สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ถุงพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุอาหาร

นาย ณัฐพล เอกวิทยานุรักษ์

2ฬ.
ว263421
2536
6125241 3X
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน.เดือน.ปี.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2536

Analysis of Plastic Bag for Food Pakaging

Mr. Nattapol Ekwittayanurak

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Departmennt of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การวิเคราะห์ถุงพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุอาหาร
นักศึกษา	นาย ณัฐพล เอกวิทยานุรักษ์
ภาควิชา	เคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนุมัติให้โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

.....

(ผศ.ดร.เผชิญชัย ไชยสิทธิ์) หัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ

.....

(ดร. ประเสริฐ คุณค้ำชู) ประธานกรรมการ

.....

(ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์) กรรมการ

.....

(ดร. อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ) กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ การวิเคราะห์ถุงพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุอาหาร
นักศึกษา นาย ณัฐพล เอกวิทยานุรักษ์
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2536

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการวิเคราะห์ถุงพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุอาหาร 4 ประเภท คือ ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็น ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใสและแบบขุ่น ถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของถุงพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุอาหารโดยเทคนิคทางสเปกโตรสโคปี และเทคนิคการวิเคราะห์เชิงความร้อน จากการศึกษาพบว่า ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็นมีองค์ประกอบหลักคือพอลิเอททิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใสมีองค์ประกอบหลักคือพอลิโพรพิลีน ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบขุ่นองค์ประกอบหลักคือพอลิเอททิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นสูง ถุงพลาสติกประเภทหูหิ้วองค์ประกอบหลักคือพอลิเอททิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นสูง

นอกจากนี้ ยังพบว่า ถุงพลาสติกที่ใช้ใส่อาหารยกเว้นถุงพลาสติกประเภทหูหิ้วปราศจากสารเติมแต่งหรือมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมากในระดับที่ไม่ควรเป็นอันตรายต่อมนุษย์

Special Project Title	Analysis of Plastic Bag for Food Packaging.
Name	Mr. Nattapol Ekwittayanurak
Special Project Advisor	Dr. Anucha Eauhpermkiati
Department	Chemistry
Acadamic year	1993

Abstract

This special project was analysis of plastic bag for food packaging. Four types of the plastic bag were tested. Including plastic bag for food packaging at room temperature (type I), transparent (type II) and translucent (type III) plastic bag for food packaging at elevated temperature and carrying plastic bag (type IV). The characteristic components and chemical structure of plastic bags were analysed using spectroscopic and thermal analysis techniques. From these studies , it was found that the main component of plastic bag of the first type is low density polyethylene, that of the second type is polypropylene, that of the third type is high density polyethylene and that of the fourth type is high density polyethylene.

From the spectroscopic and thermoanalysis techniques, the result suggested that plastic bags for food packaging of the type I-III may not contain or may contain a very small amount of additives which should not be harmful to human beings health.

กิตติกรรมประกาศ

ในโครงงานพิเศษเรื่อง การวิเคราะห์ถุงพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุอาหาร สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงงานพิเศษ ดังมีรายนามดังต่อไปนี้

- ดร. อนุชา เอื้อเพิ่มเกียรติ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือ
- ดร. ประเสริฐ คุณค้ำชู และ ผศ.ดร. มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษที่กรุณาแก้ไข้ข้อผิดพลาดและให้คำปรึกษา
- เจ้าหน้าที่ศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เจ้าหน้าที่ภาควิชาพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

นอกเหนือจากบุคคลที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีบุคคลอื่นที่ให้ความช่วยเหลือแต่มิได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ผู้จัดทำต้องขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

นายณัฐพล เอกวิทยานุรักษ์

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 4.1 ประเภทการสั่นของโมเลกุล ณ ช่วงความถี่เฉพาะซึ่งปรากฏในอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทอาหารเย็น 40

ตาราง 4.2 ประเภทการสั่นของโมเลกุล ณ ช่วงความถี่เฉพาะซึ่งปรากฏในอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทอาหารร้อนใส 43

ตาราง 4.3 ประเภทการสั่นของโมเลกุล ณ ช่วงความถี่เฉพาะซึ่งปรากฏในอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทอาหารร้อนขุ่น 50

ตาราง 4.4 ประเภทการสั่นของโมเลกุล ณ ช่วงความถี่เฉพาะซึ่งปรากฏในอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว 53

สารบัญรูป

		หน้า
รูป 4.1	แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็น	41
รูป 4.1A	แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิเอททิลีนมาตรฐาน	42
รูป 4.2	แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหาร ร้อนแบบใส หมายเลขที่ 1	44
รูป 4.2A	แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิโพรพิลีนมาตรฐาน	45
รูป 4.3	แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหาร ร้อนแบบใส หมายเลขที่ 2	46
รูป 4.4	แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหาร ร้อนแบบใส หมายเลขที่ 3	47
รูป 4.5	แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหาร ร้อนแบบใส หมายเลขที่ 4	48
รูป 4.6	แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหาร ร้อนแบบใส หมายเลขที่ 5	49
รูป 4.7	แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหาร ร้อนแบบขุ่น หมายเลขที่ 1	51
รูป 4.8	แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหาร ร้อนแบบขุ่น หมายเลขที่ 2	52
รูป 4.9	แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว หมายเลข 1	54
รูป 4.10	แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว หมายเลข 2	55
รูป 4.11	แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว หมายเลข 3	56
รูป 4.12	แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว หมายเลข 4	57
รูป 4.13	เทอร์โมกราฟ (Thermograph) ของเทอร์โมกราวิเมตริกอานาไรเซอร์ ของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็น	60
รูป 4.14	เทอร์โมกราฟของดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกอานาไรเซอร์ (Differential Scanning Calorimetric Thermograph) ของถุงพลาสติก ประเภทบรรจุอาหารเย็น	61
รูป 4.14A	เทอร์โมกราฟของดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกอานาไรเซอร์ (Differential Scanning Calorimetric Thermograph) ของโพลิเอททิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำมาตรฐาน	62
รูป 4.15	เทอร์โมกราฟ (Thermograph) ของเทอร์โมกราวิเมตริกอานาไรเซอร์ ของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใส	65

รูป 4.16	เทอร์โมกราฟของดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกอานาไรเซอร์ (Differential Scanning Calorimetric Thermograph) ของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใส	66
รูป 4.16A	เทอร์โมกราฟของดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกอานาไรเซอร์ (Diffeerential Scanning Calorimetric Thermograph) ของโพลิโพรพิลีนมาตรฐาน	67
รูป 4.17	เทอร์โมกราฟ (Thermograph) ของเทอร์โมกราวิเมตริกอานาไรเซอร์ของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบขุ่น	69
รูป 4.18	เทอร์โมกราฟของดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกอานาไรเซอร์ (Diffeerential Scanning Calorimetric Thermograph) ของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบขุ่น	70
รูป 4.18A	เทอร์โมกราฟของดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกอานาไรเซอร์ (Diffeerential Scanning Calorimetric Thermograph) ของโพลิเอททิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นสูง	71
รูป 4.19	เทอร์โมกราฟ (Thermograph) ของเทอร์โมกราวิเมตริกอานาไรเซอร์ของถุงพลาสติกประเภทประเภทหูหิ้ว	73
รูป 4.20	เทอร์โมกราฟของดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกอานาไรเซอร์ (Diffeerential Scanning Calorimetric Thermograph) ของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว	74

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ข
กิติกรรมประกาศ		ค
สารบัญตาราง		ง
สารบัญรูป		จ
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
	2.1 ประเภทของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร	3
	2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต	3
	2.3 อันตรายจากพลาสติก	8
	2.4 อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี	23
บทที่ 3	การดำเนินการวิจัย	37
	3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	37
	3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	37
	3.3 การดำเนินการวิจัย	38
	3.3.1 การศึกษาโครงสร้างทางเคมีของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร	38
	3.3.2 การศึกษาหาองค์ประกอบในถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร	38
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์	40
	4.1 ผลการศึกษาหาโครงสร้างทางเคมีของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร	40
	4.1.1 ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็น	40
	4.1.2 ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใสและขุ่น	43
	4.1.3 ถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว	53
	4.2 ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบในถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร	58
	4.2.1 ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็น	58
	4.2.2 ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใสและขุ่น	63
	4.2.3 ถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว	72

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 75
5.1 สรุปผลการทดลอง 75
5.2 ข้อเสนอแนะ 75
ภาคผนวก 77
บรรณานุกรม 82

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้นเป็นลำดับ เนื่องจากเป็นภาชนะที่มีน้ำหนักเบาและบรรจุของเหลวได้โดยไม่มีการรั่วซึม นอกจากนี้ยังมีราคาถูกกว่าถุงที่ทำจากวัสดุอื่น ๆ เช่น กระดาษ ผ้า และ กระสอบ ฯลฯ อุตสาหกรรมถุงพลาสติกจึงขยายตัวอย่างรวดเร็ว แม้ว่าถุงพลาสติกมีความสำคัญและมีประโยชน์อย่างมากในชีวิตประจำวันของมนุษย์ แต่จากการที่ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายโดยปราศจากความรู้ ความระมัดระวัง โดยเฉพาะการนำไปใช้บรรจุหรือห่อหุ้มอาหารในลักษณะที่ไม่เหมาะสมอันเนื่องจากวิธีการใช้ที่ไม่ถูกต้องหรือโดยสาเหตุจากคุณลักษณะอันไม่เป็นตามข้อกำหนดทางด้านคุณภาพมาตรฐานของถุงพลาสติก อาจก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะต่อสุขภาพของผู้บริโภคโดยทำให้เกิดอันตรายแบบสะสมหรือเรื้อรัง

ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

เนื่องจากในปัจจุบันมีปริมาณการใช้ถุงพลาสติกประเภทต่าง ๆ เช่น ถุงเย็น ถุงร้อน ถุงหูหิ้ว ฯลฯ ในการบรรจุอาหารกันอย่างแพร่หลาย ถุงพลาสติกเหล่านี้สัมผัสกับอาหารโดยตรง ซึ่งมีสารเคมีที่ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคโดยเฉพาะสารเติมแต่ง เช่น สเตบิไลเซอร์ พลาสติไซเซอร์ สารตัวเติม สี สารหล่อลื่น ฯลฯ เป็นต้น โดยสารเคมีเหล่านี้อาจละลายออกจากผิวของพลาสติกที่สัมผัสอาหารได้ โครงงานพิเศษนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อพยายามวิเคราะห์ปริมาณของสารเติมแต่งในถุงพลาสติกเหล่านี้

วัตถุประสงค์

การทำโครงงานพิเศษมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1.ศึกษารวบรวมและสรุปข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะของถุงพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุอาหาร

2.วิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของถุงพลาสติกโดยเทคนิคสเปคโตรสโคปี เช่น FT-IR และเทคนิกการวิเคราะห์เชิงความร้อน เช่น DSC และ TGA

วิธีดำเนินงานโดยย่อ

นำถุงพลาสติกตัวอย่างในท้องตลาดมาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีเทคนิคเชิงสเปคโตรสโคปี เช่น ฟูเรียทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี และ การวิเคราะห์เชิงความร้อน เช่น การทดสอบโดยการวิเคราะห์น้ำหนักด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก (Thermogravimetric analysis: TGA) และการทดสอบโดยการวิเคราะห์เอนเทลปีด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตริก (Differential Scanning Calorimetric Analysis :DSC)

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ประเภทของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร [2]

ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร คือ แผ่นฟิลม์พลาสติกจำพวกโพลิโพรพิลีน โพลิเอททิลีน ที่มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ โดยทำให้อยู่ในรูปแบบของถุง รูปแบบของถุงพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุอาหารในปัจจุบันที่ผลิตและจำหน่ายภายในประเทศ สามารถแบ่งตามการใช้งานออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. **ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็น** เป็นถุงชนิดที่ใช้บรรจุสิ่งของที่อุณหภูมิปกติหรือที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง ถุงพลาสติกประเภทนี้ทำจากเม็ดพลาสติกชนิดโพลิเอททิลีน (Polyethylene: PE) ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 60 องศาเซลเซียส และป้องกันการซึมผ่านของของเหลวได้

2. **ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อน** เป็นถุงที่ใช้บรรจุอาหารและของร้อน ทำจากเม็ดพลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีน(Polypropylene : PP)หรือชนิดโพลิเอททิลีนที่มีความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) ซึ่งสามารถทนความร้อนได้สูงถึง 110 องศาเซลเซียส

3. **ถุงพลาสติกชนิดมีหูหิ้ว** ทำจากเม็ดพลาสติกโพลิเอททิลีน (Polyethylene : PE) ใช้สำหรับบรรจุสิ่งของต่าง ๆ โดยทั่วไป แต่ไม่เหมาะกับการใช้บรรจุอาหารร้อน มีลักษณะบางกว่าถุงประเภทอื่น ๆ มีสีสดใส ส่วนมากมักผลิตโดยนำพลาสติกที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling)

สำหรับกรรมวิธีการผลิตถุงพลาสติกโดยทั่วไปใช้วิธีการผลิตแบบเป่า (Film Blowing) โดยนำเม็ดพลาสติกไปผ่านความร้อนสูง จากนั้นจะอัดเม็ดพลาสติกที่หลอมละลายแล้ว ให้เป็นเส้นยาว พร้อมกับเป่าลมไปให้เป็นแผ่นฟิลม์บาง ๆ ปิดผนึกก้นถุงแล้วนำมาตัดก็จะได้ถุงพลาสติกตามต้องการ

2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต [4]

โพลิเอททิลีน (Polyethylene : PE)

โพลิเอททิลีนจัดเป็นโพลิโอเลฟินชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ที่เตรียมได้จากเอททิลีนอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนแบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated aliphatic Hydrocarbon) สูตรโครงสร้างของโพลิเอททิลีน ดังนี้

$$-(CH_2-CH_2)_n-$$

โพลิเอททิลีนที่ผลิตขึ้นในทางการค้าครั้งแรกในปี ค.ศ 1939 เป็นโพลิเอททิลีนที่มีกิ่งก้านสาขาชนิดความหนาแน่นต่ำ เรียกว่า โพลิเอททิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene : LDPE) โพลิเอททิลีนถูกค้นพบขึ้นเป็นครั้งแรกใน ปี ค.ศ. 1933 โดย เฟาเซตต์และยิบสัน (Fawcett and Gibson) ณ Imperial Chemical Industries Ltd., (ICI) ประเทศอังกฤษ โดยการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีที่ความดันสูง ๆ และได้ค้นพบโพลิเอททิลีนโดยบังเอิญจากปฏิกิริยาของเอททิลีนกับเบนซัลดีไฮด์ ภายใต้ความดันบรรยากาศหลายพันบรรยากาศ ปัจจุบันมีการผลิตโพลิเอททิลีนให้เหมาะสมกับการใช้งานมีทั้ง High Density Polyethylene (HDPE) และ Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) และ Low Density Polyethylene (LDPE) โพลิเอททิลีน สามารถแบ่งตามความหนาแน่นตามที่ ASTM ได้แบ่งไว้มีดังนี้

1. ชนิดความหนาแน่นต่ำ เรียกว่า แอล ดี พี อี (LDPE : Low Density Polyethylene) มีความหนาแน่นช่วง 0.910-0.925 g/cm^3
2. ชนิดความหนาแน่นปานกลาง เรียกว่า เอ็ม ดี พี อี (MDPE : Medium Density Polyethylene) มีความหนาแน่นช่วง 0.926-0.940 g/cm^3
3. ชนิดความหนาแน่นสูง เรียกว่า แอล ดี พี อี (HDPE : High Density Polyethylene) มีความหนาแน่นช่วง 0.941-0.959 g/cm^3

ปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ไรเซชันเพื่อเตรียมโพลิเอททิลีนโดยปฏิกิริยาแบบรวมตัว ดังสมการ

$$n\ CH_2=CH_2 \quad \text{--------}> \quad -[\ CH_2CH_2\ ]_n-$$

โพลิเอททิลีน จัดเป็นพลาสติกจำพวกเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และมีอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว(T_g , glass transition temperature) ประมาณ -130 ถึง 60 องศาเซลเซียส โพลิเอททิลีนจึงมีลักษณะทั้งยืดหยุ่นและแข็งที่สภาวะปกติ สำหรับอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m , melting temperature) ของโพลิเอททิลีนมีค่าประมาณ 108-133 องศาเซลเซียส โพลิเอททิลีนยังมีสมบัติที่สำคัญ ๆ ดังนี้

1. เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเหมาะสำหรับหุ้มสายไฟฟ้า

2. การละลาย โดยปกติจะไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส จะเริ่มละลายได้
3. พวกที่มีความหนาแน่นต่ำจะใสมาก แต่จะขุ่นเมื่อมีความหนาแน่นสูง
4. ทนทานต่อกรดและเบส
5. ความเหนียวและทนทานต่อแรงดึงปานกลาง
6. ราคาถูก

2.1 โพลิเอททิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene)

คุณลักษณะ เป็นเม็ดสีขาวขุ่น หรือ อาจใส่สีตั้งแต่อ่อนไปจนถึงเข้ม ผิวอ่อน

คุณสมบัติ ความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ มีความเหนียวแต่ทนต่อแรงดึงปานกลาง ความเป็นฉนวนดี มีความทนทานต่อสารเคมีหรือเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ไม่ละลายในตัวทำละลายจำพวกไฮโดรคาร์บอนและคลอริเนเตดไฮโดรคาร์บอน เช่น โทลูอีน (Toluene) ไซลีน (Xylene) ฯลฯ ที่อุณหภูมิปกติ ทนทานต่อกรดและเบส และยังป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี แต่ไม่สามารถทนทานต่อสภาวะอากาศทั่ว ๆ ไปได้ แต่สามารถแก้ปัญหาด้วยการเติม UV-Stabiliser ลงไป เพื่อให้สามารถใช้งานกลางแจ้งได้และทนทานความร้อนได้ อุณหภูมิใช้งาน 60-80 องศาเซลเซียส

การผลิต โดยปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันแบบอนุมูลอิสระ โดยใช้ออกซิเจน(Oxygen) หรือ เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) หรือ เอโซบิสไอโซบิลทิโรไนไตรล์ (AIBN : azobisisobytyronitrite) เป็นตัวริเริ่ม จะใช้ความดันสูงประมาณ 1500 บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส กระบวนการนี้จะต้องทำในเตาปฏิกรณ์ (reactors) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันอย่างรวดเร็ว และเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนสูงมาก ในการใช้ความเข้มข้นของโมโนเมอร์มาก ๆ และความดันสูง จะทำให้ได้ โพลิเอททิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีกิ่งก้านสาขา

2.2 โพลิเอททิลีนที่มีความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene)

โพลิเอททิลีนนี้อาจเรียกว่า โพลิเอททิลีนเชิงเส้นตรง เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงเกือบตลอด มีสาขาโซ่อยู่แต่น้อยมาก ในกระบวนการการผลิตโพลิเอททิลีนที่มีความหนาแน่นสูงนี้จะใช้ความดันต่ำกว่าโพลิเอททิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำมาก และมีการผลิตในเชิงการค้า ตั้งแต่ ปี ค.ศ 1955

คุณลักษณะ เป็นเม็ดสีขาวขุ่นกว่าโพลิเอททิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ ผิวแข็ง และมีความเงากว่าโพลิเอททิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ

คุณสมบัติ เนื่องจากโพลิเอททลีนที่มีความหนาแน่นสูงมีโครงสร้างเชิงเส้นตรง จึงทำให้มีความเป็นระเบียบของโครงสร้างมาก จึงทำให้มีความเป็นผลึกสูงมาก ความหนาแน่นและจุดหลอมตัวก็สูงกว่าโพลิเอททิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ มีความหนาแน่นช่วง 0.941-0.959 g/cm^3 มี T_m (melting temperature) ประมาณ 135 องศาเซลเซียส มีความคงตัว คงรูปของชิ้นงาน ความดูดซับน้ำต่ำมาก ความเหนียว ความทนต่อแรงดึง ความแข็งของผิว ความทนทานต่อความร้อน ความทนทานต่อการคืบ ความทนทานต่อสารเคมี ความเงามันของผิว และคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของอากาศและความชื้นได้ดีกว่าโพลิเอททิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ แต่คุณสมบัติที่ด้อยกว่า คือ ความสามารถในการรับแรงกระแทกและความยืดหยุ่น อุณหภูมิสำหรับใช้งานประมาณ 80-110 องศาเซลเซียส

การผลิต วิธีการผลิตโพลิเอททิลีนที่มีความหนาแน่นสูง ในอุตสาหกรรมมีหลายวิธี ที่สำคัญมี 3 วิธี ดังนี้

1. กระบวนการซีเกลอร์ (Ziegler Process) กระบวนการนี้ใช้ตัวเร่งของซีเกลอร์-แนตตา (Ziegler-Natta Catalyst) ได้แก่ ไทเทเนียมเตตระคลอไรด์-อะลูมิเนียมอัลคิล($TiCl_4$-R_3Al) ปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันที่เกิดขึ้นเป็นแบบโคออร์ดิเนชัน โดยจะเกิดสารเชิงซ้อนโคออร์ดิเนตระหว่างโมโนเมอร์กับตัวเร่ง ในการเตรียมจะผ่านเอททิลีนโมโนเมอร์เข้าไปในเตาปฏิกรณ์ ภายใต้ความดันต่ำ (2-4 บรรยากาศ) และมีตัว diluent เช่น น้ำมันดีเซล เฮปเทน หรือ โทลูอีน และทำในบรรยากาศเฉื่อย เช่น บรรยากาศของไนโตรเจน และต้องปราศจากความชื้นและออกซิเจน อุณหภูมิที่ใช้ 70 องศาเซลเซียส เนื่องจากโพลิเอททิลีนไม่ละลายในตัว diluent เมื่อเกิดเป็นโพลิเมอร์จะตกตะกอนออกมา หลังจากปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันสิ้นสุด ตัวเร่งซีเกลอร์-แนตตา จะถูกทำลายลงโดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล เอทานอล หรือ โพรพานอล สารละลายทั้งหมดสามารถสกัดออกจากโพลิเมอร์โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกในแอลกอฮอล์ แล้วนำไปเซนตริฟิว (centifuge) และทำให้แห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสาขาโซ่น้อยมาก ซึ่งมีผลให้มีความหนาแน่นประมาณ 0.945 g/cm^3

2. กระบวนการฟิลลิปส์ (Phillips Process) การเตรียมวิธีนี้ใช้สภาวะอยู่ระหว่างวิธีใช้ความดันสูงกับกระบวนการซีเกลอร์ โดยใช้ความดันประมาณ 30-40 บรรยากาศ อุณหภูมิประมาณ 90-160 องศาเซลเซียส โดยใช้โครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) ที่มีตัวพยุง เช่น ซิลิกาหรืออะลูมินาเป็นตัวเร่ง (ตัวเร่งที่ใช้เตรียมโดยใส่ซิลิกา-อลูมินา กับสารละลายเกลือโครเมียมเผาให้ถึง 400-800 องศาเซลเซียส ในอากาศ) และมีตัวทำละลาย เช่น ไซโคลเฮกเซน ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นโพลิเอททิลีนที่มีความหนาแน่นสูงมีความหนาแน่น 0.96 g/cm^3

3. กระบวนการสแตนดาร์ดออยล์ (Standard Oil Process) กระบวนการนี้คล้ายคลึงกับกระบวนการฟิลลิปส์ สำหรับตัวเร่งที่ใช้ได้แก่ ออกไซด์ของโลหะ เช่น โมลิบดินัมไตรออกไซด์ (MoO_3) บนตัวพยุง เช่น อะลูมินา (Al_2O_3) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) หรือเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2) ความดันที่ใช้ 40-100 บรรยากาศ และ อุณหภูมิที่ใช้ 200-300 องศาเซลเซียส

โพลิโพรพิลีน (Polypropylene)

โพลิโพรพิลีนที่เตรียมจากโพรพีลีนโดยปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันแบบฟรีแรดิคัลหรือแบบอิออนิก จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ในปี ค.ศ. 1953 แนตตาก็ได้ประสบความสำเร็จ ในการเตรียมโพลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีโครงสร้างแบบไอโซแทกติก โดใช้ตัวเร่งซีเกลอร์-แนตตา ปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันแบบโคออร์ดิเนชัน
โพลิโพรพิลีน จัดเป็นโพลิโอเลฟินชนิดหนึ่งที่ใช้ก้นมากในประเทศไทย สูตรโครงสร้างเป็น

$$-[CH_2CH(CH_3)]_n-$$

คุณสมบัติ โพลิโพรพิลีนเป็นโพลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ที่มีความหนาแน่นต่ำมาก คือ 0.90 g/cm^3 มีความเป็นผลึกสูง ทำให้มีสมบัติเชิงกลดีมาก เหนียว ทนต่อแรงดึงได้สูง มีจุดหลอมเหลวที่ 165 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าโพลิเอททิลีน ทำให้เหมาะสำหรับนำไปใช้งานที่อุณหภูมิที่สูงกว่าโพลิเอททิลีน ส่วนสมบัติการละลายไม่ละลายที่ตัวทำละลายทุกชนิดที่อุณหภูมิห้อง แต่ละลายได้ในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนและคลอริเนเตดไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส ทนต่อกรดและเบสได้ดี เฉื่อยต่อปฏิกิริยา มีคุณสมบัติต้านทานน้ำมันและไขมันได้ดีกว่า และไอน้ำกับออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำกว่า และยังมีความใสกว่าโพลิเอททิลีน เมื่อต้องการคุณสมบัติที่ดีขึ้น สำหรับความเสถียรภาพต่อความร้อนแสง และตัวออกซิแดนซ์มีน้อยกว่าโพลิเอททิลีน เพราะว่า ในสายโซ่มีเทอร์เทียรีคาร์บอน (tertiary carbon) ดังนั้นก่อนนำไปใช้งานจะต้องเติมตัวแอนตี้ออกซิแดนต์และอุลตราไวโอเลตสเตบิไลเซอร์ก่อน
การผลิต โพลิโพรพิลีนนั้นสามารถเตรียมได้โดยใช้ปฏิกิริยาโคออร์ดิเนชันโพลิเมอร์ไรเซชันดังสมการ

$$n\ CH_2{=}CH{-}CH_3 \text{ ----------> } -[CH_2CH(CH_3)]_n-$$

กระบวนการผลิต โพลิโพรพิลีน ประกอบด้วยขั้นตอน 4 ขั้นตอน คือ

1. การเตรียมตัวเร่งของซีเกลอร์-แนตตา ในขั้นตอนนี้องค์ประกอบต่าง ๆ ของตัวเร่งจะถูกนำเข้าผสมกันก่อนที่จะนำเข้าสู่ส่วนปฏิกรณ์ ในอัตราส่วนที่กำหนดและในความเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม โพลิโพรพิลีนที่เตรียมโดยกระบวนการซีเกลอร์-แนตตา ตัวเร่งที่ใช้และสภาวะของ ปฏิกิริยาเช่นเดียวกับโพลิเอททิลีนที่มีความหนาแน่นสูง

2. โพลิเมอร์ไรเซชัน ในขั้นตอนนี้โพรพิลีนจะโพลิเมอร์ไรซ์ เป็นโพลิโพรพิลีนภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

3. กรรมวิธีหลังจากการโพลิเมอร์ไรเซชัน โพรพิลีนที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาจะถูกแยกออกมาจาก diluent และล้างด้วยแอลกอฮอล์เพื่อลดสมรรถนะของตัวเร่งที่เหลือในโพรพิลีน ส่วน diluent และ แอลกอฮอล์ จะถูกทำให้บริสุทธิ์และส่งกลับหมุนเวียนไปใช้อีก

