

* ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

๖๗
ทพ
๕๖ 56

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 8 ๖

เรื่องที่ 1

การวิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบของพลาสติก
ในห้องปฏิบัติการ

โดย

นางจินตนา ลีกิจวัฒน์นะ

นักวิทยาศาสตร์ 7 ๖

กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 1

กองฟิสิกส์และวิศวกรรม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 8 ว

เรื่องที่ 1

การวิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบของพลาสติก
ในห้องปฏิบัติการ

เลขที่	๐๖/ ๕๖
เลขทะเบียน	10333
วันที่	9 / พค / ๕๕

ด้วยอำนาจ
จาก
.....

โดย

0028-69760 นางจินตนา ลีกิจวัฒน์นะ

นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 1
กองฟลักส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

การหาชนิดของพลาสติก ขั้นแรกจะต้องหาธาตุต่างๆ ได้แก่ ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ คลอรีน โบรมีนและฟลูออรีนที่มีในพลาสติก ธาตุเหล่านี้พบในพลาสติกนอกเหนือไปจากคาร์บอน, ไฮโดรเจนและออกซิเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักและในขั้นต่อไปจะต้องทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ของพลาสติก ได้แก่ การติดไฟ, การละลาย, สมบัติทางความร้อน ได้แก่ จุดหลอมเหลว (Melting point), จุดแปรผ่านสภาพแก้ว (Glass transition temperature) , เปอร์เซ็นต์การเกิดผลึก (% Crystallinity) , หวานเป็นโพลิเมอร์ผสม (Polymer blend) หรือ โคโพลิเมอร์ (Copolymer) ด้วยเครื่อง คีพีเรนเซียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC), หาชนิดของ พลาสติกด้วยเครื่องฟูเรีย ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer , FTIR) และทดสอบสมบัติทางเคมีของพลาสติกชนิดต่างๆ เพื่อจะได้ระบุได้แน่ชัดว่า เป็นพลาสติกชนิดใด

ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของพลาสติกได้ใช้เครื่องเทอร์โมแกรฟิมेटริก อะนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer , TGA) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่หาปริมาณความชื้น (Moisture content) , สารระเหย (Volatile matter) , คาร์บอนดำ (Carbon black) , แคลเซียม คาร์บอเนต (Calcium carbonate) , ใยแก้ว (Fiber glass) และสารเสริมอื่นๆ (Filler) ของพลาสติก ที่ มีความถูกต้องแม่นยำสูง ซึ่งปริมาณของส่วนประกอบต่างๆเหล่านี้ มีผลกระทบต่อสมบัติของ พลาสติก สารเสริมต่างๆที่ใส่ลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกล และช่วยให้เข้าขบวนการผลิตได้ง่ายขึ้นด้วย แต่ต้องใส่ในปริมาณที่เหมาะสมเท่านั้น ผลึกภัณฑ์ที่ได้จึงจะมีสมบัติที่ดี ถ้าใส่มากเกินไป ถึงแม้จะ ช่วยลดต้นทุนการผลิตแต่สมบัติเชิงกลจะลดลง ข้อมูลในเรื่ององค์ประกอบของพลาสติกจึงสำคัญ มากในการพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติก

ผลการวิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบของพลาสติกนี้เป็นข้อมูลสำคัญที่สุดที่ช่วยให้ โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆในประเทศ สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อทดแทนการนำเข้าและ พัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์เพื่อการส่งออก สามารถลดต้นทุนการผลิตเพื่อแข่งขันกับประเทศต่างๆได้ และเป็นข้อมูลที่ช่วยให้กรมศุลกากรสามารถจัดทักัดสินค้าเพื่อจัดเก็บภาษีอากรได้ถูกต้อง ทำให้ หน่วยงานการ รัฐวิสาหกิจและเอกชนอื่นๆสามารถตรวจรับสินค้าให้ถูกต้องตามความประสงค์ของผู้ ใช้ได้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	
สารบัญตาราง	ก
สารบัญภาพ	ข
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ทดสอบ	2
1.2 ขอบเขตของการวิเคราะห์ทดสอบ	2
1.3 ระยะเวลาในการดำเนินงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 โพลีเมอร์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโพลีเมอร์	4
2.1.1 ความหมายของโพลีเมอร์	4
2.1.2 โครงสร้างของโมเลกุล	4
2.1.3 โคลิโพลีเมอร์	5
2.1.4 โครงสร้างของโพลีเมอร์	7
2.1.5 เทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติง	9
2.1.6 ส่วนผสมของพลาสติก	9
2.1.7 พลาสติกที่รู้จักกันดีและนิยมใช้กันมาก	12
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องมือ	
2.2.1 Fourier transform infrared spectrometer (FTIR).....	23
2.2.2 Thermogravimetric analyzer (TGA).....	26
2.2.3 Differential scanning calorimeter,DSC)	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการและผลการศึกษาทดลอง	30
3.1 ตัวอย่างพลาสติกต่างๆ	30
3.2 วัสดุอุปกรณ์	30
3.3 สารเคมี	30
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการ	30
3.5 วิธีดำเนินการ	31

3.5.1 การทดสอบการติดไฟ	31
3.5.2 การวิเคราะห์หาราคู	34
3.5.3 การหาชนิดของพลาสติกด้วยเครื่องมือชนิดพิเศษ	37
3.5.3.1 การหาชนิดของพลาสติกด้วยเครื่อง FTIR	37
3.5.3.2 การหาจุดหลอมเหลว, จุดแปรผ่านสภาพแก้วและเปอร์เซ็นต์การเกิดผลึก ด้วยเครื่อง DSC	46
3.5.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะทางเคมี	53
3.5.5 สรุปผลการวิเคราะห์หาชนิดของพลาสติก	57
3.5.6 การหาองค์ประกอบของพลาสติกด้วยเครื่อง TGA	73
3.5.6.1 การสอบเทียบอุณหภูมิ, น้ำหนักและอัตราเร็วของการให้ความร้อน	73
3.5.6.2 วิธีดำเนินการวิเคราะห์	75
บทที่ 4 สรุปและวิจารณ์ผล	100
4.1 ปัญหาและอุปสรรค	100
4.2 สรุปและวิจารณ์ผล	102
กิตติกรรมประกาศ	104
เอกสารอ้างอิง	105

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงการเข้ากันได้ของพลาสติกกับสารเสริมสภาพพลาสติก	11
ตารางที่ 2 แสดงลักษณะการติดไฟของพลาสติกที่ติดไฟแต่ดับเองเมื่อเอาออกจากเปลวไฟ	32
ตารางที่ 3 แสดงลักษณะการติดไฟของพลาสติกที่ติดไฟและยังคงติดไฟต่อเมื่อเอาออกจาก เปลวไฟ	33
ตารางที่ 4 แสดงการละลายของพลาสติกชนิดต่างๆ	38
ตารางที่ 5 แสดงจุดหลอมเหลวและปริมาณความร้อนที่เกิดจากการหลอมเหลว	47
ตารางที่ 6 แสดงช่วงจุดหลอมเหลวและจุดแปรผ่านสภาพแก้วของพลาสติกต่างๆ	52
ตารางที่ 7 แสดงค่าจุดหลอมเหลว, ความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์การเกิดผลึกของ LDPE และ LLDPE	53
ตารางที่ 8 แสดงสมบัติด้านการละลายของไนลอน	55
ตารางที่ 9 แสดงจุดคิวรีของสารมาตรฐานที่นิยมใช้ในการสอบเทียบอุณหภูมิ	73

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงการยึดต่อกันระหว่างโมโนเมอร์จนเป็นโพลิเมอร์	4
รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างแบบเส้น	4
รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างแบบเชื่อมขวาง	4
รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างแบบกิ่ง	5
รูปที่ 5 แสดงการจัดเรียงตัวของโพลิเมอร์แบบเป็นผลึกเป็นบางส่วน	7
รูปที่ 6 แสดงการจัดเรียงตัวของอะมอร์ฟัสโพลิเมอร์	7
รูปที่ 7 แสดงสภาพอสัณฐานและสภาพผลึกของโพลิเมอร์ในชั้นตอนต่างๆ	8
รูปที่ 8 แสดงให้เห็นการเกิดเป็นสเฟียรูไลต์ (spherulite).....	8
รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของ PE กับคุณสมบัติอื่นๆ	15
รูปที่ 10 แสดงตำแหน่งของย่านรังสีอินฟราเรดในสเปกตรัมรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า	23
รูปที่ 11 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิเอทิลีน	25
รูปที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วย TGA	27
รูปที่ 13 แสดงระบบฮีทฟลักซ์ดีเอสซี (Heat Flux DSC).....	28
รูปที่ 14 แสดงเทอร์โมแกรมโดยเทคนิคฮีทฟลักซ์ดีเอสซี	28
รูปที่ 15 แสดงถึงระบบพาวเวอร์คอมเพนเซชันดีเอสซี	29
รูปที่ 16 แสดงเทอร์โมแกรมโดยเทคนิคพาวเวอร์คอมเพนเซชันดีเอสซี	29
รูปที่ 17 แสดงการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันัลต่างๆ ในช่วงคลื่นเฉพาะตัว	40
รูปที่ 18 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิเอทิลีน	42
รูปที่ 19 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของสไตรีน-บิวตาไดอีน โคโพลิเมอร์	43
รูปที่ 20 แสดงโค้งของ DSC ที่แสดงให้เห็นจุดหลอมเหลวและจุดที่เกิดเป็นผลึก	46
รูปที่ 21 แสดงโค้งช่วงที่เพิ่มความร้อน (heating curve) และโค้งช่วงลดอุณหภูมิลง	48
รูปที่ 22 แสดงการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่เกิดจากการแปรผ่านสภาพแก้ว.....	49
รูปที่ 23 แสดงการลากเส้นเพื่อหาปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหลอมเหลว	51
รูปที่ 24 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโซ่ดำถลุง.....	58
รูปที่ 25 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิอะซิทิด	59
รูปที่ 26 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโคมไฟจราจร.....	61
รูปที่ 27 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิคาร์บอนเนต	62
รูปที่ 28 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโด้เจ้าแก่นักเรียน	63
รูปที่ 29 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิโพรพิลีน โคลเอทิลีน	64
รูปที่ 30 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของแคลเซียมคาร์บอนเนต.....	65

	หน้า
รูปที่ 31 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของเท้าแขนเก้าอี้	67
รูปที่ 32 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไมลอน	68
รูปที่ 33 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลต.....	69
รูปที่ 34 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของท่อ.....	71
รูปที่ 35 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลีเตตราฟลูออโรเอทิลีน.....	72
รูปที่ 36 แสดงโค้งการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (Thermal curve)ของสารมาตรฐาน.....	74
รูปที่ 37 แสดงควิรีของสารมาตรฐาน 4 ตัวบน โค้งการเปลี่ยนแปลงหนึ่งหน่วยน้ำหนักต่อหนึ่ง หน่วยเวลา (Derivative thermal curve)	74
รูปที่ 38 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใย.....	77
รูปที่ 39 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลีเอทิลีนเทอร์ฟทาเลต.....	78
รูปที่ 40 แสดงโค้งการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเส้นใย.....	79
รูปที่ 41 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าของเส้นใย.....	80
รูปที่ 42 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไททานเนียมไดออกไซด์.....	81
รูปที่ 43 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของชั้นบนของพลาสติกลามิเนต	83
รูปที่ 44 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของบิวทิลเลคเทค เมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์	84
รูปที่ 45 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของชั้นล่างของพลาสติกลามิเนต	85
รูปที่ 46 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของบิวทิลเลคเทค ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์	86
รูปที่ 47 แสดง โค้งการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพลาสติกลามิเนต	87
รูปที่ 48 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าของพลาสติกลามิเนตชั้นบน.....	88
รูปที่ 49 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าของพลาสติกลามิเนตชั้นล่าง.....	89
รูปที่ 50 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของคาโอลินท์	90
รูปที่ 51 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมที่เกิดจากการอัดเป็นฟิล์มบางๆของเม็ดพลาสติก.....	92
รูปที่ 52 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้จากไอที่เกิดจากการเผาไหม้และควบแน่นของเม็ด พลาสติก	93
รูปที่ 53 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ โพลี (เอทิลีน-โค-โพรพิลีน).....	94
รูปที่ 54 แสดง โค้งการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเม็ดพลาสติก	95
รูปที่ 55 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของท่อ PFA	97
รูปที่ 56 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลีเอทิลีน	98
รูปที่ 57 แสดง โค้งการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของท่อ PFA	99

บทที่ 1

บทนำ

ในโลกยุคปัจจุบันมีการนำพลาสติกมาใช้งานในชีวิตประจำวันโดยใช้เป็นชิ้นส่วนของรถยนต์ , เรือ , เครื่องบิน , โตะ , แก้ว , ชิ้นส่วนเฟอร์นิเจอร์ และบรรจุภัณฑ์ต่างๆ จะเห็นได้ว่าพลาสติกล้วนมีส่วนอยู่ในสิ่งต่างๆรอบตัวเรา ทุกวันนี้มีปริมาณการใช้พลาสติกมากเกินกว่าปริมาณการใช้โลหะต่างๆ ประเทศไทยมีโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกและ โรงงานผลิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจากพลาสติก เช่นภาชนะเครื่องใช้ในครัวเรือนต่างๆ เป็นต้น แต่ยังมีสินค้าอีกหลายประเภทที่เรานำเข้ามาจากต่างประเทศ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนา ต้องซื้อเครื่องจักรและความรู้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆจากต่างประเทศ เมื่อมีสินค้าใหม่ๆผู้ผลิตภายในประเทศได้พยายามพัฒนารูปแบบของผลิตภัณฑ์ แต่ยังคงขาดความรู้ในเรื่องพลาสติกที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต

เนื่องจากพลาสติกมีมากมายหลายชนิด และในปัจจุบันมีการปรับปรุงสมบัติต่างๆของพลาสติกด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การทำโคโพลิเมอร์ (copolymerization) หรือการผสมพลาสติก 2 อย่างเข้าด้วยกัน (blend) ทำให้การวิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบยุ่งยากขึ้น นอกจากนี้ยังมีพวกสารเสริม (filler) , สารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) , สารเสริมแรง (reinforcement) และสี (pigment) เป็นต้น ซึ่งปริมาณสารต่างๆเหล่านี้มีความสำคัญต่อสมบัติต่างๆของพลาสติกทั้งนั้น ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะทำให้สมบัติเชิงกล (mechanical properties) และสมบัติทางฟิสิกส์ (physical properties) บางอย่างด้อยลง ถ้าใช้น้อยเกินไปทำให้ต้นทุนการผลิตสูง กรมวิทยาศาสตร์บริการให้บริการในการวิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบของพลาสติก เพื่อช่วยเหลืออุตสาหกรรมในประเทศให้สามารถผลิตสินค้าต่างๆ ออกแข่งขันกับตลาดต่างประเทศได้

การวิเคราะห์หาชนิดของพลาสติก สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่องมือหลายชนิด ประกอบกันและนำผลที่ได้มาแปลผล เครื่องมือดังกล่าวได้แก่ เครื่องฟูเรียร์ ทรานสฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer , FTIR) ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR เป็นอินฟราเรดสเปกตรัม (Infrared spectrum) ที่มีแกน x เป็นความถี่หรือจำนวนคลื่น (Wave number) และแกน Y เป็นเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสง (% Transmittance) ซึ่งอินฟราเรดสเปกตรัมนี้เหมือนลายนิ้วมือ (Fingerprint) ของสารแต่ละตัว สารแต่ละตัวจะประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันนัล (Functional group) ต่างๆกัน หมู่ฟังก์ชันนัลแต่ละหมู่จะดูดกลืนแสงที่ความถี่ต่างๆกัน เมื่อนำอินฟราเรดสเปกตรัมของสารที่ไม่รู้จัก (Unknown) ไปเปรียบเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมของสารมาตรฐาน ถ้าอินฟราเรดสเปกตรัมของสารที่ไม่รู้จักเหมือนกับอินฟราเรดสเปกตรัมของสารมาตรฐานตัวใดแบบพีคต่อพีค (peak to peak) ก็แสดงว่าเป็นสารนั้น แต่เนื่องจากพลาสติกมีมากมายหลายร้อยชนิด การหาสารมาตรฐานที่ถูกต้องมาเปรียบเทียบจึงทำได้ยาก จึงต้องดูสมบัติด้านต่างๆของพลาสติก

ประกอบกันไปด้วย เช่น ลักษณะการตีไฟ , ชาติอื่น ๆ ที่มีอยู่ในองค์ประกอบของพลาสติกนั้นนอกเหนือไปจากคาร์บอน , ไฮโดรเจน และ ออกซิเจน ซึ่งได้แก่ คลอรีน , โบรมีน , ไนโตรเจน , ซัลเฟอร์ และ ฟลูออรีน เป็นต้น , จุดหลอมเหลว (melting point) , จุดแปรผ่านสภาพแก้ว (glass transition temperature) , การละลายและสมบัติทางเคมีอื่นๆ ประกอบการวินิจฉัยด้วย การเลือกพลาสติกเพื่อนำมาผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกต่าง ๆ นั้นควรเลือกใช้พลาสติกให้ถูกต้องเหมาะสมการนำไปใช้งาน งานที่ต้องการความทนทานเป็นพิเศษควรใช้พลาสติกวิศวกรรม (Engineering Plastics) เช่น ทนทานต่อการดี (fatigue life) , ทนทานต่อความร้อนสูง เป็นต้น นอกจากนี้ชนิดของพลาสติกที่ใช้เป็นวัสดุในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆจะสำคัญแล้ว สิ่งที่สำคัญมากอีกอย่างหนึ่งก็คือปริมาณของพลาสติกและสารเสริมต่างๆ ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ดีจะมีอายุการใช้งานนานมากขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของพลาสติกและสารเสริมที่ใช้ การวิเคราะห์องค์ประกอบของพลาสติกสามารถทำได้ด้วยเครื่องมือแกมมาสเปกโตรเมตริก อะนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer , TGA) ผลการวิเคราะห์เป็นเทอร์โมแกรมที่พลอต (plot) ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปกับอุณหภูมิ

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ทดสอบ

- 1.1.1 เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาตรวจรับให้แก่หน่วยงานของรัฐ
- 1.1.2 เพื่อเป็นข้อมูลให้กรมศุลกากรใช้ในการพิจารณาจัดพิมพ์ต่อเก็บภาษีอากรให้ ถูกต้อง
- 1.1.3 เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพดี ต้นทุนการผลิตต่ำ สามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้
- 1.1.4 เพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทดสอบให้สามารถหาชนิดและองค์ประกอบของพลาสติกได้ ถูกต้องแม่นยำ และรวดเร็ว
- 1.1.5 เพื่อเผยแพร่วิธีการวิเคราะห์ และให้การฝึกอบรมแก่นิสิตนักศึกษา ตลอดจนให้คำแนะนำปรีชาวิธีการวิเคราะห์แก่โรงงานอุตสาหกรรมและหน่วยงานต่างๆของรัฐบาล

1.2 ขอบเขตของการวิเคราะห์ทดสอบ

- 1.2.1 วิเคราะห์หาชนิดของพลาสติก โดยการวิเคราะห์ขั้นพื้นฐาน , วิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR , วิเคราะห์หาจุดหลอมเหลวและจุดแปรผ่านสภาพแก้วด้วยเครื่องดีพีเรเนซัล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter , DSC) และวิเคราะห์ทางเคมี
- 1.2.2 วิเคราะห์หาองค์ประกอบของพลาสติก ด้วยเครื่อง TGA

1.3 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

มีนาคม 2541- กรกฎาคม 2543

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ใช้เป็นคู่มือในการวิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบของพลาสติก
- 1.4.2 ช่วยให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง ทำให้รัฐบาลสามารถจัดเก็บภาษีในการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศได้ในอัตราที่ถูกต้อง
- 1.4.3 ช่วยให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการตรวจรับสินค้าของหน่วยงานเอกชน และรัฐบาลให้เป็นไปอย่างถูกต้อง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติเป็นไปตามที่กำหนด
- 1.4.4 ช่วยให้โรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกในประเทศ สามารถเลือกใช้วัตถุดิบในการผลิตสินค้าเพื่อใช้ภายในประเทศ และเพื่อการส่งออกให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ทำให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพดี มีอายุการใช้งานนาน และมีต้นทุนการผลิตต่ำ สามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้

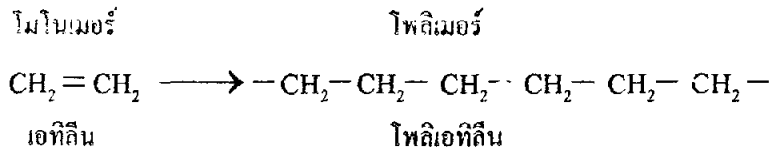
บทที่ 2

โพลิเมอร์และเครื่องมือ

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโพลิเมอร์^(๓)

2.1.1 ความหมายของโพลิเมอร์

โพลิเมอร์ คือ โมโนเมอร์ที่มายึดจับกันต่อเนื่องเป็นเส้นยาวเป็นแมโครโมเลกุล (macromolecule) ดังรูปที่ 1

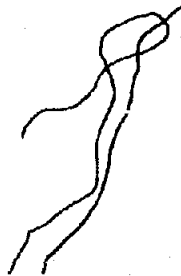


รูปที่ 1 แสดงการยึดต่อกันระหว่างโมโนเมอร์จนเป็นโพลิเมอร์

2.1.2 โครงสร้างของโมเลกุล (Molecular structure)

