึ่งในชั้นบรรยากาศ ชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) ซึ่งมีก๊าซโอโซน โอโซนในชั้นบรรยากาศนี้จะดูดกลืนแสงยูวีซี (UV C) เกือบทั้งหมดจะเหลือแสงยูวีบี (UV B) และแสงยูวีเอ (UV A) ที่ส่องถึงผิวโลกที่เราใช้ในการอาบแดดเพื่อปรับสีผิวให้เป็นสีน้ำตาล (Sun tanning) แต่ทุกวันนี้โอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง จึงทำให้แสงยูวีซี ทะลุผ่านถึงพื้นโลกมากขึ้น ดังนั้นในการอาบแดดเพื่อปรับสีผิว หรือต้องการให้ผิวหนังผลิตวิตามินดี ก็ต้องระวังรังสียูวีซี ที่อาจทำให้เกิดมะเร็งผิวหนังและอาจทำให้เกิดต้อกระจก หรือตาบอดได้ ดังนั้นในการอยู่ท่ามกลางแสงแดดแรงๆ จึงควรสวมแว่นกันรังสียูวี และทาครีมกันแดดที่มีค่าการดูดกลืนแสงยูวีในระดับที่เหมาะสม ที่ระบุเป็นค่า SPF (Sun Protection Factor)

การย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation) (ณัทกาญจน์และคณะ, 2557)

พลาสติกทุกชนิดสามารถถูกกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา Oxidation ได้ด้วยแสง UV ซึ่งเรียกว่า Photo-Oxidation ความยาวคลื่นของแสง UV ที่มีผลต่อการเกิด Photo-Oxidation ของพลาสติกอยู่ในช่วง 290 – 400 nm. (UV-A ถึง UV-B) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใส่สารป้องกันการเกิด Photo-Oxidation ของพลาสติกจากรังสี UV เพื่อยืดอายุการใช้งานของพลาสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำไปใช้งานกลางแจ้ง

สำหรับการเกิด Photo-Degradation ของพอลิเมอร์นั้น จะเกิดเนื่องมาจากการที่พอลิเมอร์สัมผัสกับแสงอัลตราไวโอเลตเป็นเวลานานโดยการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตซึ่งมีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้เกิดการแตกพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมและเกิดอนุมูลอิสระขึ้น แล้วทำให้เกิดการเชื่อมโยงพันธะหรือเกิดการย่อยสลาย การเสื่อมสภาพนั้นก็จะถูกเร่งด้วยปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น ปริมาณออกซิเจน ความชื้น และอุณหภูมิ เมื่อใดก็ตามที่พลาสติกเกิดการเสื่อมสภาพสามารถสังเกตได้จากสีของชิ้นงานพลาสติกเริ่มเปลี่ยนแปลงไปเป็นสีเหลืองหรือซีดจางลง ก็จะส่งผลให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของพลาสติกเปลี่ยนแปลงไป

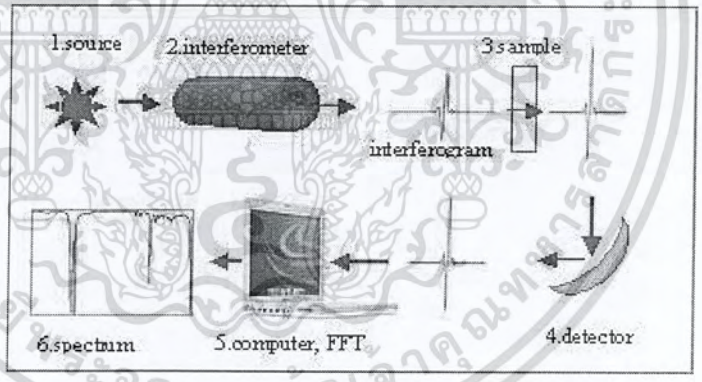
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.6.1 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR Spectrophotometer)

เครื่อง FT-IR Spectrophotometer เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานและหาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ด้วยเทคนิค FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy Technique) โดยอาศัยหลักการการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด เมื่อรังสีอินฟราเรดถูกดูดกลืนพลังงานจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานการหมุนและสั่นของโมเลกุล โดยโมเลกุลของสารแต่ละชนิดจะให้สเปกตรัมที่เป็นเอกลักษณ์ของพันธะของโมเลกุลนั้นๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการพิสูจน์หาสูตรโครงสร้างของสารประกอบ เครื่อง FT-IR Spectrophotometer มีความสามารถในการแยกสูง และสภาพไวสูง สามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีปริมาณน้อยได้ (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สจล., 2558)

เครื่อง FT-IR Spectrophotometer ประกอบไปด้วย แหล่งกำเนิดแสงเป็นแท่งเซรามิกที่เผาด้วยขดลวดความร้อน ทำให้เกิดรังสีอินฟราเรดสู่กระจกเงาที่ทาด้วยโลหะขัดมันแล้วสะท้อนคลื่นแสงเข้าสู่ตัวแยกแสง (Beam Splitter) เพื่อแยกคลื่นแสงออกเป็นสองส่วนเท่าๆกัน ส่วนหนึ่งจะผ่านทะลุออกไป อีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับสู่กระจกเงาที่เคลื่อนที่ได้ โดยมีแสงเลเซอร์ปรับระยะการเคลื่อนที่ของกระจกให้มีทิศทางที่คลื่นแสงมารวมกันเป็นลำแสงเดี่ยวผ่านไปยังสารตัวอย่าง เรียกว่า The Michel Interferometer (ศูนย์รวมตำราเรียนรามคำแหง, 2555)



รูปที่ 2.9 หลักการทางานของเครื่องFT-IR Spectrophotometer
(Keck Interdisciplinary Surface Science Center, 2009)

ปัจจุบันมี IR Spectrum Libraries ของสารประกอบต่างๆถูกจัดกลุ่มเอาไว้ตามคุณสมบัติทางเคมี ที่สามารถเปรียบเทียบสเปกตรัมของสารตัวอย่างได้ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถบอกชนิดของสารตัวอย่าง พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาณของสารตัวอย่างได้เมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน (wachiraporn, 2550)

คลื่นรังสีอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าแต่ให้ความร้อนที่สัมผัสได้อยู่ระหว่างย่านที่มองเห็น (Visible region) กับย่านไมโครเวฟ ความยาวคลื่นของอินฟราเรดแบ่งเป็นช่วงๆ (ศูนย์รวมตำราเรียนรามคำแหง, 2555) คือ

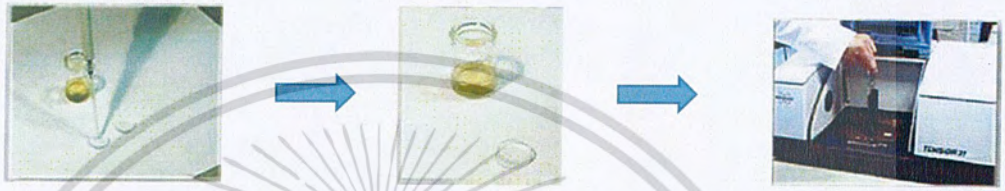
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ช่วงเลขคลื่น 4,000 – 121,800 cm^{-1} เป็นย่านอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared region)
2. ช่วงเลขคลื่น 200 - 4,000 cm^{-1} เป็นย่านอินฟราเรดกลาง (Middle Infrared region)
3. ช่วงเลขคลื่น 10 – 200 cm^{-1} เป็นย่านอินฟราเรดไกล (Far Infrared region)

2.6.1.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ FT-IR

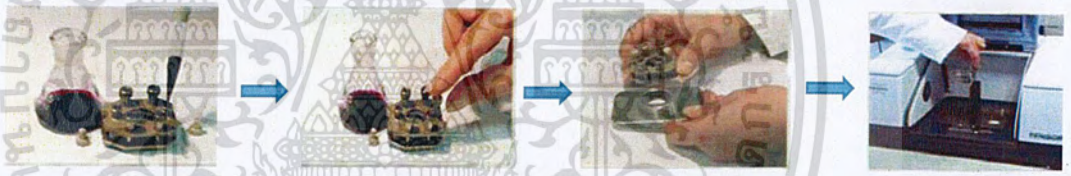
2.6.1.1.1 ตัวอย่างเป็นของเหลว สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1) ทำการหยดตัวอย่างจำนวน 1 หยด บน KBr cell แล้วใช้ KBr cell อีก 1 ชิ้นประกบทับแล้วนำไปใส่ในช่อง cell เพื่อทำการวัด



รูปที่ 2.10 การเตรียมตัวอย่างของเหลวโดยเตรียมเป็น Thin-film
(ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2548)

2) ทำการเติมตัวอย่างลงไปใน liquid cell แล้วนำไปใส่ในช่อง cell เพื่อทำการวัด

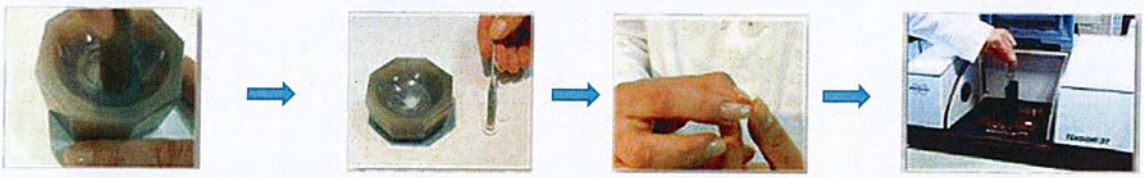


รูปที่ 2.11 การเตรียมตัวอย่างของเหลวโดยเติมสารใน liquid cell
(ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2548)

2.6.1.1.2 ตัวอย่างเป็นผงละเอียด : สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1) ตัวอย่างสามารถละลายตัวทำละลายได้หมด : ให้นำตัวอย่างไปละลายในตัวทำละลายแล้วทำการวัดเหมือนกับการวัดตัวอย่างที่เป็นของเหลว

2) ตัวอย่างที่ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายได้ : ให้นำตัวอย่างไปละลายใน Nujol แล้ว นำตัวอย่างที่ได้ไปป้ายบน Cell หลังจากนั้นทำการวัดต่อไป ซึ่งแสดงได้ดังรูป

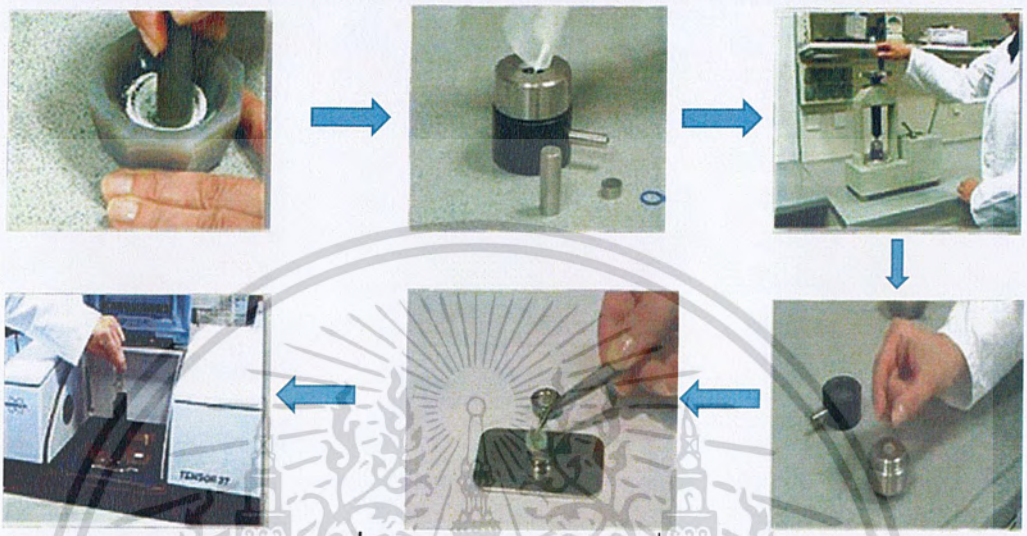


รูปที่ 2.12 การเตรียมตัวอย่างชนิดผงโดยเตรียมใน Nujol
(ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

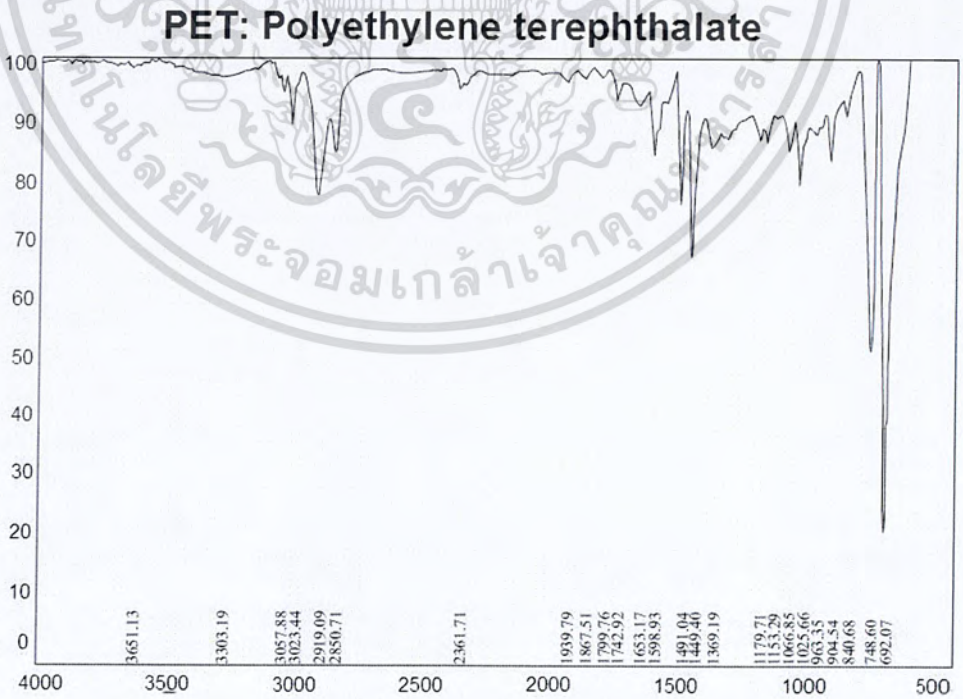
2.6.1.1.3 ตัวอย่างเป็นของแข็ง

สามารถเตรียมตัวอย่างโดยการนำตัวอย่างไปบดผสมกับ KBr (ควรใช้ตัวอย่างปริมาณ 1-5%) เมื่อตัวอย่างถูกบดผสมเข้ากับ KBr แล้วให้นำไปใส่ในเบ้าเพื่อที่จะนำไปอัดให้แป็นแผ่น หลังจากที่ได้ตัวอย่างเป็นแผ่นแล้วก็นำไปใส่ในช่องใส่ตัวอย่างแล้วทำการวัดต่อไปซึ่งแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.13 การเตรียมตัวอย่างที่เป็นของแข็ง
(ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,2548)

IR สเปกตรัม พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต



รูปที่ 2.14 % Transmittance ของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต

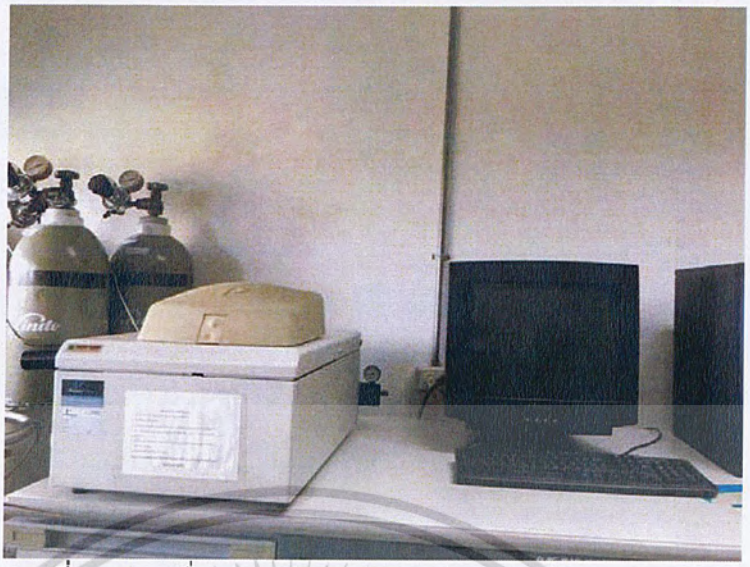
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.15 เครื่อง FT-IR Spectrophotometer (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สจล., 2558)

2.6.2 เครื่อง DSC (differential scanning colorimeter) (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2555)

DSC เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของวัสดุหลายชนิด เช่น แก้ว เซรามิก พลาสติกยาง เป็นต้น โดยวัดเป็นค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการดูดหรือคาย พลังงานขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้น (endothermic or exothermic processes) กระบวนการนี้เกิดจากการเปลี่ยนสถานะของสสาร เช่น การเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลวจะต้องมีการดูดพลังงาน เข้าไปเพื่อสลายพันธะ เรียกว่า ปฏิกิริยา endothermic ในทางกลับกันเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็น ของแข็งจะมีการปล่อยพลังงานเพื่อสร้างพันธะเรียกว่าปฏิกิริยา Exothermic ทำให้อุณหภูมิของตัวอย่างละสารมาตรฐาน (references) แตกต่างกัน ในขณะเดียวกันสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุนั้นๆ เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิภายใต้บรรยากาศที่ถูกควบคุม เช่น การเปลี่ยนเฟส การละลายการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึก การเดือด การเผาไหม้ การระเหย การคายน้ำ การแตกตัว กระบวนการออกซิเดชัน – รีดักชัน และปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นขณะที่วัสดุได้รับความร้อน ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะเป็นกราฟระหว่างความแตกต่างของปริมาณความร้อนและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกับอุณหภูมิโดยเทียบกับ references การวิเคราะห์ทำได้พร้อมกัน ทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 เครื่อง DSC (differential scanning colorimeter)
(ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สจล., 2558)

2.6.3 เครื่อง Ion Chromatograph (จรรจิรา, 2555)

IC เป็นเทคนิค Chromatograph อีกเทคนิคหนึ่งที่ใช้วิธีการแยกสารผสมในสภาวะการแตกตัวเป็นไอออน เช่น การวิเคราะห์โลหะในรูปประจุบวก ประจุลบ เช่น Na^{+} K^{+} Ca^{2+} Mg^{2+} Cl^{-} และ SO_4^{2-} เป็นต้น โดยอาศัยหลักการแลกเปลี่ยนประจุภายในคอลัมน์ ในระบบประกอบด้วยตัวพา ซึ่งเป็นเฟสเคลื่อนที่ในที่นี้เรียกว่า Eluent ส่วนมากจะเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ ซึ่งเป็นตัวพาสารตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์ (เฟสคงที่) ไอออนที่อยู่ในเฟสเคลื่อนที่และไอออนในสารตัวอย่างจะแข่งขันกันเข้าแลกเปลี่ยนกับประจุที่อยู่ที่ผิวของเฟสคงที่โดยทั่วไปไอออนที่มีขนาดเล็กจะแยกออกมาก่อน Ion Chromatograph สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ ได้หลากหลายเช่น การวิเคราะห์หาปริมาณ Cation, Anion, Amino acid และ Carbohydrate เป็นต้น

รูปที่ 2.17 เครื่อง Ion Chromatograph (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สจล., 2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 การทดสอบความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) (มหาวิทยาลัยบูรพา, 2547)

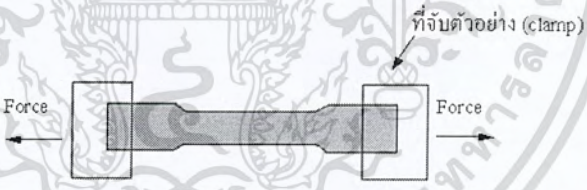
ความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ สามารถทดสอบจากลักษณะการยืดออกของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงจากภายนอก โดยอาศัยเทอม 2 เทอมที่สัมพันธ์กัน คือ ความเค้น (stress : σ) และความเครียด (strain : ε) ความเค้น คือ แรงที่ใช้ในการดึงหรือยืดตัวอย่าง ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด

ความเครียด (ε) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนไปของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงต่อความยาวเริ่มต้น

$$\text{ความเครียด} = \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนไป}}{\text{ความยาวเดิม}} = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\text{โมดูลัส (Modulus)} = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

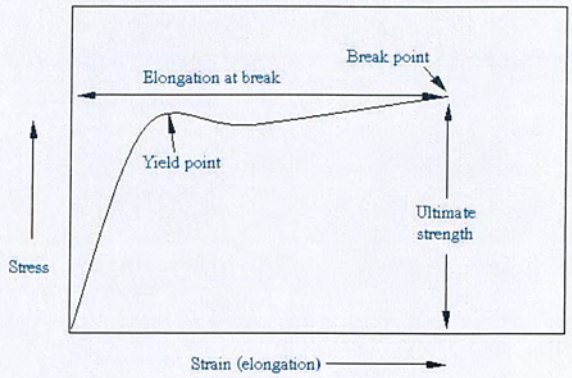
เนื่องจากพฤติกรรมความเค้นและความเครียดของวัสดุเป็นลักษณะที่ขึ้นกับเวลา อัตราเร็วที่ความเค้นหรือแรงถูกให้กับตัวอย่างจึงมีผลต่อการยืดของตัวอย่าง หรือความเครียดเป็นอย่างมาก เช่น เมื่อนำตัวอย่างประเภทเส้นใยมาทดสอบ โดยใช้แรงดึงอย่างรวดเร็วจนทำให้เส้นใยขาดออกโดยง่าย แต่เมื่อใช้แรงขนาดเดิมแต่ดึงอย่าง ช้า ๆ จะทำให้เส้นใยยืดออกและทนต่อแรงดึงอยู่ได้นานก่อนที่จะขาด ในทางปฏิบัติทั่วไปการทดสอบความเค้นและความเครียดของพอลิเมอร์ มักใช้ตัวอย่างรูปร่างดังแสดงไว้



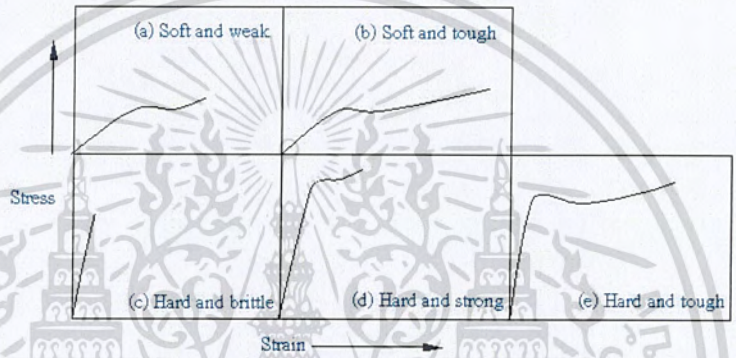
รูปที่ 2.18 รูปร่างตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่ใช้ทดสอบความเค้นและความเครียด (มหาวิทยาลัยบูรพา, 2547)

ปลายของตัวอย่างถูกยึดด้วยที่จับ และจะถูกดึงให้ยืดออกด้วยแรงที่รู้ขนาดแน่นอน จากนั้นจึงนำข้อมูลไปพล็อตกราฟระหว่างความเค้นและความเครียด (stress-strain curve) สำหรับพอลิเมอร์ที่มีลักษณะคล้ายยาง (elastomer) ซึ่งเกิดการยืดออกได้ง่ายเมื่อได้รับแรงดึง กราฟที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 2.19 นอกจากความเค้นและความเครียด แล้วยังมีเทอมที่แสดงสมบัติเชิงกลประเภทอื่นของพอลิเมอร์ อีก เช่น modulus หรือ stiffness ซึ่งแสดงโดยค่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียด หรือความชันในช่วงแรกของเส้นกราฟและ (toughness) ซึ่งแสดงถึงความต้านทานของการขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น- ความเครียด (มหาวิทยาลัยบูรพา,2547)



รูปที่ 2.20 การทดสอบความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ที่มีสมบัติต่าง ๆ กัน (มหาวิทยาลัยบูรพา, 2547)

รูปที่ 2.21 Universal Tensile machine (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สจล., 2558)

ข้อมูลสำคัญที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียด คือค่าความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดขาด (tensile strength at break) ซึ่งค่านี้สำหรับพอลิเมอร์ทั่วไปที่พบในชีวิตประจำวันสรุปไว้ในตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาดสำหรับพอลิเมอร์ทั่วไปที่พบในชีวิตประจำวัน (มหาวิทยาลัยบูรพา, 2547)

Polymer	Tensile Strength (psi)
Polyethylene (low to medium density)	1,000 - 2,400
Poly (tetrafluoroethylene)	3,500
Polyethylene (high density)	4,400
Poly (dimethylsiloxane)	5,000
Polypropylene	5,000
Poly (vinylidene chloride)	8,000
Polystyrene	8,000
ABS terpolymer	8,500
Polyamide	9,000 - 12,000
Polycarbonate	9,500
Polyesters (cast)	~ 10,000
Polysulfone	10,200 - 12,00
Poly (phenylene oxide)	10,500
Epoxy resin	
Cast	12,000
Molded	16,000
Glass-filled nylon	31,000
Fabric-reinforced epoxy resin	60,000 - 85,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) (กล้องจุลทรรศน์, 2554)

ในปัจจุบันกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope) ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นกว่าในอดีต กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสงที่ดีที่สุดในปัจจุบัน ซึ่งประกอบด้วยเลนส์ 2 ชุด คือ

1. เลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) เป็นเลนส์นูน มีกำลังขยายขนาดต่าง ๆ กันคือ 4X 10X 40X และ 100X สำหรับเลนส์ 100X นั้นต้องใช้น้ำมันเป็นตัวกลางระหว่างสไลด์ที่วางวัตถุกับเลนส์ใกล้วัตถุ เลนส์เหล่านี้ติดอยู่กับแป้นซึ่งหมุนได้โดยรอบ เพื่อปรับกำลังขยายที่ต้องการใช้ให้มาอยู่ตรงกับแท่นวางวัตถุ ตามปกติการเพิ่มกำลังของเลนส์ มักเริ่มจากการใช้เลนส์ใกล้วัตถุที่มีกำลังขยายต่ำก่อนแล้วเปลี่ยนเป็นกำลังขยายกลางและกำลังขยายสูงไปตามลำดับ

2. เลนส์ใกล้ตา (eyepiece) เป็นเลนส์นูนกำลังขยายเป็น 10X 15X และ 25X เลนส์ใกล้ตาหล่านี้สามารถเลือกได้ตามที่ต้องการโดยการถอดขนาดที่ไม่ต้องการออกแล้วนำขนาดที่ต้องการมาสวมที่ส่วนบนของลำกล้อง ตามปกติต้องสวมเลนส์ใกล้ตาไว้บนลำกล้องเสมอ เพื่อป้องกันฝุ่นละอองเข้าไปในลำกล้องและเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดแสง แสงที่ใช้กล้องแบบใช้แสงอาจเป็นแสงจากดวงอาทิตย์ตามธรรมชาติ กล้องแบบนี้จะมีกระจกเงา 2 ด้าน ช่วยรวบรวมแสงให้สะท้อนสู่ตรงกลางของแท่งวัตถุ กระจกเงาด้านเรียบใช้สำหรับรับแสงตามปกติ สำหรับวันที่มีแสงน้อยควรใช้กระจกเงาด้านโค้งเว้าเพื่อช่วยรวมแสง กระจกเงานี้บางกล้องออกแบบมาให้ถอดออกได้ แล้วใช้หลอดไฟเป็นแหล่งกำเนิดแสงแทน ซึ่งสะดวกต่อการนำไปใช้เพราะใช้ได้ทั้งกลางวันและกลางคืน รวมทั้งในห้องที่มีแสงน้อย