4. การทำให้เป็นเม็ด และ การบรรจุถุง โพลิโพรพิลีนที่ได้หลังจากการทำให้แห้งและผสมด้วยสารเติมแต่งผสมตามความต้องการแล้วก็จะถูก extrude เป็นเม็ด ทำให้แห้ง และ บรรจุถุงต่อไป

2.3 อันตรายจากพลาสติก [1]

โดยปกติ พลาสติกซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่และมีน้ำหนักโมเลกุลสูงนั้น (10^4-10^6) เป็นสารที่ไม่เป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ เนื่องจากมีความเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีและละลายได้ยากในตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ หรือไม่ละลายเลย แม้หากรับประทานพลาสติกเข้าไปในร่างกายก็จะถูกขับออกมาโดยปราศจากการดูดซึมหรืออันตรายต่อร่างกาย ตัวอย่าง เช่น เซลลูโลสในผัก เป็นต้น หรือ ถ้าใช้พลาสติกสัมผัสกับผิวหนังหรือฝังลงไปในร่างการก็อยู่ได้เป็นเวลานานโดยไม่เกิดอันตราย จากการศึกษาถึงความเป็นพิษของพลาสติกหรือโพลิเมอร์สังเคราะห์หลายชนิดไม่ว่าจะเป็น ซิลิโคน โพลิโพรพิลีน โพลิเอททิลีน โพลิไวนิลคลอไรด์ โพลิคาร์บอเนต โพลิสไตรีน โพลิแคปโปรแลคแทม อิพอกซี หรือ โพลิเตตระฟลูออโรเอททิลีน (เทฟลอน) ก็ให้ผลยืนยันถึงความไม่เป็นพิษของพลาสติก อย่างไรก็ตาม พลาสติกบางชนิดอาจจะเป็นพิษต่อร่างกายได้ ในขณะที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะไม่แสดงความเป็นพิษออกมา แต่ทว่าโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ (ช่วง 10^2-10^3) อาจจะเป็นอันตรายต่อร่างกายได้ ซึ่งจะพบได้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ในขั้นตอนการผลิต หรือ เกิดจากการสลายตัวของพลาสติก โดยทั่วไปจำแนกปัญหาในการนำพลาสติกมาใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารได้ดังนี้

1. สาเหตุที่เกิดจากพลาสติกทางอ้อม เป็นปัญหาที่ไม่ได้เกิดจากการนำเอาพลาสติกมาใช้ทำภาชนะบรรจุหรือห่อหุ้มอาหารนั้นโดยตรง แต่ทว่าเกิดจากการนำพลาสติกไปใช้แบบผิด ๆ (misuse) แบ่งเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่

1.1 การนำกลับมาใช้โดยตรง คือ การเก็บถุงหรือแผ่นพลาสติกที่ใช้แล้วจากแหล่งต่าง ๆ มาล้างหรือทำความสะอาด จากนั้นนำมาใช้บรรจุอาหารใหม่อีก กรณีนี้อันตรายอาจเกิดจากจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่กับพลาสติก โดยเฉพาะถ้าเป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคหรือพวกที่สามารถสร้างสารพิษได้อีกยิ่งทำให้เกิดอันตรายร้ายแรงมากขึ้นไปอีก นอกจากนี้กรณีที่นำพลาสติกที่เคยใช้บรรจุสารเคมีที่เป็นพิษหรืออันตราย เช่น ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง หรือวัตถุมีพิษที่ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้

1.2 การนำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับไปหลอมใหม่ การนำเอาพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้อีกนั้นอนุภาคของสิ่งสกปรกหรือสีที่เคยพิมพ์ติดไว้บนหน้าผิวของพลาสติกเดิมยังคงผสมปนอยู่ในเม็ดพลาสติกจะขุรขระไม่เรียบเป็นมันเช่นกับพลาสติกใหม่ จึงจำเป็นต้องใส่สารหล่อลื่น(Lubricant) ได้แก่ ซิงค์ สเตียเรต (Zinc stearate) หรือ แมกนีเซียม สเตียเรต (Magnesium stearate) เพื่อให้เกิดความมันและลื่นของผิวหน้าพลาสติกที่หลอมและเป่าใหม่ หากมีการใช้สารหล่อลื่นดังกล่าวปริมาณมากเกินไป อาจจะทำให้มีอนุภาคของสังกะสีหรือแมกนีเซียมเหลือจับอยู่บนผิวหน้าของพลาสติกซึ่งสามารถหลุดออกมาปนเปื้อนในอาหารได้ นอกจากนี้ความขุ่นสกปรกเนื่องจากอนุภาคของเศษผงฝุ่น และสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ ทำให้มีความจำเป็นต้องใส่สีลงไปเพื่อปิดข้อบกพร่องเพื่อทำให้เหมือนใหม่ที่มีสีสรรสวยงามน่าดูน่าใช้ แต่สีที่ผสมในพลาสติกไม่ใช่สีผสมอาหารและมีสิ่งปนเปื้อน (Impurities) ส่วนใหญ่เป็นโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู ปนอยู่ ดังนั้นหากใช้ถุงหรือแผ่นพลาสติกที่แต่งสีมาบรรจุอาหาร โลหะหนักที่อยู่ในสีจะออกมาปนเปื้อนกับอาหารทำให้เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้

2. สาเหตุที่เกิดจากพลาสติกโดยตรง

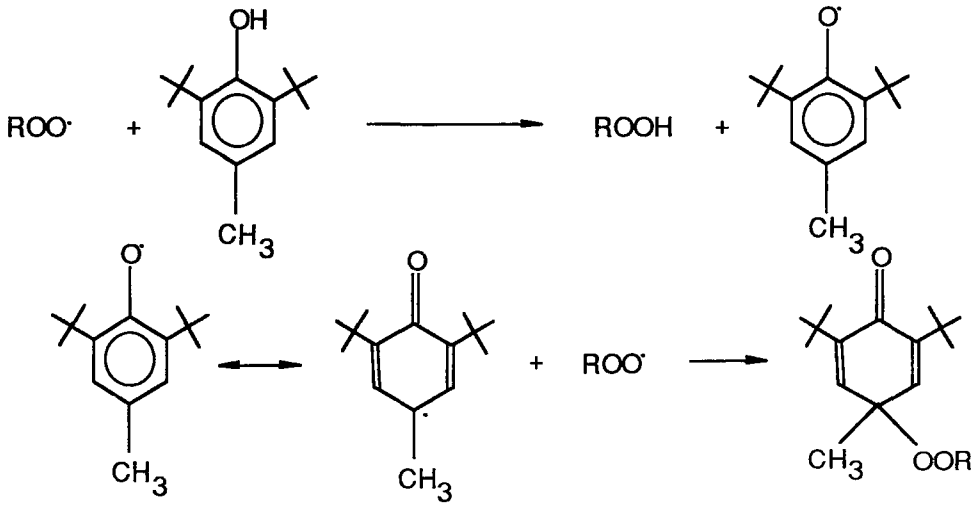
โดยปกติ พลาสติกโดยลำพังของตัวมันเอง จะมีสมบัติไม่ดีพอที่จะนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีคุณภาพสำหรับใช้งานต่าง ๆ ได้ ดังนั้นในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกจึงจำเป็นต้องใส่สารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติของพลาสติกให้ได้ตรงตามความต้องการ สารเติมแต่งเหล่านี้มิได้เข้าไปทำปฏิกิริยาโดยตรงในโครงสร้างของโมเลกุลโพลิเมอร์ แต่จะกระจายตัวสอดแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์ เหตุนี้ในกรณีของการบรรจุอาหารในสภาวะที่แตกต่างกัน เช่น ระดับอุณหภูมิขณะที่บรรจุหรือคุณลักษณะของตัวอาหารเองที่อาจจะเป็นตัวทำละลายที่ดี ฯลฯ จะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารเติมแต่ง[4]จากเนื้อพลาสติกเข้าไปปน

เปื้อนอาหาร ส่วนใหญ่สารเคมีเหล่านี้เป็นพิษหรืออาจจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพผู้บริโภค ได้ สารเติมแต่งหลักที่มักต้องใช้ผสมในผลิตภัณฑ์พลาสติก ได้แก่

1. สารแอนติออกซิแดนต์ (Antioxidant)

โดยทั่วไป โพลิเมอร์มีแนวโน้มที่จะเกิดการสลายตัว เช่น การแตกสายโซ่ (chain scission) ปฏิกิริยาดิโพลิเมอไรเซชัน (depolymerization) ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงร่างแห (cross-linking) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ฯลฯ ซึ่งการสลายตัวเหล่านี้เกิดจากความร้อน, แสง, รังสีและ ออกซิเจน ในสภาวะแวดล้อม จุดประสงค์ในการเติมสารแอนติออกซิแดนต์ลงไปในพลาสติกเพื่อป้องกันหรือขัดขวางการเกิดการสลายตัวของโพลิเมอร์ในขั้นแผ่ขยาย (Propagation) เพื่อเป็นตัวทำหน้าที่ต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารแอนติออกซิแดนต์ส่วนใหญ่จะใช้เป็นส่วนประกอบในพลาสติก , ไฟเบอร์ , ยาง และสารยึดติด สารแอนติออกซิแดนซ์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

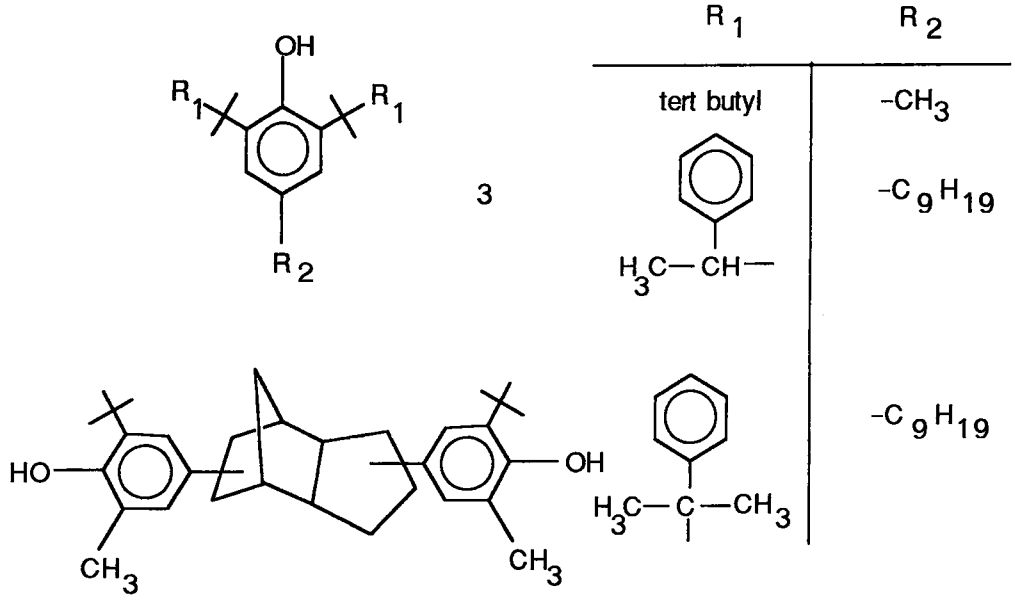
1.1 สารแอนติออกซิแดนต์ปฐมภูมิ (Primary Antioxidant) หรือ ตัวป้องกันการแตกสายโซ่ (chain scission) สารแอนติออกซิแดนต์สำคัญ ๆ ที่ใช้กันทั่วไปเป็นสารประกอบประเภทฟีนอล (sterically hindered phenol) และ อะโรเมติกเอมีน (aromatic amine) ซึ่งสารแอนติออกซิแดนต์เหล่านี้ป้องกันการเกิดการสลายตัวของโพลิเมอร์ในขั้นตอนโปรปาเกชัน โดยทำปฏิกิริยากับโพลิเมอร์แรดิคัล โดยรับฟรีแรดิคัลจากโพลิเมอร์แรดิคัลเกิดเป็นฟรีแรดิคัลที่เสถียร มีความว่องไวต่ำ ไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาขั้นแผ่ขยายต่อไปได้ สำหรับฟีนอลที่มีความเกะกะ(hindered phenols) มีกลไกการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนี้



จากปฏิกิริยาดังแสดง สารประเภทฟีนอลที่มีความเกะกะ (hindered phenols) จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระเปอร์ออกซิให้กลายเป็นอนุมูลอิสระฟีนอซีที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาต่ำและสามารถทำปฏิกิริยาต่อกับอนุมูลอิสระเปอร์ออกซิอื่น ๆ ต่อไปได้อีก

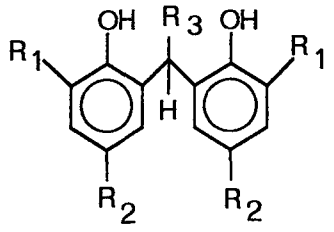
สารแอนตีออกซิแดนต์ทั้งประเภทฟีนอล (sterically hindered phenols) และอะโรมาติกเอมีนทุติยภูมิ (secondary aromatic amine) มักนิยมใช้เติมลงไปในเทอร์โมพลาสติก หากพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว อะโรมาติกเอมีนทุติยภูมิมีประสิทธิภาพในการเป็นตัวป้องกันการเกิดออกซิไดซ์ได้ดีกว่าสารประเภทฟีนอล แต่ที่นิยมใช้น้อยกว่า เนื่องจากอะโรมาติกเอมีนทุติยภูมิจะทำให้เทอร์โมพลาสติกเกิดรอยเปื้อน(stain) ที่ผิวของผลิตภัณฑ์จึงถูกจำกัดให้ใช้กับพวกวัลคาไนซ์ อิลาสโตเมอร์ (vulcanized elastomer) เท่านั้น สารประเภทฟีนอล (sterically hindered phenols) ที่สำคัญทางการค้าจำแนกได้ทั้งหมด 6 ประเภท คือ

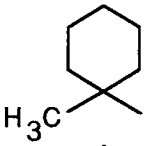
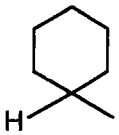
1. Alkylphenols , e.g. :



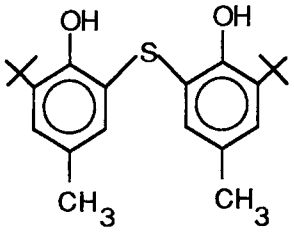
R_1	R_2
tert butyl	$-CH_3$
	$-C_9H_{19}$
	$-C_9H_{19}$

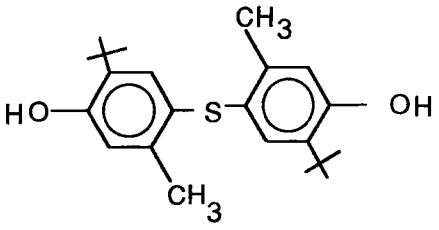
2. Alkylidene-bisphenols , e.g. :



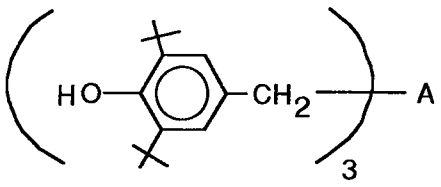
R_1	R_2	R_3
tert butyl	tert butyl	-H
tert butyl	tert butyl	$-CH_3$
tert butyl	sec butyl	$-CH_3$
	$-CH_3$	-H
tert butyl	$-C_2H_5$	-H
tert butyl	$-CH_3$	-H
	$-CH_3$	-H
$-C_9H_{19}$	$-CH_3$	-H

3. Thiobisphenols , e.g. :

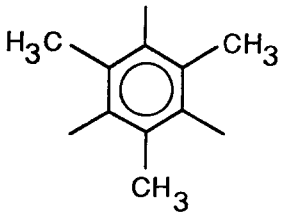


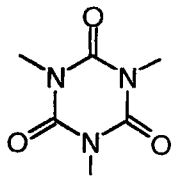


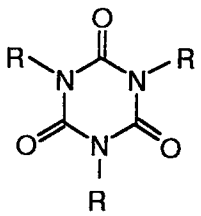
4. Aminophenols, e.g. :

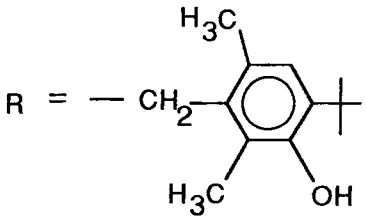


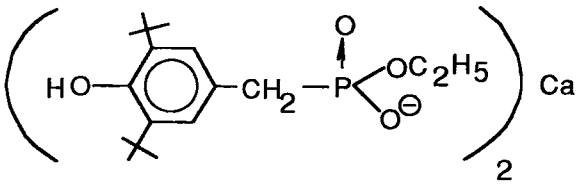
A



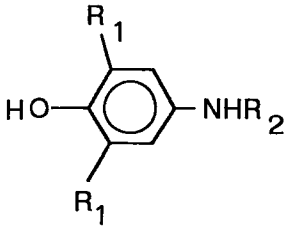


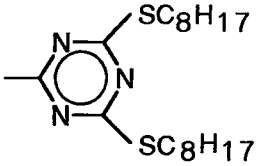




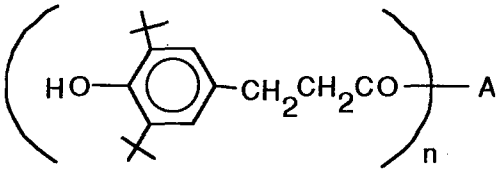


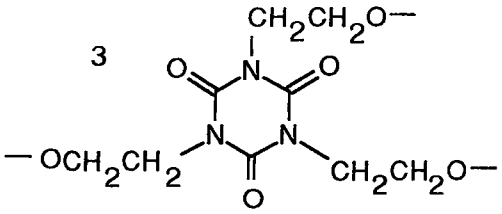
5. Aminophenols, e.g. :



R_1	R_2
-H	$-COC_{11}H_{23}$
-H	$-COC_{17}H_{35}$
tert butyl	

6. Hydroxyphenylpropionates, e.g. :



n	A
1	$-OC_{18}H_{37}$
2	$-O(CH_2)_6O-$
2	$-NH-(CH_2)_6-NH-$
2	$-O(CH_2)_2-S-(CH_2)_2O-$
3	

1.2 สารแอนติออกซิแดนต์ทุติยภูมิ (Secondary Antioxidant) หรือ ตัวสลายเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide decomposer) หรือ ซินเนอจิสต์ (synergists) ได้แก่ สารประกอบซัลเฟอร์ ส่วนใหญ่จะเป็นสารจำพวกไทโออีเทอร์(thioethers)และเอสเทอร์ของไทโอดิโพรพิโอนิค แอซิด (esters of thiodipropionic acid) หรือ สารประกอบฟอสเฟตพวกไตรเอสเทอร์ของฟอสฟอรัส แอซิด (triester of phosphorous acid) อาจเรียกสั้น ๆ ว่า สารประกอบฟอสไฟต์ (phosphites) สารแอนติออกซิแดนต์ประเภทนี้มักจะเติมร่วมกับสารแอนติออกซิแดนต์ปฐมภูมิ เพื่อช่วยสลายเปอร์ออกไซด์ และป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาของสารประกอบฟอสไฟต์ แสดงดังสมการ

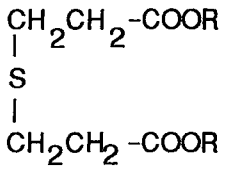
$$P(OR')_3 + ROOH \longrightarrow OP(OR')_3 + ROH$$

ไทโออีเทอร์ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเปอร์ออกไซด์ จะได้ผลิตผลเป็นซัลโฟไซด์ และ แอลกอฮอล์

$$R_1\text{-}S\text{-}R_2 + ROOH \longrightarrow OSR_1R_2 + ROH$$

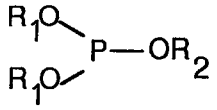
สารแอนติออกซิแดนต์ทุติยภูมิ สามารถแบ่งตามโครงสร้างทางเคมีได้ 3 ประเภท คือ

1. Thioether , e.g. :

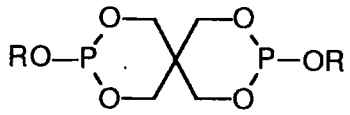


R
$-C_{12}H_{25}$
$-C_{13}H_{27}$
$-C_{18}H_{37}$

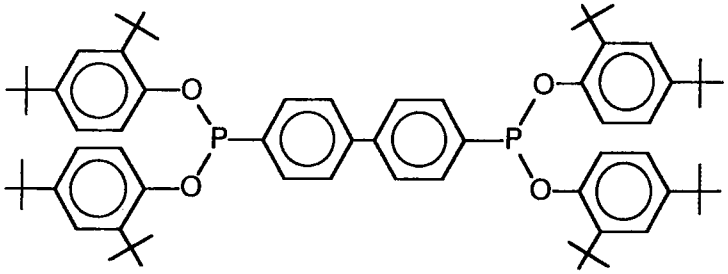
2. Phosphited and phosphonites, e.g. :



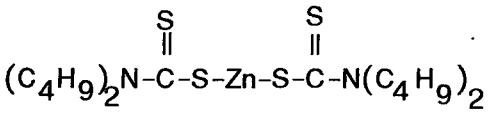
R_1	R_2
-phenyl	-n-decyl
-nonylphenyl	-nonylphenyl



R
$-C_{18}H_{37}$



3. Zinc dibutyldithiocarbamate , e.g. :



โดยทั่วไป ในการเติมสารแอนติออกซิแดนต์ จะมีการเติมทั้งสารแอนติออกซิแดนต์ปฐมภูมิและทุติยภูมิ เพื่อช่วยในการเสริมประสิทธิภาพซึ่งกันและกัน ซึ่งจะดีกว่าการเติมสารแอนติออกซิแดนต์แต่ละชนิดเพียงอย่างเดียว ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า ซินเนอร์จิสซึม (synergism)

สำหรับการพิจารณาในการเลือกชนิดของสารแอนติออกซิแดนต์ที่จะเติมลงไปในโพลิเมอร์ จะดูจากความเป็นพิษและการเปลี่ยนแปลงของสี ดังนั้นในการใช้สารเหล่านี้จะต้องได้รับการตรวจสอบและยอมรับจากหน่วยงานของรัฐบาลก่อน สารแอนติออกซิแดนต์ที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ห่อหุ้มหรือบรรจุอาหาร คือ บิวทิเลต ไฮดรอกซิโทลูอีน (butylated hydroxytoluene or 2,6-di-tert-butyl-4-methylphemol : BHT) ถ้าหากนำไปใช้กับพวกโอเลฟินส์ที่นิยมใช้กันได้แก่ BHT กับ dilaural thiodipropionate : DLTDP

$$(H_{25}C_{12}O\text{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}\text{-}CH_2CH_2)_2S$$

ซึ่งสารทั้งสองนี้เหมาะสำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ห่อหุ้มหรือบรรจุอาหารโดยได้ผ่านการยอมรับของ U.S Food and Drug Administration [8]

โพลิโพรพิลีน มักจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย เนื่องจากมีคาร์บอนอะตอมแบบตติยภูมิ (tertiary carbon) ในกระบวนการผลิตมักจะใช้อุณหภูมิระหว่าง 220-280 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเป็นการเร่งให้เกิดการสลายตัวส่งผลให้ได้โพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ดังนั้นเพื่อป้องกันการเกิดการสลายตัวจึงมีการเติมแคลเซียมหรือซิงค์ สเตียเรต ลงไปทำหน้าที่ทำให้เสถียรภาพต่อความร้อน หรือ ใช้ บิวทิเลต ไฮดรอกซิโทลูอีน (BHT) เป็นสารแอนติออกซิแดนต์ปฐมภูมิและสารประกอบฟอสไฟต์และฟอสโฟไนต์เป็นสารแอนติออกซิแดนต์ทุติยภูมิ ตัวอย่างของฟอสไฟต์และฟอสโฟไนซ์ที่ใช้ ได้แก่ tetrakis-(2,4-di-tert-butyl-phenyl)-4-4'-bisphenylylendiphosphonite, distearyl-pentaerythrityl-disphosphonite , tris-(nonylphenyl)-phosphite เป็นต้น หรือใช้ไทโออีเทอร์เป็นสารแอนติออกซิแดนต์ทุติยภูมิ ตัวอย่าง เช่น dilaurylthiodipropionate (DLTDP) , distearyl thiopropionate (DSTDP) , dioctadecyl disulfide ส่วนโพลิเอททิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นสูง จะมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยกว่าโพลิโพรพิลีน ฉนั้นจึงเติมสารแอนติออกซิแดนต์ไปในปริมาณที่น้อยกว่า ซึ่งสารแอนติออกซิแดนต์ที่ใช้ก็เช่นเดียวกับ โพลิโพรพิลีน ส่วนโพลิเอททิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ ส่วนใหญ่มักใช้ในอุตสาหกรรมแผ่นฟิลม์ ในระหว่างการผลิตจะต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 200 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้ไม่เสถียรและเกิดการสลายตัว จึงต้องมีการเติมสารประกอบฟอสไฟต์หรือฟอสโฟไนต์และสเตบิไลเซอร์ที่ทนความร้อนได้สูง (long term heat stabilizer) ได้แก่ สารประเภทฟีนอล (hindered phenol) ซึ่งมักจะเติมลงไปเพียง 0.1 % เท่านั้น เพราะว่าสารเติมแต่งต่าง ๆ เข้ากับ (compatibility) โพลิเอททิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำได้น้อยกว่าโพลิโอลิฟินส์อื่น ๆ [8]

2. สเตบิไลเซอร์สำหรับแสงอุลตราไวโอเลต

โพลิเมอร์ส่วนใหญ่จะเกิดการสลายตัวโดยแสงอุลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 300-400 นาโนเมตร แสงและออกซิเจนนอกจากจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้วยังทำให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมและยังมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์อีกด้วย สำหรับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง เรียกว่า โฟโตออกซิเดชัน (photooxidation) มีทั้งหมด 4 ขั้นตอน คือ

Chain initiation

Hydroperoxides ROOH

Carbonyl compounds > C=O $\xrightarrow{\text{heat/light}}$ Free radicals

Catalyst residues (Ti , . . .) $M^{n+}/M^{(n+1)+}$ $(R^{\cdot}, RO^{\cdot}, HO^{\cdot}, HO_2^{\cdot}...)$

Charge transfer complexes (RH , O_2)

Chain propagation

$$R^{\cdot} + O_2 \longrightarrow RO_2^{\cdot}$$

$$RO_2^{\cdot} + RH \longrightarrow RO_2H + R^{\cdot}$$

Chain branching

$$ROOH \xrightarrow[M^{n+}/M^{(n+1)+}]{\text{heat/light}} RO^{\cdot} + HO^{\cdot}$$

$$2ROOH \xrightarrow[M^{n+}/M^{(n+1)+}]{\text{heat/light}} RO_2^{\cdot} + RO^{\cdot} + H_2O$$

$$RO^{\cdot} + RH \longrightarrow ROH + R^{\cdot}$$

$$HO^{\cdot} + RH \longrightarrow H_2O + R^{\cdot}$$

Chain termination

$$R^{\cdot} + R^{\cdot}$$

$$R^{\cdot} + RO_2^{\cdot} \longrightarrow \text{nonradical products}$$

$$RO_2^{\cdot} + RO_2^{\cdot}$$

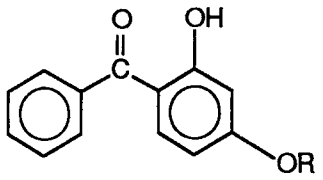
กลไกในการป้องกันของสเตบิไลเซอร์โดยแสง ก็มี 4 ขั้นตอน เช่นเดียวกับการเกิดโฟโตออกซิเดชัน มีดังต่อไปนี้