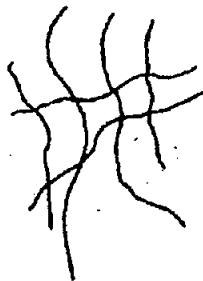
โพลิเมอร์ที่ต่อกันเป็นเส้นยาวมีการจัดเรียงตัว 3 แบบ ค้ำยกัน ได้แก่

2.1.2.1 โครงสร้างแบบเส้น (Linear structures) มีการเรียงตัวเป็นเส้นยาวคล้ายเส้นเชือก ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างแบบเส้น

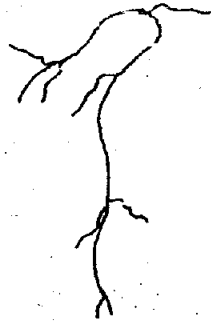
2.1.2.2 โครงสร้างแบบเชื่อมขวาง (Crosslinked structures) มีการเชื่อมต่อระหว่างสายลูกโซ่ของโมโนเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างแบบเชื่อมขวาง

การเกิดการเชื่อมขวาง(crosslink)ขึ้นกับจำนวนคาร์บอนที่มีพันธะไม่อิ่มตัว (unsaturated carbon atom) สายโซ่เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสาย ทำให้สายโซ่เคลื่อนไหวไม่ได้ สะควก โพลีเมอร์พวกนี้ได้แก่พลาสติกเทอร์โมเซตติง (Thermosetting Plastics)

2.1.2.3 โครงสร้างแบบกิ่ง (Branched structure) เป็นโพลิเมอร์ที่สายโซ่มีกิ่งแขนง เป็น 3 มิติ ดูรูปที่ 4 แขนงเหล่านี้ทำให้โพลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ กัน



รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างแบบกิ่ง

น้ำหนักโมเลกุลของโพลิเมอร์จะอยู่ในช่วง 10,000-1,000,000 ขนาด น้ำหนักโมเลกุลของโพลิเมอร์นี้มีผลต่อสมบัติของโพลิเมอร์ เช่น ความหนืด

ในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติกนั้นโพลิเมอร์จะมีจำนวนโมโนเมอร์ 75-750 เมอร์ต่อ 1 โมเลกุลเช่น โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride , PVC) อาจจะมี 1000คาร์บอน , 1500 ไฮโดรเจน และ 500 คลอรีนอะตอม ต่อ 500 เมอร์ และมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 31,000 เนื่องจากในโพลิเมอร์ โมเลกุลทุกโมเลกุลจะมีสายโซ่ยาวไม่เท่ากัน การกล่าวถึง น้ำหนักโมเลกุลจึงกล่าวถึงเป็นค่าเฉลี่ย

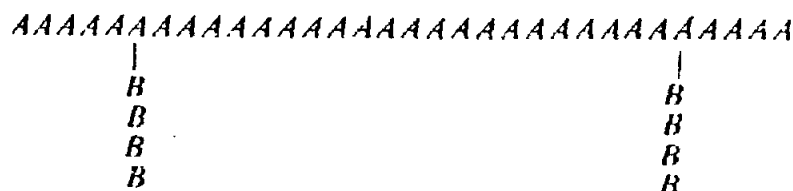
2.1.3 โคโพลิเมอร์ (Copolymer)

เมื่อโมโนเมอร์ต่างชนิดกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาต่อกันเป็นสายโซ่ยาว เรียกว่า โคโพลิเมอร์ เช่น พลาสติกอะครีโลไนไตรล์-บิวตาไดอีน-สไตรีน(Acrylonitrile-butadiene-styrene, ABS) เป็นโคโพลิเมอร์ที่เกิดจาก สไตรีน , อะครีโลไนไตรล์ และ บิวตาไดอีน มาต่อกันเกิดเป็นพลาสติก ABS การต่อกันของ โมโนเมอร์ต่างชนิดกันนั้น มีได้ 3 แบบได้แก่

2.1.3.1 โคโพลิเมอร์แบบบล็อก (Block copolymer) โมโนเมอร์จะต่อกันที่ปลายของสายโซ่แต่ละสาย

AAAAAAAAAA..BBBBBBBBB...AAAAAAAAA.....BBBBBBBBB...

2.1.3.2 โคโพลิเมอร์แบบต้อ (Graft copolymer) โมโนเมอร์ตัวหนึ่งจะเกาะที่สายโซ่ของโมโนเมอร์อีกตัว ตามจุดต่างๆบนสายโซ่



2.1.3.3 โคโพลิเมอร์แบบสุ่ม (Random Copolymer) โมโนเมอร์จะเรียงตัวสลับกันแบบสุ่ม กล่าวคืออาจจะเป็นโมโนเมอร์ A 1 หรือ 2 หรือ 3 ตัว สลับกับโมโนเมอร์ B 1 หรือ 2 หรือ 3 ตัว เช่นกัน



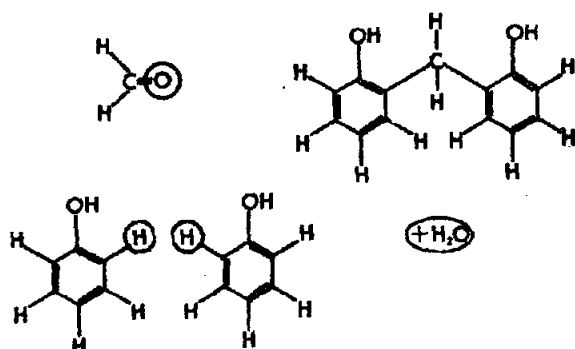
2.1.3.4 โคโพลิเมอร์แบบสลับ (Alternating Copolymer)



การที่โมโนเมอร์มาต่อกันเป็นสายโซ่ยาวนี้เรียกว่าการเกิดโคโพลิเมอร์ (Copolymerization) ปฏิริยาการเกิดโคโพลิเมอร์มี 2 แบบคือ

การเกิดโพลิเมอร์แบบรวมตัว (Addition Polymerization) เกิดจากไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวเมื่อได้รับความร้อนและมีตัวเร่งปฏิริยาช่วยไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวจะแตกตัวและต่อกันเป็นเส้นยาว พลาสติกที่เกิดจากขบวนการนี้ได้แก่ไนลอน (nylon) , ไมร์รา (mylar) ซึ่งเป็นชื่อทางการค้าของโพลิเอสเทอร์ (Polyester) เป็นต้น

การเกิดโพลิเมอร์แบบกลั่นตัว (Condensation Polymerization) เกิดจากโมโนเมอร์เมื่อมาจับตัวกันเป็นสายโซ่ยาวมีการดึงของน้ำออกจากโมเลกุล พลาสติกที่เกิดจากขบวนการนี้ที่รู้จักกันคือได้แก่เบคไลต์ (Bakelite) หรือฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (Phenol formaldehyde) ที่เกิดจากการโพลิเมอไรเซชัน(Polymerization)ของฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde, CH_2O) กับ ฟีนอล (phenol , $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$)



การเชื่อมต่อกันของวงเบนซีน (benzene ring) สองอันมี ฟอรั่มล็คไฮด์เป็นสะพาน จะมี โมเลกุลของน้ำเกิดขึ้น

2.1.4 โครงสร้างของโพลิเมอร์ (Polymer structure)

การจัดเรียงตัวของอะตอมและโมเลกุลของสารมีผลต่อสมบัติของพลาสติก ถ้าแบ่ง โพลิเมอร์ออกตามลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอม แบ่งออกได้ 2 แบบ ได้แก่

2.1.4.1 คริสตัลไลน์โพลิเมอร์ (Crystalline Polymer) อะตอมจัดเรียงตัวเป็น 3 มิติ สายโซ่ของโมเลกุลจะมีบางส่วนที่มีสภาพเป็นผลึก (crystalline) และบางส่วนมีสภาพอสัณฐาน (amorphous) จึงเรียกว่ามีความเป็นผลึกบางส่วน ดูรูปที่ 5 เช่นพวก โพลีเอทิลีนที่มีโครงสร้างเป็น

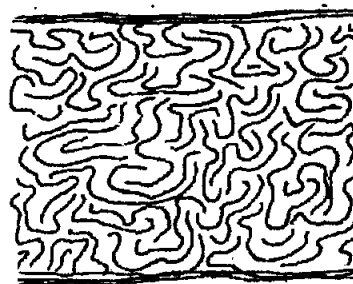


รูปที่ 5 แสดงการจัดเรียงตัวของโพลิเมอร์แบบเป็นผลึกเป็นบางส่วน

เส้นตรง (Linear Polyolefin), โพลีอะซิเตล (Polyacetals) และ โพลีอะไมด์ (Polyamides) ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นพลาสติกที่มีทั้งใสและขุ่นขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก ถ้ามีเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกสูง พลาสติกจะขุ่น ถ้าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกต่ำพลาสติกจะใส

ขณะที่โพลิเมอร์หลอมเหลวจะอยู่ในสภาพอสัณฐาน เมื่อทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว (Quenching) จะทำให้มีส่วนที่มีสภาพ อสัณฐานอยู่มาก ในคริสตัลไลน์โพลิเมอร์จะเกิดผลึกเมื่อเริ่มเย็นตัวลง ขบวนการผลิตสามารถควบคุมการเกิดผลึก ซึ่งมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) และสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

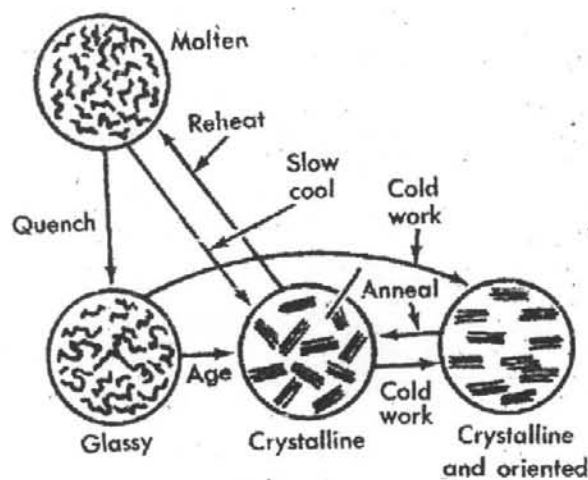
2.1.4.2 อะมอर्फัสโพลิเมอร์ (Amorphous Polymer) รูปร่างของ อะมอर्फัสโพลิเมอร์จะมีความไม่เป็นระเบียบ ดูเหมือนเส้นสเปกคัล ดูรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงการจัดเรียงตัวของอะมอर्फัสโพลิเมอร์

อะมอฟัสโพลิเมอร์ มีลักษณะใส โดยทั่วไปจะแข็งน้อยกว่าคริสตัลไลน์ โพลิเมอร์ โพลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) มีส่วนที่เป็นสภาพอสัณฐานมากกว่าส่วนที่เป็นผลึก จึงใสกว่าโพลิเอทีลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) ที่มีส่วนที่เป็นผลึกมากหรือมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกสูงนั่นเอง

ขบวนการที่สามารถช่วยให้สายโซ่ของโมเลกุลเรียงตัวกันเป็นสภาพผลึกที่มีระเบียบเพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก ดูตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงสภาพอสัณฐานและสภาพผลึกของโพลิเมอร์ในขั้นตอนต่างๆ

ถ้าทำให้โพลิเมอร์เย็นลงอย่างช้าๆ โมเลกุลมีเวลาจัดเรียงตัวมากขึ้นจะเรียงได้เป็นระเบียบ เกิดมีสภาพผลึกมากขึ้น แต่ยังคงมีทิศทางไม่เป็นไปทางเดียวกัน ถ้าในขบวนการผลิตควบคุมให้โพลิเมอร์อยู่ในอุณหภูมิที่ใกล้จุดหลอมเหลว แต่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวในระยะเวลาหนึ่งสายโซ่ของโมเลกุลจะมีสภาพผลึกและมีทิศทางเดียวกัน (crystalline and oriented) เรียกขบวนการนี้ว่าแอนนีย์ลิ่ง (Annealing) ซึ่งการที่โมเลกุลเรียงตัวเช่นนี้ทำให้โพลิเมอร์มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น



รูปที่ 8 แสดงให้เห็นการเกิดเป็นสเฟียรูไลต์(spherulite)

2.1.5 เทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซตติง (Thermoplastic and Thermosetting)

ถ้าแบ่งพลาสติกออกตามสมบัติเมื่อได้รับความร้อนจะแบ่งออกได้ 2 ชนิดคือ

2.1.5.1 เทอร์โมพลาสติก ได้แก่พลาสติกที่เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและเมื่อทิ้งไว้เย็นจะแข็งตัวตามเดิม เนื่องจากมีเพียงแต่แรงวันเดอร์วาลส์ (Van der waals' force) เท่านั้นที่ยึดเหนี่ยวโมเลกุลเข้าไว้ด้วยกัน เมื่อให้ความร้อนอีกพลาสติกจะหลอมเหลวอีกครั้ง ได้แก่ โพลีเอทิลีน, โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) เป็นต้น

2.1.5.2 พลาสติกเทอร์โมเซต พลาสติกพวกนี้เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชันจะไม่อ่อนตัวเมื่อให้ความร้อนอีก ได้แก่ พลาสติกอะมีโน (Amino Plastics) และ พลาสติกฟีนอล (Phenolic plastics) เป็นต้น

2.1.6 ส่วนผสมของพลาสติก (Ingredients of Plastics)

2.1.6.1 เรซิน (Resin) เรซินคือสารอินทรีย์ของแข็งหรือกึ่งของแข็งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์ โดยทั่วไปมีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีจุดหลอมเหลวกว้าง มักเป็นโพลิเมอร์ คำว่าพลาสติกจะไม่รวมพวกวัสดุยืดหยุ่น (Elastomer) แต่โพลิเมอร์นั้นหมายความถึงทั้งพลาสติกและวัสดุยืดหยุ่นคำว่าพลาสติกจะไม่รวมพวกวัสดุยืดหยุ่น

2.1.6.2 สารเสริม (Filler) สารเสริมมีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ แม้ว่าสารเสริมใช้เติมลงไปเพื่อเพิ่มปริมาณเนื้อพลาสติก เป็นการลดต้นทุนการผลิต แต่ก็มีส่วนช่วยให้โพลิเมอร์นั้นเข้ากระบวนการผลิตได้ดีขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ดูสวยงามขึ้น เช่นมีความมันวาว มีสีสรรสวยงาม เป็นต้น นอกจากนี้อาจจะช่วยเพิ่มสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลอื่นๆอีกด้วย

สารเสริมที่ใช้มากได้แก่ผงไม้ (wood flour) ซึ่งได้จากการบดเศษไม้ที่ไม่ใช้แล้วให้เป็นผง ส่วนใหญ่ใส่ในเรซินฟีนอลิกเพื่อลดความเปราะ (Brittleness), ลดต้นทุนการผลิต และเพื่อปรับปรุงสมบัติอื่นๆ ส่วนใหญ่สารเสริมจะใช้ไม่เกิน 40% ของส่วนผสมทั้งหมด

สารเสริมที่เป็นสารอินทรีย์ (organic filler) ไม่สามารถทนอุณหภูมิสูงในกระบวนการผลิตและทำให้พลาสติกมีค่าความทนทานต่อความร้อนต่ำ ถ้าต้องการให้พลาสติกมีค่าความทนทานต่อความร้อนสูงต้องใส่ซิลิกา (silica), ทราช, ควอทซ์ (quartz), แอสเบสตอส (asbestos) และ ไดอะตอมเมเชียส เอิร์ธ (diatomaceous earth) เป็นต้น

ไดอะตอมเมเชียส เอิร์ธ ใช้เป็นสารเสริมในโพลียูรีเทนโฟมชนิดแข็ง (Rigid polyurethane foam) ช่วยให้ความทนทานต่อแรงอัด (compressive strength) ดีขึ้น

แอสเบสตอส เป็นสารเสริมที่ช่วยให้พลาสติกมีความทนทานต่อความร้อนดีขึ้น ลดอัตราเร็วของการเผาไหม้ แอสเบสตอสใช้มากในพลาสติกที่ใช้ทำกระเบื้องปูพื้น

2.1.6.3 สารเสริมแรง (Reinforcement) บางครั้งอาจมีความสับสนระหว่างสารเสริมกับสารเสริมแรง สารเสริมจะมีลักษณะเป็นอนุภาคเล็กๆ ที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงเพียงเล็กน้อย ส่วน

สารเสริมแรงจะเป็นเส้นใยยาวที่ใส่ผสมกับพลาสติกเพื่อช่วยเพิ่มความทนทานต่อแรงดึง ทำให้สามารถทนแรงกระแทกได้ดีขึ้น และเพิ่มความแข็งคืด (stiffness) สารเสริมเช่นแอสเบสทอส และแก้ว จัดเป็นได้ทั้งสารเสริม และสารเสริมแรง

สารเสริมแรงที่สำคัญที่สุดคือใยแก้ว (glass fibers) นอกจากนี้ยังมีใยคาร์บอน (carbon fibers) และใยแกรไฟไฟน์ (graphite fibers) ซึ่งใช้เป็นสารเสริมแรงในใบพัดเฮลิคอปเตอร์ เป็นต้น เรือคายัคที่ใช้ใยคาร์บอนเสริมแรงจะเบาและแข็งแรงกว่าเรือคายัคที่ใช้ใยแก้วเสริมแรง

2.1.6.4 สารหล่อลื่น (Lubricant) เป็นส่วนผสมที่สำคัญอย่างหนึ่งของพลาสติกในระหว่างขบวนการผลิต การเติมสารหล่อลื่นลงไปมีจุดประสงค์ 3 อย่างคือ

- ช่วยลดแรงเสียดทาน(friction) ระหว่างเรซินและเครื่องจักร
- ช่วยให้ส่วนผสมตัวอื่นๆ ผสมเข้ากันได้ดีกับพลาสติก
- ช่วยไม่ให้พลาสติกติดกับแม่พิมพ์ในระหว่างขบวนการผลิตและช่วยไม่ให้มีเม็ดพลาสติกติดกัน

สารหล่อลื่นที่รู้จักได้แก่ ขี้ผึ้ง , พาราฟิน , กรดสเตียริก (stearic acid) , เลดสเตียเรท (lead stearate) เป็นต้น สารหล่อลื่นส่วนใหญ่จะหมดไปในระหว่างขบวนการผลิต

พลาสติกบางตัวมีสมบัติไม่ติดและมีสมบัติเป็นสารหล่อลื่นในตัวเอง(self-lubrication) จึงใช้เป็นสารหล่อลื่นในพลาสติกตัวอื่นๆ พลาสติกพวกนี้ได้แก่ ฟลูออโรคาร์บอน (Fluorocarbon) , โพลีเอมีด , โพลีเอทีลีนและพวกซิลิโคน (silicone plastics)

2.1.6.5 สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) เป็นสารเคมีที่ใส่ในพลาสติกเพื่อ

- เพิ่มความหยุ่นตัว (flexibility)
- ช่วยลดอุณหภูมิที่พลาสติกจะหลอมเหลว
- ลดความหนืด (viscosity)

ซึ่งสมบัติพวกนี้ช่วยให้พลาสติกเข้าขบวนการผลิตได้ง่ายขึ้น

สารเสริมสภาพพลาสติกทำหน้าที่คล้ายตัวทำละลาย(Solvent) กล่าวคือลดความหนืดของเรซินและทำหน้าที่เหมือนสารหล่อลื่นกล่าวคือทำให้โมเลกุลสั้นไหล สารเสริมสภาพพลาสติก ทำให้โพลิเมอร์มีความหยุ่นตัว ถึงแม้ว่าสารเสริมสภาพพลาสติกจะทำหน้าที่คล้ายตัวทำละลาย แต่สารเสริมสภาพพลาสติกจะไม่ระเหยออกจากโพลิเมอร์ตลอดอายุการใช้งานธรรมดาๆ สารเสริมสภาพพลาสติกที่รู้จักกันดี ได้แก่ ไดออกทิล ฟทาเลต (Dioctyl phthalate, DOP) ซึ่งเป็นสารเสริมสภาพพลาสติกของโพลิไวนิลคลอไรด์ สารเสริมสภาพพลาสติกมีมากกว่า 500 ชนิด ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าสารเสริมสภาพพลาสติกตัวใดใช้ได้ดีกับพลาสติกชนิดใดบ้าง

ตารางที่ 1 แสดงการเข้ากันได้ของพลาสติกกับสารเสริมสภาพพลาสติก

Plasticizer	Resin											
	Polyvinyl Acetate	Polyvinyl Chloride	Polyvinyl Butyral	Polystyrene	Nitrile	Cellulose Acetate	Cellulose Acetate Butyrate	Ethyl Cellulose	Acrylic	Epoxy	Urethane	Polyamide
Butyl benzyl phthalate	C	C	C	C	C	P	C	C	C	C	C	C
Butyl cyclohexyl phthalate	C	C	C	C	C	P	C	C	C	C	C	C
Butyl decyl phthalate	I	C	C	C	C	I	C	C	C	P	C	P
Butyl octyl phthalate	I	C	P	C	C	I	C	C	C	P	C	C
Diethyl phthalate	I	C	P	C	C	I	C	C	C	I	C	C
Diphenyl phthalate	C	C	C	C	C	I	P	C	C	P	P	P
Crethyl diphenyl phosphate	C	C	C	P	C	C	C	C	C	C	C	C
Methyl phthalyl ethyl glycolate	C	P	C	C	C	C	C	C	C	C	C	I
N-Cyclohexyl-p-toluenesulfonamide	C	I	C	P	C	P	C	C	C	P	P	C
N-Ethyl-o,p-toluenesulfonamide	C	I	C	P	C	C	C	C	C	C	P	C
o,p-toluenesulfonamide	C	I	C	P	C	C	C	C	C	C	P	C
Chlorinated biphenyls	C	P	C	C	C	I	C	C	P	C	C	C
Chlorinated paraffins	C	P	P	C	P	I	P	C	P	P	C	C
Didecyl adipate	I	C	I	C	C	I	C	C	I	I	P	C
Diethyl adipate	I	C	C	C	C	I	C	C	C	I	P	C
Diethyl azelate	I	C	P	C	C	I	C	C	P	I	P	C
Diethyl sebacate	I	C	P	C	C	I	P	C	I	I	P	C