การปรับความเข้มของแสง กล้องบางรุ่นจะมีเลนส์รวมแสง (condenser lens) อยู่ใต้แท่งว่างวัตถุช่วยเพิ่มความเข้มของแสง และคัดเลือกแสงที่มีคุณภาพ นอกจากนี้ยังมีไดอะแฟรมช่วยปรับความเข้มของแสงตามที่ต้องการเพื่อให้เห็นภาพของวัตถุชัดขึ้น

รูปที่ 2.22 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดา (light microscope)
(ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สจล., 2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อรทัย จงประทีป และคณะ ได้ทำการศึกษาการคัดเลือกวัสดุสำหรับวิธีการฆ่าเชื้อโรคในน้ำโดยใช้แสงอาทิตย์ สำหรับวิธีการ SODIS (Solar water disinfection) เป็นวิธีการที่ง่ายโดยใช้เพียงขวดหรือถุงพลาสติกและแสงอาทิตย์ โดยมีรังสียูวีเอและความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญในการฆ่าเชื้อ จึงทำการคัดเลือกวัสดุเพื่อผลิตอุปกรณ์นี้โดยการวัดสมบัติการส่องผ่านรังสียูวีเอโดยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer (UV-Visible) วัดอุณหภูมิน้ำที่บรรจุอยู่ในแต่ละวัสดุเทียบกับเวลา ตรวจสอบความทนทานต่อแสงอาทิตย์โดยวิเคราะห์สภาพพื้นผิวภายหลังการใช้งาน โดย SEM และทดสอบยืนยันโดยการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วย Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) โดยวัสดุที่ใช้ในการทดสอบคือ Polyethylene terephthalate (PET), Polypropylene (PP), PP-Clear, High-density Polyethylene (HDPE) และ Low-density Polyethylene (LDPE) โดยผลพื้นที่ใต้กราฟในช่วง UV-A จากการทดสอบ UV-Visible ซึ่งแปลงเป็นค่าการส่องผ่านที่ความหนา 0.01 mm พบว่า PP-Clear มีค่ามากที่สุดคือ 8309.354 nm% รองลงมาคือ HDPE และ PET มีค่า 7199.304 nm% และ 7068.67 nm% ตามลำดับ การทดสอบอุณหภูมิเทียบเวลา LDPE สามารถช่วยให้อุณหภูมิสูงขึ้นเฉลี่ย 2.214 องศาเซลเซียส PP-Clear 1.375 องศาเซลเซียส และ PET 0.776 องศาเซลเซียส การทดสอบการส่องผิวด้วย SEM พบว่าส่วนใหญ่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงยกเว้น PP ที่เห็นเป็นรอยเกิดขึ้นค่อนข้างชัดเจนและเมื่อวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วย FT-IR พบว่ามี PP และ PP-Clear เห็นการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนรังสีอินฟาเรดในช่วง 1600-1800 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงการดูดกลืนของหมู่คาร์บอนิลโดยมีพีกการดูดกลืนเกิดขึ้นที่เลขคลื่น 1714 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงการเสื่อมสภาพโดยวัสดุที่มีแนวโน้มจะนำไปใช้งานได้ดีน่าจะเป็น PET และ LDPE

J. Ewender และ F.Welle (2008) ได้ทำการตรวจหาปริมาณ Acetaldehyde ที่อาจแพร่ออกจากขวด PET บรรจุน้ำแร่ Acetaldehyde เกิดจากขวด PET ระหว่างการขึ้นรูปขวดและถูกจับที่ผนังของขวดซึ่งอาจแพร่เข้าสู่น้ำแร่หลังจากบรรจุและเก็บปริมาณ Acetaldehyde ที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง 10 -20 ppb ผู้วิจัยพบว่าวิธี purge and trap ที่พัฒนาขึ้นมาเหมาะสมที่ใช้ในงานควบคุม Acetaldehyde ในน้ำแร่ ขวด PET สำหรับน้ำแร่ปราศจากคาร์บอเนตอาจจะมี Acetaldehyde ในปริมาณที่สูงที่ผนังของขวด PET ตรงกันข้ามกับน้ำแร่ที่มีคาร์บอเนต ที่ผนังของขวดระดับความเข้มข้นของ Acetaldehyde จะมีน้อยที่สุด ระดับความเข้มข้นของ Acetaldehyde ในน้ำแร่ยากที่จะประเมินได้ เพราะว่าตัวน้ำแร่เอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์จะเข้ามามีบทบาทมากขึ้น ซึ่งอาจจะไปเปลี่ยนแปลงเสถียรภาพของ Acetaldehyde ระหว่างการเก็บ เพราะฉะนั้น การทำนายความเข้มข้นของ Acetaldehyde จากผนังของขวดจะใช้ Migration Models อาจเป็นการวินิจฉัยที่ผิดพลาด สรุป บรรจุภัณฑ์และเครื่องอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำแร่ต้องมีการตรวจสอบเป็นประจำสม่ำเสมอหลังจากเวลาที่เก็บเพื่อตรวจดูกลิ่น และรสชาติว่ามี Acetaldehyde หรือไม่

M. Wegelin และคณะ(2001) ได้ทำการศึกษาว่าแสงจากดวงอาทิตย์สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของขวด PET และสิ่งที่บรรจุอยู่ได้หรือไม่ ทดลองโดยเก็บน้ำดื่มไว้ในขวดบรรจุภัณฑ์ PET และวางไว้ให้ถูกแสงอาทิตย์ ทำการทดลองในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ประเทศเยอรมนี และประเทศมาเลเซีย พบว่าผลิตภัณฑ์จากแสง (Photoproduct) พบที่พื้นผิวรอบนอกของขวด PET ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะพัฒนาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาได้รับแสง โดยผิวด้านนอกจะดูดซึมแสงอัตราไวโอเลต นอกจากนนี้ปฏิกิริยาเคมีแสง (Photochemical) ของขวดบรรจุภัณฑ์จะไม่เปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำที่บรรจุอยู่ภายในขวด โดยพิจารณาจากสารประกอบอัลดีไฮด์ ผลิตภัณฑ์อินทรีย์จากแสง สารเติมแต่ง หรือระดับความเข้มข้นของพาทาเลตที่เพิ่มขึ้น สารทั้งหมดนี้หากได้รับการตรวจสอบพบว่าผลยังอยู่ในช่วงที่ดีต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด น้ำดื่มนั้นถือว่าปลอดภัยของผลการศึกษาผลิตภัณฑ์เหล่านี้บอกเป็นนัยว่า ขวด PET เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ยอดเยี่ยมสำหรับน้ำดื่ม เพราะบ่อยครั้งเมื่อขวดน้ำสัมผัสกับแสงแดดเป็นเวลานาน แต่ก็ยังคงมีความปลอดภัย

S.G. Muhamad, L.S. Eamail, and S.H. Hasan (2011) ศึกษาผลของอุณหภูมิที่เก็บรักษาและแสงแดดที่มีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ pH, การนำไฟฟ้า, เกลือทั้งหมดที่ละลาย Cl-, F-, NO-3, NH+4 และ COD ของขวด PET บรรจุน้ำดื่ม จำนวน 16 ยี่ห้อ ใน Kurdistan ประเทศอิรัค โดยใช้วิธีมาตรฐานเปรียบเทียบผลที่ได้กับค่าที่รายงานบนฉลากและเปรียบเทียบกับค่าที่ World Health Organization (WHO) และ International Bottle Water Association (IBWA) กำหนด ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 30 วัน ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิในการเก็บรักษาและแสงแดด เป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบุติเคมีกายภาพของน้ำภายในขวดพลาสติก PET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุและสารเคมี

1.ขวดพลาสติกประเภทพอลิเอทิลินเทเรฟทาเลต Polyethylene terephthalate (PET) ได้แก่ ขวดน้ำดื่มขวดใส ขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียว และน้ำอัดลมขวดสีชมพู ชนิดละ 6 ขวด

รูปที่ 3.1 น้ำดื่มขวดใส

รูปที่ 3.2 น้ำอัดลมขวดสีเขียว

รูปที่ 3.3 น้ำอัดลมขวดสีชมพู

2. โพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr)

3. สารละลาย 2, 4-Dinitrophenylhydrazine (2, 4-DNP)

4. สารละลาย ทอลเล่นรีเอเจนต์ (Tollen's reagent)

5. น้ำกลั่น

6. น้ำบริสุทธิ์สูง (Ultrapure Water)

3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องฟูริเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FT-IR Spectroscopy) ของบริษัท Perkin Elmer รุ่น Spectrum GX

2. กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope: OM)

3. เครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ไอออนประจุบวก (Cation) และไอออนประจุลบ (Anion) (Ion Chromatography: IC) ยี่ห้อ Metrohm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimetry : DSC) ของบริษัท Perkin Elmer รุ่น Pyris Diamon DSC

5. เครื่องวัดค่า pH ยี่ห้อ Metrohm (Swiss mode)

6. เครื่องวัดการนำไฟฟ้า ยี่ห้อ InoLab Cond Level 2

7. เครื่องวัด TDS

8. ตู้อบความร้อน อุณหภูมิ 105 องศา

9. เครื่องชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) รุ่น CP224S ยี่ห้อ Statorius บริษัท SCIENTIFIC PROMOTION CO., LTD.

10. หลอดทดลอง 18 หลอด

11. ตะแกรงใส่หลอดทดลอง

12. กรวยกรอง

13. บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร และ 100 มิลลิลิตร

14. กรรไกร

15. คัตเตอร์

16. Viaul

17. เครื่องกรองแบบลดความดัน

18. กระดาษกรองใยแก้ว ยี่ห้อ Whatman เบอร์ 1

19. กระดาษกรอง ยี่ห้อ Whatman เบอร์ 42

20. ที่คีบพลาสติก และเหล็ก

21. อะลูมิเนียมฟรอยด์

22. เครื่องวัดความหนา ยี่ห้อ PEACOCK

23. กระจกนาฬิกา

24. บารอมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

1. ขวดบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่นำมาศึกษา ได้แก่ น้ำดื่มขวดใส ขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียว และน้ำอัดลมขวดสีชมพู ชนิดละ 5 ขวด วางบนดาดฟ้าตึกวิทย์เก่าชั้น 5 คณะวิทยาศาสตร์ ตั้งแต่วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ.2558 ถึง วันที่ 20 มกราคม 2559 โดยวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของทุกวันในเวลาราชการ อีก 1 ขวดเก็บในตู้เหล็กทึบแสง

2. เมื่อครบเวลา 1, 3, 4, 6 และ 8 เดือนจึงนำขวดบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดละ 1 ขวด ออกมาถ่ายรูปและบันทึกลักษณะทางกายภาพจากนั้นเก็บไว้ในตู้มืด

3. ขวดบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่บรรจุน้ำตัวอย่างที่เก็บจากดาดฟ้า จะนำมาทดสอบโดยเทของเหลวออกจากขวด

ส่วนที่เป็นของเหลวให้บันทึกสี, วัดค่า pH, วัดค่าการนำไฟฟ้า, ทดสอบหาหมู่คาร์บอนิลด้วยสารละลาย 2, 4-Dinitrophenylhydrazine (2, 4-DNP) และทดสอบหาหมู่แอลดีไฮด์ด้วยทอลเลนส์รีเอเจนต์ (Tollen's reagent test)

- ส่วนที่เป็นพลาสติก ตรวจโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), ดูการแตกร้าวหรือรอยขีดข่วนที่เกิดบนผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron microscope), ทดสอบสมบัติเชิงกลของพลาสติกด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง

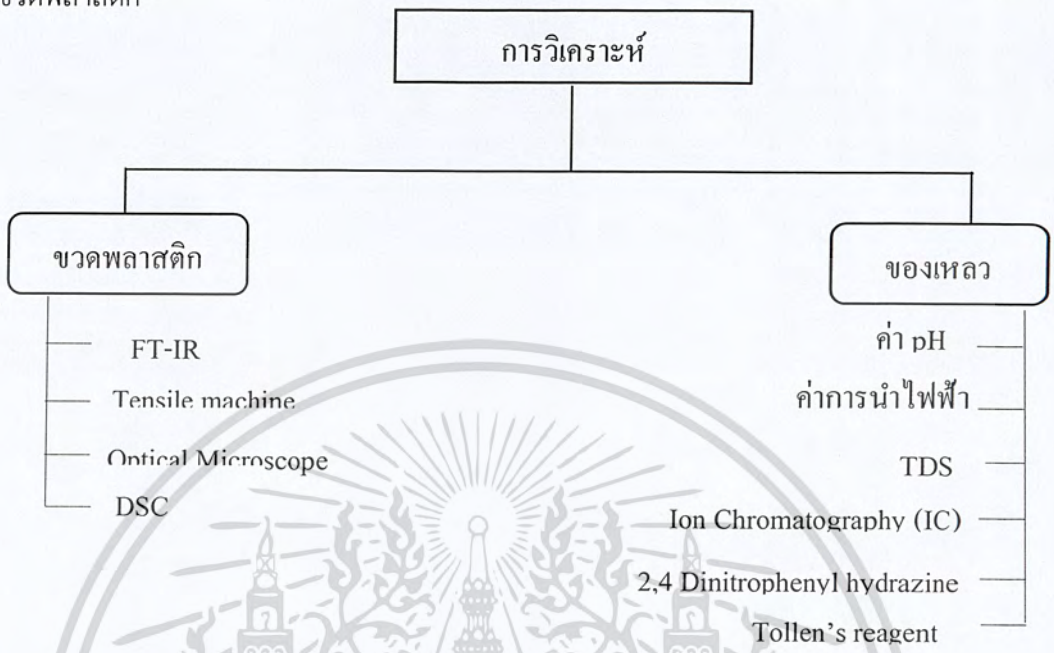
4. ทำการทดสอบเช่นเดียวกันนี้กับตัวอย่างที่เก็บไว้ในที่มืดตั้งแต่เมื่อเริ่มทำการทดลอง

5. เปรียบเทียบผลการทดลอง ข้อ 3 กับ ข้อ 4 เพื่อทราบอิทธิพลของแสงที่มีต่อของเหลวและบรรจุภัณฑ์พลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์

การวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนของขวดพลาสติกและส่วนของเหลวที่อยู่ในขวดพลาสติก



การวิเคราะห์ขวดพลาสติก

1. การทดสอบด้วยเทคนิค FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตรวจสอบโครงสร้างของสาร โดยวัดการดูดกลืนของรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟาเรดในเลขคลื่น (wave number) 4000-400 cm^{-1}

ขวดพลาสติกที่นำไปตากแดดทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ขวดน้ำดื่มขวดใส ขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียว และน้ำอัดลมขวดสีชมพู เมื่อครบกำหนดเวลา 1, 3, 4, 6 และ 8 เดือน นำมาขูดเนื้อพลาสติกด้านที่รับแสงออก แล้วบดอัดกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) อัดเป็นแผ่นเพื่อนำไปวัดค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิทแตนส์และนำมาวิเคราะห์ด้วย FTIR นำสเปคตรัมที่ได้มาวิเคราะห์ผล

2. การทดสอบด้วยเครื่อง universal testing machine เป็นการทดสอบความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์สามารถทดสอบลักษณะการยืดออกของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงจากภายนอก

นำขวดพลาสติกทุกแบบที่นำไปตากแดดเมื่อครบกำหนดเวลา เริ่มต้น 1, 3, 4, 6 และ 8 เดือน โดยนำขวดน้ำน้ำดื่มขวดใส ขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียว และน้ำอัดลมขวดสีชมพู มาตัดให้ได้ขนาด 2×10 cm ส่วนขวดน้ำดื่มขวดใส มาตัดให้ได้ขนาด 1×6 cm เมื่อได้ขนาดแล้วนำชิ้นส่วนขวดทั้ง 3 ชนิดมาตัดให้มีลักษณะคล้ายดัมเบลโดยการใช้เครื่องตัด และนำไปทดสอบด้วยการดึงสภาวะที่ใช้ในการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load cell 2 KN

Test speed 50 mm/min

Gauge Length 25 mm

3. การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน Optical Microscope

การเตรียมตัวอย่างทำได้โดย

- ตัดชิ้นส่วนของพลาสติกกว้างยาว ขนาด 1.5 × 1.5 ซม. จากนั้นนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์

4. การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) DSC เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ทดสอบวัสดุโดยการวัดค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิของสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การหลอมเหลว การเปลี่ยนสถานะ การเปลี่ยนรูปผลึก การเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นต้น โดยที่พื้นที่ใต้กราฟที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงความร้อนของตัวอย่าง ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างจะถูกวางบนจานอะลูมิเนียมที่อยู่ภายในเตาที่ควบคุมอุณหภูมิได้ โดยภายในเตาจะมีสารอ้างอิงซึ่งเป็นจานอะลูมิเนียมเปล่า เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับตัวอย่างภายใต้สภาวะเดียวกัน

การเตรียมตัวอย่างทำได้โดย

- ใช้เครื่องเจาะรูกระดาษ เจาะพลาสติกทำให้ได้พลาสติกขนาดเท่ากันแล้วชั่งใส่ pan สำหรับทดสอบด้วยเครื่อง DSC จำนวน 5-10 mg ให้ทราบปริมาณสารที่แน่นอน โดยจะทดสอบพลาสติกที่ไม่ตากแดดและตากแดดเป็นเวลา 4 และ 8 เดือนตามลำดับสภาวะการทดลองเป็นดังนี้

  Heating rate 10 °C

  Cooling rate 10 °C
- บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่อุณหภูมิ 50 °C - 350 °C จากนั้นนำมาศึกษาอุณหภูมิตกผลึก (T_c) และอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m)

การวิเคราะห์ของเหลว

1. การทดสอบด้วย pH meter (pH) เป็นค่าที่บอกปริมาณของความเป็นกรด-เบส หรือค่าพีเอช ที่ปนอยู่ในของเหลวได้ ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในน้ำ น้ำบริสุทธิ์ที่ปราศจากสิ่งปนเปื้อน (และต้องไม่สัมผัสกับอากาศด้วย) จะมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 น้ำซึ่งมีสิ่งเจือปนอยู่ด้วยอาจจะมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 ได้ ถ้าน้ำนั้นมีกรดและเบสอยู่ในปริมาณที่เท่ากันและสมดุลกัน ถ้าน้ำมีค่าพีเอชต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่า 7 แสดงว่า น้ำนั้นมีปริมาณกรดอยู่มากเกินจุดที่สมดุล แต่ถ้ามีค่าพีเอชมากกว่า 7 แสดงว่าในน้ำนั้นมีเบสมากเกินจุดที่สมดุล

การทดสอบตัวอย่างทำได้โดย

- นำของเหลว ที่ตั้งทิ้งไว้กลางแจ้งเป็นเวลา 0,1,3,4,6 และ 8 เดือน มาทดสอบด้วยเครื่องวัดค่า pH แต่ละชนิด

2. การทดสอบด้วย Conductivity หรือ การนำไฟฟ้าเป็นวิธีวัดความสามารถของน้ำในการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าซึ่งเกิดจากการมีอยู่ของสารประกอบอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น แอนไอออนของคลอไรด์ไนเตรต ซัลเฟต และฟอสเฟต (แอนไอออนคือ ไอออนที่มีประจุลบ) หรือ แคทไอออนของโซเดียมแมกนีเซียม เหล็ก และอะลูมิเนียม (แคทไอออนคือ ไอออนที่มีประจุบวก)

การทดสอบตัวอย่างทำได้โดย

- นำของเหลว ที่ตั้งทิ้งไว้กลางแจ้งเป็นเวลา 0,1,3,4,6 และ8 เดือน มาทดสอบด้วยเครื่องวัดการนำไฟฟ้า

3. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Ion Chromatography (IC) ซึ่งใช้สำหรับวิเคราะห์ไอออนประจุบวก (Cation) อาทิ Ca^{2+} ,Mg^{2+}, Na^{+} และไอออนประจุลบ (Anion) อาทิ F^{-}, Cl^{-}, Br^{-}, NO_3^{2-} และ SO_4^{2-} เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ไอออนตามมาตรฐานน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทตามประกาศกระทรวง สาธารณสุข (ฉบับที่256) พ.ศ. 2545 เทคนิคของการทำงานของเครื่อง IC อาศัยการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) โดยสมบัติของสารที่อยู่ภายในคอลัมน์ (Stationary phase) สามารถจับกับไอออนของสารที่มีประจุตรงกันข้ามด้วยอาศัยการทำปฏิกิริยายึดเหนี่ยวระหว่างประจุที่แตกต่างกัน (Ionic interaction) สารที่ไม่มีประจุหรือมีประจุเหมือนกับสารที่เป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุที่อยู่ภายในคอลัมน์ (Ion-exchanger) จะเคลื่อนที่ออกมาก่อน ส่วนสารที่ถูกยึดเหนี่ยวอยู่ภายในคอลัมน์ จะถูกชะออกมาเมื่อมีการเปลี่ยนสภาวะของค่า pH หรือ ถูกแทนที่ด้วยไอออนที่มีความแรงมากกว่า (Ionic strength) การวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนทั้งประจุบวก หรือประจุลบ โดยใช้เครื่อง IC นั้น ต้องพิจารณาถึงการเลือกสารที่ชะละลาย (Eluent) ประเภทของคอลัมน์ (Column) อุปกรณ์สำหรับแยกชนิดประจุ (Suppressor) และอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ (Detector) ให้เหมาะสม

การทดสอบทำได้โดย

- เตรียมสารละลายมาตรฐานผสมที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 ppm
- น้ำตัวอย่าง เริ่มต้น ที่ยังไม่ได้ตากแดด และ น้ำตัวอย่าง 4 และ 8 เดือน มาทดสอบโดยฉีดเข้าเครื่อง IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

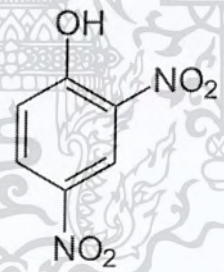
4. การทดสอบของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ

ปริมาณสารที่เหลือค้างอยู่บนกระดาษหลังจากการกรองน้ำตัวอย่างผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter)และทำการระเหยน้ำออกจากกระดาษกรองใยแก้วแล้ว (Evaporation) ขั้นตอนการกรองอาจเกิดข้อผิดพลาดง่ายถ้าใช้ตัวอย่างน้อย ดังนั้นควรใช้ตัวอย่างในการกรองให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ สารแขวนลอยมีประโยชน์มากสำหรับการวิเคราะห์น้ำโสโครก เป็นค่าหนึ่งที่จะบอกถึงความสกปรกของน้ำเสียนั้น ตลอดจนบอกถึงประสิทธิภาพของหน่วยกำจัดน้ำเสียต่างๆ ค่าของของแข็งแขวนลอยจะเพิ่มขึ้นตามความสกปรกของน้ำนั้น

การทดสอบทำได้โดย

- นำของเหลว ที่ตั้งไว้กลางแจ้งเป็นเวลา 0, 1, 3, 4, 6, และ 8 เดือน ตัวอย่างละ 50 ml มาเท ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 ml ทดสอบด้วยเครื่องวัด TDS

5. การทดสอบด้วย 2, 4-Dinitrophenyl hydrazine (2, 4-DNP) เป็นสารประกอบเคมี มีสูตรเคมีว่า $C_6 H_3 (NO_2)_2NHNH_2$ สถานะเป็นของแข็งสีแดงหรือสีส้มใช้ทดสอบหมู่คาร์บอนิลโดยเฉพาะ แอลดีไฮด์ และคีโตน ผลผลิตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาคือสารประกอบ Hydrazone ซึ่งเป็นสารมีส้มอมเหลือง



รูปที่ 3.4 สูตรโครงสร้างของ 2, 4-Dinitrophenyl hydrazine (2, 4-DNP)

การทดสอบทำได้โดย

- นำของเหลว ที่ตั้งไว้กลางแจ้งเป็นเวลา 0, 1, 3, 4, 6, 8 เดือน ตัวอย่างละ 10 ml มาทดสอบด้วยการเติม 2, 4-Dinitrophenyl hydrazine (2, 4-DNP) จำนวน 2 ml เขย่าและสังเกตปริมาณตะกอนสีส้มอมเหลืองที่เกิดขึ้น
- เมื่อพบว่ามีปริมาณตะกอนก็นำไปกรองแบบลดความดัน จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณตะกอนว่าเพิ่มขึ้นเท่าไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การทดสอบกับ Tollen's reagent การทดสอบนี้ให้ผลเฉพาะแอลดีไฮด์ Positive test คือเกิดโลหะเงินฉาบที่ผนังด้านในของหลอดทดลอง มีลักษณะคล้ายกระจกเงา เรียกว่า silver mirror

การทดสอบทำได้โดย

- ในการทดลองนั้นหลอดที่ใช้ต้องแห้งและสะอาดเท่านั้นใส่สารละลาย 10% $AgNO_3$ 1.0 mL ในหลอดทดลองเติมสารละลายเจือจางของ NaOH 1 หยด จะเกิดตะกอนสีน้ำตาลของ Silver oxide (Ag_2O) ค่อยๆ หยดสารละลายเจือจางของ NH_4OH จนกระทั่งตะกอนสีน้ำตาลหมดไปพอดี จะได้ สารละลายใสเรียกว่า Tollen's reagent
- นำน้ำตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ใส่ในหลอดทดลองจำนวน 10 ml จากนั้นหยดสารละลาย Tollen's reagent 5 หยด เขย่าสังเกตผล ถ้ายังไม่มี silver เคลือบที่ข้างในหลอด ให้นำไปอุ่นใน water bath สักครู่ สังเกตผลที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