- ป้องกันการดูดกลืนแสงหรือลดปริมาณการดูดกลืนแสงของโครโมฟอร์ม

- ลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- ขัดขวางการสลายตัวโฟโตออกซิเดชัน โดยเปลี่ยนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้กลายเป็นสารที่เสถียรภาพขึ้น
- ขจัดฟรีแรดิคัลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เช่น อัลคิล แรดิคัล และ เปอร์ออกซิ แรดิคัลสเตบิไลเซอร์สำหรับแสงอุลตราไวโอเลต สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่

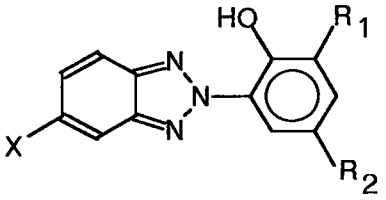
1. UV Absorber [8]

ในการป้องกันการสลายตัว UV Absorber จะดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเลต และกระจายแสงออกไปโดยที่แสงนั้นอาจจะมีความยาวคลื่นที่สูงขึ้นหรือต่ำลง หรือ กระจายแสงกลับออกมาในรูปของความร้อน ดังนั้น UV Absorber จะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงได้มากโดยปราศจากการสลายตัว และ เสถียรต่อแสง UV Absorber ที่นิยมใช้กันได้แก่ Hydroxybenzophenones



R = H , CH_3 to $C_{12}H_{25}$

Hydroxylphenyl benzotriazole



X = H , Cl

2.Quenchers [8]

Quencher(Q) เป็นสเตบิไลเซอร์สำหรับแสงไวโอเลตที่สามารถรับแสงไวโอเลตจากโครโมฟอร์มในพลาสติกโดยการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงที่ดูดกลืนไว้ให้กลายเป็นพลังงานความร้อนหรือ รังสีฟลูออเรสเซนต์ หรือ ฟอสฟอเรสเซนต์ ดังสมการ

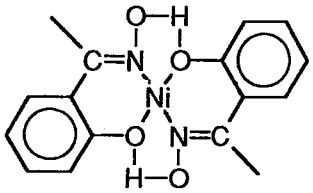
$$K + light \longrightarrow K^*$$

$$K + Q \longrightarrow K + Q^*$$

$$Q^* \longrightarrow Q + heat$$

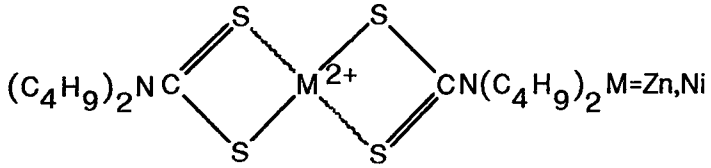
$$Q^* \longrightarrow Q + light'$$

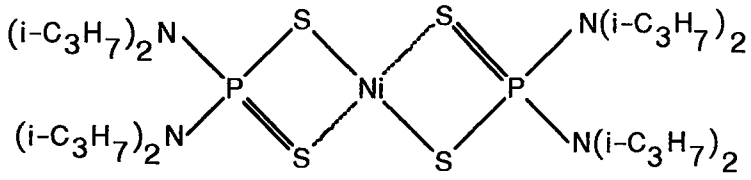
Quencher ที่นิยมใช้กับสำหรับพวกโพลิโอลิฟินส์ เช่น โพลิโพรพิลีน , โพลิเอททิลีนทั้งชนิดความหนาแน่นต่ำและสูง ได้แก่ สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะที่ประกอบด้วย Ni , Co และ substituted phenols คือ thiophenols , dethiocarbamate , dithiophosphinates และ phosphate ตัวอย่าง

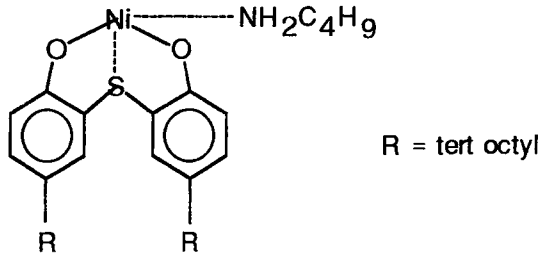


3. Hydroperoxide Decomposer [8]

Hydroperoxide decomposer ที่มีบทบาทในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชัน โดยสลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้กลายเป็นสารที่เสถียรขึ้นก่อนที่จะทำให้สายโซ่ของโพลิเมอร์แตก ตัวอย่าง ได้แก่ โลหะเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยซัลเฟอร์จำพวก dialkyl dithiocarbamate , dialkyldithiophosphates และ thiobisphenolates ซึ่งมีโครงสร้างดังนี้







4. Free-Radical Scavenger [8]

นอกจาก UV absorber , quencher และ hydroperoxide decomposer ที่ใช้เป็นสเตบิไลเซอร์แสงอุลตราไวโอเลต แล้วยังมีอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า Free Radical Scavenger กลไกการขจัดแรดิคัลมีดังนี้

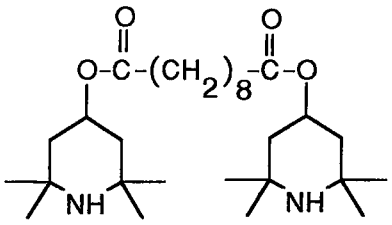
PPOOH ----------> PPO. + .OH

OH. + InH ----------> [InH___ .OH]

PPO. + InH ----------> PPOH + In.

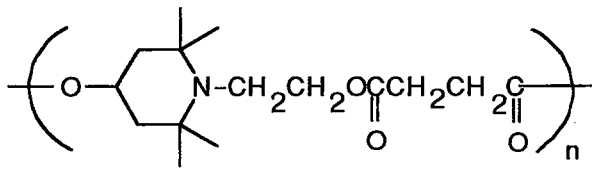
โดย InH เป็น radical scavenger

ส่วน สเตบิไลเซอร์สำหรับแสงที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ สารจำพวก sterically hindered amine - type light stabilizer (HALS) เช่น bis-(2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidyl)-sebacate (HALS-1) มักใช้ในอุตสาหกรรมเทป และ ไฟเบอร์ มีโครงสร้างดังนี้

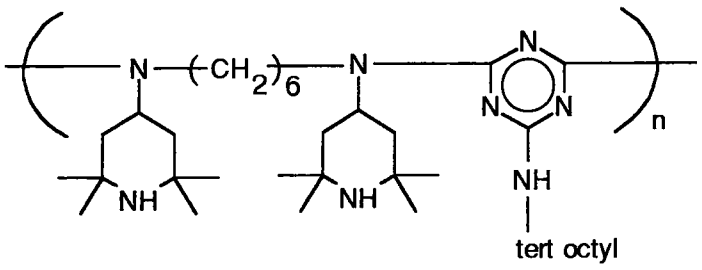


HAL1

นอกจากนี้ยังใช้ poly-(N-β-hydroxyethyl-2,2,6,6-tetramethyl-4-hydroxypiperidyl succinate (HALS-2) และสารประเภทเอมีนที่มีความซับซ้อนมากกว่านี้ (HALS-3) ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ มีโครงสร้างตามลำดับดังนี้



HAL2



HAL3

3. พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) [8]

โพลิเมอร์เป็นจำนวนมากมีสมบัติแข็งไม่ยืดหยุ่นและแตกได้ง่าย เมื่อมีแรงกระทบจากภายนอก เช่น โพลิไวนิลคลอไรด์ โพลิเมอร์นี้จึงไม่เหมาะกับการใช้งานจึงต้องมีการต้องสารเติมแต่งลงไป สารที่เติมลงไปนี้ เรียกว่า พลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) เพื่อช่วยให้มีความยืดหยุ่นหรือไม่แตกง่าย พลาสติไซเซอร์เมื่อเติมลงไปในพลาสติกจะส่งผลทำให้เพิ่มความสามารถในการไหล (flexbility) และอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติคล้ายแก้ว (transition temperatrue) และอุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature) ลดต่ำลง ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสำหรับนำไปใช้งานได้ พลาสติไซเซอร์ สามารถจำแนกออกได้ทั้งหมด 2 ประเภท คือ

3.1 พลาสติไซเซอร์ภายใน (Internal plasticizer) พลาสติไซเซอร์แบบนี้เมื่อเติมลงไปในพลาสติกจะเข้าไปรวมเป็นส่วนหนึ่งของสายโซ่โพลิเมอร์ด้วยโดยยึดเกาะกับสายโซ่ด้วยพันธะโควาเลนซ์ เปรียบเสมือนพลาสติไซเซอร์เกิดโคโพลิเมอร์กับมอนอเมอร์ของโพลิเมอร์นั่นเอง พลาสติกไซเซอร์ภายในที่นิยมใช้กับโพลิไวนิลคลอไรด์ ได้แก่ ไวนิลลิดีนคลอไรด์ (vinylidene chloride) , ไดเอทิลฟูมาเรต (diethyl fumarate) และ ไดเอทิลมาลิเอต (diethyl maleate) ฯลฯ

3.2 พลาสติไซเซอร์ภายนอก (External plasticizer) พลาสติไซเซอร์ประเภทนี้เมื่อผสมกับโพลิเมอร์หรือละลายอยู่ในโพลิเมอร์จะเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์และพลาสติไซเซอร์เป็นแบบไดโพล์ (dipole) หรือ ระหว่างหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัวที่มีสภาพขั้ว ดังนั้นการเลือกใช้ชนิดของพลาสติไซเซอร์ต้องพิจารณาถึงการเข้ากันได้ (compatibility) ระหว่างโพลิเมอร์และพลาสติไซเซอร์ พลาสติไซเซอร์ที่ดีจะต้องสามารถเข้ากับโพลิเมอร์ได้ดี และ จะต้องคงสภาพได้นาน ไม่ซึมและระเหยออกมา ดังนั้นพลาสติไซเซอร์จึงควรมีจุดเดือดสูง เพื่อไม่ให้ระเหยออกไปได้ง่าย สารที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์มีหลายประเภท ที่สำคัญมีดังนี้

1. เฟทาเลตเอสเทอร์ (phthalate esters) เป็นพลาสติไซเซอร์ที่ใช้มากที่สุด คิดแล้วเกินกว่ากึ่งหนึ่งของปริมาณการใช้ของพลาสติไซเซอร์ทั้งหมด ตัวอย่าง ได้แก่ di(2-ethylhexyl)phthalate หรือ dioctyl phthalate (DOP) และ diisooctyl phthalate (DIOP) และ diisodecyl phthalate (DIDP) เป็นต้น

2. ฟอสเฟตเอสเทอร์ (phosphate esters) นอกจากจะทำหน้าที่เป็นพลาสติไซเซอร์แล้วยังมีสมบัติช่วยในการดับไฟด้วย (flame retarder) พลาสติไซเซอร์ประเภทนี้ ได้แก่ tricresyl phosphate (TCP) และ trioctyl phosphate และ tri(2-ethylhexyl) phosphate เป็นต้น

3. เอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid esters) สารเหล่านี้มักใช้เป็นพลาสติไซเซอร์เสริม

(secondary plasticizer) หรือ ที่เรียกว่า extender พลาสติไซเซอร์เสริมนี้มีความเข้ากันได้ (compatibility) กับโพลิเมอร์ต่ำ เพราะเกิดแรงดึงดูดกันและกันต่ำ จึงไม่สามารถใช้ตามลำพังได้แต่ต้องใช้คู่ควบกับพลาสติไซเซอร์ชนิดอื่นที่มีความเข้ากันได้กับโพลิเมอร์สูงเท่านั้น ดังนั้นสารเหล่านี้จึงมีราคาถูกและนิยมเติมลงไปเพื่อช่วยในการลดต้นทุนการผลิต ตัวอย่าง เช่น di-2-ethylhexyl adipate (DOA) และ benzyl butyl adipate และ di-2-ethylhexyl sebacate (DOS)

2.4 อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี [3]

อินฟราเรดสเปคโตรสโคปี (IR Spectroscopy) เป็นเทคนิคที่มีประโยชน์ในการศึกษา วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในสถานะของแก๊ส ในปี ค.ศ. 1800 เซอร์วิลเลียม เฮอร์เชล (Sir William Herschel) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษเชื้อสายเยอรมัน ได้ค้นพบรังสีอินฟราเรด ต่อมาในปี ค.ศ. 1903 วิลเลียม โคเบลนซ์ (William W. Coblentz) ได้ศึกษาและปรับปรุงเทคนิคด้านการทดลองและการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของสารต่าง ๆ และได้สร้างความสัมพันธ์ของรังสีอินฟราเรดกับโครงสร้างทางเคมีของหมู่ทำหน้าที่เฉพาะต่าง ๆ

ในปี ค.ศ. 1939-1945 นักเคมีอินทรีย์เริ่มเชื่อมั่นในอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี จึงได้เริ่มมีการศึกษาและการนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะใช้ตรวจสอบหาหมู่ที่ทำหน้าที่ของสารประกอบนั้นๆ เครื่องอินฟราเรดสเปคโตรมิเตอร์มีทั้งชนิดลำแสงเดี่ยวและลำแสงคู่ ปัจจุบันสามารถใช้เครื่องนี้วิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ นอกเหนือจากโครงสร้างทางเคมี

หลักการของอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี

1. การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Infrared Absorption)

โมเลกุลของสารใด ๆ ประกอบขึ้นด้วยอะตอมมาจับยึดเข้าด้วยกันโดยพันธะเคมี โมเลกุลของสารเคมีจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้ เมื่อดูดกลืนแล้ว โมเลกุลของสารจะถูกกระตุ้นทำให้มีพลังงานสูงกว่าสภาวะพื้น พลังงานที่เปลี่ยนแปลงประมาณ 5-10 kcal/mol ซึ่งพลังงานนี้จะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวหรือการสั่น (Vibration) หรือ เกิดการหมุน (Rotation) ของโมเลกุล พลังงานที่เกี่ยวข้องกับการสั่นของพันธะในโมเลกุลนี้ตรงกับความถี่ของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านอินฟราเรด

เมื่อโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรดที่มีความถี่ตรงกับการสั่นใด ๆ ก็จะดูดกลืนรังสีที่มีความถี่นั้นในรูปของพลังงานตามความสัมพันธ์

$$E = h\nu$$

เมื่อ **E** คือพลังงานมีหน่วยเป็นจูล (J)

h คือค่าคงที่ของแพลงค์ (Plank's constant = 6.62×10^{-34} J sec)

ν คือความถี่มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)

ตามหลักวิชากลศาสตร์ควอนตัม การสั่นจะมีความถี่ที่มีค่าเฉพาะ จึงเรียกความถี่เช่นนี้ว่าความถี่เฉพาะค่า (quantized frequency) เมื่อโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรดที่มีความถี่ตรงกับการสั่นใด ๆ ก็จะดูดกลืนรังสีที่มีความถี่นั้นในรูปของพลังงานตามความสัมพันธ์ $E = h\nu$ และการสั่นดังกล่าวก็จะมีแอมปลิจูด (Amplitude) มากที่สุด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า " เรโซแนนซ์ "

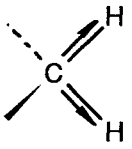
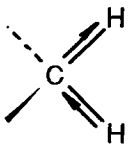
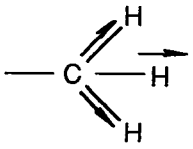
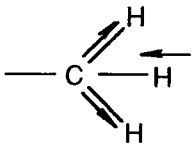
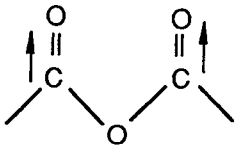
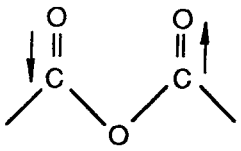
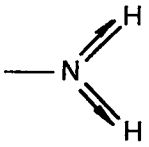
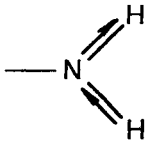
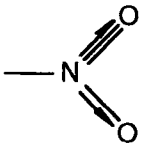
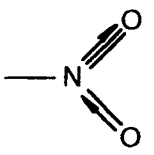
(Resonance) ในขณะนั้นโมเลกุลจะมีพลังงานมากกว่าปกติ เรียกว่าอยู่ในสภาวะเร้า เมื่อโมเลกุลกลับสู่สภาวะปกติก็จะปลดปล่อยพลังงานที่ได้รับไว้นั้นออกมาในรูปของความร้อน เนื่องจากอินฟราเรดสเปคโตรสโคปีเกี่ยวข้องกับการวัดรังสีอินฟราเรดที่ถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของสาร จึงเป็นสเปคโตรสโคปีประเภทดูดกลืน (Absorption Spectroscopy) การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดมิใช่ว่าทุกโมเลกุลของสารจะดูดกลืนแสงได้ จะต้องมีลักษณะเฉพาะ ดังนี้

1. รังสีจะต้องมีพลังงานพอเหมาะ (quantise) กับความถี่เฉพาะค่าที่จะทำให้เกิดทรานซิชัน
2. จะต้องเกิดการควบคู่ (Coupling) พอดีระหว่างสนามไฟฟ้าจากการแผ่รังสีกับสารนั้น เมื่อมีการดูดกลืนพลังงานแล้วจะทำให้เกิดโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole Moment) ของโมเลกุลนั้นเปลี่ยนไป ดังนั้น เมื่อโมเลกุลของสารใดที่เกิดปรากฏการณ์ทั้งสองอย่างนี้ จะทำให้เกิดการดูดรังสีอินฟราเรดได้ดี ซึ่งเรียกว่า IR active ถ้าไม่ได้ทำให้โมเมนต์ขั้วคู่ของโมเลกุลเปลี่ยนแปลง จะไม่มีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด เราเรียกว่า IR inactive ถ้าโมเมนต์ขั้วคู่เปลี่ยนแปลงมาก จะให้ IR absorption peak สูง ถ้าเปลี่ยนแปลงน้อยก็จะได้ weak IR absorption peak เช่น C=O จะให้ strong IR absorption peak , -C=N- ให้ weak IR absorption peak ส่วนโมเลกุลที่สมมาตร (symmetric bond) เช่น H_2 , N_2 , Cl_2 , O_2 , summetric alkanes or symmetric alkynes เป็นต้น จะไม่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรด

2. ชนิดของการสั่นและการงอ (Types of Vibration and Bendeing)

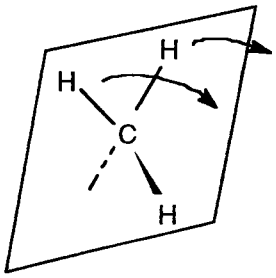
เมื่อโมเลกุลของสารดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้ จัดว่าโมเลกุลนั้นเป็น IR active พันธะของโมเลกุลนั้นจะเกิดการยืด (Stretching) หรือ เกิดการงอ (Bending) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น

2.1 การยืด (Stretching) เมื่ออะตอม 2 อะตอมใด ๆ ที่ก่อพันธะกันจะสั่นในแนวแกนของพันธะและทำให้ระยะห่างระหว่างอะตอมทั้งสองนั้นมากขึ้นหรือน้อยลง นั่นคือ พันธะดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงความยาวระหว่างอะตอมที่เกิดพันธะกัน ซึ่งมีทั้งแบบสมมาตรและไม่สามาตร (symmetric and asymmetric stretching)

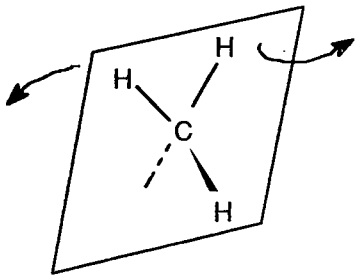
	Symmetric Stretching	Asymmetric Stretching
Methylene		
Methyl		
Anhydride		
Amino		
Nitro		

2.2 การงอ (Bending) คือ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของอะตอมไปจากแนวแกนเดิมของพันธะ มีทั้งหมด 4 แบบ คือ

Out of Plane of Bending

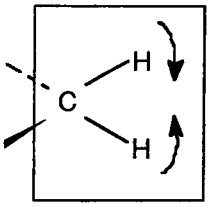


Wagging

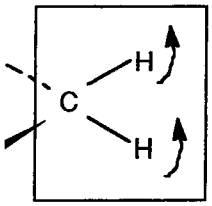


Scissoring

In Plane of Bending

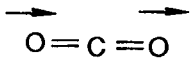


Twisting

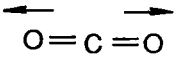


Rocking

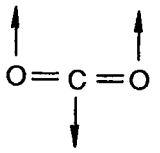
ตามปกติ โมเลกุลที่ประกอบด้วย n อะตอมและมิได้เป็นเส้นตรง จะมีการสั่นแบบพื้นฐาน (fundamental vibration) เท่ากับ 3n-6 แบบ ส่วนโมเลกุลที่เป็นเส้นตรงจะมีค่าเท่ากับ 3n-5 ในบรรดาการสั่นเหล่านี้ พวกที่ทำให้เกิดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้ (IR active) จะต้องเป็นการสั่นที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ขั้วคู่ (dipole moment) ภายในโมเลกุลเท่านั้น ตัวอย่าง เช่น โมเลกุลของ CO_2 เป็นเส้นตรงและประกอบด้วย 3 อะตอม จึงมีการสั่นแบบพื้นฐานอยู่ (3x3)-5 = 4 แบบ ดังนี้



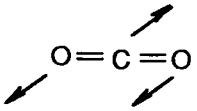
Asymmetric Stretching



Symmetric Stretching



In Plane of Bending



Out of Plane Bending

3. พันธะของโมเลกุลกับการดูดกลืนแสงอินฟราเรด

ในการสั่นแบบยืด หากพิจารณาว่าอะตอม 2 อะตอมนั้นยึดกันไว้ด้วยพันธะมีการสั่นแบบ simple harmonic oscillator ที่ประกอบด้วยมวล 2 มวล ต่อกันด้วยสปริง ถ้าทำให้มวลอันหนึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงตามแนวสปริง จะเกิดการสั่นแบบ simple harmonic motion เราอาจใช้ Hooke's law ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการยืดกับมวลของอะตอมได้ดังนี้

$$F = -ky$$

เมื่อ **F** = แรงมีหน่วยเป็นไดน์(dyne)

k = ค่าคงที่ของแรง (force constant) หน่วยเป็นไดน์ต่อเซนติเมตร (dyne/cm)

y = ระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไปจากตำแหน่งสมดุลมีหน่วยเป็นเซนติเมตร(cm)

หาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการยืด (stretching frequency ในหน่วยของ cm^{-1}) กับมวลทั้งสองของอะตอม (m_x และ m_y ในหน่วย gram) , ความเร็วของแสง (c ในหน่วย cm./s)และค่าคงตัวของแรงของพันธะระหว่างอะตอมทั้งสอง (k ในหน่วย dyne/cm) ได้ดังนี้

$$\upsilon = (1/2\pi c)x(k/\mu)^{1/2}$$

$$= 4.12\ x(k/\mu)^{1/2}$$

เมื่อ **c** = ความเร็วของแสง ($3x10^{10}$ cm/s.)

μ = reduced mass = $(m_1\ m_2)/((m_1+m_2)x(6.02x10^{23}))$ g.

= $(M_1\ M_2)/(M_1+M_2)$ amu.

υ = เลขคลื่น (wave number : cm^{-1})

k = ค่าคงที่ (force constant) มีค่าอยู่ระหว่าง $3x10^5$ - $8x10^5$ dyne/cm.

ค่าคงที่ของแรง (k) โดยทั่วๆ ไป พันธะเดี่ยวมีค่าเท่ากับ $5x10^5$ ไดน์/ซม. พันธะคู่ใช้ค่าเป็น $1x10^6$ ไดน์/ซม. และพันธะสามจะใช้ค่าเป็น $15x10^5$ ไดน์/ซม. จากสมการนี้สามารถคำนวณหาเลขคลื่นของการยืดโดยประมาณของพันธะใด ๆ ได้ [3]

สามารถคำนวณหาความถี่ของการยืดพันธะชนิดต่าง ๆ

Bond Type	Absorption Region (cm^{-1})
C-C , C-O , C-N	800-1,300
C=C , C=O , C=N , N=O	1,500-1,900
C≡C , C≡N	2,000-2,300
C-H , O-H , N-H	2,700-3,800

ผลที่ได้จากการฉายรังสีอินฟราเรดต่อโมเลกุลของสาร และวัดรังสีที่ผ่านออกมา จะปรากฏในรูปของสเปคตรัม โดยบันทึกเป็นค่า Transmitance (T) ที่เลขคลื่น(υ)ต่าง ๆ สำหรับอินฟราเรด สเปคโตรสโคปี ปัจจุบันนี้นิยมใช้เลขคลื่นมากกว่าความยาวคลื่น เนื่องจากไม่มีข้อยุ่งยากเกี่ยวกับทศนิยม

Transmittance คือ อัตราส่วนระหว่างความเข้มของรังสีที่ผ่านสารตัวอย่าง (I) ต่อความเข้มของรังสีที่ตอกระทบสารตัวอย่างนั้น ๆ (I_o) นั่นคือ

$$T = I/I_o$$

T จะมีค่าเป็นศูนย์ หากรังสีทั้งหมดถูกดูดกลืน และจะมีค่าเป็น 1 หากไม่มีการดูดกลืนรังสีเลย Transmittance (T) จะมีความสัมพันธ์กับ Absorbance (A) ดังนี้

$$A = \log_{10}(I_o/I) = \log_{10}(1/T)$$

โดยทั่วไป A จะมีค่าอยู่ระหว่างศูนย์ถึง 2.0 ซึ่ง Absorbance(A) and Absorptivity (a) ของสารใด ๆ จะมีความสัมพันธ์ต่อกัน และต่อความหนาของเซลล์(b: หน่วยเป็นเซนติเมตร) และความเข้นข้น (c : g/dm^3) ดังนี้

$$A = \varepsilon bc$$

สมการนี้แสดงความสัมพันธ์ของสมบัติต่าง ๆ ตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต สำหรับ Molar Absorptivity (ε) ของสารใด ๆ นั้น ก็คือผลคูณของ Absorptivity (a) และน้ำหนักโมเลกุลของสารนั่นเอง ในอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี ε จะมีค่า 0 - 2,000 และค่านี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังสองของการเปลี่ยนแปลงของโมเมนต์ขั้วคู่ในโมเลกุลซึ่งเกิดจากการสั่นของพันธะที่ทำให้เกิดการดูดกลืนรังสี ณ ความถี่นั้น ๆ ตามปกติแล้วแถบการดูดกลืนรังสี (absorption band) ในสเปคตรัมที่เกิดจากการสั่นแบบยืดจะมีความเข้มสูงที่สุด

4. การสั่นคู่ควบ (Vibrational Coupling)

พลังงานที่เกิดจากการสั่นอาจจะถูกรบกวนจากอิทธิพล(coupled) ของการสั่นจากกลุ่มอื่น ๆ ในโมเลกุล ทำให้พีคที่วัดได้เปลี่ยนแปลงไป สาเหตุมาจาก

- โมเลกุลที่สมมาตร (symmetry) เกิดการสั่นแล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ขั้วคู่
- พลังงานของการสั่นนั้นอาจจะเท่ากันหรือ ใกล้เคียงกัน จะส่งผลทำให้พีคลดลงได้
- พลังงานที่เกิดจากการสั่นน้อยมาก จึงไม่สามารถวัดได้
- พลังงานที่เกิดจากการสั่นอยู่ในช่วงความยาวคลื่นสั้นหรือยาวเกินกว่าที่จะวัดได้