C = Compatible
P = Partially compatible
I = Incompatible

2.1.6.6 สารคงสภาพ (Stabilizer) ใส่งไปในเรซินในระหว่างการผลิตเพื่อช่วยป้องกันการเกิดการเสื่อมสภาพ(deterioration) , การเสื่อมคุณภาพ (degradation) , การแตกสลายตัว (decomposition) และ การเปลี่ยนสีของพลาสติก (discoloration)

การแผ่รังสีจากแสงอาทิตย์ (Solar radiation) จะทำให้โพลิเมอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมี เช่นสีอาจจะเปลี่ยนแปลงไป , มีการสูญเสียสมบัติทางกายภาพ, เคมี และ ไฟฟ้า

โพลิเมอร์จะดูดโฟตอน (photon) ซึ่งเป็นอนุภาคเล็กๆในพลังงานแสง ซึ่งจะมีพลังงานมากพอที่จะทำให้ลายพันธะเคมีระหว่างอะตอม แสงอุตราไวโอเลต (ultraviolet,UV) เป็นตัวทำลายผลิตภัณฑ์พลาสติกมากที่สุดในบรรดารังสีจากแสงอาทิตย์

สารคงสภาพมีทั้งแบบเป็นของเหลวและผง เติมลงไปในเรซิน เพื่อดูดพลังงาน และถ่ายเทพลังงานไปยังโมเลกุลอื่นๆ หรือคัดค้านอัตราไวโอเลตที่เป็นอันตรายออก ถ้าพันธะเคมีใน

โพลีเมอร์แตกออกจะมีปฏิกิริยาอื่น เช่น การเกิดการต่อโมเลกุลแบบเชื่อมขวางและ ออกซิเดชัน (Oxidation) เกิดขึ้น

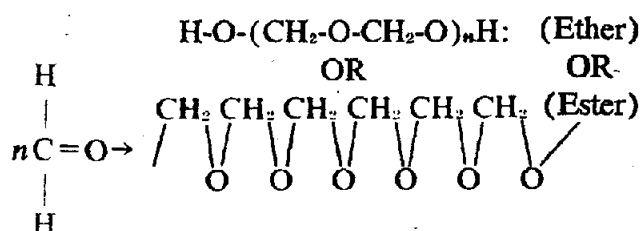
พลาสติกเกือบทุกสูตรที่ใช้ในการผลิตต้องมีสารคงสภาพจำนวนเล็กน้อยเพื่อช่วยไม่ให้พลาสติกแตกตัวเมื่อได้รับความร้อน พลาสติกเมื่อถูกความร้อน , แสงแดด หรือพลังงานในรูปแบบอื่นๆ จะทำให้พลาสติกมีอายุการใช้งานสั้นลง สารคงสภาพจะช่วยยืดอายุการใช้งานของพลาสติก

สารคงสภาพบางชนิดไม่สามารถใส่ในพลาสติกที่ใช้บรรจุอาหารได้เนื่องจากมีสารที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สารคงสภาพที่นิยมใช้ ได้แก่ แบเรียม (barium), แคดเมียม (cadmium) , ซิงค์ ฟอสเฟต (Zinc phosphates), เลดซัลเฟต (lead sulfate) , เลดคาร์บอเนต (lead carbonate) , ดินเมอร์แคปไทด์ (tin mercaptides) และ เบนโซฟีโนน (Benzophenone)

2.1.7 พลาสติกที่รู้จักกันดีและนิยมใช้กันมาก

2.1.7.1 เทอร์โมพลาสติก

2.1.7.1.1 พลาสติกอะซีทัล (Acetal Plastics)



พลาสติกอะซีทัล หรืออาจเรียกอีกอย่างว่าโพลิฟอร์มัลดีไฮด์ (Polyformaldehyde) มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง จึงมีความเป็นผลึกสูง , มีความแข็งตึง (Stiffness)ดี , พื้นที่หน้าตัดคงที่, ทนทานต่อการขีดข่วน , ทนทานต่อความล้า (fatigue endurance) , การคืบตัวค้ำ(creep resistance) และมีความทนทานต่อน้ำ ที่อุณหภูมิห้องอะซีทัลทนทานต่อสารเคมีเป็นส่วนใหญ่ ทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) รวมทั้งไขมัน , น้ำมันและ เคมีภัณฑ์ที่ใช้ภายในบ้าน อะซีทัลไม่ทนทานต่อกรดแก่, ด่างแก่ และสารออกซิไดซ์ (Oxidizing agent) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในอาคารต้องเติมคาร์บอนดำหรือสารที่ดูดกลืนแสง UV (UV absorbing chemical) เนื่องจากอะซีทัลจะเกิดฝ้าขาวบนผิวหน้า(surface chalking) และมีการแตกตัวอย่างช้าๆ เมื่อโดนแสงอุลตราไวโอเลต นานๆ

2.1.7.1.2 พลาสติกอะคริลิก (Acrylic Plastics)

คำว่า “อะคริลิก” นั้นรวมทั้ง กรดอะคริลิก (Acrylic acid), อะคริลิก เอสเทอร์ (Acrylic ester), กรดเมทาคริลิก (Methacrylic acid), เมทาคริลิก เอสเทอร์ (Methacrylic esters), และ อนุพันธ์ (derivative) อื่นๆ

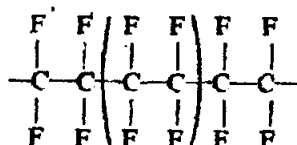
Acrylic acid $\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$	Methyl acrylate $\text{CH}_2=\text{CHCOOCH}_3$	Ethyl acrylate $\text{CH}_2=\text{CHCOOC}_2\text{H}_5$	n-Butyl acrylate $\text{CH}_2=\text{CHCOOC}_4\text{H}_9$	Isobutyl acrylate $\text{CH}_2=\text{CHCOOCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$	2-Ethylhexyl acrylate $\text{CH}_2=\text{CHCOOCH}_2\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{C}_6\text{H}_{13}$
Methacrylic acid $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOH}$	Methyl methacrylate $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$	Ethyl methacrylate $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOC}_2\text{H}_5$	n-Butyl methacrylate $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOC}_4\text{H}_9$	Isobutyl methacrylate $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$	Lauryl methacrylate $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COO}(\text{CH}_2)_{11}\text{CH}_3$
Stearyl methacrylate $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COO}(\text{CH}_2)_{17}\text{CH}_3$	2-Hydroxyethyl methacrylate $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	Hydroxypropyl methacrylate $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COO}(\text{C}_2\text{H}_4)\text{OH}$	2-Dimethylaminoethyl methacrylate $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_2$	2-Butylaminoethyl methacrylate $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{NHC}(\text{CH}_3)_3$	

สูตรเคมีของ "อะคริลิก" โมโนเมอร์ทั้งกรดและเอสเทอร์

โพลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate) หรือที่เรียกย่อๆว่า PMMA มีการกระจายของหมู่แอลคิล (Alkyl) บนโซ่แบบสุ่ม (atactic) ,มีสภาพอสัณฐาน และเป็นเทอร์โมพลาสติกที่ใสมาก แสงผ่านได้ถึง 92 เปอร์เซ็นต์ จึงใช้เป็นเลนส์ได้ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีสำหรับความถี่ต่ำๆ ทนทานต่อสภาวะอากาศ นอกจากนี้ยังใช้เป็นฝาครอบไฟฟ้ารถยนต์ เป็นชิ้นส่วนในเครื่องบินคือเป็นส่วนที่กันลม , ฝาครอบที่นั่งนักบิน (cockpit covers) ใช้เป็นส่วนโคมที่แสงผ่าน (Skylight dome) แทนกระจก , ใช้ในอุตสาหกรรมทำสี (emulsion acrylic) และใช้เคลือบพื้นเนื่องจากมีความใส แข็ง และเป็นเงาดี

2.1.7.1.3 พลาสติกฟลูออโร (Fluoroplastics)

โมโนเมอร์



โพลิเตตราฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene, PTFE)

พลาสติกฟลูออโร มี 2 ชนิดคือ โพลิเตตราฟลูออโรเอทิลีน และโพลิเตตราฟลูออโรโพรพิลีน (Polytetrafluoropropylene, FEP หรือ Fluorinated ethylene propylene) นอกนั้นเป็นโคโพลิเมอร์ พลาสติกฟลูออโรที่นิยมใช้กันมากได้แก่ PTFE และ PTFE พลาสติกฟลูออโรมีความเป็นผลึกสูง เป็นเทอร์โมพลาสติกคล้ายขี้ผึ้ง (Waxy thermoplastic) สามารถนำไปใช้งานได้ในอุณหภูมิตั้งแต่ -450 จนถึง 550 องศาฟาเรนไฮต์

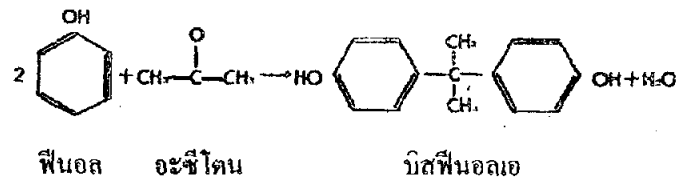
แม้ว่า PTFE จะต้องใช้เทคนิคพิเศษในขบวนการผลิต มีสมบัติที่พิเศษในด้านต่างๆ ได้แก่เฉื่อยขาดสารเคมี (Chemical inertness) , มีความทนทานต่อสภาพอากาศ, เป็นฉนวนความร้อนอย่างดีเลิศ , ทนทานต่อความร้อน, มีสัมประสิทธิ์ของการเสียดทานต่ำและสมบัติที่ไม่เป็นกาว จึงมี

การนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น ทำใบถ้วย , ภาชนะทำอาหาร, ภาชนะทำขนมอบต่างๆ ,ใช้เคลือบกระทะและหม้อ เพื่อทำให้อาหารไม่ติดกระทะ

เทฟลอน(Teflon) เป็นชื่อทางการค้าของโพลิเมอร์ และ โคโพลิเมอร์ ของ PTFE

2.1.7.1.4 โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate,PC)

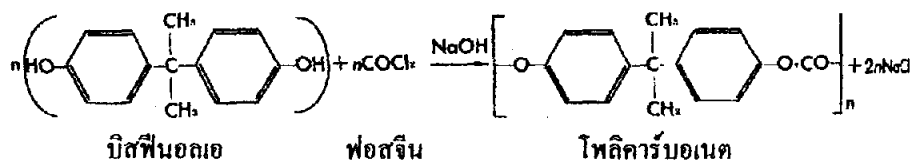
สารที่สำคัญที่ใช้ในการผลิตได้แก่ ฟีนอล ฟีนอลใช้ในการผลิตฟีนอลิก,โพลีเอมีด (Polyamide), อีพอกซี(Epoxy),โพลีฟีนิลีน ออกไซด์ (Polyphenylene oxide, PPO) และ โพลีคาร์บอเนต



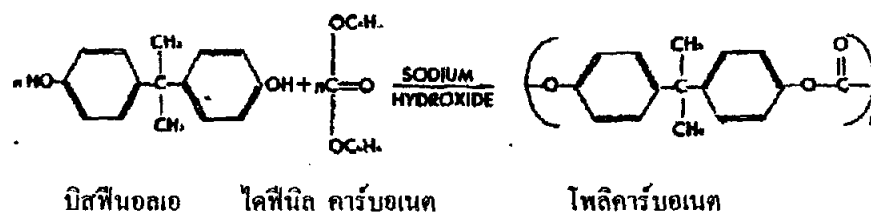
บิสฟีนอลเอ (Bisphenol A) เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการผลิต PC

มีวิธีการสังเคราะห์โพลีคาร์บอเนต ได้ 2 วิธี คือ

- ปฏิกิริยาของ บิสฟีนอลเอที่บริสุทธิ์ กับฟอสจีน (phosgene) ภายใต้สภาวะต่าง



-ปฏิกิริยาของ บิสฟีนอลเอที่บริสุทธิ์ กับ ไดฟีนิล คาร์บอเนต (diphenyl carbonate) โดย ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา(catalyst) ช่วย ภายใต้สภาวะสูญญากาศ

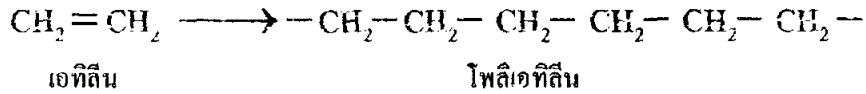


ความบริสุทธิ์ของบิสฟีนอลเอ สำคัญมาก ถ้าพลาสติกนั้นต้องการความใสมากและต้องการให้โพลิเมอร์ค่อกันเป็นลูกโซ่ยาวโดยไม่มีโครงสร้างแบบเชื่อมขวาง ก็ต้องใช้บิสฟีนอลเอที่บริสุทธิ์มากๆ

ในขบวนการผลิตโพลีคาร์บอเนต นิยมใช้ขบวนการฟอสจีนเนชั่น (Phosgenation) เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำใช้เทคโนโลยีและเครื่องมือธรรมดา แต่อย่างไรก็ตามขบวนการนี้ ต้องมีการนำสารละลายและเกลืออนินทรีย์กลับมาใช้ใหม่

โพลีคาร์บอเนต มีสมบัติทนทานต่อแรงกระแทกสูง มีความใส มีหน้าตัดที่คงที่ ไม่ติดไฟ โพลีคาร์บอเนตเกรดที่ใส และเหนียวใช้ทำเลนส์และบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากทนความร้อนได้สูง จึงใช้ทำหูจับของหม้อ หม้อกาแฟ ที่เป่าผสม และจากสมบัติที่ทนแรงกระแทกและการโค้งงอได้ดี จึงใช้ทำหมวกกันน็อก ,ใบพัดในปั๊มน้ำ ,ใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน, โลห่ป้องกันตัวของตำรวจ เป็นต้น

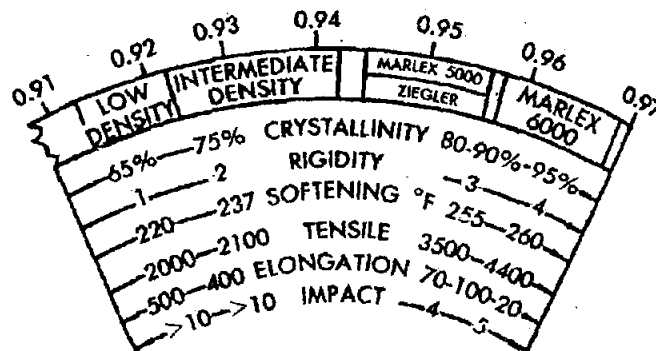
2.1.7.1.5 โพลีเอทิลีน (PE)



American Society for Materials (ASTM)⁽⁶⁾ แบ่ง PE ออกเป็น 4 ชนิดตามความหนา

แน่นคือ

- Type I (branched) 0.910-0.925 กรัม/ลบ.ซม. เป็น โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ
- Type II 0.926-0.940 กรัม/ลบ.ซม. เป็น โพลีเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง
- Type III (Linear) 0.941-0.965กรัม/ลบ.ซม. เป็น โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของ PE กับ คุณสมบัติอื่นๆ

โดยทั่วไปเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ความแข็งดึง , จุดอ่อนตัว(Softening point) , ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) , ความเปราะแตก และความทนทานต่อการคืบ (Creep resistance) จะมากขึ้น ในทางกลับกันถ้าความหนาแน่นมากขึ้น ความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact strength) , การยืดตัว (Elongation) , ความหยุ่นตัว (Flexibility) และ ความใส(Transparency) จะลดลง

เนื่องจาก PE มีราคาถูก เข้าขบวนการผลิตง่าย มีสมบัติทนทานต่อสารเคมี จึงนิยมใช้เป็น บรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่ , แท็งค์ , ท่อชนิดต่างๆ , วัสดุหุ้มสายไฟ , ฟิล์มยืดที่ใช้หุ้มห่ออาหาร เป็นต้น

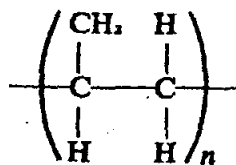
แม้ว่า PE จะมีสมบัติกันความชื้น แต่แก๊สซึมผ่าน PE ได้ง่าย จึงไม่ควรนำไปใช้ภายใต้สภาวะสูญญากาศ

นิยมใช้ PE ในการเคลือบวัสดุอื่นๆ เช่นกระดาษ, ผ้า เพื่อไม่ให้เปียก และทำให้วัสดุติดกันได้ด้วยความร้อน (heat seal) เช่นถุงนมเป็นต้น

PE สามารถทำเป็นโฟมได้โดยการใช้สารช่วยให้เกิดโฟม (Foaming agent) ซึ่งจะแตกตัวและปล่อยแก๊สระหว่างการขึ้นรูป หรืออาจจะใช้วิธีปล่อยแก๊ส เช่น ในโครมจน ในเรซินที่หลอมเหลว ภายใต้ความดัน ขณะที่อยู่ในแม่พิมพ์ และภายใต้ความดันบรรยากาศ แก๊สใน PE จะขยายตัวเอโซไดคาร์โบนามิด (Azodicarbonamide) เป็นสารเคมีที่ช่วยให้เกิดเป็นโฟม (chemical foaming) ที่ใช้สำหรับ PE ความหนาแน่นต่ำและ PE ความหนาแน่นสูง โฟม PE ใช้ในเฟอร์นิเจอร์ภายในรถยนต์ โฟมที่มีโครงสร้างแบบเชื่อมขวาง เหมาะสำหรับทำเบาะ, วัสดุทางการแพทย์ และผลิตภัณฑ์ที่ช่วยในการลอยตัวในน้ำ (Flootation)

PE สามารถเกิดการเชื่อมต่อกันของโมเลกุลเป็นแบบเชื่อมขวางโดยมีสารเคมีเช่นพวกเปอร์ออกไซด์ (peroxides) เป็นตัวช่วยเปลี่ยนจากเทอร์โมพลาสติก กลายเป็นพลาสติกเทอร์โมเซต

2.1.7.1.6 โพลีโพรพิลีน (PP)

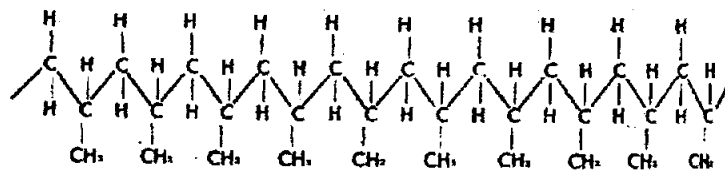


PP และ PE มีสมบัติคล้ายกันเพราะมีโครงสร้างใกล้เคียงกัน แก๊สโพรพิลีนถูกกว่าแก๊สเอทิลีน แก๊สโพรพิลีนได้จากการแตกตัวของสารปิโตรเคมี (petroleum hydrocarbon) และโพรเพน (propane) ที่อุณหภูมิสูง โดยทั่วไป PP มีสมบัติทางฟิสิกส์ใกล้เคียงกับ PE ความหนาแน่นสูงมาก แต่ก็มีข้อแตกต่างที่สำคัญๆ กล่าวคือ PP มีความหนาแน่น 0.90 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร PE มีความหนาแน่น 0.941-0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร PP แข็งกว่า มีจุดเปราะสูงกว่า (Brittle point) PP ทนต่อสภาวะอากาศดีกว่า (Environment stress cracking) PP ดีกว่า PE ที่สามารถทนความร้อนได้สูงกว่า และมีความทนทานต่อการขีดสี นิยมใช้ PP ทำบรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่, ทรอมปูพื้นรถยนต์ จึงเป็นคู่แข่งที่สำคัญของ PE

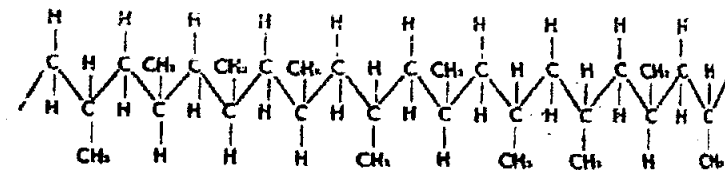
PP มีการเรียง CH_2 ในสายโซ่ได้ 3 แบบ ได้แก่ ไอโซแทคติก (Isotactic), ซินดีโอแทคติก (Syndiotactic) และ อะแทคติก (Atactic)

แบบไอโซแทคติกสายโซ่ของ PP จะมี CH_2 อยู่ในตำแหน่งที่เป็นระเบียบ (regular arranged) ส่วนอะแทคติกนั้น CH_2 จะอยู่ในตำแหน่งที่ไม่แน่นอนเป็นแบบสุ่ม (random

