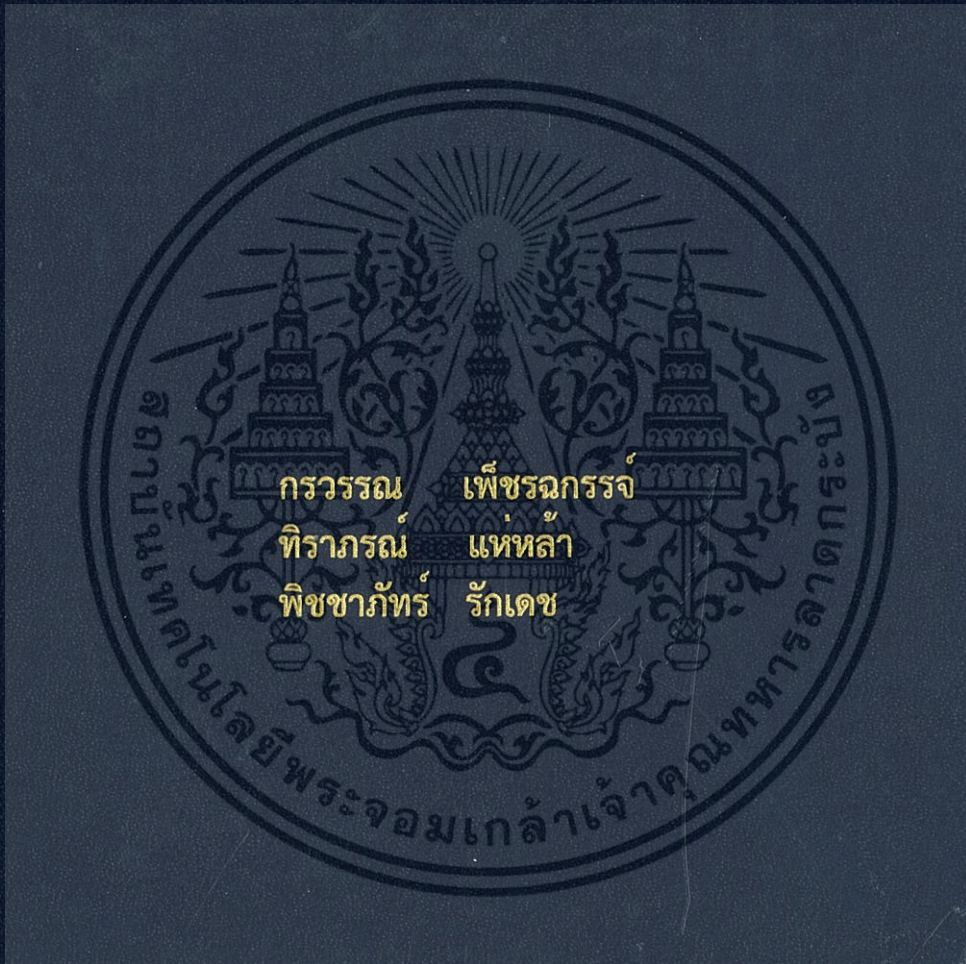


อิทธิพลของแสงแดดที่มีต่อสมบัติของน้ำดื่มที่บรรจุในขวดแก้ว
และขวดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต

INFLUENCE OF SUNLIGHT ON PROPERTIES OF DRINKING WATER IN
GLASS AND POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE) BOTTLES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

อิทธิพลของแสงแดดที่มีต่อสมบัติของน้ำดื่มที่บรรจุในขวดแก้ว
และขวดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต



T149480



สงวน.....
เลขทะเบียน 149480
วันเดือนปี ๕ 8 คี.ค. 2561

b. 12884832
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INFLUENCE OF SUNLIGHT ON PROPERTIES OF DRINKING WATER IN
GLASS AND POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE) BOTTLES



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENT
CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ อิทธิพลของแสงแดดที่มีต่อสมบัติของน้ำดื่มที่บรรจุในขวดแก้ว และขวด
พลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต
Influence of sunlight on properties of water in glass and
Poly(ethylene terephthalate) bottles

ชื่อนักศึกษา นางสาว กรวรรณ เพ็ชรฉกรรจ์ รหัสนักศึกษา 56050667
นางสาว ทิราภรณ์ แห่ห้ำ รหัสนักศึกษา 56050699
นางสาว พิชาภัทร์ รักเดช รหัสนักศึกษา 56050730


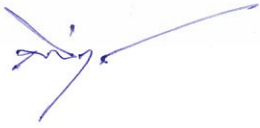

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี
สิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ประธานกรรมการ	
ดร.กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการ	
รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	อิทธิพลของแสงแดดที่มีต่อสมบัติของน้ำดื่มที่บรรจุในขวดแก้ว และขวดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต		
ชื่อนักศึกษา	นางสาว กรวรรณ เพ็ชรฉกรรจ์	รหัสนักศึกษา	56050667
	นางสาว ทิราภรณ์ แห่เหล่า	รหัสนักศึกษา	56050699
	นางสาว พิชาภัทร์ รักเดช	รหัสนักศึกษา	56050730
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.มาลินี ชัยคุภกิจสินธ์		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาอิทธิพลของแสงแดดที่มีต่อสมบัติของน้ำดื่มบรรจุขวดแก้ว และบรรจุขวดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (polyethylene terephthalate : PET) โดยได้ทำการศึกษาขวดน้ำ 2 ชนิด ได้แก่ ขวดแก้ว ขวดน้ำดื่มพลาสติก PET ขวดใส นำขวดทั้ง 2 ชนิดนี้ ชนิดละ 16 ขวดไปวางบนตาดฟ้าตึกวิทยาศาสตร์เก่า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อให้ขวดได้สัมผัสกับแสงแดดโดยตรง และอีกชนิดละ 16 ขวดนำไปเก็บไว้ในที่ที่ไม่โดนแสงแดด โดยจะวางขวดไว้เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2559 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2559

ผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์พื้นผิวของขวดพลาสติกโดยใช้เทคนิค FT-IR พบว่าหมู่คาร์บอนิลในโครงสร้างของขวดพลาสติก PET ที่นำไปวางไว้กลางแจ้ง และในที่มืด มีการเปลี่ยนแปลงทุกขวด นอกจากนี้ในส่วนของน้ำดื่มได้มีการทดสอบหมู่คาร์บอนิล โดยใช้ 2,4-DNP, Tollen's reagent และสารละลาย $KMnO_4$ พบว่าไม่มีหมู่ฟังก์ชันแอลดีไฮด์ ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ส่วนปริมาณไอออนประจุลบและประจุบวกในน้ำดื่มมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้พบทั้งในขวดแก้วและขวดพลาสติก แต่พบชัดเจนภายใต้สถานะแสงแดด

คำสำคัญ : แก้ว, พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต, แสงแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Influence of sunlight on properties of water in glass and Poly(ethylene terephthalate) bottles		
Students	Miss Gornrawan Phetchagun	Student ID 56050667	
	Miss Thiraporn Hae-la	Student ID 56050699	
	Miss Pitchapat Rakdech	Student ID 56050730	
Degree	Bachelor of Science		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
ACADEMIC YEAR	2016		
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Malinee Chaisupakitsin		

Abstract

The objective of this special project is study on influence of sunlight on properties of drinking water in glass and plastic [poly(ethylene terephthalate) ; PET] bottle. Sixteen of soda lime glass bottles and plastic poly(ethylene terephthalate) bottles were laid on the loft of the old Faculty of Science building at KMITL. Another sixteen bottles were kept in locker. The storage time is 12 weeks from June 2016 till November 2016

The result from FT-IR showed that chemical structure of surface outside plastic bottles changed both in plastic PET bottles under exposed to sunlight and kept in the dark. In addition, carbonyl groups in drinking water were determined by 2,4-DNP, Tollen's reagent and KMnO_4 solution. It was showed that no aldehyde compounds was found. Under these experimental conditions, pH-value, conductivity and total dissolved solid (TDS) of water slightly changes both in glass and plastic PET bottles. The amount of cation and anion in drinking water were slightly changes, too. Change in these parameters were found both in soda lime glass bottles and plastic PET bottles but more clearly under sunlight condition.

Keywords : Glass, Poly(ethylene terephthalate), Sunlight

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากความร่วมมือของทุกๆท่าน และขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่กรุณาให้คำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ คือ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย, ดร.กลั่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ที่ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ธุรการ สาขาวิชาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้การรับการศึกษา ตลอดจนถึงเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมถึงเพื่อนๆ และบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ผู้จัดทำโครงการพิเศษขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

กรวรรณ เพ็ชรฉกรรจ์
ทิวาภรณ์ แห่หล้า
พิชชาภัทร์ รักเดช

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 พอลิเมอร์.....	3
2.2 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต.....	5
2.3 แก้ว.....	9
2.3.1 ความหมายของแก้ว.....	9
2.3.2 สมบัติทางเคมีของวัสดุแก้ว.....	9
2.4 น้ำดื่ม.....	10
2.4.1 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำ.....	10
2.4.2 สมบัติทางกายภาพของน้ำ.....	11
2.4.3 สมบัติทางเคมีของน้ำ.....	11
2.4.4 มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่ม.....	12
2.5 แสงอัลตราไวโอเล็ต.....	14
2.6 เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณิใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6.1 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer.....	17
2.6.2 เครื่อง Ion Chromatography.....	22
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	24
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	24
3.2 วิธีการทดลอง.....	24
3.3 การวิเคราะห์.....	26
3.3.1 การวิเคราะห์พลาสติก.....	27
3.3.2 การวิเคราะห์ของเหลว.....	27
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	34
4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน.....	34
4.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารที่ละลายออกมาโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต.....	35
4.3 การวิเคราะห์ค่า pH ของน้ำ.....	36
4.4 การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า.....	38
4.5 การวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง Total Dissolved Solid.....	40
4.6 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Ion Chromatrography.....	42
4.7 กรวิเคราะห์ปริมาณตะกอน 2, 4 -Dinitrophenylhydrazine.....	44
4.8 การทดสอบกับ Tollen's reagent.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	49
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก.....	52
ภาคผนวก ก.....	53
ภาคผนวก ข.....	80
ภาคผนวก ค.....	83
ภาคผนวก ง.....	85
ภาคผนวก จ.....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทั่วไปของ PET.....	7
2.2 มาตรฐานน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทตามกรมควบคุมมลพิษ.....	13
4.1 หมู่ฟังก์ชันที่พบในขวดพลาสติก.....	32
4.2 ค่าโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ทำปฏิกิริยา.....	34
4.3 ค่า pH ของน้ำในขวดแก้วที่นำไปวางไว้ในที่มืดและกลางแจ้ง.....	35
4.4 ค่า pH ของน้ำในขวดพลาสติก PET ที่นำไปวางไว้ในที่มืดและกลางแจ้ง.....	36
4.5 ความเข้มข้นของไอออนประจุบวกและไอออนประจุลบที่ตรวจพบในน้ำบรรจุขวดแก้ว....	42
4.6 ความเข้มข้นของไอออนประจุบวกที่และไอออนลบที่ตรวจพบในน้ำบรรจุขวดพลาสติก PET...	43
4.7 ปริมาณตะกอน 2,4-Dinitrophenylhydrazine ของน้ำในขวดแก้วที่นำไปวางไว้ในที่มืด และ กลางแจ้ง.....	45
4.8 ปริมาณตะกอน 2,4-Dinitrophenylhydrazine ของน้ำในขวดพลาสติก PET ที่นำไปวางไว้ ในที่มืด และกลางแจ้ง.....	45
ข-1 ปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ทำปฏิกิริยา.....	68
ข-2 ปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ไทเทรต.....	68
ข-3 ปริมาณสารที่ละลายออกมา.....	69
ข-4 ค่า K ที่คำนวณได้.....	70
ค-1 ค่า TDS ของน้ำในขวดแก้วที่วางในที่มืด และกลางแจ้ง.....	71
ค-2 ค่า TDS ของน้ำในขวดพลาสติก PET ที่วางในที่มืด และกลางแจ้ง.....	72
ง-1 ค่า Conductivity ของน้ำในขวดแก้วที่วางไว้ในที่มืดและกลางแจ้ง.....	73
ง-2 ค่า Conductivity ของน้ำในขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มืดและกลางแจ้ง.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างของพอลิไวนิลคลอไรด์..... 3
2.2	โครงสร้างของพอลิสไตรีน..... 3
2.3	โครงสร้างพอลิเอทิลีน..... 4
2.4	โครงสร้าง LDPE..... 4
2.5	โครงสร้างของเบกาไลต์..... 4
2.6	โครงสร้างของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต..... 5
2.7	โครงสร้างโมเลกุลน้ำ..... 10
2.8	โมเลกุลน้ำ และพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลน้ำ..... 10
2.9	ช่วงความยาวคลื่นของแสง..... 14
2.10	สมการคำนวณหาค่าพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า..... 14
2.11	สมการคำนวณหาค่าพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า..... 15
2.12	ความยาวคลื่นของ UVA, UVB และ UVC..... 16
2.13	ความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด..... 18
2.14	ส่วนประกอบของเครื่อง FT-IR..... 19
2.15	การเตรียมตัวอย่างที่เป็นของเหลวโดยหยดบน KBr cell..... 20
2.16	การเตรียมตัวอย่างที่เป็นของเหลวโดยใช้ช่อง cell..... 20
2.17	การเตรียมตัวอย่างที่เป็นผงกับ Nujal..... 21
2.18	การเตรียมตัวอย่างที่เป็นของแข็ง..... 21
3.1	แผนภาพการวิเคราะห์น้ำและบรรจุภัณฑ์..... 27
3.2	กลไกปฏิกิริยาของ 2, 4 -Dinitrophenylhydrazine..... 29
3.3	สมการเคมีที่เกิดขึ้นของ Tollen's..... 29
4.1	ผลการวิเคราะห์ FT-IR ของขวดพลาสติก PET เมื่อนำไปวางกลางแจ้ง..... 31
4.2	ผลการวิเคราะห์ FT-IR ของขวดพลาสติก PET เมื่อนำไปวางไว้ในที่มืด..... 32
4.3	โครงสร้างของ Polyethylene terephthalate..... 33
4.4	ผิวแก้ว (SiO ₂) ทำปฏิกิริยากับน้ำ และเกิดไฮดรอกไซด์ไอออน..... 36
4.5	กราฟค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในขวดแก้วที่วางไว้ในที่มืด และกลางแจ้ง..... 38
4.6	กราฟค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มืด และกลางแจ้ง..... 39
4.7	กราฟความสัมพันธ์ของค่า TDS กับเวลาที่วางน้ำดื่มขวดแก้วไว้ในที่มืด และกลางแจ้ง..... 40
4.8	กราฟความสัมพันธ์ของค่า TDS กับเวลาที่วางน้ำดื่มขวดพลาสติก PET ไว้ในที่มืด และ กลางแจ้ง..... 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ปฏิกริยาระหว่างแอลดีไฮด์ กับ 2, 4 -Dinitrophenylhydrazine.....	44
4.10 การเกิด acetaldehyde เมื่อใช้งานขวดพลาสติก.....	44
4.11 ผลการทดลองของน้ำดื่มในขวดแก้วที่นำไปวางในที่มืด.....	46
4.12 ผลการทดลองของน้ำดื่มในขวดแก้วที่นำไปวางกลางแจ้ง.....	46
4.13 ผลการทดลองของน้ำดื่มในขวดพลาสติก PET ที่นำไปวางในที่มืด.....	47
4.14 ผลการทดลองของน้ำดื่มในขวดพลาสติก PET ที่นำไปวางกลางแจ้ง.....	47
4.15 การเกิดปฏิกิริยาของแอลดีไฮด์ และคีโตน เมื่อทดสอบด้วย Tollen's reagen.....	48
ก-1 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ด้วย Ion Chromatography ของ fluoride.....	53
ก-2 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ด้วย Ion Chromatography ของ chloride.....	53
ก-3 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ด้วย Ion Chromatography ของ nitrite.....	54
ก-4 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุลบที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มขวดแก้วที่วางไว้ในที่มืด สัปดาห์ที่ 0.....	55
ก-5 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุลบที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มขวดแก้วที่วางไว้ในที่มืด สัปดาห์ที่ 6.....	55
ก-6 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุลบที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มขวดแก้วที่วางไว้ในที่มืด สัปดาห์ที่ 12.....	56
ก-7 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุลบที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มขวดแก้วที่วางไว้ กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 0.....	56
ก-8 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุลบที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มขวดแก้วที่วางไว้ กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 6.....	57
ก-9 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุลบที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มขวดแก้วที่วางไว้ กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 12.....	57
ก-10 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุลบที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มขวดแก้วที่วางไว้ กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 0.....	58
ก-11 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุลบที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มพลาสติก PET ที่วางไว้ ในที่มืด สัปดาห์ที่ 0.....	58
ก-12 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุลบที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มพลาสติก PET ที่วางไว้ ในที่มืด สัปดาห์ที่ 6.....	59
ก-13 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุลบที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มพลาสติก PET ที่วางไว้ กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 0.....	59
ก-14 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุลบที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มพลาสติก PET ที่วางไว้ กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 6.....	60

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก-15 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุลบที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มพลาสติก PET ที่วางไว้ กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 12.....	60
ก-16 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ด้วย Ion Chromatography ของสาร sodium.....	61
ก-17 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุบวกที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มแก้วที่วางไว้ในที่มีด สัปดาห์ที่ 0.....	62
ก-18 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุบวกที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มแก้วที่วางไว้ในที่มีด สัปดาห์ที่ 6.....	62
ก-19 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุบวกที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มแก้วที่วางไว้ในที่มีด สัปดาห์ที่ 12.....	63
ก-20 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุบวกที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มแก้วที่วางไว้กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 0.....	63
ก-21 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุบวกที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มแก้วที่วางไว้กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 6.....	64
ก-22 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุบวกที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มแก้วที่วางไว้กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 12.....	64
ก-23 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุบวกที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มพลาสติก PET ที่วางไว้ ในที่มีด สัปดาห์ที่ 0.....	65
ก-24 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุบวกที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มพลาสติก PET ที่วางไว้ ในที่มีด สัปดาห์ที่ 6.....	65
ก-25 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุบวกที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มพลาสติก PET ที่วางไว้ ในที่มีด สัปดาห์ที่ 12.....	66
ก-26 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุบวกที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มพลาสติก PET ที่วางไว้ กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 0.....	66
ก-27 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุบวกที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มพลาสติก PET ที่วางไว้ กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 6.....	67
ก-28 ผลความเข้มข้นของไอออนประจุบวกที่ออกมาจากคอลัมน์ของน้ำดื่มพลาสติก PET ที่วางไว้ กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 12.....	67
จ-1 หมูฟังก์ชั้นของขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มีด สัปดาห์ที่ 0.....	75
จ-2 หมูฟังก์ชั้นของขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มีด สัปดาห์ที่ 2.....	75
จ-3 หมูฟังก์ชั้นของขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มีด สัปดาห์ที่ 4.....	76
จ-4 หมูฟังก์ชั้นของขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มีด สัปดาห์ที่ 6.....	76
จ-5 หมูฟังก์ชั้นของขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มีด สัปดาห์ที่ 8.....	77

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
จ-6	หมู่ฟังก์ชันของขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มีด สัปดาห์ที่ 10..... 77
จ-7	หมู่ฟังก์ชันของขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มีด สัปดาห์ที่ 12..... 78
จ-8	หมู่ฟังก์ชันของขวดพลาสติก PET ที่วางไว้กลางแจ็ง สัปดาห์ที่ 0..... 78
จ-9	หมู่ฟังก์ชันของขวดพลาสติก PET ที่วางไว้กลางแจ็ง สัปดาห์ที่ 2..... 79
จ-10	หมู่ฟังก์ชันของขวดพลาสติก PET ที่วางไว้กลางแจ็ง สัปดาห์ที่ 4..... 79
จ-11	หมู่ฟังก์ชันของขวดพลาสติก PET ที่วางไว้กลางแจ็ง สัปดาห์ที่ 6..... 80
จ-12	หมู่ฟังก์ชันของขวดพลาสติก PET ที่วางไว้กลางแจ็ง สัปดาห์ที่ 8..... 80
จ-13	หมู่ฟังก์ชันของขวดพลาสติก PET ที่วางไว้กลางแจ็ง สัปดาห์ที่ 1081
จ-14	หมู่ฟังก์ชันของขวดพลาสติก PET ที่วางไว้กลางแจ็ง สัปดาห์ที่ 1281



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากน้ำดื่มเป็นปัจจัยที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิต ด้วยพฤติกรรมผู้บริโภคในปัจจุบันหันมาใส่ใจสุขภาพมากขึ้น และจากสภาพอากาศของประเทศไทยส่งผลให้ความต้องการเครื่องดื่มเพื่อช่วยดับกระหายคลายร้อนและเพิ่มความสดชื่น ทำให้น้ำเปล่าบรรจุขวด (Bottled water) เป็นที่นิยมและมีอัตราการจำหน่ายสูงขึ้น จากสถิติยอดการจำหน่ายน้ำเปล่าบรรจุขวด มีแนวโน้มการเติบโตเพิ่มขึ้น คือ ปี 2558 มียอดขาย 3.0 หมื่นล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปีก่อนที่มียอดการจำหน่าย 2.7 หมื่นล้านบาท ซึ่งสูงขึ้น ถึง 0.3 หมื่นล้านบาท (ข้าง, 2558)

ในปัจจุบัน ผู้บริโภคมีรูปแบบการดำเนินชีวิตที่เร่งรีบจากการทำงาน ทำให้น้ำดื่มในภาชนะบรรจุขวดที่ปิดสนิท ทั้งขวดพลาสติกและขวดแก้ว มีความสำคัญกับผู้บริโภคมากขึ้นและเป็นที่ยอมรับเนื่องจากราคาถูก หาซื้อได้ง่าย จำหน่ายกันแพร่หลาย โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของแสงแดดที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกและ บรรจุขวดแก้ว ซึ่งขวดพลาสติกที่ใช้ศึกษาเป็นประเภทพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต (polyethylene terephthalate : PET) เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติกที่ได้รับการคิดค้นขึ้นมาเพื่อการบรรจุน้ำดื่ม โดยเฉพาะสมบัติเด่นทางด้านความใสเหนียว และมีความยืดหยุ่นต่อแรงกระแทกกระทึก น้ำดื่มจึงนิยมบรรจุลงในขวดพลาสติก ซึ่งจะเห็นได้จากปริมาณขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น ในบางครั้งจะสัมผัสกับแสงแดดโดยตรงเนื่องจากความจำกัดด้านการจัดเก็บในร้านค้าปลีก ค้าส่ง และที่อยู่อาศัยของผู้บริโภค อาจทำให้เกิดการสลายตัวของพลาสติกที่ได้รับความร้อนจากแสงแดด ในขณะเดียวกันกระแสข่าวผ่านทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์และสื่อสังคมออนไลน์เตือนให้หลีกเลี่ยงการบริโภคน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกที่เก็บในหลังรถยนต์เนื่องจากอากาศร้อนจัด และจุดกลางแดด อาจมีสารที่เป็นส่วนประกอบในการผลิตขวดพลาสติกแพร่ออกมา อาจทำให้เกิดมะเร็งได้ ทำให้ผู้บริโภคเกิดความตื่นกลัวถึงอันตรายจากการดื่มน้ำบรรจุขวดพลาสติก ขวดน้ำพลาสติกจะคงสมบัติไว้ตลอดการใช้งานแต่อาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและย่อยสลายได้ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ภายหลังการทิ้งไว้กลางแดดเป็นเวลานานทำให้สมบัติต่างๆ เช่น ความแข็งแรง ความเหนียว และน้ำหนักโมเลกุลหรือมวลลดลง ซึ่งอาจปลดปล่อยสารที่เป็นส่วนประกอบออกมาในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพ หรือทำให้อาหารมีลักษณะเปลี่ยนไป เช่น รส กลิ่น สี สารที่ใช้ในการผลิต PET ที่อาจพบในน้ำดื่ม เมื่อถูกแสงแดดเป็นเวลานานจากการทดสอบจะพบหมู่ฟังก์ชันแอลดีไฮด์ acetaldehyde ซึ่งเป็นสารที่ระเหยได้ที่เกิดขึ้นเมื่อ PET ถูกหลอมด้วยความร้อน แม้ว่า acetaldehyde จะไม่มีอันตรายต่อสุขภาพ เนื่องจากเป็นสารที่พบได้ในร่างกาย แต่ acetaldehyde จะทำให้อาหารที่บรรจุอยู่ใน PET มีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป

แก้วที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุน้ำดื่มเป็นประเภทแก้วโซดาไลม์ (Soda-lime glass) มีสมบัติเด่นทางด้านความโปร่งใส เป็นวัสดุที่มีความเสถียรช่วยคงสภาพของสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในไม่ให้เกิดเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เช่น สี กลิ่น รส การ นำแก้วมาใช้บรรจุอาหาร เครื่องดื่ม และยารักษาโรค ของที่บรรจุอยู่ภายในจะสัมผัสกับผิวแก้วโดยตรง ดังนั้นแก้วที่ใช้ไม่ควรเกิดปฏิกิริยาใดๆ และปราศจากสารที่เป็นอันตรายโดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะหนัก ด้วยเหตุนี้ภาชนะบรรจุเป็นขวดแก้วมีความเหมาะสมหรือควรใช้ในการบรรจุภัณฑ์น้ำดื่มทดแทนมากกว่าหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในทางวิชาการโดยไม่ผ่านการอนุญาต หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของแสงแดดที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำดื่มที่บรรจุขวดพลาสติกเปรียบเทียบกับที่บรรจุขวดแก้ว วิเคราะห์สมบัติของเหลวในขวด และวิเคราะห์พลาสติกบรรจุภัณฑ์ โดยทำการวิเคราะห์ก่อนและหลังได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยนี้นอกจากทำให้ทราบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาของขวดพลาสติกบรรจุภัณฑ์น้ำดื่มแล้วยังทำให้ทราบอีกด้วยว่าน้ำที่บรรจุอยู่ในขวดเมื่อได้รับแสงเป็นเวลานานจะสามารถนำมาดื่มได้อย่างปลอดภัยหรือไม่ นอกจากนี้ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงส่วนประกอบของพลาสติกบรรจุภัณฑ์ให้มีการทนทานต่อสภาพแวดล้อม และปลอดภัยต่อผู้บริโภค

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาสมบัติของน้ำดื่มในขวดแก้ว เปรียบเทียบกับน้ำดื่มในขวดพลาสติก ทั้งก่อนและหลังได้รับแสงแดด
2. ศึกษาผลของแสงแดดที่มีต่อบรรจุภัณฑ์น้ำดื่มขวดแก้วและ ขวดพลาสติกเมื่อได้รับแสงแดด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. น้ำดื่มบรรจุขวดบรรจุขวดแก้วขนาด 500 ml และขวดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทรฟทาเลตขนาด 600 ml วางบนตาดฟ้าตึกวิทย์ฯเก่า คณะวิทยาศาสตร์ และเก็บในตู้เหล็กที่บแสง ชนิดละ 16 ขวด ตั้งแต่เดือน กรกฎาคม ถึงเดือน ตุลาคม พ.ศ 2559
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) การวิเคราะห์หาปริมาณไอออนโดยใช้ เทคนิค Ion Chromatography (IC) การทดสอบหาหมู่คาร์บอนิลด้วย 2, 4-Dinitrophenylhydrazine (2, 4-DNP) การทดสอบหมู่แอลดีไฮด์ด้วยทอลเลนรีเอเจนต์ (Tollen's reagent test) ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของขวดพลาสติกด้วย Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) และการวิเคราะห์เนื้อพลาสติกด้วยวิธีวิเคราะห์ปริมาณสารที่ละลายออกมา โดยเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์
3. เปรียบเทียบผลที่เปลี่ยนแปลงของน้ำดื่มในขวดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทรฟทาเลต และขวดแก้วก่อนและหลังได้รับแสงแดด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบอิทธิพลของแสงแดดที่มีต่อน้ำดื่มในบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดแก้วและขวดพลาสติก
2. ทราบวิธีการจัดเก็บน้ำดื่มในบรรจุภัณฑ์ต่างๆได้อย่างเหมาะสม
3. ทราบผลของแสงแดดที่มีต่อการเสื่อมสภาพของขวดพลาสติก

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิเมอร์ (Polymer)

พอลิเมอร์ (Polymer) คือ สารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีมวลโมเลกุลมาก ประกอบด้วย หน่วยเล็ก ๆ ของสารที่อาจจะเหมือนกันหรือต่างกันมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์

2.1.1 ประเภทของพอลิเมอร์

2.1.1.1 แบ่งตามการเกิดเป็นเกณฑ์ เป็น 2 ชนิด คือ

ก. พอลิเมอร์ธรรมชาติ เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น โปรตีน แป้ง เซลลูโลส ยางธรรมชาติ

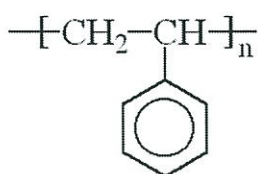
ข. พอลิเมอร์สังเคราะห์ เป็นพอลิเมอร์ที่เอาวัตถุดิบมาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมาสังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น พลาสติก ไนลอน ดาครอนและลูไซต์

2.1.1.2 แบ่งตามโครงสร้างของพอลิเมอร์ แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

ก. พอลิเมอร์แบบเส้น (Chain length polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ สร้างพันธะโคเวเลนต์ยึดกันเป็นสายโซ่ยาว ประกอบด้วยมอนอเมอร์เฉลี่ย 50 หน่วยถึง 500 หน่วย เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและพอลิเอทิลีนเทรฟทาเลต พอลิเมอร์แบบเส้นจะพบโซ่พอลิเมอร์เรียงชิดกันมากกว่าโครงสร้างแบบอื่นๆ จึงมีความหนาแน่นและจุดหลอมเหลวสูง มีลักษณะแข็ง ชุ่มเหนียวกว่าโครงสร้างอื่นๆ ตัวอย่าง พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีน

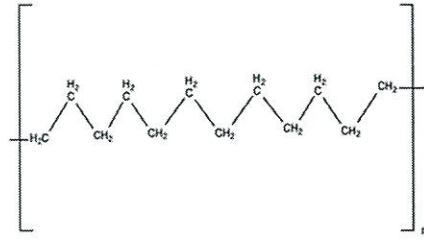


รูปที่ 2.1 โครงสร้างของพอลิไวนิลคลอไรด์ (พอลิเมอร์, 2012)



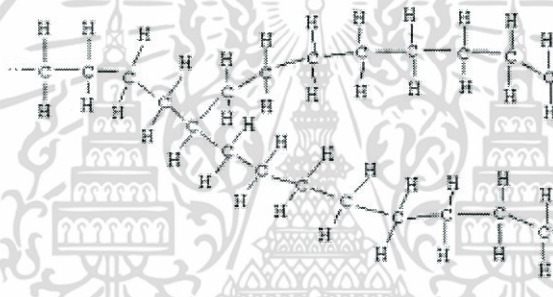
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของพอลิสไตรีน (Polymer Science Learning Center, 2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



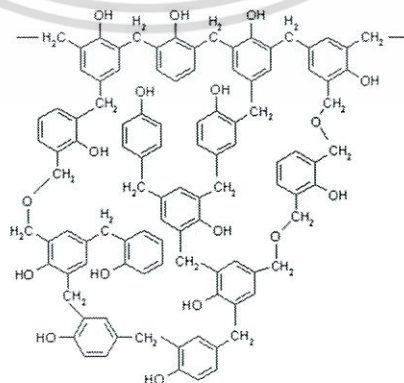
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของพอลิเอทิลีน (ทวินนท์, 2012)

ข. พอลิเมอร์แบบกิ่ง (Branched polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ยึดกันแตกกิ่งก้านสาขา มีทั้งโซ่สั้นและโซ่ยาว กิ่งที่แตกออกจากพอลิเมอร์ของโซ่หลัก ทำให้ไม่สามารถจัดเรียงโซ่พอลิเมอร์ให้ชิดกันได้มาก พอลิเมอร์แบบกิ่งจึงมีความหนาแน่นและจุดหลอมเหลวต่ำ ยืดหยุ่นได้ ความเหนียวต่ำ โครงสร้างเปลี่ยนรูปได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น กล่าวคือ เมื่อร้อนจะอ่อนตัว และเมื่อเย็นลงจะแข็งตัว ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของ LDPE (มหาวิทยาลัยบูรพา, 2557)

ค. พอลิเมอร์แบบร่างแห (Cross-linking polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ต่อเชื่อมกันเป็นร่างแห พอลิเมอร์ชนิดนี้มีความแข็งแรงแและเปราะหักง่าย ตัวอย่างเช่น เบกาไลต์ เมลามีน ใช้ทำถ้วยชาม



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเบกาไลต์ (Bakelite) (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

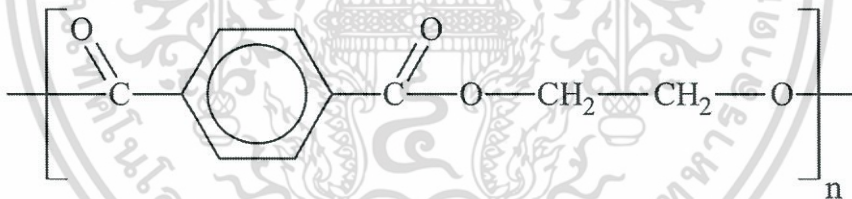
2.1.1.3 แบ่งตามกลไกปฏิกิริยา แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

ก. ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบต่อเติม (addition polymerization) เป็นปฏิกิริยาการรวมตัวกันของมอนอเมอร์ที่ไม่มีการกำจัดส่วนของมอนอเมอร์ออกไป การสร้างพันธะระหว่างมอนอเมอร์จะเกิดขึ้นได้โดยการเปลี่ยนพันธะคู่ระหว่างอะตอมคาร์บอนให้เป็นพันธะเดี่ยว เพื่อนำอิเล็กตรอนที่เหลือไปสร้างพันธะเดียวกับโมเลกุลมอนอเมอร์อื่น ๆ เมื่อเกิดปฏิกิริยาแบบต่อเติมนี้อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีเพียงพอลิเมอร์เท่านั้น พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นโดยวิธีนี้ได้แก่ พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น (วชิระ, 2012)

ข. ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (condensation polymerization) เป็นปฏิกิริยารวมตัวของมอนอเมอร์ที่มีการกำจัดบางส่วนของมอนอเมอร์ออกไป โดยเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นพอลิเมอร์ และสารอื่น ๆ ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น น้ำ แอมโมเนีย แอลกอฮอล์ เป็นต้น