ปัจจัยต่าง ๆ ที่บ่งบอกอิทธิพลที่มีต่อการเกิดการสั่นคู่ควบ ดังต่อไปนี้

- การสั่นคู่ควบที่เกิดจะต้องเป็นการสั่นของสปีชี่ส์ที่สมมาตรเหมือนกัน (same symmetry species)
- การสั่นคู่ควบจะรุนแรง (strong coupling) ถ้าเป็นการสั่นแบบยืดหดที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้อะตอมร่วมกันของการสั่นทั้งสองนั้น
  ทำให้ CO_2 มีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด และ ทำให้พีคที่ 2,330 cm^{-1} และ 667 cm^{-1} แทนที่จะให้พีคที่ 1,700 cm^{-1} เช่นเดียวกับพวกคีโตนทั้งหลาย
- การเกิดอันตรกิริยาจะรุนแรงที่สุด เมื่อกลุ่มที่เกิดการสั่นคู่ควบมีพลังงานใกล้เคียงกัน
- เกิดการสั่นคู่ควบระหว่างการสั่นแบบยืดกับการสั่นแบบงอ ถ้าการสั่นแบบยืดหดของพันธะอยู่ในด้านที่มีการเปลี่ยนแปลงมุม
- การสั่นคู่ควบระหว่างการสั่นแบบยืด หรือ แบบงอของกลุ่มที่มีพันธะร่วมกัน
- การสั่นคู่ควบจะไม่เกิดระหว่างกลุ่มที่มีพันธะสองพันธะหรือมากกว่า ดังนั้นหากเกิดการสั่นคู่ควบของฟังก์ชันนัลกรุ๊ปในสารอินทรีย์ต่าง ๆ จะทำให้พิจารณาตำแหน่งของพีคยาก เช่น C-O Stretching in C_2H_2OH จะเกิดที่ 1,053 cm^{-1} แต่ทว่า C-O in CH_3OH เกิดที่ 1,034 cm^{-1} เป็นต้น

อินฟราเรด สเปกโตรโฟรโตรมิเตอร์

1. ส่วนประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (IR Spectrophotometer Component)

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอินฟราเรดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ มีดังต่อไปนี้

- แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด (IR Source)
- เซลล์ใส่สารตัวอย่าง (Sample Cell)
- โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator)
- เครื่องวัดรังสีอินฟราเรด (IR Detector)
- เครื่องบันทึกสเปคตรัม (Read Out or Recorder)

1.1 แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด (IR Source) จะมีลักษณะ เป็นของแข็ง เมื่อเผาให้ความร้อนด้วยไฟฟ้าจนมีอุณหภูมิประมาณ 1,500-2,000 K ได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะให้แสงมีความเข้มสูงสุดที่ความถี่ประมาณ 5,000 cm^{-1}

1.1.1 เนินสต์ โกลเวอร์ (The Nernst glower) เป็นแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดที่ใช้กันมากที่สุดซึ่งทำด้วยออกไซด์ของพวกธาตุแรร์ เอิร์ท (rare earth oxides) เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-2 มม. ยาวประมาณ 2 ซม. ต่อด้วยลวดแพลตินัมเพื่อคุ้มกันไฟฟ้า อุณหภูมิที่ใช้งานสามารถเผาได้ถึง 1,800 K ที่สำคัญที่ต้องควบคุมคือใช้กระแสอย่าให้สูงเกินไป เพราะจะทำให้หลอดเสียได้ เนื่องจากร้อนจัดเกินไป

1.1.2 โกลบาร์ (Globar) เป็นแท่งซิลิกอนคาร์ไบด์ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 มม ยาวประมาณ 5 ซม. เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปจะทำให้ร้อนขึ้นถึงอุณหภูมิ 1,300-1,500 K โกลบาร์ให้ความเข้มของแสงที่บริเวณ 1,500 cm^{-1} มากกว่าเนินสต์ โกลเวอร์

1.1.3 Incandescant Wire Source ใช้ลวดนิโครมหรือโรเดียมพันให้เป็นขดลวดแล้วหุ้มด้วยเซอรามิก เป็นรูปทรงกระบอก ขดลวดนี้เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าจะถูกทำให้ร้อนแดง อายุการใช้งานจะดีกว่า 2 ชนิดแรก แต่ให้ความเข้มของแสงน้อยกว่า

1.2 โมโนโครเมเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยช่องแสงผ่าน (slits) เกรตติง (grating) หรือ อาจมีฟิลเตอร์ (filter) ประกอบด้วยก็ได้ ซึ่งส่วนนี้จะมีลักษณะเหมือนกับระบบโมโนโครเมเตอร์ในเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ทุกประการ

1.3 เครื่องวัดแสงอินฟราเรด (IR Dectectors) เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดที่ผลิตได้ในปัจจุบันนี้ล้วนเป็นพวกที่ให้ความเข้มต่ำ ประกอบกับแสงอินฟราเรดเป็นแสงที่มีพลังงานต่ำ

จึงทำให้การตรวจวัดค่อนข้างยุ่งยากกว่าการตรวจวัดแสงยูวีและวิสิเบิล เพราะพลังงานไม่พอที่จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนในหลอดวัดแสง (Phototube) ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องวัดอย่างอื่น ในปัจจุบันเครื่องวัดแสงอินฟราเรดที่ใช้กันอยู่แบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ

1.3.1 อาศัยหลักการทาง Photoconductive effect ซึ่งเกิดขึ้นเช่นเดียวกับสารกึ่งตัวนำ เป็นแบบ photon detector

โฟตอน ดีเทคเตอร์ (Photon Detector) ประกอบด้วยแผ่นแก้วที่เป็นฉนวนแล้วฉาบบาง ๆ ด้วยสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) เช่น ตะกั่วซัลไฟด์ ตะกั่วแทลเลอไรด์ อินเดียมแอนทิโมไนด์ หรือ เจอร์เมเนียม (Ge) ที่โดปด้วยทองแดง หรือ ปรอท แผ่นกึ่งตัวนำนี้บรรจุอยู่ในกล่องสูญญากาศ เพื่อไม่ให้สารกึ่งตัวนำทำปฏิริยากับบรรยากาศ เครื่องวัดนี้เมื่อถูกแสงที่มีพลังงานสูงพอจะทำให้เกิดการลดความต้านทานลง สำหรับตะกั่วซัลไฟด์ไวต่อแสงในช่วง 1-3 μm หรือ 10,000 ถึง 2,000 cm^{-1} โดยมี response time ประมาณ 10 μsec แต่ถ้าใช้สารอื่นและทำให้เย็นด้วยไนโตรเจนเหลวหรือฮีเลียมเหลว จะทำให้เครื่องวัดนี้มีสภาพไว (sensibility) ดีขึ้นไปในทางความยาวคลื่นมากขึ้น และมี response time เร็วขนาด $20x10^{-9}$ วินาที

1.3.2 อาศัยหลักการทาง Heating effect โดยที่แสงอินฟราเรดถูกดูดกลืนจะเกิดความร้อนขึ้นแล้วทำให้ความต้านของเส้นลวดในเครื่องวัดเปลี่ยนแปลง เรียกว่า Thermal Detector ซึ่งใช้เป็นเครื่องวัดที่ครอบคลุมความยาวคลื่นได้กว้างขวาง

เทอร์มอลดีเทคเตอร์ (Thermal Detector) โดยอาศัยสมบัติที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของสารเมื่อได้รับแสงอินฟราเรด ได้ถูกนำมาใช้สำหรับทำดีเทคเตอร์เพื่อวัดรังสีอินฟราเรด ซึ่งอาจจำแนกออกได้เป็น 4 แบบด้วยกัน คือ

1. เทอร์โมคัปเปิลหรือเทอร์โมไพล์ (Thermocouple or Thermopile) ดีเทคเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้กันมาก สำหรับวัดรังสีอินฟราเรด ประกอบด้วยแผ่นทองสีดำ (blacken gold foil) เชื่อมเข้ากับลวดโลหะเล็ก ๆ 2 ชนิดที่ต่างกัน หรือ เป็นลวดแพลทินัม (Pt) เชื่อมกับลวดเงิน หรือลวดพลวงเชื่อมเข้ากับลวดโลหะเล็ก ๆ 2 ชนิดที่ต่างกัน จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้น ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยที่ปลายหนึ่ง (reference junction) จะป้องกันไม่ให้ถูกแสงเลย และให้อุณหภูมิคงที่ อีกปลายหนึ่งให้รับแสงอินฟราเรด เทอร์โมไพล์เป็นชื่อของดีเทคเตอร์ที่ได้จากการเอาเทอร์โมคัปเปิลหลายอันมาต่อกันเข้าแบบอนุกรม เพื่อให้ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้ามากขึ้น ดีเทคเตอร์ชนิดนี้ถ้าออกแบบดีแล้วสามารถบอกความแตกต่างของอุณหภูมิได้ถึง 10^{-6} อาศาเซลเซียส หรือเกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วสอง 6-7 $\mu V/\mu W$ และมีเวลาตอบสนอง(response time) ประมาณ 100 m. sec.

2. เทอร์มิสเตอร์ หรือ โบโลมิเตอร์ (Thermister or Bolometer) สำหรับโบโลมิเตอร์เป็นดีเทค

เตอร์ประเภทอาศัยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานลวดโลหะ เมื่อทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เช่น ประกอบด้วยลวดแพลทินัมหรือลวดนิกเกิลเล็ก ๆ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิเปลี่ยนมีค่าสูง (~ 0.4 % ต่อ ^{o}C) แต่ถ้าเป็นเทอร์มิสเตอร์ จะทำด้วยออกไซด์ของโลหะบางชนิด เช่น ออกไซด์ของโคบอลต์หรือนิกเกิล ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิเปลี่ยนมีค่าสูง (4-7 % ต่อ ^{o}C) ทั้งนี้โดยทำเป็น 2 ชุดเหมือนกัน ชุดหนึ่งจะไม่ให้ถูกแสงเลย แต่อีกชุดหนึ่งให้รับแสงอินฟราเรด แล้วนำไปต่อเข้าวงจรเป็นแบบ wheatstone bridge

3. โกเลย์ (Golay) หรือ นิวมาติกดีเทคเตอร์ (Pneumatic Detector) หลักการที่ใช้ในการทำดีเทคเตอร์ ชนิดนี้ คือ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดความดันของแก๊สเฉื่อยในภาชนะปิดเปลี่ยนแปลงด้วย ดังนั้น แก๊สเฉื่อยจะบรรจุไว้ในภาชนะรูปทรงกระบอกเล็ก ๆ ด้านที่รับแสงอินฟราเรดจะเป็นโลหะสีดำอยู่กับที่ ด้านตรงข้ามเป็นไดอะเฟรมที่ทำด้วยเงินให้เคลื่อนไหวได้ เมื่อโลหะสีดำได้รับแสงอินฟราเรดจะถูกถ่ายเทความร้อนไปยังแก๊สเฉื่อย ทำให้เกิดความดันขึ้นไปดันแผ่นไดอะแฟรมเงินทำให้เกิดการบิดเบี้ยวไป การบิดเบี้ยวไปทำให้แสงสะท้อนไปยังหลอดวัดแสง (Phototobe) เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นแตกต่างกันตามปริมาณของแสงอินฟราเรด หรืออาจใช้หลักการเปลี่ยนความจุ (Capacitance) ก็ได้ โกเลย์ดีเทคเตอร์นี้ราคาค่อนข้างแพง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับดีเทคเตอร์ชนิดอื่น ๆ แล้วปรากฏว่ามีสภาพไวในช่วงใกล้หรือกลางอินฟราเรดเท่า ๆ กับ เท่าเทอร์โมคัปเปิล แต่ถ้าใช้ในช่วงต่ำกว่า 200 cm^{-1} หรือช่วงไกลอินฟราเรดจะดีมาก

4. ไพโรอิเลคทริคดีเทคเตอร์ (Pyroelectric Detector) ดีเทคเตอร์นี้เพิ่งจะได้รับการพัฒนาขึ้นมาใช้สำหรับวัดแสงอินฟราเรดเมื่อไม่นานมานี้ โดยใช้ผลึกของสารบางชนิด เช่น ไตรไกลซีนซัลเฟต (Triglycine sulphate, TGS) หรือ ดิวเทอเรตไตรไกลซีนซัลเฟต (DTGS) หรือลิเทียมแทนทาเลตหรือแบเรียมไททาเนต เป็นต้น ผลึกเหล่านี้มีสมบัติเกี่ยวกับโมเมนต์ขั้วคู่ของมันไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ถ้านำผลึกเหล่านี้ไปไว้ระหว่างขั้วไฟฟ้า (electrode) ที่เป็นแผ่นโลหะ แล้วต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้าภายนอกเป็นเหตุให้ มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเพื่อทำให้การกระจายของประจุกลับเข้าสมดุลใหม่ การเกิดกระแสเนื่องจากความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดีเทคเตอร์ชนิดนี้ให้ response time เร็วกว่า จึงเป็นที่นิยมใช้ทำดีเทค
เตอร์ของเครื่องใน Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR)

1.4 เครื่องบันทึกสเปกตรัม หรือ Read Out Devices สัญญาณที่ได้จากดีเทคเตอร์ซึ่งเป็นสัญญาณที่น้อยจำเป็นจะต้องเข้าเครื่องขยายสัญญาณเสียก่อน ๆ ที่จะเข้าเครื่องบันทึกหรือ

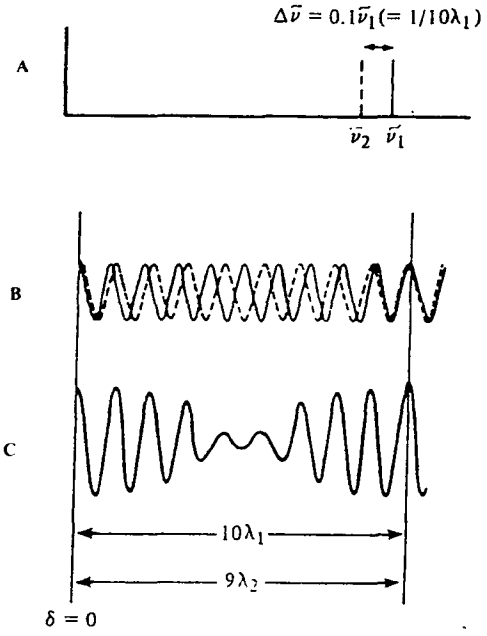
เครื่องอ่านสัญญาณเช่นเดียวกับ เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งอาจเป็นเครื่อง recorders, printers, video display terminals or xy plotters เป็นต้น

2. ชนิดของเครื่องอินฟราเรดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

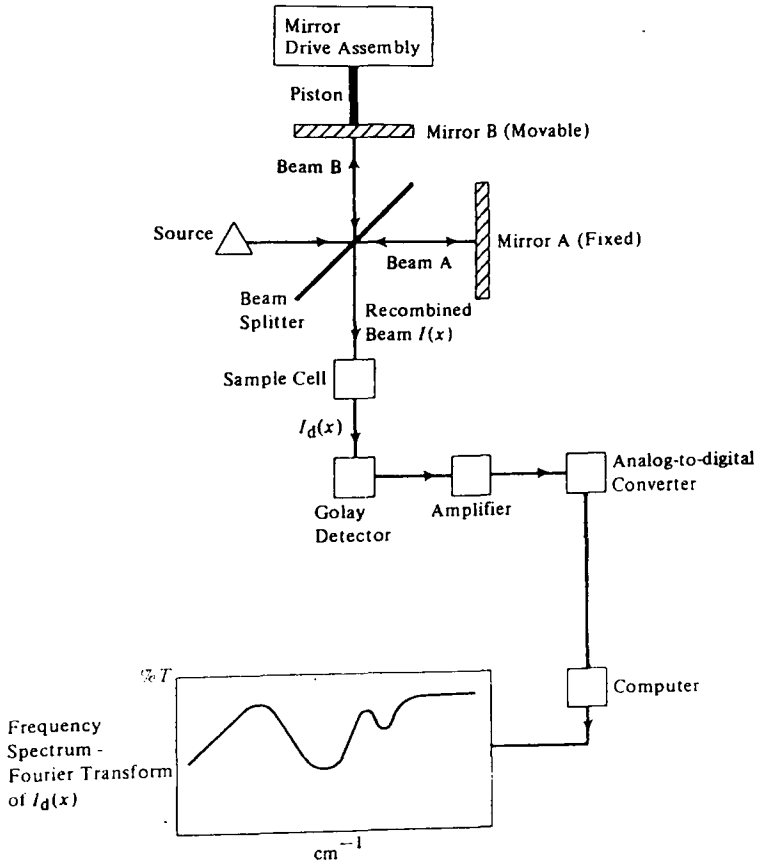
เครื่องอินฟราเรดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์แบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ

2.1 เครื่องอินฟราเรดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้ระบบกระจายแสง (dispersive infrared spectrophotometer) ซึ่งมีทั้งลำแสงเดี่ยว (single beam) และชนิดลำแสงคู่ (double beam) แต่เครื่องที่เป็นลำแสงคู่เป็นเครื่องที่ได้รับความนิยมมากกว่า และ พบเห็นโดยทั่วไปเพราะแบคกราวน์ที่เกิดจากแก๊สในบรรยากาศ เช่น CO_2 และ ไอน้ำจะหมดปัญหาไป เครื่องกระจายแสงก็เป็นอย่างเดียวกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ คือ ใช้เกรตติงเช่นเดียวกัน แต่ตำแหน่งของสารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์อยู่ก่อนโมโนโครเมเตอร์เพื่อที่จะลดแสงที่จะรบกวนจากภายนอก (stray light)

2.2 เครื่องฟูเรียทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปคโตรมิเทอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer , FT-IR) โดยทั่วไปเครื่องมือทางสเปคโตรสโคปีนั้นมักจะใช้หลักการกระจายแสง (dispersion) ของสเปคตรัมการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงที่สนใจเป็นตัวกำหนด เช่น ในช่วงของอินฟราเรด จากการบันทึกผลของค่าความเข้มของแสงต่อความถี่หรือความยาวคลื่น หรือเลขคลื่น ซึ่งได้ออกแบบมาเป็นสเปคตรัมเรียกว่า frequency-domain spectrum ดังที่เห็นกันอยู่ทั่วไป แต่ถ้าใช้วิธีการวัดที่ต่างไป โดยวัดความเข้มของแสงหรือ กำลังของแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กันอย่างต่อเนื่องเทียบกับเวลา เรียกว่า Time-Domain Spectroscopy หรือโดยทั่วไปเรียกว่า Fourier Transform Spectroscopy จากนั้น time-domain spectrum จะถูกเปลี่ยนเป็น frequency-domain spectrum ด้วย fourier transform จากการใช้ดิจิตัลคอมพิวเตอร์ สิ่งที่สเปคตรัมทั้งสองแตกต่างกันจริง ๆ ก็คือ frequency domain spectrum เป็นสเปคตรัมที่ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงที่ความถี่ต่าง ๆ กันทีละครั้งในช่วงระยะเวลาอันหนึ่ง แต่ fourier transform spectrum ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงที่ความถี่ต่าง ๆ กัน พร้อมกันหมด ดังนั้น fourier transform จึงช่วยทำให้การวิเคราะห์รวดเร็วขึ้น การแยก (resolution) ก็ดีขึ้น หรือ เป็นการทำให้ signal to noise ratio ดีขึ้นกว่าวิธีธรรมดา รูปแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของ frequency-domain spectrum (spectrum A) กับ time-domain spectrum (spectrum B and C)



ในขณะที่ time-domain spectrum ดูยังจะไม่ค่อยได้ประโยชน์โดยตรงจริง ๆ จึงไม่มีใครสนใจรวบรวม time-domain waveform ไว้ ประกอบกับดีเทคเตอร์ที่ใช้อยู่ก็มีสภาพไวที่ไม่เหมาะสม response time ก็ช้ามาก ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องให้แสงที่เข้ามายังดีเทคเตอร์มีความถี่พอเหมาะเสียก่อน โดยใช้ Michelson Interferometer ดังแสดงในรูป



ลำแสงอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดมีความยาวคลื่น λ_1 จะถูกแยกออกเป็นสองลำแสงด้วย beam splitter ลำแสง A จะเดินทางในระยะทางที่คงที่ ส่วนลำแสง B จะเดินทางในระยะทางที่เปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งของกระจก B เมื่อลำแสง A และ B มารวมกันจะเกิดการแทรดสอด (interference) ขึ้น ถ้าระยะทางที่ลำแสง A และ B เดินทางนั้นเท่ากันจะเกิดการแทรกสอดที่เสริมกัน (constructive interference) ทำให้ สัญญาณที่วัดได้จากดีเทคเตอร์สูงสุด แต่ถ้ากระจก B เปลี่ยนตำแหน่งไป $\lambda_{1/4}$ ลำแสง B จะเดินทางคิดเป็นระยะทางเปลี่ยนไปเท่ากับ $\lambda_{1/2}$ของระยะทางที่ลำแสง A เดินทาง ดังนั้นเมื่อลำแสง A และ B รวมกัน ก็จะเกิดการแทรกสอดที่หักล้างกัน สัญญาณที่วัดได้จากดีเทคเตอร์จะลดลง แตถ้ากระจก B เคลื่อนใกล้เข้ามาคิดเป็นระยะทาง $\lambda_{1/4}$ ลำแสง B จะเดินทางสั้นเข้าเป็นระยะทาง λ_1 เมื่อลำแสง A และ B รวมกัน ก็จะเกิดการแทรกสอดที่เสริมกันและได้สัญญาณสูงสุด ในทางปฏิบัติแล้ว กระจก B จะมีการเคลื่อนด้วยอัตราเร็วคงที่สม่ำเสมอติดต่อกัน เพื่อให้ได้สัญญาณสม่ำเสมอ ดังรูป B ค่าความถี่ f ที่ได้จากดีเทคเตอร์ขึ้นอยู่กับอัตราเร็ว v ของกระจก B และความยาวคลื่นของแสงด้วย นั่นคือ

$$f = 2v/\lambda$$
$$= 2v\bar{\nu}$$

ด้วยการกระทำเช่นนี้ interferometer จะผลิตสัญญาณที่เป็นปฏิภาคกับความถี่ของแสง ซึ่งดีเทคเตอร์สามารถวัดได้ ดังสมการ แล้วสัญญาณนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็น frequency-domain spectrum ด้วยคอมพิวเตอร์อย่างต่อเนื่อง ทำให้ได้สเปกตรัมออกมาตามปกติที่เครื่องบันทึก

ข้อดีของการฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด หากเปรียบเทียบกับ IR Spectrophotometer ทั่ว ๆ ไป มีดังนี้

1. ช่วยให้การวิเคราะห์หรือการวัดสเปคตรัมของสารตัวอย่างทำได้เร็วกว่าเครื่องแบบธรรมดา จะเป็นแบบวัดทีละความถี่ (sequentially) แต่ FT-IR วัดที่ความถี่ต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง (simultaneously) เรียกว่า Fellgetts advantage

2. FT-IR ยังสามารถใช้ circular entrance aperture แทน entrance slit ได้ ทำให้ได้ลำแสงสูงขึ้น ที่เรียกว่า Jacquinot's advantage

3. FT-IR ช่วยในการแยก (resolution) และ ความถูกต้องดีขึ้น เรียกว่า Conne's advantage

4. นอกจากนี้ จะช่วยทำให้การวิเคราะห์ง่ายและสะดวกขึ้นด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมและการทำงาน

ข้อเสียของฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด คือ เป็นเครื่องที่มีราคาแพงและต้องเสียค่าทะนุบำรุงสูง อย่างไรก็ตาม เครื่องอินฟราเรดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ควรจะต้องอยู่ในห้องที่ควบคุมความชื้นตลอดเวลา แต่มีเครื่อง Fourier Transform Infrared spectrophotometer ที่ผลิตจากบางบริษัทสามารถตั้งอยู่ในห้องที่ไม่ต้องควบคุมความชื้น

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ตัวทำละลายเอทานอล (Ethanol)
2. ก๊าซไนโตรเจน
3. ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็น บริษัท ยูนิค พลาสติก
4. ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใสหมายเลข 1 บริษัท เว้ง ยู่ ฮง พลาสติก
5. ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใสหมายเลข 2 บริษัท ยูนิค อุตสาหกรรม พลาสติก
6. ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใสหมายเลข 3 บริษัท เอกชัยอุตสาหกรรม พลาสติก
7. ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใสหมายเลข 4 บริษัท DM พลาสแพค จำกัด
8. ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใสหมายเลข 5 บริษัท ชัยเสรี
9. ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบขุ่นหมายเลข 1 บริษัท แอล เอ็ม อินดัสตรี้
10. ถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบขุ่นหมายเลข 2 บริษัท ศรีศุภกุล
11. ถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว หมายเลข 1 บริษัท DM พลาสแพค จำกัด
12. ถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว หมายเลข 2 บริษัท ร่วมส่งเสริมพลาสติก
13. ถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว หมายเลข 3 บริษัท ทองฟ้าพลาสติก
14. ถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว หมายเลข 4 บริษัท นิวสวนหลวงพลาสติก

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องฟูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี รุ่น System 2000 บริษัท PerKin Elmer Co., Ltd.
2. เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอานาไรเซอร์ (Thermogravimetric Analyzer) รุ่น TGA 7 บริษัท Perkin Elmer Co.,Ltd.
3. เครื่องดิฟเฟอร์เรนเชียล สแกนนิ่ง แคลลอรีเมตริก อานาไรเซอร์ รุ่น C-4A บริษัท Shimadzu Co.,Ltd.
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น MCT Analytic AC 2105 บริษัท Sact Co.,Ltd.
5. เครื่องทำความเย็น รุ่น M 22/1 บริษัท MORAT Co.,Ltd.