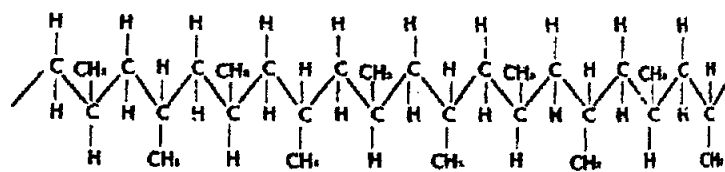
replacement) มีลักษณะนุ่มแบบยาง (rubbery) ไม่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม PP ที่มีการเรียงตัวแบบ



(A) *Isotactic.*



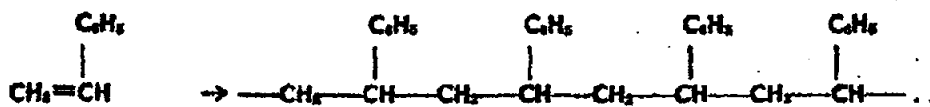
(B) *Atactic.*



(C) *Syndiotactic.*

อะแทคติก และ ซินดิโอแทคติก จะมีความต้านทานแรงกระแทกสูงกว่าแบบไอโซแทคติก การเรียงตัวแบบ อะแทคติก และ ซินดิโอแทคติก จะมีปรากฏอยู่ใน PP ที่มีการเรียงตัวแบบไอโซแทคติก ในปริมาณเล็กน้อย ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ 90-95 % นิยมใช้ ไอโซแทคติก PP

2.1.7.1.7 โพลิสไตรีน (Polystyrene,PS)



สไตรีน (ไวนิล เบนซีน)

โพลิสไตรีน

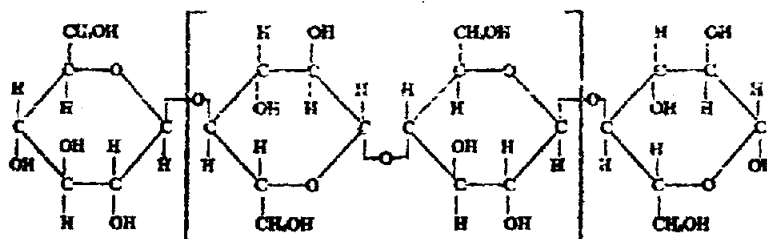
PS เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีสภาพอสัณฐาน และเป็นโพลิเมอร์แบบอะแทคติก (atactic amorphous thermoplastic) กล่าวคือมีการกระจายของหมู่แอลคิลบนโซ่แบบสุ่ม

PS เป็นโพลิเมอร์ที่ราคาไม่แพง แข็ง ใส เข้าขบวนการผลิตได้ง่าย มีสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี และ ทนทานต่อความชื้น สมบัติทางฟิสิกส์ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของ น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight distribution), สารเติมแต่ง และขบวนการผลิต

PS นิยมใช้ทำ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ , เเลนส์ , ลูกขุด , เข็ยอกเล็กๆ , บรรจุกัมมันต์ต่างๆ , ของเล่นเด็ก , ภาชนะเครื่องใช้ต่างๆในบ้าน

2.1.7.1.8 พลาสติกเซลลูโลส (Cellulosic plastic)

เซลลูโลส ($C_6H_{10}O_5$) เป็นสารที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ (Cell wall) ของพืชทุกชนิด ไม้ประกอบด้วยเซลลูโลสมากกว่าครึ่งหนึ่งของส่วนประกอบทั้งหมด ฝ้าย (cotton) ประกอบด้วยเซลลูโลส 98%



เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสมีโมเลกุลยาวที่มีหน่วยกลูโคสซ้ำๆ แต่ละโมเลกุลของเซลลูโลสมี OH 3 กลุ่ม ซึ่งอาจจะมีกลุ่มของสารอื่นๆมาต่อกับกลุ่ม OH นั้นทำให้เกิดเป็นพลาสติกเซลลูโลสได้หลากหลาย พลาสติกเซลลูโลสแบ่งได้เป็น 3 ประเภท

รีเจนเนอเรทเทคเซลลูโลส (Regenerated cellulose)

ในธรรมชาติเซลลูโลสจะไม่ละลายในสารละลายและไม่ไหลเมื่อหลอมเหลว แต่เมื่อนำเซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับคอสติกโซดา (Caustic soda) จะกลายเป็นแอลคาลิเซลลูโลส (Alkali cellulose) นำแอลคาลิเซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับคาร์บอน ไดซัลไฟด์ (Carbon disulfide) เกิดเป็นเซลลูโลสแซนเทต (Cellulose xanthate) ซึ่งเมื่อละลายในน้ำจะเกิดเป็นสารละลายที่เหนียวหนืดมาก เรียกว่าวิสโคส (Viscose) เมื่อตกตะกอนในกรดแล้วนำมาทำเป็นแผ่นฟิล์มบางที่เรียกกันว่าเซลโลเฟน (Cellophane) เซลโลเฟนนี้เป็นรีเจนเนอเรทเทคเซลลูโลส เมื่อนำเซลโลเฟนมาเคลือบบนเอทิลอะซิเตต (Ethyl acetate) และเซลลูโลสไนเตรต (Cellulose nitrate) จะช่วยให้วัสดุนั้นมีสมบัติกันน้ำได้ เซลลูโลสแซนเทตที่ละลายในน้ำและเกิดเป็นวิสโคสแล้วนั้น เมื่อนำมารีด (Extrude) ผ่านรูเปิดแบบสปินเนอร์ (spinneret openings) ก่อนผ่านลงสารละลายของกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) และโซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate) จะเกิดเป็นเส้นใย (Regenerated fiber) ที่เรียกกันว่า วิสโคสเรยอง (Viscose rayon) ซึ่งเป็นชื่อที่ขอมารับกันทั่วไปสำหรับเส้นใยที่ทำจากรีเจนเนอเรทเทคเซลลูโลส เรยองนิยมใช้ทำผ้าสำหรับตัดเสื้อ

เซลลูโลสเอสเทอร์ (Cellulose esters)

เซลลูโลสเอสเทอร์ ได้แก่ เซลลูโลสไนเตรต (Cellulose nitrate, CN), เซลลูโลสอะซิเตต (Cellulose acetate, CA), เซลลูโลสอะซิเตต-บิวทีเรต (Cellulose acetate butyrate, CAB) และเซลลูโลสโพรพิโอเนต (Cellulose propionate, CP)

CN ได้จากปฏิกิริยาระหว่างคอตตอนซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่กับกรดไนตริกผสมกับกรดซัลฟูริก CN เรียกอีกชื่อว่าไนโตรเซลลูโลส (Nitrocellulose) ส่วนใหญ่ใช้เป็นวัตถุระเบิด ในอุตสาหกรรมพลาสติกพบว่ามีการใช้ CN ในรูปพลาสติกน้อยมาก ที่พบคือนำมาใช้ทำลูกเทนนิส ทั้งนี้เนื่องมาจาก CN ระเบิดง่าย เพราะและหกดัดตัวมากเกิดจากการระเหยออกของสารละลายในขบวนการผลิต

CA เป็นเซลลูโลสที่สำคัญที่สุดในหมู่พลาสติกเซลลูโลส เกิดจากปฏิกิริยาการเติมกลุ่มอะซิเตตลงไปในเซลลูโลส (Acetylation) โดยให้เซลลูโลสทำปฏิกิริยากับส่วนผสมของกรดอะซิติก (Acetic acid) และอะซิติกแอนไฮไดรด์ (Acetic anhydride) โดยมีกรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา CA มีสมบัติทนทานต่อความร้อนต่ำ ไม่ทนต่อสภาวะอากาศ และสารเคมี (chemical resistance) แต่ก็มีข้อดีคือราคาถูก สามารถทำให้ใสและแต่งเติมสีสรรได้ ใช้มากในอุตสาหกรรมทำฟิล์มและแผ่นเพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

เนื่องจากฟิล์ม CA แก๊สและความชื้นสามารถผ่านเข้าได้จึงเหมาะที่จะทำบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้

CAB เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเซลลูโลสกับส่วนผสมของกรดซัลฟูริก และกรดอะซิติก ปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์ (Esterification) จะสมบูรณ์ เมื่อเซลลูโลสทำปฏิกิริยากับกรดบิวทริก (Butyric acid) และอะซิติกแอนไฮไดรด์ ผลที่ได้มีกลุ่มอะซิติก (Acetyl groups, CH_3CO) และ กลุ่มบิวทิล (Butyl groups, $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$) ในทุกๆหน่วยของเซลลูโลส CAB มีหน้าตัดที่คงที่, ทนต่อสภาวะอากาศ, ทนต่อสารเคมีและความชื้นดีกว่า CA และ CN จึงนิยมนำมาใช้ทำชั้นส่วนรถยนต์, ค้ำของเครื่องมือต่างๆ เช่น ไขควง เป็นต้น, พวงมาลัยรถยนต์หรือเรือ และส่วนประกอบของบรรจุภัณฑ์ต่างๆ

เซลลูโลสอีเทอร์ (Cellulose ethers)

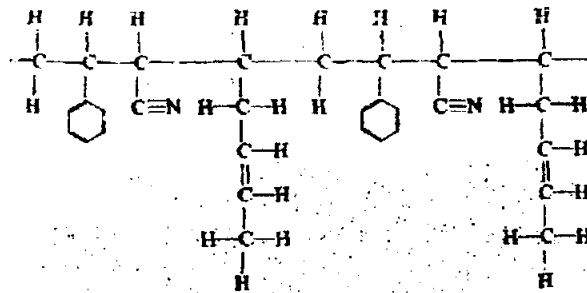
เซลลูโลสอีเทอร์ได้แก่ เอทิลเซลลูโลส (Ethyl cellulose), เมทิลเซลลูโลส (Methyl cellulose) เป็นต้น

เอทิลเซลลูโลส ได้จากปฏิกิริยาของแอลคาไลเซลลูโลส (Alkali cellulose) กับเอทิลคลอไรด์ (Ethyl chloride) เอทิลเซลลูโลสสำคัญที่สุดในกลุ่มเซลลูโลสอีเทอร์ และเป็นตัวเคียวที่ใช้ในรูปแบบที่เป็นพลาสติก เอทิลเซลลูโลสใช้ทำหมวกสวมเล่นอเมริกันฟุตบอล, กล้องไฟแฟลช (Flashlight cases), ภาชนะบรรจุเครื่องสำอาง (cosmetic packages) เป็นต้น

เมทิลเซลลูโลส (Methyl cellulose) ได้จากปฏิกิริยาของแอลคาไลเซลลูโลส (Alkali cellulose) กับเมทิลคลอไรด์ (Methyl chloride) หรือเมทิลซัลเฟต (Methyl sulphate) เมทิลเซลลูโลสนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมายเนื่องจากละลายน้ำได้และรับประทานได้ด้วย เป็นสารเพิ่มความหนืด (Thickening) และทำให้เกิดอิมัลชัน (emulsifier) ในเครื่องสำอาง, กาวและสีที่ใช้น้ำเป็นหลัก (Water-

based paints) ใช้เป็นกาวในอุตสาหกรรมทำกระดาษติดผนัง (Wallpaper) และผ้า , ใช้ในการทำน้ำซอสสลัด (salad dressings) , ไอศกรีม , ส่วนผสมในเค้ก พาย ขนมปังกรอบต่างๆ เป็นต้น ในอุตสาหกรรมทำยาที่ใช้เมทิลเซลลูโลสเคลือบยา

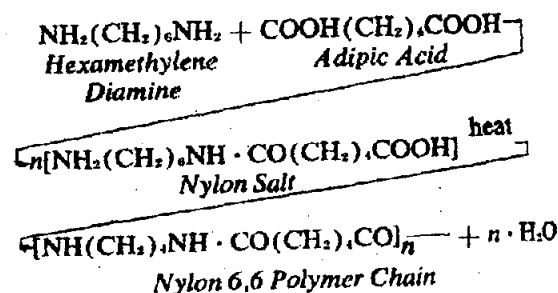
2.1.7.1.9 พลาสติกอะครีโลไนไตรล์-บิวตาไดอีน-สไตรีน (Acrylonitrile-butadiene-styrene, ABS)



ABS เป็นพลาสติกที่บดแข็งซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันของ อะครีโลไนไตรล์บิวตาไดอีน และสไตรีนโมโนเมอร์ โดยใช้เทคนิคการทำโพลิเมอร์แบบต่อ (graft polymerization) ABS มีสมบัติที่ทนทานต่อแรงกระแทก ทนสารเคมี และทนความร้อนได้ดี โดยทั่วไปนิยมใช้ทำเครื่องใช้ภายในบ้าน, กระจาเดินทาง, กดองถ้วยขนาดเล็ก , กดองแบตเตอรี่ (battery cases), ใช้เป็นส่วนประกอบในรถยนต์ และในปัจจุบันมีการนำไปใช้เป็นเฟอร์นิเจอร์ภายในบ้านด้วย

2.1.7.1.10 โพลีเอมีด (Polyamide ,PA)

ในปี ค.ศ. 1938 บริษัท Du Pont ได้พัฒนา โพลีเอมีด 6/6 ในเชิงอุตสาหกรรมและนำออกจำหน่ายโดยมีชื่อทางการค้าว่า ไนลอน ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดไดคาร์บอกซิลิก (Dicarboxylic acid) กับ ไดเอมีน (Diamine) เป็นเทอร์โมพลาสติกเชิงวิศวกรรม (Engineering Plastics) ไนลอนมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับกรดและไดเอมีนที่ทำปฏิกิริยาจนเกิดเป็นสายโซ่โมเลกุลของไนลอน ที่รู้จักกันดี ได้แก่ ไนลอน 6/6 ซึ่งก็คือโพลีเฮกซามทิลีนอะดิพามีด (Polyhexamethylene adipamide)



เนื่องจากกรดและเอมีนมีคาร์บอน 6 อะตอมจึงเรียกว่าไนลอน 6/6 ใช้ในการผลิตเคเบิล ลูกกลิ้ง ภาชนะบรรจุน้ำมัน และแผ่นฟิล์มบรรจุหีบห่อ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมี

ไนลอน 6 หรือโพลีคาร์โพรแลกแทม (Polycaprolactam, $[\text{NH}(\text{CH}_2)_5\text{CO}]_x$) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาการเปิดวงแหวนของคาโพรแลกแทม (Caprolactam) ซึ่งมีคาร์บอน 6 อะตอม ไนลอน 6 นิยมใช้ทำถุงน่อง และอุปกรณ์อื่นๆเหมือนไนลอน 6/6

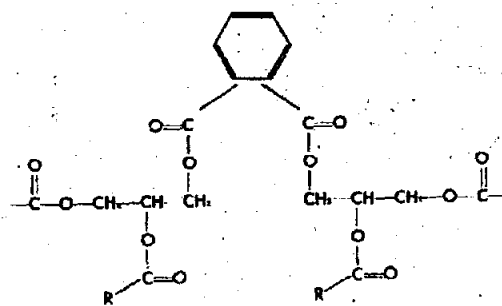
ไนลอน 6/12 หรือ Poly(12-aminododecanoic acid) $[\text{NH}(\text{CH}_2)_{11}\text{CO}]_x$ เป็นโพลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดโคคาร์บอกซิลิกที่มีคาร์บอน 6 อะตอม กับไดเอมีนที่มีคาร์บอน 12 อะตอม ใช้ผลิตฉนวนสายหุ้มไฟฟ้า ฉนวน และฉนวนของหม้อแปลงไฟฟ้า

ไนลอนที่นิยมใช้กันมากได้แก่ไนลอน 6 และไนลอน 6/6 แม้ว่าในการค้นพบไนลอนครั้งแรกจะใช้ในรูปของเส้นใย แต่ปัจจุบันไนลอนมีประโยชน์มากมายโดยใช้ในรูปแบบต่างๆ เช่น ไนลอนในรูปของสารผสม (molding compounds) คือไนลอนที่เติมสารเติมแต่งต่างๆแล้วเช่น สารเสริม สารเสริมสภาพพลาสติก สี และตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น ไนลอนสำหรับงานอัดรีด (Extrusion), งานเคลือบ (coatings), เป็นกาว และไนลอนที่ใช้ในงานหล่อ (Casting materials) ไนลอนมีสมบัติที่เป็นสารหล่อลื่นในตัวของมันเอง, มีความทนทานต่อการซึมผ่านของออกซิเจนสูง (highly impermeable to oxygen) มีความทนทานต่อเชื้อราและแบคทีเรีย จึงใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารได้

ประโยชน์ส่วนใหญ่ของไนลอน 6, 6/6, 6/10, 11, 12 ที่เป็นโฮโมโพลิเมอร์ที่ผสมสารเสริมแล้ว (Homopolymer molding compounds) ได้แก่ การนำมาใช้ทำเกียร์, ลูกเบี้ยงกลั่นเครื่องยนต์ (cams), ฝาประกับเพลา (bearings), ล้อที่ขาโต๊ะ ขาเตียง (furniture castors) ที่จับประตู เป็นต้น ไนลอนสามารถเข้าขบวนการผลิตได้ง่าย มีสัมประสิทธิ์ของการเสียดทานต่ำ (low coefficients of friction) และเหมาะสำหรับงานที่ต้องการความทนทานต่อการสึกหรอ

2.1.7.2 พลาสติกเทอร์โมเซต (Thermosetting plastics)

2.1.7.2.1 อัลคิิด (Alkyds)



เรซินอัลคิิด

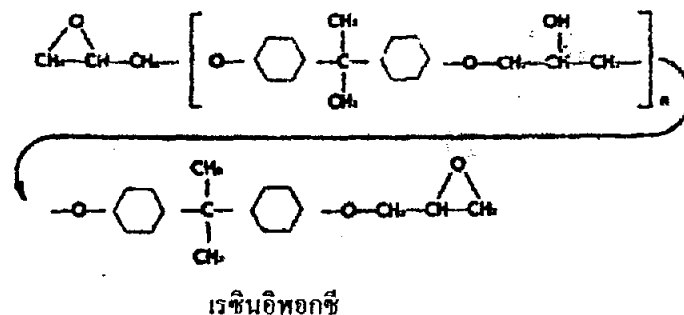
ปัจจุบันคำว่า “Alkyd molding compounds” หมายถึง โพลีเอสเตอร์ที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated polyester) ซึ่งปรับเปลี่ยนสมบัติด้วยโมโนเมอร์ที่ไม่ระเหย (nonvolatile monomer) เช่น ไดอัลคิลฟทาเลต (Diallyl phthalate) และสารเสริมอื่นๆ เรซินอัลคิิดเกิดจากการควบแน่นทำปฏิกิริยากับ เอสเตอร์ที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated ester)

อัลคิดใช้มากในอุตสาหกรรมการเคลือบผิว เนื่องจากมีราคาถูก มีอายุการใช้งานนาน มีความทนทานต่อความร้อน สามารถนำสารอื่นๆมาปรับปรุงเพื่อให้ได้สมบัติที่ต้องการได้ง่าย เช่น โรซิน(Rosin) ซึ่งปรับปรุงสมบัติเรซินอัลคิดได้ดี ส่วนเรซินฟีนอลิกและเรซินอีพอกซีช่วยเพิ่มความแข็งแรง ความทนทานต่อสารเคมีและน้ำ นอกจากนี้การปรับปรุงสมบัติโดยการใส่สไตรีน โมโนเมอร์ จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่อัลคิดเคลือบอยู่มีความหยุ่นตัวดีขึ้น

เรซินอัลคิดสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย รวมทั้งการเป็นสารเสริมสภาพพลาสติกในพลาสติกหลายชนิด ใช้เป็นกาวสำหรับพวกไม้ ยาง แก้ว หนัง ผ้า

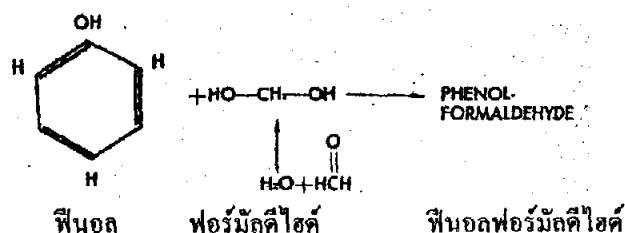
เรซินอัลคิดที่ผสมสารเสริมต่างๆแล้วสามารถขึ้นรูปได้ด้วยวิธีอัดแบบชนิดแรงอัด (Compression molding) ใช้ในการผลิตเครื่องใช้ภายในบ้าน และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

2.1.7.2.2 เรซินอีพอกซี (Epoxy resins)



เรซินอีพอกซีเป็นพลาสติกเทอร์โมเซต แต่อีพอกซีที่ใช้ในการเคลือบและอีพอกซีที่เป็นกาวเป็นเทอร์โมพลาสติก เรซินอีพอกซีที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีสูตรโครงสร้างแตกต่างกันมากมาย แต่ส่วนใหญ่เรซินอีพอกซีเกิดจากบิสฟีนอลเอ และอีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) เรซินอีพอกซีโดยทั่วไปจะเกิดการเชื่อมต่องของสายโซ่ได้สมบูรณ์ (cure) ด้วยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา หรือสารที่ทำให้แข็งตัว(reaction hardener) ซึ่งส่วนใหญ่ใช้อะลิฟาติก (Aliphatic) และอะโรมาติก(Aromatic amine) เรซินอีพอกซีที่เสริมแรงมีหน้าตัดที่คงที่มาก และมีอุณหภูมิใช้งานสูงถึง 600 องศาฟาเรนไฮด์ อีพอกซีใช้แทนเรซินโพลีเอสเตอร์ในกรณีที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่ทนทานต่อสารเคมีและทนทานต่อความถี่สูง