พอลิเมอร์ส่วนใหญ่ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยอาศัยมอนอเมอร์ที่เป็นสารไฮโดรคาร์บอน แต่ก็อาจมีพอลิเมอร์บางชนิดที่เกิดขึ้นจากมอนอเมอร์อื่น ๆ ที่ไม่ได้เป็นสารไฮโดรคาร์บอนได้ โดยพอลิเมอร์เหล่านี้เกิดจากการนำมอนอเมอร์ที่เป็นสารไฮโดรคาร์บอนมาทำปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่น เพื่อเปลี่ยนไปเป็นมอนอเมอร์อีกชนิดหนึ่งจากนั้นจึงนำมาทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจนเกิดเป็นพอลิเมอร์ (วชิระ, 2012)

2.2 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (The Essential Chemical Industry, 2013)

2.2.1 ความเป็นมา

PET เป็นวัสดุที่ผลิตขึ้นโดย Rex Whinfield และ James Dickson แห่ง Calico Printers' Association เมือง Manchester ประเทศอังกฤษ ในปี ค.ศ.1941 สำหรับการผลิตพอลิเมอร์ที่เป็นไฟเบอร์สังเคราะห์ (synthetic fibre) ในอุตสาหกรรมสิ่งทอผลิตจาก PET ประมาณร้อยละ 50 โดยมีทั้งที่ทำจาก PET เพียงอย่างเดียว หรือ PET ผสมกับฝ้ายและขนสัตว์

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

2.2.2 การผลิต PET

PET เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบควบแน่น 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกเกิดจากปฏิกิริยาการเตรียมเอสเทอร์ (esterification) โดยใช้กรดเทเรพทาสิก (terephthalic acid) และเอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) เป็นสารตั้งต้น หรือใช้ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ (transesterification) โดยใช้ไดเมทิลเทเรพทาเลท (dimethyl terephthalate) ร่วมกับเอทิลีนไกลคอลที่อุณหภูมิ 27.5-28.5°C ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารไดเอสเทอร์ (di-ester) เมื่อผ่านเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์ พอลิเมอร์จะได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่สูงมาก โครงสร้างเป็นอสัณฐาน และมีค่าความหนืด (intrinsic viscosity) ประมาณ 0.58-0.67 dl/g ซึ่งเหมาะสมสำหรับ นำมาใช้ผลิตเป็นเส้นใยสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ

พลาสติกที่ใช้ทำขวดน้ำดื่มชนิดใส หรือที่เราเรียกกันโดยทั่วไปว่าขวดเพท (PET หรือ Polyethylene terephthalate) เป็นโพลีเอสเทอร์ซึ่งมีประวัติการพัฒนายาวนานกว่า 70 ปี ในช่วงแรก PET ถูกนำมาผลิตและใช้งานในรูปของเส้นใยก่อน โดยในปีค.ศ.1941 บริษัทเล็กๆในประเทศอังกฤษได้ผลิตเส้นใยโพลีเอสเทอร์ขึ้น ใช้ชื่อทางการค้าว่าเทรลีน (Terylene) และถูกพัฒนาต่อโดยบริษัทดูปองค้ ประเทศสหรัฐอเมริกาในชื่อเส้นใยแดครอน (Dacron) เสื้อผ้าที่ผลิตจากเส้นใย PET มีสมบัติที่ดีคือไม่ยับง่ายทำให้ไม่ต้องรีดมากนัก ไม่หดและแห้งเร็ว ต่อมาบริษัทดูปองค้จึงได้พัฒนาเทคนิคการผลิตฟิล์มพลาสติกที่มีความแข็งแรงสูงจาก PET ขึ้นโดยใช้ชื่อว่าไมลาร์ (Mylar) ในปี ค.ศ. 1952 เพื่อนำมาใช้แทนฟิล์มเซลโลเฟนสำหรับห่ออาหาร ทำลูกโป่ง แผ่นฟิล์ม X-ray และเทปสำหรับบันทึกเสียงเพลง ในปี ค.ศ.1967 PET จึงถูกนำมาผลิตเป็นขวดพลาสติกที่ทนแรงกระแทก ไม่เปราะแตกง่าย ใสสามารถมองเห็นสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในจึงนิยมใช้บรรจุน้ำดื่ม น้ำมันพืช และเครื่องสำอาง และเนื่องจาก PET มีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซได้ดีกว่าพลาสติกทั่วไป จึงได้รับความนิยมนำมาผลิตเป็นขวดสำหรับบรรจุน้ำอัดลมด้วย

อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตขวดหรือเส้นใยคุณภาพสูงมีความจำเป็นต้องใช้ PET ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีค่าความหนืดมากกว่า 0.7 dl/g จึงต้องเพิ่มกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ในสถานะของแข็ง (solid stating polymerisation, (SSP)) โดยเริ่มจากการทำให้เม็ดพอลิเมอร์ที่ผลิตได้จากขั้นตอนแรกซึ่งไม่มีโครงสร้างเป็นผลึก ให้มีปริมาณผลึกเพิ่มขึ้นก่อน (recrystallization) ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกใช้เครื่อง pre-crystallizer ซึ่งในขั้นตอนนี้ PET จะถูกทำให้มีปริมาณผลึกเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ ประมาณ 170°C เป็นเวลา 30 นาที การกวนอย่างต่อเนื่อง และรุนแรง จะป้องกันไม่ให้เกิด PET ติดกัน ภายหลังเสร็จสิ้นกระบวนการนี้เม็ด PET จะมีปริมาณผลึกประมาณ 25% ขั้นตอนที่ 2 ของการเพิ่มปริมาณผลึกในเม็ด PET ทำได้โดยการกวนด้วยเครื่องกวนที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 30 นาที เม็ด PET ที่ผ่านขั้นตอนนี้จะมีปริมาณผลึกประมาณ 30% จากนั้นจึงผ่านเข้าสู่ขั้นตอน SSP โดยเก็บโพลิเมอร์ไว้ในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจนและความชื้น แล้วให้ความร้อนแก่พอลิเมอร์ที่อุณหภูมิ 200-220 °C ซึ่งต่ำกว่าจุดหลอมเหลวเล็กน้อย กระบวนการ SSP นี้เป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลานานพอที่จะเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์ควบแน่นเพิ่มขึ้น เม็ด PET จะมีปริมาณผลึกเป็น 40% และค่าความหนืดสูงขึ้นเป็น 0.75-0.85 ในขั้นตอนนี้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊ส และสารที่กลายเป็นไอได้ง่าย เช่น อะซีตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) จะถูกกำจัดออกไป PET ที่มีปริมาณผลึกสูงจะมีสมบัติทางกายภาพที่ดี แข็งแรง และไม่เปราะ แตกง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมบัติทั่วไปของ PET

*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 10 ³ psi)
Tensile modulus	2,756-4,135 mPa (4-6 x 10 ⁵ 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 10 ³ cm ³ mm/m ² day atm
CO ₂ Permeability, 25°C	5.9-9.8 x 10 ³ cm ³ mm/m ² day atm
Water absorption, 0.32 cm thick, 24 hour	0.1-0.2%

ที่มา : (ชนาวดี, 2008)

หมายเหตุ water vapor transmission rate, WVTR หมายถึง อัตราเร็วในการซึมของไอน้ำผ่านวัสดุชนิดหนึ่ง มีหน่วยเป็น กรัม/ตารางเมตร/วัน การวัดการซึมผ่านของไอน้ำจะวัดในสถานะที่สมดุลที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% เช่น อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของพลาสติกที่ใช้บรรจุอาหาร ใช้เพื่อการออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง เนื่องจากมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษาของอาหาร (ณัฐมล,2014)

*อุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (Glass Transition Temperature : T_g) พอลิเมอร์ที่แสดงค่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชันเป็นพอลิเมอร์ที่มีการจัดเรียงสายโซ่โมเลกุลแบบไม่เป็นระเบียบหรือพอลิเมอร์ ออสัณฐาน ที่อุณหภูมิต่ำกว่า T_g พอลิเมอร์จะมีลักษณะเป็นของแข็งคล้ายแก้ว (glasslike) แข็งและเปราะ เมื่อถูกทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่า T_g มากๆ สมบัติบางอย่างของพอลิเมอร์จะเปลี่ยนไป เช่น ความหนาแน่น ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น

**อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature : T_m) พอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกจะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งผลึกเป็นของเหลวที่อุณหภูมิหลอมเหลว ณ อุณหภูมินี้พันธะระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์จะอ่อนลง เมื่อพอลิเมอร์ได้รับแรงโมเลกุลจะเลื่อนผ่านกันและไหลได้ความแข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดี จึงมีการนำไปเคลือบหลายชั้นทำเป็นช่องสำหรับบรรจุอาหารที่มีความไวต่อก๊าซ เช่น อาหาร ขบเคี้ยว ภาชนะบรรจุอาหาร ที่เป็น Modified Atmosphere Packaging (MAP) เป็นต้น นอกจากนี้ฟิล์ม PET ยังมีสมบัติเด่นอีกหลายประการ เช่น ทนแรงยืดและแรงกระแทกเสียดสีได้ดี แต่ข้อด้อย คือไม่สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนและเปิดฉีกยาก ทำให้โอกาสใช้ฟิล์ม PET อย่างเดียวน้อยมาก แต่มักใช้เคลือบกับพลาสติกอื่น

ข้อดีของการใช้ขวดพลาสติก

1. นำมารีไซเคิล หรือแปรรูปใหม่ได้
2. พลาสติกมีน้ำหนักเบา พกพาสะดวก
3. ไม่สามารถทนต่อความร้อนสูงหรือความเย็นจัดได้

ข้อเสียของขวดพลาสติก

1. พลาสติกที่แปรรูปใหม่มีคุณภาพด้อยลงจากเดิม
2. การใช้พลาสติกซ้ำกันหลายๆครั้งจะทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารที่ใช้เป็นส่วนผสมของพลาสติก
3. การเผาพลาสติกโดยรวมจะก่อให้เกิดสารพิษในบรรยากาศจากสารที่เป็นส่วนประกอบของพลาสติก
4. ใช้เวลาย่อยสลายมากกว่า 700 ปี ขึ้นไป

2.3 แก้ว

2.3.1 ความหมายของแก้ว

แก้วคือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหลอมอินทรีย์สารอันได้แก่ซิลิกา (silica) กับสารโลหะออกไซด์แล้วทำให้เย็นตัวจนกระทั่งแข็งโดยไม่มีการตกผลึก (crystallization) ส่วนประกอบทางเคมีของแก้วประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide, SiO_2) โบรอนออกไซด์ (boronoxide, B_2O_3) โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate, Na_2CO_3) แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate, CaCO_3) และแมกนีเซียมคาร์บอเนต (magnesium carbonate, MgCO_3) มีลักษณะโปร่งแสงและมีความเปราะ หากพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพแล้ว แก้วจะหมายถึงวัสดุที่มีความแข็ง (hard) โปร่งใส (transparent) เปราะ (brittle) มีความแวววาว (relative) มีจุดหลอมละลายสูง (high softening point) ไม่ละลายในน้ำ และในสารละลายใด ๆ (insoluble in water and organic solvents) อีกทั้งไม่ติดไฟ (non inflammable) ซึ่งแก้วมีสมบัติดังต่อไปนี้

1. แก้วมีโครงสร้างทางเคมีไม่แน่นอน แต่แก้วจะมีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายกัน คือประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์และโซเดียมคาร์บอเนตเป็นหลัก
2. มีความแข็งแต่เปราะทำให้แตกหักง่าย
3. เป็นตัวนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องไม่ดี แต่ที่อุณหภูมิสูงจะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี
4. มีลักษณะโปร่งใส (transparency)
5. สามารถทำให้หลอมละลายได้ด้วยความร้อน
6. เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสมบัติของแก้วจะเปลี่ยนไปทั้งลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. มีช่วงการหลอมละลายกว้าง

8. สมบัติทางกายภาพต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงนั้นจะสามารถสังเกตเห็นได้ แก้วเป็นวัสดุที่ทำจากทรายแก้วเป็นส่วนประกอบหลัก นอกจากนั้นเป็นโลหะออกไซด์ต่างๆ เช่น เหล็กออกไซด์ (ferric oxide) ฟอสเฟอริกออกไซด์ (phosphoric oxide) เป็นต้นโดยที่แก้วมีส่วนประกอบทางเคมีไม่แน่นอน แต่ส่วนผสมจะต้องอยู่ในขอบเขตจำกัด หากส่วนผสมคลาดเคลื่อนไปจากที่กำหนดไว้จะทำให้แก้วไม่หลอมละลายในอุณหภูมิที่กำหนดหรือเกิดความยุ่งยากอื่น ๆ ขึ้น เช่น เกิดตำหนิ สมบัติผิดไปจากความต้องการ เป็นต้น

2.3.2 ประเภทของแก้ว

แก้วจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.3.2.1. แก้วที่เกิดโดยธรรมชาติ (god made glass)

แก้วที่เกิดโดยธรรมชาติเรียกว่าออบซิเดียนเกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วของสารหลอมเหลวที่พุ่งออกมาจากปล่องภูเขาไฟ (magma) มีสีเทาหรือสีม่วงดำ โดยแก้วธรรมชาติที่เกิดจากการหลอมตัวของทรายหรือทรายแก้ว ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีคือซิลิกอนไดออกไซด์ นอกจากนี้แก้วที่เกิดโดยธรรมชาติยังเกิดจากการหลอมตัวของซิลิกอนไดออกไซด์ที่อยู่ในลักษณะของหินหรือแร่ เช่น หินเขี้ยวหนุมาน (quartz) ซึ่งมีจุดหลอมสูงมากกว่าทราย ที่หากเกิดการหลอมละลายแล้วจะเรียกว่าซิลิกาหลอม (fused silica)

2.3.2.2. แก้วที่มนุษย์สร้างขึ้น (man made glass)

แก้วที่มนุษย์คิดประดิษฐ์ขึ้นแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามองค์ประกอบทางเคมีและตามลักษณะการใช้งานดังต่อไปนี้

2.3.3 ประเภทของแก้วที่แบ่งตามองค์ประกอบทางเคมี แบ่งได้เป็น 7 ชนิด ดังนี้คือ

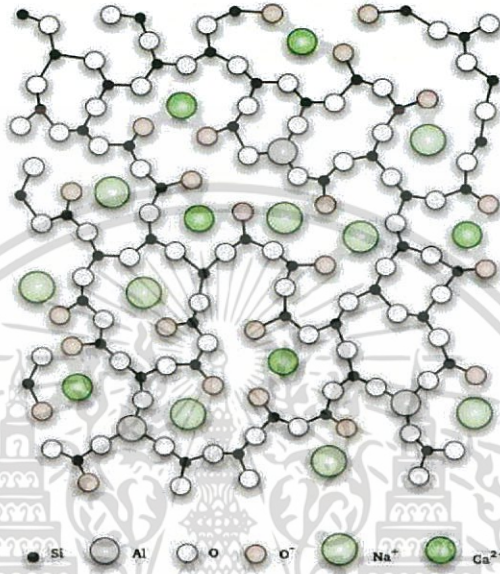
2.3.3.1 แก้วซิลิกาหลอมเหลว (silica glass หรือ fused silica หรือ vitreous silica) หรือแก้วควอตซ์ (quartz) ได้จากการหลอมเศษแก้ว ทรายแก้วหรือพวกหินควอตซ์โดยไม่เติมสารประกอบอื่น จึงต้องทำการหลอมที่อุณหภูมิสูงถึง 1,710 องศาเซลเซียส นิยมใช้ทำเครื่องใช้ในห้องปฏิบัติการ (laboratory) ใช้งานทางด้านไฟฟ้าและใช้งานเกี่ยวกับด้านแสง แต่แก้วชนิดนี้จะมีราคาแพง

2.3.3.2 แก้วซิลิกาหลอมเหลวย้อยละ 96 (96% silica glass) มีสมบัติเกือบจะเหมือนแก้วประเภทซิลิกาหลอม แต่มีจุดหลอมต่ำกว่า มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนสูงกว่า เพราะมีสารช่วยหลอมละลาย (fluxing oxide) และสารอื่นอีกประมาณร้อยละ 4 เพื่อลดจุดหลอมละลายให้ต่ำลงและสะดวกในการขึ้นรูป แก้วชนิดนี้อาจเรียกว่า ไวคอร์ (vycor) นิยมใช้ทำเครื่องใช้ในห้องทดลองพวกหลอดแก้ว (tubes) หรือถ้วยแก้ว (rod)

2.3.3.3 แก้วโซดาไลม์ (soda lime glass) เป็นแก้วชนิดที่ใสมากที่สุด แก้วชนิดนี้ถูกให้ความหมายไว้ว่าเป็นแก้วทำมาจากไลม์ (lime) โซดา (soda) และทรายเป็นส่วนผสมหลัก โดยใช้โซดาหรือโพแทส (potash) ผสมเป็นสารช่วยหลอมละลายเพื่อลดจุดหลอมให้ต่ำลง ลดความหนืดให้สะดวกในการขึ้นรูป เป็นแก้วที่ประกอบด้วยซิลิกาประมาณ 70% Na_2O ประมาณ 10% CaO

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ มีลิขสิทธิ์สงวนไว้ตามกฎหมายว่าด้วยทรัพย์สินทางปัญญา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 10% นอกจากนี้ยังมีแมกนีเซียมออกไซด์ (magnesium oxide, MgO) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide, Al_2O_3) ปนอยู่เล็กน้อย เพื่อให้แก้วมีความคงทนต่อสารเคมี(กระทรวงอุตสาหกรรม, 2527) แก้วชนิดโซดาโล่มนี่ ถ้าขึ้นรูปจะไม่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยกะทันหันได้ (thermal shock) นิยมใช้ทำขวด กระจกหน้าต่าง กระจกแผ่น ถ้วยแก้ว แก้วกันกระสุน (bullet proof glass) แก้วกระจกรถยนต์ เป็นต้น



รูปที่ 2.7 โครงสร้างแก้วโซดาโล่ (สำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ
ศูนย์เชี่ยวชาญด้านแก้ว, 2013)

2.3.3.4 แก้วเลดซิลิเกต (leadalkali silicate glass) แก้วชนิดนี้ได้จากการแทนแคลเซียมออกไซด์ด้วยตะกั่ว (lead oxide, PbO) ตามปกติแคลเซียมออกไซด์จะใช้ได้ไม่เกิน ร้อยละ 15 แต่ถ้าใช้ตะกั่วแทน สามารถใช้ได้ถึงร้อยละ 80 บางครั้งใส่ตะกั่วถึงร้อยละ 92 แก้ว จึงมีน้ำหนักมาก โดยตะกั่วทำหน้าที่เป็นตัวช่วยหลอมละลายทำให้มีจุดหลอมต่ำกว่าแก้วโซดาโล่ และตะกั่วช่วยให้แก้วมีความแวววาวสุกใสสวยงาม แต่ความหนาแน่น การหักเหของแสง ความมันเงาและราคาสูงกว่า จึงนิยมใช้ทำหลอดแก้วเพื่อการให้แสงสว่าง

2.3.3.5 แก้วโบโรซิลิเกต (borosilicate glass) แก้วชนิดนี้มีความหมายที่กล่าวไว้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2527, หน้า 1) ว่าแก้วโบโรซิลิเกตเป็น แก้วที่มีโบรอนไตรออกไซด์ (boron trioxide, B_2O_3) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก หรือ นิยมเรียกว่า แก้วไพเรก (pyrex) ได้แก่ แก้วทนไฟ แก้วชนิดนี้ใช้โบรอนออกไซด์เป็นตัวช่วยหลอมละลาย โดยโบรอนจะลดความหนืดของแก้วลงแต่ทำได้น้อยกว่าโซดา ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี นิยมใช้ทำภาชนะหุงต้ม (cooking ware) ชนิดที่สัมผัสความร้อนโดยตรง

2.3.3.6 แก้วอะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicate glass) ได้แก่ แก้วที่มี อะลูมิเนียมออกไซด์มากกว่าร้อยละ 20 มีแคลเซียมและแมกนีเซียมปริมาณน้อย ทำให้การหลอมยากและการขยายตัวต่ำเมื่อได้รับความร้อนจึงเหมาะที่จะใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทที่ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูง (high temperature ware) เช่น ภาชนะหุงต้ม

2.3.3.7 แก้วสี (color glass) ได้แก่แก้วที่มีสีในเนื้อแก้ว ทำได้โดยผสมสารให้สีที่เป็นออกไซด์ของโลหะลงไปประมาณร้อยละ 1 – 4 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสีที่ต้องการ

2.3.4 ประเภทของแก้วที่แบ่งตามลักษณะการใช้งาน

2.3.4.1 แก้วที่ใช้ในวงการวิทยาศาสตร์ ได้แก่ หลอดแก้วทดลองต่าง ๆ (tubes) ปริซึม (prism) และบีกเกอร์ (beaker) เป็นต้น

2.3.4.2 แก้วที่ใช้ในการให้แสงสว่าง ใช้ทำหลอดไฟที่ให้แสงสว่าง เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent) แก้วประเภทนี้ยังใช้ทำเลนส์ของแว่นตา แว่นขยาย กล้องถ่ายรูป กล้องจุลทรรศน์ กล้องส่องทางไกล เป็นต้น

2.3.4.3 แก้วที่ใช้ในวงการก่อสร้าง เช่น แก้วบุเพดาน (เนื่องจากสมบัติด้านการเป็นฉนวนกันความร้อน) เส้นใยแก้ว (fiber glass) เสื่อกันความร้อนและเสื่อกันไฟ

2.3.4.4 แก้วสะเทิน (neutral glass) หมายถึงแก้วที่ไม่ทำปฏิกิริยากับกรดหรือ 12 ต่าง แก้วพวกนี้ได้แก่ ขวดใส่ยา ขวดใส่น้ำเกลือ เป็นต้น

2.3.4.5 แก้วกระจกรถยนต์ (safety glass) หรือเรียกทั่วไปว่าแก้วนิรภัย มีสมบัติเด่นของแก้วชนิดนี้คือเมื่อแตกจะไม่มีลักษณะแหลมคม (angular fragment) ทั้งนี้เพราะขณะขึ้นรูป ใช้ลมเป่าให้ผิวด้านนอกของแผ่นแก้วเย็นและหดตัวอย่างรวดเร็ว เมื่อมีการกระทบที่ผิว จึงเกิดการแตกร้าวเป็นฝอย แก้วที่นำมาทำกระจกรถยนต์นี้เป็นแก้วชนิดโซดาไลม์

2.3.4.6 แก้วกันกระสุน (bullet proof glass) เป็นแก้วชนิดโซดาไลม์ ที่ภายหลังการขึ้นรูปให้เป็นแผ่นบางๆ (sheet) หลายๆ แผ่น แล้วใช้แผ่นพลาสติก (laminar) แทรกใส่ระหว่างชั้นหรือแผ่นแก้วและประกบกันจนกระทั่งได้ความหนาตามความต้องการ แก้วชนิดนี้จะมี ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจนสามารถกันกระสุนปืนทะลุผ่านได้

2.3.5.7 ใยแก้วทำได้โดยการดึงแก้วเป็นเส้นใยแล้วนำมาอัดขึ้นรูป ใยแก้วจะมีความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กกล้าแต่มีความเบาและอ่อนนุ่มเหมือนขนสัตว์ อีกทั้งสามารถที่จะโค้ง งอได้ สามารถดึงให้เป็นเส้นเล็กได้ถึง 1/300 ของความหนาของเส้นผม ทนต่ออุณหภูมิสูงได้ สมบัติของใยแก้วคือเก็บเสียงและกันความร้อนได้ดี นอกจากนี้ยังนิยมนำแผ่นใยแก้วไปต่อ เป็นโครงเรือได้เพราะมีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรง

2.3.5.8 แก้วในวงการศิลปะ ผลิตภัณฑ์แก้วประเภทนี้ได้แก่แก้วซึ่งมีความไวต่อแสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) โดยสามารถจะอัดภาพถ่ายลงไปบนพื้นผิวของแก้วได้ (photo sensitive glass) นอกจากนี้แก้วที่ใช้ในวงการศิลปะยังรวมถึงแก้วสีตลอดจนเครื่องประดับ

2.3.5.9 แก้วที่เป็นเครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ โคมไฟและภาชนะเครื่องแก้วต่างๆ เพราะสมบัติของแก้วที่แม้จะเป็นตัวนำความร้อนได้ไม่ดี แต่สามารถดูดความร้อนได้ดี ฉะนั้นหม้อแก้วจึงสามารถดูดและกักเก็บความร้อนไว้ได้นานกว่าหม้อโลหะ

2.3.5.10 แก้วในงานอิเล็กทรอนิกส์และงานด้านการโทรคมนาคม แก้วประเภทนี้ได้แก่ หลอดโทรทัศน์ หลอดสุญญากาศ เป็นต้น

2.3.5.11 แก้วในวงการอวกาศ เช่นแก้วที่ใช้ทำหน้าต่างจรวด เครื่องบิน เป็นต้น

แก้วประกอบด้วยซิลิเกตที่ไม่เป็นผลึก (non-crystalline silicates) กับออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ เช่น แคลเซียมออกไซด์ โซเดียมออกไซด์ โพแทสเซียมออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ และโบรอนออกไซด์ เป็นต้น โดยออกไซด์ของธาตุเหล่านี้มีผลทำให้แก้วแสดงสมบัติแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับชนิดและปริมาณของออกไซด์ ดังแสดงองค์ประกอบและคุณลักษณะของแก้วชนิดต่างๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบและคุณลักษณะของแก้วที่ใช้ในอุตสาหกรรม

ชนิดของแก้ว	องค์ประกอบ (ร้อยละน้ำหนัก)						คุณลักษณะและการใช้งาน
	SiO ₂	NaO ₂	CaO	Al ₃ O ₂	B ₂ O ₃	อื่นๆ	
แก้วซิลิกา- หลอมเหลว	> 99.5	-	-	-	-	-	อุณหภูมิการหลอมสูงค่า สัมประสิทธิ์การ- ขยายตัว ต่ำ
แก้วซิลิกา- หลอมเหลว ร้อยละ 96	96	-	-	-	-	-	ต้านทานการเปลี่ยน- แปลง อุณหภูมิและการ กัดกร่อน ของสารเคมี ได้ดี ใช้ทำ อุปกรณ์ในห้องทดลอง
แก้วโบโร- ซิ ลิเกต	81	3.5	-	2.5	13	-	ต้านทานการ เปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ และการกัดกร่อน ของ สารเคมีได้ดี ใช้ทำ ผลิตภัณฑ์ใช้ในเตาอบ
แก้วโซดาไลม์	74	16	5	1	-	4 MgO 37 PbO	อุณหภูมิการหลอมต่ำความ หนาแน่นสูง มีความมันวาว สูง (detractive index) ใช้ ทำเลนส์
แก้วเลด- ซิ ลิเกต	54	1	-	-	-	8 K ₂ O	
แก้วอะลูมิโน- ซิลิเกต	70	-	-	18	-	4.5 TiO ₂ 2.5 Li ₂ O	ขึ้นรูปง่าย แข็งแรงและ ทน ต่อการเปลี่ยน- แปลง อุณหภูมิตี ใช้ทำผลิตภัณฑ์ ใช้ในเตาอบ

ที่มา : (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2527)

2.3.5 สมบัติทางเคมีของวัสดุแก้ว

เมื่อเทียบกับวัสดุประเภทอื่นๆ เช่น โลหะ และพอลิเมอร์ แก้วนับว่ามีความทนทานต่อสารเคมีมากกว่า จึงนิยมนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุต่างๆ แต่อย่างไรก็ตามแก้วก็สามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้

1. ปฏิกิริยาของโครงสร้างแก้วกับความชื้น แก้วที่ทิ้งไว้นานอาจเกิดปฏิกิริยาเคมีกับความชื้นได้ ดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในสภาพที่เป็นต่าง จะทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับความชื้น



ปฏิกิริยาในสภาพที่เป็นกรด



จะเห็นว่าในสภาพที่เป็นต่างจะเกิดปฏิกิริยาที่ต่อเนื่อง ซึ่งทำลายโครงสร้างของแก้วได้มากกว่าสภาพที่เป็นกรด

2. ปฏิกิริยาของ Na_2O กับความชื้น ชั้นของแก้วที่มีปริมาณ Na_2O มากอาจเกิดปฏิกิริยากับความชื้นได้ง่าย ดังต่อไปนี้



NaOH ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับ CO_2 ในอากาศ



ข้อดีของขวดแก้ว

1. มีความสวยงาม มีความใสทำให้มองเห็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายในได้
2. มีความเสถียรสูง ปลอดภัยต่อสารที่บรรจุ ช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายในไม่ให้เปลี่ยนแปลง เช่น สี กลิ่น รส
3. ทนต่อความร้อนและแรงดันได้ดี
4. เป็นวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 100% เป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม

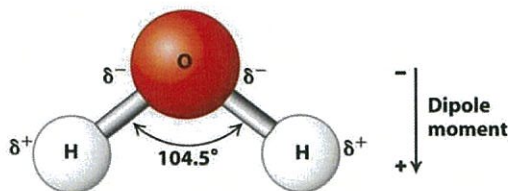
ข้อเสียของขวดแก้ว

1. มีน้ำหนักมาก
2. หากเกิดการกระแทกที่รุนแรงอาจแตกหักได้

2.4 น้ำดื่ม (Drinking water)

2.4.1 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำ

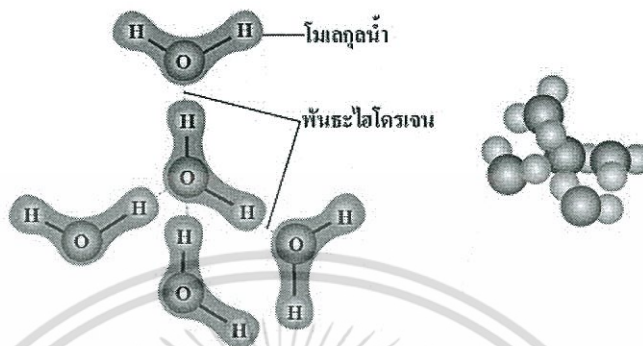
น้ำ 1 โมเลกุล (H_2O) ประกอบด้วย ไฮโดรเจน 2 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอม เชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ (Covalent bonds) ซึ่งใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน โดยที่อะตอมทั้งสามตัวเรียงกันทำมุม 104.5° องศา โดยมีออกซิเจนเป็นขั้วลบ และไฮโดรเจนเป็นขั้วบวก ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำ (S.Evan, 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการแยกกันของประจุ และการประกอบกรวางตัวของพันธะในลักษณะที่เสริมแรงกัน จึงทำให้โมเลกุลของน้ำมีสภาพขั้ว (dipole moment) เกิดขึ้นซึ่งก็หมายถึงโมเลกุลเป็นขั้วจากที่น้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้วนี้เองจึงทำให้น้ำสามารถละลายตัวถูกละลายที่มีโมเลกุลเป็นขั้วได้ เช่น พวกเกลือเชิงไอออน เป็นต้น



รูปที่ 2.9 โมเลกุลของน้ำ และพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลของน้ำ (LESA, 2003)

2.4.2 สมบัติทางกายภาพของน้ำ

น้ำบริสุทธิ์เป็นของเหลวไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสี น้ำธรรมชาติปริมาณมากจะมีสีเขียวแกมน้ำเงิน น้ำดื่มที่มีรสดีเนื่องจาก มีแก๊สในอากาศ กลือจากผิวโลกละลายอยู่ และสารอื่นๆ น้ำมีจุดเยือกแข็ง 0 °C จุดเดือด 100 °C ที่ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ความดันไอของน้ำแข็งและของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆจะต่างกัน มวลของน้ำตามระบบเมตริก 1 มิลลิลิตร ที่ 4 °C (อุณหภูมิที่มีความหนาแน่นสูงสุด) เท่ากับ 1.0000 กรัม หน่วยวัดความร้อนตามระบบเอสไอ มีหน่วยเป็นแคลอรี (1 แคลอรี เท่ากับ 4.1840 จูล) ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กรัม ร้อนขึ้นจาก 14.6 °C เป็น 17.6 °C ความร้อนของการหลอมเหลวของน้ำ(น้ำแข็ง) เท่ากับ 80 แคลอรีต่อกรัมที่ 0 °C และความร้อนของการกลายเป็นไอ เท่ากับ 540 แคลอรีต่อกรัมที่ 100 °C หากความดันลดลง การเปลี่ยนแปลงสถานะของของเหลวไปเป็นแก๊ส จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำลง เรียกที่ 0 °C ความดัน 1 บรรยากาศว่า จุดหลอมเหลวปกติ เรียกจุดที่ 100 °C ความดัน 1 บรรยากาศ ว่าจุดเดือดปกติ จะสังเกตเห็นว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจุดเดือดของน้ำจะเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ต่างจากการหลอมเหลวของน้ำ จุดเดือดจะเปลี่ยนแปลงไปตามความดันที่เปลี่ยนไป

2.4.3 สมบัติทางเคมีของน้ำ

2.4.3.1 การแตกตัวเป็นไอออนของน้ำ น้ำแตกตัวให้ไฮดรตไอออน ในสารละลายจะไม่พบไฮโดรเจนไอออนที่อิสระ เพราะจะรวมกับโมเลกุลของน้ำเกิดไฮเดรตไอออน เรียกว่า ไฮโดรเนียมไอออน (Hydroniumion) มีสูตรเป็น $H^+ - H_2O$ หรือ H_3O^+ ซึ่งเป็นสูตรที่ใช้ทั่วไป ดังนั้น สมการแตกตัวของน้ำมักเขียนด้วย H_3O^+ แทนที่จะเขียน H^+ ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.2 ปฏิกิริยาของน้ำกับโลหะ จะให้แก๊สไฮโดรเจน โลหะที่อยู่เหนือโคบอลต์ในอนุกรมความว่องไว (Activity series) จะสามารถแทนที่ไฮโดรเจนกับน้ำได้ โลหะที่ว่องไวจะทำปฏิกิริยากับน้ำเย็น ส่วนโลหะที่ว่องไวน้อยกว่าต้องการอุณหภูมิที่สูงขึ้นโดยทำปฏิกิริยากับไอน้ำ ตัวอย่างปฏิกิริยาของโลหะกับน้ำมี ดังนี้



โลหะแมกนีเซียมทำปฏิกิริยากับน้ำร้อน ได้สารประกอบไฮดรอกไซด์กับแก๊สไฮโดรเจน แต่ถ้าเผาแมกนีเซียมในไอน้ำ จะได้สารประกอบออกไซด์ ดังนี้



2.4.3.3 ปฏิกิริยาของน้ำกับอโลหะ พบว่า Cl_2 Br_2 และ I_2 ทำปฏิกิริยากับน้ำที่อุณหภูมิห้อง ปฏิกิริยา Cl_2 กับน้ำดังนี้