6. แท่นให้ความร้อน รุ่น CA-111 บริษัท EYELA Co.,Ltd.
7. ช้อนตักสาร (Specular)
8. กรรไกร และ มีด

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 การศึกษาหาโครงสร้างทางเคมีของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร

การทดสอบโดยใช้เครื่องฟูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

- ตัดถุงพลาสติกตัวอย่างให้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 4 x 8 ซม^{2}.
- มาติดไว้บนหน้าต่างเซลล์ จากนั้นบรรจุลงในที่บรรจุเซล (Cell Holder)
- ดำเนินการวัดหาค่าหมู่ฟังก์ชันของสารตัวอย่างโดยใช้เครื่องฟูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี เลขคลื่นช่วง 4000-400 ซม$^{-1}$ จำนวนสแกนเท่ากับ 16 ครั้ง ใช้เครื่องวัด (Detector) ประเภท Deuterate Triglycine Sulfate (DTGS)

3.3.2 การทดสอบหาสารเติมแต่งในถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร

การทดสอบโดยใช้เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอานาไรเซอร์

- นำถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารที่มีลักษณะเป็นแผ่นฟิลม์หลอมให้เป็นก้อนโดยใช้แท่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120-140 องศาเซลเซียส สารตัวอย่างที่หลอมจะมีลักษณะเป็นก้อน สีขาวขุ่น
- นำสารตัวอย่างไปตัดเป็นชิ้นน้ำหนักประมาณ 5-15 มิลลิกรัม ใส่ลงไปในเซล (Pan) สำหรับตรวจวัด จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักของสารตัวอย่างเพื่อหาน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นใช้เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอานาไรเซอร์ตรวจวัดเพื่อหาสารเติมแต่ง กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวซึ่งประมาณ 500-600 องศาเซลเซียสและอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที
- ดำเนินการวัดเพื่อหาองค์ประกอบโดยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอานาไรเซอร์ ในสภาวะไนโตรเจน และใช้เครื่องวัดทางอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ชนิด Chromel-Alumel Thermocouple

- เทอร์โมแกรมที่ได้จากเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงนอกจากนั้นแสดงน้ำหนักสารตัวอย่างและอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ใช้

การทดสอบโดยใช้เครื่องดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกอานาไรเซอร์

- นำสารตัวอย่างที่ได้จากการหลอมจากการทดสอบโดยใช้เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอานาไรเซอร์ มาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ หลายชิ้นน้ำหนักรวมโดยประมาณ 2-10 มิลลิกรัม แล้วไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักละเอียดและบันทึกผล
- นำสารตัวอย่างที่ได้ไปบรรจุลงในเซลที่ทำด้วยอลูมิเนียม(aluminium pan)จากนั้นปิดปากเซลด้วยเครื่องอัด (สำหรับโพลิเอททิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและสูง, โพลิโพรพิลีนมาตรฐานก็ทดสอบช่นเดียวกัน)
- ทำการกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบที่ 300 องศาเซลเซียสและอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที
- เทอร์โมแกรมที่ได้จากเครื่องดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง dH/dt กับ อุณหภูมิ วิเคราะห์หาอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติคล้ายแก้วและจุดหลอมเหลวโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ของเครื่องดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริก

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 โครงสร้างเคมีของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร

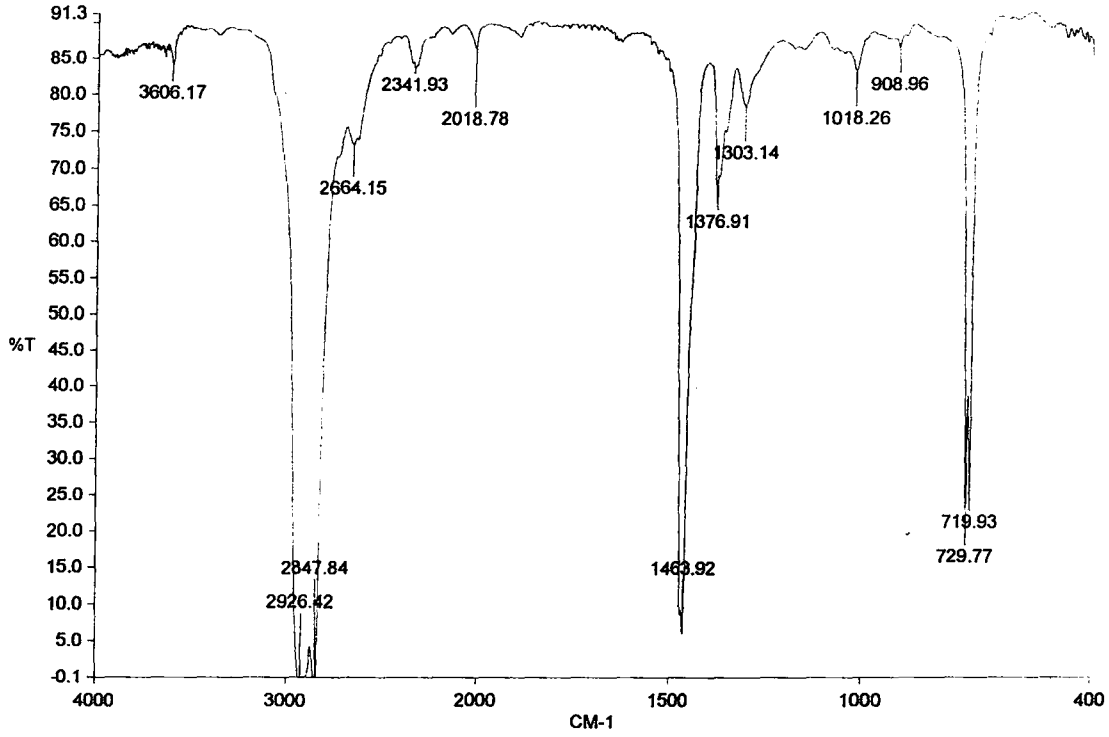
4.1.1 ผลการทดลองหาโครงสร้างทางเคมีของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็น

อินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็น แสดงในรูป 4.1 แถบหรือพีคที่เกิดขึ้น ณ ความยาวคลื่นต่าง ๆ กันสามารถบ่งบอกถึงประเภทของหมู่ที่ทำหน้าที่เฉพาะ
(fucnctional group) ของโมเลกุลได้ ตาราง 4.1 สรุปการวิเคราะห์หมู่ทำหน้าที่เฉพาะที่สำคัญของโมเลกุล จากการเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิเอททิลีนมาตรฐานในรูป 4.1A พบว่าแถบทุกแถบอยู่บริเวณเลขคลื่นเดียวกัน จากข้อมูลเหล่านี้สามารถสรุปได้ว่า โครงสร้างเคมีของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็นนี้ คือ โพลิเอททิลีน

ตาราง 4.1 ประเภทการสั่นของโมเลกุล ณ ช่วงความถี่เฉพาะซึ่งปรากฏในอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทอาหารเย็น

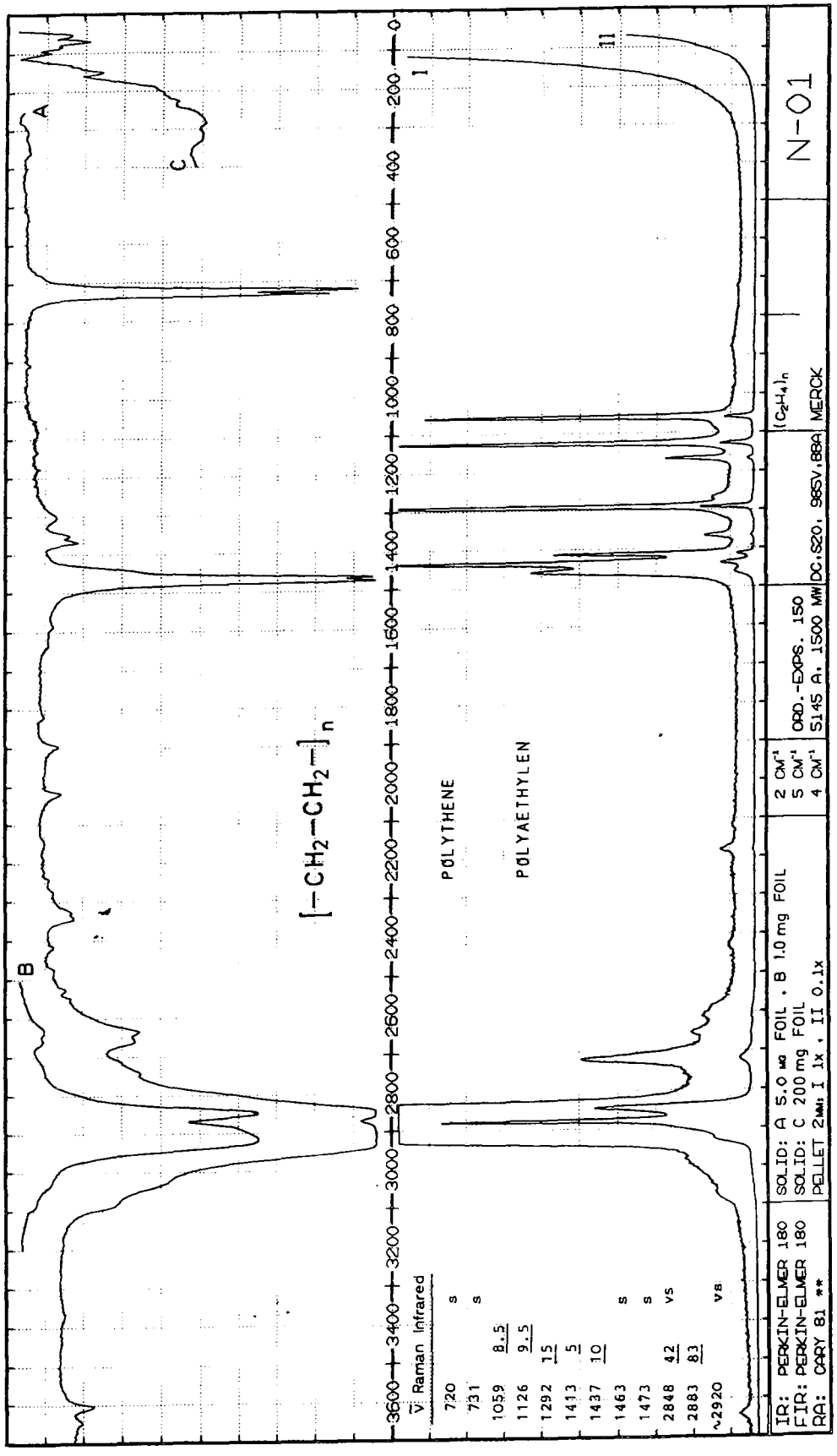
ช่วงความถี่ (cm^{-1})	ประเภทของการสั่น
2926	δCH_3
2847	δCH_2
1463	νCH_2
719,729	CH_2 rocking

รูป 4.1
แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็น



รูป 4.1A

แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิเอททิลีนมาตรฐาน



4.1.2 ผลการทดลองหาโครงสร้างทางเคมีของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อน

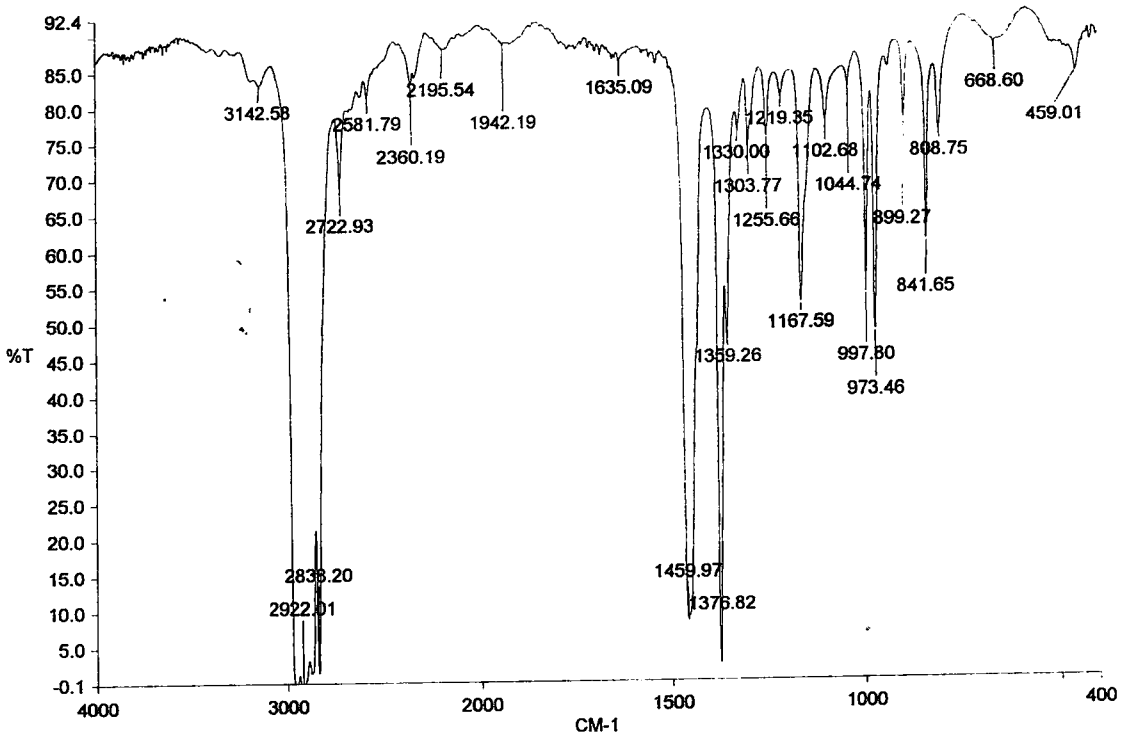
อินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใส แสดงในรูป 4.2 , 4.3 , 4.4 , 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ ตาราง 4.2 สรุปการวิเคราะห์หมู่ที่ทำหน้าที่เฉพาะที่สำคัญบนโมเลกุลซึ่งทำการศึกษาโดยเทคนิคอินฟราเรด เมื่อเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตัมของโพลิ
โพรพิลีนมาตรฐาน ในรูป 4.2A ปรากฏว่า พีคทุกพีคอยู่ในบริเวณเลขคลื่นหรือความถี่เดียวกัน สำหรับรูปอื่น ๆ นั้นก็มีลักษณะพีคคล้ายคลึงกันทั้งหมด จากข้อมูลสรุปได้ว่า โครงสร้างเคมีของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใส คือ โพลิโพรพิลีน

ตาราง 4.2 ประเภทการสั่นของโมเลกุล ณ ช่วงความถี่เฉพาะซึ่งปรากฏอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใส

ช่วงความถี่ (cm^{-1})	ประเภทของการสั่น
2922	δCH_3
2838	δCH_2
1459	$\nu CH_2, \nu CH_3$
1376	νCH_3
1167	$\nu CH_2, \nu CH_3$
997	$\nu CH_2, \nu CH_3$
973	$\nu CH_2, \nu CH_3$
841	$\nu CH_2, \nu CH_3$

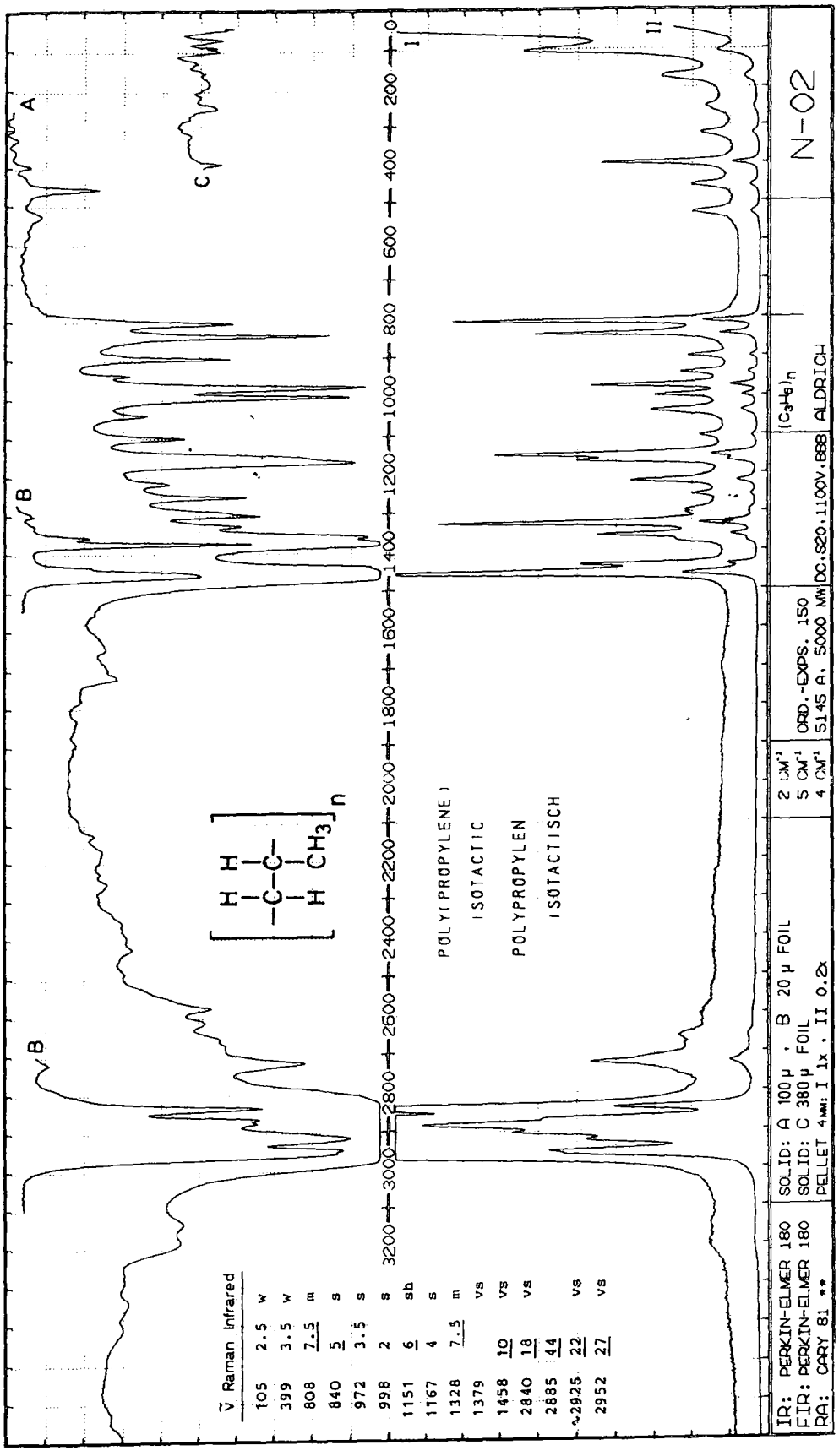
รูป 4.2

แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใส หมายเลข 1



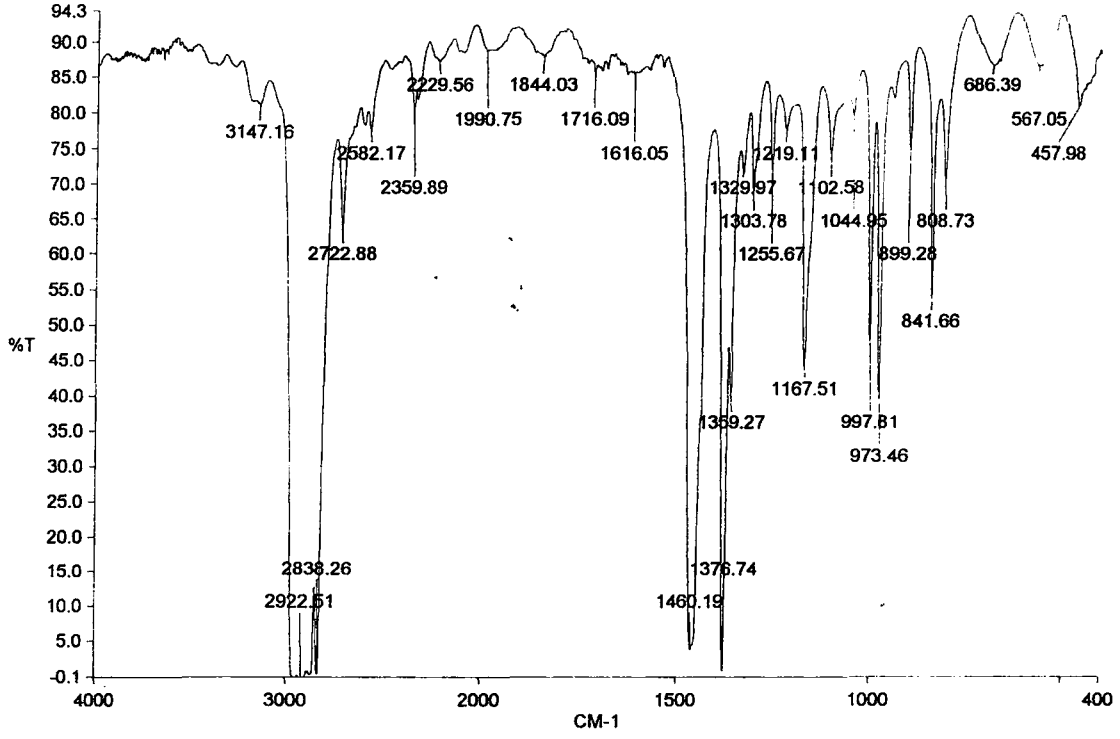
รูป 4.2A

แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิโพรพิลีนมาตรฐาน



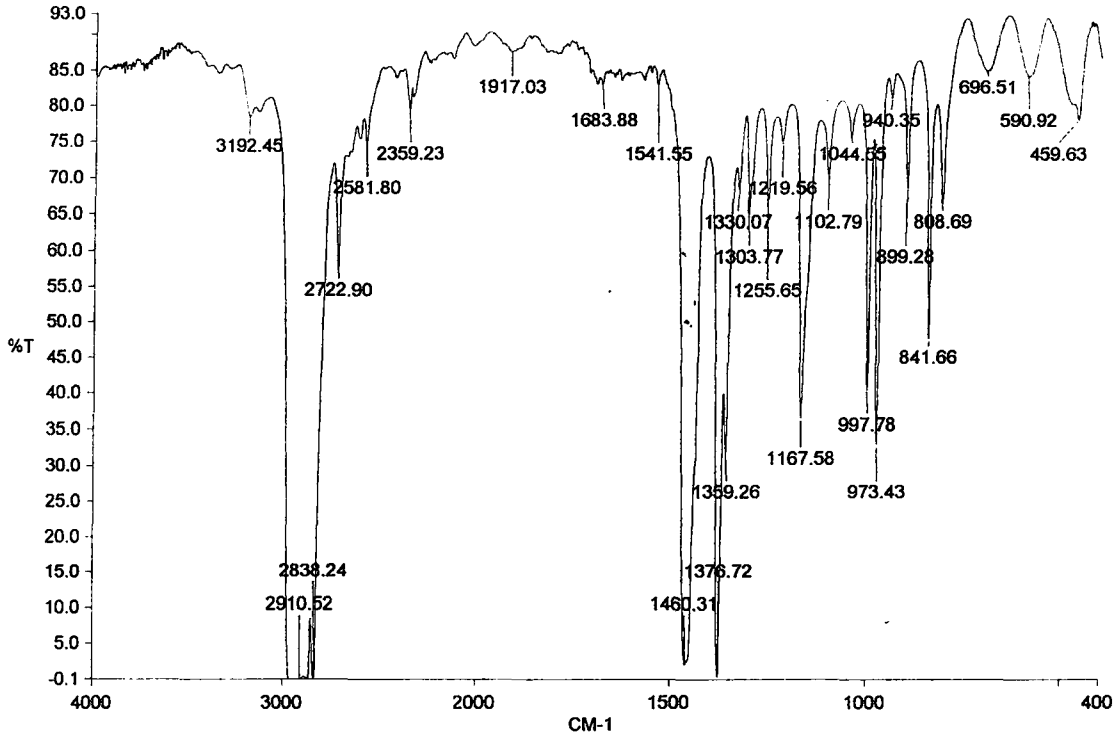
รูป 4.3

แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใส หมายเลข 2



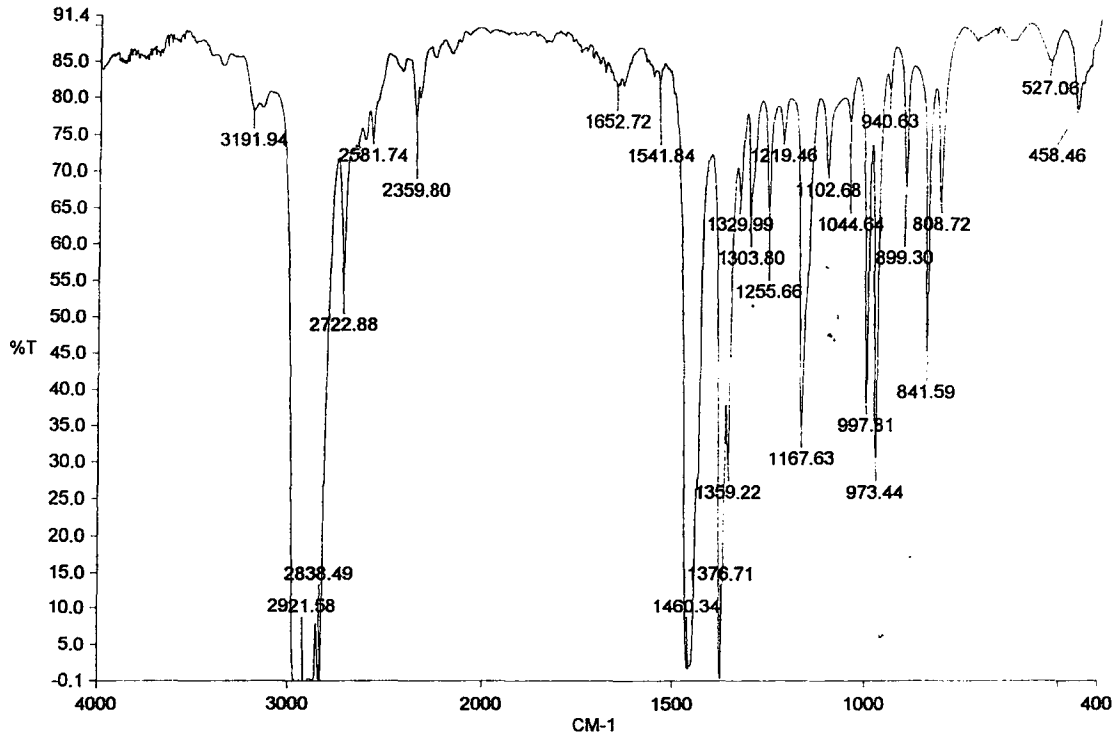
รูป 4.4

แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใส หมายเลข 3



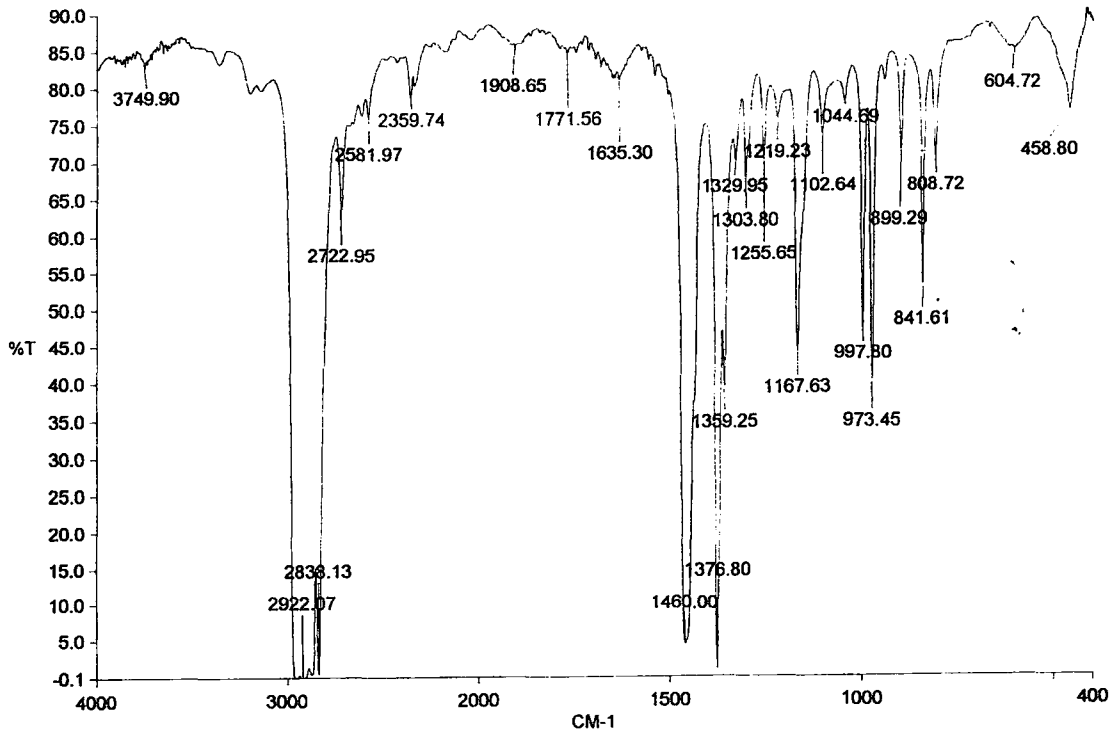
รูป 4.5

แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใส หมายเลข 4



รูป 4.6

แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใส หมายเลข 5



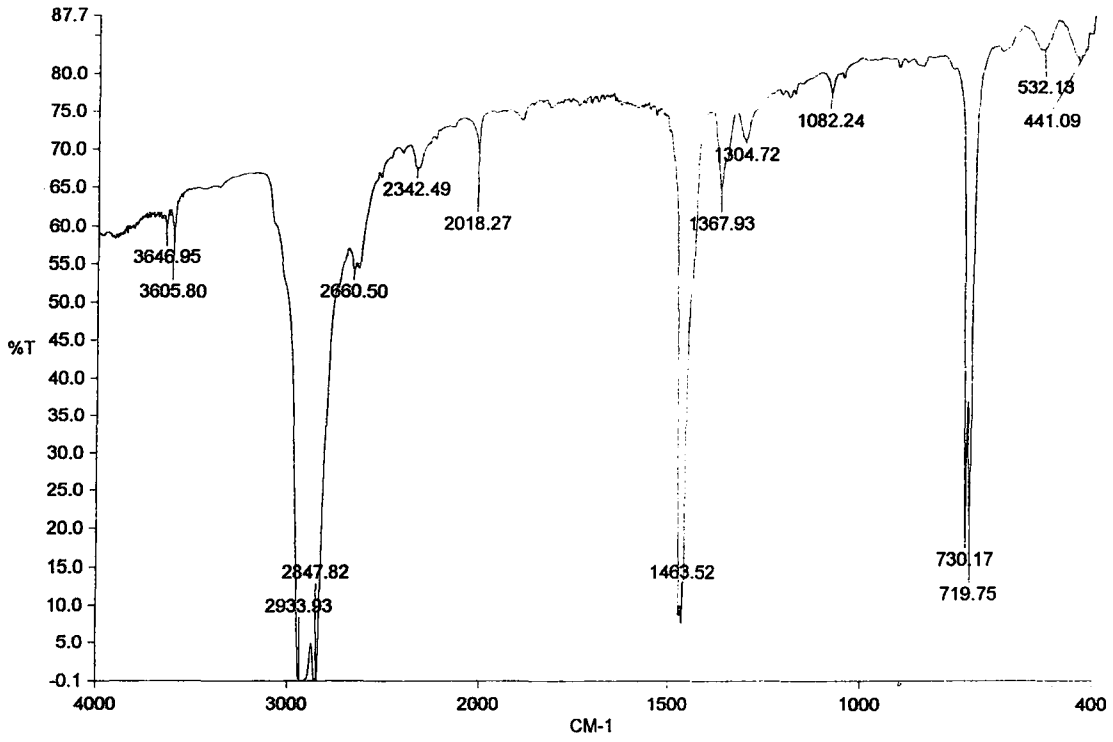
อินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบขุ่น แสดงในรูป 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ ตาราง 4.3 แสดงช่วงความถี่ซึ่งสัมพันธ์กับประเภทการสั่นของโมเลกุล เมื่อเปรียบเทียบกับอินฟราเรดของโพลิเอททิลีนมาตรฐานในรูป 4.1A พบว่า พีคทุกพีคอยู่บริเวณเลขคลื่นเดียวกัน ส่วนรูป 4.8 ก็มีลักษณะพีคเช่นเดียวกัน จากข้อมูลเหล่านี้สรุปได้ว่า โครงสร้างเคมีของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบขุ่น คือ โพลิเอททิลีน