2.1.7.2.3 พลาสติกฟีนอลิก (Phenolics หรือ Phenol formaldehyde)

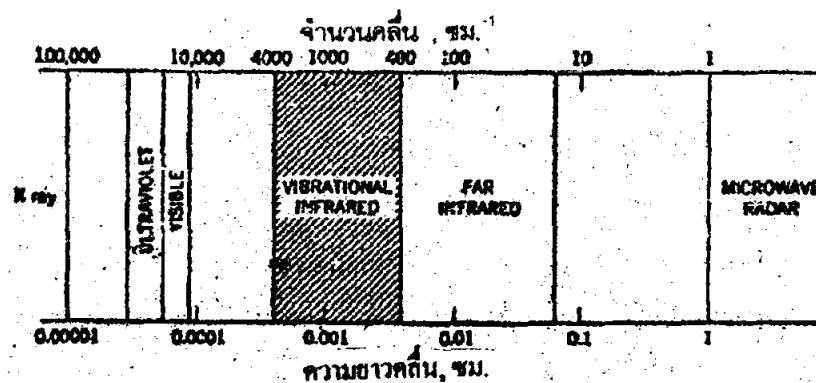


พลาสติกฟีนอลิกเป็นพลาสติกที่เกิดจากปฏิกิริยาของฟีนอลกับฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นที่รู้จักกันในชื่อว่าฟีนอลิก ฟีนอลิกมีราคาถูก ขึ้นรูปง่าย จึงนิยมใช้กันมาก ในการทำเป็นสารยึด (binder) , สารเคลือบ , และเป็นกาว

ในขบวนการผลิตพลาสติกฟีนอลิกต้องมีการเติมสารเสริม ซึ่งสารเสริมที่ใช้ใน ฟีนอลิก ไม่ได้ใส่ไปเพื่อลดต้นทุนการผลิตแต่ใส่ไปเพื่อช่วยให้สมบัติทางฟิสิกส์ดีขึ้น ช่วยให้เข้าขบวนการผลิตได้ง่ายขึ้นและลดการหดตัวเนื่องจากขบวนการผลิต

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องมือ

2.2.1 Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)⁽¹⁴⁾



รูปที่ 10 แสดงตำแหน่งของย่านรังสีอินฟราเรดในสเปกตรัมรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic radiation) เป็นพลังงานชนิดหนึ่งซึ่งวิ่งผ่านอวกาศได้ด้วยความเร็วสูง และมีได้หลายรูปแบบได้แก่ เอ็กซเรย์ (X-ray) , อัลตราไวโอเลต (Ultraviolet), ไมโครเวฟ (Microwave), ความถี่วิทยุ (Radiofrequency) และ อินฟราเรด (Infrared) เป็นต้น ย่านของรังสีอินฟราเรดอยู่ระหว่างย่านวิซิเบิล (Visible) และย่านไมโครเวฟ (Microwave) ในสเปกตรัมรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic radiation spectrum) รูปที่ 10 ช่วงความถี่คลื่น (Frequency) $4000\text{-}12800\text{ cm}^{-1}$ เป็นย่านอินฟราเรดใกล้ (Near infrared region) ช่วง $200\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ เป็นย่านอินฟราเรดกลาง (Middle infrared region) และช่วง $10\text{-}200\text{ cm}^{-1}$ เป็นย่านอินฟราเรดไกล (Far infrared region) แต่ย่านอินฟราเรดปกคคือช่วง $667\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ เป็นย่านที่สำคัญที่สุดเพราะจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับการสั่นของพันธะในโมเลกุลซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการตรวจสอบสูตร โครงสร้างของสาร

สมบัติของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ามีสองลักษณะควบคู่กันคือเป็นทั้งคลื่น (Wave) และอนุภาค (Particles) สมบัติที่เป็นคลื่นสามารถระบุได้ด้วย ความยาวคลื่น (Wavelength, λ) ซึ่งหมายความว่าช่วงกว้างของคลื่น 1 ลูก หรือ ความถี่ (Frequency, ν) ซึ่งหมายถึงจำนวนคลื่นที่วิ่งผ่านจุดคงที่จุด

หนึ่งใน 1 หน่วยเวลา หรือ จำนวนคลื่น (Wave number, $\bar{\nu}$) ซึ่งหมายถึงจำนวนคลื่นต่อระยะทาง 1 หน่วย พลังงานของรังสีแม่เหล็ก ไฟฟ้าจะคิดเป็นหน่วยอนุภาคพลังงานซึ่งเรียกว่า โฟตอน (Photon)

การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานของการสั่นของอะตอมในโมเลกุล ปกติการเปลี่ยนระดับพลังงานของการสั่นแต่ละระดับ มักเกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานของการหมุนได้หลายคู่ในเวลาพร้อมๆกัน รังสีอินฟราเรด 1 โฟตอนที่ถูกลูกคลื่นจะถูกนำไปใช้เพื่อเพิ่มช่วงกว้างของคลื่น (Amplitude) ของการสั่นระหว่างอะตอมในโมเลกุล การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อขบวนการสั่นนั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไดโพลโมเมนต์ (dipole moment) ในโมเลกุลได้ การศึกษาการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดโดยโมเลกุลเรียกว่า อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Infrared spectroscopy)

อินฟราเรดสเปกตรัม (IR Spectrum) จะมีลักษณะเป็นพีคที่ซึ่งเกิดจากการพลอต (Plot) ระหว่างเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตเทนซ์ (Transmittance) กับความยาวคลื่นหรือความถี่ ความยาวคลื่นมีหน่วยเป็น เซนติเมตร แต่ในปัจจุบันนิยมแสดงเป็นจำนวนคลื่น ซึ่งมีหน่วยเป็น cm^{-1} อ่านว่า เรซิโปรคอล เซนติเมตร (Reciprocal centimeter) เนื่องจากจำนวนคลื่นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ จึงมักเรียกจำนวนคลื่นเป็นความถี่ในหน่วย cm^{-1}

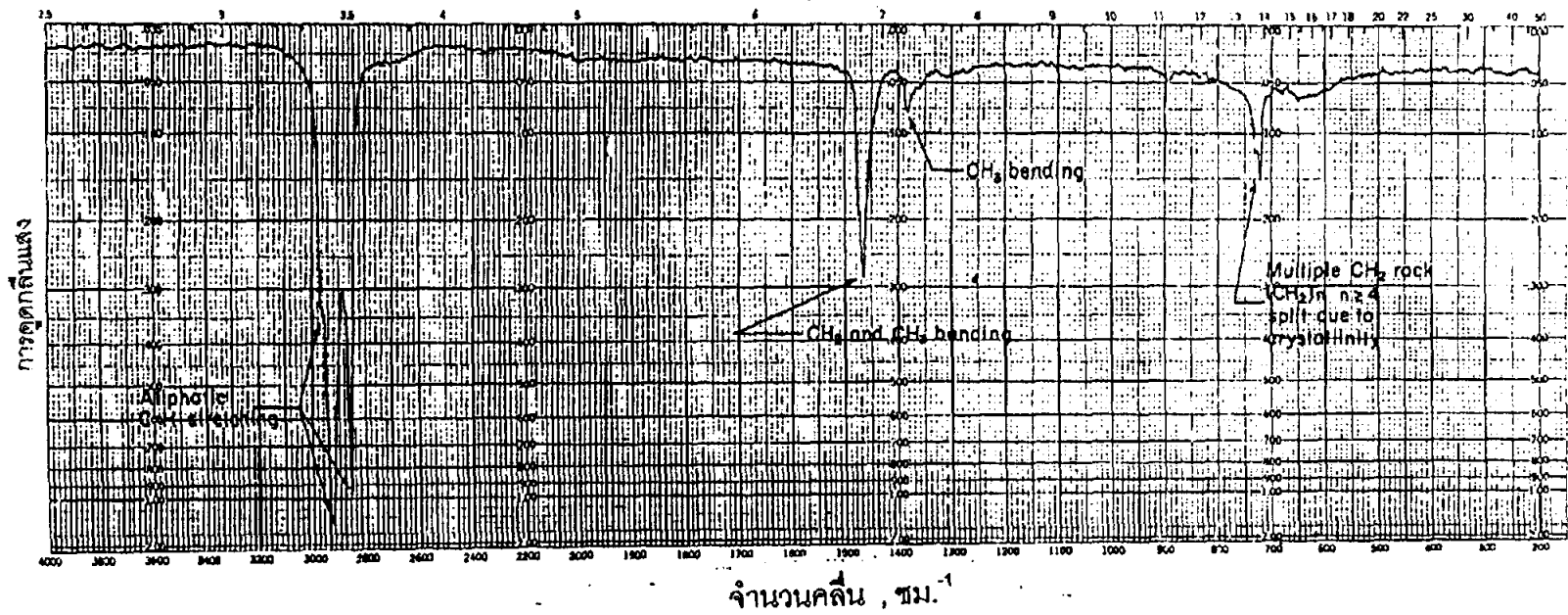
ตำแหน่งของแถบในอินฟราเรดสเปกตรัมอาจแสดงเป็นความยาวคลื่น (wavelength, λ) หรือที่นิยมมากกว่าคือ แสดงเป็นจำนวนคลื่น ($\bar{\nu}$) ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นหน่วยเป็น cm , จำนวนคลื่น หน่วยเป็น cm^{-1} และความถี่ (ν) หน่วยเป็นจำนวนรอบต่อวินาที แสดงในสมการ

$$\bar{\nu} = 1/\lambda = \nu/C$$

C คือ ความเร็วของแสงมีค่าเท่ากับ 3×10^{10} $\text{cm}/\text{วินาที}$ ในสุญญากาศ

ส่วนความเข้มของแถบ โดยทั่วไปนิยมแสดงความเข้มของแถบเป็นเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสง (T) หรือ การดูดกลืนแสง (Absorbance, A) จากรูปที่ 11 T คือ อัตราส่วนของความเข้มของลำรังสีที่ผ่านตัวกลาง (Transmitted radiation, I) และความเข้มของลำรังสีที่ตกกระทบตัวกลาง (Incident radiation, I_0)

ถ้าไม่มีการดูดกลืนรังสีเลย %T จะมีค่าเป็น 100% ถ้ารังสีถูกดูดกลืนหมด %T จะมีค่าเป็น 0



รูปที่ 1 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลีเอทิลีน

การส่องผ่านของแสงมีความสัมพันธ์กับการดูดกลืนแสง ดังนี้

$$\text{Absorbance (A)} = \log_{10} I/T$$

FTIR เป็นเครื่องมือที่สำคัญมากที่สุดในการวิเคราะห์หาชนิดของโพลีเมอร์ เนื่องจากอินฟราเรดสเปกตรัมของสารประกอบสองตัวที่วัดในตำแหน่งเดียวกัน สามารถนำมาเปรียบเทียบเพื่อพิสูจน์ว่าเป็นสารตัวเดียวกันได้

โมเลกุลที่ประกอบด้วยพันธะต่างชนิดกัน ย่อมดูดกลืนรังสีที่มีความถี่ต่างกัน แต่พันธะชนิดเดียวกันจะมีสภาวะแวดล้อมที่ต่างกันเมื่ออยู่ในสารประกอบที่ต่างกัน ดังนั้นสารต่างชนิดกันที่ประกอบด้วยพันธะชนิดเดียวกันย่อมมีอินฟราเรดสเปกตรัมที่ต่างกันเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอินฟราเรดสเปกตรัม ในช่วง 910-1350 cm^{-1} ของสารประกอบทุกตัวจะมีลักษณะเฉพาะตัว เรียกว่านิ้วขานรอยนิ้วมือ (Finger print) เมื่อนำเอาอินฟราเรดสเปกตรัมของสารสองตัวที่สงสัยว่าจะเป็นสารตัวเดียวกัน มาเปรียบเทียบกันทีละจุด (Peak to peak) ถ้าเหมือนกันแสดงว่าสารสองตัวนั้นเป็นตัวเดียวกัน

ในการวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมของสารที่ไม่รู้จัก (unknown) ควรให้ความสนใจต่อแถบการดูดกลืนรังสีของหมู่ฟังก์ชันนัล (Functional group) ที่สำคัญๆ เช่น C=O, O-H, N-H, C-O, C=C, C=C, C=N และ NO_2 แถบดูดกลืนรังสีของหมู่ฟังก์ชันนัลเหล่านี้จะช่วยทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของสารได้ทันทีและตัดสินใจได้ว่าสารประกอบนั้นเป็นสารประกอบประเภทใด

2.2.2 Thermogravimetric Analyzer (TGA)⁽⁷⁾

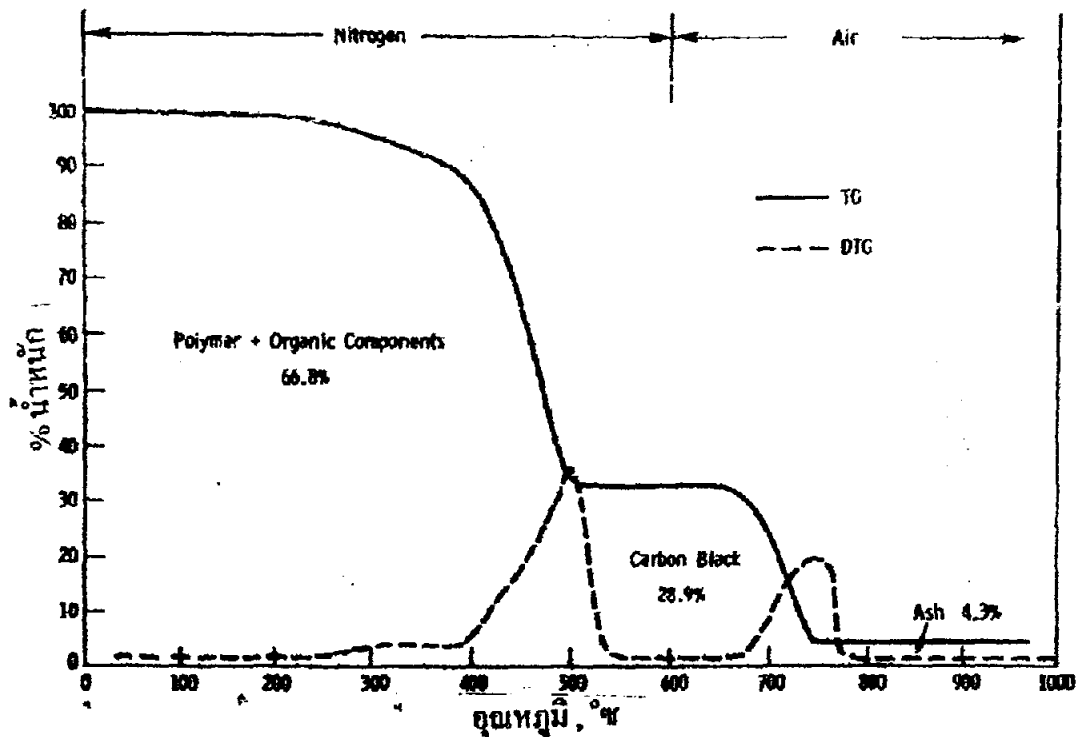
เครื่อง TGA ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตาชั่งอย่างละเอียด 5 ตำแหน่ง จะอยู่ส่วนบนสุดของเครื่อง แยกออกจากส่วนเตาเผา ตาชั่งจะเป็นแบบการชั่งในแนวตั้ง

เตาเผา (Furnace) อุณหภูมิของเตาเผาสามารถควบคุมได้สูงถึง 1000 องศาเซลเซียส มีระบบอิเล็กทรอนิกส์ ที่ควบคุมอัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิอัตราการให้ความร้อนของเตา สามารถเลือกได้ตั้งแต่ 0-100 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายในเตาเผาจะมีก๊าซไหลผ่านอยู่ตลอดเวลา โดยปกติมักใช้ก๊าซไนโตรเจนหรือฮีเลียมเพื่อป้องกันการออกซิเดชันของสารตัวอย่าง

อุปกรณ์ควบคุมและเก็บข้อมูล อุณหภูมิที่ถูกบันทึกลงใน หน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นอุณหภูมิจริงของสารตัวอย่าง ซึ่งวัดโดยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ตัวเล็กๆ ที่อยู่ใกล้ภาชนะบรรจุสาร เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งเป็นผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงมวลของสารคอมพิวเตอร์จะเก็บข้อมูล และแสดงผลออกมาเป็นเส้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกน X ซึ่งเป็นอุณหภูมิ และแกน Y ซึ่งเป็นมวลของสารตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไป

TGA เป็นเทคนิคการวัดน้ำหนักของตัวอย่าง ณ เวลาและอุณหภูมิต่างๆ ผลการวิเคราะห์จะเป็นเทอร์โมแกรม และทุกขั้นตอนของการวิเคราะห์ดูได้จาก Derivative Thermogravimetric (DTG) ซึ่งเป็นการพลอต (Plot) ระหว่างอัตราของน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับเวลา (dm/dt) ตามรูปที่ 12



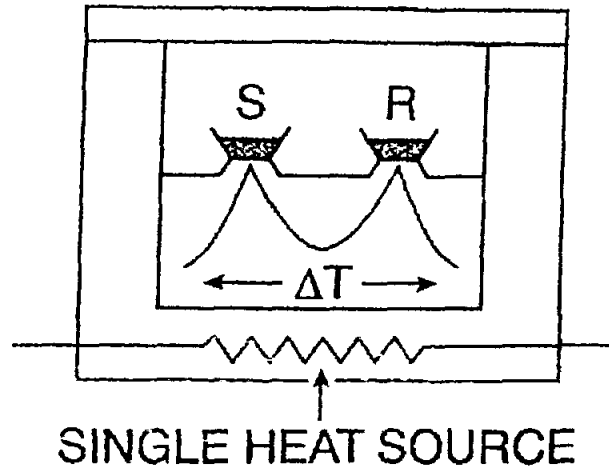
รูปที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วย TGA

2.2.3 Differential Scanning Calorimeter (DSC)⁽¹³⁾

DSC เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ซึ่งวัดค่าความแตกต่างของพลังงานที่ให้กับสารตัวอย่าง และสารมาตรฐานที่เนื้อต่อความร้อน(Inert) เมื่อสารนั้นอยู่ภายใต้อุณหภูมิและสภาวะแวดล้อมที่กำหนด DSC แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

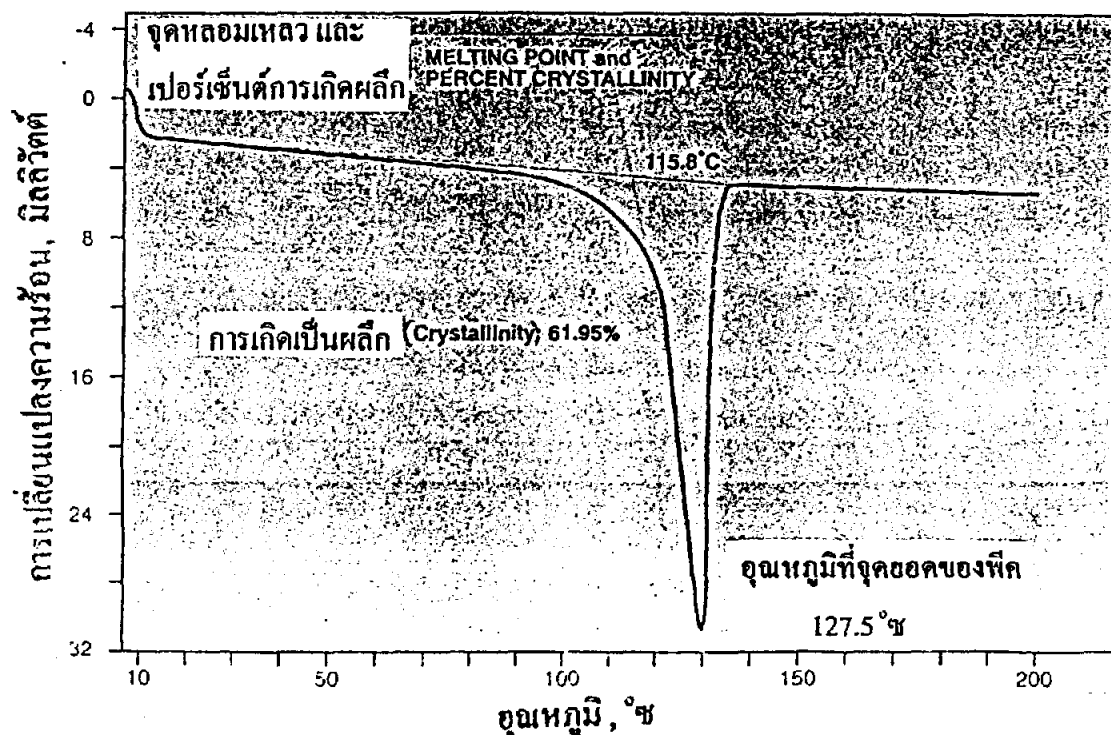
ฮีทฟลักซ์ดีเอสซี (Heat-Flux DSC) สารมาตรฐานและสารตัวอย่างจะถูกวางอยู่ในเตาเผา (Furnace) เดียวกันและมีแหล่งกำเนิดความร้อนเดียวกัน ตามรูปที่ 13