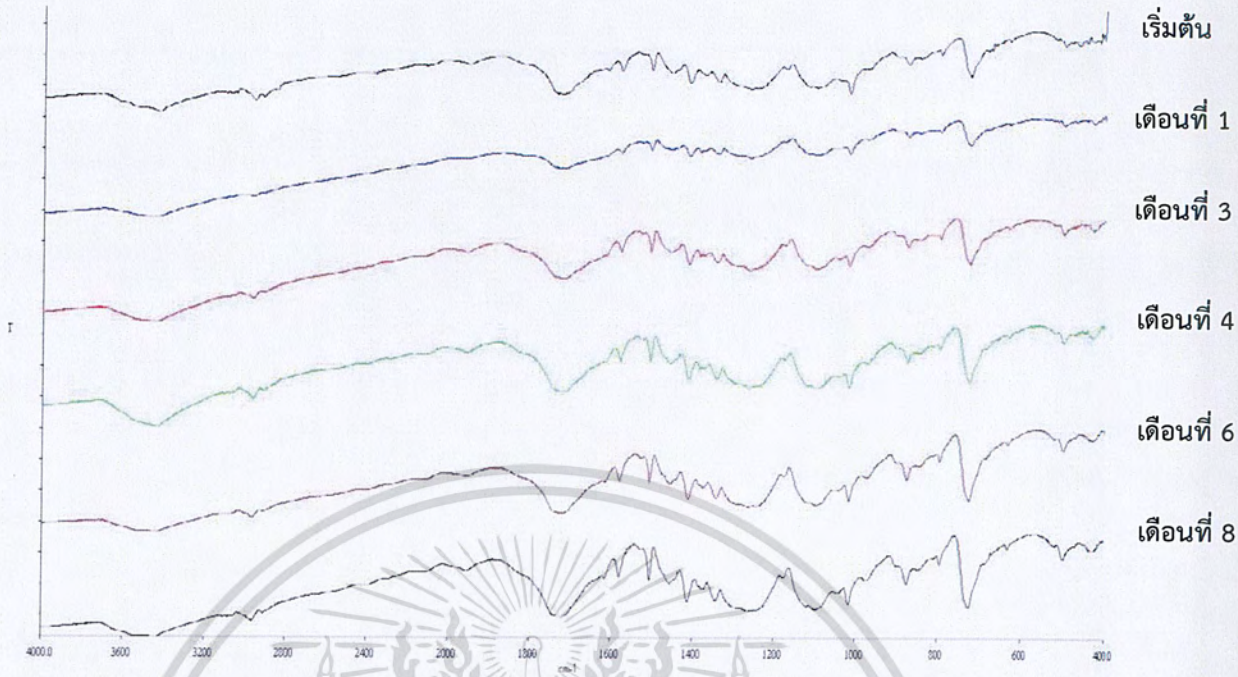
จากการศึกษาขวดพลาสติกบรรจุภัณฑ์น้ำดื่มและชนิดของเหลวภายในขวดบรรจุภัณฑ์น้ำดื่มทั้ง 3 ชนิด ได้แก่น้ำดื่มขวดใส ขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียว และน้ำอัดลมขวดสีชมพู แล้วนำส่วนของพลาสติกมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูริเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FT-IR), เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter : DSC), เครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ไอออน (Ion Chromatography: IC) จากนั้นทดสอบสมบัติของพลาสติกก่อนและหลังนำไปตากแดด สมบัติที่ทดสอบได้แก่ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันของพลาสติกพอลิเอทิลินเทเรฟทาเรต สมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยาโครงผลึกของพลาสติก และในส่วนของเหลวนำมาทดสอบ pH ค่าการนำไฟฟ้า และทดสอบหาสารประเภทแอลดีไฮด์และคีโตนก่อนและหลังจากที่นำขวดไปตากแดดไว้ มีผลการทดลองดังนี้

ผลการวิเคราะห์ขวดพลาสติก

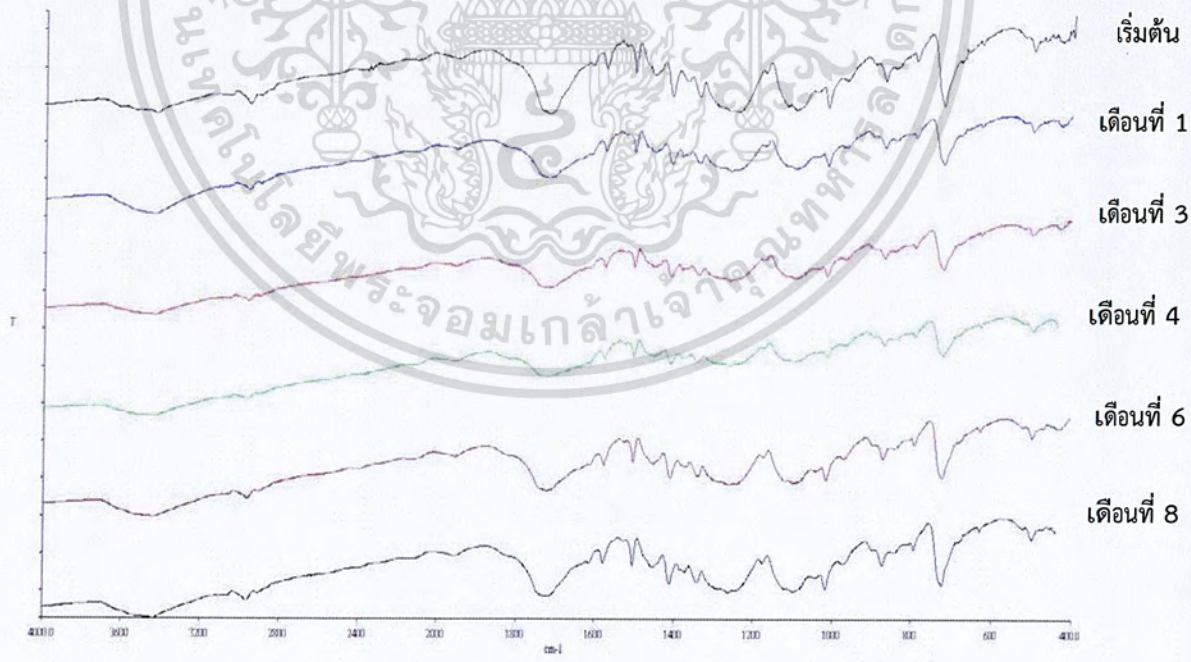
4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR Spectrophotometer) โดยจะนำขวดน้ำทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำดื่มขวดใส ขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียว และน้ำอัดลมขวดสีชมพู ที่นำไปวางไว้กลางแดดเมื่อครบตามเวลาที่กำหนดจึงนำมาทำการวิเคราะห์ ในการหาโครงสร้างทางเคมีจะต้องเตรียมสารทดลองให้อยู่ในรูปผง หลังจากนั้นจะนำไปวิเคราะห์ผล ได้ผลการทดลองดังรูป 4.1 , 4.2 และ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

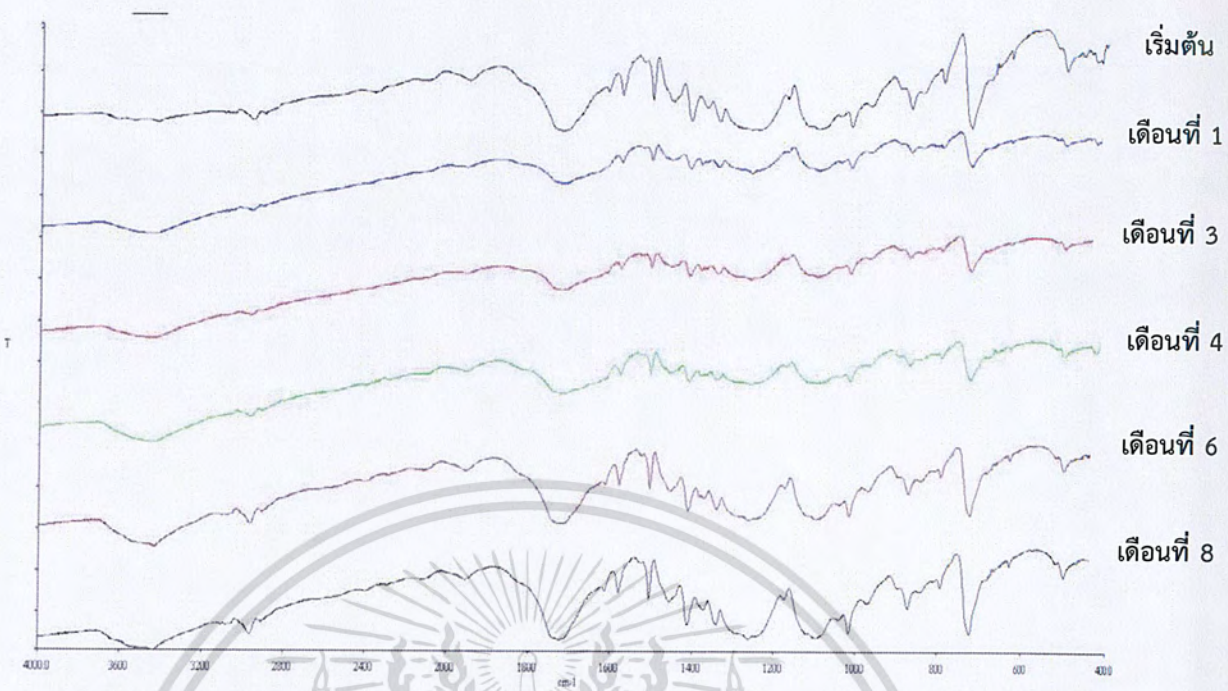


รูปที่ 4.1 การวิเคราะห์ FT-IR ของขวดน้ำดื่มขวดใสเมื่อนำไปวางกลางแดดและที่ไม่ได้วางไว้กลางแดด



รูปที่ 4.2 การวิเคราะห์FT-IR ของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวเมื่อนำไปวางกลางแดดและที่ไม่ได้วางไว้กลางแดด

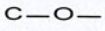
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



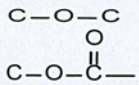
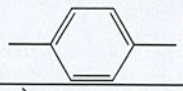
รูปที่ 4.3 การวิเคราะห์ FT-IR ของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูเมื่อนำไปวางกลางแดดและที่ไม่ได้วางไว้กลางแดด

จากการวิเคราะห์ขวดพลาสติกทั้ง 3 ชนิดในระยะเวลา 8 เดือน พบหมู่ฟังก์ชันดังตารางที่ 4.4

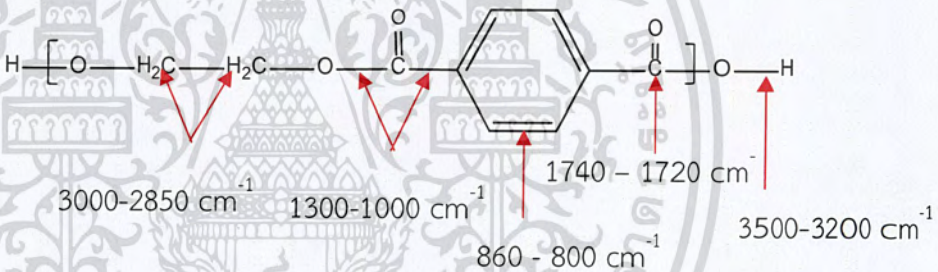
ตารางที่ 4.1 หมู่ฟังก์ชันที่พบในขวดพลาสติกทั้ง 3 ชนิด

ประเภทของสาร	หมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น (cm^{-1})	หมายเหตุ
แอลเคน อะโรมาติก (stretch) (out of plane bend)	C – H	3000 – 2850 3150 – 3050 900 – 690 2900 – 2800	ความเข้มสูง
เอสเทอร์ คีโตนและแอลดีไฮด์ กรดอะโรมาติก	 	1740 – 1720 1725 – 1705 1700 - 1690	ความเข้มสูง ความเข้มสูง ความเข้มสูง
แอลกอฮอล์ และฟีนอล กรด	 OH out of plane bending OH in of plane bending	3500 – 3200 920 1400	ความเข้มสูงและกว้าง ความเข้มปานกลางและกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของสาร	หมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น (cm^{-1})	หมายเหตุ
อีเทอร์ เอสเทอร์		1300 - 1000	ความเข้มปานกลาง ถึงเข้มอาจมีมากกว่าหนึ่งแถบ
วงเบนซีนมีหมู่แทนที่ตำแหน่งพารา		860 - 800	ความเข้มสูง
วงเบนซีนมีหมู่แทนที่ตำแหน่งเมต้า		725 - 680	ความเข้มสูง

จากการวิเคราะห์ขวดทั้ง 3 ชนิด โดยใช้เครื่อง FT-IR พบว่าขวดทั้ง 3 ชนิดเป็นพลาสติกชนิดเดียวกันคือ พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต (PET) เนื่องจากพบตำแหน่งของพีกและเลขคลื่นใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.4



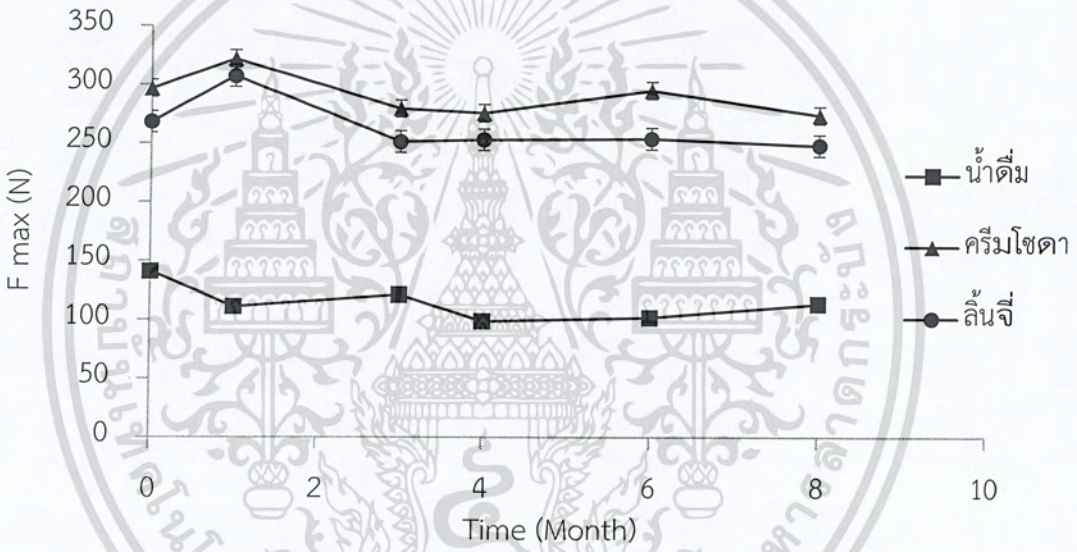
รูปที่ 4.4 ตำแหน่งหมู่ฟังก์ชันของพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต (PET)

FT-IR สเปคตราแสดงให้เห็นว่าหมู่ -OH ที่เลขคลื่น 3400 – 3200 cm^{-1} และหมู่ $-\overset{|}{C}=O$ ที่เลขคลื่น 1740 – 1720 cm^{-1} กว้างขึ้น และชัดเจนขึ้นในขวดทุกชนิดเมื่อได้รับแสงแดด รวมทั้งเมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 เดือนไม่มีการพบพีกใหม่ ทั้งนี้ก็ไม่สามารถบอกได้ว่าสายโซ่ของขวด PET ที่นำไปตากแดดไม่มีการตัดขาด เนื่องจากหากมีการตัดขาดของสายโซ่แต่หมู่ฟังก์ชันที่พบยังเป็นหมู่ฟังก์ชันชนิดเดิม ดังนั้นจึงไม่มีการพบพีกใหม่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

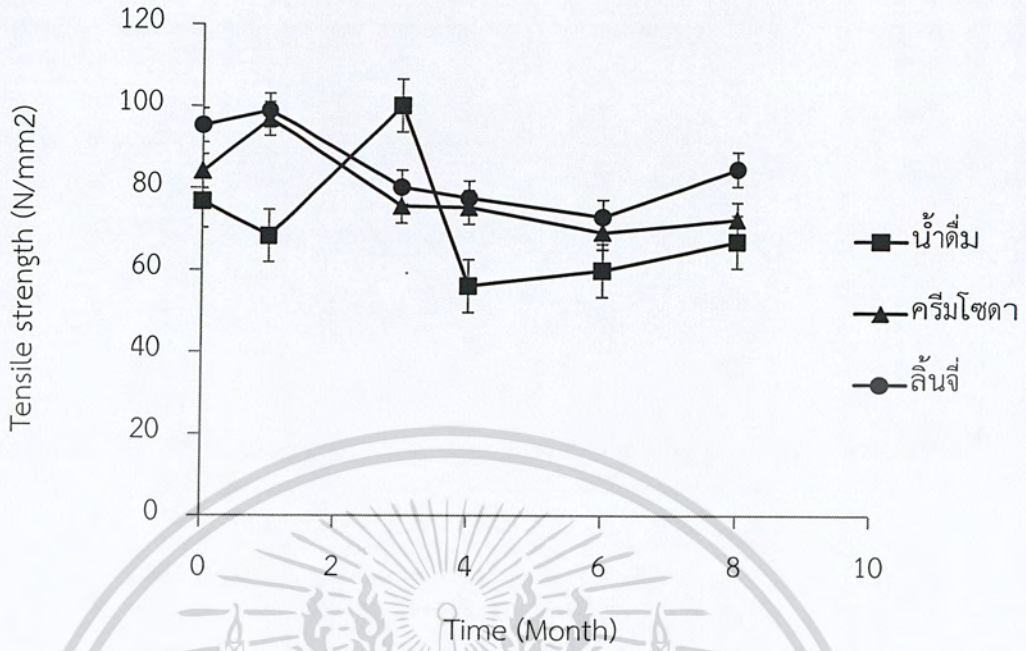
4.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล

การศึกษาผลของความร้อนของแสงแดดที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต ของขวดน้ำทั้ง 3 ชนิด ตัวอย่างละ 3 ครั้ง โดยวัดพลาสติก PET ก่อนและหลังการได้รับแสงแดดทุกเดือน สมบัติเชิงกลที่วัดได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่าแรงดึงสูงสุด (F max) การทดสอบแรงดึง มีวัตถุประสงค์ เพื่อวัดคุณสมบัติความต้านทานของวัสดุต่อแรงดึง เป็นประโยชน์ในการออกแบบ และการเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ในการทดสอบจะเป็นการใช้แรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอดึงชิ้นงานให้ยืดออกและขาดในที่สุด โดยปกติแล้วมักจะทดสอบกับวัสดุที่เหนียวมากกว่าเปราะ ค่าความแข็งแรงดึง และ ค่าแรงดึงสูงสุด แสดงดังรูป 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 ค่าแรงดึงสูงสุดกับเวลาที่วางพลาสติกไว้กลางแสงแดดและที่ไม่ได้วางไว้กลางแสงแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



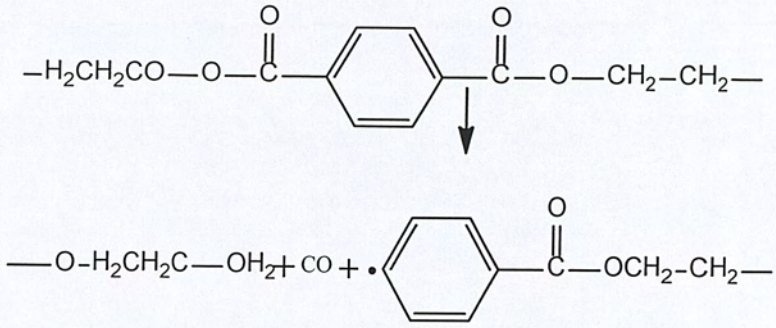
รูปที่ 4.6 ความแข็งแรงดึงกับเวลาที่วางพลาสติกไว้กลางแสงแดดและที่ไม่ได้วางไว้กลางแสงแดด

จากรูป 4.5 แสดงค่าแรงดึงสูงสุดพบว่าขวด PET ที่บรรจุน้ำอัดลมทั้ง 2 ชนิดมีค่าแรงดึงสูงสุดมากกว่าขวดน้ำใส และทั้งสามชนิดมีค่าแรงดึงสูงสุดลดลงเล็กน้อยภายในระยะเวลา 8 เดือน ทั้งนี้เนื่องมาจากสีที่ผสมในเนื้อพลาสติกของขวด PET ที่บรรจุน้ำอัดลม

จากรูป 4.6 แสดงค่าความแข็งแรงดึงซึ่งคิดจากแรงที่ให้ต่อหน่วยพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงขณะออกแรงดึงพบว่าขวด PET ทั้งสามชนิดให้ค่าใกล้เคียงกันและแนวโน้นการเปลี่ยนแปลงลดลงเมื่อเวลาได้รับแสงแดดนานขึ้นแสดงว่าแสงแดดทำให้พลาสติกเปลี่ยนแปลง

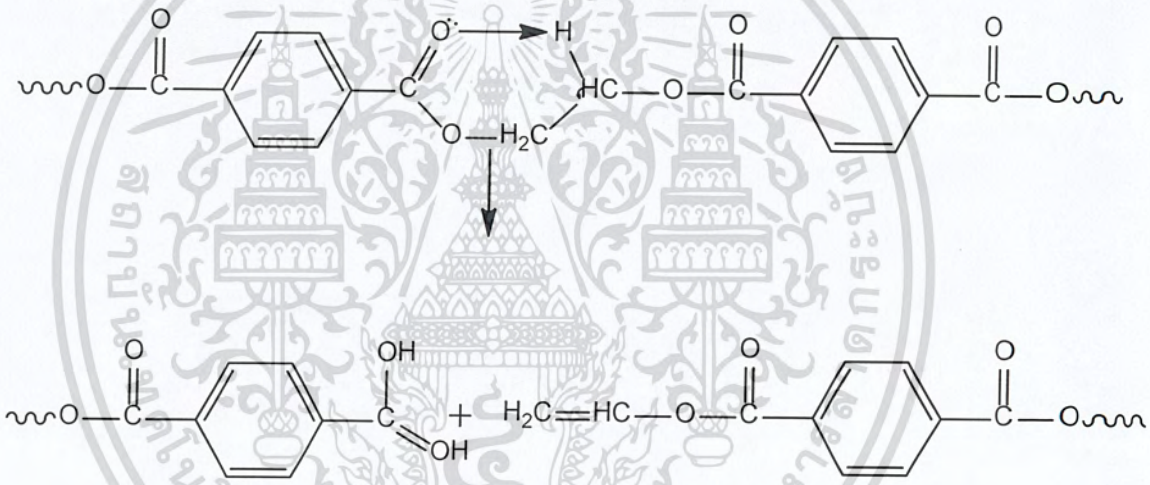
ขวดพลาสติก PET เมื่อได้รับแสงแดดจะเกิดการเสื่อมสภาพสลายตัวทำให้สมบัติกายภาพและเชิงกลลดลงอาจเกิดสีเหลืองขึ้น ปฏิกิริยา Norrish type I เกิดการสลายตัวให้ CO ออกมาและเกิดอนุมูลอิสระดังรูปสมการ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การเกิดปฏิกิริยา Norrish type I

Norrish type II การสลายตัวผ่าน 6- membered ring ดังรูปสมการ 4.8



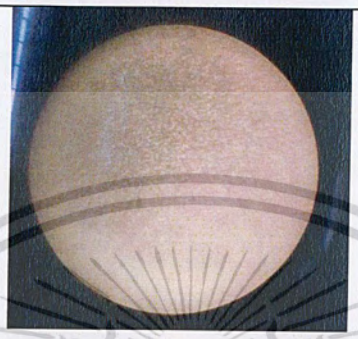
รูปที่ 4.8 การเกิดปฏิกิริยา Norrish type II

4.3 สัณฐานวิทยาของพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต

ศึกษาสัณฐานวิทยาพื้นผิวของพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตก่อนและหลังการนำไปวางกลางแสงแดด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ Optical Microscope (OM) โดยพิจาณาจากพื้นผิวและรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 พื้นผิวพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่ไม่ได้นำไปวางไว้กลางแดดและนำไปวางไว้กลางแดดเป็นเวลา 8 เดือน

เวลา(เดือน) / ชนิดของขวด	เริ่มต้น	8 เดือน
น้ำดื่ม		
น้ำอัดลมครีมโซดา		
น้ำอัดลมลิ้นจี่		

เมื่อนำชิ้นส่วนพลาสติกโดยเลือกบริเวณไหล่ขวดขนาด 1.5×1.5 cm เนื่องจากเป็นบริเวณที่ได้รับแสงแดดโดยตรง ไปส่องโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ Optical Microscope (OM) ที่กำลังขยาย 10 เท่า พบว่าในตอนที่ยังไม่ได้นำขวดไปวางไว้กลางแดดพื้นผิวของขวดทั้ง 3 ชนิดมีลักษณะแวววาวมีรอยขีดข่วนเพียงเล็กน้อยอาจมาจากการขนส่ง เมื่อเวลาผ่านไป 8 เดือนพื้นผิวของขวดก็ยังคงความแวววาวไว้เช่นเดิม ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ยกเว้นสีของขวดที่ซีดจางลงอย่างเห็นได้ชัดและพบรอยขีดข่วนมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลว

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของขวดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต

ชนิด	ระยะเวลา (เดือน)	T_m (C^o)	ΔH_m $^j/_g$	T_c (C^o)	ΔH_c $^j/_g$
น้ำดื่มขวดใส	0	250	13.8	192	32.3
	4	249	20.6	181	14.9
	8	249	23.3	180	15.3
ครีมโซดา	0	250	21.3	194	21.5
	4	250	22	176	12.8
	8	250	23.3	179	23.2
ลิ้นจี่	0	250	17.3	180	30.5
	4	251	21.4	182	25.5
	8	250	22.5	183	21.7

ตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ของขวดทุกชนิดใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับจุดหลอมเหลวของ PET จึงยืนยันว่าขวดทั้ง 3 ชนิดเป็นขวด PET เมื่อเวลาผ่านไป T_m ค่อนข้างคงที่ ค่า ΔH_m เป็นพลังงานความร้อนที่ใช้หลอมผลึก พบว่าขวดทุกชนิดที่ได้รับแสงแดดเป็นเวลานานจะมี ΔH_m มากขึ้น เป็นเพราะ ความร้อนจากแสงแดดทำให้พอลิเมอร์เกิดการจัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบ คล้ายกับการทำ annealing ส่งผลให้ความเค้นผลึกเพิ่มขึ้นจึงใช้พลังงานในการหลอมมากขึ้น ข้อสังเกตพลังงานในการหลอมผลึกของน้ำอัดลมขวดสีเขียว และน้ำอัดลมขวดสีชมพู มีค่าสูงกว่าขวดน้ำดื่มขวดใส อาจเนื่องจากสีที่ผสมอยู่ทำหน้าที่ช่วยให้ผลึกของพอลิเมอร์เกิดมากขึ้น

อุณหภูมิการตกผลึก (T_c) เป็นการวัดว่าพอลิเมอร์ที่หลอมเหลวแล้ว เมื่อทำให้เย็นอีกครั้งด้วยอัตราการเย็นตัวที่กำหนด จะเกิดผลึกที่อุณหภูมิเท่าใด ถ้าเกิดผลึกทีอุณหภูมิต่ำกว่าเดิมแสดงว่า พอลิเมอร์เกิดการตัดขาดสายโซ่ พอลิเมอร์สั้นลงตกผลึกง่าย แต่ถ้าอุณหภูมิการตกผลึกสูงกว่าเดิมแสดงว่าพอลิเมอร์อาจเกิดการเชื่อมโยงสายโซ่ยาวขึ้น เกะกะมากขึ้นตกผลึกช้า ผลการทดลองแสดงว่า ขวดน้ำดื่มและขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียว เกิดการตัดขาดสายโซ่ได้ง่ายกว่าขวดน้ำอัดลมลิ้นจี่ เพราะ T_c ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับ T_c เริ่มต้นของขวดชนิดเดียวกัน

อุณหภูมิที่คายออกมาเพื่อตกผลึก (ΔH_c) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาได้รับแสงแดดนานขึ้น แสดงถึงผลึกตกน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ของเหลว

4.5 ค่าพีเอช (pH) ของน้ำ

ค่า pH ของน้ำดื่มขวดใส ขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียว และน้ำอัดลมขวดสีชมพู เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาที่ได้รับแสงแดดจากการทดลองพบว่าค่า pH เริ่มต้นของน้ำอัดลมขวดสีเขียวและขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพู มีค่าในช่วงกรดเพราะขบวนการผลิตมีการอัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ค่า pH ของน้ำดื่ม มีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการทดลองเมื่อครบเวลา 8 เดือนโดยเหตุที่ทำให้น้ำดื่มขวดใสพบค่า pH เพิ่มเนื่องจากในน้ำพบไอออนประจุลบได้แก่ F^-, Cl^- และ NO_3^- อาจทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้ OH^- และกรด ดังสมการต่อไปนี้ กรดที่เกิดขึ้นอาจทำปฏิกิริยากับไอออนประจุบวกที่มีอยู่ในน้ำดินกลายเป็นเกลือ จึงทำให้ค่า pH ของน้ำมีความเป็นด่างมากขึ้น