ตาราง 4.3 ประเภทการสั่นของโมเลกุล ณ ช่วงความถี่เฉพาะซึ่งปรากฏในอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบขุ่น

ช่วงความถี่ (cm^{-1})	ประเภทของการสั่น
2933	δCH_3
2847	δCH_2
1463	νCH_2
719,730	CH_2 rocking

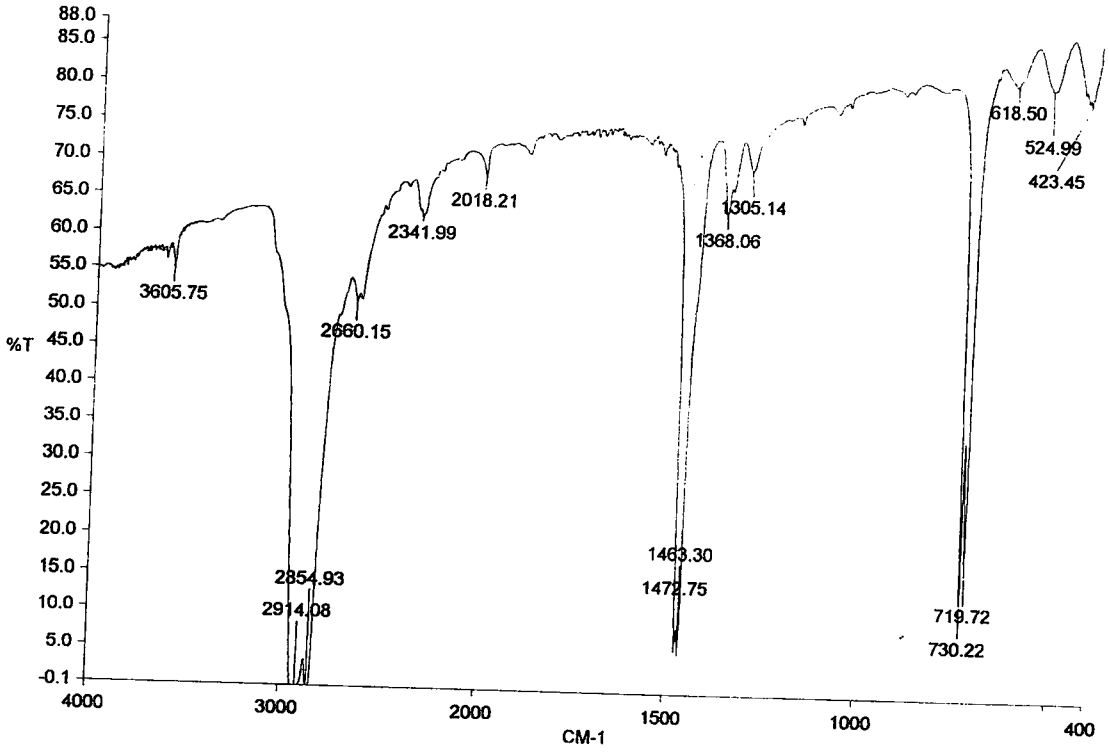
รูป 4.7

แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบขุ่น หมายเลข 1



รูป 4.8

แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบขุ่น หมายเลข 2



4.1.3 ผลการทดลองหาโครงสร้างทางเคมีของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว

อินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว แสดงในรูป 4.9 , 4.10 , 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ ตาราง 4.4 สรุปการวิเคราะห์หมู่ที่ทำหน้าที่เฉพาะที่สำคัญบนโมเลกุลซึ่งทำการศึกษาโดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี เมื่อทำการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิเอททิลีนมาตรฐาน ในรูป 4.1A พบว่า พีคทุกพีคอยู่ในบริเวณเลขคลื่นหรือความถี่เดียวกัน

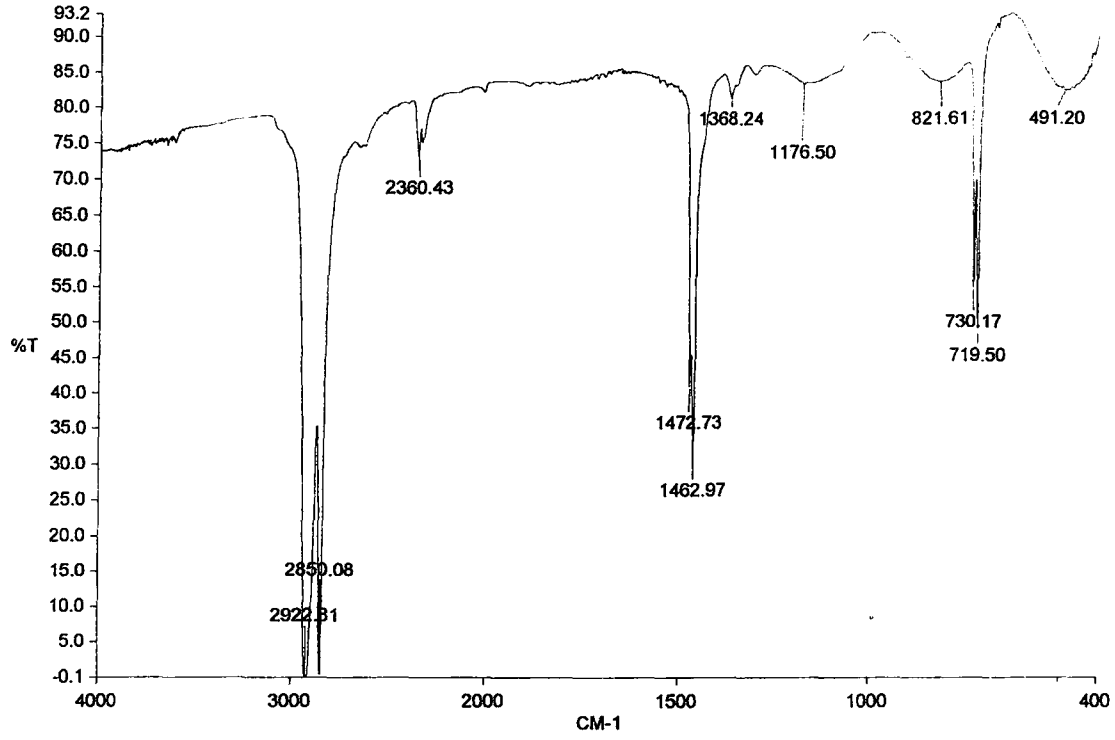
ส่วนรูปอื่น ๆ ก็มีพีคใกล้เคียงกับรูป 4.9 จากข้อมูลสรุปได้ว่า โครงสร้างเคมีของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว คือ โพลิเอททิลีน

ตาราง 4.4 ประเภทการสั่นของโมเลกุล ณ ช่วงความถี่เฉพาะซึ่งปรากฏในอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว

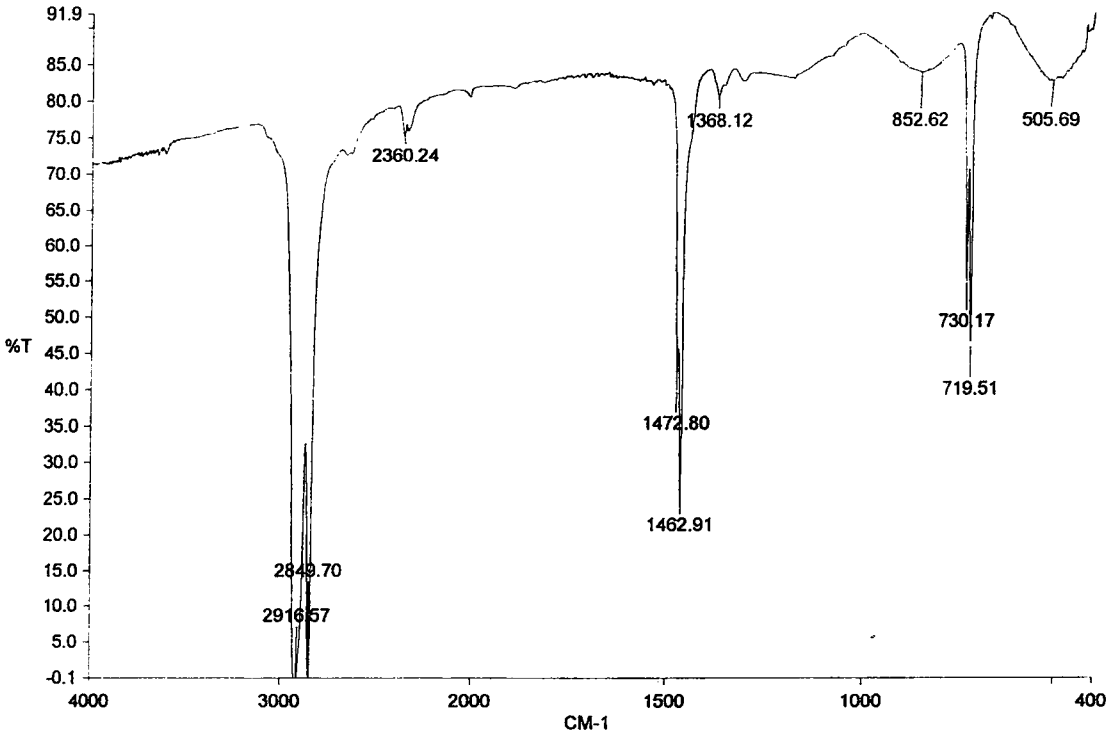
ช่วงความถี่ (cm^{-1})	ประเภทของการสั่น
2922	δCH_3
2850	δCH_2
1462,1472	νCH_2
719,730	CH_2 rocking

รูปที่ 4.9

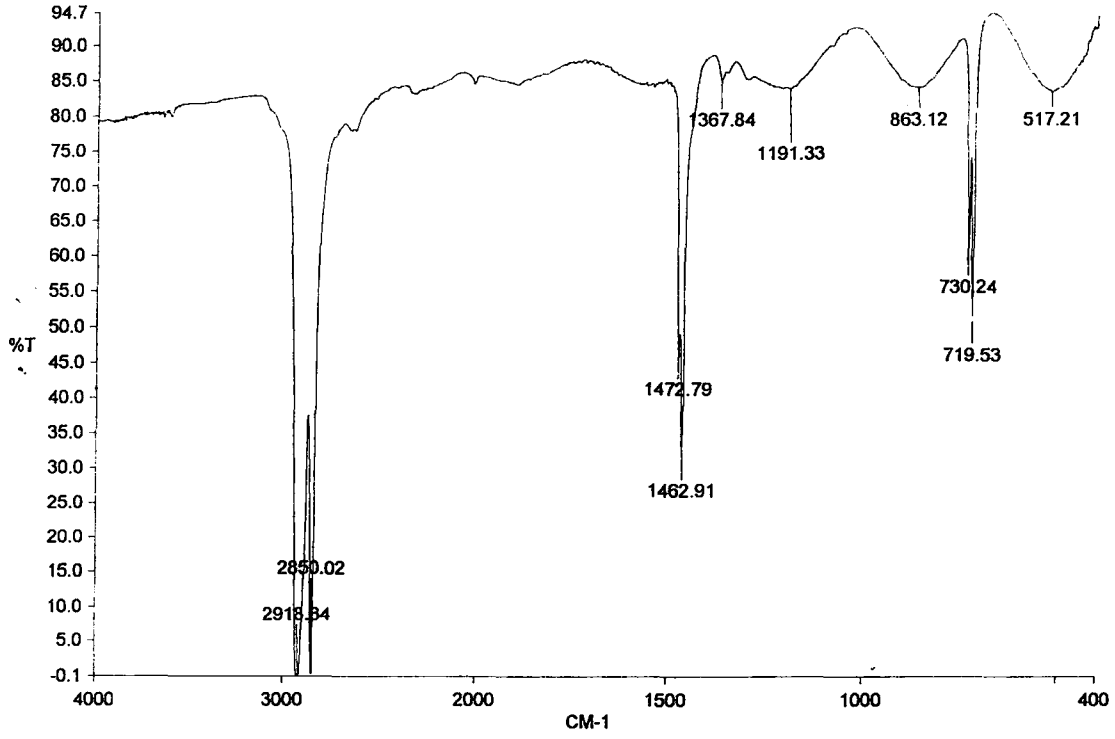
แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว หมายเลข 1



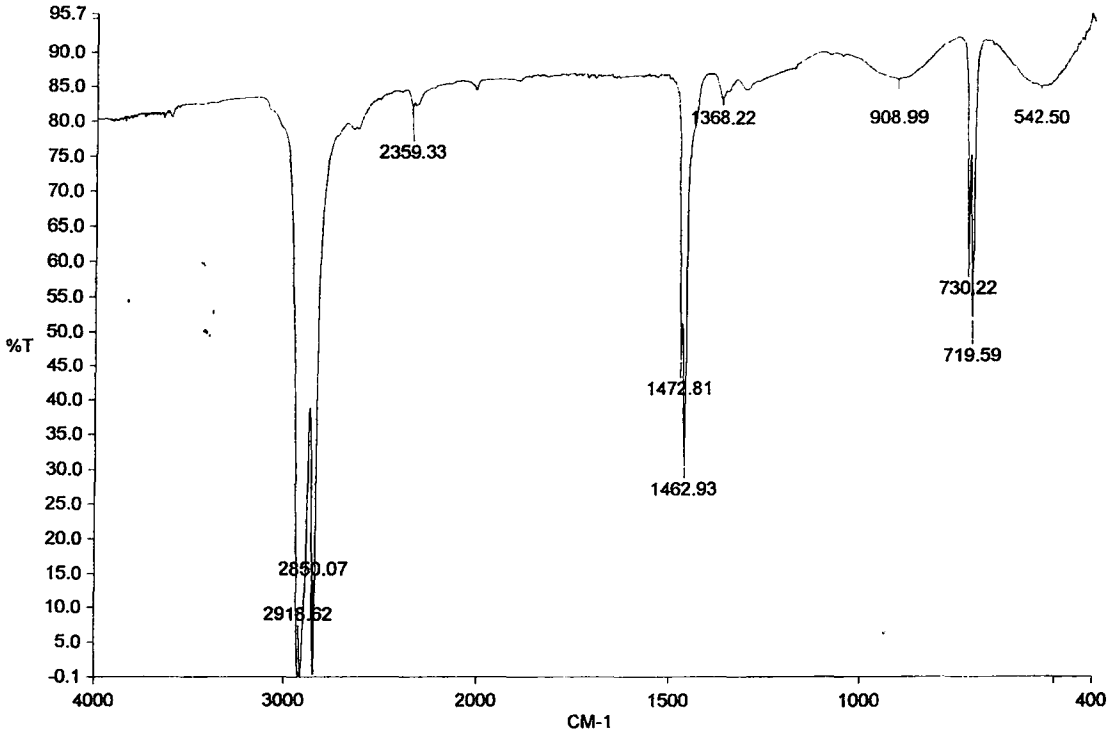
รูปที่ 4.10
แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว หมายเลข 2



รูปที่ 4.11
แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว หมายเลข 3



รูปที่ 4.12
แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว หมายเลข 4

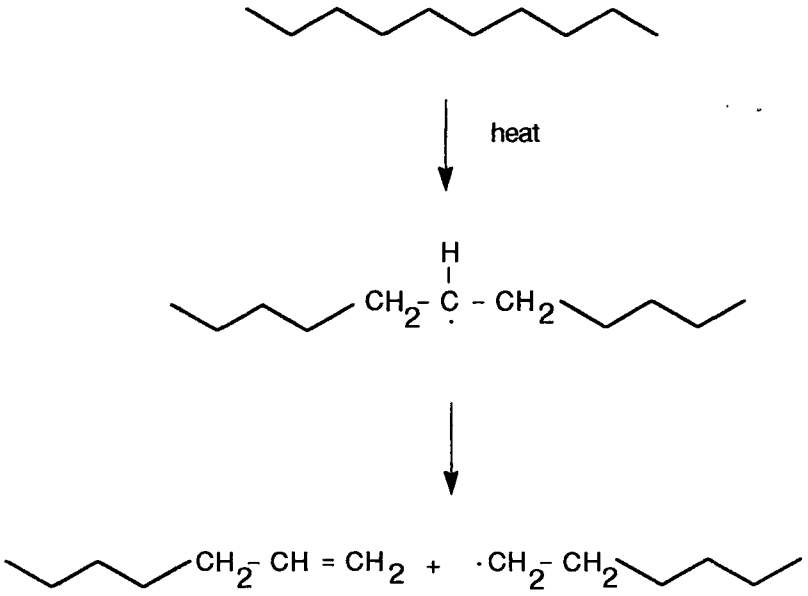


4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของถุงพลาสติกบรรจุอาหาร

4.2.1 ผลการทดลองหาองค์ประกอบของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็น

จากการทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็น โดยใช้เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก และ เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกอานาไลเซอร์ ได้เทอร์โมกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.13 และ รูปที่ 4.14 ตามลำดับ

จากเทอร์โมกราฟในรูป 4.13 พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของโพลิเมอร์เพียงช่วงเดียวเท่านั้น กล่าวคือมีการสลายตัวโครงสร้างเคมีของโพลิเมอร์เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 434 องศาเซลเซียส น้ำหนักที่สลายไป 100% จึงสามารถสรุปได้ว่า โพลิเมอร์เกิดการสลายตัวโดยความร้อน เนื่องจากการแตกพันธะคาร์บอน-ไฮโดรเจนบนสายโซ่โพลิเมอร์ได้อนุมูลอิสระจากนั้นอนุมูลอิสระอาจรับอิเล็คตรอนหนึ่งอิเล็คตรอนของอะตอมไฮโดรเจนซึ่งอยู่ที่โมเลกุลของอีกสายโซ่หนึ่ง จึงได้โพลิเมอร์ที่สายโซ่หนึ่งเป็นพันธะเดี่ยว ส่วนอีกปลายสายโซ่หนึ่งเกิดเป็นพันธะคู่ขึ้น จะเกิดปฏิกิริยาเช่นนี้เรื่อยไปจนกระทั่งโพลิเมอร์สลายตัวทั้งหมด[8] ตามกลไกปฏิกิริยาดังแสดงข้างล่างนี้

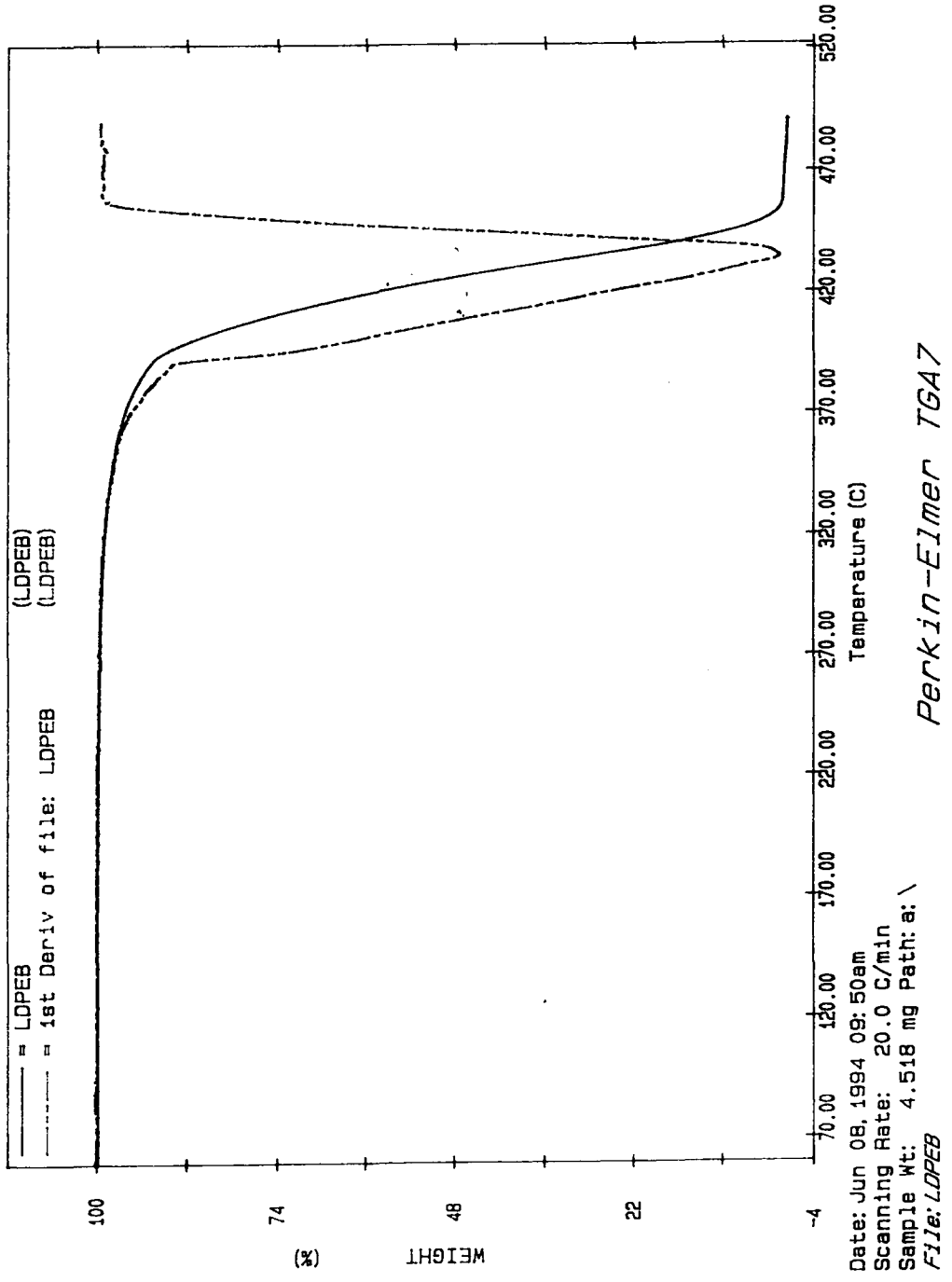


จากการวิเคราะห์หาอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติคล้ายแก้วและจุดหลอมเหลวของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็น ในรูป 4.14 พบว่า อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติคล้าย

แก้วและจุดหลอมเหลวมีค่าใกล้เคียงกับเทอร์โมกราฟของโพลิเอททิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำมาตรฐานจากบริษัท อุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด ในรูป 4.14A

รูป 4.13

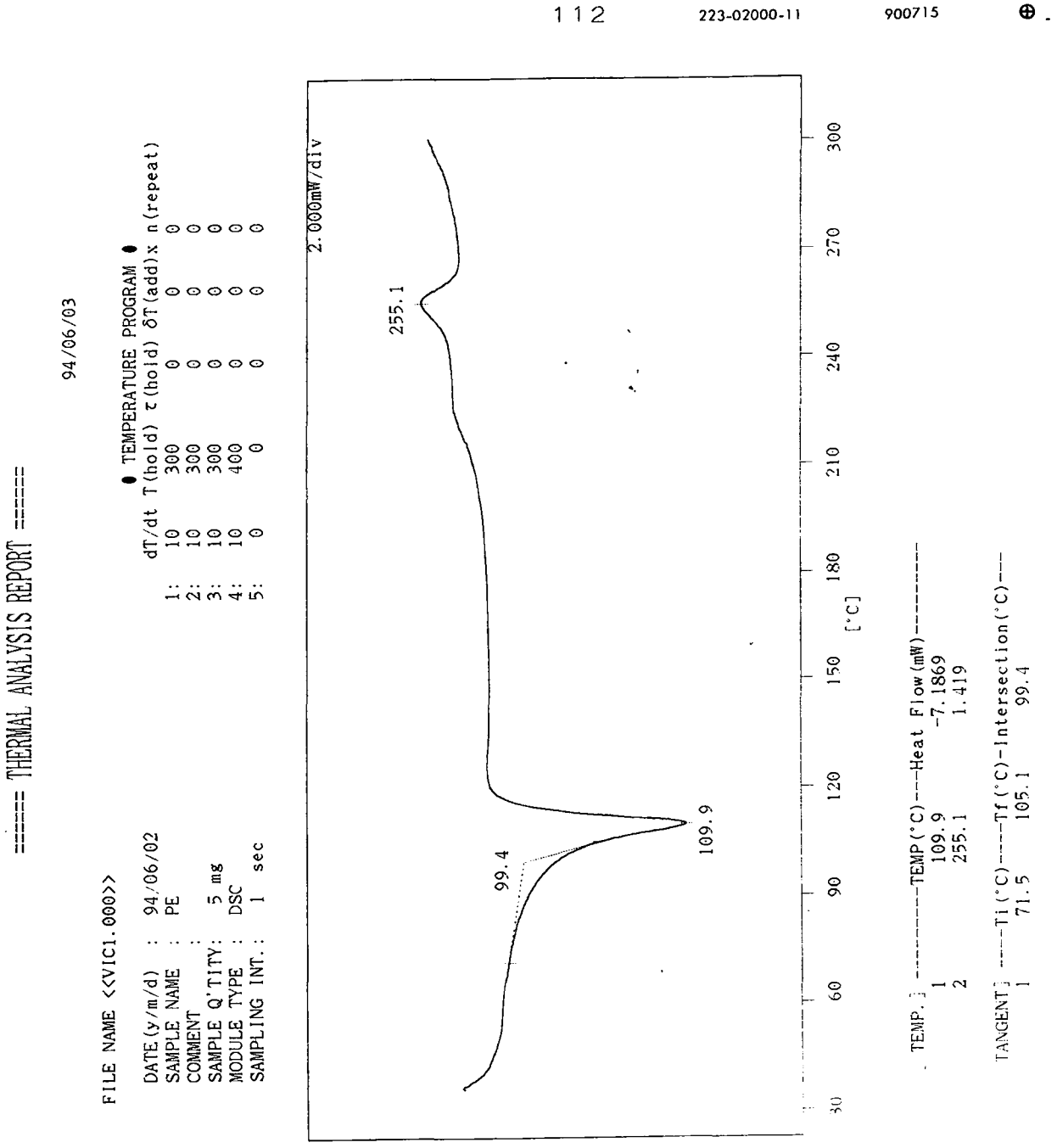
เทอร์โมกราฟ(Thermograph) ของเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไรเซอร์ของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็น