ฮีทฟลักซ์ดีเอสซีเป็นเทคนิคที่วัดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง (ΔT) เมื่อสารตัวอย่างหลอมเหลว (Melting) จะเกิดปฏิกิริยาคูดความร้อน (Endothermic reaction) อุณหภูมิของสารตัวอย่างและสารมาตรฐานจะแตกต่างกัน ซึ่งมีเทอร์โมคอปเปอร์ (Thermocouple) เป็นตัววัดสัญญาณความแตกต่างของอุณหภูมินั้น สัญญาณที่ได้นี้จะถูก



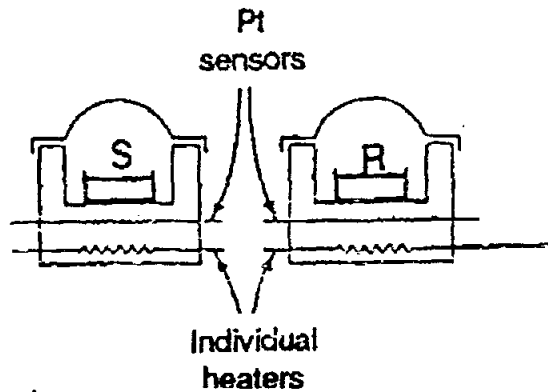
รูปที่ 13 แสดงระบบฮีทฟลักซ์ดีเอสซี (Heat-Flux DSC)

แปลงไปเป็นพลังงานโดยใช้ K-factor ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าฮีทฟลักซ์ดีเอสซี วัดการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน โดยการแปลงค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไปเป็นการเปลี่ยนค่าของพลังงาน ผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นเทอร์โมแกรม(Thermogram)ที่พลอตระหว่างอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่เกิดขึ้น (Heat Flow) ดูรูปที่ 14



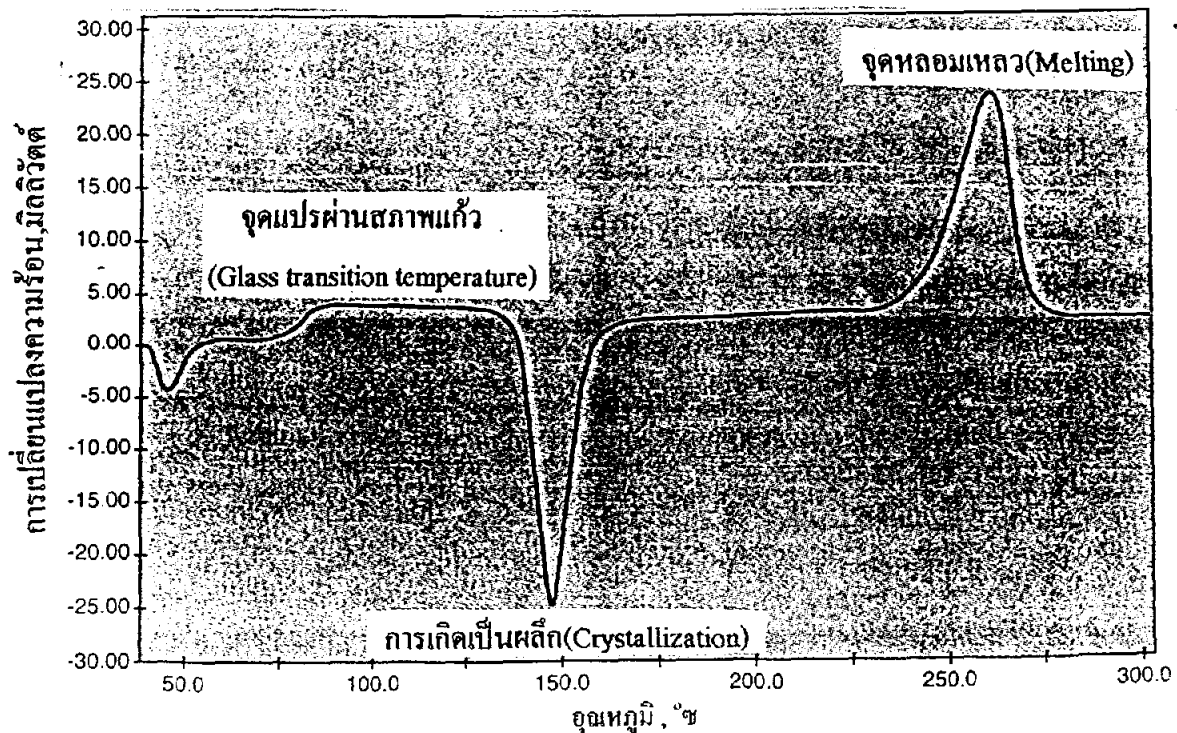
รูปที่ 14 แสดงเทอร์โมแกรม โดยเทคนิคฮีทฟลักซ์ดีเอสซี

ทาวเวอร์คอมเพนเซชันดีเอสซี (Power Compensation DSC) สารตัวอย่างและสารมาตรฐานจะวางอยู่ในเตาเผาคนละอัน



รูปที่ 15 แสดงถึงระบบ ทาวเวอร์คอมเพนเซชันดีเอสซี

หลักการนี้เป็นการตรวจวัดพลังงานโดยตรงที่เครื่องต้องการพลังงานชดเชย(Power Compensate) เพื่อให้สารตัวอย่างและสารมาตรฐานอยู่ในสภาพอุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่งตลอดการทดลอง (Null-Balance Principle) ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature sensor) และตัวให้ความร้อน (Heater) จะทำงานร่วมกัน กล่าวคือเมื่อสารตัวอย่างเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อนอุณหภูมิของเตาเผาส่วนของสารตัวอย่างจะลดลง เพื่อที่จะรักษาอุณหภูมิให้เท่ากับส่วนของสารมาตรฐาน ปริมาณที่แน่นอนของความร้อนที่สารตัวอย่างดูดไว้ถูกป้อนให้กับเตาเผาของสารตัวอย่าง ดังนั้นการตรวจวัดที่เกิดขึ้นคือการตรวจวัดพลังงานที่ชดเชยโดยการป้อนความร้อนให้กับเตาเผาส่วนของสารตัวอย่างหรือสารมาตรฐาน ผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นเทอร์โมแกรม (Thermogram) ตามรูปที่ 16



รูปที่ 16 แสดงเทอร์โมแกรม โดยเทคนิคทาวเวอร์คอมเพนเซชันดีเอสซี

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ และผลการศึกษาทดลอง

3.1 ตัวอย่าง

ตัวอย่างพลาสติกที่นำมาวิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดต่างๆที่มีบริษัทที่เป็นผู้ส่งออก, โรงงานอุตสาหกรรมผู้ผลิตเม็ดพลาสติกและโรงงานที่ผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกต่างๆ รวมทั้งหน่วยราชการและรัฐวิสาหกิจเป็นผู้ส่งมาวิเคราะห์ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต่างๆ เหล่านี้ได้แก่ โคมไฟจราจร ,โต๊ะเก้าอี้นักเรียน ,เก้าอี้เข็นเก้าอี้ ,ท่อ, เส้นใย, พลาสติกลามิเนต และท่อเป็นต้น

3.2 วัสดุอุปกรณ์

- 3.2.1 แผ่นความร้อน (Hot plate)
- 3.2.2 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer(FTIR)
- 3.2.3 เครื่องอัดเป็นแผ่นแบบ KBR
- 3.2.4 เครื่องอัดเป็นแผ่นแบบใช้ความร้อน (Hydraulic press)
- 3.2.5 เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA)
- 3.2.6 เครื่อง Differential Scanning calorimeter (DSC)
- 3.2.7 เครื่องชั่งความละเอียด 0.0001 กรัม
- 3.2.8 เครื่องอ่างไอน้ำ (Water bath)

3.3 สารเคมี

- 3.3.1 โซเดียมไนโตรปริสไซด์ (sodium nitroprusside)
- 3.3.2 เฟอร์ริกคลอไรด์ (ferric chloride)
- 3.3.3 กรดไฮโดรคลอริก 5 นอร์มัล (Hydrochloric acid 5 N)
- 3.3.4 ออโร-ไนโตรเบนซัลดีไฮด์ (O-Nitrobenzaldehyde)
- 3.3.5 พารา-ไดเมทิลอะมิโนเบนซัลดีไฮด์ (p-dimethylamino benzaldehyde)
- 3.3.6 กรดอะซิติก (Acetic acid)
- 3.3.7 กรดโครโมโทรฟิก (Chromotropic acid)
- 3.3.8 แอลฟาแนฟทอล (α -naphthol)
- 3.3.9 ไดฟีนีลลามีน (Diphenylamine)

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการ

- 3.4.1 ลักษณะการติดไฟ
- 3.4.2 ทหาราคูในโพลีเมอร์

3.4.3 วิเคราะห์หาชนิดของพลาสติกด้วยเครื่อง FTIR

3.4.4 วิเคราะห์หาจุดหลอมเหลว, จุดแปรผ่านสภาพแก้วและเปอร์เซ็นต์การเกิดผลึกด้วยเครื่อง DSC

3.4.5 วิเคราะห์สมบัติทางเคมี

3.4.6 วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น, สารระเหยได้, พลาสติก, แคลเซียมคาร์บอเนต, คาร์บอน และ สารเสริมอื่นๆด้วยเครื่อง TGA

3.5 วิธีดำเนินการ

3.5.1 การทดสอบการติดไฟ⁽¹²⁾

นำพลาสติกขนาดประมาณ 0.1 กรัม วางบนช้อนคักสารเคมี (Spatula) ที่ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) และเผาไล่สารอื่นๆออกหมดแล้ว นำไปเผาโดยใช้ไฟอ่อนๆ คือช่องที่เปลวตรงส่วนที่ไม่มีสีจนกระทั่งเกิดควัน เอาช้อนออกจากเปลวไฟ คมกลืนและจดบันทึก นำกระดาษลิตมัส (Litmus) หรือแผ่นยูนิเวอร์แซล อินดิเคเตอร์ (Universal Indicator paper) pH 1-10⁽¹³⁾ ที่ทำให้ชื้นก่อนมาจ่อเหนือช้อน เพื่อดูว่าวันที่เกิดเป็น กรด ค่าง หรือเป็นกลาง จากนั้นจ่อช้อนที่ส่วนที่แรงที่สุดของเปลวไฟ สังเกตและจดบันทึกข้อมูลต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. พลาสติกติดไฟหรือไม่ ถ้าติดไฟติดยากหรือง่าย
2. ลักษณะของพลาสติกขณะติดไฟว่ามีการหลอมเหลว, การไหม้เมื่อหลอมเหลว หรือยังคงเป็นก้อนแข็ง
3. สีของเปลวไฟ
4. พลาสติกที่ติดไฟแล้ว เมื่อเอาออกจากเปลวไฟ ยังคงติดไฟต่อหรือดับเอง
5. สีของเถ้า

การสังเกตลักษณะการติดไฟต้องดูให้ละเอียดทั้งสีของเปลวไฟ สีของเถ้า ลักษณะของพลาสติกก่อนเมื่อติดไฟแล้วพลาสติกหลอมเหลว, ยังคงรูปทรงเหมือนเดิม หรือมีการบวมพองเมื่อติดไฟ และเขม่าที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปลักษณะการเผาไหม้จะบอกได้ว่าเป็นเทอร์โมพลาสติกหรือเป็นพลาสติกเทอร์โมเซต พลาสติกเทอร์โมเซตจะไม่หลอมเหลว พลาสติกบางชนิดเมื่อติดไฟจะมีลักษณะโดดเด่นเป็นพิเศษเฉพาะตัว เช่น โพลิสไตรีนและโคโพลิเมอร์ที่มีสไตรีนเป็นส่วนประกอบจะมีเขม่าดำมาก เวลเผาไหม้ พลาสติกซิลิโคนมีลักษณะการเผาไหม้ต่างจากพลาสติกตัวอื่นๆอย่างเห็นได้ชัดคือมีควันสีขาวจับตามหลอดทดสอบและเถ้าเป็นสีขาว ลักษณะการเผาไหม้ของพลาสติกต่างๆได้จากตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะการติดไฟของพลาสติกที่ติดไฟแต่ดับเองเมื่อเอาออกจากเปลวไฟ

ชนิดของพลาสติก	ลักษณะของเปลวไฟ
โพลีคลอโรไตรฟลูออโรเอทิลีน (Polychlorotrifluoroethylene,PCTFE)	เปลวสีเหลือง คว้นเป็นกรด กลิ่นฉุน(Acrid)
โพลีเตตราฟลูออโรเอทิลีน(Polytetrafluoroethylene,PTFE)	เปลวสีเหลือง ติดไฟยากและเป็นฝ้าขาวมาก คว้นเป็นกรด ไม่มีกลิ่น
โพลีเอมีด(Polyamide,PA) หรือ ไนลอน (Nylon)	เปลวสีฟ้ายอดเปลวสีเหลือง หลอมเหลวและ หยด กลิ่นเหมือนขนสัตว์หรือผมไหม้
โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride,PVC)	เปลวสีเหลืองฐานสีเขียว คว้นและกลิ่น ฉุน(Acrid)
โพลีไวนิลิดีนคลอไรด์ (Polyvinylidene chloride,PVDC)	เปลวสีเหลืองอ่อน เกิดประกายไฟ คว้นเป็นกรด กลิ่นแหลมฉุน (Pungent)
โพลีไวนิลฟลูออไรด์ (Polyvinyl fluoride,PVF)	ติดไฟยาก เมื่อติดไฟจะแตก , เปลี่ยนรูป (deform) เปลวสีเหลือง กลิ่นฟีนอล
ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (Phenol formaldehyde)	เปลวสีน้ำเงินอ่อนขอบสีน้ำเงิน-เขียว ติดไฟยาก
ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea formaldehyde)	คว้นเป็นค่าง กลิ่นฟอร์มัลดีไฮด์
เมลามีน ฟอร์มัลดีไฮด์ (Melaminic formaldehyde)	ติดไฟยาก ไหม้เกรียม (char) เปลวสีเหลืองขอบ สีน้ำเงิน-เขียว กลิ่นคล้ายปลา

การดูลักษณะการติดไฟอย่างเดียวไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นพลาสติกชนิดใด เนื่องจากพลาสติกหลายๆตัวมีลักษณะการติดไฟเหมือนกัน แม้ว่าพลาสติกบางตัวจะมีกลิ่นที่เกิดจากการเผาไหม้จะมีแตกต่างกันบ้าง แต่การดมกลิ่นต้องอาศัยความชำนาญมาก อาจเกิดความผิดพลาดในการวินิจฉัยได้ จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า PVC และ PVDC นั้นมีลักษณะการติดไฟเหมือนกันคือเปลวไฟจะมีสีเหลืองฐานสีเขียว แต่ PVDC เวลาติดไฟจะมีเขม่าดำ ถ้า PVC ใสสารเสริมอื่นหรือผสมกับโพลิเมอร์อื่น ก็อาจจะมีเขม่าดำเวลาเผาไหม้ได้เช่นกัน แต่ลักษณะการเผาไหม้ก็ยังคงเป็นข้อมูลที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในการหาชนิดของพลาสติก

ตารางที่ 3 แสดงลักษณะการคิดไฟของพลาสติกที่ติดไฟและยังคงติดไฟต่อเมื่อเอาออกจากเปลวไฟ

ชนิดของพลาสติก	ลักษณะของเปลวไฟ
อะคริโลไนไตรล-บิวทาไดอีน-สไตรีน (Acrylonitrile-butadiene-styrene,ABS)	เปลวสีเหลืองฐานสีน้ำเงิน เขม่าดำ กลิ่นสไตรีน
อัลคีด (Alkyd)	เปลวสีเหลือง เขม่าดำ กลิ่นแหลมฉุน
เซลลูโลส อะซิเตต (Cellulose acetate,CA)	เปลวสีเหลือง คว้นเป็นกรด กลิ่นกรดอะซิติก (Acetic acid)
เซลลูโลส อะซิเตต บิวทิเรต (Cellulose acetate butyrate,CAB)	เปลวสีเหลือง คว้นเป็นกรด กลิ่นกรดบิวทิริก (Butyric acid)
เซลลูโลสไนเตรต (Cellulose nitrate,CN)	เปลวสีเหลือง ไหม้เร็วมาก อาจระเบิดได้ (Explode) อาจมีกลิ่นการบูร
อีพอกไซด์ (Epoxyde)	เปลวสีเหลืองส้ม เขม่าดำ กลิ่นฉุน
เอทิลเซลลูโลส (Ethylcellulose)	เปลวสีเหลืองอ่อนฐานสีน้ำเงินเขียว มีกลิ่นคล้ายไม้ ไหม้เมื่อคิดไฟจะเหลวและหยด
โพลีอะคริโลไนไตรล (Polyacrylonitrile)	เปลวสีเหลือง เริ่มแรกมีกลิ่นไซยาไนด์ (cyanide) ต่อมากจะมีกลิ่นคล้ายไม้ไหม้
โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate,PC)	เปลวสีเหลือง เขม่าดำ ติดไฟยาก กลิ่นฟีนอลิก
โพลีเอสเตอร์ Polyester (ที่มี styrene อยู่ด้วย)	เปลวสีเหลืองฐานสีน้ำเงิน เขม่าดำมาก กลิ่นสไตรีน
โพลีเอทิลีน (Polyethylene,PE)	เปลวสีเหลืองฐานสีน้ำเงิน เมื่อคิดไฟจะหยดคล้าย เทียน และใสเมื่อหลอมเหลว
โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate,PET)	เปลวสีเหลือง เขม่าดำ กลิ่นหอม (sweet) เมื่อ หลอมเหลวจะใสไหลและตั้งเป็นเส้นได้
โพลีฟอร์มัลดีไฮด์ (Polyformaldehyde หรือPolyacetal)	เปลวสีเหลืองสีน้ำเงินอ่อน กลิ่นฟอร์มัลดีไฮด์
โพลีไอโซบิวทิลีน (Polyisobutylene)	เปลวสีเหลือง เขม่าดำ กลิ่นอ่อน (light) และ หอม (sweet)
โพลิมethylเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate,PMMA)	เปลวสีเหลืองฐานสีน้ำเงิน กลิ่นเมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate)

ชนิดของพลาสติก	ลักษณะของเปลวไฟ
โพลีโพรพิลีน (Polypropylene,PP)	เปลวสีเหลืองฐานสีน้ำเงิน เมื่อติดไฟจะหยดคล้ายเทียน เมื่อหลอมเหลวจะใส
โพลีสไตรีน (Polystyrene,PS)	เปลวสีเหลืองฐานสีน้ำเงิน เขม่าดำมาก กลิ่นสไตรีน
โพลียูรีเทน (Polyurethane,PU)	เปลวสีเหลืองฐานสีน้ำเงิน กลิ่นฉุน (Acrid)
โพลีไวนิลอะซิเตท (Polyvinyl acetate,PVAc)	เปลวสีเหลือง เขม่าดำ เขม่าสีดำ กลิ่นไวนิลอะซิเตท
โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol,PVAL)	เปลวสีเหลือง เขม่าดำดำสีดำ กลิ่นไม่น่าพอใจ (Unpleasant)
โพลีไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinyl pyrrolidone)	เปลวสีเหลืองฐานสีน้ำเงิน ติดไฟยาก กลิ่นคล้ายไม้ไหม้
ซิลิโคน (Silicone)	เปลวสีเหลืองสว่าง-ขาว ควันและแก๊รมีสีขาว

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าพลาสติกหลายตัวมีลักษณะการติดไฟเหมือนกันดังนั้นจากลักษณะการเผาไหม้ตามตารางที่ 2 และ 3 ยังไม่สามารถวินิจฉัยได้ชัดเจนว่าเป็นพลาสติกชนิดใด เช่น โพลีโอเลฟิน (Polyolefin) ซึ่งได้แก่ PE และ PP เมื่อติดไฟแล้วจะหลอมเหลว มีการหยดคล้ายเทียนเป็นต้น จำเป็นต้องวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือชนิดพิเศษต่างๆ ได้แก่ FTIR เพื่อนำอินฟราเรดสเปกตรัมซึ่งเปรียบเหมือนลายนิ้วมือ (Fingerprint) ของโพลิเมอร์ เทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิเมอร์มาตรฐานที่รัฐตร ครงสร้างแน่นอน

3.5.2 การวิเคราะห์ธาตุ (Elemental analysis) ⁽¹²⁾

วิธีการหาฮาโลเจน (Halogen) ง่ายๆ เรียกว่า Beilstein test ทำได้โดยใช้หลอดทองแดงเผาไฟให้ร้อนแดงและที่โพลิเมอร์ แล้วนำมาจ่อที่เปลวไฟ ถ้าเปลวไฟมีสีเขียวแสดงว่ามีฮาโลเจน ซึ่งได้แก่ คลอรีน ฟลูออรีน และ โบรมีน

การหาธาตุด้วยวิธีทางเคมีใช้วิธีโซเดียมฟิวชัน (Sodium fusion) ทำได้โดยทำให้โซเดียมเป็นชิ้นเล็กๆขนาด 0.02 กรัม ใส่ในหลอดทดสอบแล้วใส่โพลิเมอร์ 0.1 กรัม ลงไป นำหลอดทดสอบไปเผาไฟโดยใช้ไฟอ่อนๆก่อน เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์ แล้วจึงเพิ่มไฟให้แรงขึ้น เมาจนหลอดทดสอบร้อนแดง จุ่มลงในบีกเกอร์ (beaker) ที่ใส่น้ำกลั่นไว้ประมาณ 20 มิลลิลิตร จนหลอดทดสอบแดง นำไปต้มจนเดือด กรอง นำสารละลายมาแบ่งออกเป็น 4 ส่วน เพื่อนำมาทดสอบ ในโคโรเจน