HCl จะแตกตัวเป็นไอออนหมด เนื่องจากเป็นสารละลายน้ำที่เจือจางและได้สารละลายของกรดแก่ ส่วน HOCl จะแตกตัวได้น้อย ส่วนมากจะอยู่ในรูปของโมเลกุล จึงเป็นสารละลายของกรดอ่อน คาร์บอนที่เผาจนร้อนทำปฏิกิริยากับไอน้ำได้คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน



2.4.3.4 ปฏิกิริยาของน้ำกับสารอื่น ออกไซด์ของโลหะอัลคาไลด์ (Li, Na, K, Rb และ Cs) ทำปฏิกิริยากับน้ำให้ปฏิกิริยาคายความร้อนและได้สารประกอบไฮดรอกไซด์



ออกไซด์ของโลหะอัลคาไลด์เอิร์ท (Ba Mg Ca Sr Ba และ Ra) ทำปฏิกิริยากับน้ำได้น้อยกว่า และไฮดรอกไซด์ซึ่งอาจสลายตัวในออกไซด์และน้ำมาเผาออกไซด์ของ Ba และ Mg ซึ่งไม่ละลายน้ำจะทำปฏิกิริยากับน้ำช้าๆอย่างไม่สมบูรณ์ ออกไซด์ของอโลหะทำปฏิกิริยากับน้ำได้เบสเรียกว่าเบสิกแอนไฮไดรด์ (basic anhydride) ส่วนออกไซด์ของอโลหะทำปฏิกิริยากับน้ำให้กรด เรียกออกไซด์ชนิดนี้ว่า แอซิดแอนไฮไดรด์ (acid anhydride) เช่น



2.4.4 มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่ม

น้ำที่ผลิตจากแหล่งที่มีคุณภาพดี

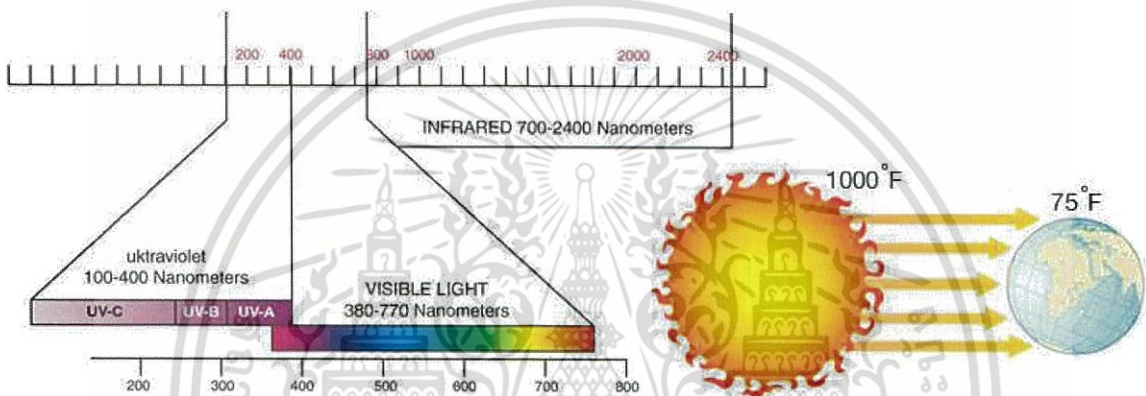
ตารางที่ 2.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์อนุโลม สูงสุด)
1.สี (Colour)	ฮาเซนยูนิต(Hazen)	20
2.กลิ่น(Odour)	-	ไม่มีกลิ่น (ไม่รวมกลิ่นคลอรีน)
3.ความขุ่น(Turbidity)	ซิลิกาสเกลยูนิต (silica scale unit)	5
4.ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.5-8.5
5.ปริมาณสารทั้งหมด (Total Solids)	มก./ล.	500
6.ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness)(คำนวณเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต)	มก./ล.	100
7.สารหนู (As)	มก./ล.	0.05
8.แบเรียม (Ba)	มก./ล.	1.0
9.แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	0.005
10.คลอไรด์ (Cl, คำนวณเป็นคลอรีน)	มก./ล.	250
11.โครเมียม (Cr)	มก./ล.	0.05
12.ทองแดง (Cu)	มก./ล.	1.0
13.เหล็ก (Fe)	มก./ล.	0.3
14.ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	0.05
15.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	0.05
16.ปรอท (Hg)	มก./ล.	0.002
17.ไนเตรต (NO ₃ -N, คำนวณเป็นไนโตรเจน)	มก./ล.	4.0
18.ฟีนอล (Phenols)	มก./ล.	0.001
19.ซีลีเนียม (Se)	มก./ล.	0.01
20.เงิน (Ag)	มก./ล.	0.05
21.ซัลเฟต (SO ₄)	มก./ล.	250
22.สังกะสี (Zn)	มก./ล.	5.0
23.ฟลูออไรด์ (F) (คำนวณเป็นฟลูออรีน)	มก./ล.	1.5
24.อะลูมิเนียม	มก./ล.	0.2
25.เอบีเอส (Alkylbenzene Sulfonate)	มก./ล.	0.2
26.ไซยาไนด์	มก./ล.	0.1
27.โคลิฟอร์ม (Coliform)	เอ็ม.พี.เอ็น/100 มล.	2.2
28.อี.โคไล (E.Coli)	เอ็ม.พี.เอ็น/100 มล.	ตรวจไม่พบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ที่มา : (กระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61, 2524)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 แสงอัลตราไวโอเล็ต

แสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet Light) หรือ แสงยูวี (Ultraviolet) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับ คลื่นวิทยุ รังสีเอ็กซ์ รังสีแกมมา แสงแดด หรือแสงสว่าง ก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นกัน แต่มีช่วงความยาวคลื่นที่ตาของมนุษย์สามารถรับรู้ความรู้สึกได้ ทำให้สามารถมองเห็นสิ่งต่างๆ จึงเรียกว่า แสงสว่าง หรือ แสงที่ตามองเห็น (Visible light) แสงหรือรังสีที่กล่าวมาแล้วต่างเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนกันเพียงแต่มีความยาวคลื่นต่างกัน ถ้านำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ มาเรียงลำดับตามขนาดความยาวคลื่นในหน่วย นาโนเมตร (nm) จะได้แถบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเรียกว่า สเปกตรัม (Spectrum) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ช่วงความยาวคลื่นของแสง (ไอโซนฟิล์ม, 2553)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นจะมีพลังงานสูงกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นมาก ซึ่งความยาวคลื่นและแปรผกผันกับความถี่ กล่าวคือ แสงที่มีความยาวคลื่นสั้น ความถี่จะสูง และแสงที่มีความยาวคลื่นยาว จะมีความถี่ต่ำ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสง สามารถคำนวณหาค่าพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้จากสมการที่ 1

$$u = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \tag{1}$$

- u คือ พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (จูล J)
- h คือ ค่าคงที่ของแฟรงค์ (Planck constant) ซึ่งมีค่า 6.6261×10^{-34} Js
- ν คือ ความถี่ (s^{-1})
- c คือ ความเร็วแสง 2.9979×10^8 เมตรต่อวินาที
- λ คือ ความยาวคลื่น (เมตร)

รูปที่ 2.11 สมการคำนวณหาค่าพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (แสง, 2559)

แสงหรือคลื่นแสง มีคุณสมบัติทั้งเป็นพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคในการศึกษาด้านฟิสิกส์ยุคใหม่ จะเรียกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ว่า “โฟตอน” (Photons) จากสมการที่ 1 เป็นการคิดพลังงานจากโฟตอน 1 อนุภาคเท่านั้น แต่ถ้าจะคิดพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอนุภาคโฟตอนจำนวน 1 โมลอนุภาค (6.022×10^{23} อนุภาค) จะต้องคูณสมการที่ 1 ด้วย
 อวอกาโดนัมเบอร์ (Avogadro number) ซึ่งเท่ากับ 6.022×10^{23} ในสมการ

$$\begin{aligned} N_A u &= N_A h\nu = N_A \frac{hc}{\lambda} \\ U &= N_A h\nu = N_A \frac{hc}{\lambda} \end{aligned} \quad (2)$$

รูปที่ 2.12 สมการคำนวณหาค่าพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (แสง, 2559)

U คือ พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจำนวน 6.022×10^{23} อนุภาคโฟตอน ซึ่งพลังงานที่
 คำนวณได้ในหน่วย จูลน์ต่อไอสไตน์ (Joule per Einstein) (ไอสไตน์ Einstein) คือ ปริมาณโฟตอน
 1 โมล หรือ 6.022×10^{23} โฟตอน จากรูปที่ 2.8 คลื่นแสงที่ตามองเห็น (Visible light) จะมีความ
 ยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร (1 นาโนเมตรเท่ากับ 1 เมตร) ซึ่งคลื่นแสงนี้จะมีพลังงานมากพอที่จะ
 ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า (Photochemistry) เช่น เกิดปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการ
 สังเคราะห์แสงของพืชและสาหร่าย หรือปฏิกิริยาการฟอกสีของเม็ดสีเป็นต้น เกิดปฏิกิริยาเคมีที่
 เกิดขึ้นเนื่องจากสสารดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เรียกว่า ปฏิกิริยาเคมี
 ทางแสง (Photochemistry)

โดยปกติคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือแสงที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 100-1,000 นาโนเมตร จะ
 สามารถกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้ ถ้าความยาวคลื่นมากกว่า 1,000 นาโนเมตร จะมีพลังงานต่ำ
 จนไม่สามารถกระตุ้นให้สสารเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ คลื่นแสงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น 700 -
 1,000 นาโนเมตร ที่เรียกว่า "Near infrared" จะมีพลังงานที่ใช้กระตุ้นสสารให้เกิดปฏิกิริยาเคมี
 ได้น้อยมาก ยกเว้นแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถเก็บสะสมพลังงานที่มีความยาวคลื่น 980 นาโนเมตร
 แต่ถ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 1,000 นาโนเมตร ช่วงคลื่นอินฟราเรดที่เรียกว่า
 "far infrared" จะไม่สามารถกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้ แสงยูวีเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความ
 ยาวคลื่นตั้งแต่ 100 ถึง 400 นาโนเมตร ซึ่งมีพลังงานสูงพอที่จะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้มาก
 ถ้าแสงยูวีที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 200 นาโนเมตร มีพลังงานมากพอที่จะทำลายพันธะทางเคมีได้
 อาจทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radicals) ที่มีพลังงานสูงทำให้เกิดปฏิกิริยาถูกโซ่ได้อย่างต่อเนื่อง

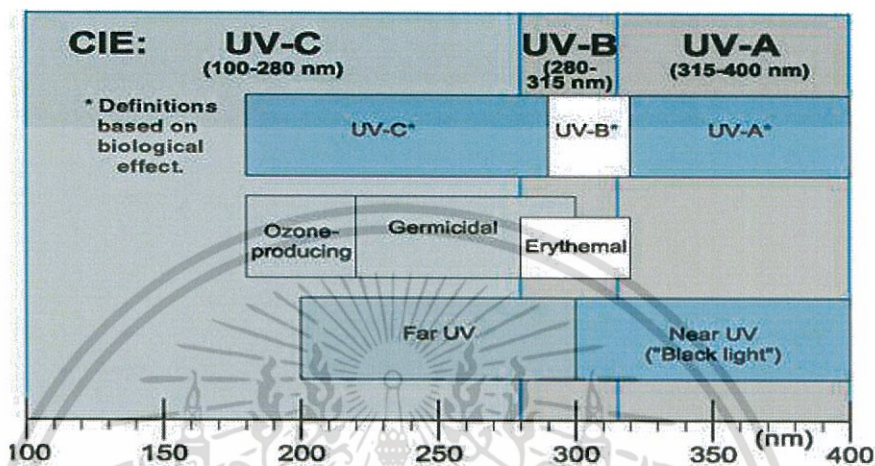
แสงยูวีแบ่งเป็น 3 ช่วงตามลักษณะที่มีผลกระทบต่อผิวหนังของมนุษย์

1. UV A ช่วงความยาวคลื่น 315-400 nm. เป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีพลังงานต่ำที่สุดของ
 แสง UV ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อทำให้ผิวหนังมีสีน้ำตาล (Sun tanning) แต่เนื่องจากเป็นคลื่นที่อยู่ใกล้กับ
 แสงที่ตามองเห็น จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Near UV

2. UV B ช่วงความยาวคลื่น 280-315 nm. จะมีพลังงานสูงขึ้น สามารถทำให้ผิวหนังไหม้
 แกรียม และมีหลักฐานว่า ทำให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้

3. UV C ช่วงความยาวคลื่น 200-280 nm. ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าแสงยูวีทั้งสองชนิดแรก
 สามารถดูดกลืนโดย DNA, RNA ในนิวเคลียสของเซลล์ทำให้เซลล์เกิดการกลายพันธุ์เกิดเซลล์มะเร็ง
 และเกิดการตายของเซลล์ สมัยก่อนมีการใช้แสงยูวีฆ่าเชื้อเซลล์ที่อยู่บนผิวหนังของคนที่เป็นโรคเรื้อน
 แต่ถ้าได้รับแสงยูวีด้วยตาเปล่า อาจทำให้เกิดการไหม้ของจอประสาทตา ทำให้ตาบอดได้ เนื่องจาก
 UV C สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและไวรัสได้ บางครั้งเรียกว่า Germicidal UV rang) แสงยูวีที่มี
 ไม่ผ่านการใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความคลื่นน้อยกว่า 200 nm. เรียกว่า Vacuum UV จะมีพลังงานมากพอที่จะทำลายพันธะทางเคมี และถูกดูดกลืนโดยสารประกอบได้ บางครั้งอาจเรียกว่า Ozone UV เพราะเป็นแสงยูวีที่สามารถกระตุ้นออกซิเจนในอากาศให้เป็นโอโซนได้ เนื่องจากแสงยูวีช่วงความยาวคลื่นนี้ถูกดูดกลืนโดยสารประกอบไอน้ำ และออกซิเจนในอากาศ แสงยูวีนี้จึงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็นสุญญากาศจึงเรียก Vacuum UV



รูปที่ 2.13 ความยาวคลื่นของ UVA, UVB และ UVC (แสง, 2559)

โดยปกติแสงยูวีในธรรมชาติมาจากดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านมาจนถึงบรรยากาศของโลก ซึ่งในชั้นบรรยากาศ ชั้นโอโซนเพียร์ ซึ่งมีโอโซนที่สามารถดูดกลืนแสงยูวีซี (UV C) เกือบทั้งหมดจะเหลือแสงยูวีบี (UV B) และแสงยูวีเอ (UV A) ที่ส่องถึงผิวโลก

2.5.1 การย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation) (ฉันทกาญจน์และคณะ, 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 เพื่อยืดอายุการใช้งานของพลาสติกโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำไปใช้งานกลางแจ้ง

สำหรับการเกิด Photo Degradation ของพอลิเมอร์นั้นจะเกิดเนื่องมาจากการที่พอลิเมอร์สัมผัสกับแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นเวลานานโดยการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งมีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้เกิดการแตกพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมและเกิดอนุมูลอิสระขึ้น แล้วทำให้เกิดการเชื่อมโยงพันธะหรือเกิดการย่อยสลาย การเสื่อมสภาพนั้นก็จะถูกเร่งด้วยปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น ปริมาณออกซิเจน ความชื้น และอุณหภูมิ เมื่อใดก็ตามที่พลาสติกเกิดการเสื่อมสภาพสามารถสังเกตได้จากสีของชิ้นงานพลาสติกเริ่มเปลี่ยนแปลงไปเป็นสีเหลืองหรือซีดจางลงก็จะส่งผลให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของพลาสติกเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์

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

2.6.1.1 การค้นพบแสง Infrared

ในปี 1800 นักดาราศาสตร์ชื่อ Fried Wilhelm Herschel ทำการศึกษาสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ โดยให้แสงอาทิตย์ผ่านทางปริซึมแก้วซึ่งให้แสงที่มีสีแตกต่างกัน ได้ทำการวัดความร้อนของแสงแต่ละสีที่ให้ผ่านปริซึมออกมาโดยใช้ Thermometer แต่เมื่อทำการวัดอุณหภูมิของสเปกตรัมที่เหนือแสงสีแดงซึ่งเป็นรังสีที่มองไม่เห็น พบว่าให้ความร้อนสูงกว่าแสงทั้งหมด Herschel ได้สรุปว่า จะต้องมีส่วนอีกชนิดหนึ่งที่อยู่เหนือแสงสีแดงซึ่งเป็นแสงที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าแสงดังกล่าวก็คือแสงอินฟราเรด (Infrared)

2.6.1.2 Interaction of radiation

Infrared spectroscopy จะวัดแสงอินฟราเรดที่วัดดูดกลืนไว้ โดยที่รังสีอินฟราเรดเป็นช่วงสเปกตรัมหนึ่งของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนกับแสง Visible และ UV แต่จะมีพลังงานต่ำกว่า เมื่อถูกวัตถุได้รับรังสีอินฟราเรดจะมีการแผ่รังสีของแสงอินฟราเรดแก่วัตถุหลายแบบดังนี้
Reflection : จะเป็นการที่วัตถุได้รับรังสีแล้วเกิดการสะท้อนออกมา
Transmission : การที่รังสีส่องผ่านเข้าไปยังในเนื้อ

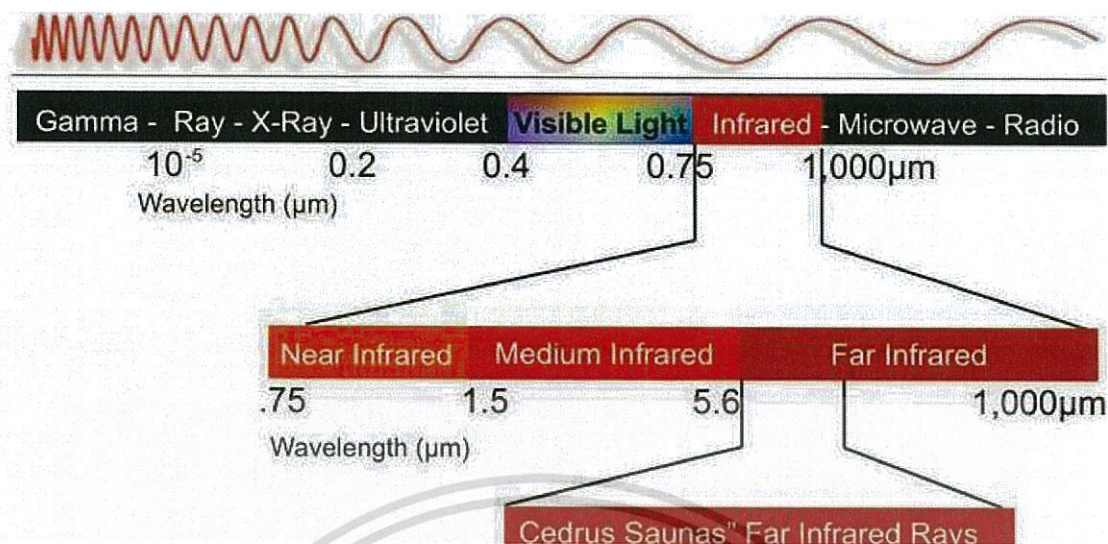
2.6.1.3 Electromagnetic spectrum

โดยทั่วไปรังสีอินฟราเรดมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.78 mm ถึง 1,000 mm หรือมี Wave Number ที่ $12,500 \text{ cm}^{-1}$ ถึง 5 cm^{-1} จะจัดช่วงสเปกตรัมของรังสีอินฟราเรด ออกเป็น 3 ช่วง ซึ่งเมื่อนำแต่ละช่วงมาวิเคราะห์ทาง Spectroscopy จะให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ต่างกันคือ

1. Near Infrared Region Wavenumber (NIR) $12,500\text{-}4,000 \text{ cm}^{-1}$ เป็นช่วงที่จะให้สเปกตรัมที่ได้จาก โอเวอร์โทน (Overtone Band)

2. Middle Infrared Region Wavenumber (MIR) $4,000\text{-}400 \text{ cm}^{-1}$ เป็นช่วงที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์เนื่องจากใช้ประโยชน์ได้มากในการวิเคราะห์

3. Far Infrared Region Wavenumber (FIR) $400\text{-}5 \text{ cm}^{-1}$ สเปกตรัมที่ได้จะเป็นการสั่นทั้งแกนของโครงสร้างโมเลกุลหรือเรียกว่า ช่วงลายพิมพ์นิ้วมือของสาร (Fingerprint Region) ซึ่งมีประโยชน์ในการเปรียบเทียบสาร เนื่องจาก ลายพิมพ์นิ้วมือของสารเดียวกันจะให้สเปกตรัมที่เหมือนกัน



รูปที่ 2.14 ความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด (FLIR THAILAND, 2013)

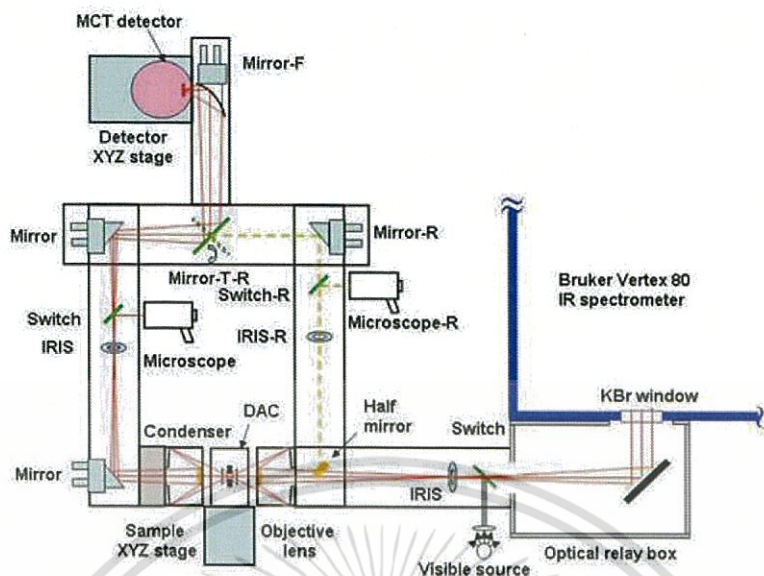
2.6.1.4 ลักษณะเด่นของ Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR)

เครื่อง Infrared Spectrometer จะใช้หลักการกระจายแสงของสเปกตรัมการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ในช่วงของอินฟราเรดแล้วทำการวัดค่าความเข้มแสงเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นหรือเลขคลื่น (Frequency Domain Spectrum) ซึ่งก็จะได้ออกมาเป็นสเปกตรัม แต่สำหรับ FT-IR จะใช้การวัดความเข้มแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ กันอย่างต่อเนื่องเปรียบเทียบกับเวลา (Time Domain Spectrum) จากนั้นจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสเปกตรัมของความเข้มของแสงต่อความยาวคลื่นหรือเลขคลื่นโดยการ Fourier Transform ด้วยคอมพิวเตอร์ก็จะได้ออกมาเป็น Fourier Transform Spectrum ด้วยวิธีการนี้จะช่วยให้การวิเคราะห์ที่มีความรวดเร็วเพิ่มขึ้นพร้อมทั้ง Resolution ก็ดีขึ้น

2.6.1.5 องค์ประกอบของเครื่อง FT-IR

1. แหล่งกำเนิด Laser เพื่อใช้แสง Laser ในการปรับระยะของ Mobile Mirror
2. Mobile Mirror เป็นกระจกเงาที่สามารถสะท้อน รังสีอินฟราเรดและสามารถที่จะเคลื่อนที่ได้
3. Fixed Mirror เป็นกระจกเงาที่สามารถสะท้อนรังสีอินฟราเรดเช่นเดียวกับ Mobile Mirror แต่ไม่สามารถที่จะเคลื่อนที่ได้
4. Beam Splitter เป็นส่วนที่จะทำการแยกอินฟราเรดที่ผ่านเข้ามาให้เป็นสองส่วนคือสามารถให้แสงทะลุผ่านได้ 50 % และจะสะท้อนกลับ 50 %
5. เป็นกระจกเงาที่สามารถสะท้อนรังสีอินฟราเรดใช้ในการบังคับทิศทางการเดินทางของรังสีอินฟราเรด ให้ไปตามทิศทางที่ต้องการ
6. Sample Compartment เป็นส่วนที่จะใช้ในการบรรจุ Sample เข้าไปเพื่อการวิเคราะห์
7. Detector ใช้วัดความเข้มแสงที่เหลือจากการดูดกลืนของตัวอย่าง ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ



รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบภายในของเครื่อง FT-IR (คณะวิทยาศาสตร์ มจร., 2013)

2.6.1.6 การทำงานของเครื่อง FT-IR

1. แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดจะทำการผลิตรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่นหรือเลขคลื่นที่จะใช้ในการวิเคราะห์

2. Beam Splitter ซึ่ง Beam Splitter จะปล่อยให้ทะลุผ่านไป Fixed Mirror 50% และสะท้อน กลับมาที่ Mobile Mirror 50%

3. Fixed Mirror จะสะท้อนกลับมาที่ Beam Splitter

4. Mobile Mirror จะสะท้อนกลับมาที่ Beam Splitter

5. อินฟราเรดที่สะท้อนมาจาก ทั้ง Mobile Mirror และ Fixed Mirror จะมารวมกันและเกิดการแทรกสอดกันขึ้น แต่จากการที่ Mobile Mirror สามารถเคลื่อนที่ได้โดยการควบคุมระยะการเคลื่อนที่โดย Laser เมื่อ Mobile Mirror เคลื่อนที่ก็จะทำให้ระยะทางการสะท้อนกลับของรังสีอินฟราเรดของ Mobile Mirror และ Fixed Mirror ไม่เท่ากันซึ่งก็จะส่งผลให้รังสีอินฟราเรดที่ได้มีความยาวคลื่นเปลี่ยนไปอันเกิดจาก การแทรกสอด แบบเสริมกัน หรือหักล้างกัน เรียกว่า Interferogram

6. อินฟราเรดที่ความยาวคลื่นต่างๆ จะสะท้อนไปที่ Sample Compartment ผ่าน Sample ซึ่งจะมีการดูดกลืนอินฟราเรด เอาไว้บางส่วนในบางความยาวคลื่น ส่วนอินฟราเรดที่ไม่ถูกดูดกลืนก็จะผ่านเข้าสู่ Detector สัญญาณที่ได้คอมพิวเตอร์จะทำการแปลงสัญญาณ Interferogram ด้วยสมการ Fourier Transform ผลที่ได้จะเป็นสเปกตรัม การดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ

2.6.1.7 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิค Infrared Spectroscopy

การวิเคราะห์ตัวอย่างชนิดต่าง ๆ ด้วยเทคนิค Infrared Spectroscopy นั้นมีหลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและคุณสมบัติ ทางกายภาพของสารตัวอย่าง ซึ่งวิธีดังกล่าวได้แก่ การวัดสเปกตรัมโดยใช้การ Transmission กระบวนการดังกล่าวนี้จะใช้สำหรับการเตรียมตัวอย่างก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์หา IR spectrum ด้วยการ Transmission ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้แก่

ตัวอย่างเป็นของเหลว : สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

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



รูปที่ 2.16 การเตรียมตัวอย่างที่เป็นของเหลวโดยหยดบน KBr cell (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2556)

2) ทำการเติมตัวอย่างลงไปใน liquid cell แล้วนำไปใส่ในช่อง cell เพื่อทำการวัด

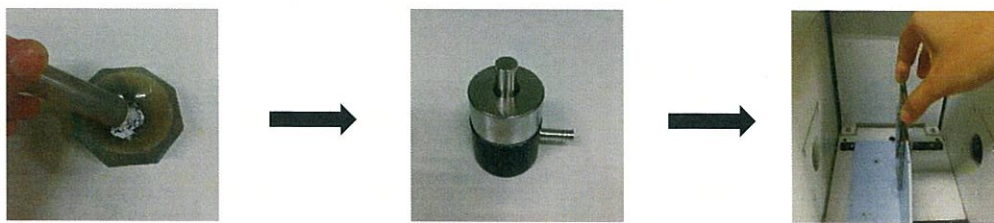


รูปที่ 2.17 การเตรียมตัวอย่างที่เป็นของเหลวโดยใช้ช่อง cell (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2556)

ตัวอย่างเป็นผงละเอียด : สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1. ตัวอย่างสามารถละลายตัวทำละลายได้หมด : ให้นำตัวอย่างไปละลายในตัวทำละลายแล้วทำการวัดเหมือนกับการวัดตัวอย่างที่เป็นของเหลว

2. ตัวอย่างที่ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายได้ : ให้นำตัวอย่างไปละลายใน Nujol แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปป้ายบน Cell หลังจากนั้นทำการวัดต่อไป ซึ่งแสดงได้ดังรูป

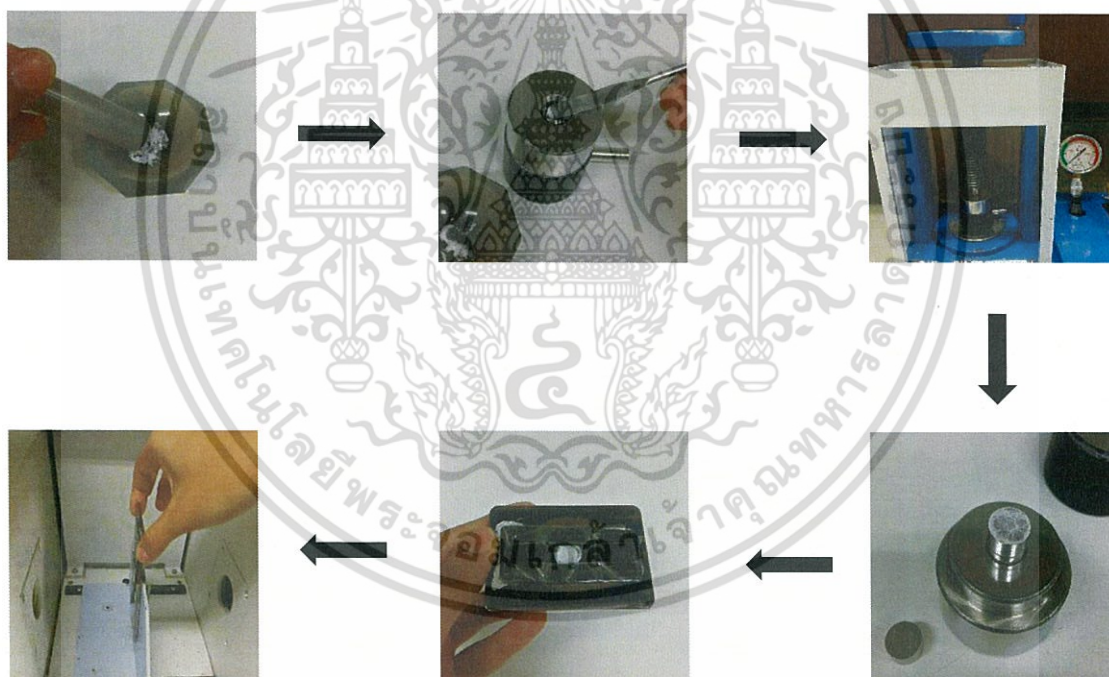


รูปที่ 2.18 การเตรียมตัวอย่างเป็นผงกับ Nujol (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สจล, 2559)

หมายเหตุ : วัสดุที่ใช้ทำอินฟราเรดเซลล์โดยทั่วไปจะใช้พวกอัลคาไลเฮไลต์ แต่สารเหล่านี้ดูดความชื้นได้ดี จะต้องเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เมื่อใช้ไปนานอาจจะเป็ผ้าได้

ตัวอย่างเป็นของแข็ง

สามารถเตรียมตัวอย่างโดยการนำตัวอย่างไปบดผสมกับ KBr (ควรใช้ตัวอย่างปริมาณ 1-5%) เมื่อตัวอย่างถูกบดผสมเข้ากับ KBr แล้วให้นำไปใส่ในเบ้าเพื่อที่จะนำไปอัดให้เป็นแผ่น หลังจากที่ได้ตัวอย่างเป็นแผ่นแล้วก็นำไปใส่ ในช่องใส่ตัวอย่างแล้วทำการวัดต่อไปซึ่งแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.19 การเตรียมตัวอย่างที่เป็นของแข็ง (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สจล, 2559)

ข้อดีของ FT-IR

1. ให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็วและมีความไวสูง
2. มีอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal-to-noise ratio : s/n) ต่ำ อัตรา s/n จะแปรผันกับรากที่สองของปริมาณสัญญาณที่ตรวจวัดได้ทั้งหมด
3. ความไวของเครื่องตรวจวัดสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่ม s/n ร่วมกับการเพิ่มจำนวนรอบของสแกนมีการใช้ circular optical aperture แทนที่ entrance slit ทำให้ลำรังสีมีขนาดมากกว่าแบบ Dispersive ถึง 75 -100 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
4. มีกำลังแสงสูงเหมาะสำหรับตัวอย่างหรือเทคนิคบางเทคนิคที่มีข้อจำกัดของกำลังแสง
ไม่ว่องไวใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. FT-IR ยังให้ประสิทธิภาพในการแยกสูงรวมทั้งมีความถูกต้องไม่ต่ำกว่า 0.01 cm^{-1} มีกลไกทำงานที่ง่าย

ข้อจำกัดของ FT-IR

ในการเตรียมตัวอย่างบางเทคนิคที่ต้องใช้สารละลายที่ยินยอมให้รังสีทะลุผ่านและตัวอย่างจะต้อง active ในช่วงอินฟราเรด และ เครื่องมือที่ใช้มีราคาค่อนข้างสูงและมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง

2.6.2 เครื่อง Ion Chromatography

Ion Chromatograph(IC) เป็นเทคนิคโครมาโตกราฟีอีกเทคนิคหนึ่งที่ใช้วิธีการแยกสารผสมในสภาวะการแตกตัวเป็นไอออน เช่นการวิเคราะห์โลหะในรูปประจุบวก และประจุลบ เช่น Na^+ K^+ Ca^{2+} Mg^{2+} Cl^- และ SO_4^{2-} เป็นต้น โดยอาศัยหลักการแลกเปลี่ยนประจุภายในคอลัมน์ ในระบบประกอบด้วยตัวพาซึ่งเป็นเฟสเคลื่อนที่ในที่นี้เรียกว่า Eluent ส่วนมากจะเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ ซึ่งเป็นตัวพาสารตัวอย่างเข้าสู่ Column (เฟสคงที่)ไอออนที่อยู่ในเฟสเคลื่อนที่และไอออนที่ต้องการแยกในสารตัวอย่างจะมีประจุตรงข้ามกับไอออนที่อยู่ผิวของเฟสคงที่ ไอออนในเฟสเคลื่อนที่และไอออนในสารตัวอย่างจะแข่งขันกันเข้าแลกเปลี่ยนกับประจุที่อยู่ผิวของเฟสคงที่จากนั้นสารจะผ่านเข้าสู่ตัวตรวจวัด ซึ่งสามารถทำนายชนิดของสารที่มีอยู่ในตัวอย่างได้จากการเปรียบเทียบระยะเวลาที่สารวิเคราะห์ในตัวอย่างออกเทียบกับเวลาของสารมาตรฐานที่ต้องการวิเคราะห์