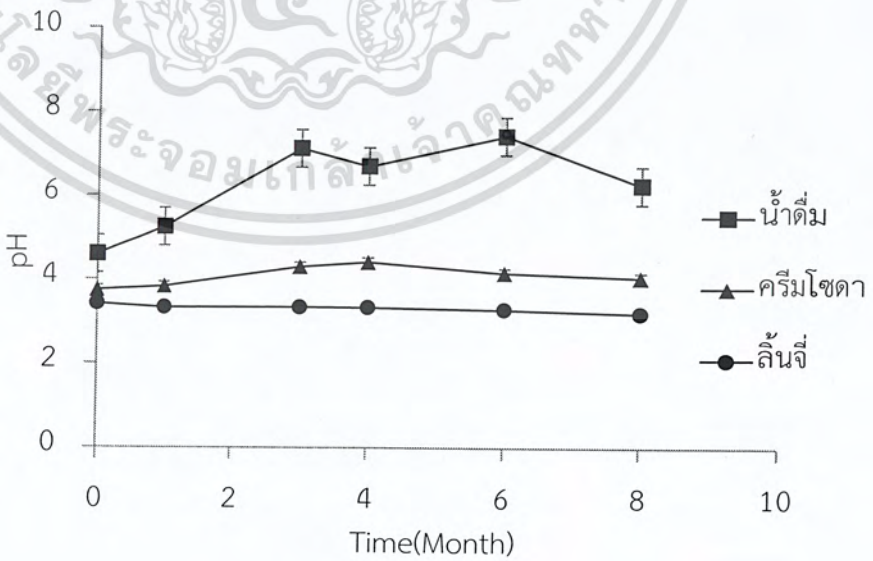
$$F^- + H_2O \longrightarrow HF + OH^-$$

$$H_2O + Cl^- \longrightarrow HCl + OH^-$$

$$H_2O + NO_3^- \longrightarrow HNO_3 + OH^-$$

รูปที่ 4.9 แสดงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอออนลบที่ตรวจพบกับน้ำ

อีกเหตุผลหนึ่งพบว่าน้ำดื่มขวดใส มีค่าการเปลี่ยนแปลง pH มากที่สุด น้ำอัดลมขวดสีเขียวเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าขวดใสและน้ำอัดลมขวดสีชมพู pH เปลี่ยนแปลงน้อยสุดอาจเนื่องมาจากสีเขียวและชมพูที่ผสมในเนื้อพลาสติก PET บรรจุภัณฑ์นั้นดูดกลืนแสงได้บางส่วน ทำให้แสงส่องถึงของเหลวในขวดได้น้อยลงจากผลจากการทดลองพบว่าขวดสีชมพูเกิดการซีดจางมากกว่า เร็วกว่า ขวดเขียวในระยะเวลาเท่ากัน แสดงดังรูปที่ 4.10



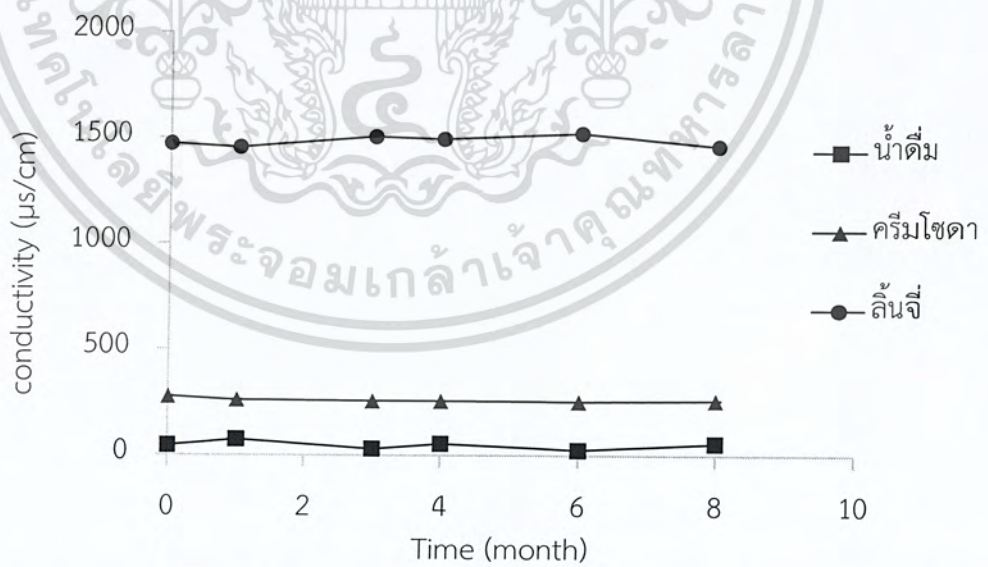
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับเวลาที่วางพลาสติกไว้กลางแสงแดดและที่ไม่ได้วางไว้กลางแสงแดด

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ

การนำไฟฟ้า (Conductivity) เป็นวิธีการวัดความสามารถของน้ำในการส่งผ่านกระแสไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากการมีอยู่ของสารประกอบอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงค่าการนำไฟฟ้าก็จะยิ่งมากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงรายงานค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (25°C) (การประปานครหลวง, 2557) ในการทดลองนี้วัดค่าการนำไฟฟ้าของเหลวที่บรรจุในขวดพลาสติกทั้ง 3 ชนิด เมื่อได้รับความร้อนจากแสงแดดเป็นว่า 0, 1, 3, 4, 6 และ 8 เดือน

น้ำดื่ม (ขวดใส) มีค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 46 (µs/cm) น้ำอัดลมขวดสีเขียวมีค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 277 (µs/cm) น้ำอัดลมขวดสีชมพู มีค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 1473 (µs/cm) ผลการทดลองพบว่าเมื่อครบเวลาระยะเวลา 8 เดือน ค่าการนำไฟฟ้าของของเหลวทั้ง 3 ชนิดเปลี่ยนแปลงน้อยมากใกล้เคียงกับตอนเริ่มต้น แสดงว่าแสงแดดตลอดระยะเวลา 8 เดือน ไม่ได้รบกวนประสิทธิภาพการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าของของเหลวทั้ง 3 ชนิด การทดลองยังพบว่าน้ำอัดลมขวดสีชมพูความสามารถส่งผ่านกระแสไฟฟ้าได้ดีกว่าน้ำอัดลมขวดสีเขียว และดีกว่าน้ำดื่มขวดใส แสดงว่าองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำอัดลมขวดสีชมพูสามารถนำไฟฟ้าได้ดีกว่าน้ำอัดลมขวดสีเขียวและน้ำดื่มขวดใส ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ IC ใน ตารางที่ 4.4 ค่าการนำไฟฟ้าให้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.11

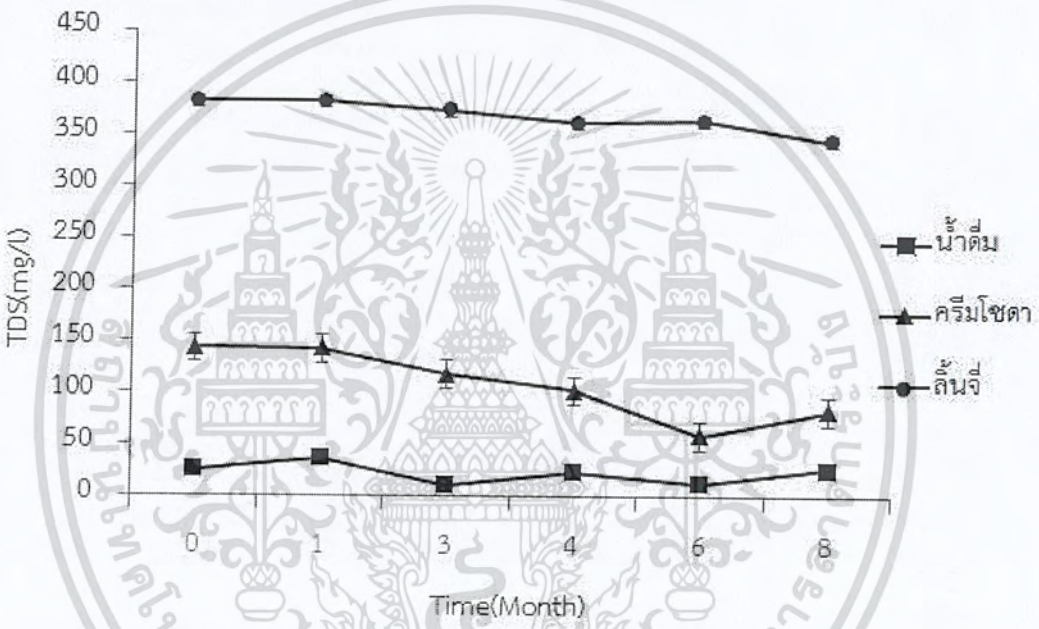


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า conductivity กับเวลาที่วางพลาสติกไว้กลางแสงแดดและที่ไม่ได้วางไว้กลางแสงแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 วิเคราะห์ปริมาณของแข็ง Total Dissolved Solids (TDS)

ปริมาณของของแข็งที่แขวนลอยหรือละลายอยู่ในน้ำรวมถึงไอออน แร่ธาตุเกลือหรือโลหะละลายในปริมาณที่กำหนดของน้ำแสดงในหน่วยของมิลลิกรัมต่อหน่วยปริมาตรของน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) TDS จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับความบริสุทธิ์ของน้ำและคุณภาพของระบบ การทำน้ำให้บริสุทธิ์และมีผลต่อทุกอย่างที่กินอาศัยอยู่ในหรือใช้น้ำไม่ว่าจะเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ โดยทำการทดสอบของเหลวที่อยู่ขวดบรรจุภัณฑ์ก่อนและหลังได้รับแสงแดดเป็นเวลา 1, 3, 4, 6 และ 8 เดือน พบปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นจากเดิมดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TDS กับเวลาที่วางพลาสติกไว้กลางแสงแดดและที่ไม่ได้วางไว้กลางแสงแดด

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปหลังจากที่น้ำได้รับแสงแดดเป็นเวลา 1, 3, 4, 6 และ 8 เดือน ปริมาณของของแข็งที่แขวนลอยหรือละลายอยู่ในน้ำอัดลมขวดสีเขียวและสีชมพูมีแนวโน้มลดลงจากเดิม ส่วนในน้ำดื่มค่า TDS มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และพบว่าในน้ำอัดลมขวดสีชมพูมีค่า TDS มากที่สุด รองลงมาคือน้ำอัดลมขวดสีเขียวและสุดท้ายคือน้ำดื่มขวดใส ซึ่งตรงกับการทดสอบค่าการนำไฟฟ้า สาเหตุที่ค่า TDS มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำมีการเสื่อมสลายเมื่อได้รับแสงแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Ion Chromatography (IC)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Ion Chromatography (IC) จะวิเคราะห์ไอออนประจุลบ (Anion) ได้แก่ F^-, Cl^-, NO_3^{2-} และ SO_4^{2-} ตามมาตรฐานน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตามประกาศกระทรวง สาธารณสุข (ฉบับที่256) พ.ศ. 2545 พิจารณาจากระยะเวลาที่นำของเหลวในขวดบรรจุภัณฑ์ เมื่อได้รับแสงแดดทำให้ของเหลวมีไอออนเพิ่มขึ้นเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของไอออนชิดประจุลบที่ตรวจพบในน้ำทั้ง 3 ชนิด

ชนิดของเหลว	เวลา(เดือน)	F^-(mg/L)	Cl^-(mg/L)	NO_3^-(mg/L)	SO_4^{2-}(mg/L)
น้ำดื่ม	0	12.63	203.16	20.31	18.36
	4	55.38	55.38	13.2	65.97
	8	2.73	109.98	11.97	5.46
น้ำอัดลมขวดสีเขียว	0	-	81.15	5.67	39.6
	4	20.19	79.83	7.38	41.73
	8	40.92	80.79	61.74	41.25
น้ำอัดลมขวดสีชมพู	0	14.52	99.87	112.17	79.26
	4	30.08	58.98	130.83	74.82
	8	57.99	56.85	126.24	67.2

จากผลการทดลองเมื่อนำไปตากแดดและหลังนำไปตากแดดแล้วเป็นเวลา 4 และ 8 เดือน เมื่อนำของเหลวในขวดบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดมาฉีดเข้าเครื่อง IC ซึ่งวิเคราะห์เฉพาะแอนไอออน Fluoride, Chloride, Nitrate และ Sulfate ตามลำดับ ทำให้ทราบว่าในน้ำดิบมีไอออนประจุลบเป็นส่วนประกอบตั้งแต่แรก และเมื่อนำน้ำไปตากแดดไอออนของของเหลวมีการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้ในการเปลี่ยนแปลงไอออนทั้ง 3 ชนิดได้แก่ F^-, Cl^- และ NO_3^- อาจทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้เกิด OH^- ส่วน SO_4^{2-} เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้ O_2 ดังรูปที่ 4.13 กรดที่เกิดขึ้นอาจทำปฏิกิริยากับไอออนประจุบวกที่มีอยู่ในน้ำกลายเป็นเกลือจึงทำให้พบความเข้มข้นของไอออนเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เช่น ในตารางที่ 4.4

$$F^- + H_2O \longrightarrow HF + OH^-$$

$$H_2O + Cl^- \longrightarrow HCl + OH^-$$

$$H_2O + NO_3^- \longrightarrow HNO_3 + OH^-$$

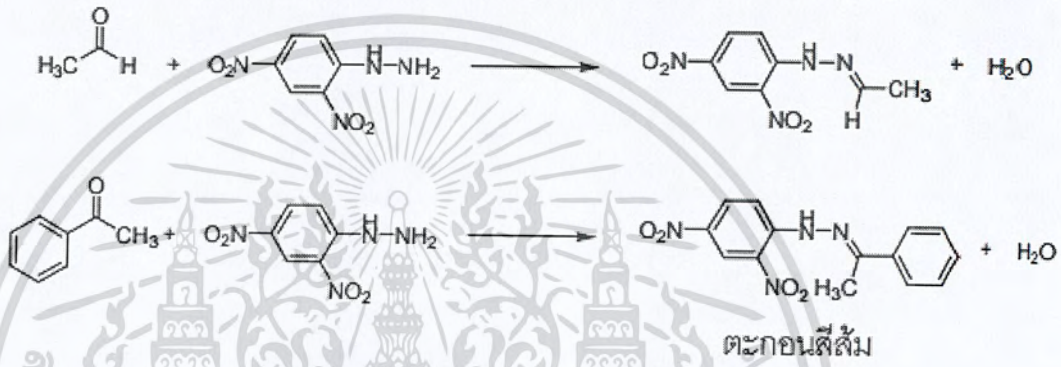
$$2\,H_2O + 2\,SO_4^{2-} \longrightarrow 2\,H_2SO_4 + O_2$$

รูปที่ 4.13 แสดงการเกิดปฏิกิริยาที่อาจเกิดขึ้นระหว่างไอออนลบที่อยู่ในน้ำดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 ปริมาณตะกอน 2, 4-Dinitrophenylhydrazone ของของเหลวในขวดบรรจุภัณฑ์

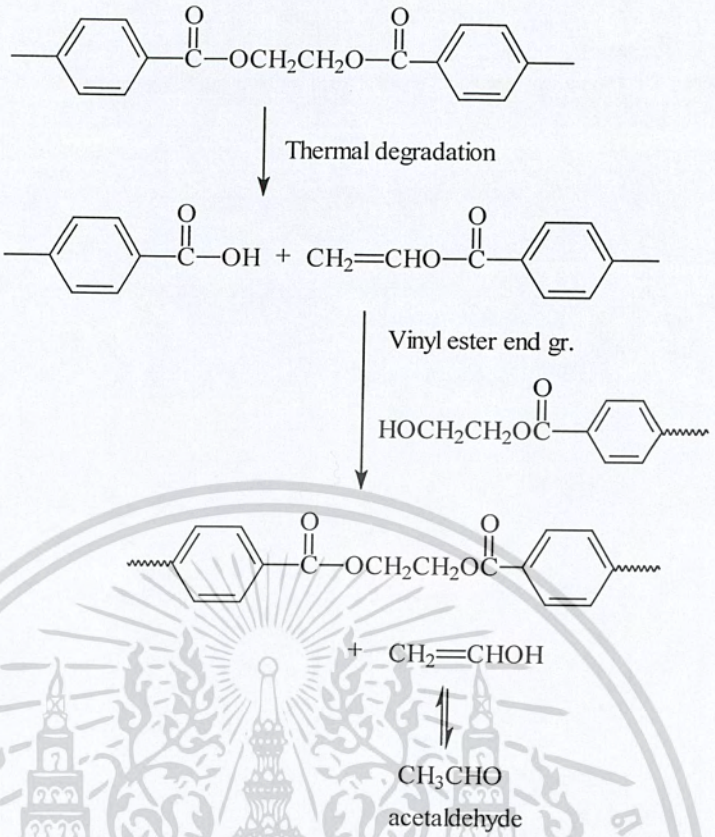
สารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่คาร์บอนนิลทั้งแอลดีไฮด์และคีโตนจะทำปฏิกิริยากับ 2, 4-Dinitrophenyl hydrazine (2, 4-DNP) ให้ตะกอน กับ 2, 4-Dinitrophenyl hydrazone เป็นตะกอนสีส้มที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งอาจเกิดเป็นสารลักษณะคล้ายน้ำมันในตอนแรก และจะเปลี่ยนเป็นตะกอนเมื่อตั้งทิ้งไว้แอลดีไฮด์และคีโตนที่ไม่มีพันธะต่อเนื่อง (conjugated) กับหมู่ฟังก์ชันอื่นจะให้ตะกอนสีเหลือง แต่ถ้ามีพันธะต่อเนื่องกับหมู่ฟังก์ชันอื่น เช่น พันธะคู่หรือเบนซีนจะได้ตะกอนสีส้ม ตัวอย่างสมการปฏิกิริยาระหว่างแอลดีไฮด์และคีโตนแสดงดังรูป 4.12



รูปที่ 4.14 สมการแสดงปฏิกิริยาระหว่างแอลดีไฮด์หรือคีโตนกับ 2,4-Dinitrophenylhydrazine (คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร)

Acetaldehyde เป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่คาร์บอนิล เกิดขึ้นตั้งแต่กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก กระบวนการขึ้นรูปขวดพลาสติก และระหว่างเวลาใช้งานสามารถเกิด acetaldehyde แสดงดังรูป 4.15

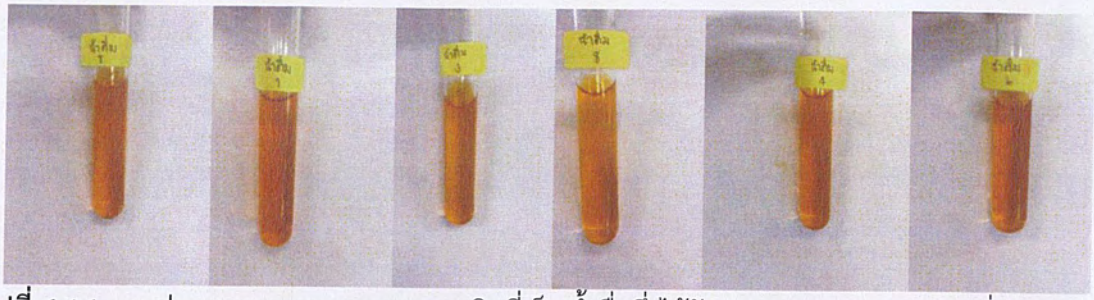
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



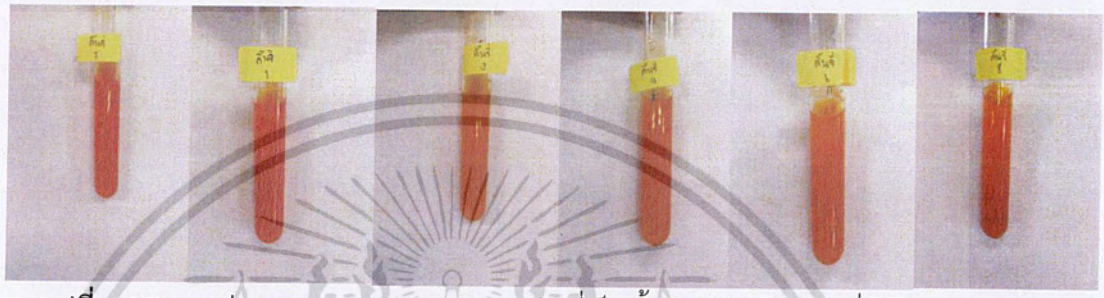
รูปที่ 4.15 การเกิด acetaldehyde เมื่อใช้งานขวดพลาสติก

Acetaldehyde ที่เกิดขึ้นอาจแพร่เข้าสู่น้ำหรือของเหลวที่สัมผัสการทดลองนี้วัดปริมาณตะกอน 2, 4-Dinitrophenyl hydrazine ที่เกิดในของเหลวทั้ง 3 ชนิด ทั้งก่อนและหลังการได้รับแสงแดดเป็นเวลา 0, 1, 3, 4, 6 และ 8 เดือน แสดงดังรูป 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายหลอดทดลองของเหลวชนิดที่เป็นน้ำดื่มซึ่งได้รับแสงแดดตามระยะเวลาที่กำหนด



รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายหลอดทดลองของเหลวชนิดที่เป็นน้ำอัดลมขวดสีเขียวซึ่งได้รับแสงแดดตามระยะเวลาที่กำหนด

รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายหลอดทดลองของเหลวชนิดที่เป็นน้ำอัดลมขวดสีชมพูซึ่งได้รับแสงแดดตามระยะเวลาที่กำหนด

ตารางที่ 4.5 ปริมาณตะกอน 2,4-Dinitrophenylhydrazine ของของเหลว

เวลา(เดือน) / ตะกอน (กรัม)	0	1	3	4	6	8
น้ำดื่ม	0.0086	0.0321	0.0051	0.0066	0.005	0.0049
ครีมโซดา	0.0131	0.0314	0.0238	0.018	0.0269	0.0646
ลิ้นจี่	0.0494	0.0132	0.0387	0.0281	0.0184	0.0136

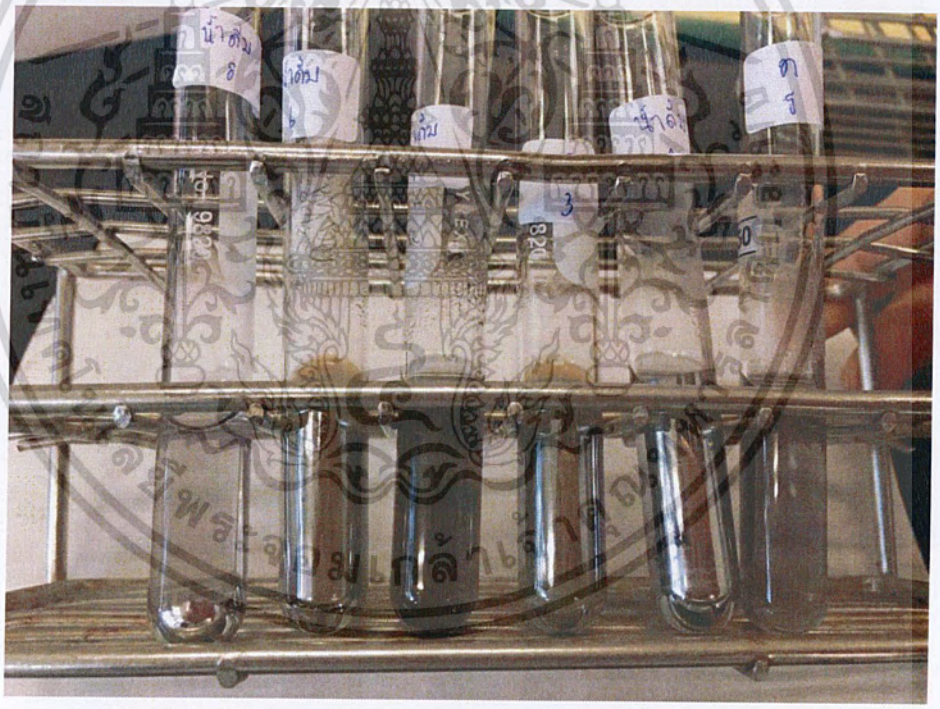
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณตะกอน 2,4-Dinitrophenylhydrazine ที่บรรจุอยู่ในขวดบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลา 8 เดือนที่ทำการทดลองและพบว่าในน้ำดื่ม, น้ำอัดลมขวดสีเขียว, น้ำอัดลมขวดสีชมพู มีสารที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิลอยู่ตั้งแต่เริ่มต้นแล้วในปริมาณต่างๆโดยน้ำอัดลมขวดสีชมพูมีอยู่มากสุด ลองลงมาคือ น้ำอัดลมขวดสีเขียว และน้ำดื่มขวดใสมีน้อยสุด

แต่เนื่องจาก 2, 4-Dinitrophenyl hydrazine จะทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลของทั้งแอลดีไฮด์และคีโตนจึงทำการทดลองโดยใช้ Tollen's reagent ด้วยเพื่อให้ทราบว่ามีสารแอลดีไฮด์อยู่จริง

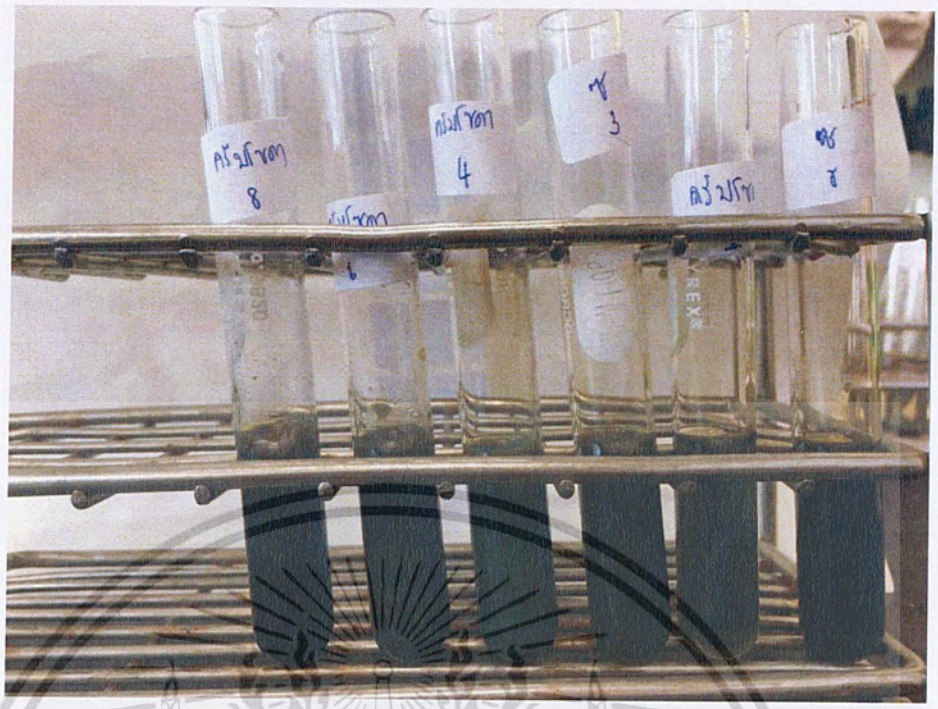
4.10 การทดสอบกับ Tollen's reagent

การทดสอบนี้ให้ผลเฉพาะแอลดีไฮด์ทั้งที่เป็นอะลิฟาติกและอะโรมาติกแอลดีไฮด์ โดยจะเกิดโลหะเงินฉาบที่ผนังด้านในของหลอดทดลอง มีลักษณะคล้ายกระจกเงาเรียกว่า silver mirror ถ้าหลอดแก้วไม่สะอาดพอ โลหะเงินรวมเป็นเม็ดเล็กๆ สีเทา หรือเป็นตะกอนสี ดำตกอยู่ที่ก้นหลอด