(Nitrogen,N) , ซัลเฟอร์ (Sulfur,S) , คลอรีน (Chlorine,Cl) ,โบรมีน (Bromine,Br) และฟลูออรีน (Fluorine,F)

3.5.2.1 การทดสอบไนโตรเจน(N)

นำสารละลายส่วนที่ 1 มาต้มกับเฟอร์รัสซัลเฟต 5 % ในน้ำ(Aqueous ferrous sulfate 5%) ที่เตรียมมาใหม่ ๆ 3 หยด ทำให้เย็น หลังจากทำให้เป็นกรดด้วยกรดซัลฟูริก 5 นอร์มัล (Sulfuric acid 5 N) เติม เฟอร์ริกคลอไรด์ในน้ำ ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล (Aqueous ferric chloride 0.5 N) 1 หยด ถ้าเกิดตะกอนสีน้ำเงิน (Prussian blue) ของ เฟอร์ริคเฟอร์โรไซยาไนด์ (Ferric ferrocyanide) แสดงว่ามีไนโตรเจน

3.5.2.2 การทดสอบซัลเฟอร์ (S)

นำสารละลายโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ 5 % ในน้ำ (Aqueous sodium nitroprusside 5%) ที่เตรียมใหม่ ๆ จำนวน 3 หยด เติมลงในสารละลายส่วนที่ 2 ถ้าเกิดสีม่วง แสดงว่ามี ซัลเฟอร์

3.5.2.3 การทดสอบคลอรีนและโบรมีน (Cl and Br)

สารละลายส่วนที่ 3 ทำให้เป็นกรดด้วยกรดไนตริก 5 นอร์มัล(Nitric acid) ถ้าพบว่ามีอย่างมีไนโตรเจนหรือซัลเฟอร์ ให้ต้มสารละลายนาน 2 นาทีก่อน แล้วเติมซิลเวอร์ไนเตรต 0.1 นอร์มัลในน้ำ (aqueous silver nitrate 0.1N) ถ้าเกิดตะกอนขาวและตะกอนขาวนั้นละลายในแอมโมเนีย แสดงว่ามีคลอรีน ถ้าตะกอนเป็นสีเหลืองและไม่ละลายในแอมโมเนีย แสดงว่ามีโบรมีน

3.5.2.4 การทดสอบฟลูออรีน(F)

เตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต(Silver nitrate)และอะลิซาริน เรด เอส (Alizarin red s) อย่างละ 0.1% ในน้ำ แล้วใช้กระดาษกรองจุ่มในสารละลาย ทั้งกระดาษไว้ให้แห้ง ก่อนจะนำไปใช้ให้จุ่มกระดาษกรองที่เตรียมไว้ใน กรดอะซิติก 50% ในน้ำ (Aqueous acetic acid) นำสารละลายส่วนที่ 4 มาทำให้เป็นกลางด้วยกรดไฮโดรคลอริก 5 นอร์มัล (Hydrochloric acid 5 N) แล้วนำสารละลายนั้นมา 1 หยด หยดลงบนกระดาษกรอง ถ้าจุดสีแดงบนกระดาษกรองกลายเป็นสีเหลือง แสดงว่ามีฟลูออรีน

การหาราคของพลาสติกแต่ละชนิดนั้นเป็นข้อมูลสำคัญที่ทำให้วิเคราะห์ขั้นต่อไปได้ง่ายขึ้น จากลักษณะการติดไฟในตารางที่ 2 ซึ่งเป็นพลาสติกที่ติดไฟเมื่อเอาออกจากเปลวไฟแล้วดับเองนั้นมีพลาสติกที่ติดไฟเปลวไฟสีเหลืองมีอยู่ 3 ตัว ได้แก่ PCTFE, ฟีนอล ฟอर्मัลดีไฮด์ และ PTFE พลาสติกทั้ง 3 ตัวมีความแตกต่างกันตรงปริมาณธาตุกล่าวคือ PCTFE มี คลอรีนและ ฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบ ฟีนอล ฟอर्मัลดีไฮด์ ไม่มีธาตุอื่น ๆ นอกจากคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ส่วน PTFE มีฟลูออรีนไม่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการหาราคจะทำให้แยกออกได้ว่าเป็น PCTFE , PTFE หรือ ฟีนอล ฟอर्मัลดีไฮด์

จากตารางที่ 3 PS และ ABS ซึ่งมีลักษณะการเผาไหม้เหมือนกัน กล่าวคือติดไฟเมื่อเอาออกจากเปลวไฟยังคงติดไฟต่อ เปลวไฟมีสีเหลืองฐานสีน้ำเงิน เขม่าดำ มีกลิ่นสไตรีน เหมือนกัน เนื่องจาก ABS มีสไตรีนเป็นส่วนประกอบด้วยเช่นกัน แต่ PS และ ABS ต่างกันที่ ABS มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบแต่ PS ไม่มี ดังนั้นถ้าโพลีเมอร์นั้นเผาแล้วมีเขม่าดำมาก และมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบแสดงว่า พลาสติกนั้นน่าจะเป็น ABS อย่างไรก็ตามการดูลักษณะการติดไฟและการหาราชาดเป็นการวิเคราะห์เบื้องต้นเท่านั้นยังไม่สามารถสรุปได้ว่าเป็นพลาสติกชนิดใด การจะวินิจฉัยว่าเป็นพลาสติกใดต้องวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR และบางครั้งก็ต้องใช้ข้อมูลในเรื่องจุดหลอมเหลว, จุดแปรผ่านสภาพแก้วและเปอร์เซ็นต์การเป็นผลึกซึ่งหาได้ด้วยเครื่อง DSC มาประกอบด้วย

เมื่อหาราชาดที่มีในพลาสติกได้ ก็สามารถจะบอกได้ว่าพลาสติกนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นพลาสติกประเภทใด โดยแยกประเภทพลาสติกตามราชาดที่มีอยู่ดังนี้

พลาสติกที่มีไนโตรเจน ได้แก่

- อะคริโลไนไตรล-บิวทาไดอิน-สไตรีน (ABS)
- เซลลูโลส ไนเตรต (CN)
- โพลีอะคริโลไนไตรล
- เมลามีน พอร์มัลดีไฮด์
- ไนลอน
- ยูเรียพอร์มัลดีไฮด์
- โพลียูรีเทน (PU)
- โพลีไพโรลิดีน (Polyvinylpyrrolidone)

พลาสติกที่มีซัลเฟอร์

- คาสซีน ที่มีไนโตรเจนอยู่เล็กน้อย [Casein (small amount with nitrogen)]

พลาสติกที่มีคลอรีน

- โพลีคลอโรไตรฟลูออโรเอทิลีน (PCTFE)
- โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC)
- โพลีไวนิลลิซีน คลอไรด์ (PVDC)
- รับเบอร์ไฮโดรคลอไรด์ (Rubber hydrochloride)

พลาสติกที่มีฟลูออรีน

- โพลีคลอโรไตรฟลูออโรเอทิลีน (PCTFE)
- โพลีเตตราฟลูออโรเอทิลีน (PTFE)

- โพลีไวนิลฟลูออไรด์ (PVF)

พลาสติกที่ไม่มีไนโตรเจน, ซัลเฟอร์ หรือ ฮาโลเจน

- อัดคิค
- เซลลูลอส อะซีเตต (CA)
- เซลลูลอส อะซีเตต บิวทีเรต (CAB)
- เอทิลเซลลูลอส
- อีพอกไซด์ (Epoxide)
- โพลีคาร์บอเนต (PC)
- ฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์
- โพลีฟอร์มาลดีไฮด์
- โพลีเอสเทอร์
- โพลีเอทิลีน (PE)
- โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET)
- โพลีไอโซบิวทิลีน
- โพลีเมทิลเมทาคริเลต (PMMA)
- โพลีโพรพิลีน (PP)
- โพลิสไตรีน (PS)
- โพลีไวนิลอะซิเตต (PVAc)
- โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVAL)
- ซิลิโคน (Silicone)

3.5.3 การหาชนิดของพลาสติกด้วยเครื่องมือชนิดพิเศษ

3.5.3.1 การหาชนิดพลาสติกด้วยเครื่อง FTIR

3.5.3.1.1 วิธีดำเนินการ

การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR นั้นมีหลายวิธี วิธีที่ใช้กันทั่วไปมีดังนี้

3.5.3.1.1.1 ถ้าพลาสติกนั้นเป็นเทอร์โมพลาสติกให้นำมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ วางกระจายบนแผ่นอะลูมิเนียม ให้ห่างกันพอประมาณเพื่อให้ได้ฟิล์มที่บาง นำไปวางบนแท่นความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสมไว้แล้ว ซึ่งโดยทั่วไปแล้วถ้าไม่ทราบว่าเป็นพลาสติกชนิดใดให้เริ่มที่ความร้อนประมาณ 150 องศาเซลเซียสก่อน ถ้ายังไม่หลอมเหลวให้เพิ่มอุณหภูมิขึ้นอีกครั้งละประมาณ 50 องศาเซลเซียสจนกว่าจะหลอมเหลว เลื่อนแท่นความร้อนแผ่นล่างขึ้นชิดกับแผ่นบนทิ้งไว้ 30 วินาที เพื่อให้

พลาสติกหลอมเหลวก่อนแล้วจึงอัดความดันจนขึ้นถึง 8-9 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทิ้งไว้ประมาณ 5 วินาที แล้วปล่อยความดันออก แทนความร้อนแผ่นล่างจะเลื่อนลงมา นำพลาสติกซึ่งเป็นฟิล์มบางออกจาก แทนความร้อนเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย FTIR ต่อไป

3.5.3.1.1.2 เทอร์โมพลาสติกบางชนิดสามารถละลายในตัวทำละลายได้ จึง สามารถใช้วิธีละลายในการเตรียมสารตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ด้วย FTIR โดยเลือกตัวทำละลายจากตารางที่ 4 มาละลายพลาสติกแล้วระเหยเอาตัวทำละลายออกให้หมด ส่วนที่เหลือจากการระเหยป้ายบนควอทซ์ เซลล์ (Quartz cell) เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย FTIR ต่อไป

ตารางที่ 4 แสดงการละลายของพลาสติกชนิดต่างๆ⁽¹¹⁾

พลาสติก	ตัวทำละลาย
อะครีโลไนไตรล-บิวตาไดอิน-สไตรีน	โทลูอิน (Toluene)
อะคริลิก	อะซีโตน (Acetone)
เซลลูโลสอะซีเตต	อะซีโตน (Acetone)
เซลลูโลสอะซีเตต บิวทีเรต	อะซีโตน (Acetone)
โพลีเอมีด	เอทานอลที่ร้อน (Hot aqueous ethanol)
โพลีสไตรีน	อะซีโตน
โพลีไวนิลอะซีเตต	อะซีโตน
โพลีคาร์บอนต	เบนซีน-โทลูอินที่ร้อน (Hot benzene-toluene)

3.5.3.1.1.3 ถ้าเป็นพลาสติกเทอร์โมเซต ให้ขูดเป็นผงละเอียดประมาณ 1 มิลลิกรัม นำมาบดกับโปแตสเซียมโบรมาไซด์ (Potassium bromide, KBR) หนักประมาณ 100-200 มิลลิกรัม ใส่ลงในแม่พิมพ์ซึ่งเป็นรูปกลมแล้วจึงอัดด้วยเครื่องอัดเป็นแผ่นแบบ KBR ซึ่งเป็นเครื่องอัดพิเศษอัดภายใต้ความดันสูง (10,000-15,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ออกมาเป็นแผ่น ซึ่งบางและโปร่งใสมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 มิลลิเมตรและหนาประมาณ 1-2 มิลลิเมตร KBR ไม่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรดในช่วง $667-4000\text{ cm}^{-1}$ แต่ KBR ดูดความชื้นในอากาศได้ง่าย จึงอาจพบแถบปรากฏใกล้ 3448 cm^{-1} และ 1639 cm^{-1} อันเนื่องมาจากความชื้น ในปัจจุบันเครื่อง FTIR มีเทคนิคคิฟิว รีเฟล็กแทนซ์ (Diffuse Reflectance) ซึ่งเป็นอุปกรณ์เสริมสำหรับสารตัวอย่างที่เป็นผง โดยนำตัวอย่างที่เป็นผงนั้นผสมกับ KBR โดยไม่ต้องอัดเป็นแผ่น ใส่ในถ้วยซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ จากนั้นใส่อุปกรณ์นี้ลงในช่องสำหรับใส่ตัวอย่าง และสแกนเพื่อเก็บอินฟราเรดสเปกตรัมได้เลย

3.5.3.1.1.4 พลาสติกเทอร์โมเซตที่มีสารเสริมปริมาณมากควรเตรียมด้วยวิธีเผาและเก็บไอที่เกิดจากการเผาไหม้และควบแน่น (Condensate from pyrolysis) มาทาบน ควอทซ์เซลล์ (Quartz cell) เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย FTIR ต่อไป

3.5.3.1.1.5 นำพลาสติกที่เตรียมไว้จากข้อ 3.5.3.1.1.1 - 3.5.3.1.1.4 ใต้งในช่อง สำหรับใส่ตัวอย่าง สแกน(scan) และพิมพ์อินฟราเรดสเปกตรัมไว้เพื่อนำไปแปลผลต่อไป

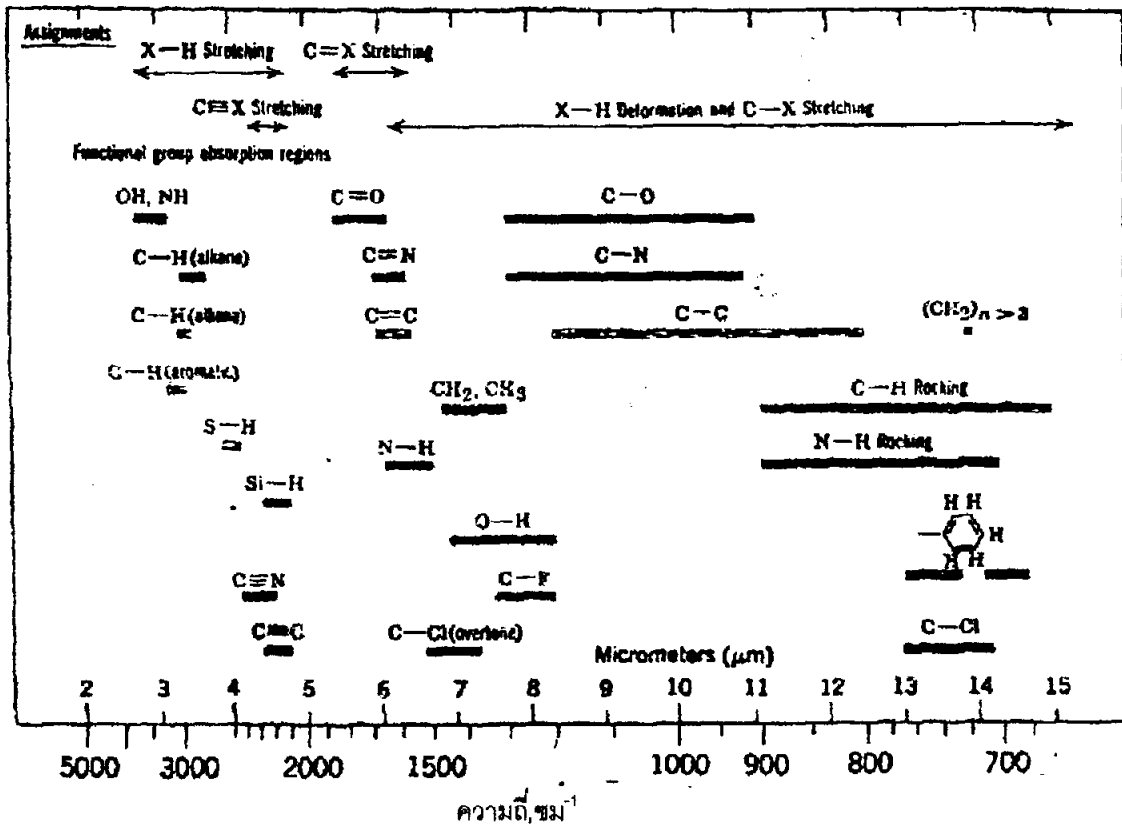
3.5.3.1.1.6 กรณีที่เป็นพลาสติกทึบแสงหรือเป็นฟิล์ม 2 ชั้นประกบกันและไม่สามารถ แยกฟิล์มออกจากกันได้ หรือกรณีที่ศึกษาเฉพาะส่วนที่เคลือบผิวหน้าของพลาสติกก็สามารถวิเคราะห์ ได้โดยใช้เทคนิค แอทเทนนูเอท โทเทิล รีเฟล็กชัน เรียกย่อๆว่า เอทีอาร์ (Attenuated Total Reflection,ATR) เทคนิค เอทีอาร์ นั้นเป็นการวางสารตัวอย่างให้ประกบติดกับแผ่นคริสตัล [เช่น ซิงค์ เซเลนิต์ (Zinc selenide)] รั้งอินฟราเรดจะส่องกระทบสารตัวอย่างแล้วสะท้อนกลับไปเข้าตัวตรวจ จับรังสี (Detector) จึงเป็นวิธีที่ศึกษาเฉพาะส่วนผิวของวัตถุเท่านั้น

สิ่งที่สำคัญมากในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ก็คือการเตรียมตัวอย่างเพื่อมาวิเคราะห์ ถ้าเตรียมตัวอย่างโดยเลือกวิธีการเตรียมตัวอย่างที่ไม่เหมาะสมจะได้อินฟราเรดสเปกตรัมที่จะทำให้ ความเข้าใจไขว้เขว และวินิจฉัยผิดพลาดได้ เช่นถ้าสารตัวอย่างมีสารเสริมในปริมาณมาก ถ้าเตรียม ตัวอย่างด้วยวิธีอัดให้เป็นแผ่นแบบ KBRแล้วอินฟราเรด สเปกตรัมที่ได้จะเป็นแถบของหมู่ฟังก์ชันนัล ของสารเสริมมากกว่าของพลาสติก ดังนั้นต้องเลือกวิธีเตรียมตัวอย่างให้เหมาะสม ซึ่งสิ่งเหล่านี้ขึ้นอยู่กับ ความชำนาญและประสบการณ์ของผู้วิเคราะห์

3.5.3.1.2 วิธีแปลผลอินฟราเรดสเปกตรัม ^(๓)

ในการวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่ไม่รู้ว่าเป็นพลาสติกชนิดใด ซึ่ง ในที่นี้จะเรียกว่าสารตัวอย่าง จะมุ่งความสนใจต่อแถบการดูดกลืนรังสีของหมู่ฟังก์ชันนัลที่สำคัญๆ เช่น C=O , O-H , N-H , C-O , C=C , C≡C , C≡N และ NO₂ แถบการดูดกลืนรังสีของหมู่ฟังก์ชันนัล เหล่านี้จะช่วยให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของสารได้ทันที และตัดสินใจได้ว่าสารตัวอย่างนั้นเป็น พลาสติกประเภทใด

ลักษณะที่สำคัญเด่นชัดของอินฟราเรดสเปกตรัม ได้แก่ ความถี่ของรังสีอินฟราเรดช่วง ที่มีแถบ(Band), ความสูงของแถบ(intensity of band) และรูปร่างของแถบ แถบของอินฟราเรด สเปกตรัมเกิดจากการดูดกลืนแสงของหมู่ฟังก์ชันนัลของพลาสติก แผนภูมิในรูปที่17 จะรวบรวม ช่วงความถี่คลื่นที่สำคัญที่หมู่ฟังก์ชันนัลต่างๆในพลาสติกดูดกลืน ซึ่งจะช่วยให้การแปลความหมาย เกี่ยวกับโครงสร้างของพลาสติกง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 17 แสดงการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันนัลต่างๆ ในช่วงจำนวนคลื่นเฉพาะตัว

ช่วง 4000-3200 cm^{-1} จะเป็นการสั่นแบบยืด(stretching) ของพันธะ N-H และ O-H

ช่วง 3100-3000 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของพันธะ C-H ในสารประกอบอะโรมาติก (Aromatic) และ โอลิฟินิก (Olefinic)

ช่วง 3000-2800 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของพันธะ C-H ของหมู่เมทิล(methyl group) และเป็นการสั่นแบบทั้งสมมาตร (symmetrical)และไม่สมมาตร (Asymmetrical) ถ้ามีแถบสูงมาก (Strong band)ในช่วงนี้ แสดงว่ามีกลุ่มเมทิลีน(methylene group)หลายกลุ่ม

ช่วง 2500-2000 cm^{-1} ถ้ามีแถบในช่วงนี้แสดงว่ามีพันธะคู่ (double bonds) และพันธะสาม(triple bonds)ซึ่งจะเป็นพวกไอโซไซยานเนต(Isocyanate)หรือไนไตรล (Nitrile)

ช่วง 1870-1550 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของคาร์บอนิล (carbonyl stretching) ถ้ามีแถบในช่วงนี้แสดงว่าเป็นแอนไฮไดรด์ (anhydride), เอสเทอร์ (ester) ,คีโตน(ketones), กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) หรือเอมิด (amide)

ช่วง 1690-1630 cm^{-1} แถบในช่วงนี้เกิดจากการสั่นแบบยืดของพันธะคู่(C=C stretching) ของพวกโอเลฟิน (Olefinic compound)