รูปที่ 2.20 เครื่อง Ion Chromatography (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สจล., 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกศรา สงค์ประเสริฐ และคณะ ได้ทำการศึกษาผลกระทบของแสงแดดที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของขวดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (polyethylene terephthalate : PET) และของเหลวที่บรรจุอยู่ในขวด โดยได้ทำการศึกษาขวดน้ำ 3 ชนิด ได้แก่ ขวดน้ำดื่มขวดใส ขวดอัดลมขวดสีเขียว และขวดน้ำดื่มขวดสีชมพู ได้ทำการนำขวดทั้ง 3 ชนิดนี้โดยใช้ชนิดละ 5 ขวดไปวางบนดาดฟ้าตึกวิทยาศาสตร์เก่า ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อให้ขวดได้สัมผัสแสงแดดโดยตรง และอีกชนิดละ 1 ขวดนำไปเก็บในที่ที่ไม่โดนแสง โดยจะวางขวดไว้เป็นระยะเวลา 8 เดือน ตั้งแต่ 20 พฤษภาคม 2558–20 มกราคม 2559 ผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์ขวดพลาสติกโดยใช้เทคนิค FT-IR DSC และการทดสอบแรงดึงขวดพลาสติก PET พบว่าคุณสมบัติทางกายภาพของขวดน้ำที่นำไปวางบนดาดฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงทุกขวด นอกจากนี้ในส่วนหนึ่งของของเหลวได้มีการทดสอบหมู่คาร์บอนิลและ Tollent's reagent แสดงให้เห็นว่าพบหมู่ฟังก์ชัน aldehyde และ ketone ส่วน pH ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดและปริมาณไอออนในของเหลวก็มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน จากผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาที่แสงแดดสัมผัสกับขวด อุณหภูมิ และแหล่งที่มาของขวดน้ำที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งขวดพลาสติกและของเหลวภายในขวดพลาสติก

J.Nawrocki, A. Dabrowska and A.Borc (2002) ได้ทำการตรวจหาสารประกอบคาร์บอนิลในน้ำดื่ม โดยใช้น้ำแร่บรรจุขวดพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ทำการทดลองในประเทศโปแลนด์ โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography รุ่น GC6000 และ GC8000 จากการทดลองตัวอย่างน้ำบรรจุขวดพลาสติก PET พบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนิล มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับเวลาการเก็บและสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษาน้ำ แสงแดด และอุณหภูมิที่สูง มีผลต่อการย้ายของ Formaldehyde สูงที่สุด (มากกว่า 100 µg/L) ในตัวอย่างของน้ำแร่ และยังทราบว่า แม้ในน้ำที่ไม่มีสารอินทรีย์ยังพบ Formaldehyde, Acetaldehyde และ Acetone เกิดขึ้น ดังนั้นความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนรวม (TOC) ไม่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของคาร์บอนิลในน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติก PET

Elisabetta Ceretti และ คณะ (2009) ทำการตรวจหาสารเคมีก่อมะเร็ง genotoxic ได้ทำการเปรียบเทียบน้ำแร่ที่บรรจุในขวดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ในขวดแก้ว โดยใช้ น้ำแร่บรรจุในขวดพลาสติก PET และในขวดแก้ว 6 ยี่ห้อ เก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน ตามมาตรฐานการทดสอบและตามกฎระเบียบที่เกี่ยวข้องของสหภาพยุโรป EEC total วิเคราะห์โดยใช้ Gas Chromatography (GC) และ Mass spectrometry (MS) เป็นวิธีทางเคมีและชีวภาพ สามารถทดสอบความเป็นพิษ (Microtox test) และทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ โดยตรวจสอบสารที่ระเหยได้และสารไม่ระเหย ซึ่งทำการวิเคราะห์ไม่พบ phthalates หรือ acetaldehyde ในน้ำตัวอย่างที่จัดเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองนี้ไม่พบความเป็นพิษ ทั้งในน้ำที่บรรจุในขวดพลาสติก PET และในขวดแก้ว สรุปได้ว่าจากบรรจุภัณฑ์ของขวดทั้งสองประเภทที่เก็บไว้ในเตา ไม่มีผลต่อสมบัติของ genotoxic ในน้ำดื่มบรรจุขวด อาจมาจากแหล่งที่มาของน้ำ (แร่ธาตุ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์)

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 บรรจุน้ำดื่มจำนวน 16 ยี่ห้อ ใน Kurdistan ประเทศอิรัก โดยใช้วิธีมาตรฐานเปรียบเทียบผลที่ได้กับค่าที่รายงานบนฉลากและเปรียบเทียบกับค่าที่ World Health Organization (WHO) และ International Bottle Water Association (IBWA) กำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 4 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาและแสงแดด เป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเคมีกายภาพของน้ำภายในขวดพลาสติก PET



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและสารเคมี

3.1.1 วัสดุและสารเคมี

1. ขวดพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต Polyethylene terephthalate (PET) ได้แก่ ขวดน้ำดื่มขวดใส จำนวน 28 ขวด
2. ขวดแก้วประเภทโซดาไลม์ (Soda-lime glass) จำนวน 28 ขวด
3. สารละลาย 2, 4-Dinitrophenylhydrazine (2, 4-DNP)
4. สารละลาย ทอลเลนรีเอเจนต์ (Tollen's reagent)
 - สารละลายมาตรฐานโซเดียมออกซาลาเลท ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$)
 - กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)
 - สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4)
5. โพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr)
6. น้ำกลั่น
7. น้ำบริสุทธิ์สูง (Ultrapure Water)

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องฟูริเออร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FT-IR Spectroscopy) ของบริษัท Perkin Elmer รุ่น Spectrum GX
2. เครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ไอออนประจุบวก (Cation) และไอออนประจุลบ (Anion) (Ion Chromatography: IC) ยี่ห้อ Metrohm
3. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ยี่ห้อ Metrohm (Swiss mode)
4. เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity) ยี่ห้อ InoLab Cond Level 2
5. อ่างควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Memmert GmbH+ Co.KG Made in Germany อุณหภูมิ $95\pm 2^\circ\text{C}$
6. เครื่องชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) รุ่น CP224S ยี่ห้อ Statorius บริษัท SCIENTIFIC PROMOTION CO., LTD.

7. ตู้บกระดาษกรอง รุ่น 1350 FX ยี่ห้อ Shel lab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เครื่องแก้ว
9. หลอดฉีดยา (Syring)
10. เครื่องกรองแบบลดความดัน
11. กรวยบุชเนอร์ (buchner funnel)
12. ขวดลดความดัน (Suction flask)
13. กระดาษกรอง ยี่ห้อ Whatman เบอร์ 41, 42
14. ที่คีบพลาสติกและเหล็ก
15. อะลูมิเนียมฟรอยด์
16. กระจกนาฬิกา
17. เทอร์โมมิเตอร์
18. เตาให้ความร้อน (Hot Plate)
19. พาราฟิล์ม (Parafilm)

3.2 วิธีการทดลอง

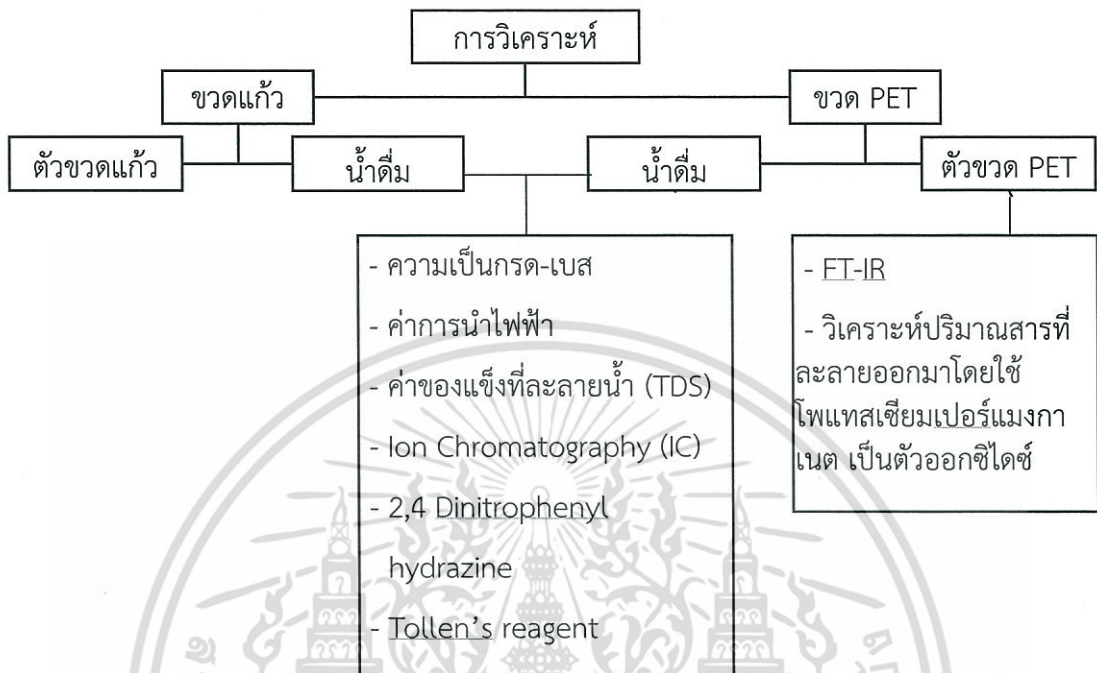
3.2.1 นำขวดบรรจุน้ำดื่มขวดพลาสติก PET และน้ำดื่มขวดแก้วชนิดละ 16 ขวด วางบนตาดฟ้าตึกวิทย์เก่าชั้น 5 คณะวิทยาศาสตร์ และนำไปเก็บไว้ในตู้เหล็กทึบแสง ตั้งแต่เดือน กรกฎาคม พ.ศ.2559 ถึงวันที่ พฤศจิกายน 2559

3.2.2 เมื่อครบเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ นำน้ำที่บรรจุขวดทั้งสองชนิด จากตาดฟ้าและที่เก็บไว้ในตู้เหล็กทึบแสง มาวิเคราะห์โดยเทน้ำออกจากขวด วัดค่าความเป็นกรด-เบส ค่าการนำไฟฟ้า ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) การทดสอบหาหมู่คาร์บอนิลด้วย 2, 4-Dinitrophenylhydrazine (2, 4-DNP) test การทดสอบด้วยทอลเรนซ์รีเอเจนต์ (Tollen's reagent test) การวิเคราะห์หาปริมาณไอออนโดยใช้เครื่อง Ion Chromatography (IC)

3.2.3 ส่วนที่เป็นเนื้อพลาสติกนำมาทดสอบด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) และวิเคราะห์ปริมาณสารที่สามารถละลายออกมาจากพลาสติกโดยใช้ โปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

3.3 การวิเคราะห์

การวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนของขวด PET และส่วนน้ำดื่มที่อยู่ในขวดขวด PET และขวดแก้ว



3.3.1 การวิเคราะห์ขวดพลาสติก

3.3.1.1 การทดสอบด้วยเทคนิค FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตรวจสอบโครงสร้างของสาร โดยวัดการดูดกลืนของรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรดในเลขคลื่น (wave number) $4000-400\text{ cm}^{-1}$

3.3.2.1 วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารที่ละลายออกมาโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นตัวออกซิไดซ์

1. ตัดตัวอย่างขวดพลาสติกขนาด $10 \times 10\text{ cm}^2$ ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 200 cm^3 พร้อมปิดจุก นำไปสกัดโดยแช่ใน water bath หรือ ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่มีอุณหภูมิ $95 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที (ทำแปลงค์โดยใช้น้ำกลั่นแทนเพียงอย่างเดียว)

2. นำสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้มา 100 cm^3 ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดเตกรดซัลฟิวริก(1+2) 5 cm^3 และปิเปตสารละลายมาตรฐาน KMnO_4 10 cm^3 นำไปต้มให้เดือดเป็นเวลา 5 นาที

3. ปิเปตสารละลายมาตรฐานโซเดียมออกซาลेट 10 cm^3 ทันที จะทำให้สีชมพูหายไป นำไปไทเทรตด้วย KMnO_4 จนถึงจุดยุติจะเกิดสีชมพูอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การวิเคราะห์น้ำดื่ม

3.3.2.1 การวัดค่าความเป็นกรด-เบส ของน้ำดื่มด้วยเครื่อง pH meter

วิธีทดสอบตัวอย่างทำได้โดย

- นำของเหลวที่ตั้งไว้กลางแจ้งและในที่มืด ทั้งที่เป็นขวดแก้วและพลาสติก เป็นเวลา 0,2,4,6,8,10 และ 12 สัปดาห์ นำมาวัดค่าความเป็นกรด-เบส ด้วยเครื่อง pH meter

3.2.2.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity)

3.2.2.2.1 การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

วิธีทดสอบตัวอย่างทำได้โดย

- นำของเหลวที่ตั้งไว้กลางแจ้งและในที่มืด ทั้งที่เป็นขวดแก้วและพลาสติก เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ นำมาวัดค่าการนำไฟฟ้า ด้วยเครื่องวัดการนำไฟฟ้า

3.2.2.2.2 การวิเคราะห์ค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (Total Dissolved Solids)

วิธีทดสอบตัวอย่างทำได้โดย

- นำของเหลวที่ตั้งไว้กลางแจ้งและในที่มืด ทั้งที่เป็นขวดแก้วและพลาสติก เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ มาทดสอบด้วยเครื่องวัดการนำไฟฟ้าเพื่อวัดค่าของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำ

3.2.2.3 การทดสอบด้วย 2, 4-Dinitrophenyl hydrazine (2, 4-DNP) test

วิธีทดสอบตัวอย่างทำได้โดย

- นำของเหลวที่ตั้งไว้กลางแจ้งและในที่มืด ทั้งที่เป็นขวดแก้วและพลาสติก เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ ตัวอย่างละ 10 มิลลิลิตร มาทดสอบด้วยการเติม 2, 4-Dinitrophenyl hydrazine (2, 4-DNP) จำนวน 2 มิลลิลิตร เขย่าและสังเกตปริมาณตะกอนสีส้มอมเหลืองที่เกิดขึ้น

- นำไปกรองด้วยเครื่องกรองลดความดัน นำตะกอนที่ได้ไปอบที่ตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศา เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมาชั่งน้ำหนักหาตะกอนที่เกิดขึ้น

3.2.2.4. การทดสอบแอลดีไฮด์ด้วย Tollen's reagent test

การทดสอบตัวอย่างทำได้โดย

- ในการทดลองนั้นหลอดที่ใช้ต้องแห้งและสะอาดเท่านั้น ใส่สารละลาย 10% AgNO_3 1.0 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองเติมสารละลายเจือจางของ NaOH 1 หยด จะเกิดตะกอนสีน้ำตาลของ Silver oxide (Ag_2O) ค่อยๆหยดสารละลายเจือจางของ NH_4OH จนกระทั่งตะกอนสีน้ำตาลหมดไปพอดี จะได้สารละลายใสเรียกว่า Tollen's reagent สมการเคมีที่เกิดขึ้น

- นำของเหลวที่ตั้งไว้กลางแจ้งและในที่มืด ทั้งที่เป็นขวดแก้วและพลาสติก เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ ใส่ในหลอดทดลองจำนวน 10 มิลลิลิตร

- หยดสารละลาย Tollen's reagent 5 หยด เขย่าสังเกตผล ถ้ายังไม่มี silver เคลือบที่ข้างในหลอด ให้นำไปอุ่นใน water bath สักครู่ และสังเกตผลที่ได้

3.2.2.5. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Ion Chromatography (IC)

วิธีทดสอบตัวอย่างทำได้โดย

- เตรียมน้ำตัวอย่างจากขวดพลาสติกและขวดแก้วที่ตั้งไว้กลางแดดและในที่มืดเป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ มาทดสอบโดยฉีดเข้าเครื่อง Ion Chromatography



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

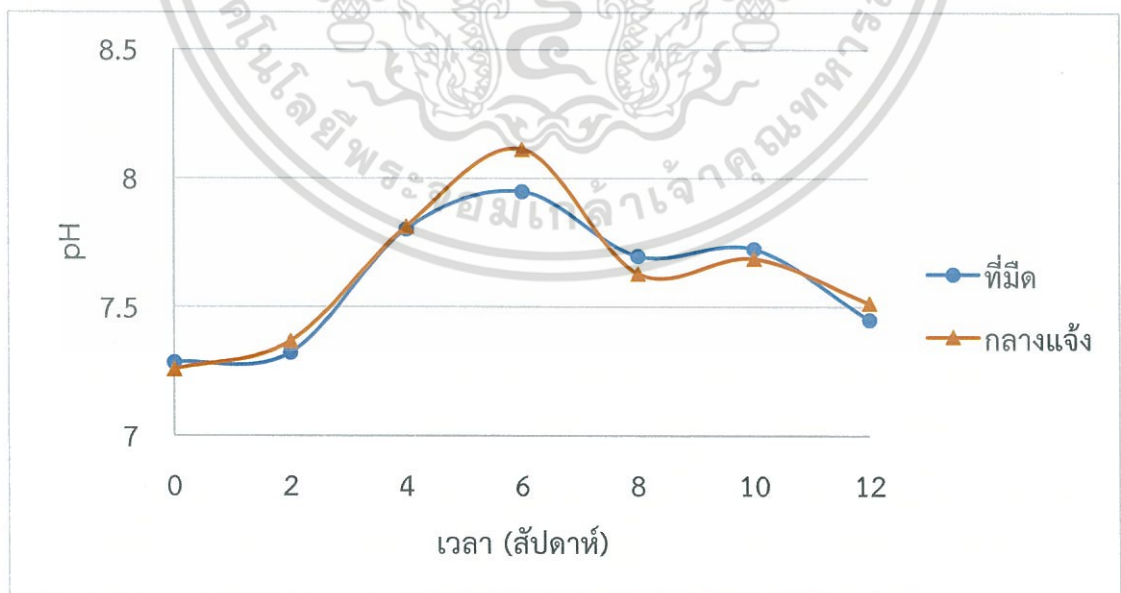
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของขวดพลาสติกบรรจุน้ำดื่มและของเหลวภายในบรรจุภัณฑ์น้ำดื่มทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ น้ำดื่มบรรจุขวดแก้ว และน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติก PET โดยนำส่วนของน้ำดื่มมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ค่าของแข็งที่ละลายในน้ำ วิเคราะห์หาปริมาณไอออนบวกและไอออนลบโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ไอออน (Ion Chromatography : IC) และทดสอบหาหมู่คาร์บอนิลด้วย 2,4-DNP และทดสอบหมู่แอลดีไฮด์ด้วย Tollen's reagent ทั้งในที่มืดและกลางแจ้ง ในส่วนของเนื้อพลาสติกมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูรีเออร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FT-IR Spectroscopy) การหาปริมาณสารที่ละลายออกมาจากเนื้อพลาสติกโดยใช้โพแทสเซียม-เปอร์แมงกาเนตมาไทเทรต

4.1 การวิเคราะห์น้ำดื่ม

4.1.1 ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ของน้ำ

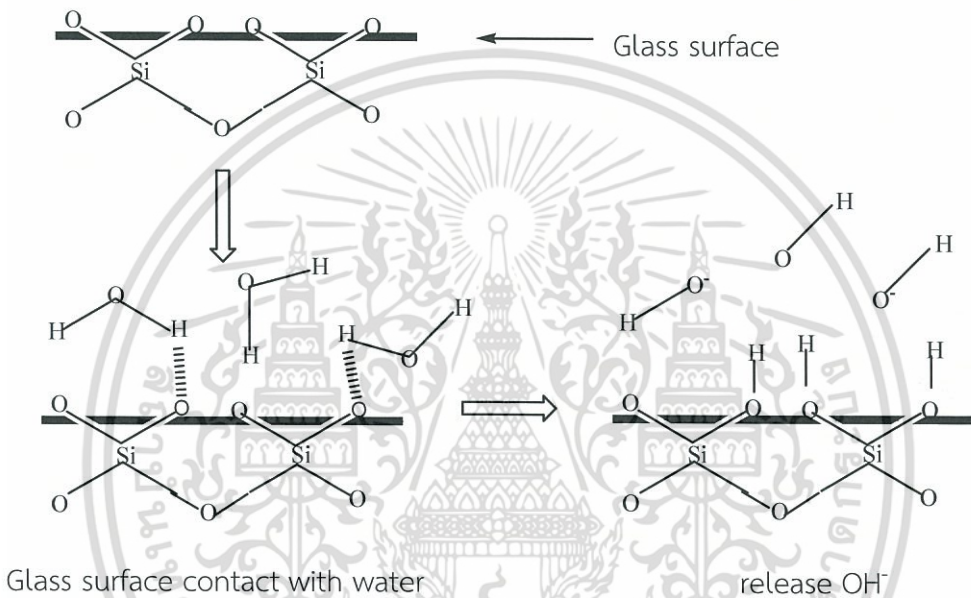
เนื่องจาก pH ของน้ำดื่มมีความสำคัญต่อสุขภาพของผู้บริโภค จึงวิเคราะห์ pH ของน้ำดื่มหลังวางไว้ในที่มืดและกลางแจ้งตามระยะเวลาที่ทำการทดลองได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.1 ค่า pH ของน้ำดื่มที่บรรจุในขวดแก้วเมื่อวางไว้ในที่มืดและกลางแจ้ง

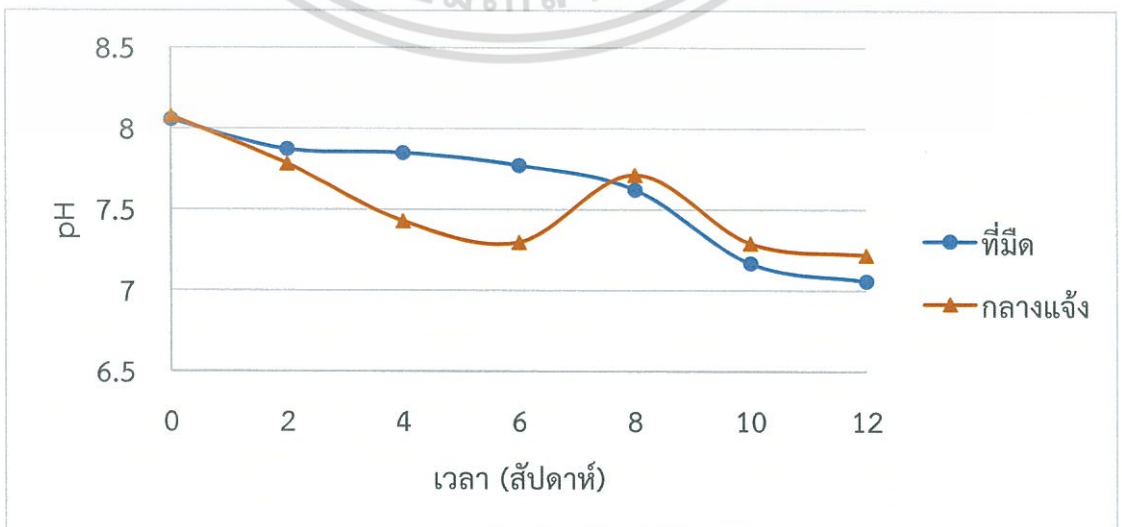
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อวางขวดแก้วไว้ในที่มืดและที่กลางแจ้งเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ค่า pH ของน้ำดื่มบรรจุขวดแก้วที่วางไว้ในที่มืดมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 7.29 ไปเป็น 7.45 และเมื่อวางขวดแก้วไว้ที่กลางแจ้งค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 7.26 ไปเป็น 7.52 แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำดื่มที่วางไว้ในที่กลางแจ้งมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าเมื่อวางไว้ในที่มืด นอกจากนี้พบว่า น้ำดื่มที่เก็บในขวดแก้วเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ จะมีความเป็นเบสเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสัปดาห์แรก เพราะ เกิด OH⁻ ขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งอาจมีผลมาจากผิวแก้วที่สัมผัสน้ำ ความร้อนจากแสงแดดอาจกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้ดีขึ้นในที่สว่าง ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ภาพผิวแก้ว (SiO₂) ทำปฏิกิริยากับน้ำ แล้วเกิดไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻)

ผลการทดลองของค่า pH ของน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติก PET เมื่อวางไว้ในที่มืดและที่กลางแจ้งเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด รูปที่ 4.3 ค่า pH ของน้ำดื่มที่บรรจุในขวดพลาสติก PET เมื่อวางไว้ในที่มืดและที่กลางแจ้ง ไปใช้

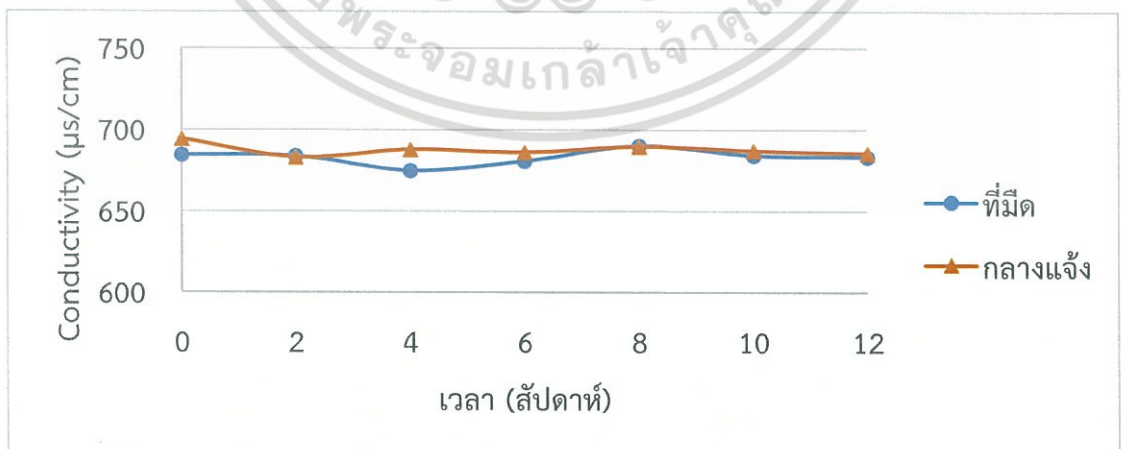
จากรูปที่ 4.3 พบว่าค่า pH ของน้ำดื่มบรรจุขวดขวดพลาสติก PET มีค่าลดลงจาก 8.06 ไปเป็น 7.06 เมื่อวางขวดพลาสติกในที่มืด และมีค่า pH ลดลงจาก 8.08 ไปเป็น 7.22 เมื่อวางขวดพลาสติกไว้กลางแจ้ง แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำดื่มที่วางไว้ที่กลางแจ้งมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าเมื่อวางไว้ในที่มืด ซึ่งน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติก PET วางไว้กลางแจ้งและในที่มืดเป็นเวลานานจะมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น เนื่องจากพลาสติก PET เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจาก Terephthalic acid กับ Ethylene glycol ปลายโซ่พอลิเมอร์ด้านหนึ่งมีหมู่กรดคาร์บอกซิลิก (-COOH) ซึ่งอาจทำปฏิกิริยากับไอออนประจุบวกในน้ำดื่ม และปลดปล่อย H^+ ออกมา ดังสมการที่ 4.1



เนื่องจากน้ำดื่มในขวดแก้ว และขวดพลาสติกมีแหล่งที่มาของน้ำดิบต่างกัน จึงมีตัวแปรหลายตัวที่ไม่สามารถเปรียบเทียบค่าได้โดยตรง อย่างไรก็ตามผลการทดลองทำให้ทราบว่า pH ของน้ำในบรรจุภัณฑ์ทั้งแก้ว และพลาสติกล้วนเกิดการเปลี่ยนแปลง ไม่ว่าจะวางในที่มืดหรือที่กลางแจ้ง จากรูปที่ 4.1 และ 4.3 พบว่าขวดแก้วมีการเปลี่ยนแปลง pH น้อยกว่าขวดพลาสติก PET และผลการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำดื่มทั้งสองชนิดในตลอดช่วงการทดลอง ค่า pH ของน้ำดื่มยังคงอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มบรรจุภาชนะปิดสนิท(กระทรวงสาธารณสุข) คือ 6.5-8.5

4.1.2 ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

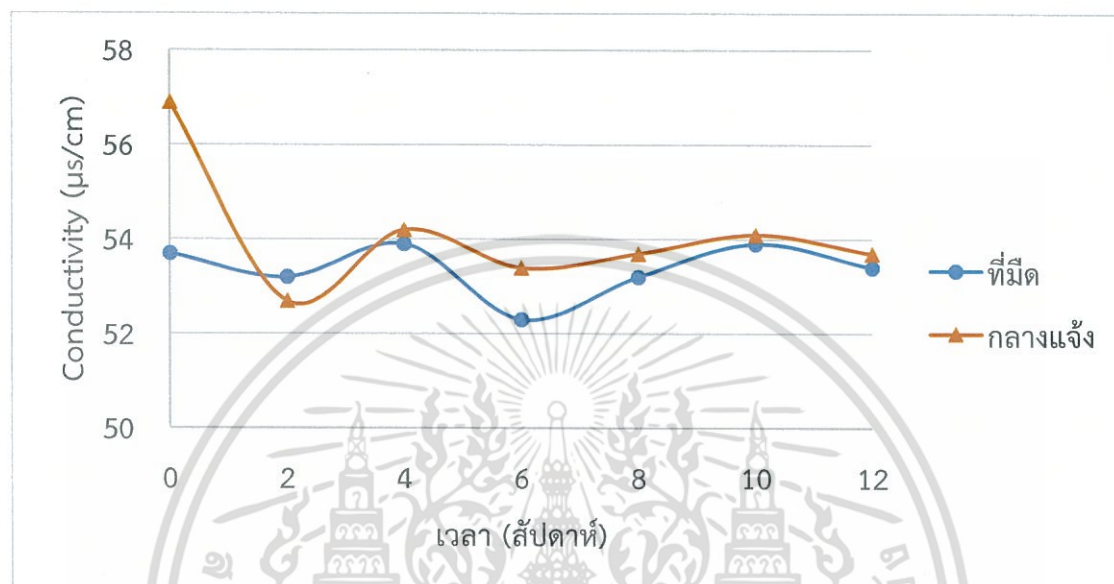
การนำไฟฟ้า (Conductivity) เป็นวิธีวัดความสามารถของน้ำในการส่งกระแสไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากการมีสารประกอบอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ การนำไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอีกด้วย ถ้าอุณหภูมิสูงค่าการนำไฟฟ้าก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ในการทดลองนี้วัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติก PET และขวดแก้ว ตั้งไว้กลางแจ้งและในที่มืดในระยะเวลา 12 สัปดาห์ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำดื่มที่บรรจุในขวดแก้วเมื่อวางไว้ในที่มืดและกลางแจ้ง

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า น้ำดื่มขวดแก้วที่วางกลางแจ้ง ให้ค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าในที่มืด ตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลอง อย่างไรก็ตาม ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.4 แสดงให้เห็นว่าค่าการนำไฟฟ้าของน้ำดื่มในขวดแก้วที่วางกลางแจ้ง มีค่าสูงกว่าน้ำดื่มในขวดแก้วที่วางในที่มืดเล็กน้อย อาจเนื่องจากความร้อนจากแสงแดดทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างอนินทรีย์กับสารที่ละลายน้ำ ทำให้ความสามารถในการนำไฟฟ้าสูงขึ้น จึงแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของแสงแดดมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของน้ำดื่ม



รูปที่ 4.5 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำดื่มที่บรรจุในขวดพลาสติก PET เมื่อวางไว้ในที่มืดและกลางแจ้ง

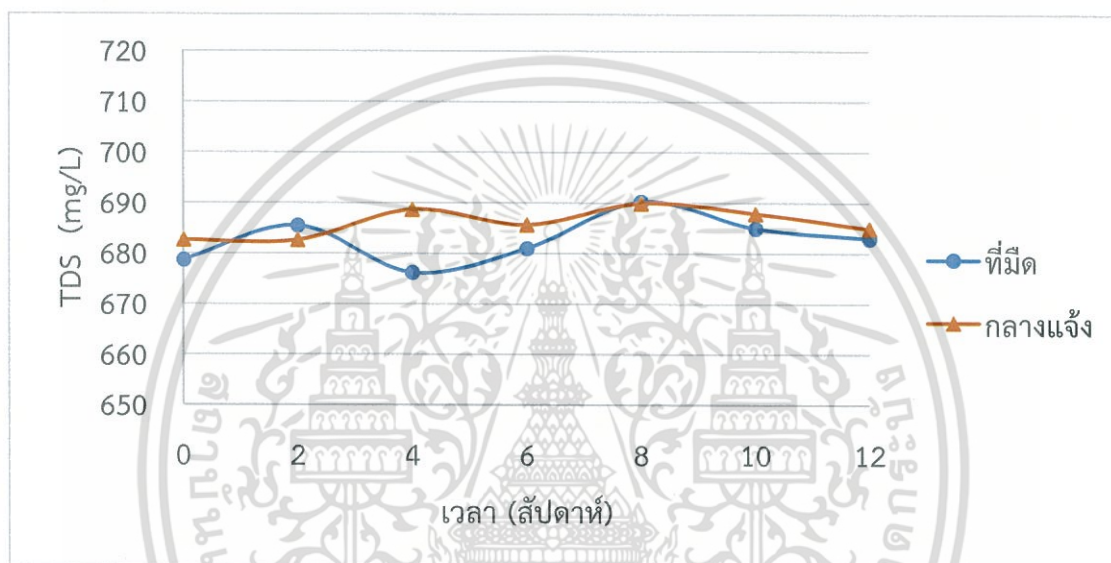
จากรูป 4.5 แสดงให้เห็นว่า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำดื่มในขวดพลาสติกที่วางกลางแจ้งมีค่าสูงกว่า ในขวดพลาสติกที่วางในที่มืดเล็กน้อยตลอดเวลาที่ทำการทดลอง เหตุผลเช่นเดียวกับที่อธิบายแล้วในกรณีของน้ำดื่มบรรจุขวดแก้ว

เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของแสงแดดพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในขวดพลาสติก PET เมื่อวางในที่มืดลดลงน้อยกว่าเมื่อวางไว้กลางแจ้ง แสดงให้เห็นอิทธิพลของแสงแดดที่มีต่อค่าการนำไฟฟ้าของน้ำดื่ม