รูปที่ 4.19 โลหะเงินฉาบที่ผนังหลอดทดลองเมื่อทดสอบกับน้ำดื่มขวดใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 โลหะเงินฉาบที่ผนังหลอดทดลองเมื่อทดสอบกับน้ำอัดลมขวดสีเขียว

รูปที่ 4.21 โลหะเงินฉาบที่ผนังหลอดทดลองเมื่อทดสอบกับน้ำอัดลมขวดสีชมพู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบด้วย Tollen's reagent เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันว่าในน้ำและน้ำอัดลมมีหมู่ฟังก์ชันแอลดีไฮด์โดยจากการทดลองพบว่าในน้ำดื่มเกิดคราบโลหะเงินเห็นได้ชัดเจนมากที่สุด น้ำอัดลมขวดสีเขียวและน้ำอัดลมขวดสีชมพู ตามลำดับ ในน้ำดื่มขวดใสพบมากในช่วงเดือนที่ 1 – 6 ในเดือนที่ 8 พบคราบโลหะเงินลดลงอาจเนื่องมาจากหมู่แอลดีไฮด์ที่พบในน้ำดื่มได้มีการระเหยไปบางส่วน ส่วนในน้ำอัดลมขวดสีเขียวและน้ำอัดลมขวดสีชมพูมีแนวโน้มแบบเดียวกับน้ำดื่ม นอกจากนี้ยังพบว่าในน้ำทั้ง 3 ชนิด ที่ไม่ได้นำไปวางไว้กลางแดดไม่พบคราบโลหะเงิน แสดงว่าภายในน้ำไม่มีหมู่แอลดีไฮด์ตั้งแต่ตอนแรกแต่สาเหตุที่พบเมื่อนำไปวางไว้กลางแดดอาจเนื่องจากหมู่แอลดีไฮด์เกิดขึ้นระหว่างได้รับแสงแดดได้แพร่จากขวดมาสู่เหลว สมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดโลหะเงินแสดงดังรูป 4.22

รูปที่ 4.22 การเกิดปฏิกิริยาของแอลดีไฮด์ ซึ่งจะถูก ออกซิไดซ์ด้วย Tollen's reagent ให้เกลือคาร์บอกซิเลต (คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิจัย

ผลของแสงแดดที่มีต่อขวดน้ำ

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR พบพีกไฮดรอกซิล (-OH) พีกของ C-H พีกคาร์บอนิล (C=O) และพีก Aromatic ในระยะเวลา 8 เดือนไม่พบพีกใหม่ เมื่อทดสอบด้วย DSC พบว่าค่า ΔH_m มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงว่าแสงแดดทำให้ พอลิเมอร์จัดเรียงตัวได้มากขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปแสงแดดทำให้ขวดสีมีสีที่ซีดจางและในขวดใสมีความขุ่นมากขึ้น รวมทั้งทำให้ขวดมีความเปราะแตกหักได้ง่าย

ผลของแสงแดดที่มีผลต่อของเหลวในขวด

พบว่าแสงแดดทำให้ค่า pH ในขวดน้ำดื่มเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นเห็นได้อย่างชัดเจน แต่ไม่ส่งผลกับการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าจึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ส่วนไอออนที่ตรวจ ได้แก่ F^-, Cl^-, NO_3^{2-} และ SO_4^{2-} มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาของการศึกษา และพบหมู่คาร์บอนิลที่เป็นแอลดีไฮด์ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเมื่อได้รับแสงแดดนานขึ้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แสงแดดทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของขวด PET และของเหลวที่บรรจุภายในขวด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการเสื่อมสภาพของพลาสติกและของเหลวภายในขวดบรรจุภัณฑ์ประเภทที่เป็นขวดน้ำดื่มจากหลายยี่ห้อเพื่อดูว่ายี่ห้อไหนเสื่อมสภาพน้อยสุด

2. ศึกษาของเหลวในขวดบรรจุภัณฑ์ที่ต่างชนิดกัน

3. ควรเก็บขวดพลาสติกไว้ในที่ที่มีแสงแดดน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กล้องจุลทรรศน์ ,2554, **Optical Microscope กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง**. [Online] . Available : http://www.microscopes.in.th/20/light-microscope.html เข้าถึงเมื่อวันที่ 2 เมษายน 2559

กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ,2553, **"การทดสอบ สมบัติของพอลิเมอร์ ตอนที่ 1 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอริมิเตอร์".** [Online] . Available : http://www0.tint.or.th/nkc/nkc51/nkc5102/nkc5102t.html. เข้าถึงเมื่อวันที่ 2 เมษายน 2559 .

คู่มือข้อมูลเครื่องมือวิเคราะห์ชั้นสูง ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2555

ค้วน ขาวหนู, 2559 **สีผสมอาหาร.** [online]. Available : http://www.healthcarethai.com/ประเภทของสีผสมอาหาร เข้าถึงเมื่อวันที่ 4 มีนาคม 2559

ช่อลัดดา เที่ยงพุก, 2553 **เรื่องน่ารู้ของน้ำอัดลม** ข่าวสารเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาตร์ ฉบับที่ 1 ตุลาคม 2553 – มกราคม 2554

ณัทกาญจน์ ไชฮาดและคณะ, 2557 **การศึกษาการเสื่อมสภาพของขวดน้ำพลาสติกโดยแสงอัลตร้าไวโอเลต** โครงงานพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธนาวดี ลี้ภัย, 2551 **สมบัติทั่วไปของ PET.** [online]. Available : http://www.vcharkarn.com/varticle/38232เข้าถึงเมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2559

บทความวิทยาศาสตร์ สารเคมีในชีวิตประจำวันเกี่ยวกับพลาสติก, 2550 **พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต.** [online]. Available : http://www.neutron.rmutphysics.com/science-news/index.php?option=com_content&task=view&id=1690&Itemid=4&limit=1&limitstart=1 เข้าถึงเมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2559

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข , 2556 , **"เรื่อง เครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท"**. [Online] . Available:http://iodinethailand.fda.moph.go.th/food_54/law/data/announ_moph/P356.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 มีนาคม 2559.

ปานเทพ พัวพงษ์พันธ์ , 2555, **"เปรียบเทียบผลสำรวจ ด่าง" น้ำดื่มและน้ำอัดลม-กรด"21 ยี่ห้อ"**. [online]Available:http://www.manager.co.th/AstvWeekend/ViewNews.aspx?NewsID=9550000104409 เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 มีนาคม 2559 .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิมเพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2553 **น้ำอัดลม.** [online]. Available : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0095/carbonated-soft-drink- เข้าถึงเมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2559

พอลิเมอร์, 2555 , **โครงสร้างของพอลิไวนิลคลอไรด์.** [online]. Available : http://www.vcharkarn.com/lesson/1465 เข้าถึงเมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2559

มหาวิทยาลัยบูรพา, 2547 **โครงสร้างของ LDPE.** [online]. Available : http://www.sci.buu.ac.th/~chemistry/staff/thanida/Polymer_Chemistry/image_files/chapter4_12.html เข้าถึงเมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2559

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2558 **โครงสร้างของเบคิไลต์** [online]. Available : https://th.wikipedia.org/wiki/เบคิไลต์ เข้าถึงเมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2559

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,2557, **"การวิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้เทคนิค infrared spectroscopy"**. [Online] . Available : http://www.sec.psu.ac.th/home/ebook/sec-magazine-2557-04-ftir/sec-magazine-2557-04-ftir.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 มีนาคม 2559 .

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,2558, **"เครื่อง Ion Chromatograph"**. [Online] . Available : http://www.science.kmitl.ac.th/links/tools/index.php?page=tools เข้าถึงเมื่อวันที่ 2 เมษายน 2559

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ , 2550 ," **พลาสติกที่ย่อยสลายได้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน** ". [online] . Available: http://www2.mtec.or.th biodegradable_plastic/type_and_usage_plas.html. เข้าถึงเมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2559.

ศูนย์รวมตำราเรียนรามคำแหง, 2555 **เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR Spectrophotometer)** [online] . Available: http://e-book.ram.edu/e-book/indexstart.htmเข้าถึงเมื่อวันที่ 2 พฤษภาคม 2559

แสวง เกิดประทุม, 2559 **แสงอัลตราไวโอเลต** [online]. Available : http://www.cooldeepa.com/attachments/view/?attach_id=8201 เข้าถึงเมื่อวันที่ 7 มีนาคม 2559

อรทัย จงประทีป และคณะ, 2016 **การคัดเลือกวัสดุส้าหรับวิธีการฆ่าเชื้อโรคในน้ำโดยใช้แสงอาทิตย์ Materials Selection for SODIS (Solar Water Disinfection)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S.G. Muhamad, L.S. Eamail, and S.H. Hasan (2011) **Effect of storage temperature and sunlight exposure on the physicochemical properties of bottled water in Kurdistan region-Iraq**

Hayden K. Webb,2012 **ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET).** [online]. Available : http://www.marinedebris.info/sites/default/files/literature/Plastic เข้าถึงเมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2559

Johann Ewender, Frank Welle, 2016 **Determination of the Migration of Acetaldehyde from PET Bottles into Noncarbonated and Carbonated Mineral Water**

Keck Interdisciplinary Surface Science Center . 2009 . **What is FT-IR ?** . [Online] . Available : http://epic.ms.northwestern.edu/KeckII/ftir1.asp .เข้าถึงเมื่อวันที่ 2 พฤษภาคม 2559

Material technology and manufacturing, " **ชนิดของพอลิเมอร์".** [online] . Available: http://lovelymaterials.com/polymer.html#ชนิดของพอลิเมอร์ เข้าถึงเมื่อวันที่ 2 พฤษภาคม 2559

University of Cambridge, 2547, **Example Infra Red Spectra".** [online] . Available: http://www.doitpoms.ac.uk /tlplib/artefact/flash/infrared.swfเข้าถึงเมื่อวันที่ 2 พฤษภาคม 2559

Wikipedia, 2559 Azorubine **[online]. Available :** https://en.m.wikipedia.org/wiki/Azorubine เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2559

Wikipedia, 2559 Brilliant Green **[online]. Available :** https://en.wikipedia.org/wiki/Brilliant_Green_(dye) เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2559

Wikipedia, 2559 Erythrosine **[online]. Available :** https://en.wikipedia.org/wiki/Erythrosine เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2559

Wikipedia, 2559 Fast green FCF **[online]. Available :** https://en.m.wikipedia.org/wiki/Fast_Green_FCF เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2559

Wikipedia, 2559 Ponceau 4R. **[online]. Available :** https://en.m.wikipedia.org/wiki/Ponceau_4R เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2559

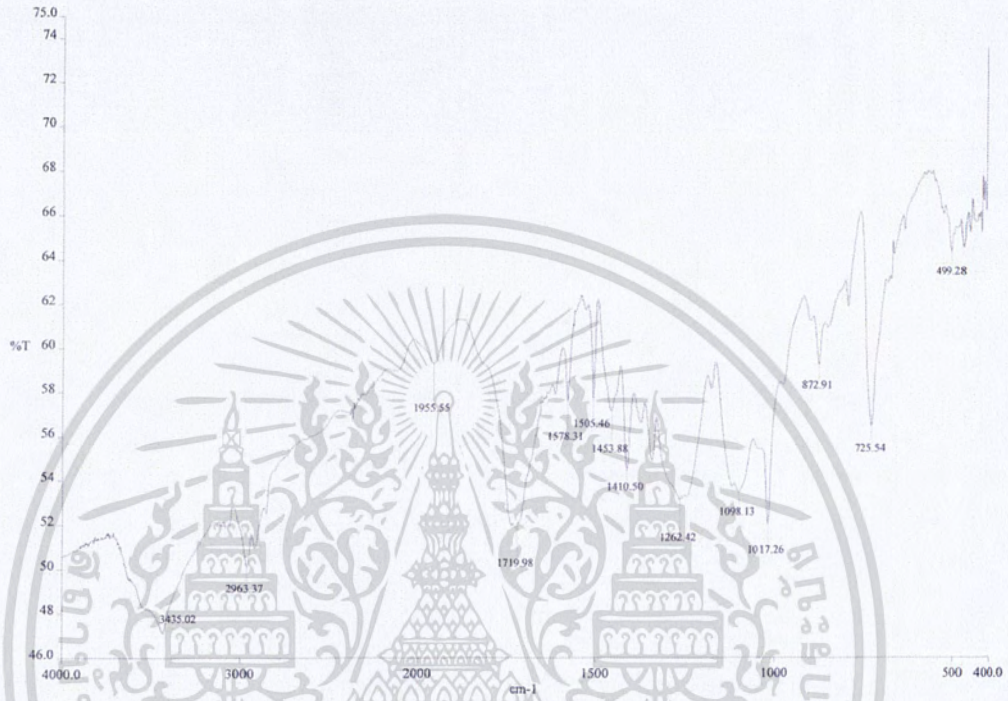
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

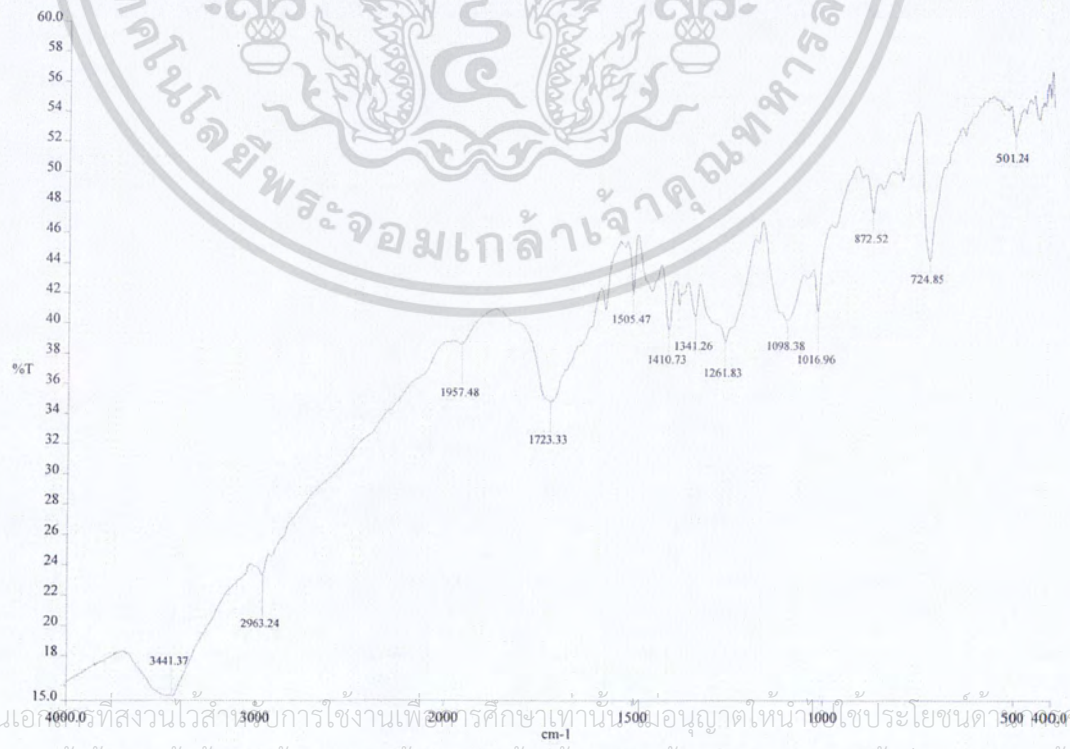
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของขวดพลาสติกที่นำไปวางไว้กลางแสงแดดในระยะเวลา 1, 3, 4, 6, 8 เดือน และขวดพลาสติกที่ไม่ได้รับแสงแดด

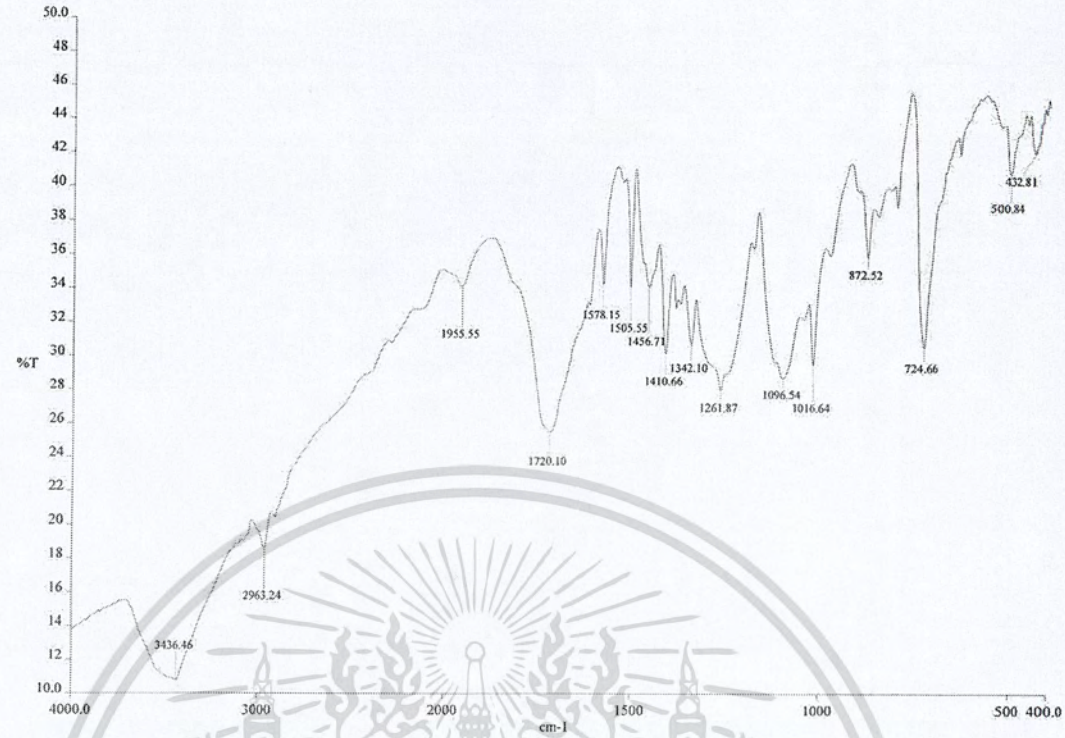


รูปที่ ก-1 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำดื่มขวดใสที่ไม่ได้รับแสงแดด

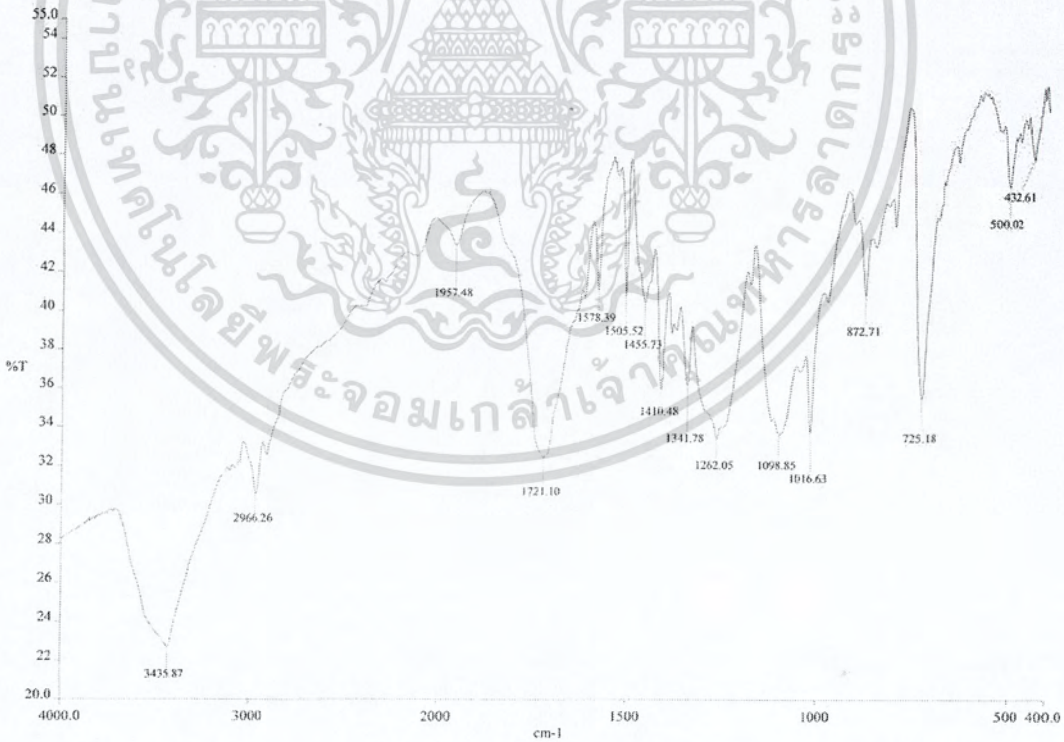


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก-2 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำดื่มขวดใสเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 1 เดือน

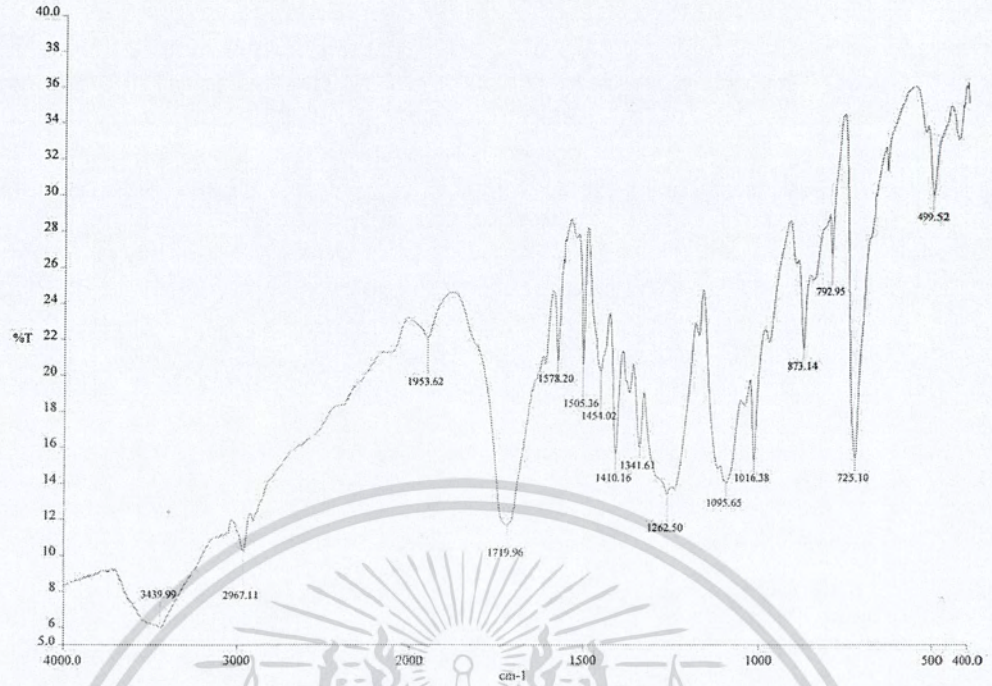


รูปที่ ก-3 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำดื่มขวดใสเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 3 เดือน

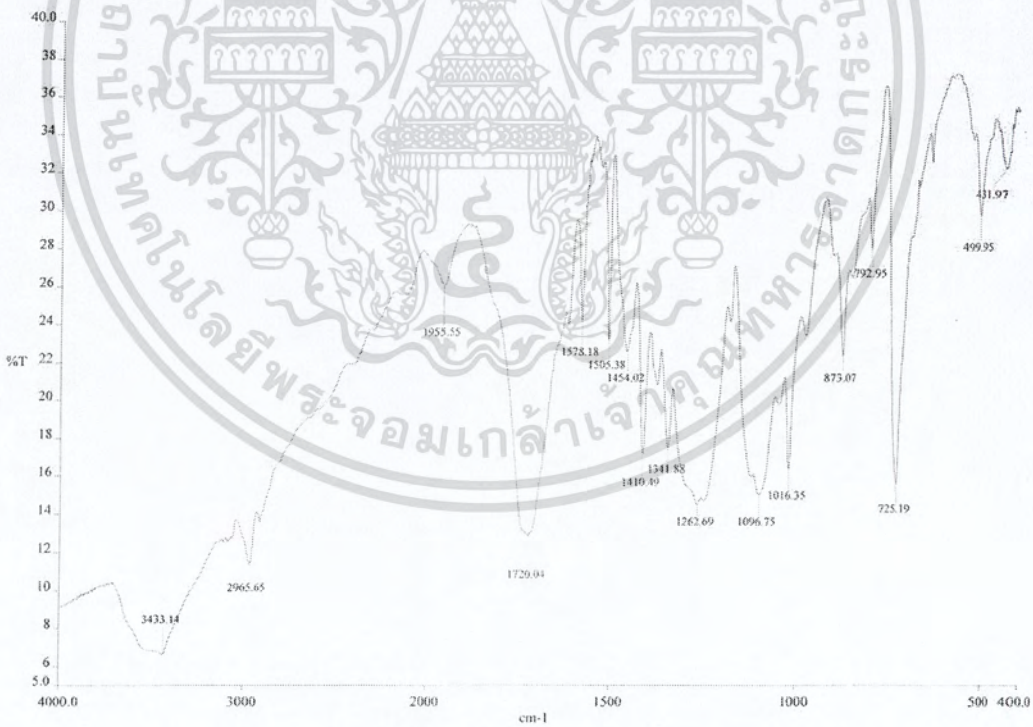


รูปที่ ก-4 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำดื่มขวดใสเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 4 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