รูป 4.14

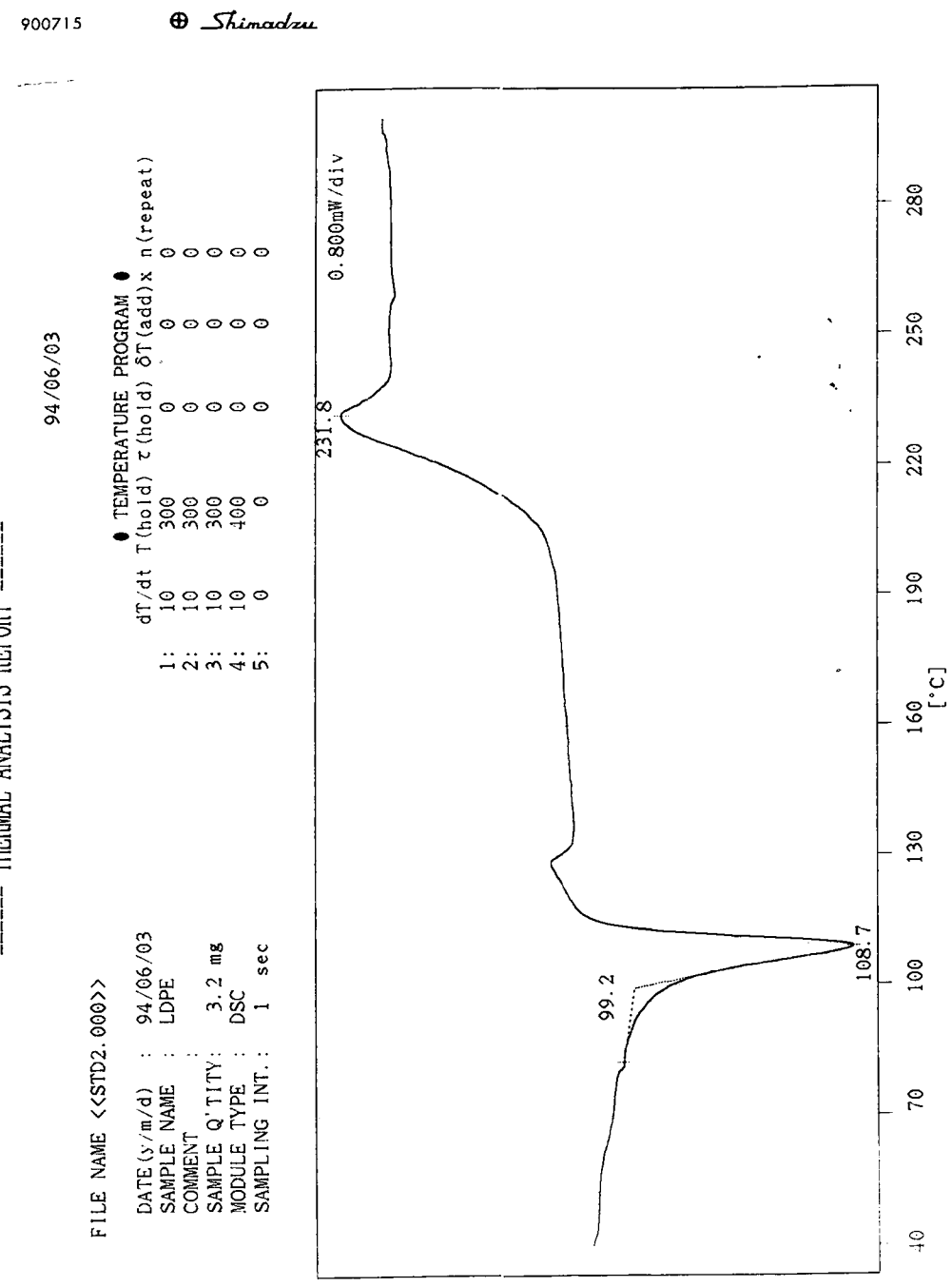
เทอร์โมกราฟของดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกอานาไรเซอร์

(Differential Scanning Calorimetric Thermograph) ของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็น



รูป 4.14A

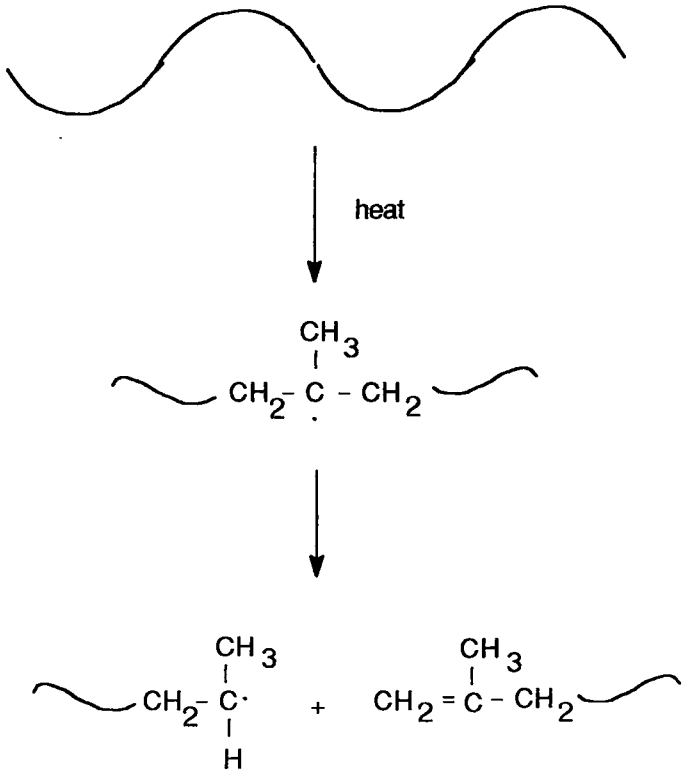
เทอร์โมกราฟของดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกอานาไรเซอร์ (Differential Scanning Calorimetric Thermograph) ของโพลิเอททิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำมาตรฐาน



4.2.2 ผลการทดลองของหาองค์ประกอบของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อน

จากการทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบภายในของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใสโดยใช้เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก และ เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกอานาไรเซอร์ เทอร์โมกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.15 และ รูปที่ 4.16 ส่วนถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบขุ่น แสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ

จากเทอร์โมกราฟในรูป 4.15 พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของโพลิเมอร์เพียงช่วงเดียวเท่านั้น กล่าวคือมีการสลายตัวโครงสร้างเคมีของโพลิเมอร์เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส น้ำหนักที่สลายไปคิดเป็นน้ำหนักทั้งหมด จึงสามารถสรุปได้ว่า โพลิเมอร์เกิดการสลายตัวโดยความร้อน เกิดจากการแตกพันธะคาร์บอน-ไฮโดรเจนบนสายโซ่โพลิเมอร์ได้อนุมูลอิสระของคาร์บอนตติยภูมิจากนั้นอนุมูลอิสระอาจรับอิเล็คตรอนหนึ่งอิเล็คตรอนของอะตอมไฮโดรเจนซึ่งอยู่ที่โมเลกุลของอีกสายโซ่หนึ่ง จึงได้โพลิเมอร์ที่สายโซ่หนึ่งที่มีเทอร์เทียรีคาร์บอนอนุมูลอิสระ ส่วนอีกปลายสายโซ่หนึ่งเกิดเป็นพันธะคู่ขึ้น จะเกิดปฏิกิริยาเช่นนี้เรื่อยไปจนกระทั่งโพลิเมอร์สลายตัวทั้งหมด [8] ตามกลไกปฏิกิริยาดังแสดงข้างล่างนี้

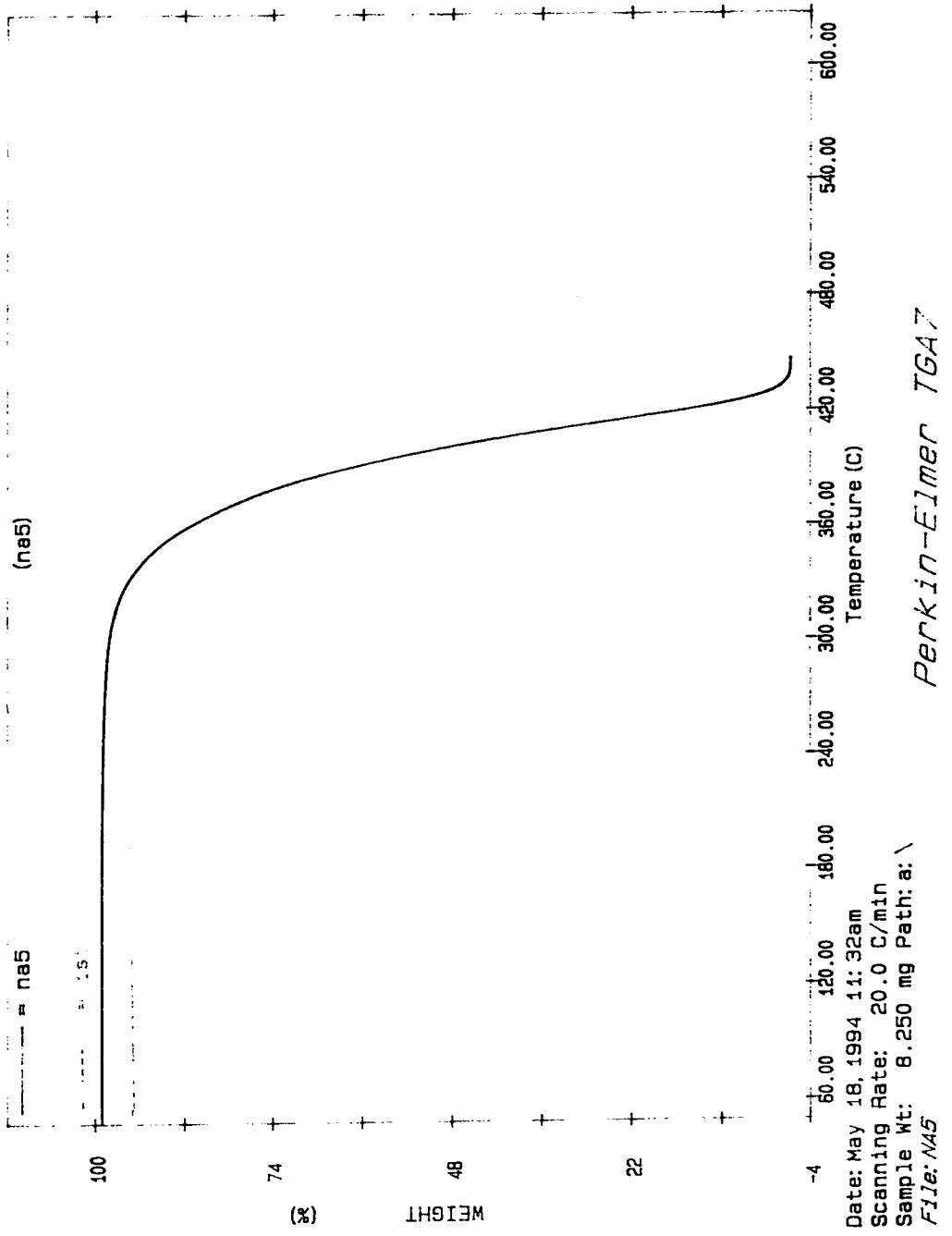


จากการวิเคราะห์หาอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติคล้ายแก้วและจุดหลอมเหลวของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใส ในรูป 4.16 พบว่า อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงคุณ

สมบัติคล้ายแก้วและจุดหลอมเหลวมีค่าใกล้เคียงกับเทอร์โมแกรมของโพลิโพรพิลีนมาตรฐาน จากบริษัทอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด ในรูป 4.16A

รูป 4.15

เทอร์โมกราฟ(Thermograph) ของเทอร์โมกราวิเมตริกอานาไรเซอร์ของถุงพลาสติก
ประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใส

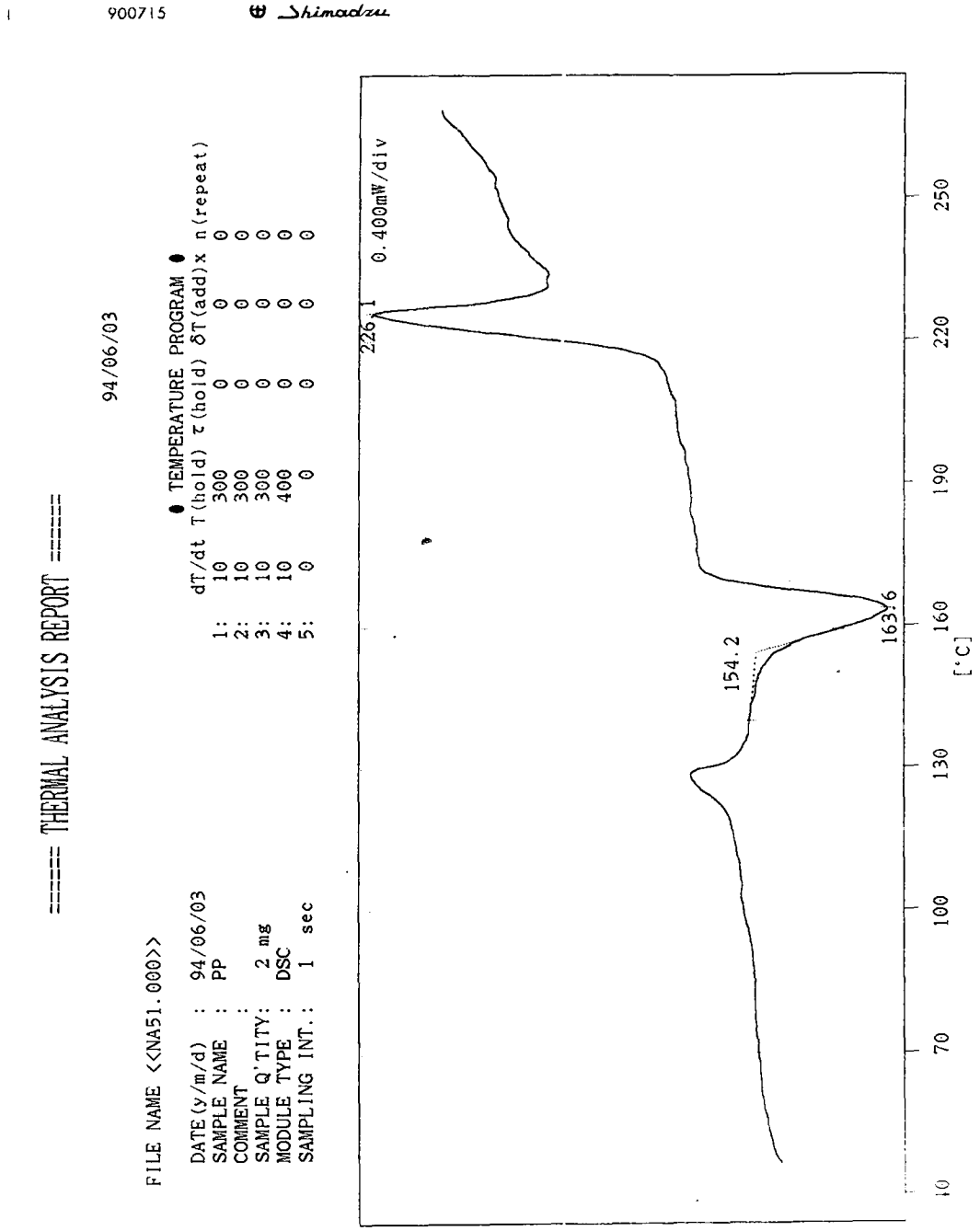


รูป 4.16

เทอร์โมกราฟของดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกอานาไรเซอร์

(Differential Scanning Calorimetric Thermograph) ของถุงพลาสติก

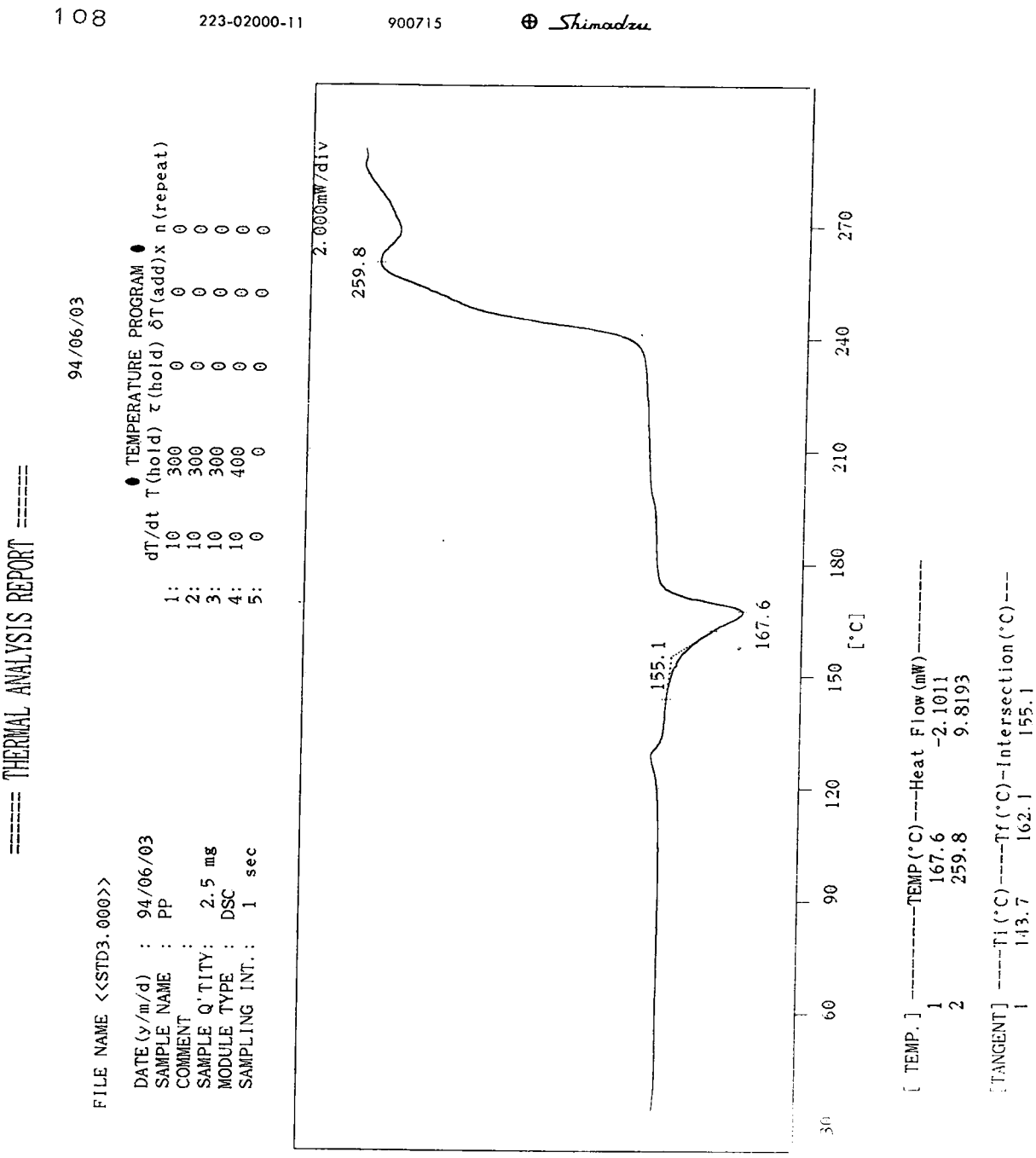
ประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใส



รูป 4.16A

เทอร์โมกราฟของดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกอานาไรเซอร์

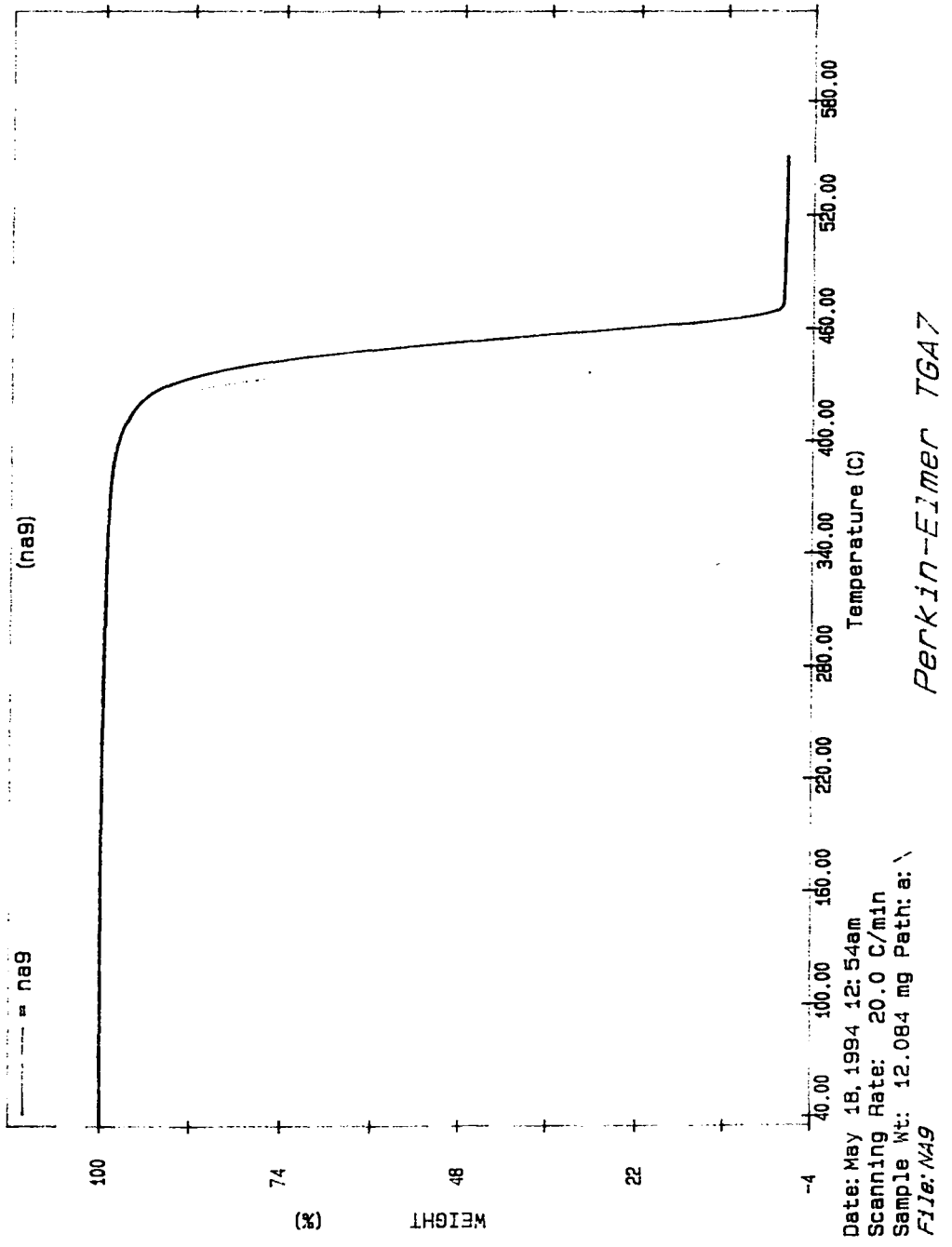
(Differential Scanning Calorimetric Thermograph) ของโพลิโพรพิลีนมาตรฐาน



จากเทอร์โมกราฟในรูป 4.17 พบว่าการวิเคราะห์เกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของโพลิเมอร์คล้ายคลึงกับในการวิเคราะห์องค์ประกอบของถุงพลาสติกประเภทถุงเย็น ส่วนการสลายตัวโครงสร้างเคมีของโพลิเมอร์เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่าเล็กน้อยคือที่อุณหภูมิ 460 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์หาอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติคล้ายแก้วและจุดหลอมเหลวของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็น ในรูป 4.18 พบว่า อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติคล้ายแก้วและจุดหลอมเหลวมีค่าใกล้เคียงกับเทอร์โมแกรมของโพลิเอททิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นสูงมาตรฐานจากบริษัทอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด ในรูป 4.18A

รูป 4.17
เทอร์โมกราฟ(Thermograph) ของเทอร์โมกราวิเมตริกอานาไรเซอร์ของถุงพลาสติก
ประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบขุ่น