ผลการทดลองจากรูป 4.4 และ 4.5 แสดงว่า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำดื่มเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแสงแดด ไม่ว่าจะอยู่ในบรรจุภัณฑ์แก้วหรือพลาสติก PET ก็ตาม

4.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณของแข็ง (Total Dissolved Solid TDS)

ปริมาณของของแข็งที่แขวนลอยหรือละลายอยู่ในน้ำรวมถึงไอออน แร่ธาตุเกลือหรือโลหะละลายในปริมาณที่กำหนดของน้ำแสดงในหน่วยของมิลลิกรัมต่อหน่วยปริมาตรของน้ำ(มิลลิกรัม/ลิตร) TDS จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับความบริสุทธิ์ของน้ำและคุณภาพของระบบการทำน้ำให้บริสุทธิ์และมีผลต่อทุกอย่างที่กินอาศัยอยู่ในหรือใช้น้ำไม่ว่าจะเป็นอินทรีย์หรืออนินทรีย์ โดยทำการทดสอบของเหลวที่อยู่ในขวดแก้วและขวดพลาสติก PET เมื่อวางไว้ในที่มืดและกลางแจ้งเป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ พบปริมาณของแข็งที่แขวนลอยหรือละลายอยู่ในน้ำดังในรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของน้ำดื่มที่บรรจุในขวดแก้วเมื่อวางไว้ในที่มืดและกลางแจ้ง

การประมวลค่า TDS สามารถบอกได้ว่าน้ำนั้นมีรสชาติขมหรือเค็ม TDS เป็นผลรวมของไอออนประจุบวกและประจุลบที่อยู่ในน้ำ เป็นการวัดคุณภาพของไอออน นอกจากนี้ยังสื่อในเรื่องความกระด้างของน้ำ รสชาติ และสมบัติการกัดกร่อน

ความเข้มข้นของ TDS จะสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ แต่ไม่ได้สัมพันธ์โดยตรง ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของประจุบวกและประจุลบในน้ำ และวัตถุที่แขวนลอยในน้ำ (suspended material)

ระดับ TDS ในน้ำดื่มที่ยอมรับได้ หน่วย mg/L (waterindex, 2007)

Less than 300	:	Excellent
300 – 600	:	Good
600 – 900	:	Fair

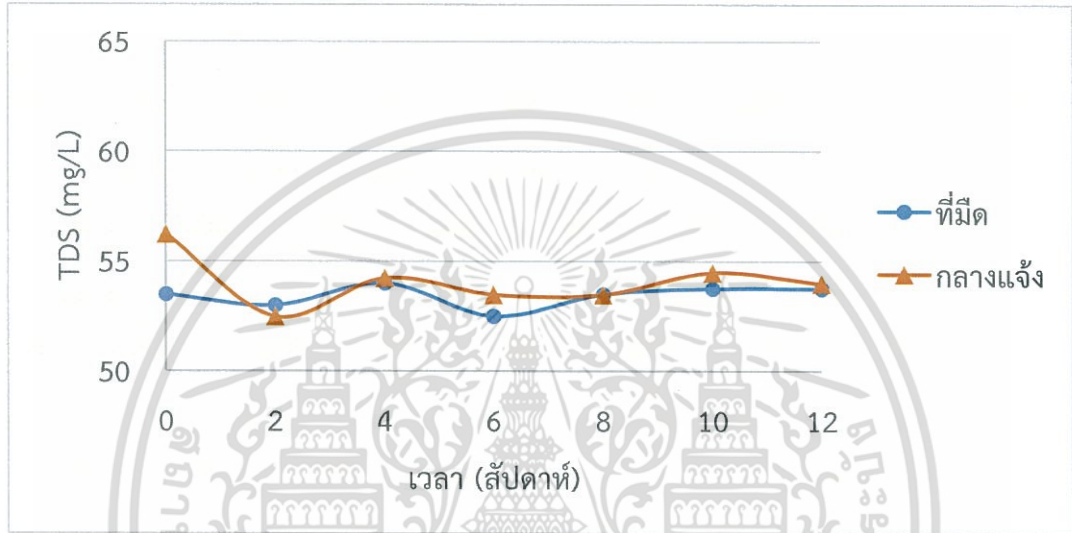
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 900 – 1,200 : Poor
 ไม่ควรดื่มทุกวัน ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Above 1,200

:

Unacceptable

จากรูปที่ 4.6 พบว่าค่า TDS จากน้ำดื่มบรรจุขวดแก้วมีค่าในช่วง 678 - 690 mg/L เมื่อวางไว้ในที่มืด และมีค่าอยู่ในช่วง 682 - 685 mg/L เมื่อวางไว้กลางแจ้ง เปลี่ยนแปลงในทางที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ตลอด 12 สัปดาห์ที่ทำการทดลอง เมื่อเทียบกับค่า TDS ในน้ำดื่มที่ยอมรับได้พบว่ายู่ในเกณฑ์พอใช้ TDS ของน้ำดื่มที่วางไว้กลางแจ้งสูงกว่าน้ำดื่มที่วางไว้ในที่มืด การเปลี่ยนแปลงคล้ายกับค่าการนำไฟฟ้า



รูปที่ 4.7 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของน้ำดื่มที่บรรจุในพลาสติก PET เมื่อวางไว้ในที่มืดและกลางแจ้ง

จากรูปที่ 4.7 พบว่าค่า TDS จากน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติก PET มีค่าในช่วง 52 - 54 mg/L เมื่อวางไว้ในที่มืด และมีค่าอยู่ในช่วง 56 - 53 mg/L เมื่อวางไว้กลางแจ้ง เปลี่ยนแปลงในทางที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอด 12 สัปดาห์ที่ทำการทดลอง เมื่อเทียบกับค่า TDS ในน้ำดื่มที่ยอมรับได้พบว่ายู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม (waterindex, 2007)

TDS เป็นค่าที่ควรคงที่หากน้ำมาจากแหล่งเดียวกัน จากการทดลองพบว่า TDS ของน้ำในขวดพลาสติก PET มีค่าค่อนข้างคงที่ ไม่ว่าจะวางไว้ในที่มืดหรือกลางแจ้ง อาจเนื่องจากพลาสติกเป็นฉนวนความร้อน การส่งผ่านความร้อนจากพลาสติกสู่น้ำที่บรรจุจึงทำได้ยาก ดังนั้นจึงไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน

จากรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 พบว่า TDS ของน้ำดื่มในขวดแก้วเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาทดลอง และการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนในน้ำดื่มบรรจุขวดแก้ว ทั้งที่วางไว้ในที่มืดและกลางแจ้ง อาจเนื่องจาก TDS เริ่มต้นของน้ำในขวดแก้วมีค่ามากกว่า

4.1.4 การวิเคราะห์หาปริมาณไอออนด้วยเทคนิค Ion Chromatography (IC)

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของไอออนประจุบวกและไอออนประจุลบที่ตรวจพบในน้ำบรรจุขวดแก้ว

สถานที่เก็บตัวอย่าง	เวลา (สัปดาห์)	Na ⁺ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	ผลรวมไอออนประจุลบ
ที่มีด	0	32.17	1.06	3.52	0.45	30.84	35.87
	2	11.80	2.85	-	-	-	2.85
	4	27.46	1.10	3.66	0.49	30.89	36.14
	6	64.94	2.85	-	0.47	-	3.32
	8	48.69	2.84	-	0.49	30.84	34.17
	10	67.84	1.28	3.83	0.55	32.96	38.61
	12	68.23	1.31	3.84	0.54	33.14	38.83
กลางแจ้ง	2	66.21	1.07	3.71	0.49	31.67	36.93
	4	55.50	0.67	3.68	0.49	30.44	35.26
	6	62.06	2.99	-	-	-	2.99
	8	55.49	3.00	-	-	-	3.00
	10	57.78	1.07	3.76	0.47	30.71	36.02
	12	70.56	1.34	4.14	0.53	33.15	39.15
	14	69.73	1.25	3.84	0.51	32.22	37.82

จากตารางที่ 4.1 พบว่าปริมาณไอออนประจุบวก (Na⁺) และปริมาณไอออนประจุลบ (F⁻, Cl⁻, NO₃⁻ และ SO₄²⁻) เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา 12 สัปดาห์ที่ทำการทดลอง การเปลี่ยนแปลงปริมาณไอออนต่างๆนี้ พบทั้งในที่มีดและกลางแจ้ง ไอออนประจุบวก (Na⁺) มีปริมาณที่วัดได้เมื่อสิ้นสุดสัปดาห์ที่ 12 สูงกว่าสัปดาห์แรกโดยเฉพาะขวดน้ำดื่มที่วางไว้ในที่มีด

เนื่องจากแก้วที่ใช้ทำขวดบรรจุน้ำดื่มผลิตจากแก้วชนิดโซดาไลม์มีองค์ประกอบของโซเดียมเมื่อสัมผัสน้ำเป็นเวลานาน อาจมีไอออนของโซเดียมออกมาได้ จึงส่งผลให้ปริมาณของไอออนประจุบวกเพิ่มขึ้น

สำหรับไอออนประจุลบ (F⁻, Cl⁻, NO₃⁻ และ SO₄²⁻) ในบางช่วงเวลาทำการทดลองไม่สามารถวัดปริมาณไอออนได้ อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่า ผลรวมปริมาณไอออน (ในกรณีมีค่า F⁻, Cl⁻, NO₃⁻ และ SO₄²⁻ ครบทุกสัปดาห์) มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตั้งแต่สัปดาห์แรกถึงสัปดาห์ที่ 12 โดยผลรวมของไอออนประจุลบอยู่ในช่วง 35.87- 38.83 mg/L เมื่อวางไว้ในที่มีด และอยู่ในช่วง 36.93 – 37.82 mg/L เมื่อวางไว้กลางแจ้ง จากผลการเพิ่มขึ้นของไอออนลบไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจน จึงต้อง

ทำการศึกษาค้นคว้าต่อไปว่าแก้วสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของไอออนประจุบวกและไอออนลบที่ตรวจพบในน้ำบรรจุพลาสติก PET

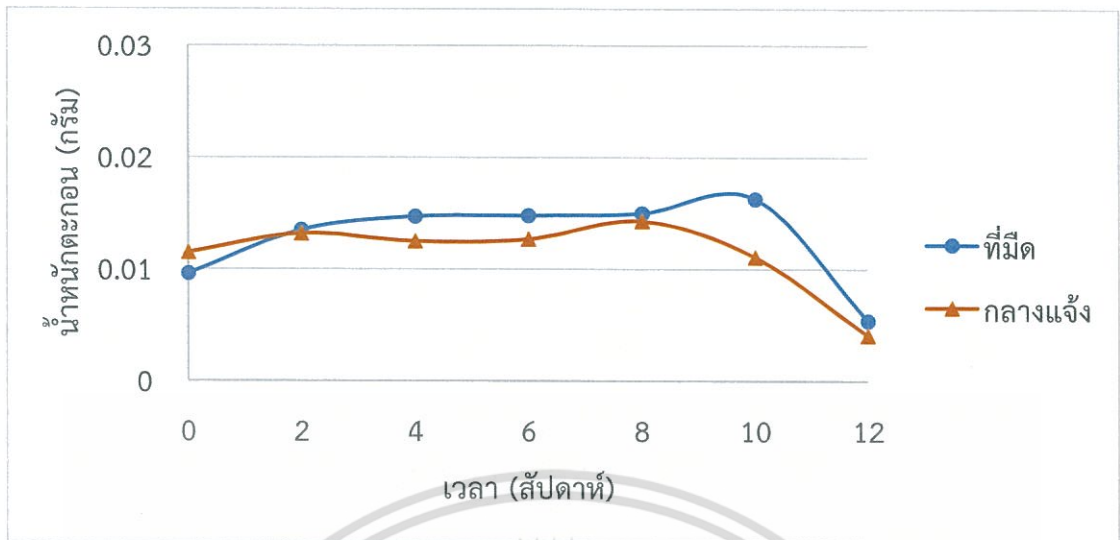
สถานที่เก็บตัวอย่าง	เวลา (สัปดาห์)	Na ⁺ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	ผลรวมไอออนประจุลบ
ที่มืด	0	7.25	-	0.33	0.16	1.24	1.73
	2	6.59	0.44	0.06	-	-	0.50
	4	3.67	0.03	0.37	-	1.17	1.57
	6	4.05	0.01	0.24	0.08	1.30	1.64
	8	0.96	-	0.23	-	1.09	1.31
	10	7.55	0.02	0.59	0.21	1.62	2.08
	12	5.77	0.05	0.62	0.09	1.27	2.03
กลางแจ้ง	0	5.74	-	0.26	0.12	1.20	1.59
	2	4.68	0.03	0.31	-	1.18	1.53
	4	6.91	0.02	0.30	0.13	1.17	1.62
	6	3.63	0.07	0.32	0.12	1.36	1.87
	8	5.58	0.07	0.35	0.06	1.45	1.94
	10	7.21	0.20	0.56	0.09	1.34	2.19
	12	5.38	0.09	0.42	0.11	1.08	1.70

จากตารางที่ 4.2 ขวดพลาสติก PET เมื่อวางในที่มืดเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ปริมาณโซเดียมไอออนลดลงจาก 7.25 เป็น 5.77 และในที่กลางแจ้งลดลงจาก 5.74 เป็น 5.38 อาจเนื่องจากพลาสติก PET สามารถดูดซับโซเดียมไอออนได้ เพราะน้ำดื่มในขวดพลาสติก PET มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นดังได้อธิบายในหัวข้อ 4.1 นั่นคือเกิดหมู่ COO⁻ ซึ่งสามารถจับโซเดียมไอออนได้ จึงส่งผลให้ปริมาณโซเดียมไอออนของน้ำดื่มในขวดพลาสติก PET ลดลง

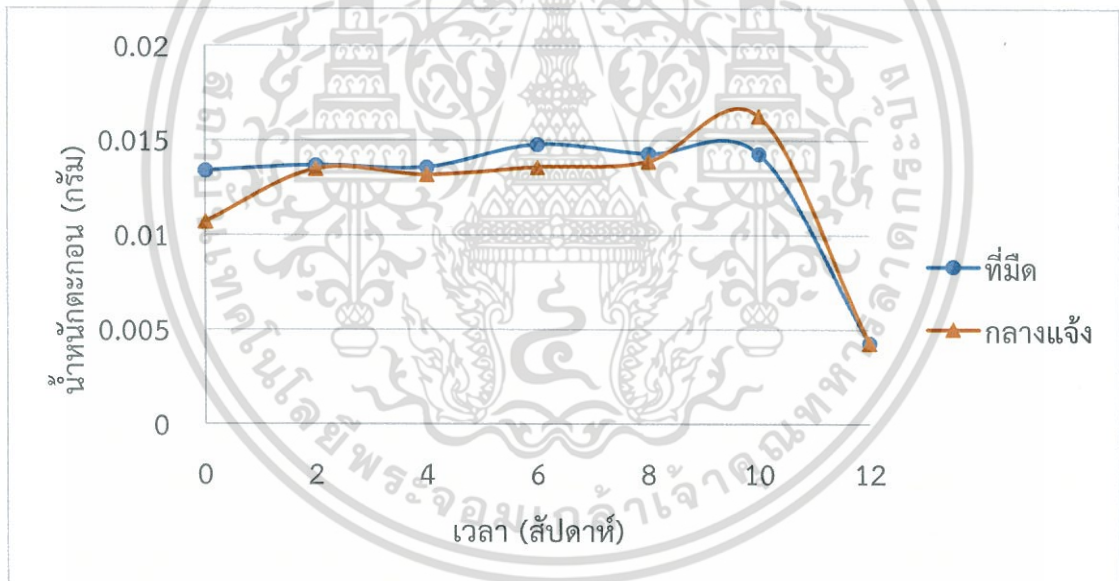
สำหรับไอออนประจุลบ (F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, และ SO₄²⁻) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกับน้ำดื่มบรรจุขวดแก้ว

เนื่องจากน้ำที่บรรจุขวดพลาสติก PET และบรรจุขวดแก้วนั้นมีแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน และผ่านกระบวนการกรองมาแล้ว ทำให้ปริมาณไอออนประจุบวกและประจุลบของน้ำบรรจุขวดพลาสติก PET มีค่าน้อยกว่าน้ำดื่มบรรจุขวดแก้ว เมื่อพิจารณาผลรวมไอออนประจุลบ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยซึ่งไอออนประจุลบสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าและค่า TDS ซึ่งเปลี่ยนแปลงน้อยมากเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ค่าปริมาณตะกอน 2,4 -Dinitrophenylhydrazine ของน้ำดื่มที่บรรจุในขวดแก้ว เมื่อวางไว้ในที่มืดและกลางแจ้ง



รูปที่ 4.11 ค่าปริมาณตะกอน 2,4 -Dinitrophenylhydrazine ของน้ำดื่มที่บรรจุในขวดพลาสติก PET เมื่อวางไว้ในที่มืดและกลางแจ้ง

จากรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 พบว่าปริมาณตะกอน 2,4-Dinitrophenylhydrazine ที่เกิดในน้ำดื่มบรรจุขวดแก้ว และขวดพลาสติก PET มีสารอินทรีย์ประเภทแอลดีไฮด์หรือคีโตนน้อยมาก การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์ที่มีหมู่แอลดีไฮด์หรือคีโตน มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา 12 สัปดาห์ การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์ที่มีหมู่แอลดีไฮด์หรือคีโตนเกิดขึ้นใกล้เคียงกันทั้งในที่มืดและกลางแจ้ง การลดลงของสารอินทรีย์ที่มีหมู่แอลดีไฮด์หรือคีโตน อาจมีผลเนื่องจากเกิดการระเหยระหว่างการศึกษาหรือจุลินทรีย์ในน้ำเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารอินทรีย์อื่น แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก 2, 4-Dinitrophenyl hydrazine จะทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลของทั้งแอลดีไฮด์และคีโตนจึงทำการทดลองโดยใช้ Tollen's reagent ด้วยเพื่อให้ทราบว่ามีการเกิดแอลดีไฮด์อยู่จริง

4.1.5.1 การทดสอบหมู่ aldehyde ด้วย Tollen's reagent

การทดสอบนี้แสดงผลเฉพาะหมู่แอลดีไฮด์ทั้งที่เป็นอะลิฟาติกและอะโรมาติกแอลดีไฮด์ โดยจะเกิด โลหะเงินฉาบที่ผนังด้านในของหลอดทดลอง มีลักษณะคล้ายกระจกเงาเรียกว่า silver mirror



สัปดาห์ที่ 0 สัปดาห์ที่ 2 สัปดาห์ที่ 4 สัปดาห์ที่ 6 สัปดาห์ที่ 8 สัปดาห์ที่ 10 สัปดาห์ที่ 12

รูปที่ 4.12 ผลการทดลองของน้ำส้มในขวดแก้วที่นำไปวางไว้ในที่มีมืด



สัปดาห์ที่ 0 สัปดาห์ที่ 2 สัปดาห์ที่ 4 สัปดาห์ที่ 6 สัปดาห์ที่ 8 สัปดาห์ที่ 10 สัปดาห์ที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.13 ผลการทดลองของน้ำส้มขวดแก้วที่นำไปวางไว้กลางแจ้ง ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สัปดาห์ที่ 0 สัปดาห์ที่ 2 สัปดาห์ที่ 4 สัปดาห์ที่ 6 สัปดาห์ที่ 8 สัปดาห์ที่ 10 สัปดาห์ที่ 12
รูปที่ 4.14 ผลการทดลองน้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่นำไปวางไว้ในที่มืด

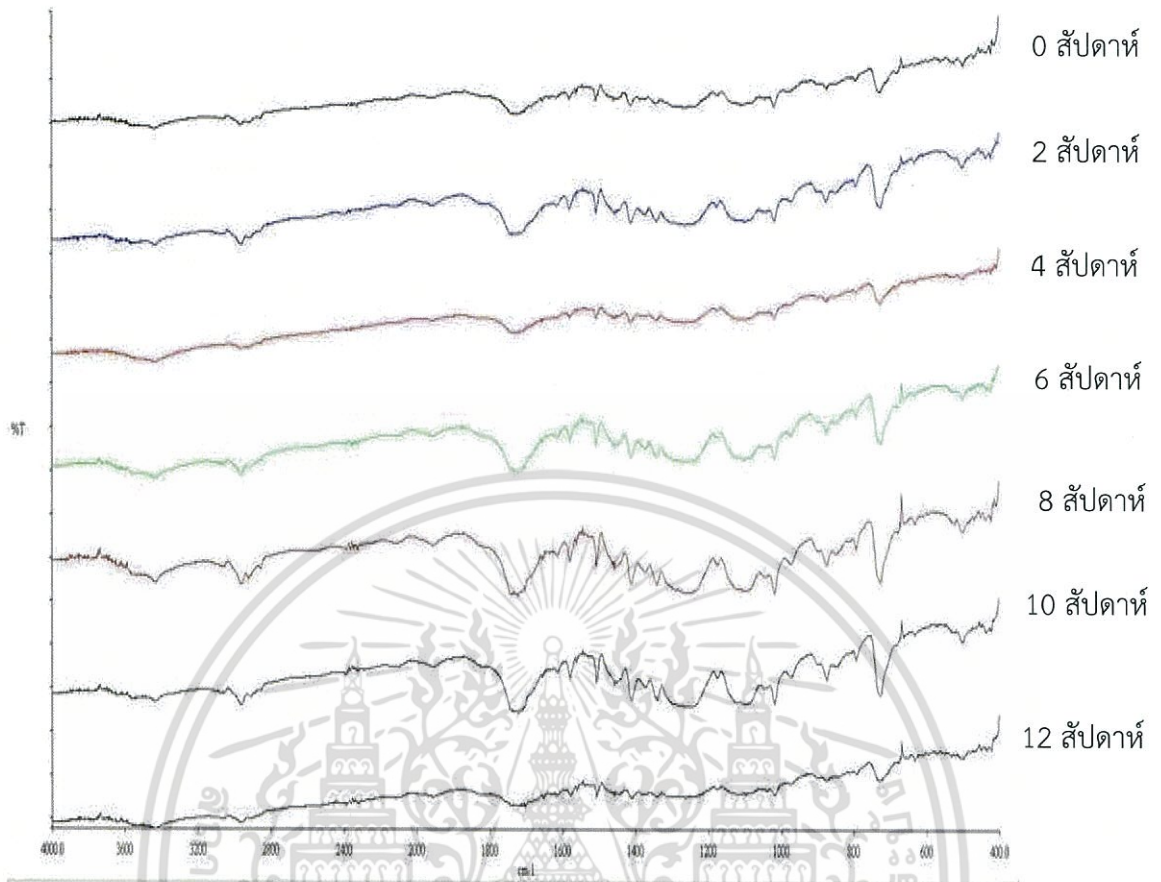


สัปดาห์ที่ 0 สัปดาห์ที่ 2 สัปดาห์ที่ 4 สัปดาห์ที่ 6 สัปดาห์ที่ 8 สัปดาห์ที่ 10 สัปดาห์ที่ 12

รูปที่ 4.15 ผลการทดลองน้ำดื่มขวดพลาสติกที่ PET นำไปวางไว้กลางแจ้ง

การทดสอบด้วย Tollen's reagent เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันว่า น้ำดื่มขวดแก้ว และขวดพลาสติก PET ที่นำไปวางไว้ในที่มืด และวางไว้กลางแจ้ง มี acetaldehyde หรือสารประเภทแอลดีไฮด์ จากการทดลองพบว่าใน สีของน้ำดื่มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ไม่เกิดคราบโลหะเงิน น้ำเปลี่ยนเป็นสีเทา แสดงว่าในน้ำดื่มไม่มีหมู่แอลดีไฮด์ หรือมีในปริมาณน้อยมาก ถ้าเป็นแอลดีไฮด์ $[-C(O)H]$ จะถูกออกซิไดส์เป็นคาร์บอกซิเลต ($-COOH$) และทำให้ Ag^+ ใน Tollen's reagent ถูกรีดิวซ์ไปเป็นโลหะเงิน (Ag^0) ดังแสดงในสมการที่ 4.2 เกาะติดอยู่ที่ผนังด้านในของภาชนะมีลักษณะคล้ายกระจกเงา (silver mirror) สมการแสดงปฏิกิริยาดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ FT-IR ของขวดพลาสติก PET เมื่อนำไปวางไว้กลางแจ้ง

จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 แสดงผลการวิเคราะห์พื้นผิวด้านนอกของขวดพลาสติก PET พบว่า ขวดพลาสติก PET ทั้งที่ตั้งไว้กลางแจ้ง และในที่มืด แสดงพีกหมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์และกรดในช่วงเลขคลื่น $1740-1720\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งพีกนี้ชัดเจนมากขึ้นเมื่อวางขวดไว้กลางแจ้งเป็นเวลานาน แสดงว่าโครงสร้างพลาสติก PET เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ผลการทดลองคล้ายกับที่มีผู้รายงานมาก่อน (เกศรา และคณะ, 2558 ; ณีทกาญจน์ , 2557)

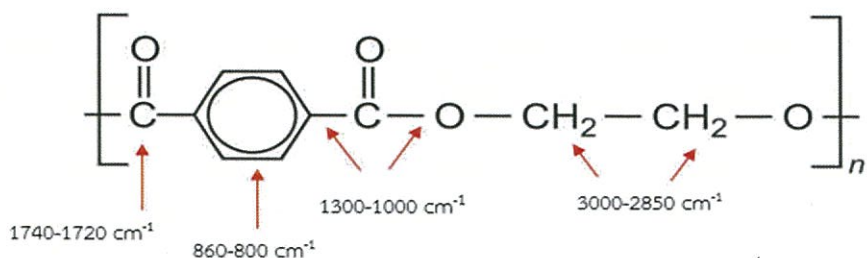
เนื่องจากพลาสติก PET เป็นพลาสติกที่เกิดจากการสังเคราะห์โดยกลไกการควบแน่น จึงอาจเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจากน้ำฝน ไอน้ำ และความชื้นในอากาศ ซึ่งยืนยันว่าผิวขวดด้านนอกมีการเปลี่ยนแปลงด้วยการใช้เทคนิค SEM ส่องดูผิวด้านนอก (ณีทกาญจน์ , 2557)

ผลการวิเคราะห์ขวดพลาสติกที่ตั้งไว้ในที่มืดและกลางแจ้งเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 หมู่ฟังก์ชันที่พบในขวดพลาสติก

ประเภท	หมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น(cm^{-1})	หมายเหตุ
แอลเคน อะโรมาติก (stretch) (out of plane bend)	C - H	3000 - 2850 3150 - 3050 900 - 690 2900 - 2800	ความเข้มสูง
เอสเทอร์	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{-C-OR} \end{array}$	1740 - 1720	ความเข้มสูง
คีโตนและแอลดีไฮด์	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{C-R, -C-H} \end{array}$	1725 - 1705	ความเข้มสูง
กรดคาร์บอนิล	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C-OH} \end{array}$	1700 - 1690	ความเข้มสูง
แอลกอฮอล์	O-H	3500 - 3200	ความเข้มสูงและกว้าง
กรด	OH in of plane bending OH aliphatic	920 1400 3640	ความเข้มปานกลางและกว้าง
อีเทอร์	C-O-C	1300-1000	ความเข้มปานกลางถึงเข้มอาจมีมากกว่าหนึ่งแถบ
เอสเทอร์	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C-O-C} \end{array}$		
วงเบนซีนมีหมู่แทนที่ตำแหน่งพารา		860 - 800	ความเข้มสูง

จากการวิเคราะห์ขวดพลาสติกที่ตั้งไว้กลางแจ้งและในที่มืด โดยใช้เครื่อง FT-IR จะพบว่าพีกและเลขคลื่นที่พบนั้นมีค่าใกล้เคียงกันดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.18



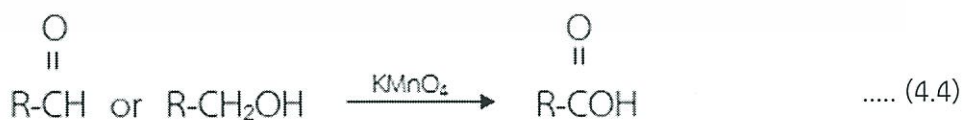
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.19 โครงสร้างของ Polyethylene terephthalate (PET) วัตถุประสงค์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารที่ละลายออกมาจากพลาสติกโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ทำปฏิกิริยา

ลำดับ	ชนิดพลาสติก	โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ทำปฏิกิริยา (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)
0	ที่มืด	0.57×10^{-3}
	กลางแจ้ง	0.48×10^{-3}
2	ที่มืด	0
	กลางแจ้ง	-0.19×10^{-3}
4	ที่มืด	0.47×10^{-3}
	กลางแจ้ง	0.38×10^{-3}
6	ที่มืด	0.85×10^{-3}
	กลางแจ้ง	-0.19×10^{-3}
8	ที่มืด	0.95×10^{-3}
	กลางแจ้ง	1.23×10^{-3}
10	ที่มืด	1.61×10^{-3}
	กลางแจ้ง	0.85×10^{-3}
12	ที่มืด	0.76×10^{-3}
	กลางแจ้ง	0.76×10^{-3}

จากการทดลองพบว่าปริมาณโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ทำปฏิกิริยาของทุกลำดับมีค่าต่ำมาก ๆ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดตามมาตรฐาน มอก. โดยปริมาณโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ทำปฏิกิริยาต้องไม่เกิน 10 mg/dm^{-3} เนื่องจากโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นสารออกซิไดส์ จะทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลของสารประเภทแอลดีไฮด์ และแอลกอฮอล์ปฐมภูมิที่แพร่ออกจากขวดพลาสติก PET ระหว่างการเก็บรักษา ให้กลายเป็นกรดคาร์บอกซิลิก ดังสมการที่ 4.4



การใช้ปริมาณ KMnO_4 น้อย แสดงว่ามีสารประเภทแอลดีไฮด์ หรือแอลกอฮอล์ปฐมภูมิในน้ำอยู่น้อย สารประเภทนี้มีอยู่ในตามธรรมชาติอยู่แล้วและอาจเกิดขึ้นถ้าพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตเสื่อมสภาพ การที่ปริมาณ KMnO_4 เปลี่ยนแปลงมากบ้างน้อยบ้าง อาจเนื่องจากสารแอลดีไฮด์ และแอลกอฮอล์ปฐมภูมิสามารถทำปฏิกิริยากับสารอนินทรีย์ที่ละลายในน้ำได้ ภายใต้การทดลองนี้ไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจนว่าแสงแดดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง เพราะปริมาณ KMnO_4 ที่ใช้น้อยมาก เอกสารทั้งสองสถานะ ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษนี้คือ ศึกษาอิทธิพลของแสงแดดที่มีผลต่อสมบัติของน้ำดื่มในขวดแก้วและขวดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรพทาเรท (PET) โดยขวดแก้วโซดาไลม์และขวดพลาสติก PET อย่างละ 16 ขวด นำไปวางบนดาดฟ้าตึกวิทยาศาสตร์เก่า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อให้ขวดสัมผัสกับแสงแดดโดยตรง และอีกชนิดละ 16 ขวดนำไปเก็บไว้ในตู้วางขวดเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ตั้งแต่เดือน กรกฎาคม 2559 ถึงเดือน พฤศจิกายน 2559

ผลการทดลองจาก FT-IR แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างทางเคมีของพื้นผิวด้านนอกของขวดพลาสติก PET เปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแสงแดด pH ของน้ำทั้งในขวดแก้วและขวดพลาสติก PET เปลี่ยนแปลงโดยไม่สัมพันธ์กับแสงแดด แต่ pH ของน้ำในขวดพลาสติก เปลี่ยนแปลงมากกว่าน้ำในขวดแก้ว แสงแดดเพิ่มค่าการนำไฟฟ้า และของแข็งที่ละลายน้ำ โดยไม่ขึ้นกับวัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์จากการใช้สารละลาย $KMnO_4$ และ Tollen's ไม่พบสารประเภทแอลดีไฮด์ในทุกสภาวะการทดลอง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้น้ำที่ผลิตจากแหล่งเดียวกันในน้ำดื่มบรรจุขวดแก้ว และขวดพลาสติก ที่นำมาใช้ในการทดลอง
2. ควรศึกษาเพิ่มเติมในด้านปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำดื่ม

เอกสารอ้างอิง

เกศรา สงค์ประเสริฐ และคณะ. 2558. การเสื่อมสภาพของขวดพอลิเอทิลีนเทรฟทาเลต และของเหลวที่บรรจุ ในขวดภายใต้แสงแดด. โครงการงานพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

การประปานครหลวง. 2557. การนำไฟฟ้า. ส่วนวิชาการคุณภาพน้ำกองแผนคุณภาพน้ำ ฝ่ายคุณภาพน้ำ. [online]. Available : http://www.mwa.co.th/ewt_news.php?nid=13321. เข้าถึงเมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน 2559

ธนาวัต ลีจากภัย. 2551. สมบัติทั่วไปของ PET. [online]. Available : <http://www.vcharkarn.com/varticle/38232>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 กันยายน 2559

บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว GSAT. สมบัติทางเคมีของวัสดุแก้ว. [Online]. Available : <http://www2.mtec.or.th/th/research/GSAT/glassweb/chemical.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 กันยายน 2559

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข. มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท. [online]. Available : http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water01.html#s2 เข้าถึงเมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม 2559

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม มอก.656-2556. 2556. เรื่อง ยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้กับอาหาร และกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิเคราะห์พลาสติกที่สัมผัสอาหาร. [Online]. Available : http://lib3.dss.go.th/fulltext/fcm/TIS656_2556.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม 2559

ประสิทธิ์ ปุระชาติ. 2548. น้ำ และสมบัติน้ำ. มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ. [Online]. Available : <http://library.tru.ac.th/images/academic/book/b55056/10-Chapter-8.pdf>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 กันยายน 2559

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2553. พอลิเอทิลีนเทรฟทาเลต. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1912/pet-polyethyleneterephthalate>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 กันยายน 2559

วารภรณ์ พาราสุข. 2557. แอลดีไฮด์ และคีโตน. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. [Online]. Available : http://pirun.ku.ac.th/~fsciwapa/download/course221/Aldehyde_s.ppt. เข้าถึงเมื่อวันที่ 23 พฤศจิกายน 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โลก และดาราศาสตร์ Learning center for Earth Science and Astronomy (LESA). 2555. สมบัติของน้ำ. [Online]. Available : <http://www.lesa.biz/earth/hydrosphere/water-properties>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 กันยายน 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 กันยายน 2559

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2558. เครื่อง Ion Chromatograph. [Online]. Available : <http://www.science.kmitl.ac.th/linktools/index.php?page=tools>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม 2559