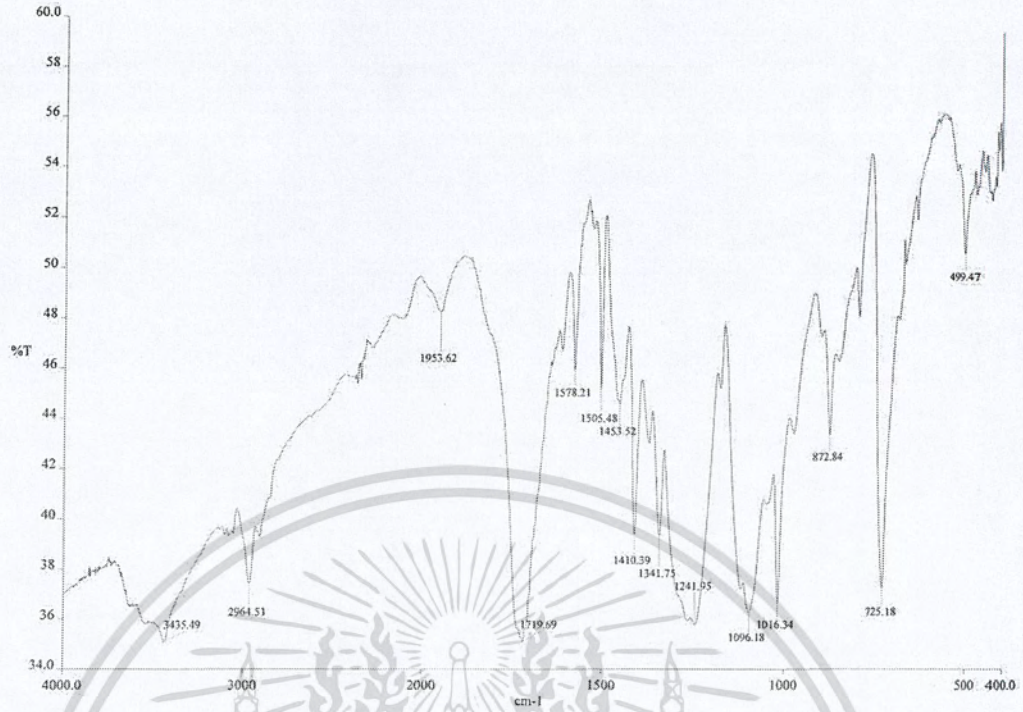


รูปที่ ก-5 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำดื่มขวดใสเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ ก-6 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำดื่มขวดใสเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน

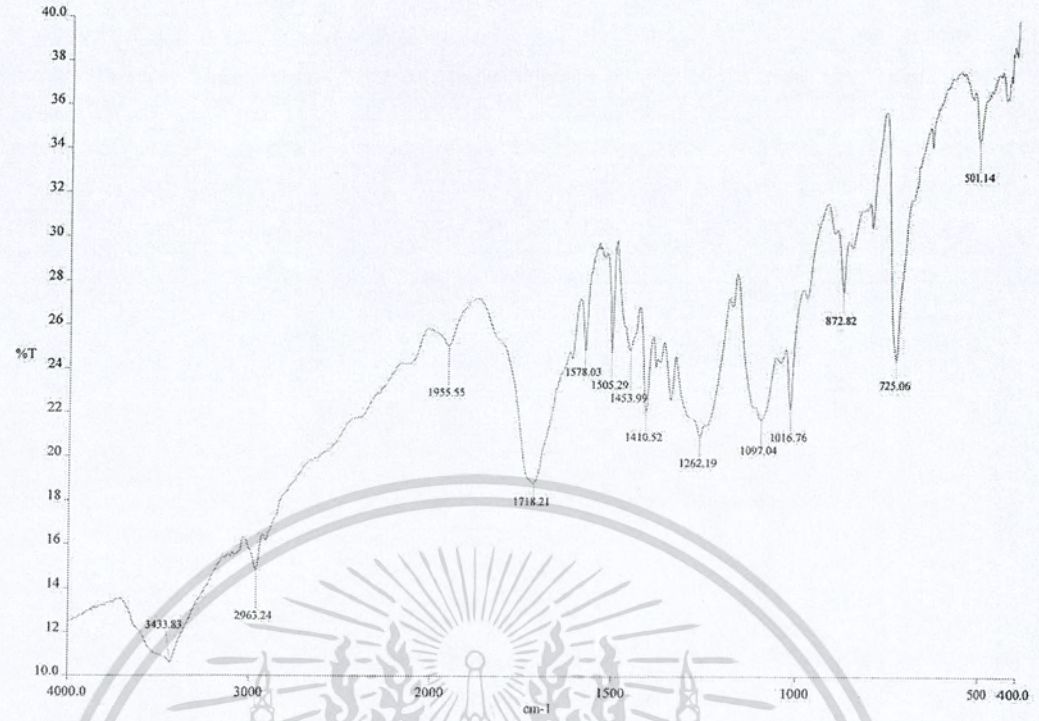
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-7 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวเมื่อนำไปวางไว้ในที่มืด

รูปที่ ก-8 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 1 เดือน

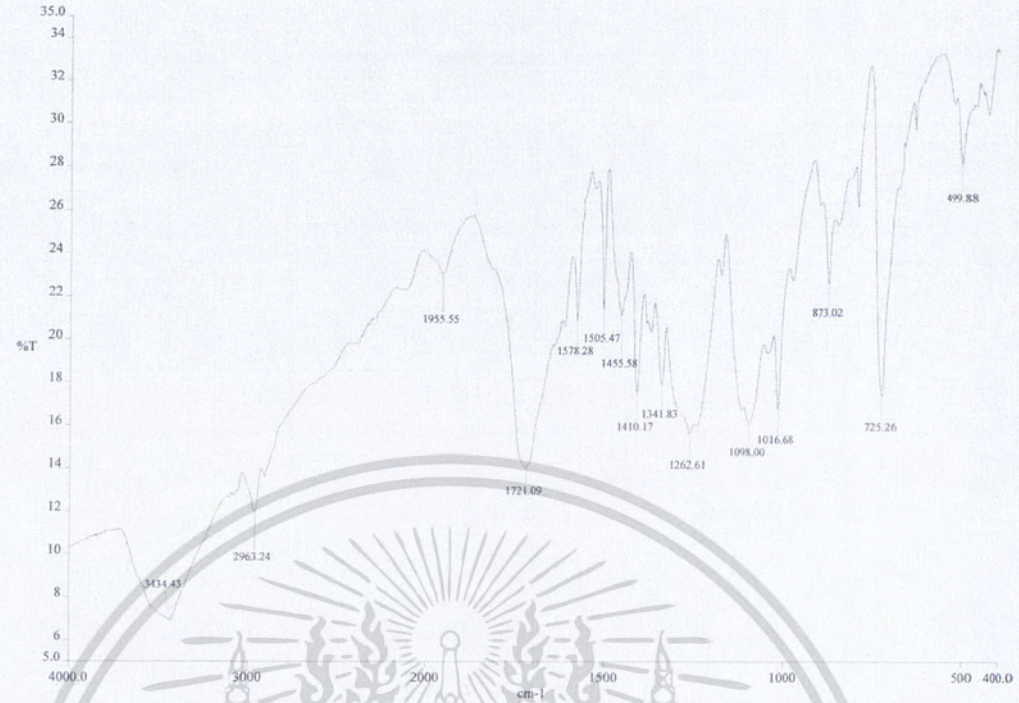
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



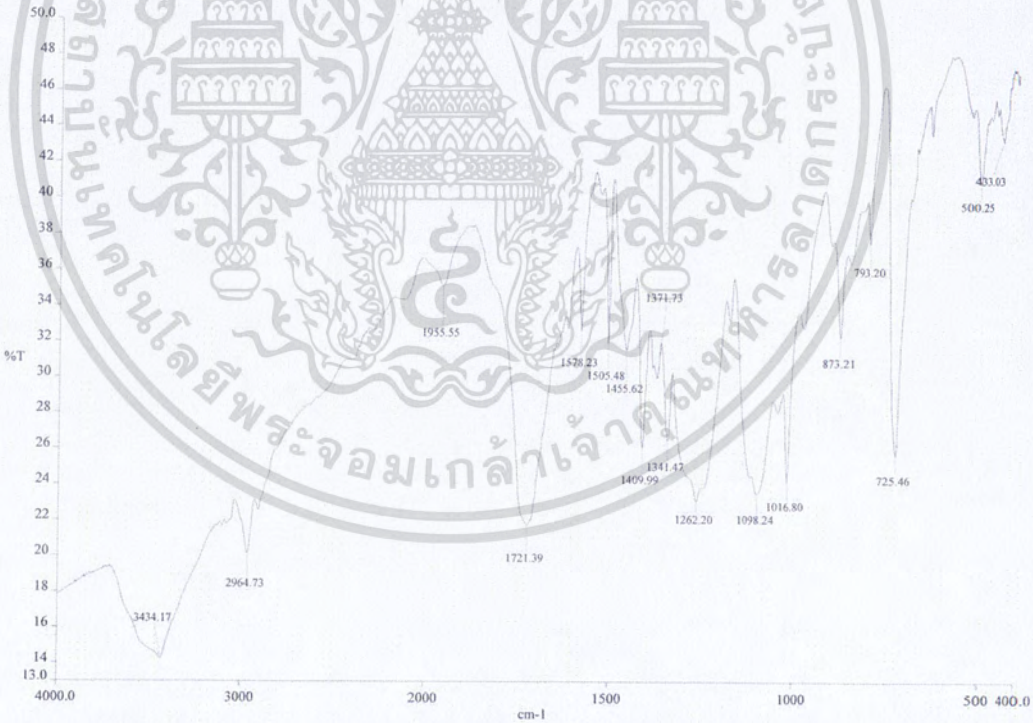
รูปที่ ก-9 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 3 เดือน

รูปที่ ก-10 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 4 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

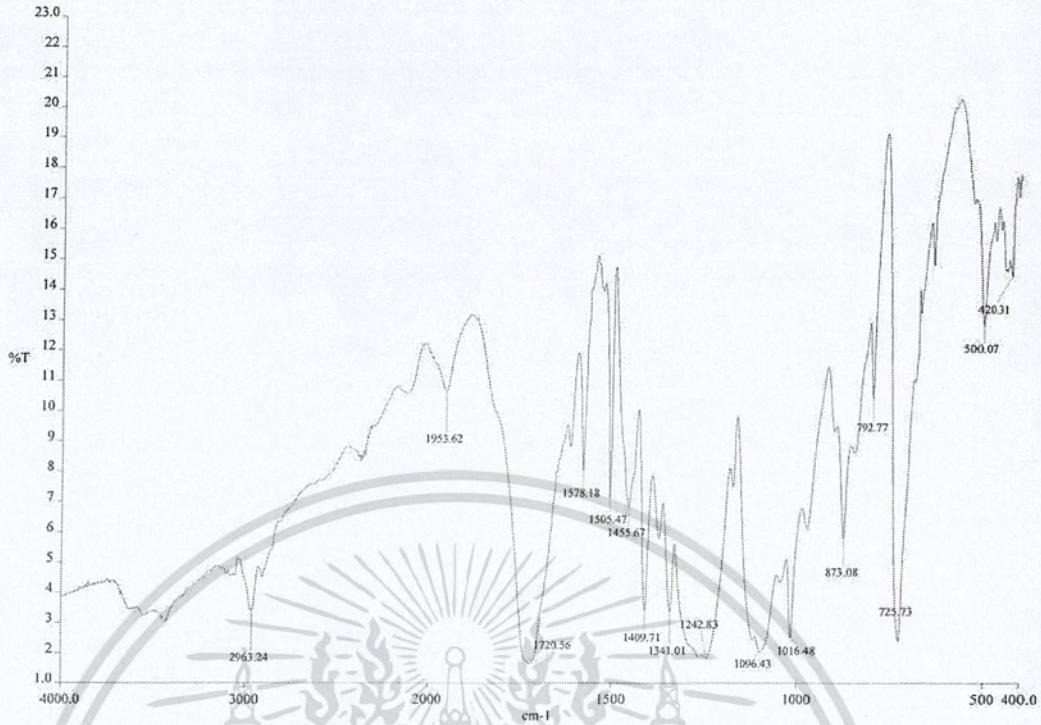


รูปที่ ก-11 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ ก-12 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน

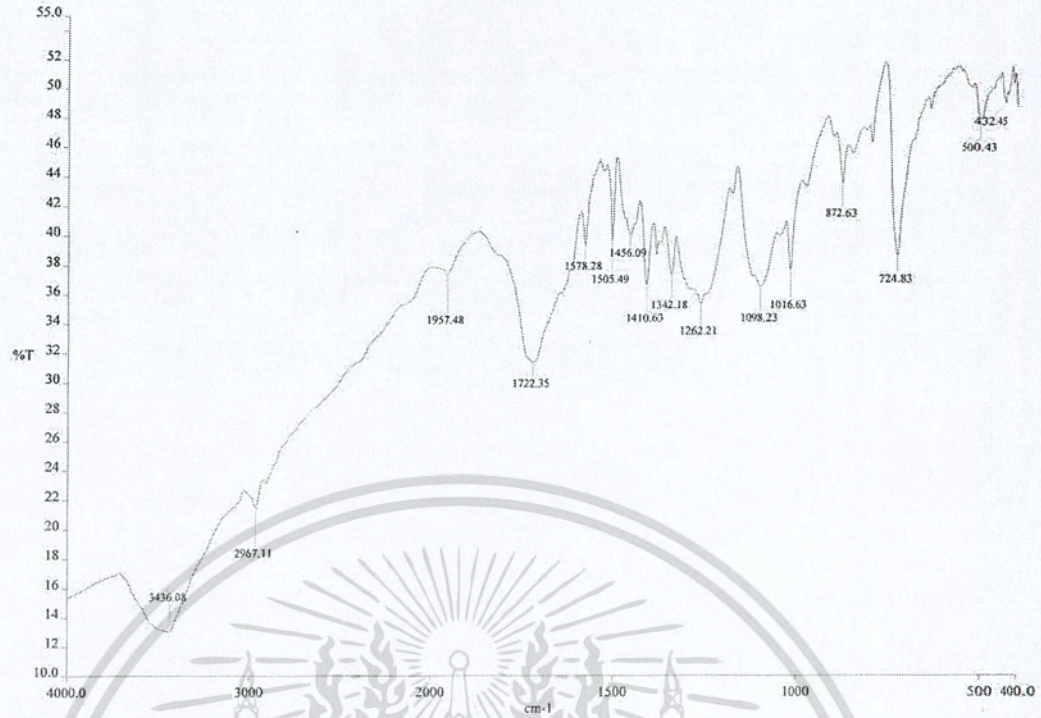
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-13 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูนำไปวางไว้ในที่มืด

รูปที่ ก-14 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 1 เดือน

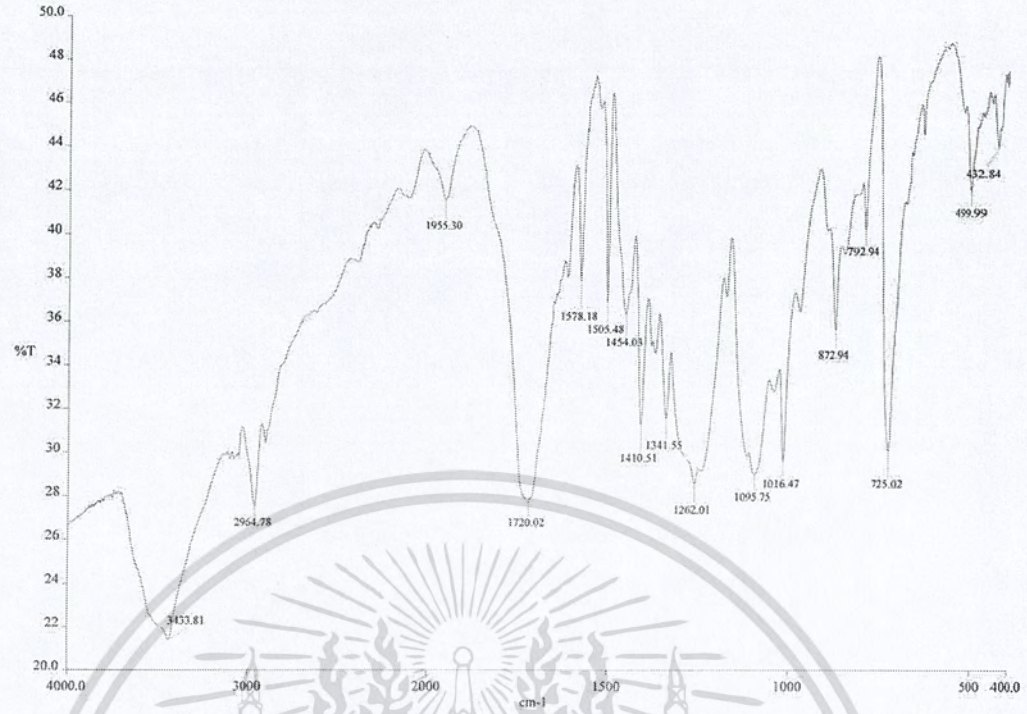
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-15 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 3 เดือน

รูปที่ ก-16 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 4 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-17 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 6 เดือน

รูปที่ ก-18 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูเมื่อนำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของขวดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต โดยใช้เครื่อง Tensile Machine ตัดตัวอย่างให้ความกว้างของชิ้นงานมีขนาด 2×10 เซนติเมตร

ตารางที่ ข-1 ผลค่าแรงดึงสูงสุดของขวดน้ำดื่มขวดใสที่ไม่ได้รับแสงแดดและที่นำไปวางไว้กลางแดดเป็นเวลา 8 เดือน

Time (เดือน)	F.max (N)				ค่าเฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		
0	144.36	120.17	138.22	160.87	140.91	16.81
1	119.4	61.66	146.2	117.87	111.28	35.55
3	96.37	109.04	125.55	153.96	121.23	24.88
4	94.45	144.36	125.16	31.1	98.77	49.57
6	98.67	78.71	112.72	117.87	101.99	17.51
8	118.25	150.5	114.8	70.57	113.53	32.84

ตารางที่ ข-2 ค่าความแข็งแรงดึงของขวดน้ำดื่มขวดใสที่ไม่ได้รับแสงแดดและที่นำไปวางไว้กลางแดดเป็นเวลา 8 เดือน

Time (เดือน)	Tensile strength (N/mm2)				ค่าเฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		
0	77.83	39.24	89.17	100.91	76.79	26.75
1	86.71	28.27	74.25	84.25	68.37	27.27
3	68.48	120.41	95.89	115.88	100.17	23.66
4	35.57	95.83	61.32	31.9	56.16	29.51
6	108.1	9.92	52.29	69.27	59.90	40.69
8	69.31	85.3	42.49	70.72	66.96	17.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ผลค่าแรงดึงสูงสุดของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวไม่ได้รับแสงแดดและที่นำไปวางไว้กลางแดดเป็นเวลา 8 เดือน

Time (เดือน)	F.max (N)				ค่าเฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		
0	250.71	254.09	246.87	254.16	251.46	3.46
1	332.87	296.7	290.25	309.14	307.24	18.80
3	288.49	254.16	269.83	260.54	268.26	14.95
4	253.01	255.24	250.94	252.55	252.94	1.77
6	256.7	251.71	254.62	252.55	253.90	2.23
8	240.19	247.56	251.09	253.24	248.02	5.72

ตารางที่ ข-4 ค่าความแข็งแรงดึงของขวดน้ำอัดลมขวดสีเขียวที่ไม่ได้รับแสงแดดและที่นำไปวางไว้กลางแดดเป็นเวลา 8 เดือน

Time (เดือน)	Tensile strength (N/mm2)				ค่าเฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		
0	89.38	77.2	84.36	85.59	84.13	5.09
1	107.22	94.24	90.68	95.62	96.94	7.16
3	75.35	74.51	69.01	83.65	75.63	6.04
4	79.58	61.33	78.55	81.88	75.34	9.44
6	59.84	70.11	77.14	69.62	69.18	7.11
8	66.55	75.1	78.35	69.41	72.35	5.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ค่าความแข็งแรงดึงของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูที่ไม่ได้รับแสงแดดและที่นำไปวางไว้กลางแดดเป็นเวลา 8 เดือน

Time (เดือน)	F.max (N)				ค่าเฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		
0	308.68	297.16	288.79	291.86	296.62	8.75
1	302.77	336.78	331.56	316.13	321.81	15.43
3	262.15	272.51	301	282.57	279.56	16.55
4	287.18	280.65	256.31	278.35	275.62	13.41
6	262.92	313.36	312.14	291.79	295.05	23.60
8	253.39	294.94	273.67	273.36	273.84	16.97

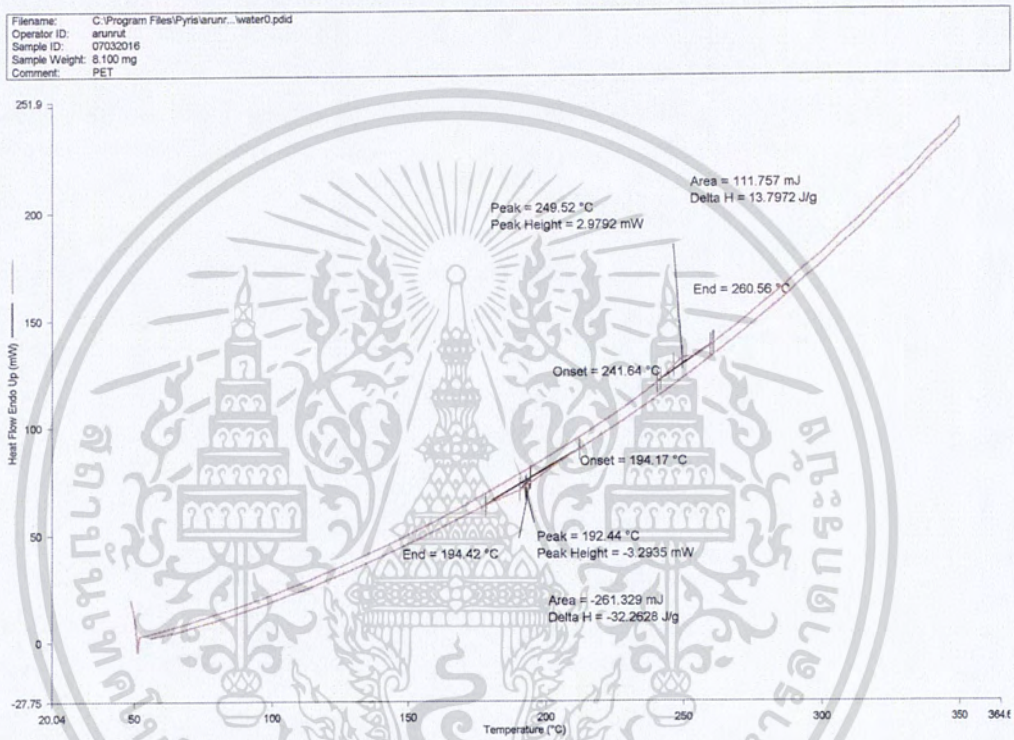
ตารางที่ ข-6 ค่าความแข็งแรงดึงของขวดน้ำอัดลมขวดสีชมพูที่ไม่ได้รับแสงแดดและที่นำไปวางไว้กลางแดดเป็นเวลา 8 เดือน

Time (เดือน)	Tensile strength (N/mm2)				ค่าเฉลี่ย	S.D.
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		
0	101.05	93.42	93.96	92.83	95.32	3.85
1	98.18	101.84	100.51	95.29	98.96	2.87
3	80.98	82.14	71.59	86.36	80.27	6.23
4	287.18	280.65	256.31	278.35	275.62	13.41
6	58.43	64.65	99.72	69.13	72.98	18.36
8	71.9	95.55	82.95	88.13	84.63	9.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

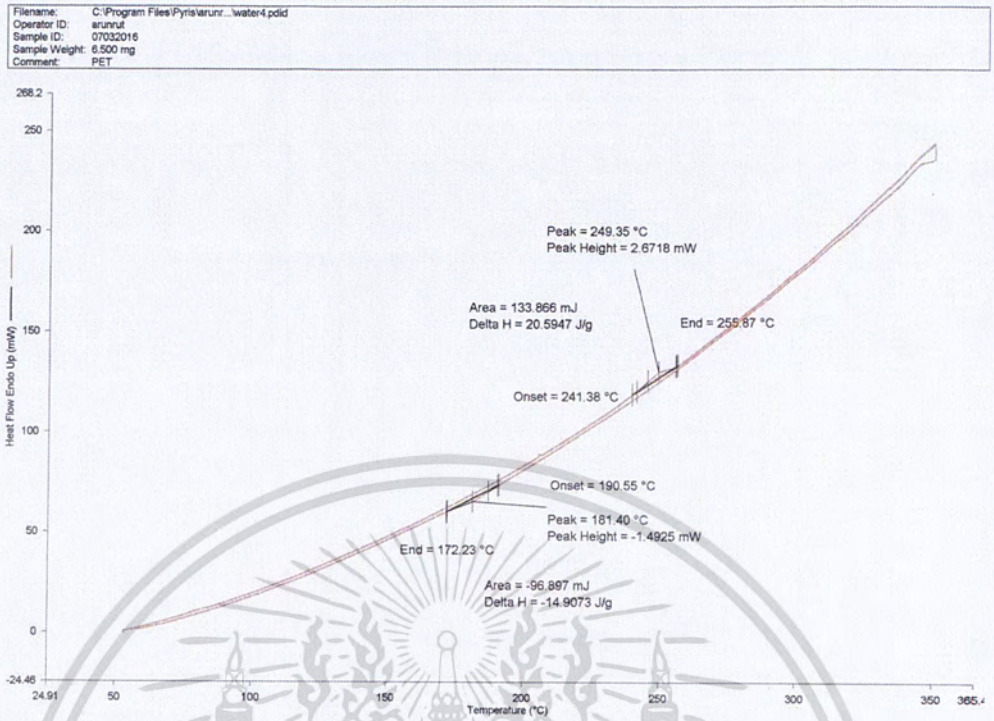
ภาคผนวก ค

ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก (T_m (°C)), ค่าพลังงานในการหลอมละลายผลึก (ΔH_m j/g),อุณหภูมิของการเกิดผลึก(T_c (°C)) และพลังงานในการเกิดผลึกของขาดบรรจุภัณฑ์ (Polyethylene terephthalate) ของน้ำดื่มขวดใส น้ำอัดลมขวดสีเขียว และน้ำอัดลมขวดสีชมพู ที่ได้รับแสงอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ เป็นเวลา 4 เดือน , 8 เดือน และไม่ได้รับแสงแดด

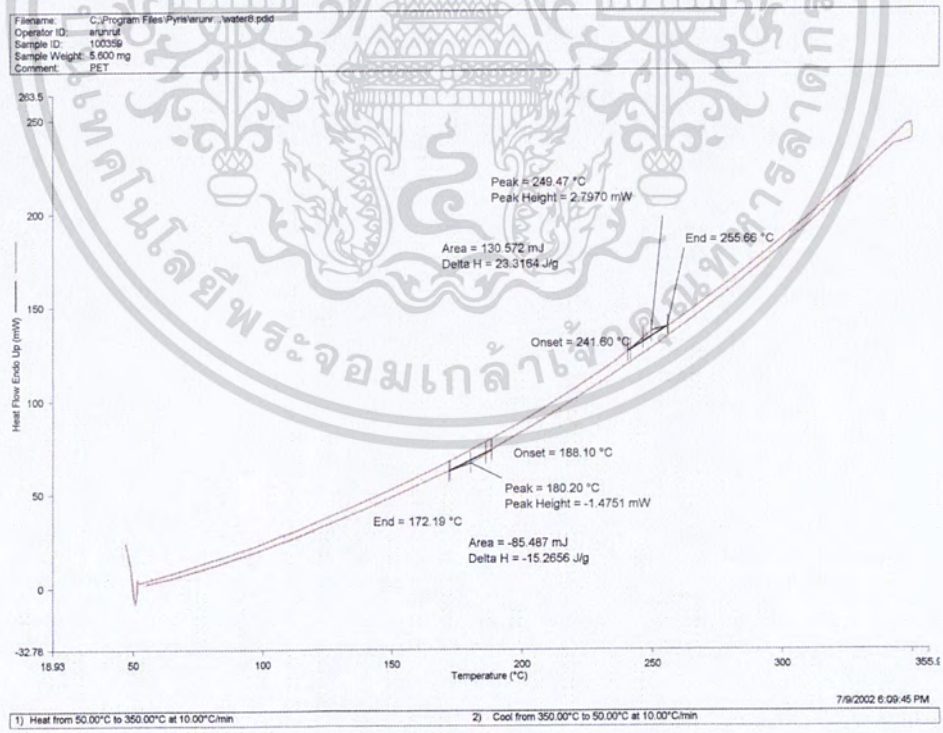


รูปที่ ค-1 ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก (T_m (°C)) ของน้ำดื่มขวดใสที่ไม่ได้รับแสงแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