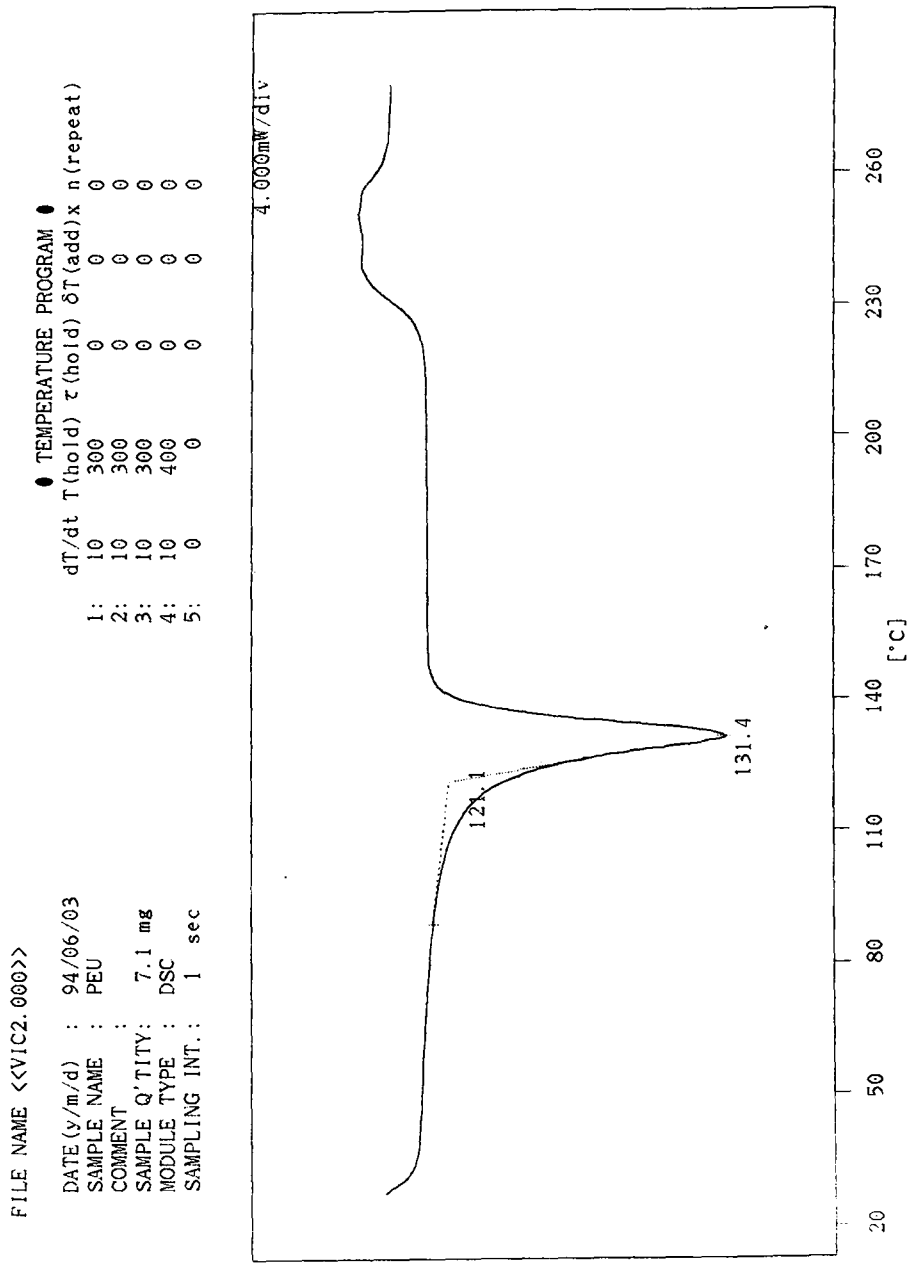


รูป 4.18

เทอร์โมกราฟของดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกอานาไรเซอร์

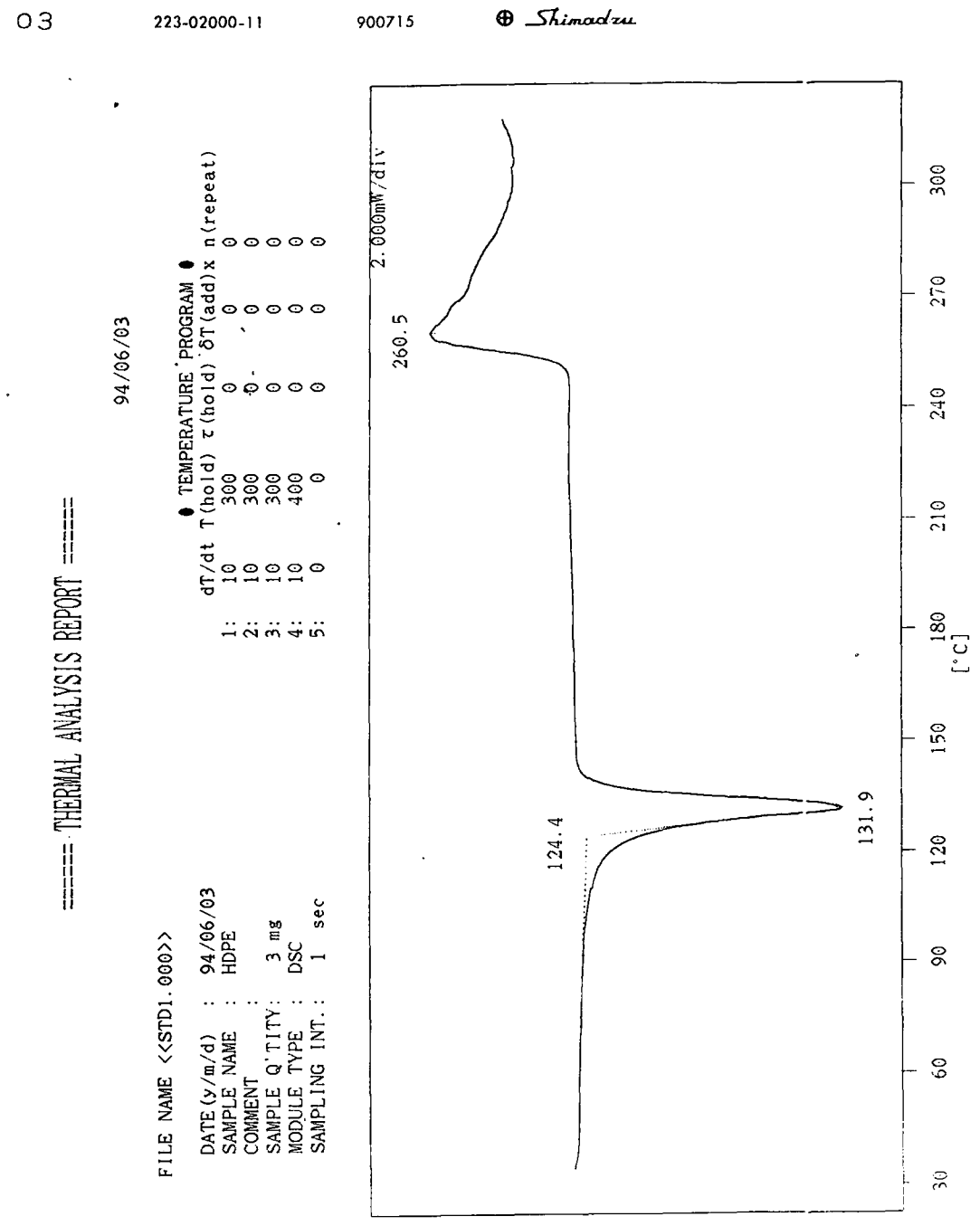
(Differential Scanning Calorimetric Thermograph) ของถุงพลาสติก

ประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบขุ่น



รูป 4.18A

เทอร์โมกราฟของดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกอานาไรเซอร์ (Differential Scanning Calorimetric Thermograph) ของโพลิเอททิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นสูง

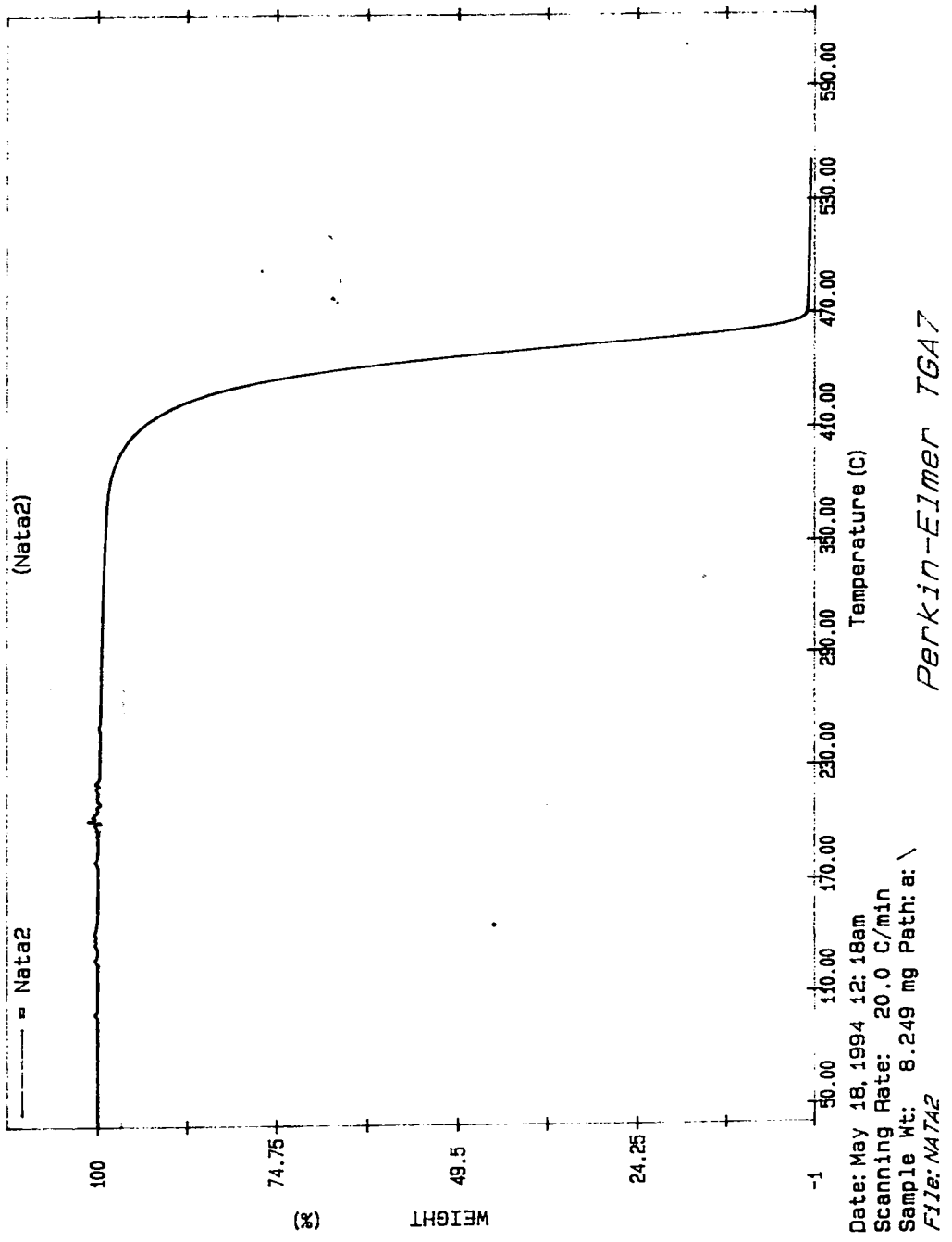


4.2.3 ผลการทดลองของหาองค์ประกอบของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว

จากการทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบภายในของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้วโดยใช้เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอานาไรเซอร์และเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลลอริเมตริก อานาไรเซอร์ จะได้เทอร์โมกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.19 และ รูปที่ 4.20 ตามลำดับ

สำหรับเทอร์โมกราฟของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้วที่แสดงในรูปที่ 4.19 และ รูปที่ 4.20 มีผลการวิเคราะห์เช่นเดียวกับถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบขุ่น

รูป 4.19
เทอร์โมกราฟ(Thermograrph) ของเทอร์โมกราวิเมตริกอานาไรเซอร์ของถุงพลาสติก
ประเภทหูหิ้ว

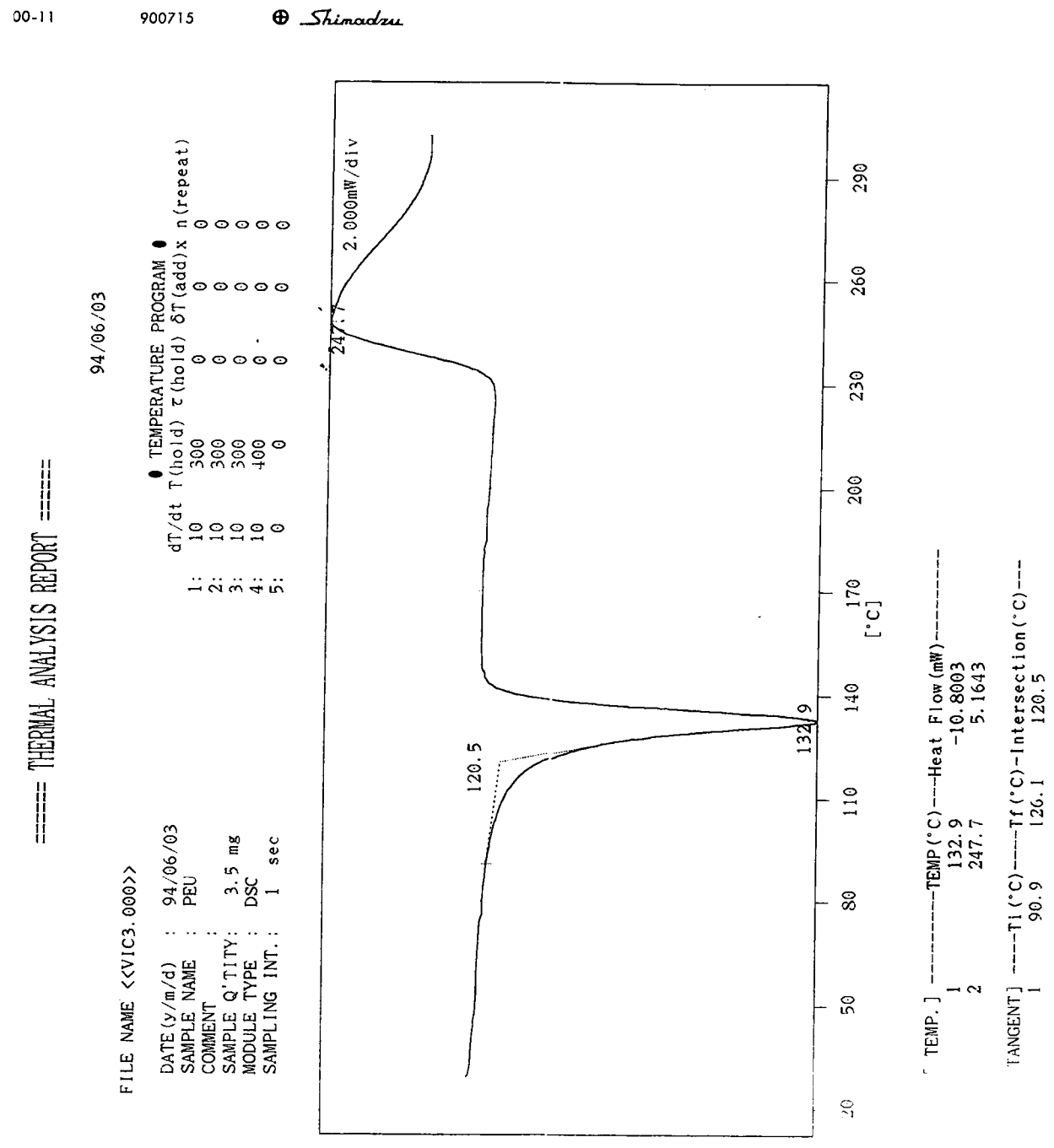


รูป 4.20

เทอร์โมกราฟของดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริกอานาไรเซอร์

(Differential Scanning Calorimetric AnalyzerThermograph) ของถุงพลาสติก

ประเภทหูหิ้ว



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

ตามโครงงานพิเศษนี้ได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร จากผลการศึกษาหาองค์ประกอบภายในของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหาร โดยเครื่องฟูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก และ เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริก สรุปได้ดังนี้

1. โครงสร้างเคมีของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารเย็น คือ พอลิเอททิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำ

2. โครงสร้างเคมีของถุงพลาสติกประเภทบรรจุอาหารร้อนแบบใส คือ พอลิโพรพิลีน และ แบบขุ่น คือ พอลิเอททิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นสูง

3. โครงสร้างเคมีของถุงพลาสติกประเภทหูหิ้ว คือ พอลิเอททิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นสูง

จากการศึกษา โดยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก พบว่า ถุงพลาสติกสำหรับใช้บรรจุอาหารประเภทต่าง ๆ ทั้ง พอลิโพรพิลีน , พอลิเอททิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ , พอลิเอททิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพอลิเมอร์ กล่าวคือ พบการสลายตัวของโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลของพอลิเมอร์ อันเกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนเท่านั้น

นอกจากนี้จากการวิเคราะห์หาอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติคล้ายแก้วและจุดหลอมเหลวของถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมตริก พบว่า อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติคล้ายแก้วและจุดหลอมเหลวมีค่าใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นก่อนผ่านกระบวนการผลิต จึงสามารถสรุปได้ว่า ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารนี้ไม่มีการเติมสารเติมแต่งหรือมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก แต่ในการศึกษาตามโครงงานพิเศษนี้ไม่มีผลการทดลองการวิเคราะห์โครงสร้างของสารเติมแต่งในถุงพลาสติกประเภทต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น

ข้อเสนอแนะ

1. ในการผลิตถุงพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุอาหารนั้นมีการเติมสารเติมแต่งต่าง ๆ ลงไปเพื่อช่วยให้ผลิตได้ง่ายและปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้น แต่ทว่าปริมาณสารเติมแต่งต่าง ๆ เช่น สเต

บิไลเซอร์ สารหล่อลื่น พลาสติไซเซอร์ แอนตี้ออกซิแดนต์ ฯลฯ มีการเติมลงไปในปริมาณที่น้อยมากคิดเป็นร้อยละ 0.1-1 ของน้ำหนัก ดังนั้นจึงควรใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมีที่มีขีดความสามารถในการตรวจวัดความละเอียดมากกว่าที่ใช้อยู่นี้ กล่าวว่าสามารถวัดปริมาณสารเคมีที่มีอยู่เพียงเล็กน้อยได้ เช่น การวิเคราะห์แบบ Element Analysis

2. สามารถนำวิธีการวิเคราะห์ถุงพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุอาหารนี้ไปใช้ในการตรวจสอบองค์ประกอบภายในและโครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารประเภทอื่น ๆ ได้แก่ ถ้วย จาน กระติก ขวดน้ำ เป็นต้น ซึ่งทำให้ทราบว่าโครงสร้างเคมีของพอลิเมอร์เหล่านั้นคือพอลิเมอร์ชนิดใดและมีการใช้สารเติมแต่งหรือไม่ หากมีการใช้ในปริมาณที่มากจำเป็นต้องวิเคราะห์โครงสร้างเคมีของสารเติมแต่งและตรวจสอบถึงผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์และสิ่งแวดล้อมด้วย

ภาคผนวก

สำเนา

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข

ฉบับที่ 111 (พ.ศ. 2531)

เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุพลาสติก

การใช้ภาชนะบรรจุพลาสติก และการห้ามใช้วัตถุใดเป็นภาชนะบรรจุอาหาร

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงแก้ไขข้อกำหนดเกี่ยวกับคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุอาหารพลาสติกที่จะนำมาใช้บรรจุอาหาร

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตรา 6(6) และ (9) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิกความในข้อ 56 แห่งประกาศกระทรวงสาธรารณสุข ฉบับที่ 92 (พ.ศ. 2528) เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุการใช้ภาชนะบรรจุการใช้ภาชนะบรรจุ และการห้ามใช้วัตถุใดเป็นภาขนะบรรจุอาหาร ลงวันที่ 19 มกราคม พ.ศ. 2528 และให้ใช้ประกาศฉบับนี้แทน

ข้อ 2 ในประกาศนี้ ภาชนะบรรจุ หมายความว่า วัตถุที่ใช้บรรจุอาหารไม่ว่าด้วยการใส่หรือห่อ หรือด้วยวิธีใด ๆ และให้หมายความรวมถึงฝาหรือจุกด้วย

ข้อ 3 ภาชนะบรรจุพลาสติกต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังนี้

(1) สะอาด

(2) ไม่มีสารอื่นออกมาปนเปื้อนกับอาหารในประมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

(3) ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

(4) ไม่มีสีออกมาปนเปื้อนกับอาหาร

ข้อ 4 ภาชนะบรรจุอาหารนอกจากต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามข้อ 3 แล้ว ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามบัญชีหมายเลข 1 ท้ายประกาศนี้ด้วย

ข้อ 5 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพหรือมาตรฐานการแพร่กระจายของภาชนะบรรจุพลาสติกให้วิเคราะห์โดยวิธีตามที่กำหนดโดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 6 พลาสติกที่เป็นแผ่นหรือเป็นถุงและนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหาร ต้องไม่ทำขึ้นจากพลาสติกที่ใช้แล้ว ยกเว้นในกรณีดังต่อไปนี้

(1) พลาสติกชนิดลามิเนต(Laminate) เฉพาะชั้นที่ไม่สัมผัสโดยตรงกับอาหาร

(2) พลาสติกที่ใช้บรรจุผลไม้ชนิดที่มีเปลือก

ข้อ 7 ห้ามมิให้ภาชนะบรรจุพลาสติกที่มีสีบรรจุอาหาร ยกเว้นในกรณีดังต่อไปนี้

(1) พลาสติกที่เป็นแผ่นหรือถุงชนิดลามิเนต(Laminate) เฉพาะชั้นที่ไม่สัมผัสโดยตรงกับอาหาร

(2) พลาสติกที่ใช้บรรจุผลไม้ชนิดที่มีเปลือก

(3) กรณีอื่นตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 8 ภาชนะบรรจุพลาสติกซึ่งใช้บรรจุนม หรือผลิตภัณฑ์อื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับนม ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง กะทิสำเร็จรูป ต้องเป็นพลาสติกชนิดโพลีเอทธิลีน โพลีโพรพิลีน โพลิสไตรีน หรือ โพลิคาร์บอเนต

เพื่อประโยชน์ตามวรรคหนึ่ง คำว่าผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ นมเปรี้ยว นมดัดแปลงสำหรับทารก นมปรุงแต่ง ไอศครีม และผลิตภัณฑ์ของนมตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องดังกล่าว และนมผลิตภัณฑ์นมและผลิตภัณฑ์อื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับนม ไม่รวมถึงผลิตภัณฑ์ดังกล่าวที่อยู่ในลักษณะผงหรือแห้ง

ข้อ 9 ห้ามมิให้ ใช้ภาชนะบรรจุพลาสติกที่เคยใช้บรรจุหรอหุ้มห่อปุ๋ย วัตถุมีพิษ หรือวัตถุที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพเป็นภาชนะบรรจุอาหาร

ข้อ 10 ห้ามมิให้ใช้ภาชนะบรรจุพลาสติกที่ทำขึ้นเพื่อใช้บรรจุสิ่งของอย่างอื่นที่มิใช้อาหารมีรูปรอยประดิษฐ์ หรือข้อความใดที่ทำให้เกิดความเข้าใจผิดในสาระสำคัญของอาหารที่บรรจุอยู่ในภาชนะนั้นเป็นภาชนะบรรจุอาหาร

ประกาศฉบับนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 22 มกราคม 2531

เทอดพงษ์ ไชยนันทน์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข

(คัดจากราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 105 ตอนที่ 45 ลงวันที่ 24 มีนาคม 2531)

บัญชีหมายเลข 1

ท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 111 (พ.ศ. 2531)

ตารางที่ 1 คุณภาพหรือมาตรฐานของเนื้อพลาสติก

รายละเอียด	ชนิดพลาสติก*และปริมาณสูงสุดที่ให้มีได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม)						
	PVC	PP & PE	PS	PVD	PET	ชนิดซึ่งด้านที่สัมผัสกับอาหารเป็นพลาสติกชนิด PE และ PP สำหรับบรรจุนม ผลิตภัณฑ์นม หรือ ผลิตภัณฑ์อื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับนม	ชนิดซึ่งด้านที่สัมผัสกับอาหารเป็นพลาสติกชนิด PS สำหรับบรรจุนม ผลิตภัณฑ์นมหรือ ผลิตภัณฑ์นม หรือผลิตภัณฑ์อื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับนม
1. ตะกั่ว ฯ	100	100	100	100	100	-	-
2. โลหะหนัก(คำนวณเป็นตะกั่ว)	-	-	-	-	-	20	20
3. แบเรียม	-	-	-	100	-	-	-
4. สารประกอบไดบิวทิลทิน	50	-	-	-	-	-	-
5. ดรีซิลฟอสเฟต	1,000	-	-	-	-	-	-
6. ไวนิลคลอไรด์โมโนเมอร์	1	-	-	-	-	-	-
7. สารระเหยได้ คือ โทลูอีน, เอทิลเบนซิน, ไอโซโพรพิวเบนซิน, นอร์มัลโพรพิวเบนซิน และ สไตรีน	-	-	5,000 2,000**	-	-	-	1,500
8. ไวนิลีดีนคลอไรด์	-	-	-	6	-	-	-
9. สารหนู	-	-	-	-	-	2	2
10. สารที่สกัดด้วยนอร์มัลเฮกเซน	-	-	-	-	-	26,000	-
11. สารที่ละลายได้ในไขสัตว์	-	-	-	-	-	113,000	-

<u>หมายเหตุ</u>

- ไม่ต้องวิเคราะห์ตามรายการนั้น

* พลาสติกอื่นที่ยังมิได้กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานไว้ ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานไว้ ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

** กรณีที่เป็นงานที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ปริมาณสไตรีนต้องไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม และ ปริมาณเอทิลเบนซินต้องไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัม ต่อ 1 กิโลกรัม

ตารางที่ 2 คุณภาพหรือมาตรฐานการแพร่กระจาย

รายละเอียด	ชนิดพลาสติก*และปริมาณสูงสุดที่ให้มีได้ (มิลลิกรัมต่อ 1 ลูกบาศก์เดซิเมตรของสารละลาย)							
	PVC	PP & PE	PS	PVD	PET	Melamine **	ชนิดซึ่งด้านที่สัมผัสกับอาหารเป็นพลาสติกชนิด PE และ PP สำหรับบรรจุนม ผลิตภัณฑ์นม หรือผลิตภัณฑ์อื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับนม	ชนิดซึ่งด้านที่สัมผัสกับอาหารเป็นพลาสติกชนิด PS สำหรับบรรจุนม ผลิตภัณฑ์นม หรือผลิตภัณฑ์อื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับนม
1. ฟีนอล	-	-	-	-	-	-	-	-
2. ฟอร์มาลดีไฮด์	-	-	-	-	-	-	-	-
3. พลวง	-	-	-	-	0.05	-	-	-
4. เยอร์มาเนียม	-	-	-	-	0.1	-	-	-
5. โลหะหนัก (คำนวณเป็นตะกั่ว)	1	1	1	1	1	1	1	-
6. โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ทำปฏิกิริยา	10	10	10	10	10	10	5	5
7. สารตกค้างที่ระเหยได้ในน้ำ (กรณีอาหารที่มีความเป็นกรด-ด่างเกิน 5)	30	30	30	30	30	30	15	15
8. สารตกค้างจากสารที่ระเหยได้ในกรดอะซิติก ความเข้มข้นร้อยละ 4 (กรณีอาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เกิน 5)	30	30	30	30	30	30	15	15
9. สารตกค้างจากสารที่ระเหยได้ในแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นร้อยละ 20 (กรณีอาหารนั้นประกอบด้วยแอลกอฮอล์)	30	30	30	30	30	30	15	15
10. สารตกค้างจากสารที่ระเหยได้ในนอร์มัลเฮปเทน (กรณีไขมัน น้ำมัน และอาหารที่มีไขมัน)	150	150 30***	240	30	30	30	15	15

หมายเหตุ

- ไม่ต้องวิเคราะห์ตามรายการนั้น

* พลาสติกอื่นที่ยังมิได้กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานไว้ ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานไว้ ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

** ต้องวิเคราะห์ที่อุณหภูมิใช้งาน

*** กรณีที่เป็นงานที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส

บรรณานุกรม

1. ดร.ภักดี โพธิศิริ, ทรงพล รัตนพันธุ์ " พิษภัยจากพลาสติก ".

2. อุสนา ประจง, " รูปแบบและปัญหาของการใช้ฟิลม์พลาสติกเพื่อการหีบห่ออาหาร ".

3. รศ. แม้น อมรสิทธิ์, ผศ. ดร. อมร เพชรสม, *Principles and Techniques of Instrumental Analysis*, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์ , กรุงเทพมหานคร , 2534.

4. Chanda, M. and Roy, S.K., *Plastics Technology Handbook*, 2nd ed., pp. 68-132, Marcel Dekker,New York,1992.

5. Earnest, C.M., *The Modern Thermogravimetric Approach to the Compositional Analysis of Materials, Compositional Analysis by Thermogravimetry*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1988, pp.1-18.

6. Schrader, B., *Raman/Infrared Atlas of Organic Compounds*, 2nd ed., pp. N01-02 , VCH Verlagsgesellschaft,Weinheim,1989.

7. Silverstein, R.M. ; Bassler G.C. ; Monrill C.T., *Spectrometric Identification of Organic Compounds*, 5nd ed., pp. 91-100, John Wiley & Sons Inc. , New York , 1991.

8. Turi, Edith. A., *Thermal Characterization of Polymer Materials*, pp. 845-906, Academic Press , California, 1981.