เอกสารประกอบคำบรรยาย วิชาเคมี โครงการส่งเสริมความสามารถพิเศษภาคฤดูร้อน Brands's Summer Camp. 2559. พอลิเมอร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ [Online]. Available : <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/topic8/polimer.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 กันยายน 2559

E. Ceretti, C. Zani, I. Zerbin, L. Guzzella, M. Scaglia, V. Berna, F. Donato, S. Monarca, D. Feretti. 2009. Comparative assessment of genotoxicity of mineral water packed in polyethylene terephthalate (PET) and glass bottles. Water research 44. Page 1462-1470

J. Nawrocki, A. Dabrowska and A. Borcz. 2002. Investigation of carbonyl compounds in bottled waters from Poland. Water research 36. Page 1-9

Wikipedia. 2559. 2, 4-Dinitrophenylhydrazine. [Online]. Available : <https://en.wikipedia.org/wiki/2,4-Dinitrophenylhydrazine>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม 2559

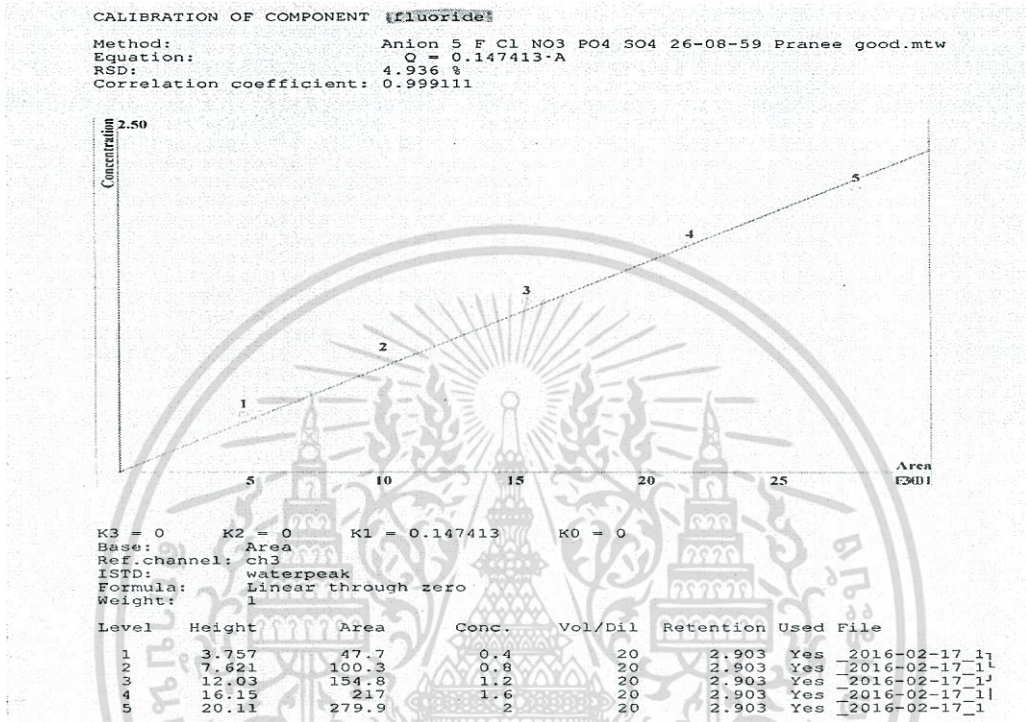
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



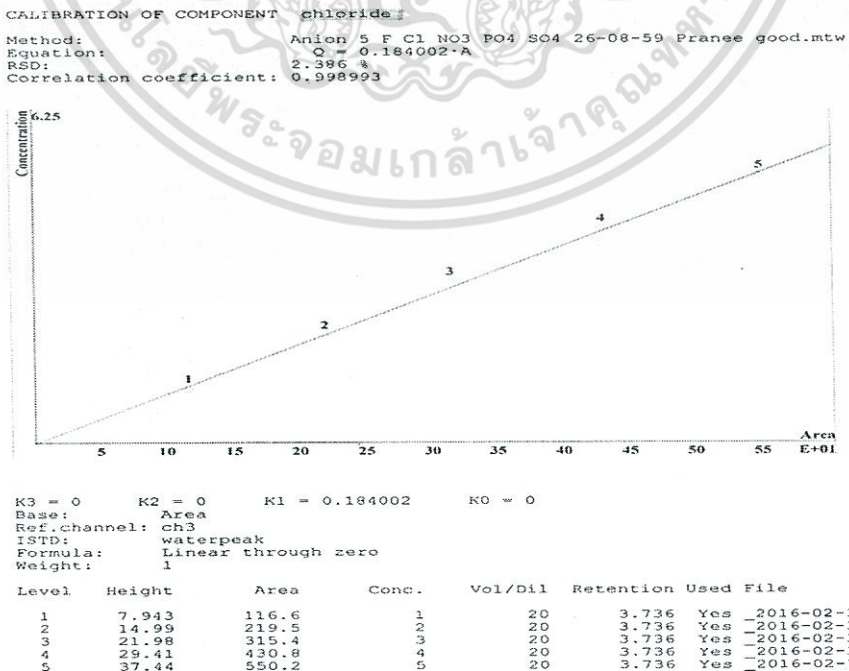
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของประจุลบ ได้แก่ F^- Cl^- NO_3^- และ SO_4^{2-} ในน้ำดื่มขวดแก้ว และขวดพลาสติก PET ที่นำไปวางไว้กลางแจ้ง และในที่มืด เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ โดยใช้เทคนิค Ion Chromatography ในการวิเคราะห์

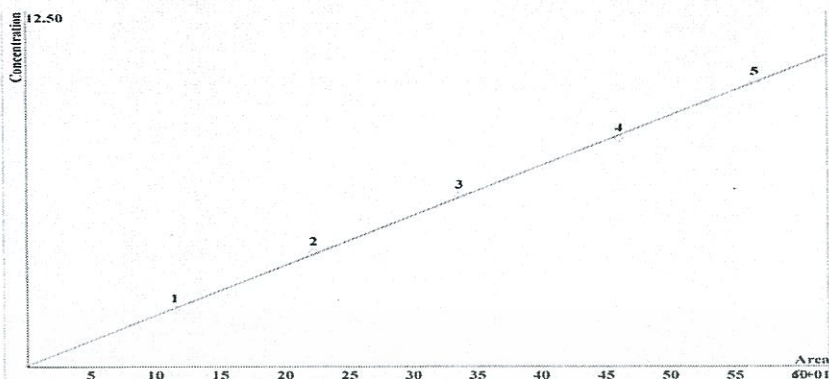


รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ด้วย Ion Chromatography ของสาร Fluoride



รูปที่ ก-2 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ด้วย Ion Chromatography ของสาร chloride

CALIBRATION OF COMPONENT nitrate
 Method: Anion 5 F Cl NO3 PO4 SO4 26-08-59 Pranee good.mtw
 Equation: Q = 0.351776*A
 RSD: 1.341 %
 Correlation coefficient: 0.999689

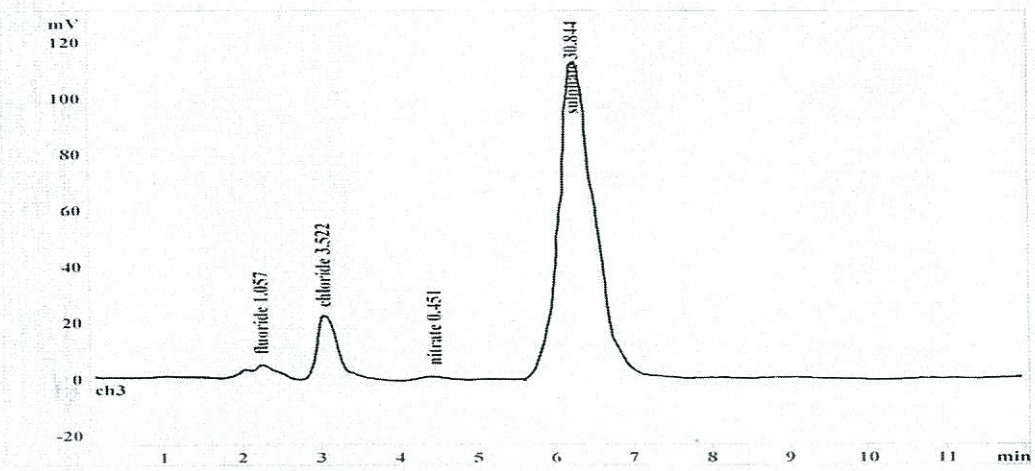


K3 = 0 K2 = 0 K1 = 0.351776 K0 = 0
 Base: Area
 Ref.channel: ch3
 ISTD: waterpeak
 Formula: Linear through zero
 Weight: 1

Level	Height	Area	Conc.	Vol/Dil	Retention	Used	File
1	6.41	115.5	2	20	5.362	Yes	_2016-02-17_11
2	12.47	222.9	4	20	5.362	Yes	_2016-02-17_11
3	19.19	337.3	6	20	5.362	Yes	_2016-02-17_11
4	25.63	461.4	8	20	5.362	Yes	_2016-02-17_11
5	31.46	566.9	10	20	5.362	Yes	_2016-02-17_11;EEAr

รูปที่ ก-3 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ด้วย Ion Chromatography ของสาร nitrite

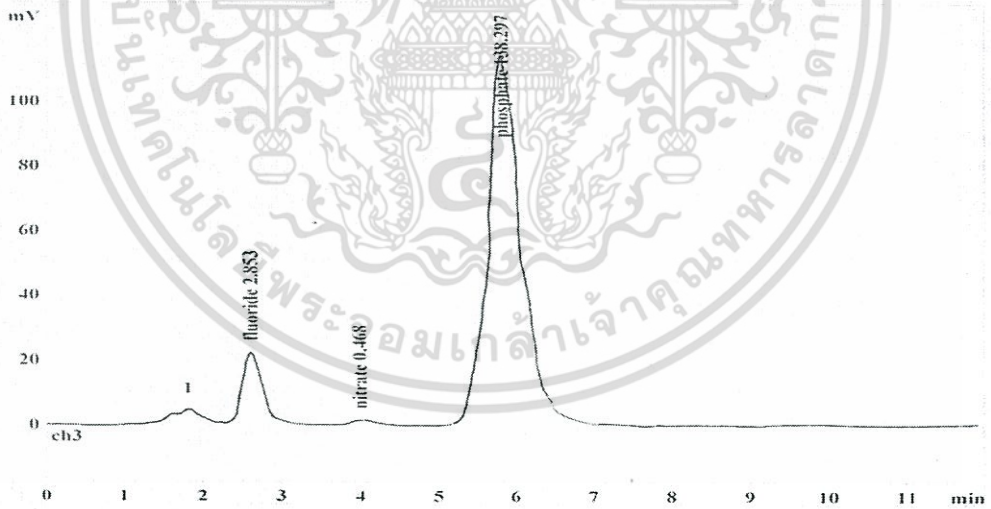
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	2.25	5.25	143.440	1.057	fluoride
2	3.05	21.87	382.836	3.522	chloride
3	4.45	1.29	29.636	0.451	nitrate
4	6.25	113.59	3474.769	30.844	sulphate

รูปที่ ก-4 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดแก้วที่นำไปวางไว้ในที่มีด สัปดาห์ที่ 0

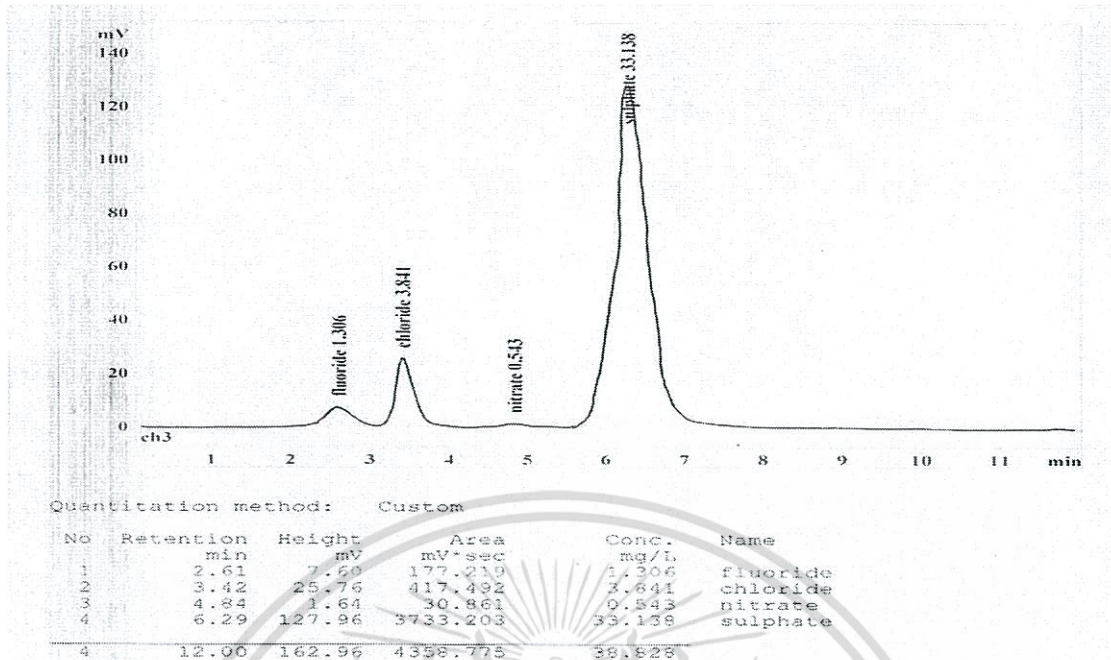


Quantitation method: Custom

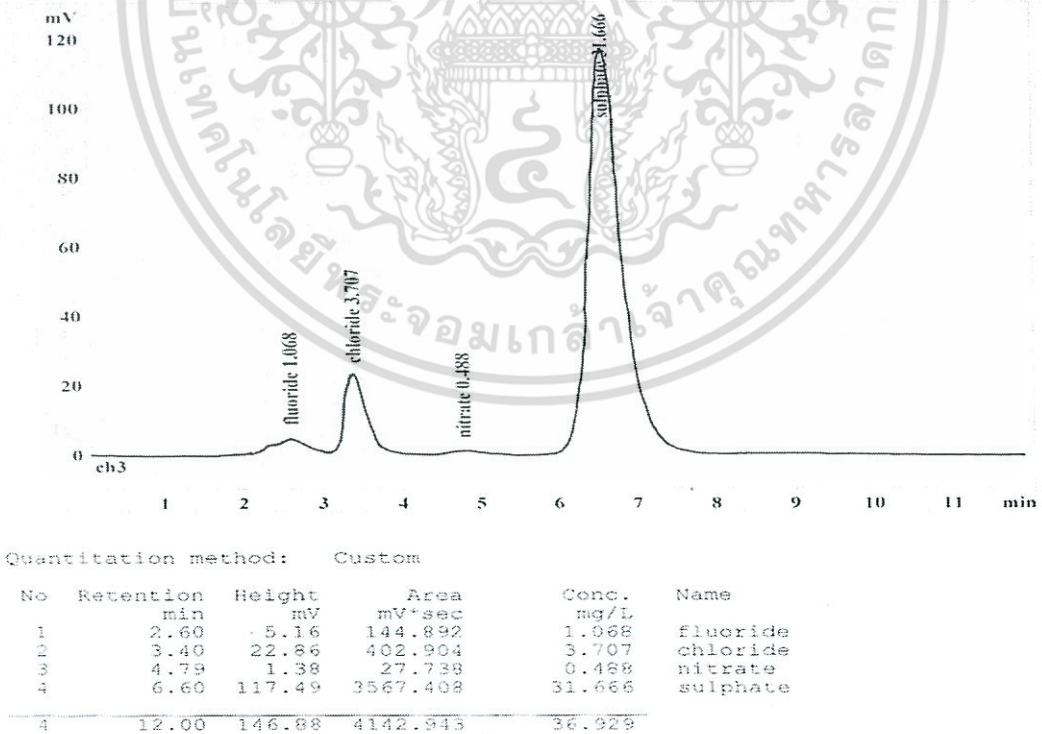
No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	1.81	5.12	145.044	0.000	
2	2.61	21.98	387.128	2.853	fluoride
3	4.00	1.35	26.609	0.468	nitrate
4	5.81	114.70	3517.894	138.297	phosphate

รูปที่ ก-5 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดแก้วที่นำไปวางไว้ในที่มีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อสัปดาห์ที่ 6 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



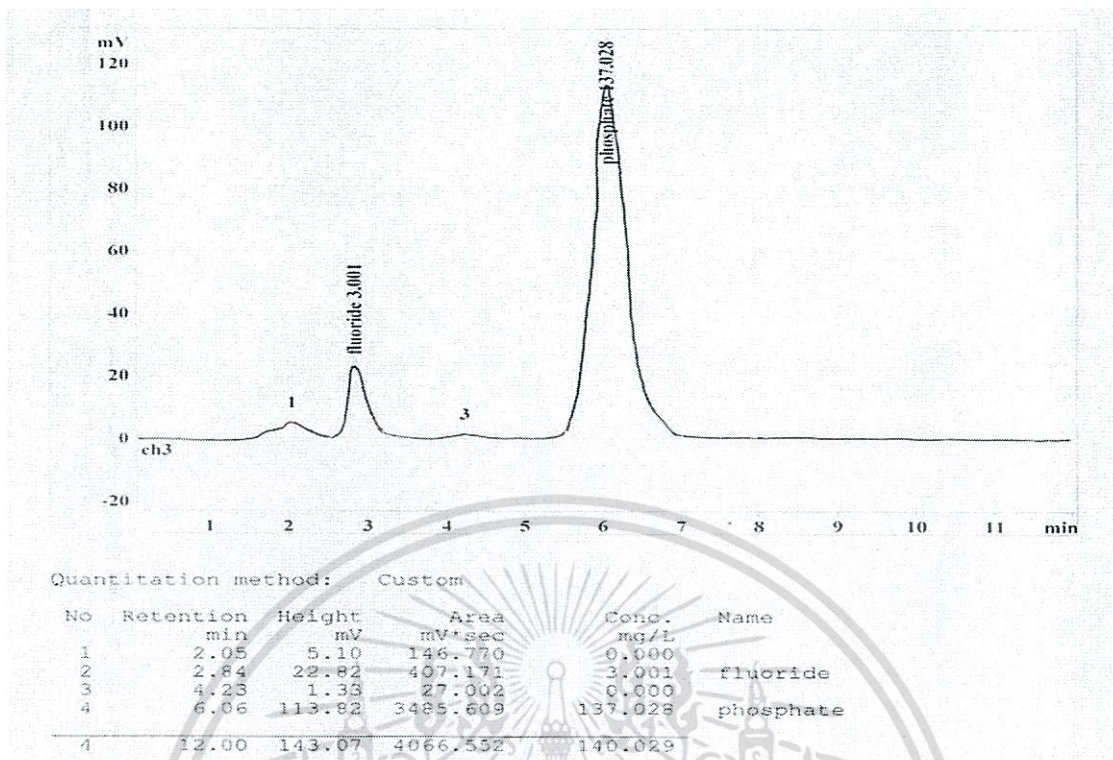
รูปที่ ก-6 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดแก้วที่นำไปวางไว้ในที่มีด
สัปดาห์ที่ 12



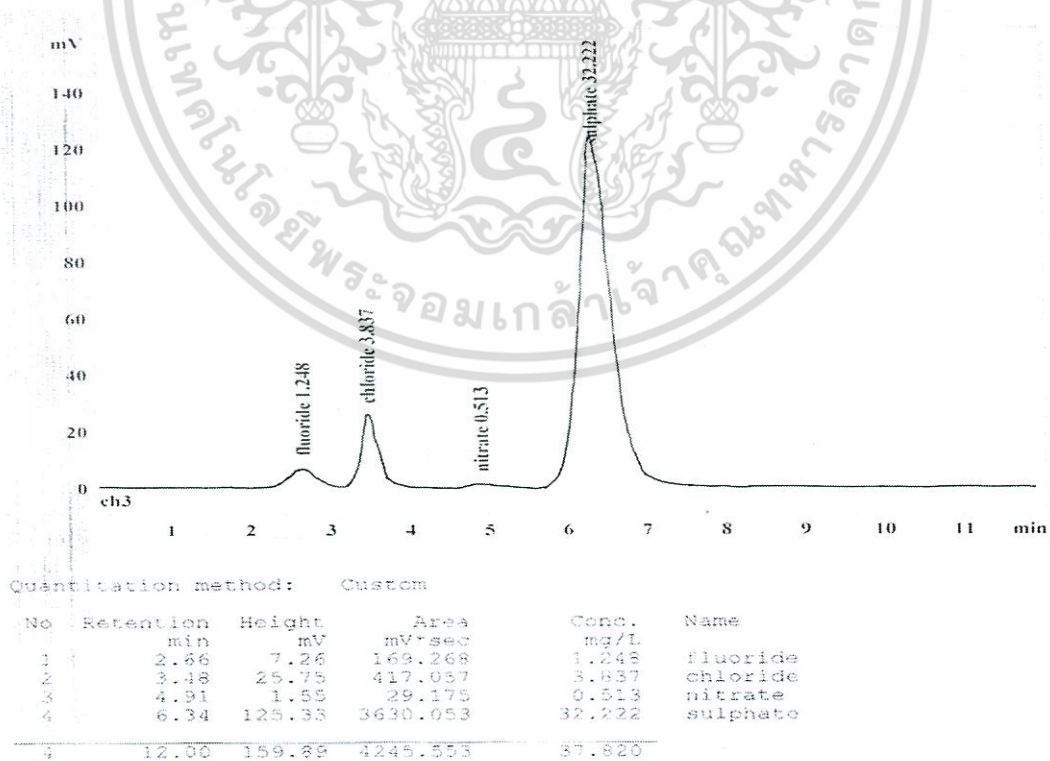
รูปที่ ก-7 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์น้ำดื่มขวดแก้ว ที่นำไปวางไว้ในที่กลางแจ้ง

สัปดาห์ที่ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

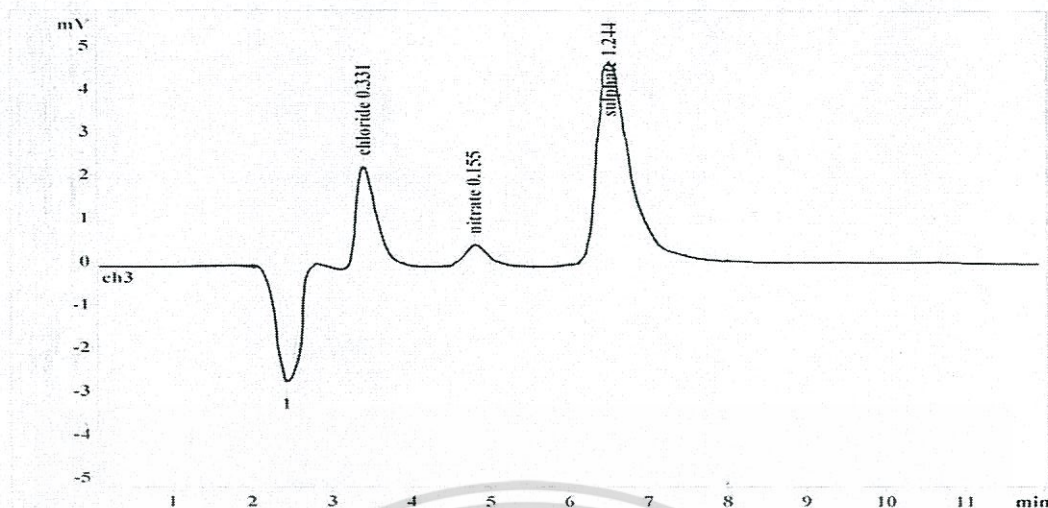


รูปที่ ก-8 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดแก้วที่นำไปวางไว้ในที่กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 6



รูปที่ ก-9 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดแก้วที่นำไปวางไว้ในที่กลางแจ้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สัปดาห์ที่ 12

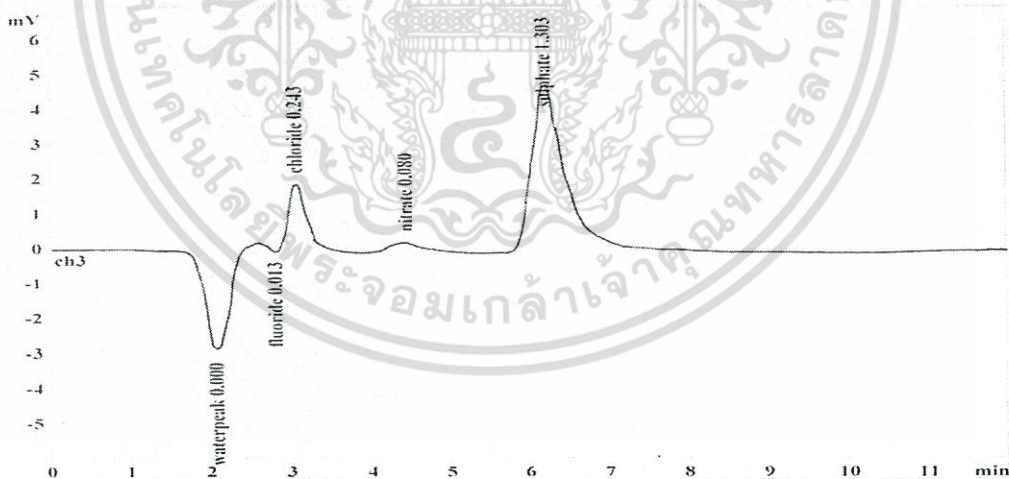
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	2.43	-2.76	-50.214	0.000	
2	3.42	2.25	36.026	0.331	chloride
3	4.81	0.44	8.836	0.155	nitrate
4	6.54	4.71	140.143	1.244	sulphate
4	12.00	10.16	235.220	1.731	

รูปที่ ก-10 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่นำไปวางไว้ในที่มืด สัปดาห์ที่ 0

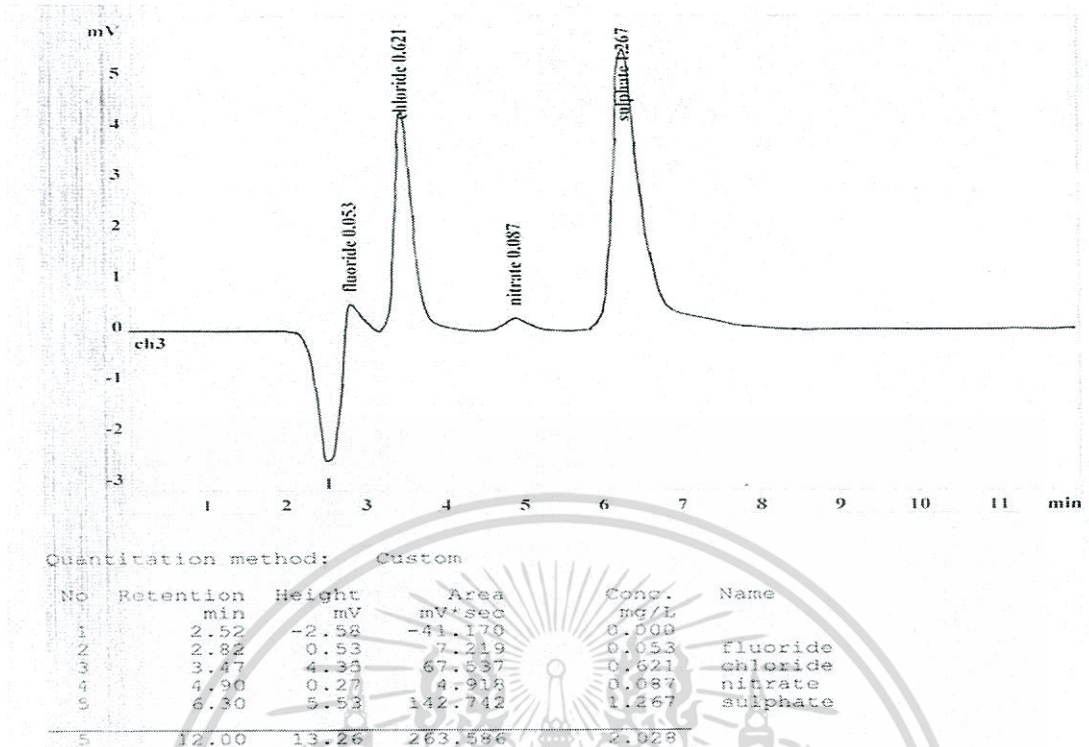


Quantitation method: Custom

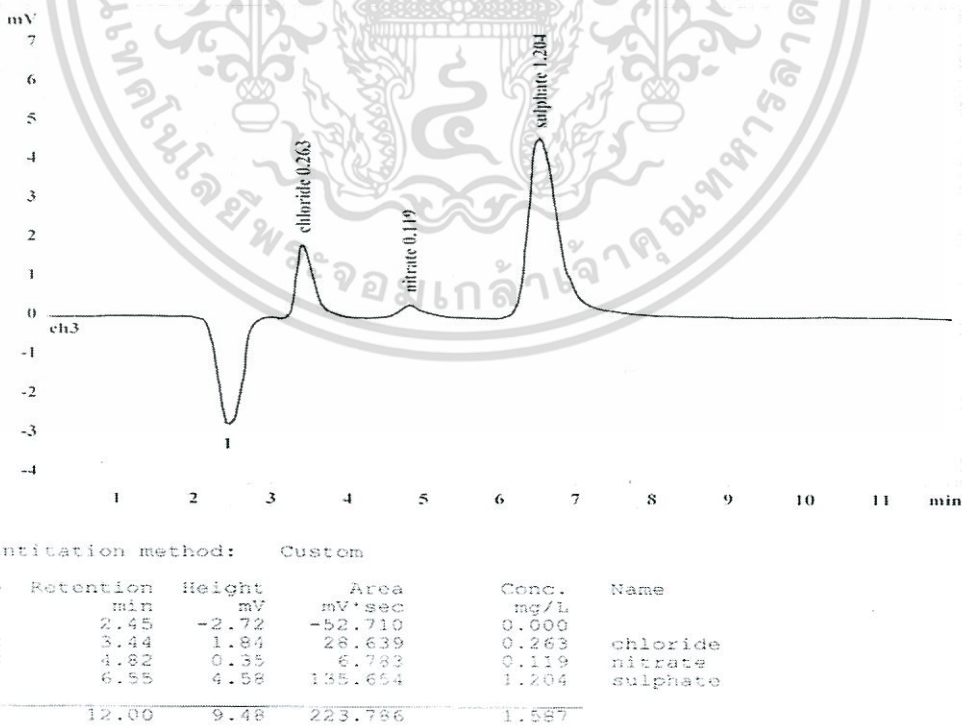
No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	2.07	-2.88	-52.901	0.000	waterpeak
2	2.82	-0.18	-1.818	0.013	fluoride
3	3.07	1.76	26.391	0.243	chloride
4	4.46	0.24	4.533	0.080	nitrate
5	6.21	4.80	146.802	1.303	sulphate
5	12.00	9.87	232.446	1.639	

รูปที่ ก-11 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดพลาสติก PET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการนำเสนอในที่ประชุมวิชาการของภาควิชาเทคโนโลยีการแพทย์และสุขภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่นำไปวางไว้ในที่มืด สัปดาห์ที่ 6
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

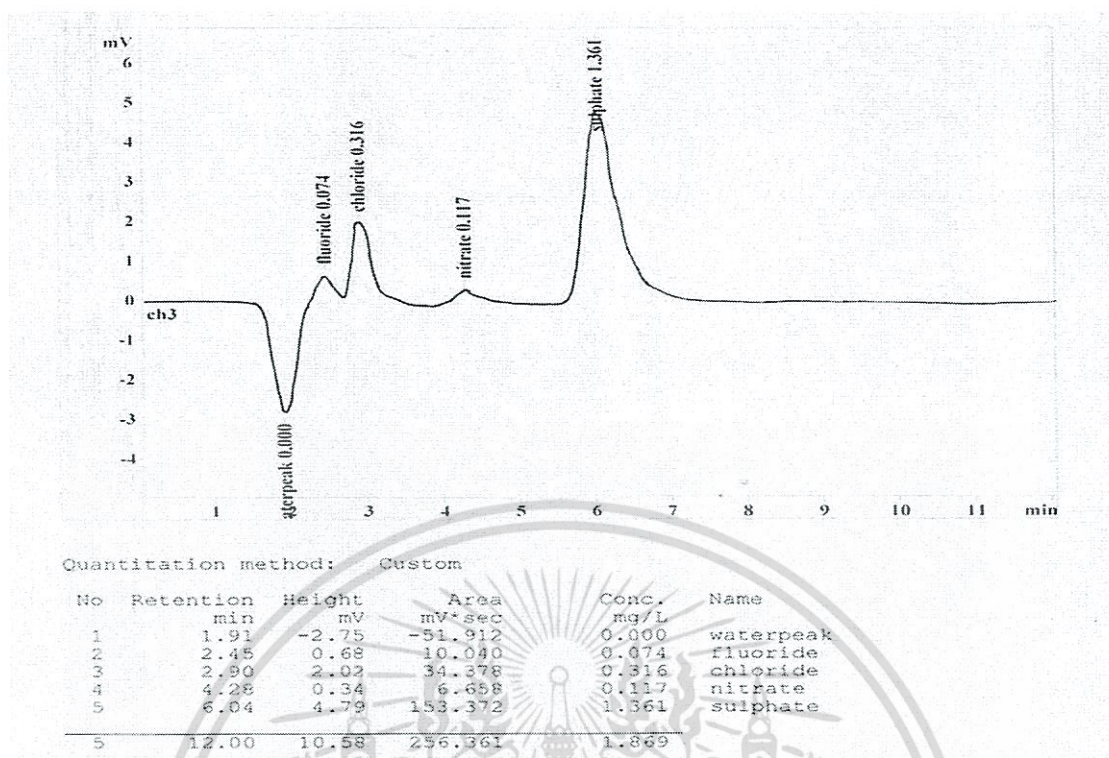


รูปที่ ก-12 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่นำไปวางไว้ในที่มืด สัปดาห์ที่ 12