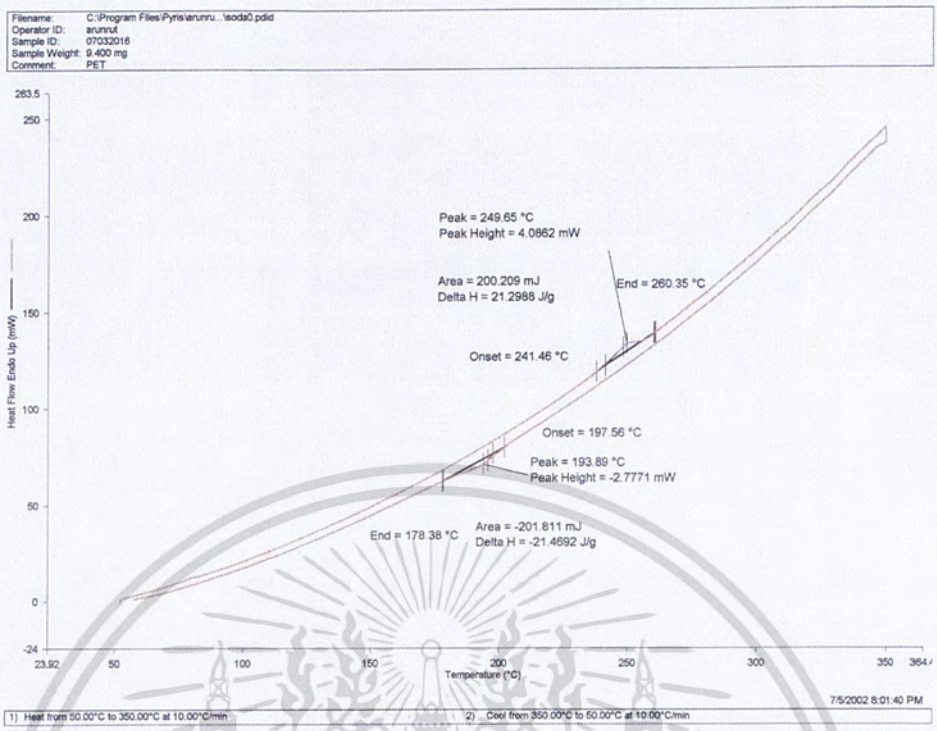


รูปที่ ค-2 ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก (T_m (°C)) ของน้ำดื่มขวดใสที่ได้รับแสงแดดเป็นเวลา 4 เดือน

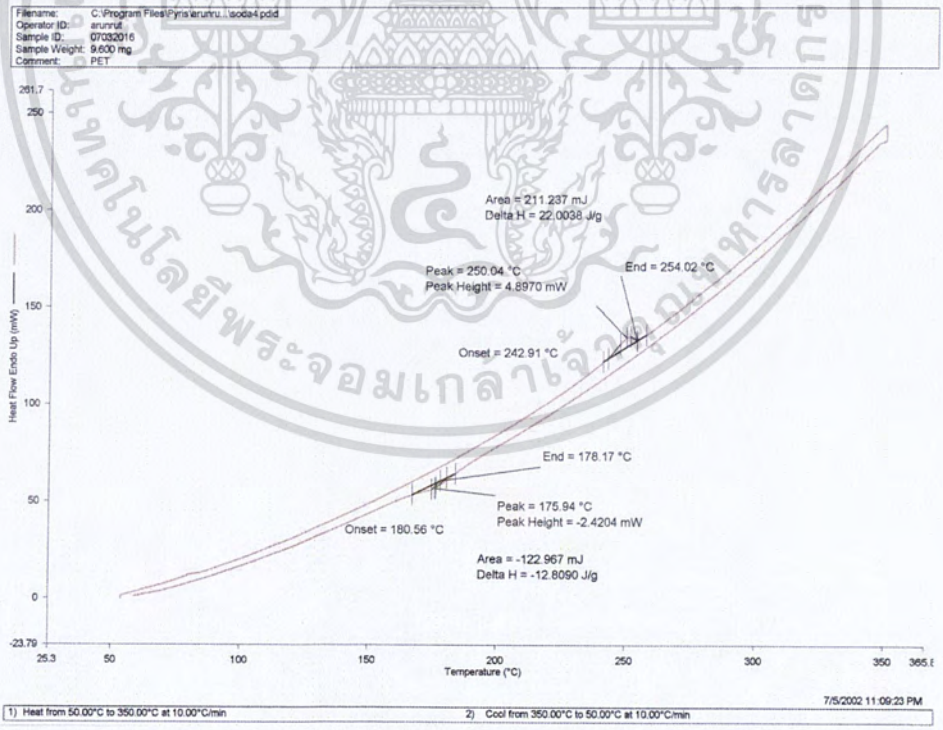


รูปที่ ค-3 ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก(Tm (Co)) ของน้ำดื่มขวดใสที่ได้รับแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

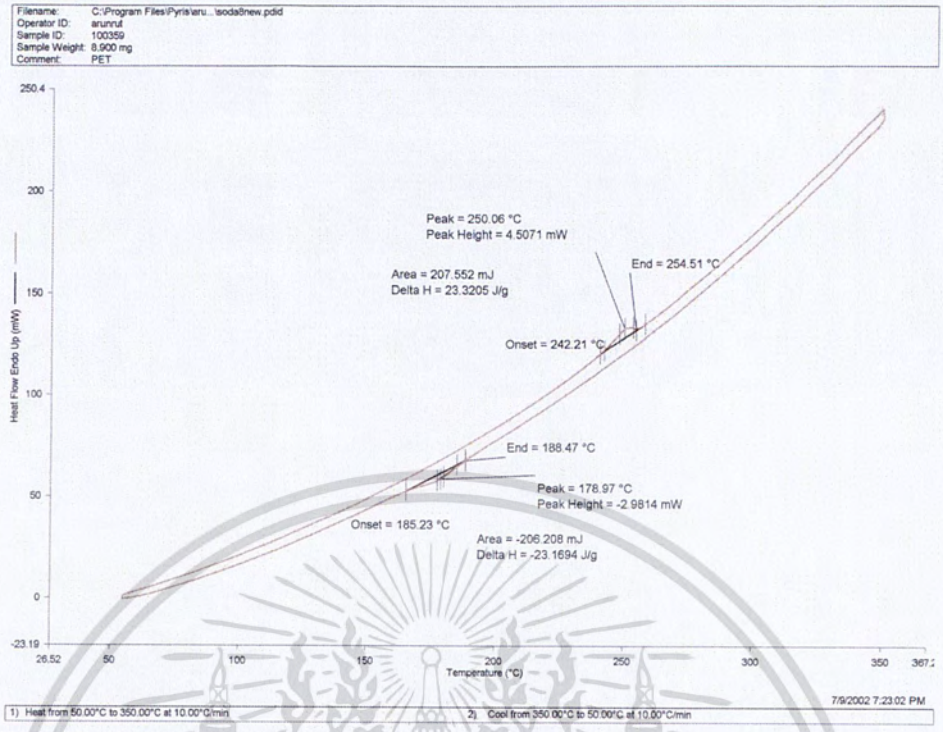


รูปที่ ค-4 ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก (T_m (°C)) ของน้ำอัดลมขวดสีเขียวที่ไม่ได้รับแสงแดด

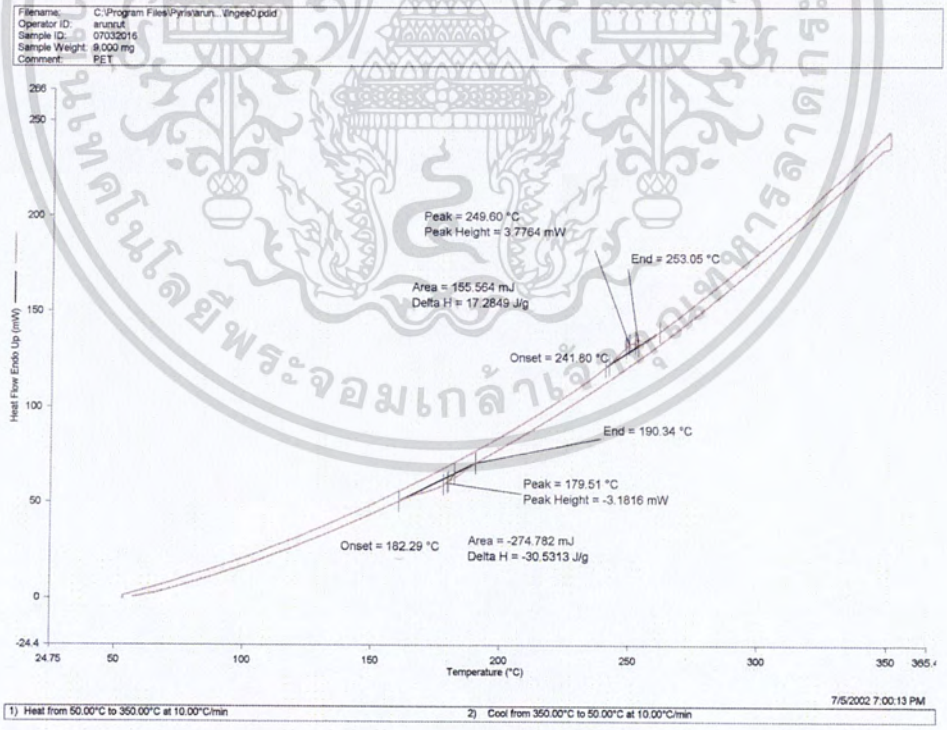


รูปที่ ค-5 ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก (T_m (°C)) ของน้ำอัดลมขวดสีเขียวที่ได้รับแสงแดดเป็นเวลา 4 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

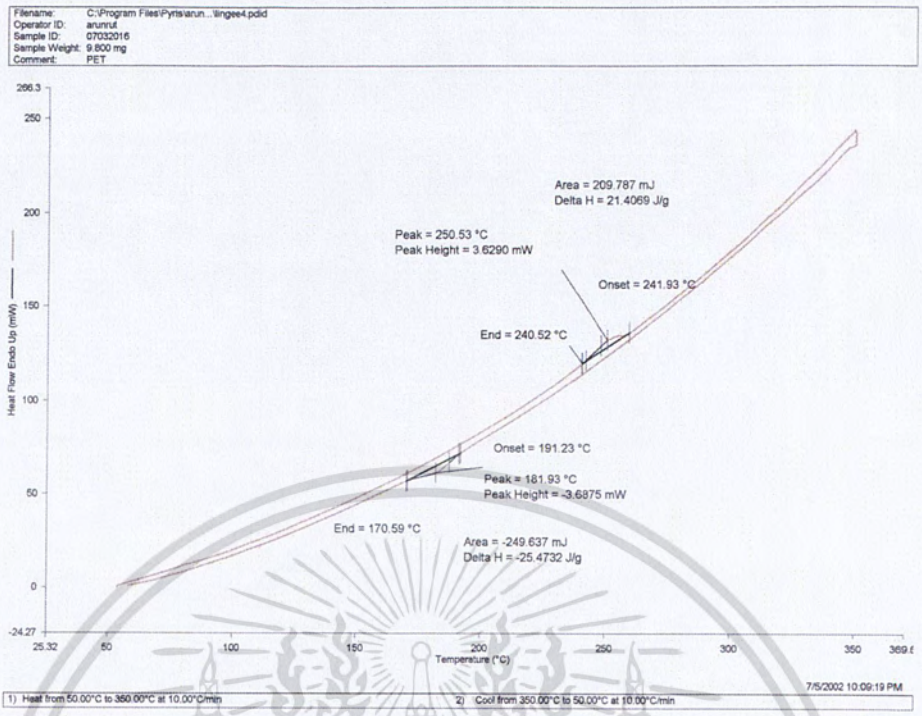


รูปที่ ค-6 ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก (T_m (°C)) ของน้ำอัดลมขวดสีเขียวที่ได้รับแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน

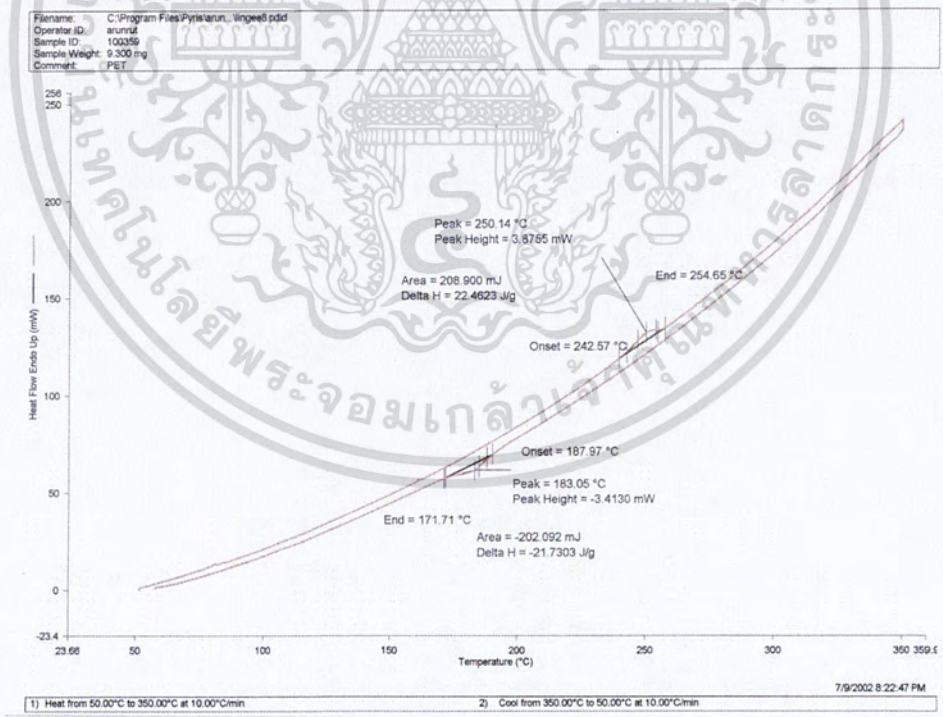


รูปที่ ค-7 ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก (T_m (°C)) ของน้ำอัดลมขวดสีชมพูที่ไม่ได้รับแสงแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-8 ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก (T_m (°C)) ของน้ำอัดลมขวดสีชมพูที่ที่ได้รับแสงแดดเป็นเวลา 4 เดือน



รูปที่ ค-9 ผลของอุณหภูมิของการหลอมละลายผลึก (T_m (°C)) ของน้ำอัดลมขวดสีชมพูที่ได้รับแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบค่า pHและค่า Conductivity ของน้ำในขวดพลาสติกที่นำไปวางไว้กลางแสงแดดในระยะเวลา 1, 3, 4, 6, 8 เดือน และขวดพลาสติกที่เก็บไว้ในที่มืด

ตารางที่ ง-1 ค่า pH ของน้ำในขวดพลาสติกที่นำไปวางไว้กลางแสงแดดในระยะเวลา 1, 3, 4, 6, 8 เดือน และขวดพลาสติกที่เก็บไว้ในที่มืด

ชนิดของเหลว	Time (เดือน)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
น้ำดื่ม	0	4.57	4.56	4.67	4.60	0.06
	1	5.26	5.22	5.27	5.25	0.03
	3	6.84	7.24	7.29	7.12	0.25
	4	6.89	6.55	6.65	6.70	0.17
	6	7.51	7.46	7.30	7.42	0.11
	8	6.33	6.24	6.19	6.25	0.07
น้ำอัดลมขวดสีเขียว	0	3.79	3.73	3.72	3.75	0.04
	1	3.88	3.80	3.82	3.83	0.04
	3	4.36	4.28	4.27	4.30	0.05
	4	4.44	4.40	4.39	4.41	0.03
	6	4.23	4.13	4.12	4.16	0.06
	8	4.16	4.00	4.00	4.05	0.09
น้ำอัดลมขวดสีชมพู	0	3.44	3.42	3.41	3.42	0.02
	1	3.33	3.32	3.35	3.33	0.02
	3	3.52	3.26	3.25	3.34	0.15
	4	3.33	3.32	3.34	3.33	0.01
	6	3.29	3.29	3.28	3.29	0.01
	8	3.21	3.20	3.19	3.20	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-2 ค่า Conductivity ของน้ำในขวดพลาสติกที่นำไปวางไว้กลางแสงแดดในระยะเวลา 1, 3, 4, 6, 8 เดือน และขวดพลาสติกที่เก็บไว้ในที่มืด

ชนิดของเหลว	Time (เดือน)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
น้ำดื่ม	0	46.5	48.7	41.4	45.53	3.74
	1	73.9	74.1	74.2	74.07	0.15
	3	30.3	30.8	30.2	30.43	0.32
	4	54.5	54.5	54.1	54.37	0.23
	6	25.3	26.3	23.7	25.10	1.31
	8	55.5	55.8	56.3	55.87	0.40
น้ำอัดลมขวดสีเขียว	0	275	275	280	276.67	2.89
	1	269	267	246	260.67	12.74
	3	257	255	257	256.33	1.15
	4	255	257	257	256.33	1.15
	6	254	255	252	253.67	1.53
	8	260	259	260	259.67	0.58
น้ำอัดลมขวดสีชมพู	0	1475	1473	1471	1473.00	2.00
	1	1457	1477	1432	1455.33	22.55
	3	1506	1507	1506	1506.33	0.58
	4	1497	1496	1493	1495.33	2.08
	6	1521	1523	1525	1523.00	2.00
	8	1463	1460	1463	1462.00	1.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

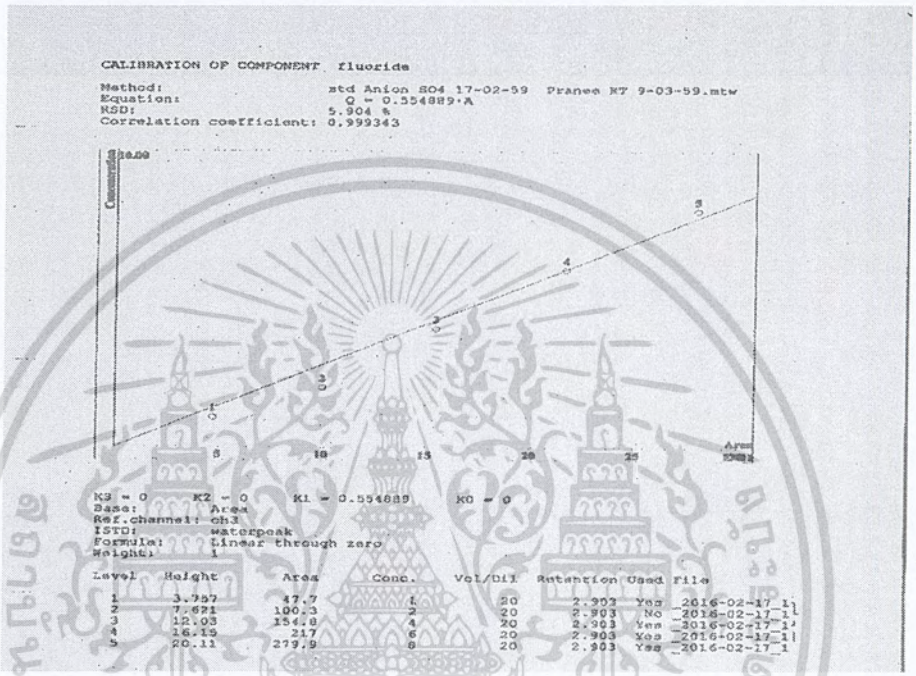
ตารางที่ ง-3 ค่า TDS ของน้ำในขวดพลาสติกที่นำไปวางไว้กลางแสงแดดในระยะเวลา 1, 3, 4, 6, 8 เดือน และขวดพลาสติกที่เก็บไว้ในที่มืด

ชนิดของเหลว	Time (เดือน)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
น้ำดื่ม	0	26	27	26.1	26.37	0.55
	1	31	38.6	34.9	34.83	3.80
	3	11.3	12.7	11.5	11.83	0.76
	4	26.2	23.8	22	24.00	2.11
	6	13.9	12.5	13.4	13.27	0.71
	8	25.6	27.7	27.9	27.07	1.27
น้ำอัดลมขวดสีเขียว	0	138	144	147	143.00	4.58
	1	137	145	145	142.33	4.62
	3	123	107	123	117.67	9.24
	4	92	105	110	102.33	9.29
	6	68	65	44	59.00	13.08
	8	77	62	105	81.33	21.83
น้ำอัดลมขวดสีชมพู	0	358	389	396	381.00	20.22
	1	381	393	369	381.00	12.00
	3	372	377	369	372.67	4.04
	4	374	375	333	360.67	23.97
	6	369	350	370	363.00	11.27
	8	348	324	359	343.67	17.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของประจุลบได้แก่ F^- Cl^- NO_3^- และSO_4^{2-} ในน้ำดื่มขวดใส น้ำอัดลมขวดสีเขียวและน้ำอัดลมขวดสีชมพู ที่นำไปวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา เดือนและขวดที่ไม่ได้ 8 4 นำไปวางไว้กลางแสงแดด โดยใช้เทคนิคIon Chromatography ในการวิเคราะห์



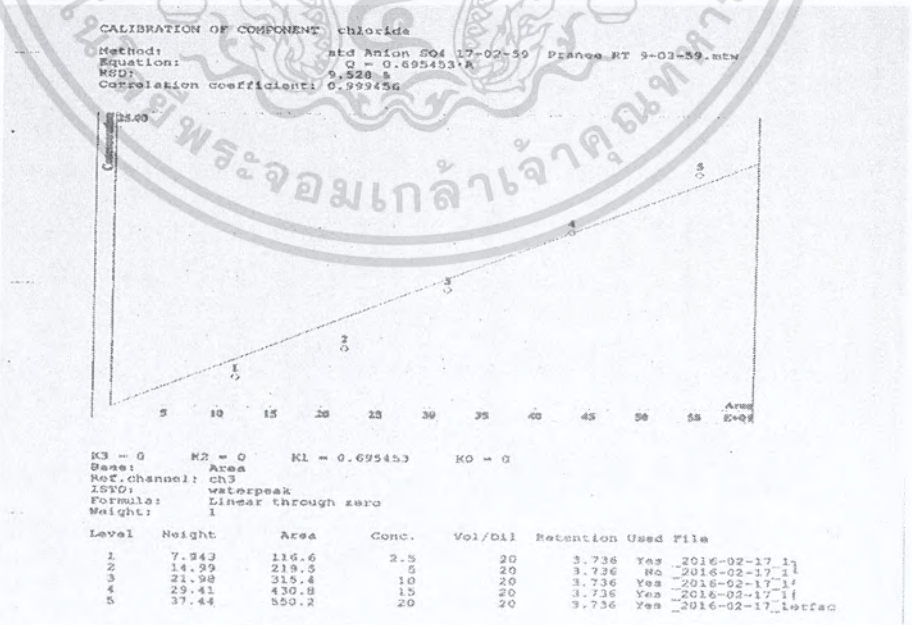
CALIBRATION OF COMPONENT fluoride

Method: std Anion SO4 17-02-59 Pranee RT 9-03-59.mtw
Equation: Q = 0.554889*A
RSD: 5.904 %
Correlation coefficient: 0.999343

K3 = 0 K2 = 0 K1 = 0.554889 K0 = 0
Base: Area
Ref.channel: ch3
ISTD: waterpeak
Formula: Linear through zero
Weight: 1

Level	Height	Area	Conc.	Vol/Dil	Retention	Used	File
1	3.787	47.7	1	20	2.903	Yes	_2016-02-17_1
2	7.621	100.3	2	20	2.903	No	_2016-02-17_1
3	12.03	154.8	4	20	2.903	Yes	_2016-02-17_1
4	16.15	217	6	20	2.903	Yes	_2016-02-17_1
5	20.11	279.9	8	20	2.903	Yes	_2016-02-17_1

รูปที่ จ-1 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ด้วย Ion Chromatography ของสาร Fluoride



CALIBRATION OF COMPONENT chloride

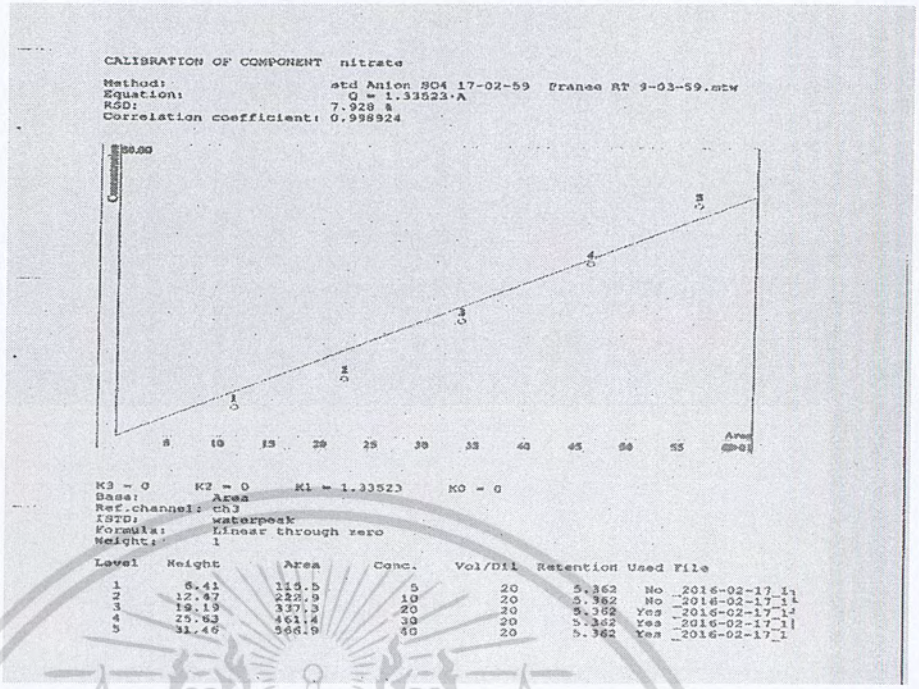
Method: std Anion SO4 17-02-59 Pranee RT 9-03-59.mtw
Equation: Q = 0.695453*A
RSD: 9.526 %
Correlation coefficient: 0.999456

K3 = 0 K2 = 0 K1 = 0.695453 K0 = 0
Base: Area
Ref.channel: ch3
ISTD: waterpeak
Formula: Linear through zero
Weight: 1

Level	Height	Area	Conc.	Vol/Dil	Retention	Used	File
1	7.343	116.6	2.5	20	3.736	Yes	_2016-02-17_1
2	14.99	219.5	5	20	3.736	No	_2016-02-17_1
3	21.98	315.4	10	20	3.736	Yes	_2016-02-17_1
4	29.41	430.8	15	20	3.736	Yes	_2016-02-17_1
5	37.44	550.2	20	20	3.736	Yes	_2016-02-17_1stfac