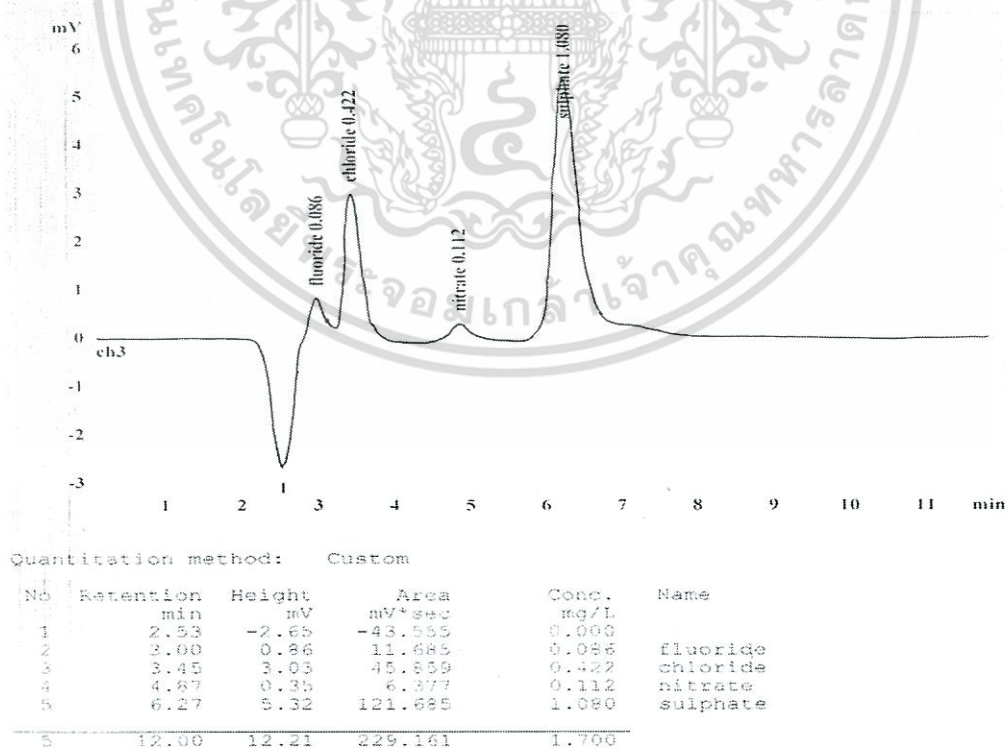


รูปที่ ก-13 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดพลาสติก PET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ที่นำไปวางไว้ในที่กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 0
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



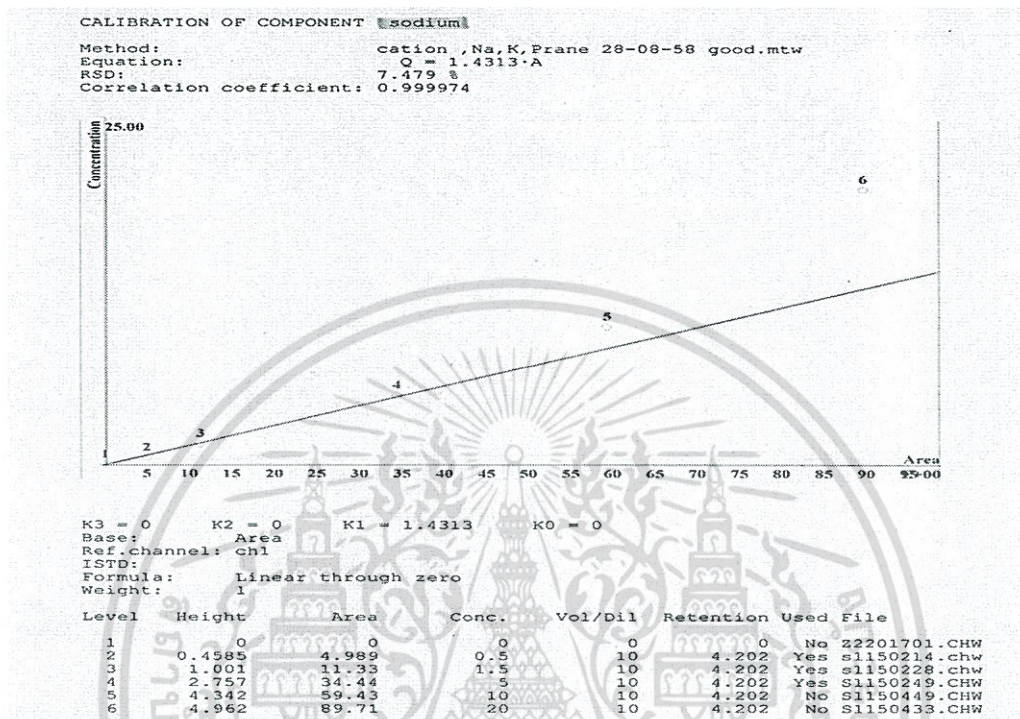
รูปที่ ก-14 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่นำไปวางไว้ในที่กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 6



รูปที่ ก-15 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดพลาสติก PET

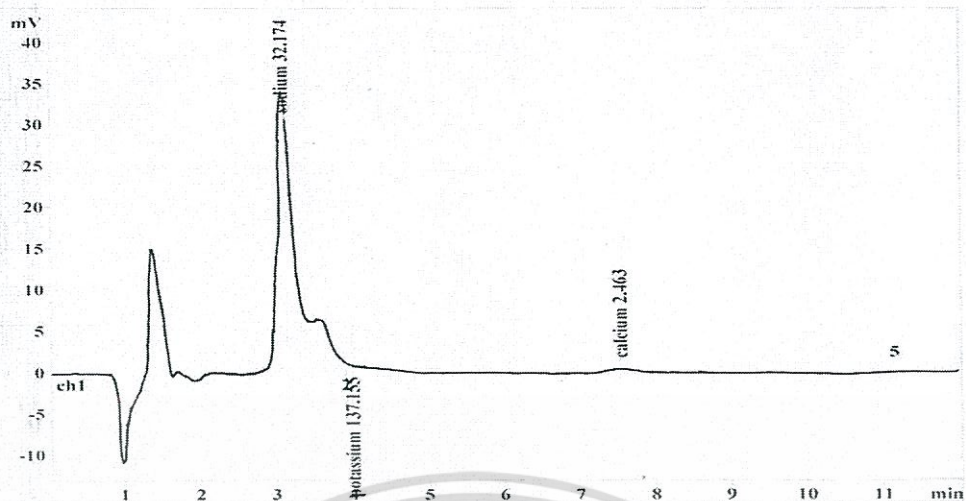
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ที่นำไปวางไว้ในที่กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 12
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของประจุบวก ได้แก่ Na^{2+} ในน้ำดื่มขวดแก้ว และขวดพลาสติก PET ที่นำไปวางไว้กลางแจ้ง และในที่มืด เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ โดยใช้เทคนิค Ion Chromatography ในการวิเคราะห์



รูปที่ ก-16 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ด้วย Ion Chromatography ของสาร Sodium

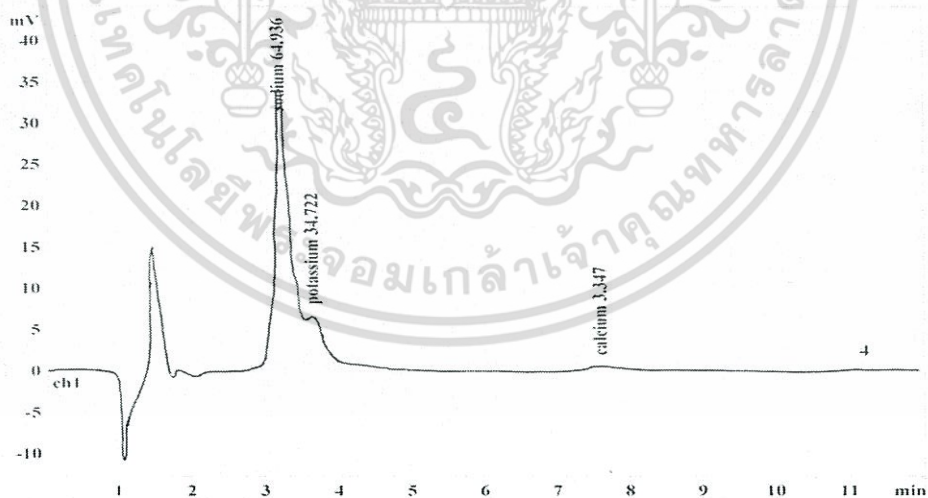
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV·sec	Conc. mg/L	Name
1	3.10	25.17	224.787	32.174	sodium
2	3.91	-5.34	-112.869	0.000	
3	4.00	-5.14	-305.345	137.135	potassium
4	7.53	0.42	15.525	2.463	calcium
5	11.18	0.12	4.046	0.000	

รูปที่ ก-17 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดแก้วที่นำไปวางไว้ในที่มีด สัปดาห์ที่ 0

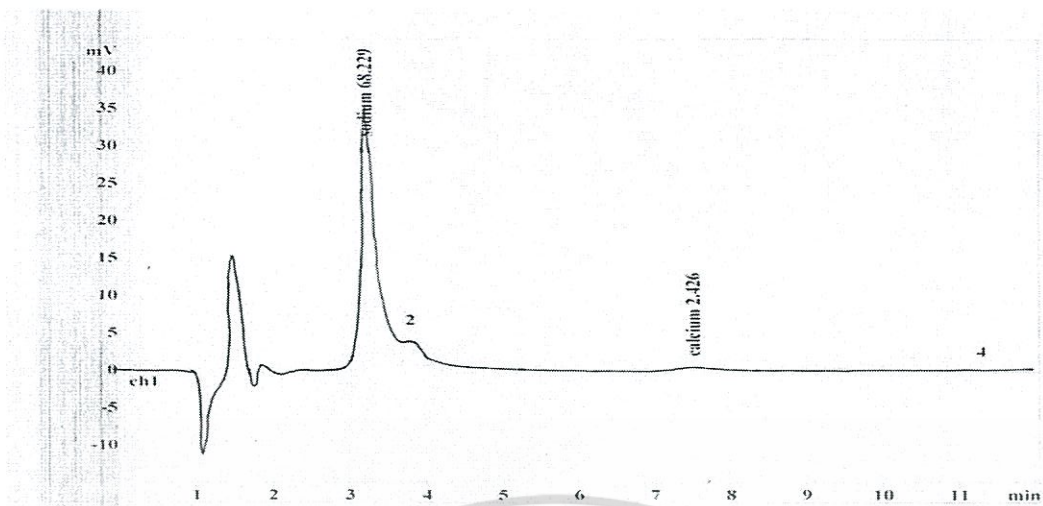


Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV·sec	Conc. mg/L	Name
1	3.20	33.59	453.686	64.936	sodium
2	3.65	5.82	77.302	34.722	potassium
3	7.61	0.56	21.094	3.347	calcium
4	11.21	0.16	5.167	0.000	

รูปที่ ก-18 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดแก้วที่นำไปวางไว้ในที่มีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สัปดาห์ที่ 6
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

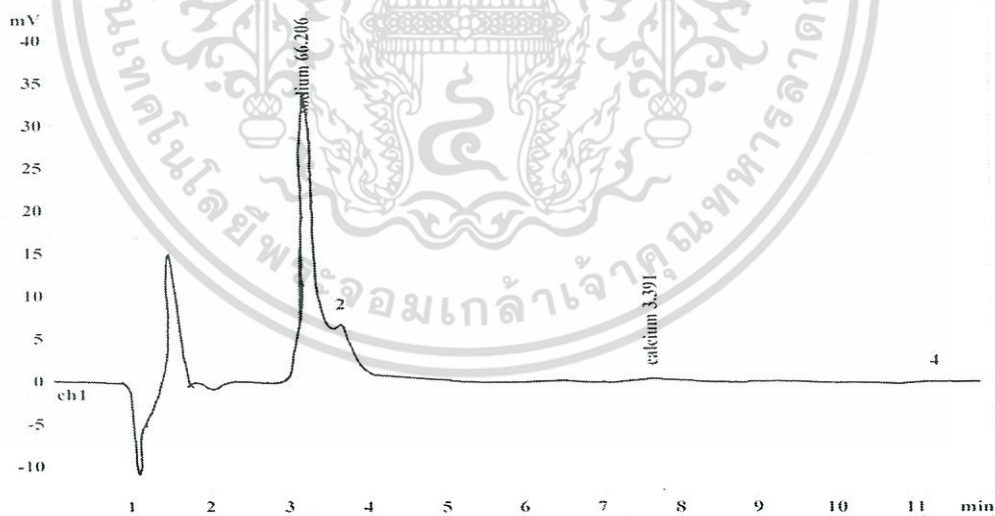


Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.21	34.40	476.692	68.229	sodium
2	3.79	3.51	55.786	0.000	
3	7.50	0.51	15.292	2.426	calcium
4	11.29	0.12	4.190	0.000	
4	12.00	38.54	551.959	70.655	

รูปที่ ก-19 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดแก้วที่นำไปวางไว้ในที่มืด

สัปดาห์ที่ 12

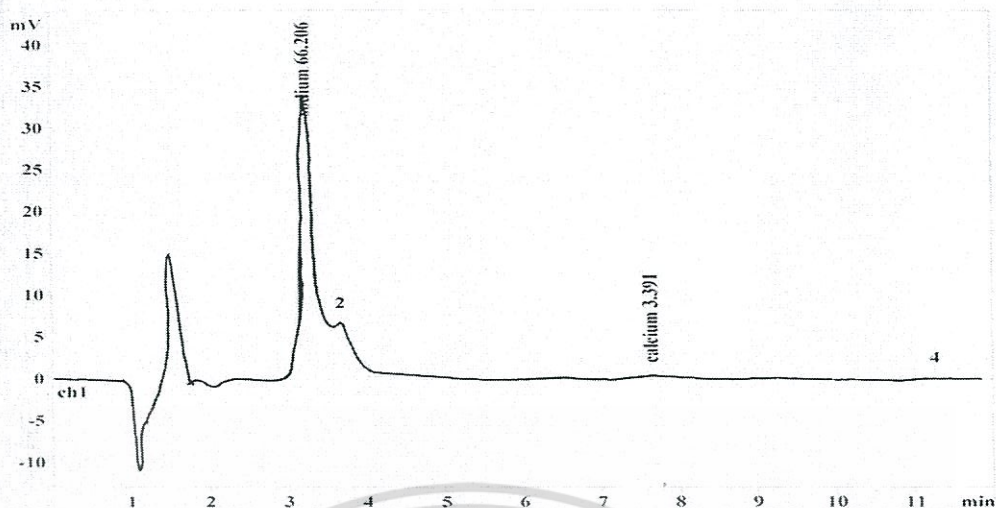


Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.23	33.53	462.555	66.206	sodium
2	3.67	6.23	105.392	0.000	
3	7.63	0.56	21.373	3.391	calcium
4	11.28	0.16	5.347	0.000	
4	12.00	40.49	594.669	69.597	

รูปที่ ก-20 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดแก้วที่นำไปวางไว้ในที่กลางแจ้ง

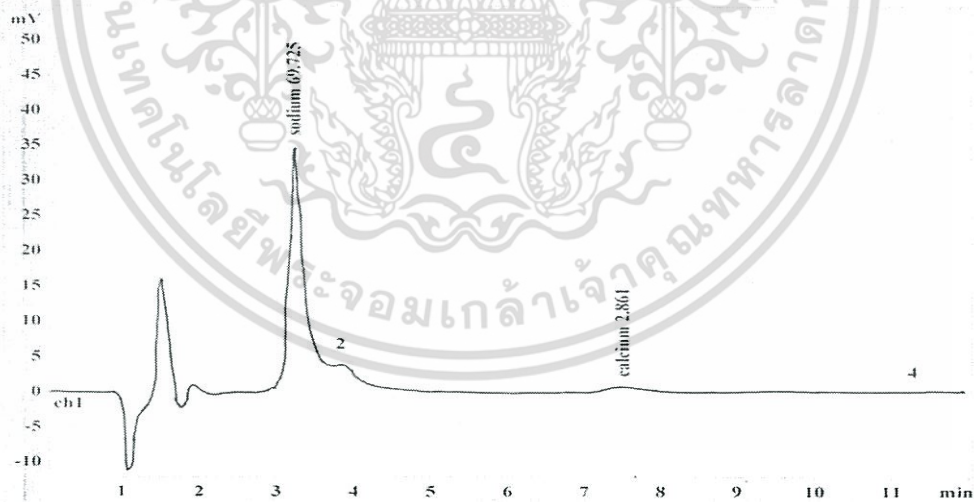
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ สัปดาห์ที่ 0 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.23	33.53	462.555	66.206	sodium
2	3.67	6.23	105.393	0.000	
3	7.63	0.56	21.373	3.391	calcium
4	11.28	0.16	5.347	0.000	
4	12.00	40.49	594.669	69.597	

รูปที่ ก-21 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดแก้วที่นำไปวางไว้ในที่กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 6

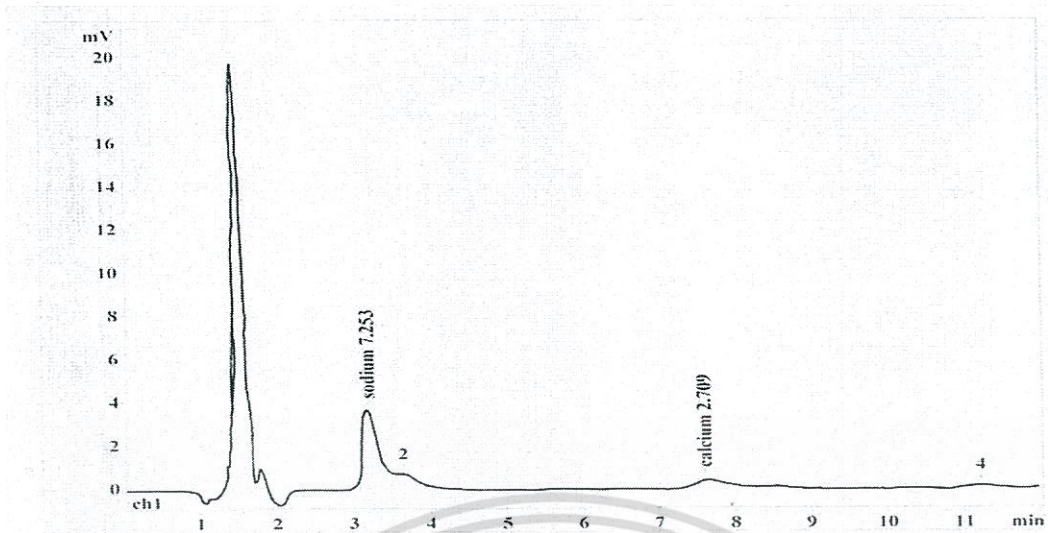


Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.24	34.38	487.146	69.725	sodium
2	3.84	3.68	63.622	0.000	
3	7.51	0.59	18.032	2.861	calcium
4	11.28	0.13	4.249	0.000	
4	12.00	38.79	593.049	72.697	

รูปที่ ก-22 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดแก้วที่นำไปวางไว้ในที่กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 12

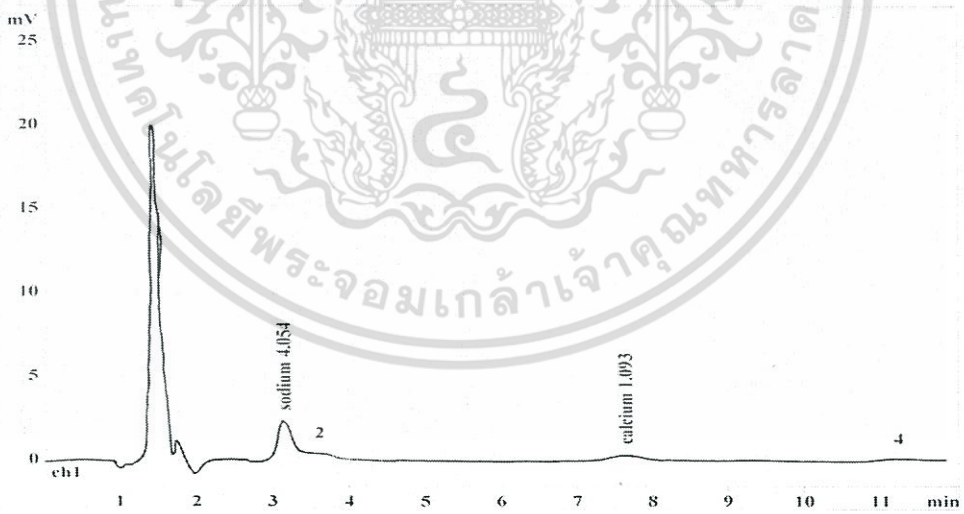
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.20	3.59	50.673	7.253	sodium
2	3.64	0.65	10.699	0.000	
3	7.60	0.47	17.076	2.709	calcium
4	11.22	0.15	4.949	0.000	
4	12.00	4.86	85.396	9.962	

รูปที่ ก-23 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่นำไปวางไว้ในที่มืด สัปดาห์ที่ 0

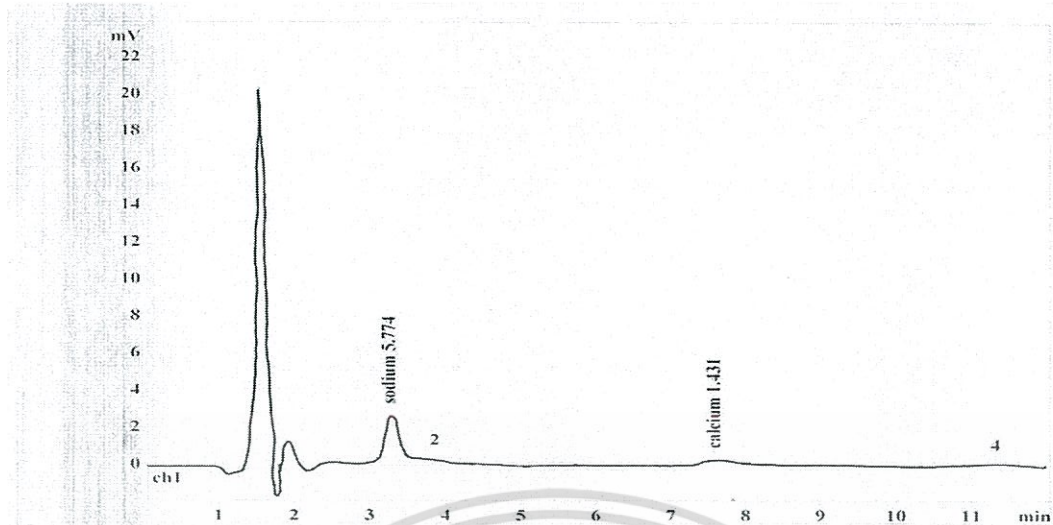


Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.15	2.13	28.325	4.054	sodium
2	3.61	0.32	2.471	0.000	
3	7.66	0.26	6.891	1.093	calcium
4	11.23	0.10	3.500	0.000	
4	12.00	2.62	41.187	5.148	

รูปที่ ก-24 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดพลาสติก PET

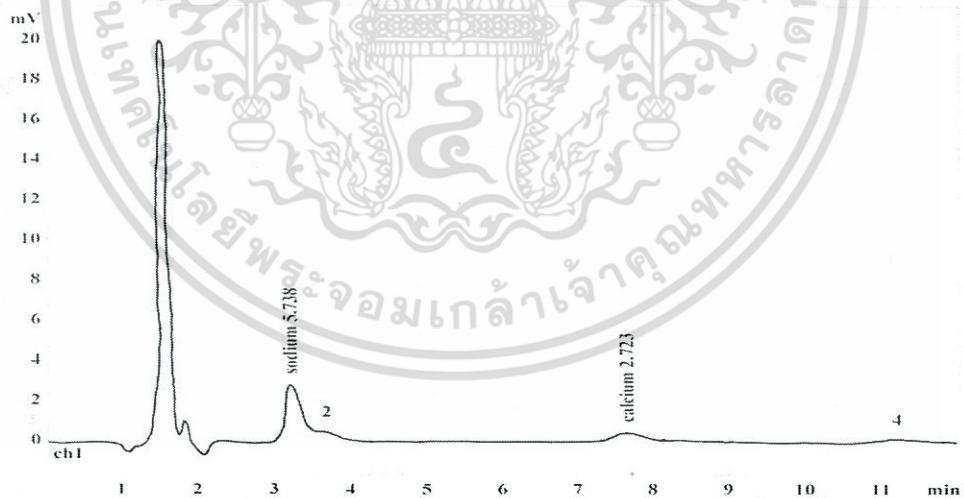
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการที่นำไปวางไว้ในที่มืด สัปดาห์ที่ 6 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.26	2.70	40.340	5.774	sodium
2	3.84	0.32	8.359	0.000	
3	7.58	0.32	9.021	1.431	calcium
4	11.52	0.10	3.179	0.000	

รูปที่ ก-25 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดพลาสติกที่นำไปวางไว้ในที่มีด สัปดาห์ที่ 12

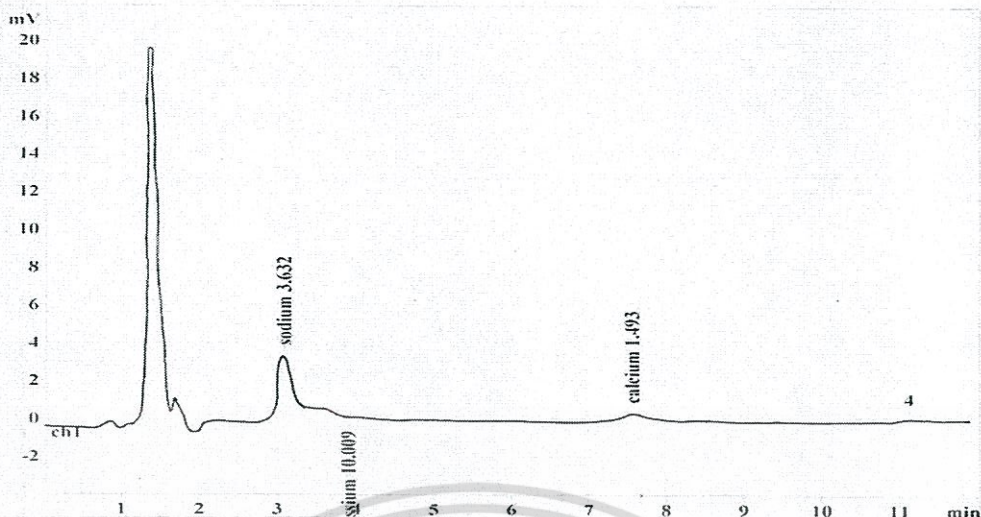


Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.22	2.81	40.088	5.738	sodium
2	3.68	0.52	10.047	0.000	
3	7.64	0.45	17.162	2.723	calcium
4	11.22	0.16	5.161	0.000	

รูปที่ ก-26 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดพลาสติก PET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับที่นำไปวางไว้ในที่กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 0 ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

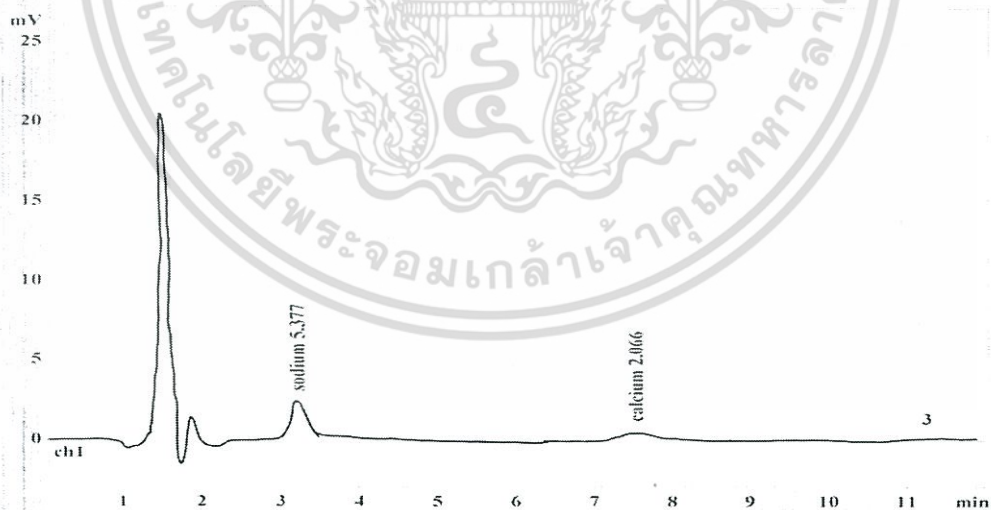


Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.10	2.50	25.377	3.632	sodium
2	3.90	-0.42	-22.282	10.009	potassium
3	7.56	0.35	9.408	1.493	calcium
4	11.12	0.14	4.933	0.000	
4	12.00	3.42	62.006	15.134	

รูปที่ ก-27 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดพลาสติก PET

ที่นำไปวางไว้ในที่กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 6



Quantitation method: Custom

No	Retention min	Height mV	Area mV*sec	Conc. mg/L	Name
1	3.22	2.31	37.565	5.377	sodium
2	7.53	0.44	13.023	2.066	calcium
3	11.26	0.12	4.048	0.000	
3	12.00	2.88	54.636	7.443	

รูปที่ ก-28 ผลความเข้มข้นของไอออนที่ออกจากคอลัมน์ น้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่นำไปวางไว้ในที่
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
กลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 12
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ไทเทรตสารในแต่ละสัปดาห์ของพลาสติก PET (ขนาด 10x10 cm) ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ ข-1 ปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์

ครั้งที่	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ที่ใช้ไป	เฉลี่ย
1	0	12.7	12.7	11.65
2	12.7	23.3	10.6	

ตารางที่ ข-2 ปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างน้ำดื่ม

สัปดาห์	ตัวอย่างพลาสติก	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ที่ใช้ไป (ml)	เฉลี่ย(ml)
	Blank1	17.7	18.3	0.6	0.75
	Blank2	18.3	19.2	0.9	
0	ที่มีด1	29.2	30.5	1.3	1.1
	ที่มีด2	26.6	27.4	0.8	
	กลางแจ่ง1	27.4	28.3	0.9	1.0
	กลางแจ่ง2	25.5	26.6	1.1	
2	ที่มีด1	31.2	31.8	0.6	0.75
	ที่มีด2	28.3	29.2	0.9	
	กลางแจ่ง1	31.8	32.4	0.6	0.65
	กลางแจ่ง2	30.5	31.2	0.7	
4	ที่มีด1	3.8	5.3	1.5	1
	ที่มีด2	5.3	5.8	0.5	
	กลางแจ่ง1	2.5	3.8	1.3	0.95
	กลางแจ่ง2	1.9	2.5	0.6	
6	ที่มีด1	8.8	9.9	1.1	1.2
	ที่มีด2	7.5	8.8	1.3	
	กลางแจ่ง1	6.7	7.5	0.9	0.85
	กลางแจ่ง2	5.8	6.7	1	
8	ที่มีด1	2.8	4.2	1.4	1.25
	ที่มีด2	4.2	5.3	1.1	
	กลางแจ่ง1	0	1.2	1.2	1.4
	กลางแจ่ง2	1.2	2.8	1.6	
10	ที่มีด1	5.3	6.4	1.1	1.2
	ที่มีด2	6.4	7.7	1.3	
	กลางแจ่ง1	8.3	9.7	1.4	1.6
	กลางแจ่ง2	9.7	11.5	1.2	
12	ที่มีด1	13.8	14.9	1.1	1.15
	ที่มีด2	14.9	16.1	1.2	
	กลางแจ่ง1	12.2	13.8	1.6	1.15
	กลางแจ่ง2	11.5	12.2	0.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ปริมาณสารที่ละลายออกมา

รายการที่	รายการทดสอบ	ตัวทำละลายที่ใช้สกัด	เกณฑ์ที่กำหนดไม่เกิน มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร					
			PE	PP	PS	PET	PVAL	PMP
1	โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ทำปฏิกิริยา	น้ำกลั่น	10	10	10	10	10	10
2	สิ่งที่เหลือจากการระเหย	สารละลายกรดแอสซิติกร้อยละ 4 โดยปริมาตร	30	30	30	30	30	30
		น้ำกลั่น	30	30	30	30	30	30
		เอทานอล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร	30	30	30	30	30	30
		นอร์มอลเฮปเทน	150** 30***	150** 30***	240	30	30	120
3	โลหะหนัก	สารละลายกรดแอสซิติกร้อยละ 4 โดยปริมาตร	1	1	1	1	1	1
4	พลวง		-	-	-	0.05	-	-
5	เจอร์เมเนียม		-	-	-	0.1	-	-

วิธีการคำนวณหาปริมาณโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

ค่าตัวประกอบ(factor) ของ KMnO_4

$$\text{จากสูตร } f = 10 / (5 + a)$$

โดยที่ ; f คือ ตัวประกอบของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

a คือ ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ไทเทรต(cm^3)

จากการทดลอง a = 11.65 มิลลิลิตร หรือ ลูกบาศก์เซนติเมตร

$$\text{ดังนั้น } f = 10 / (5 + 11.65)$$

$$= 0.600$$

คำนวณปริมาณโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ทำปฏิกิริยา

$$\text{จากสูตร } K = 3.16 \times (a - b) \times f$$

โดยที่ ; K คือ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ทำปฏิกิริยา หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

a คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างเป็นลูกบาศก์เดซิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์เป็นลูกบาศก์เดซิเมตร

f คือ ตัวประกอบของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

ตารางที่ ข-4 แสดงค่า K ที่คำนวณได้

สัปดาห์	สถานที่	โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ทำปฏิกิริยา (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)
0	ที่มีด	0.57×10^{-3}
	กลางแดด	0.48×10^{-3}
2	ที่มีด	0
	กลางแดด	-0.19×10^{-3}
4	ที่มีด	0.47×10^{-3}
	กลางแดด	0.38×10^{-3}
6	ที่มีด	0.85×10^{-3}
	กลางแดด	0.19×10^{-3}
8	ที่มีด	0.95×10^{-3}
	กลางแดด	1.23×10^{-3}
10	ที่มีด	1.61×10^{-3}
	กลางแดด	0.85×10^{-3}
12	ที่มีด	0.76×10^{-3}
	กลางแดด	0.76×10^{-3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การทดสอบปริมาณของของแข็งที่แขวนลอยหรือละลายอยู่ในน้ำรวมถึงไอออน แร่ธาตุเกลือหรือโลหะที่ละลายอยู่ในขวดแก้วและขวดพลาสติก PET เมื่อวางไว้ในที่มืดและกลางแจ้งเป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์

ตารางที่ ค-1 ค่า TDS ของน้ำในขวดแก้วที่วางไว้ในที่มืดและกลางแจ้ง

สถานที่		ขวดที่ 1		ขวดที่ 2		ค่าเฉลี่ย	S.D.
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
ที่มืด	0	673	679	682	681	678.75	4.703
	2	682	685	686	689	685.50	
	4	676	678	675	676	676.25	
	6	682	680	679	683	681.00	
	8	689	690	691	691	690.25	
	10	686	686	685	685	685.50	
	12	684	683	683	683	683.25	
	กลางแจ้ง	0	684	683	681	683	
2		678	682	687	684	682.75	
4		690	689	689	686	688.50	
6		685	684	688	686	685.75	
8		689	691	691	689	690.00	
10		684	684	689	695	688.00	
12		682	684	687	689	685.50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 ค่า TDS ของน้ำในขวดแก้วที่วางไว้ในที่มืด และกลางแจ้ง

สถานที่	Time (สัปดาห์)	ขวดที่ 1		ขวดที่ 2		ค่าเฉลี่ย	S.D.
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
ที่มืด	0	54	54	53	53	53.50	0.515
	2	53	53	53	53	53.00	
	4	54	54	54	54	54.00	
	6	52	53	53	52	52.50	
	8	55	54	51	54	53.50	
	10	53	54	54	54	53.75	
	12	54	54	53	54	53.75	
กลางแจ้ง	0	59	58	54	54	56.25	1.161
	2	53	53	53	51	52.50	
	4	54	54	55	54	54.25	
	6	53	53	54	54	53.50	
	8	54	54	53	53	53.50	
	10	55	55	54	54	54.50	
	12	54	54	54	54	54.00	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติก PET และขวดแก้ว ตั้งไว้กลางแจ้งและในที่มืดในระยะเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์

ตารางที่ ง-1 ค่า Conductivity ของน้ำในขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มืด และกลางแจ้ง

Conductivity		ขวดที่ 1		ขวดที่ 2		ค่าเฉลี่ย	S.D.
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
ที่บแสง	0	686	683	685	684	684.50	4.589
	2	681	682	686	687	684.00	
	4	676	678	674	672	675.00	
	6	681	680	679	683	680.80	
	8	689	690	691	691	690.30	
	10	683	685	685	684	684.30	
	12	684	684	682	684	683.50	
กลางแจ้ง	0	700	690	690	698	694.50	3.575
	2	679	684	685	685	683.30	
	4	689	690	686	687	688.00	
	6	684	685	690	686	686.30	
	8	689	691	691	689	690.00	
	10	684	684	692	689	687.30	
	12	683	683	689	688	685.75	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-2 ค่า Conductivity ของน้ำในขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มืด และกลางแจ้ง

Conductivity		ขวดที่ 1		ขวดที่ 2		ค่าเฉลี่ย	S.D.
Time (สัปดาห์)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
ทึบแสง	0	53.6	53.7	53.5	53.8	53.70	0.497
	2	53.2	53.3	53.0	53.1	53.20	
	4	53.8	54.3	53.6	53.9	53.90	
	6	52.4	52.7	52.7	52.3	52.50	
	8	54.0	53.8	51.2	53.7	53.20	
	10	53.4	53.4	54.6	54.1	53.90	
	12	53.6	53.5	53.2	53.4	53.40	
กลางแจ้ง	0	59.8	58.0	54.7	55.0	56.90	1.330
	2	53.1	53.2	53.2	51.4	52.70	
	4	54.0	54.1	54.5	54.2	54.20	
	6	52.8	53.2	53.6	53.8	53.40	
	8	53.9	54.2	53.1	53.4	53.70	
	10	55.5	55.4	52.7	52.7	54.10	
	12	53.8	53.7	53.7	53.6	53.70	

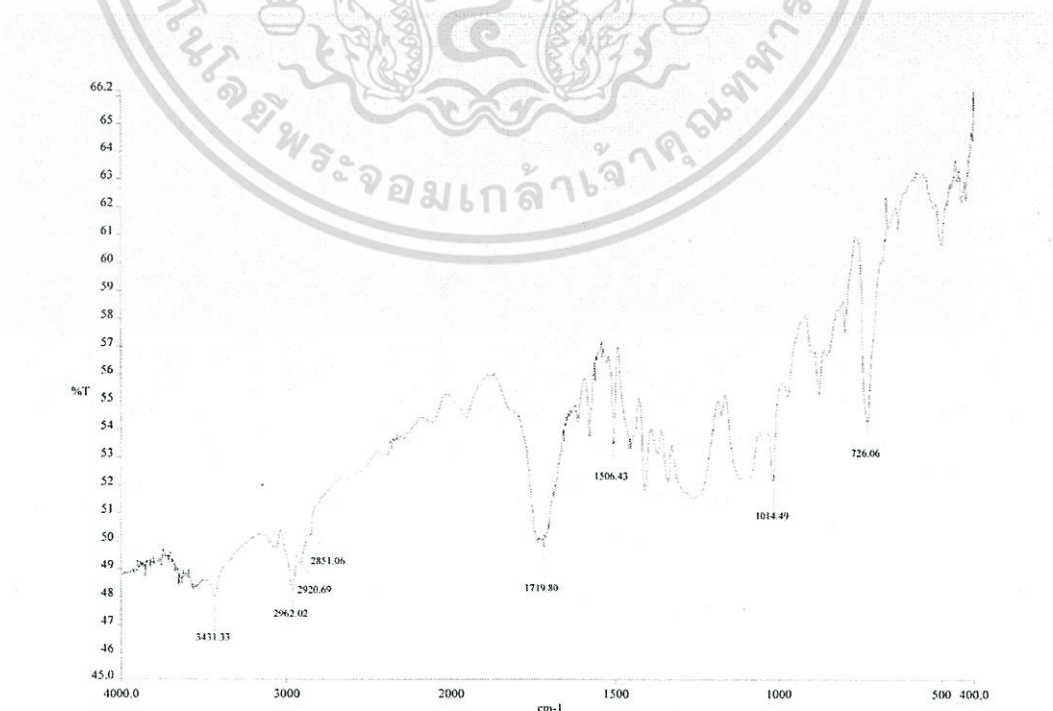
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) โดยใช้เครื่อง (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FT-IR Spectroscopy) โดยนำขวดพลาสติกที่ตั้งไว้กลางแจ้งและในที่มืดในระยะเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์

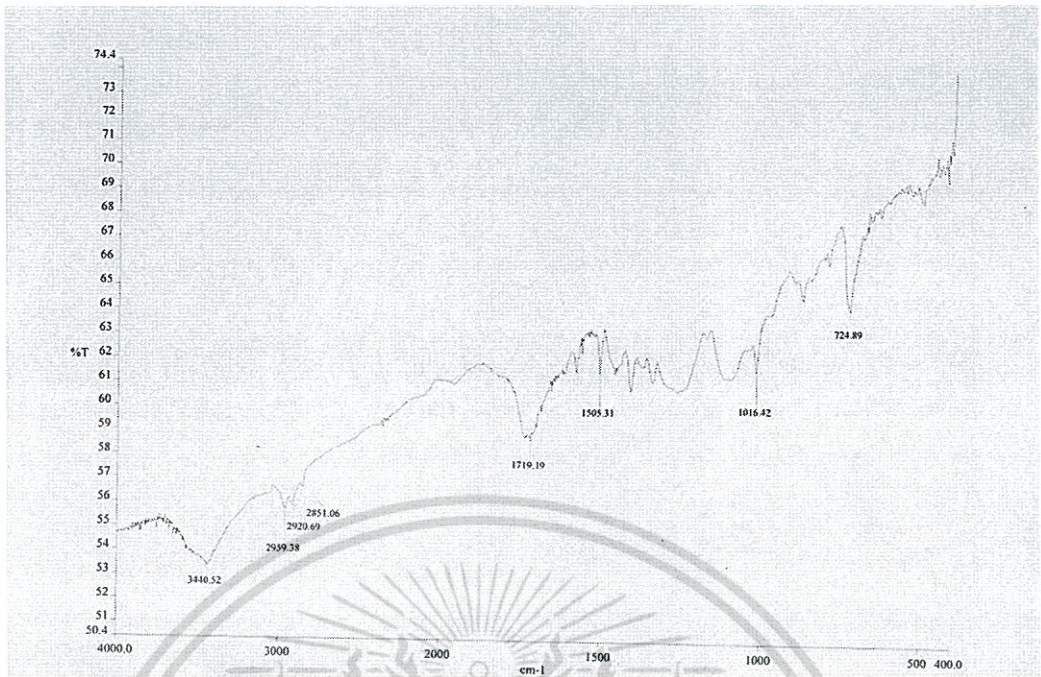


รูปที่ จ-1 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มืด สัปดาห์ที่ 0

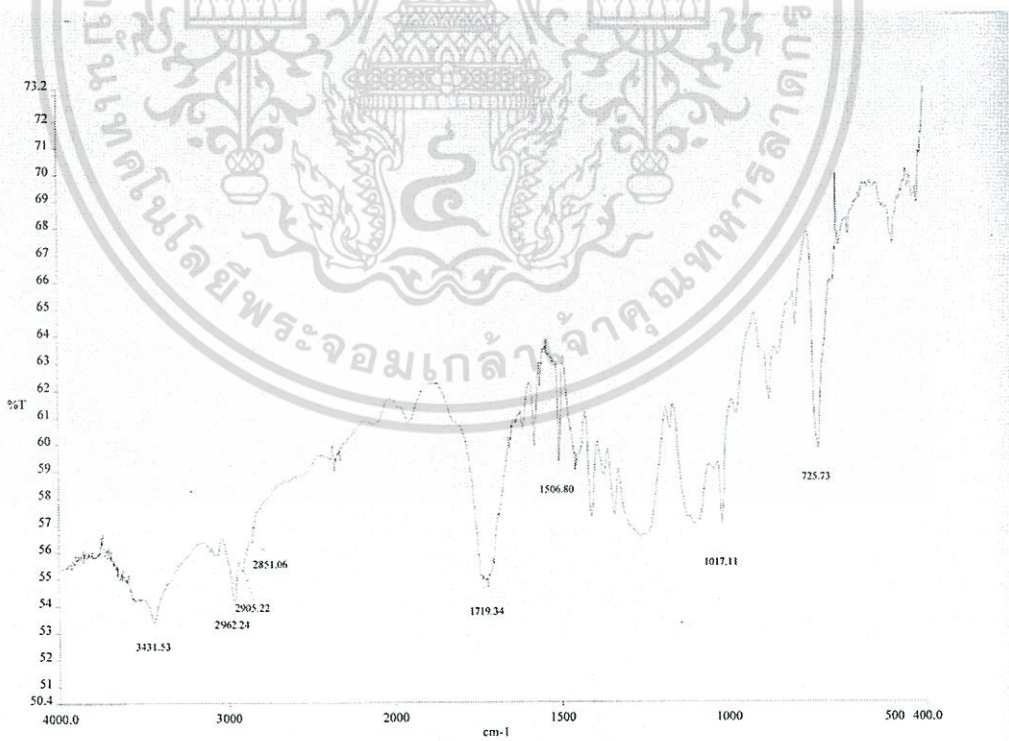


รูปที่ จ-2 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มืด สัปดาห์ที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารของงานวิจัยที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

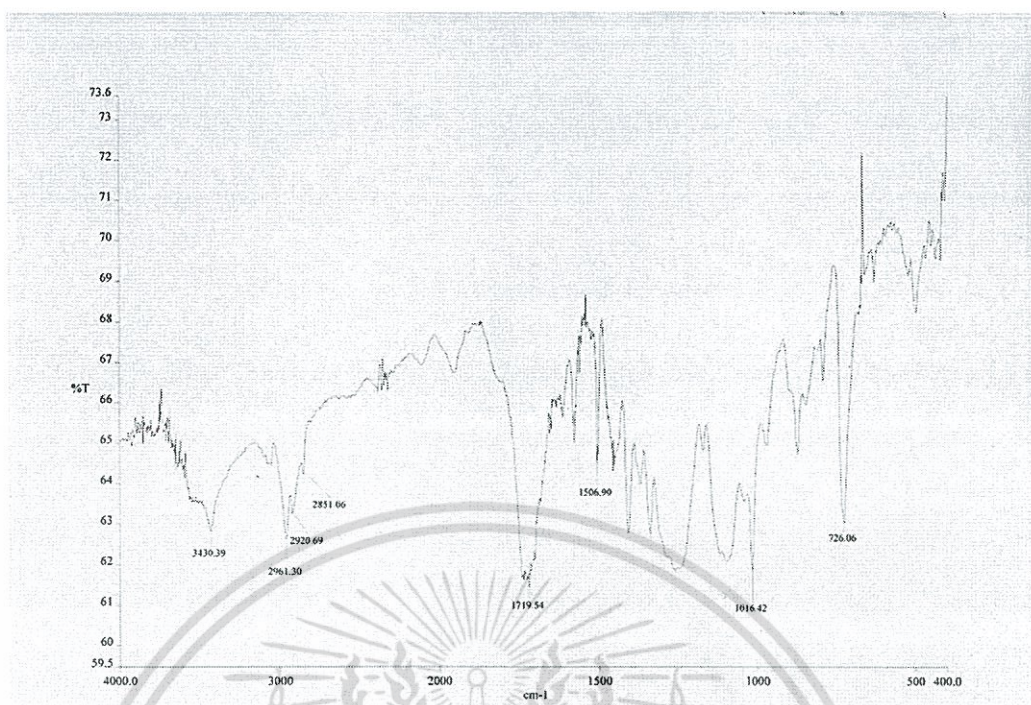


รูปที่ จ-3 หมู่ฟังก์ชันของขดน้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มืด สัปดาห์ที่ 4

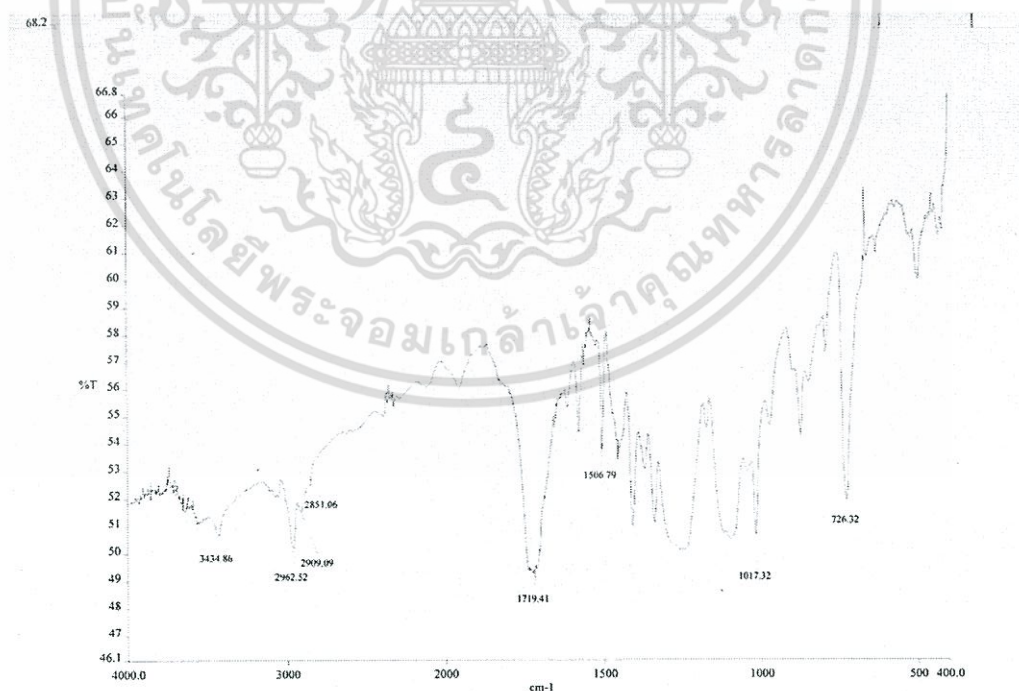


รูปที่ จ-4 หมู่ฟังก์ชันของขดน้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มืด สัปดาห์ที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

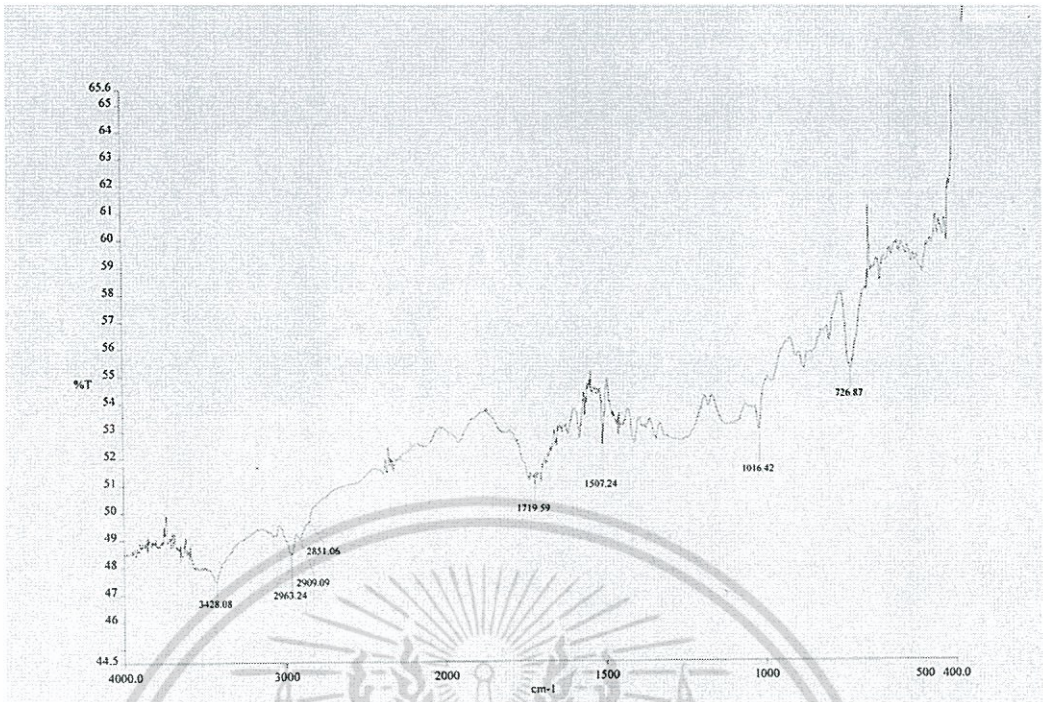


รูปที่ จ-5 หมู่ฟังก์ชันของขดน้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มืด สัปดาห์ที่ 8

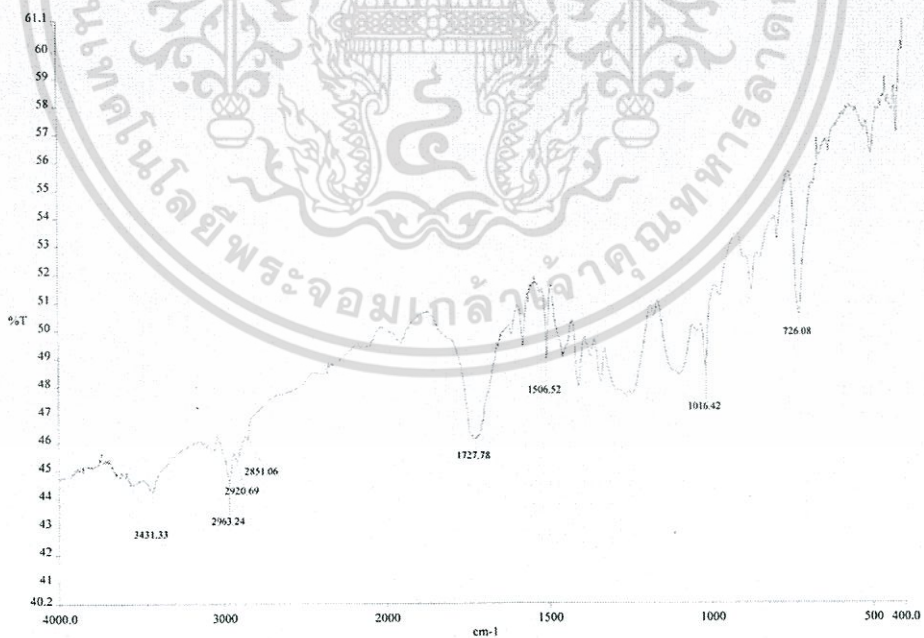


รูปที่ จ-6 หมู่ฟังก์ชันของขดน้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มืด สัปดาห์ที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

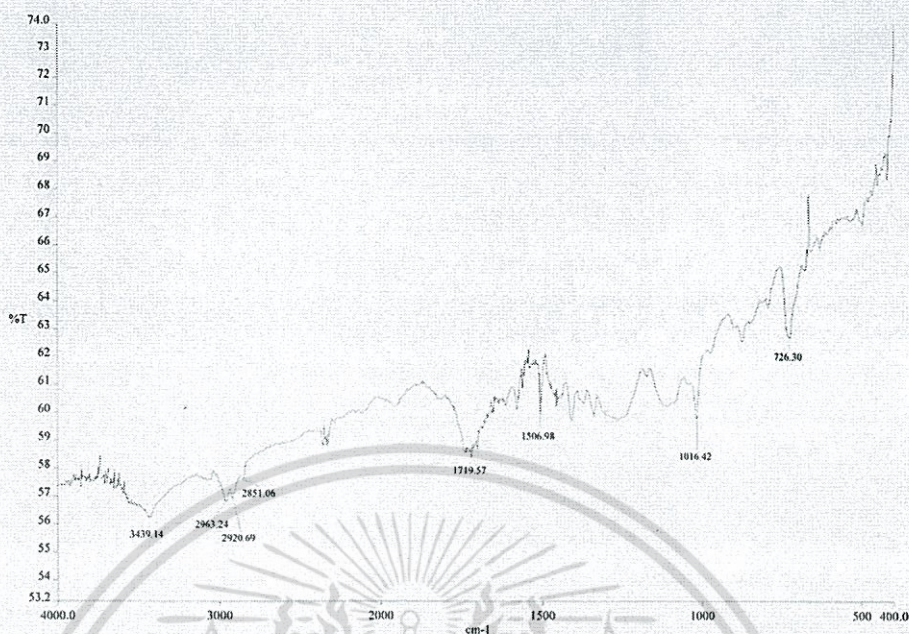


รูปที่ จ-7 หมู่ฟังก์ชันของขบวนการน้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่วางไว้ในที่มีด สัปดาห์ที่ 12

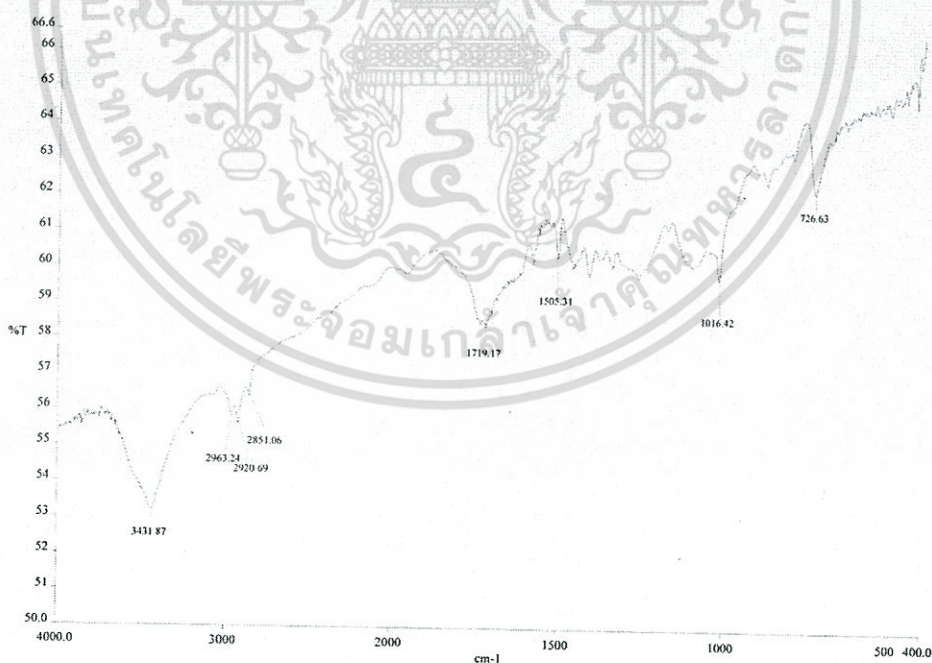


รูปที่ จ-8 หมู่ฟังก์ชันของขบวนการน้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่วางกลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

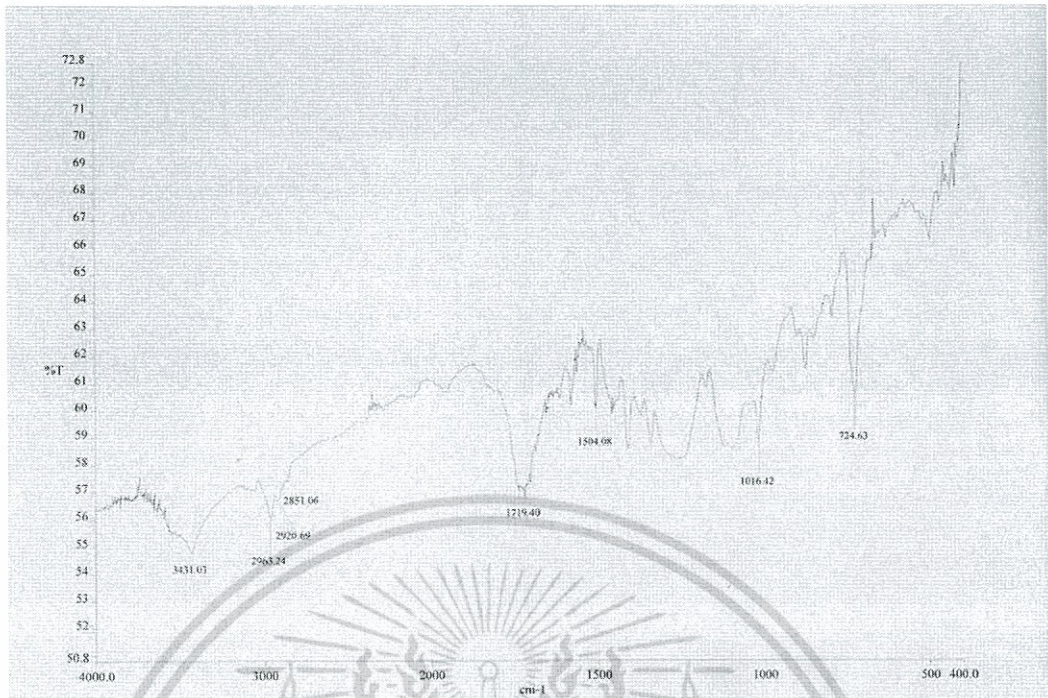


รูปที่ จ-9 หมู่ฟังก์ชันของขบวนการน้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่วางกลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 2



รูปที่ จ-10 หมู่ฟังก์ชันของขบวนการน้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่วางกลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

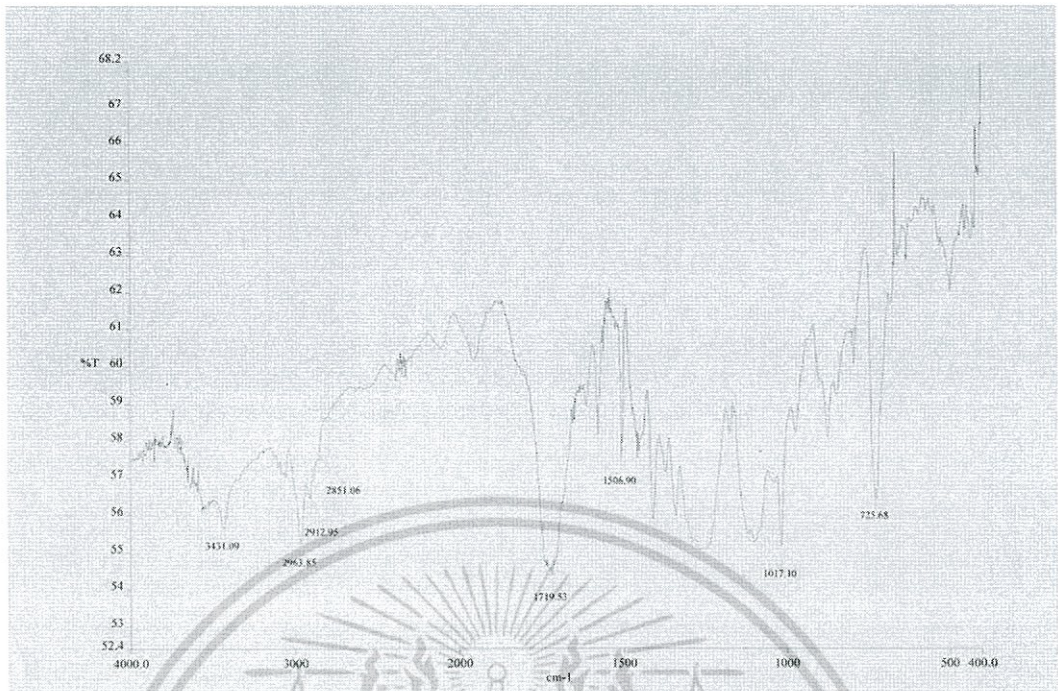


รูปที่ จ-11 หมู่ฟังก์ชันของขบวนการน้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่วางกลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 6

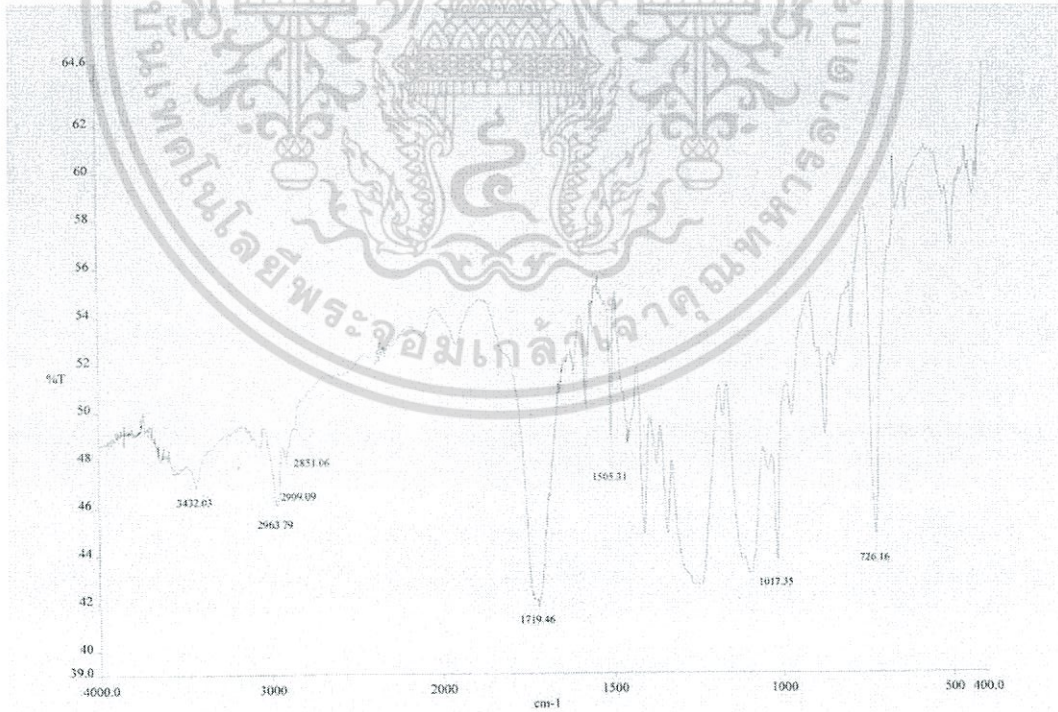


รูปที่ จ-12 หมู่ฟังก์ชันของขบวนการน้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่วางกลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ-13 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่วางกลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 10



รูปที่ จ-14 หมู่ฟังก์ชันของขวดน้ำดื่มขวดพลาสติก PET ที่วางกลางแจ้ง สัปดาห์ที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติก PET และขวดแก้ว ตั้งไว้กลางแจ้งและในที่มืดในระยะเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์

ตารางที่ ฉ-1 ค่า pH ของน้ำในขวดแก้วที่นำไปวางไว้ในที่มืด และกลางแจ้ง

pH		ขวดที่ 1		ขวดที่ 2		ค่าเฉลี่ย	S.D.
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
Time (สัปดาห์)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
ที่มืด	0	7.27	7.28	7.29	7.30	7.29	0.253
	2	7.28	7.32	7.34	7.35	7.33	
	4	7.74	7.80	7.84	7.83	7.80	
	6	7.90	7.88	8.02	7.99	7.95	
	8	7.57	7.58	7.81	7.83	7.70	
	10	7.72	7.74	7.73	7.71	7.73	
	12	7.44	7.46	7.45	7.45	7.45	
กลางแจ้ง	0	7.26	7.23	7.27	7.27	7.26	0.286
	2	7.34	7.36	7.38	7.39	7.37	
	4	7.77	7.74	7.87	7.87	7.81	
	6	8.18	8.28	7.99	8.00	8.11	
	8	7.64	7.67	7.6	7.61	7.63	
	10	7.65	7.66	7.71	7.73	7.69	
	12	7.58	7.53	7.48	7.47	7.52	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑-2 ค่า pH ของน้ำในขวดพลาสติก PET ที่นำไปวางไว้ในที่มืด และกลางแจ้ง

pH		ขวดที่ 1		ขวดที่ 2		ค่าเฉลี่ย	S.D.
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
Time (สัปดาห์)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
ที่มืด	0	8.09	8.03	8.04	8.06	8.06	0.376
	2	7.84	7.83	7.92	7.90	7.88	
	4	7.94	7.91	7.78	7.77	7.85	
	6	7.88	7.84	7.75	7.62	7.77	
	8	7.65	7.56	7.58	7.70	7.62	
	10	7.24	7.19	7.14	7.10	7.17	
	12	7.06	7.04	7.05	7.08	7.06	
กลางแจ้ง	0	8.12	8.05	8.08	8.06	8.08	0.320
	2	7.77	7.75	7.83	7.79	7.79	
	4	7.41	7.43	7.45	7.43	7.43	
	6	7.31	7.36	7.24	7.29	7.30	
	8	7.78	7.72	7.70	7.66	7.72	
	10	7.25	7.26	7.34	7.32	7.30	
	12	7.17	7.22	7.25	7.24	7.22	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข-1 ปริมาณตะกอน 2,4-Dinitrophenylhydrazine ของน้ำในขวดแก้ว ที่นำไปวางไว้ในที่มืด และกลางแจ้ง

เวลา(สัปดาห์) ตะกอน(กรัม)	0	2	4	6	8	10	12
ที่มืด	0.0096	0.0135	0.0147	0.0148	0.0150	0.0163	0.0054
กลางแจ้ง	0.0115	0.0132	0.0125	0.0127	0.0143	0.0111	0.0041

ตารางที่ ข-2 ปริมาณตะกอน 2,4-Dinitrophenylhydrazine ของน้ำในขวดพลาสติก PET ที่นำไปวางไว้ในที่มืด และกลางแจ้ง

เวลา(สัปดาห์) ตะกอน(กรัม)	0	2	4	6	8	10	12
ที่มืด	0.0134	0.0137	0.0136	0.0148	0.0143	0.0143	0.0043
กลางแจ้ง	0.0107	0.0135	0.0132	0.0136	0.0139	0.0163	0.0043

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