รูปที่ จ-2 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ด้วย Ion Chromatography ของสาร Chloride

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



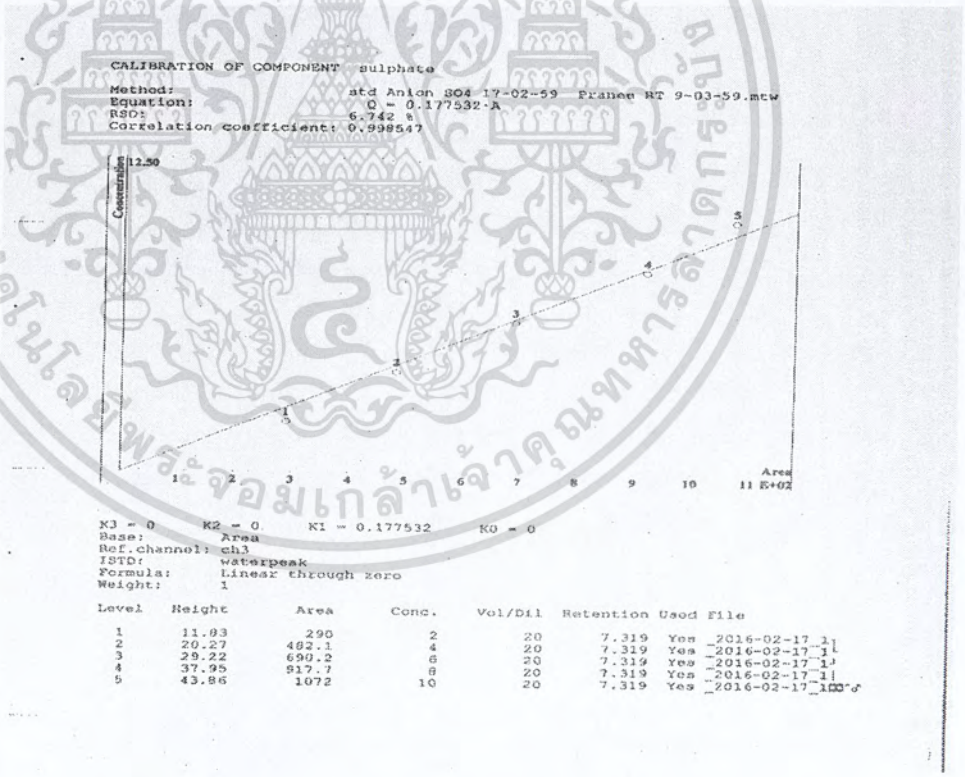
CALIBRATION OF COMPONENT nitrate

Method: std Anion SO4 17-02-59 Pranee RT 9-03-59.mtw
Equation: Q = 1.33523·A
RSD: 7.928 %
Correlation coefficient: 0.998924

K3 = 0 K2 = 0 K1 = 1.33523 K0 = 0
Base: Area
Ref.channel: ch3
ISTD: waterpeak
Formula: Linear through zero
Weight: 1

Level	Height	Area	Conc.	Vol/Dil	Retention	Used	File
1	6.41	115.5	5	20	5.362	No	_2016-02-17_1
2	12.47	222.9	10	20	5.362	No	_2016-02-17_1
3	19.19	337.3	20	20	5.362	Yes	_2016-02-17_1
4	25.83	461.4	30	20	5.362	Yes	_2016-02-17_1
5	31.46	566.9	40	20	5.362	Yes	_2016-02-17_1

รูปที่ จ-3กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ด้วย Ion Chromatography ของสาร nitrite



CALIBRATION OF COMPONENT sulphate

Method: std Anion SO4 17-02-59 Pranee RT 9-03-59.mtw
Equation: Q = 0.177532·A
RSD: 6.742 %
Correlation coefficient: 0.998547

K3 = 0 K2 = 0 K1 = 0.177532 K0 = 0
Base: Area
Ref.channel: ch3
ISTD: waterpeak
Formula: Linear through zero
Weight: 1

Level	Height	Area	Conc.	Vol/Dil	Retention	Used	File
1	11.03	290	2	20	7.319	Yes	_2016-02-17_1
2	20.27	482.1	4	20	7.319	Yes	_2016-02-17_1
3	29.22	690.2	6	20	7.319	Yes	_2016-02-17_1
4	37.95	917.7	8	20	7.319	Yes	_2016-02-17_1
5	43.86	1072	10	20	7.319	Yes	_2016-02-17_1

รูปที่ จ-4 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ด้วย Ion Chromatography ของสาร Sulfate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 3/9/2016 7:31:30 PM
Printed by: Chemistry

Ident: water0 09-03-59
Analysis from: 3/9/2016 12:22:02 PM
File: _2016-03-09_ Last save: 3/9/2016 12:34:03 PM

Method: std Anion SO4 17-02-59 P Last save: 3/9/2016 11
Run operator: Chemistry
Analysis number: 6511

SAMPLE: Au
: 17-02-59
Vial number: 1
Volume: 20.0 µL
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP A SUPP 5 - 150 (6.1006.520)
Size: 4.0 x 150 mm
Number:
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3.2 mM Na2CO3
1.0 mM NaHCO3

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 35.0°C
Pressure: 10.4 MPa

Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	2.45	-3.43	-66.664	0.000	
2	2.94	1.13	15.437	0.421	fluoride
3	3.60	12.78	194.739	6.772	chloride
4	5.19	0.54	10.143	0.677	nitrate
5	7.18	2.76	68.986	0.612	sulphate
5	12.00	20.63	355.969	8.482	

This report has been created by IC Net
METROHM LTD

รูปที่ จ-5 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดใสที่ไม่ได้วางไว้กลางแสงแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 3/9/2016 7:30:49 PM
Printed by: Chemistry

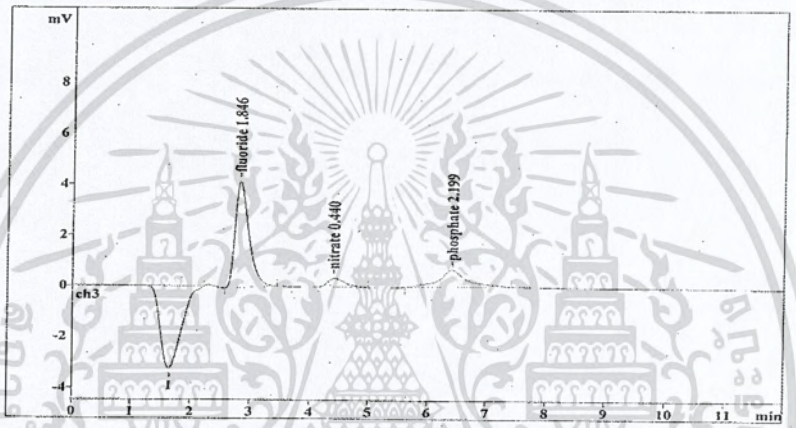
Ident: water4 09-03-59
Analysis from: 3/9/2016 12:53:27 PM
File: _2016-03-09_ Last save: 3/9/2016 1:05:28 PM
Modified!
Method: std Anion SO4 17-02-59 P Last save: 3/9/2016 11
Run operator: Chemistry
Analysis number: 6513

SAMPLE: Au
: 17-02-59
Vial number: 1
Volume: 20.0 µL
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP A SUPP 5 - 150 (6.1006.520)
Size: 4.0 x 150 mm
Number:
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3.2 mM Na2CO3
1.0 mM NaHCO3

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 35.0°C
Pressure: 10.6 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	1.64	-3.26	-73.917	0.000	
2	2.81	4.17	67.710	1.846	fluoride
3	4.41	0.34	6.598	0.440	nitrate
4	6.40	0.68	22.375	2.199	phosphate
4	12.00	8.45	170.600	4.485	

This report has been created by IC Net
METROHM LTD

รูปที่ จ-6 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดใสที่วางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 4 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 3/9/2016 7:30:23 PM
Printed by: Chemistry

Ident: water8 09-03-59
Analysis from: 3/9/2016 1:28:15 PM
File: _2016-03-09_ Last save: 3/9/2016 1:40:15 PM

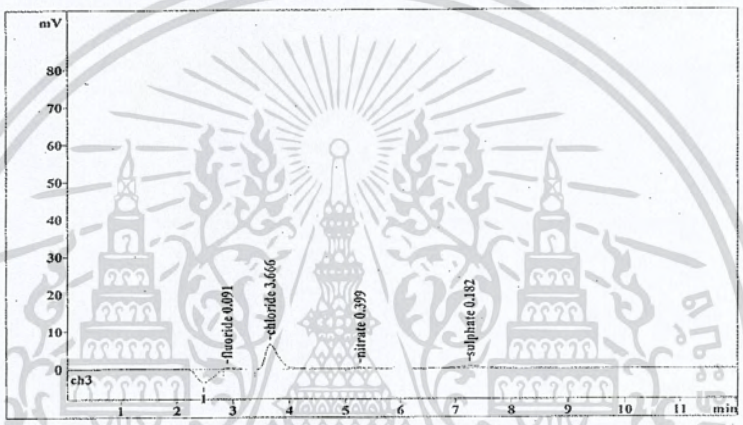
Method: std Anion SO4 17-02-59 P Last save: 3/9/2016 1:
Run operator: Chemistry
Analysis number: 6515

SAMPLE: Au
: 17-02-59
Vial number: 1
Volume: 20.0 µL
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP A SUPP 5 - 150 (6.1006.520)
Size: 4.0 x 150 mm
Number:
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3.2 mM Na2CO3
1.0 mM NaHCO3

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 35.0°C
Pressure: 10.4 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	2.47	-3.37	-68.300	0.000	
2	2.90	0.28	3.288	0.091	fluoride
3	3.66	6.56	105.431	3.666	chloride
4	5.26	0.31	5.978	0.399	nitrate
5	7.25	0.65	20.468	0.182	sulphate
5	12.00	11.17	203.465	4.338	

This report has been created by IC Net
METROHM LTD

รูปที่ จ-7 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดใสที่วางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 3/9/2016 7:28:31 PM
Printed by: Chemistry

Ident: soda 0 new09-03-59/2
Analysis from: 3/9/2016 4:21:19 PM
File: _2016-03-09_ Last save: 3/9/2016 4:33:19 PM

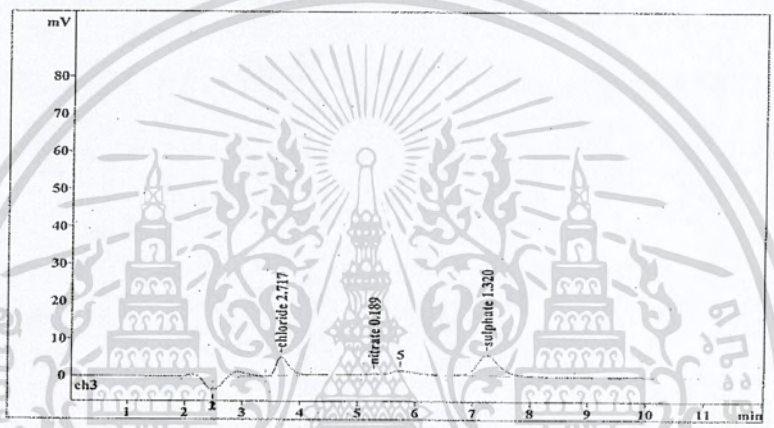
Method: std Anion SO4 17-02-59 P Last save: 3/9/2016 1:
Run operator: Chemistry
Analysis number: 6525

SAMPLE: Au
: 17-02-59
Vial number: 1
Volume: 20.0 µL
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP A SUPP 5 - 150 (6.1006.520)
Size: 4.0 x 150 mm
Number:
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3.2 mM Na2CO3
1.0 mM NaHCO3

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 35.0°C
Pressure: 10.6 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	2.48	-3.43	-24.835	0.000	
2	2.49	-3.43	-13.358	0.000	
3	3.67	4.99	78.133	2.717	chloride
4	5.28	0.21	2.836	0.189	nitrate
5	5.73	1.06	30.707	0.000	
6	7.24	5.50	148.676	1.320	sulphate
6	12.00	18.63	292.546	4.226	

This report has been created by IC Net
METROHM LTD

รูปที่ จ-8 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำอัดลมขวดสีเขียวที่ไม่ได้วางไว้กลางแสงแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 3/9/2016 7:28:14 PM
Printed by: Chemistry

Ident: soda 4 new09-03-59/2
Analysis from: 3/9/2016 3:48:16 PM
File: _2016-03-09_ Last save: 3/9/2016 4:00:16 PM

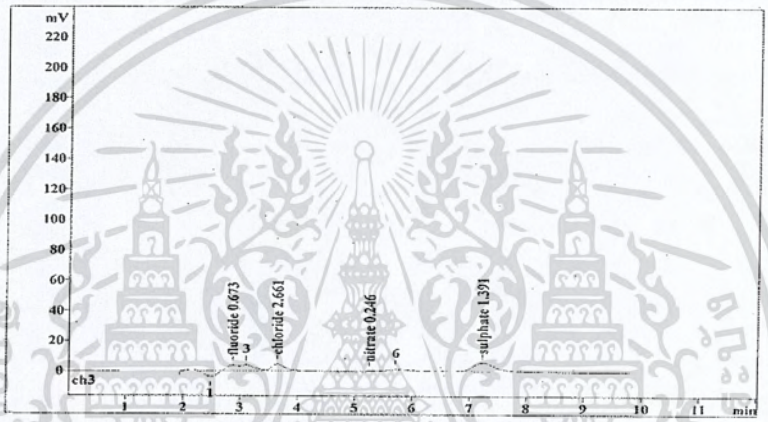
Method: std Anion SO4 17-02-59 P Last save: 3/9/2016 1:
Run operator: Chemistry
Analysis number: 6523

SAMPLE: Au
: 17-02-59
Vial number: 1
Volume: 20.0 µL
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP A SUPP 5 - 150 (6.1006.520)
Size: 4.0 x 150 mm
Number:
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3.2 mM Na2CO3
1.0 mM NaHCO3

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 35.0°C
Pressure: 10.4 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	2.47	-3.51	-20.218	0.000	
2	2.87	3.81	24.256	0.673	fluoride
3	3.10	3.88	64.366	0.000	
4	3.65	4.60	76.524	2.661	chloride
5	5.26	0.28	3.687	0.246	nitrate
6	5.72	1.23	35.665	0.000	
7	7.23	5.66	156.699	1.391	sulphate
7	12.00	22.98	381.416	4.971	

This report has been created by IC Net

รูปที่ จ-9 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำอัดลมขวดสีเขียวที่วางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 4 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 3/9/2016 7:27:44 PM
Printed by: Chemistry

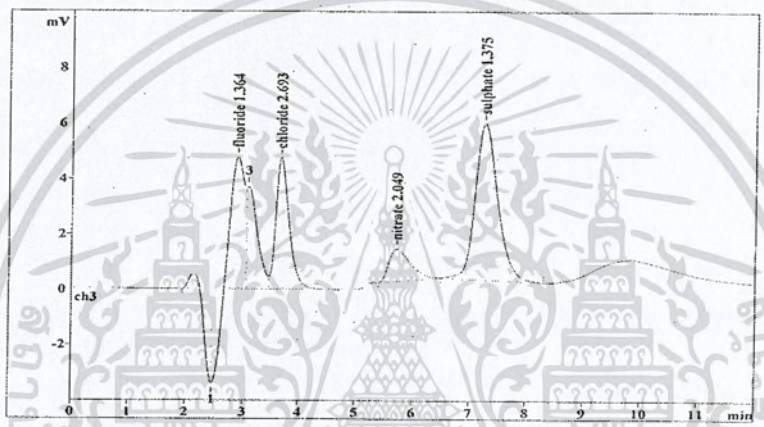
Ident: soda 8 09-03-59/2
Analysis from: 3/9/2016 4:49:14 PM
File: _2016-03-09_ Last save: 3/9/2016 5:01:14 PM
Modified!
Method: std Anion SO4 17-02-59 P Last save: 3/9/2016 1:
Run operator: Chemistry
Analysis number: 6527

SAMPLE: Au
: 17-02-59
Vial number: 1
Volume: 20.0 µL
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP A SUPP 5 - 150 (6.1006.520)
Size: 4.0 x 150 mm
Number:
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3.2 mM Na2CO3
1.0 mM NaHCO3

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 35.0°C
Pressure: 10.5 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	2.46	-3.38	-20.901	0.000	
2	2.89	4.76	49.151	1.364	fluoride
3	3.07	3.69	51.250	0.000	
4	3.66	4.73	77.436	2.693	chloride
5	5.71	1.16	30.684	2.049	nitrate
6	7.25	5.65	154.873	1.375	sulphate
6	12.00	23.37	384.295	7.480	

This report has been created by IC Net
METROHM LTD

รูปที่ จ-10 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำอัดลมขวดสีเขียวที่วางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 3/9/2016 7:27:19 PM
Printed by: Chemistry

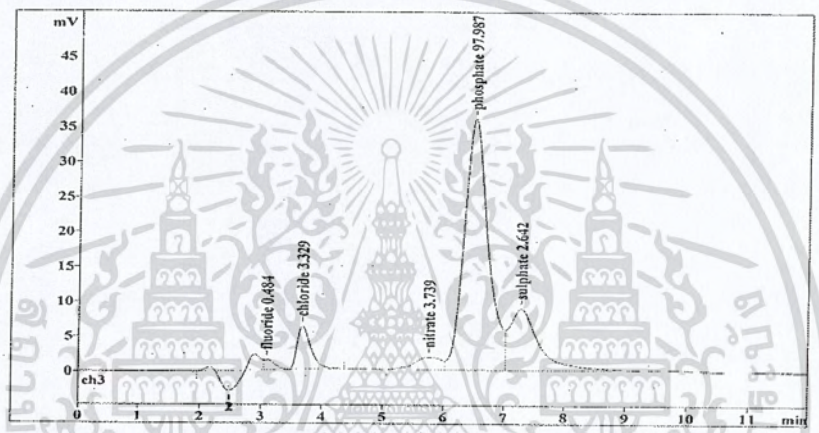
Ident: lingee0 09-03-59
Analysis from: 3/9/2016 5:22:55 PM
File: _2016-03-09_ Last save: 3/9/2016 5:34:56 PM
Modified!
Method: std Anion SO4 17-02-59 P Last save: 3/9/2016 1:
Run operator: Chemistry
Analysis number: 6529

SAMPLE: Au
: 17-02-59
Vial number: 1
Volume: 20.0 µL
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP A SUPP 5 - 150 (6.1006.520)
Size: 4.0 x 150 mm
Number:
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3.2 mM Na2CO3
1.0 mM NaHCO3

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 35.0°C
Pressure: 10.5 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	2.48	-2.75	-16.232	0.000	
2	2.48	-2.75	5.333	0.000	
3	3.09	1.45	17.433	0.484	fluoride
4	3.68	6.19	95.731	3.329	chloride
5	5.76	1.80	56.009	3.739	nitrate
6	6.48	35.87	997.013	97.987	phosphate
7	7.28	8.80	297.653	2.642	sulphate
7	12.00	59.60	1485.404	108.181	

This report has been created by IC Net

รูปที่ จ-11 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำอัดลมขวดสีชมพูที่ไม่ได้วางไว้กลางแสงแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 3/9/2016 7:25:36 PM
Printed by: Chemistry

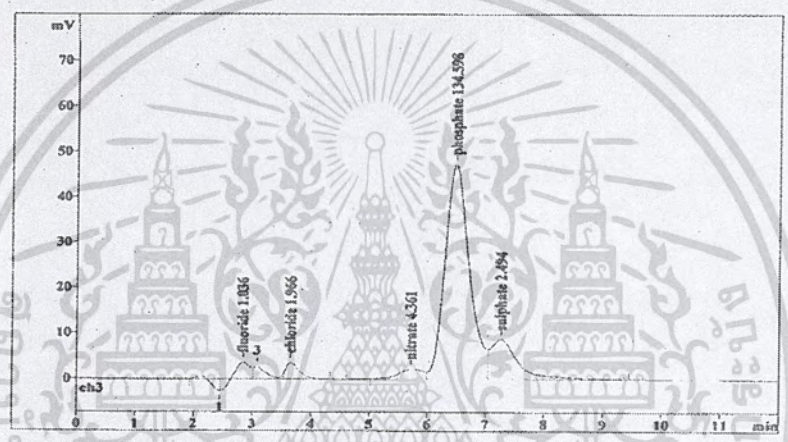
Ident: lingee4 new 09-03-59
Analysis from: 3/9/2016 6:21:32 PM
File: _2016-03-09_ Last save: 3/9/2016 6:33:32 PM
Modified!
Method: std Anion SO4 17-02-59 P Last save: 3/9/2016 1:
Run operator: Chemistry
Analysis number: 6533

SAMPLE: Au
: 17-02-59
Vial number: 1
Volume: 20.0 µL
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP A SUPP 5 - 150 (6.1006.520)
Size: 4.0 x 150 mm
Number:
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3.2 mM Na2CO3
1.0 mM NaHCO3

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 35.0°C
Pressure: 10.5 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	2.44	-2.54	-13.839	0.000	
2	2.84	3.50	37.338	1.036	fluoride
3	3.08	2.52	38.105	0.000	
4	3.66	3.42	56.551	1.966	chloride
5	5.72	2.13	65.328	4.361	nitrate
6	6.47	47.25	1369.526	134.598	phosphate
7	7.25	8.59	280.976	2.494	sulphate
7	12.00	69.95	1861.663	144.456	

This report has been created by IC Net

รูปที่ จ-12 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำอัดลมขวดสีชมพูที่วางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 4 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report date: 3/9/2016 7:24:38 PM
Printed by: Chemistry

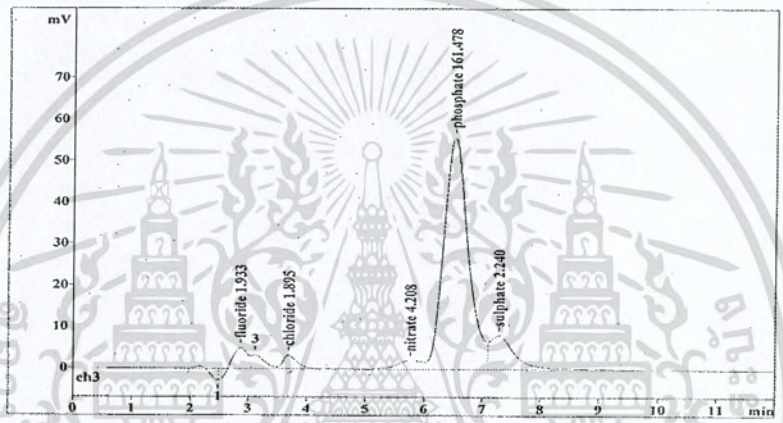
Ident: lingee 8 new 09-03-59
Analysis from: 3/9/2016 7:11:15 PM
File: _2016-03-09_ Last save: 3/9/2016 7:23:15 PM
Modified!
Method: std Anion SO4 17-02-59 P Last save: 3/9/2016 1:
Run operator: Chemistry
Analysis number: 6536

SAMPLE: Au
: 17-02-59
Vial number: 1
Volume: 20.0 µL
Dilution: 1.00
Amount: 1.0000

COLUMN: METROSEP A SUPP 5 - 150 (6.1006.520)
Size: 4.0 x 150 mm
Number:
Part.size: 5.0 µm

ELUENT: 3.2 mM Na2CO3
1.0 mM NaHCO3

Flow: 0.70 mL/min
Temperature: 35.0°C
Pressure: 10.5 MPa



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	2.48	-2.51	-13.468	0.000	
2	2.86	4.98	69.678	1.933	fluoride
3	3.12	3.33	51.134	0.000	
4	3.70	3.28	54.505	1.895	chloride
5	5.77	2.08	63.037	4.208	nitrate
6	6.51	55.91	1643.020	161.478	phosphate
7	7.28	8.19	252.374	2.240	sulphate
7	12.00	80.28	2147.216	171.755	

This report has been created by IC Net

รูปที่ จ-13 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำอัดลมขวดสีชมพูวางไว้กลางแสงแดดเป็นเวลา 8 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

การเตรียมสารละลาย 2, 4-Dinitrophenylhydrazine

อุปกรณ์และสารเคมี

1. 2,4-DNP 3 กรัม
2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15 ml
3. เอทานอล 65 ml
4. น้ำกลั่น 20 ml
5. กระบอกตรวง ขนาด 100 ml
   ขนาด 50 ml
6. บิกเกอร์ ขนาด 250 ml
   ขนาด 50 ml
7. กรวยกรอง
8. ขวดชั่งสาร,ช้อนตักสาร
9. แท่งแก้วคนสาร

วิธีการเตรียม (ทำในตู้ดูดควัน)

1. นำกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15 ml ผสมกับ 2,4-DNP 3 กรัม ในบิกเกอร์ขนาด 50 ml คนให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน
2. เตรียมน้ำกลั่นปริมาตร 20 ml ใส่ในบิกเกอร์ขนาด 250 ml นำสารละลายจากข้อ 1. ผสมลงไปช้า ๆคนให้เข้ากัน
3. นำไปปรับปริมาตรด้วยเอทานอล 65 ml

การเตรียมสารละลายทอลเล่นรีเอเจนต์ (Tollen's reagent test)

1. ใส่สารละลาย 5% ซิลเวอร์ไนเตรท 2 ml ในหลอดทดลองที่สะอาด
2. เติมสารละลาย 5% โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 หยด
3. เติมสารละลาย 6N แอมโมเนียไฮดรอกไซด์ลงไปช้าๆ ทีละหยด เขย่าจนตะกอนของ Ag_2O ละลายหมด
4. เติมกรดฟอร์มิก 10 หยด นำไปต้มในอ่างน้ำร้อนประมาณ 1 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ

ตารางที่ ช-1 คุณภาพหรือมาตรฐานน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่256) พ.ศ. 2545 เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่4)

ข้อมูล	หน่วยวัด	เกณฑ์ที่กำหนด
ความเป็นกรด-ด่าง	-	6.5-8.5
สี	แพลตตินัมโคบอลท์	ไม่เกิน 20
ความขุ่น	เอ็นทียู	ไม่เกิน 5.0
ปริมาณสารทั้งหมด	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 500
ความกระด้างทั้งหมด	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 100
เหล็ก	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.3
แมงกานีส	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.05
ทองแดง	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 1.0
สังกะสี	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 5.0
ตะกั่ว	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.05
โครเมียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.05
แคดเมียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.005
สารหนู	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.05
ปรอท	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.002
ซัลเฟต	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 250
คลอไรด์	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 250
ไนเตรท	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 4.0 (asN)
ฟลูออไรด์	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.7
คลอรีนอิสระคงเหลือ	มิลลิกรัมต่อลิตร	-
แบคทีเรียประเภทโคลิฟอร์ม	เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิกรัม	น้อยกว่า 2.2
อี.โคไลหรือเทอร์โมโธเลอแรนท์โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิกรัม	ไม่พบ
แบเรียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 1
ฟีนอล	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.001
ซิลิเนียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.01
เงิน	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.05
อลูมิเนียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.2
เอ บี เอส (Alkylbenzene Sulfonate)	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.2
ไซยาไนด์	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.1
นิเกิล .	มิลลิกรัมต่อลิตร	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้