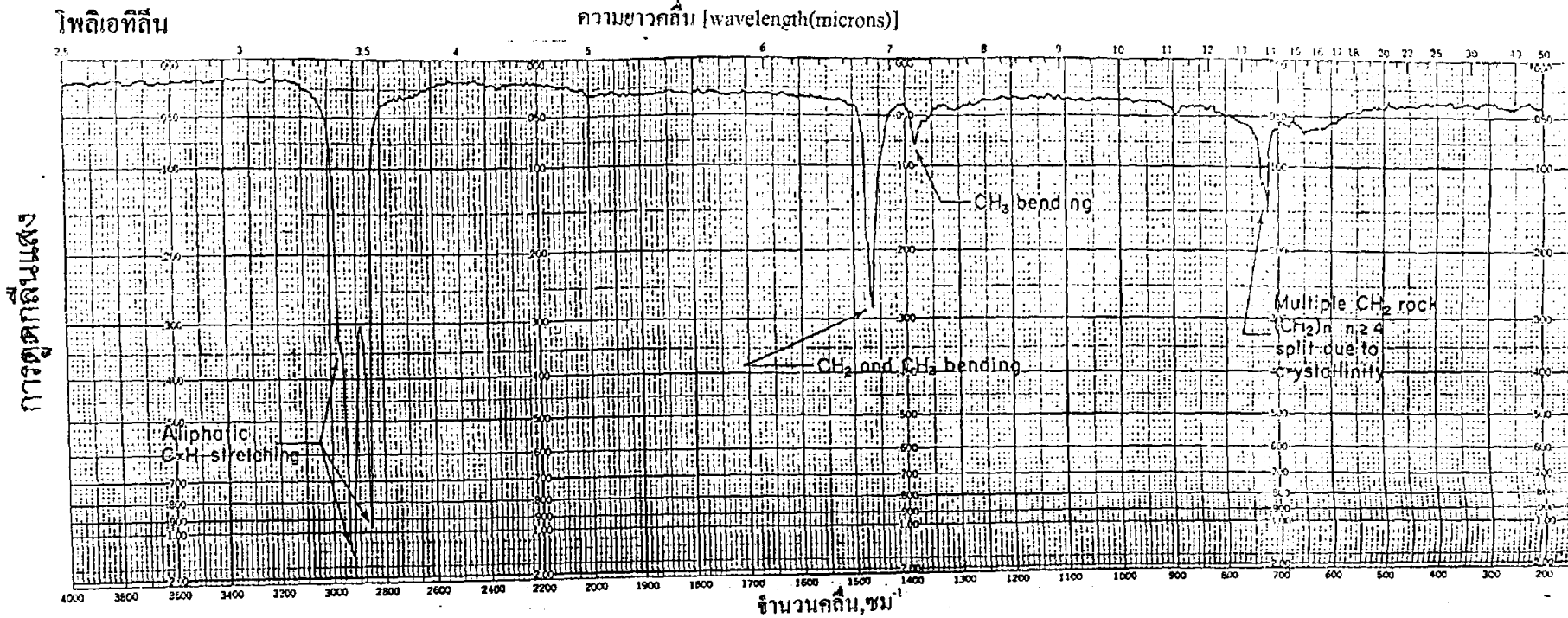
ช่วง 1600-1450 cm^{-1} แถบในช่วงนี้เนื่องจากมีพวกอะโรมาติก (Aromaticity)

ช่วง 1490-1150 cm^{-1} แถบในช่วงนี้เกิดจากการสั่นแบบงอในระนาบเดียวกัน (In-plane bending vibration) ของพันธะ C-H ของกลุ่มเมทิลและเมทิลีน

ช่วง 1310-1020 cm^{-1} แถบในช่วงนี้เป็นลักษณะพิเศษของการเชื่อมต่อแบบของอีเทอร์ (Ether linkage)

ช่วง 900-670 cm^{-1} แถบในช่วงนี้เป็นลักษณะพิเศษของสารประกอบอะโรแมติกที่มีการถูกแทนที่ (Substitued aromatic compound)

ในการวิเคราะห์หาชนิดของพลาสติกด้วยเครื่อง FTIR สิ่งที่สำคัญที่สุดคือการแปลผลจากแถบต่างๆของอินฟราเรดสเปกตรัม ดังตัวอย่างต่อไปนี้

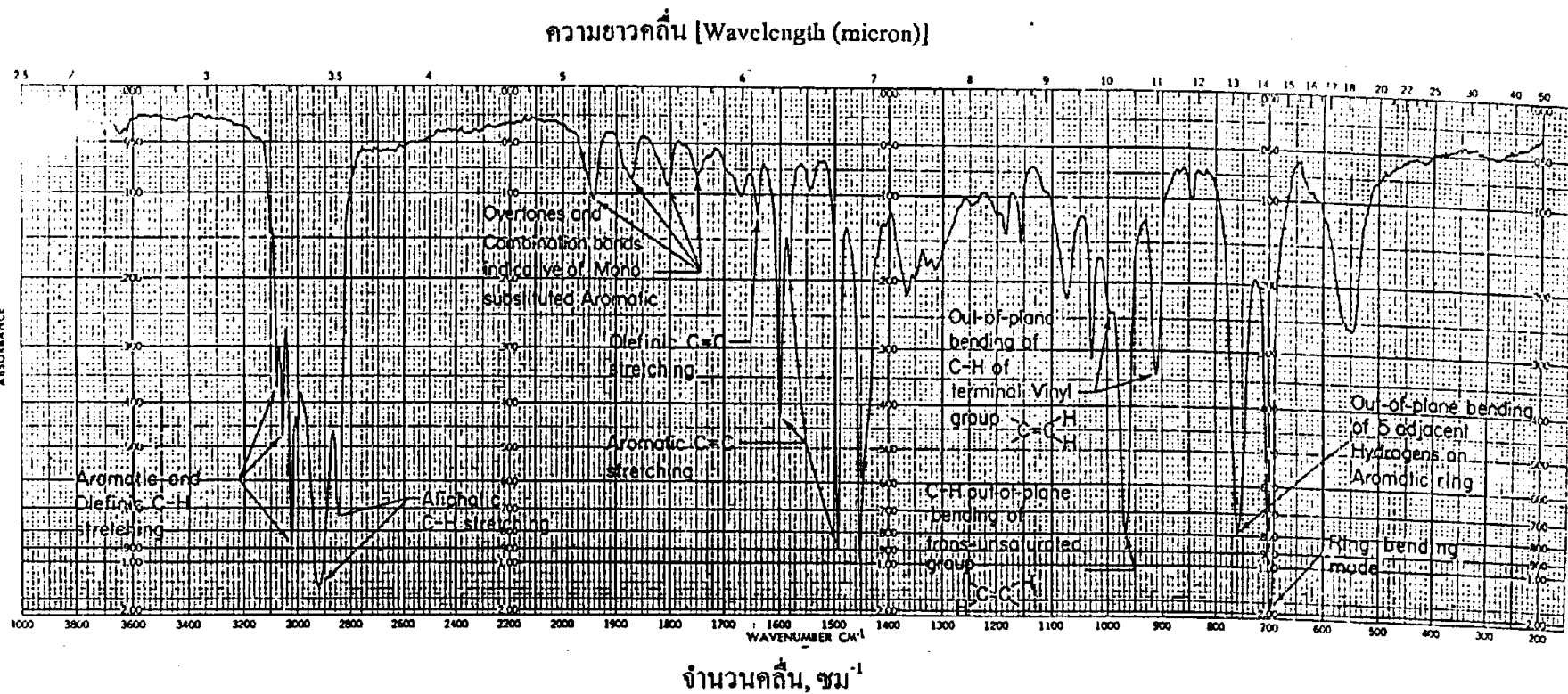


รูปที่ 18 อินฟราเรดสเปกตรัมของโพลีเอทิลีน

จากรูปที่ 18 จะเห็นได้ว่าแถบที่สูงที่สุดได้แก่ที่ช่วง 3000-2800 cm^{-1} การดูดกลืนรังสีช่วงนี้เนื่องมาจากการสั่นแบบยืดของพันธะ C-H ของหมู่เมทิล (methyl group) และเป็นการสั่นแบบทั้งสมมาตร (symmetrical) และไม่สมมาตร (Asymmetrical) แถบที่สูงมาก (Strong band) ในช่วงนี้ แสดงว่ามีกลุ่มเมทิลีน (methylene group) หลายกลุ่ม และมีแถบในช่วง 1490-1150 cm^{-1} ด้วยจึงเป็นการยืนยันได้แน่นอนว่ามีกลุ่มเมทิลและเมทิลีน เนื่องจากแถบช่วงนี้เกิดจากการสั่นแบบงอในระนาบเดียวกัน (In-plane bending vibration) ของพันธะ C-H ของกลุ่มเมทิลและเมทิลีน แถบสุดท้ายที่พบได้แก่แถบที่ 730-720 cm^{-1} เป็นช่วงแคบๆที่เกิดจากกลุ่มเมทิลีนที่อยู่ติดๆกัน 4 หน่วยขึ้นไป

จากการแปลผลอินฟราเรดสเปกตรัมข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีแค่พันธะของคาร์บอนกับไฮโดรเจน จึงเป็นพวกๆไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว (Long-chain hydrocarbon) เมื่อนำอินฟราเรดสเปกตรัมนี้ไปเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลีเอทิลีน จะมีพิกัดที่เหมือนกัน แสดงว่าเป็น โพลีเอทิลีน

การดูดกลืนแสง



รูปที่ 19 อินฟราเรดสเปกตรัมของสไตรีน-บิวตาไดอิน โคลิเมอร์

โพลีสไตรีน-บิวตาไดอีน โคโพลิเมอร์

จากรูปที่ 19 จะเห็นได้ว่ามีแถบที่ $3200-3000 \text{ cm}^{-1}$ เนื่องจากการสั่นแบบยืดของพันธะ C-H ของโปรตอนจากกลุ่มอะโรแมติก (Aromatic) และ โอลิฟินิก (Olefinic) แถบที่ $2000-1668 \text{ cm}^{-1}$ เกิดขึ้นเนื่องจากการสั่นของโมเลกุลของไฮโดรเจนในวงแหวนเบนซีน (Benzene ring) การที่มีแถบในช่วงนี้แสดงว่า มีวงแหวนเบนซีนที่ถูกแทนที่ด้วยหมู่ของสารอื่น 1 หมู่ (monosubstituted aromatic ring) และแถบที่ 760 cm^{-1} เกิดขึ้นจากการเกิดการสั่นแบบงอนอกระนาบ (out of plane bending) ของไฮโดรเจน 5 ตัวบนวงแหวนอะโรแมติก (aromatic ring) เป็นแถบที่ใช้ยืนยันการเป็นอะโรแมติก นอกจากนี้แถบที่ $1600, 1580, 1500, 1450$ และ 700 cm^{-1} เป็นแถบที่ยืนยันการเป็นอะโรแมติกด้วย

แถบในช่วง $1500-1400 \text{ cm}^{-1}$ เกี่ยวพันกับการสั่นแบบงอของหมู่ CH_2 และ CH และแถบที่ 965 cm^{-1} นั้นเกิดเนื่องมาจากการมีหมู่ของสารที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated) ได้แก่การมีกลุ่มไวนิลที่ท้ายสุดของสายโซ่ (terminal vinyl group)

ผลของการวิเคราะห์จากแถบต่าง ๆ บนอินฟราเรดสเปกตรัมนี้แสดงให้เห็นว่าสารตัวอย่างเป็นอะโรแมติกที่มีหมู่ที่ถูกแทนที่ 1 หมู่ (monosubstituted aromatic) และมีหมู่ไวนิลอยู่ด้วย เนื่องจากสารตัวอย่างเป็นโพลิเมอร์ โพลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเช่นนี้มีเพียง 2-3 ตัวเท่านั้น จึงสามารถหาอินฟราเรดสเปกตรัมของสารมาตรฐานมาเปรียบเทียบได้ อินฟราเรดสเปกตรัมของพลาสติกในรูปที่ 19 เป็น สไตรีน-บิวตาไดอีน โคโพลิเมอร์

จะเห็นได้ว่าการแปลผลอินฟราเรดสเปกตรัมจะง่ายขึ้นถ้าดูตามแผนภูมิในรูปที่ 17 แต่การแปลผลทำให้ทราบแต่หมู่ฟังก์ชันนัลที่ประกอบอยู่ในพลาสติกนั้นเท่านั้น การจะวินิจฉัยว่าเป็นพลาสติกชนิดใด ต้องนำอินฟราเรดสเปกตรัมของสารตัวอย่างไปเปรียบเทียบโดยตรงกับอินฟราเรดสเปกตรัมของสารมาตรฐาน

การหาชนิดของพลาสติกทำได้โดยการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของสารตัวอย่างกับอินฟราเรดสเปกตรัมของสารมาตรฐานที่รู้สูตรแน่นอนโดยตรง (Direct comparison) ถ้าแถบและพีค(peak) ต่างๆตรงกันแสดงว่าเป็นพลาสติกนั้น แต่เนื่องจากพลาสติกมีมากมายหลายพันตัว การที่จะหาสเปกตรัมที่เหมือนกับพลาสติกที่ต้องการหาชนิดนั้นจึงยากมาก จำเป็นต้องรู้คุณสมบัติพื้นฐานของพลาสติกนั้นก่อนเช่นลักษณะการติดไฟ และธาตุที่เป็นองค์ประกอบในพลาสติกนั้น ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวนี้จะทำให้รู้ว่าสารตัวอย่างนั้นเป็นพลาสติกอะไรได้บ้าง จากนั้นอาศัยการแปลผลอินฟราเรดสเปกตรัมเพื่อดูว่าแถบของอินฟราเรดสเปกตรัมมีการดูดกลืนแสงที่ความถี่คลื่นเท่าใดบ้าง และการดูดกลืนรังสีนั้นเนื่องมาจากหมู่ฟังก์ชันชนิดใด แล้วนำข้อมูลดังกล่าวรวมกับข้อมูลในเรื่องการติดไฟและธาตุที่มีในพลาสติกนั้นมาประมวลผลว่าพลาสติกที่อยู่ในข่ายที่มีความเป็นไปได้นั้นมีพลาสติกชนิดใดบ้าง แล้วจึงนำอินฟราเรดสเปกตรัมของพลาสติกนั้นมาเปรียบเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมของสารตัวอย่าง

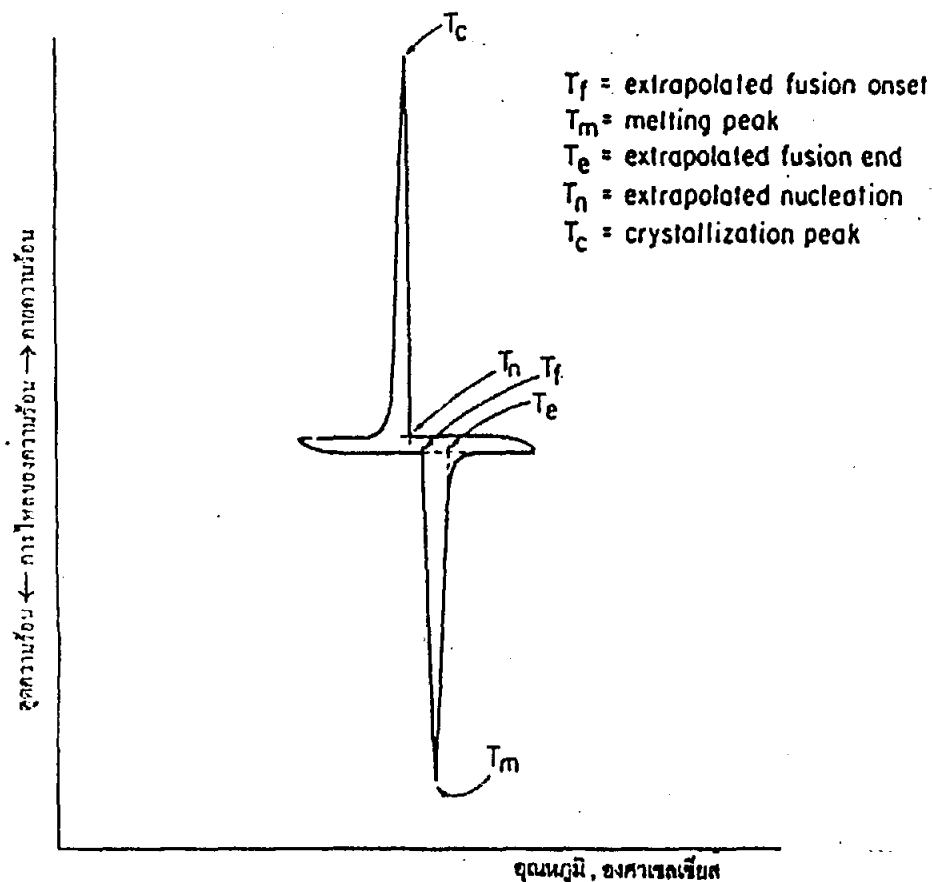
ในสารตัวอย่างบางชนิดเมื่อหาอินฟราเรดสเปกตรัมของสารมาตรฐานมาเปรียบเทียบได้ และถ้าสารตัวอย่างมีอินฟราเรดสเปกตรัมเหมือนกับของสารมาตรฐานแบบพีคต่อพีค แล้วก็สรุปได้ทันทีเลยว่าเป็นพลาสติกตัวนั้นๆ แต่ในบางกรณีเช่น PE จะแยกออกเป็น HDPE, LDPE หรือ LLDPE นั้นต้องหาจุดหลอมเหลวหรือความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์การเกิดผลึกประกอบด้วย ถ้าสารตัวอย่างเป็นพลาสติกที่ผสมสารเสริมอื่นๆหรือมีสีด้วย ค่าความถ่วงจำเพาะจะเปลี่ยนแปลง ส่วนค่าจุดหลอมเหลวจะไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากพลาสติกมีจุดหลอมเหลวต่างกับสีหรือสารอื่นๆ เมื่อหลอมเหลวจะแยกออกจากส่วนอื่นๆทำให้จุดหลอมเหลวนั้นเป็นจุดหลอมเหลวของพลาสติกจริงๆ ดังนั้นจึงควรดูจากจุดหลอมเหลวจะเหมาะสมกว่า พลาสติกอีกชนิดหนึ่งคือ ไนลอนที่มีหลายประเภทได้แก่ ไนลอน 6 , ไนลอน 6/6 , ไนลอน 6/10 , ไนลอน6/12, ไนลอน 11 และ ไนลอน 12 การแยกประเภทของไนลอนต้องดูจากจุดหลอมเหลวเช่นกัน นอกจากนี้ยังต้องการละลายประกอบด้วย ทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกมีจุดหลอมเหลวกว้าง จุดหลอมเหลวของพลาสติกตามที่มีในเอกสารอ้างอิงต่างๆจะบอกเป็นช่วงของการหลอมเหลว ดังนั้นบางช่วงมีการคาบเกี่ยวกันทำให้ยากแก่การวินิจฉัยจึงจำเป็นต้องดูการละลายประกอบด้วย

ในกรณีที่อินฟราเรดสเปกตรัมของสารตัวอย่างไม่เหมือนกับของสารมาตรฐานแบบพีคต่อพีค ซึ่งเนื่องมาจากสารตัวอย่างมีการเติมแต่งสารเสริมต่างๆทำให้อินฟราเรดสเปกตรัมเปลี่ยนแปลงไปบ้าง จึงต้องวิเคราะห์หาคุณสมบัติอื่นๆเพิ่มเติมเพื่อเป็นในการยืนยันผล เช่น สมบัติทางเคมี,จุดหลอมเหลว,จุดแปรผ่านสภาพแก้วและความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะ เป็นต้น

3.5.3.2 การหาจุดหลอมเหลว ,จุดแปรผ่านสภาพแก้ว และเปอร์เซ็นต์การเกิดผลึกด้วยเครื่อง DSC

3.5.3.2.1 วิธีการหาจุดหลอมเหลว⁽²⁾

ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC นั้น ต้องทำการสอบเทียบอุณหภูมิ⁽³⁾ และสอบเทียบการไหลของความร้อน (Heat flow)⁽⁴⁾ ระยะเวลาที่สอบเทียบอาจจะเป็น 6 เดือนครั้ง หรือปีละ 1 ครั้ง ขึ้นกับความสะอาดของเครื่อง แต่ก่อนการวิเคราะห์หาจุดหลอมเหลวทุกครั้งต้องหาจุดหลอมเหลวของสารมาตรฐานก่อนเพื่อทวนสอบเครื่องมือว่ายังคงให้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำอยู่ โดยเลือกสารมาตรฐานมา 2 ตัวจากตารางที่ 5 ตัวหนึ่งให้มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าสารตัวอย่าง อีกตัวหนึ่งให้มีจุดหลอมเหลวลดกว่าสารตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ที่สภาวะและอัตราการให้ความร้อนเดียวกับสารตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์จุดหลอมเหลวของสารมาตรฐานรูปที่ 20 จะเห็นได้ว่าสารบริสุทธิ์มากๆ จะมีช่วงหลอมเหลวแคบ และสำหรับสารมาตรฐานถือว่าจุด T_e เป็นจุดหลอมเหลว



รูปที่ 20 โค้งของ DSC ที่แสดงให้เห็นจุดหลอมเหลวและจุดที่เกิดเป็นผลึก

- T_f = จุดที่เริ่มหลอมเหลวที่ลากเส้นต่อออกไป, °ซ (Extrapolated fusion onset)
 T_m = จุดสูงสุดของการหลอมเหลว, °ซ (Melting peak)
 T_e = จุดสิ้นสุดการหลอมเหลวที่ลากเส้นต่อออกไป, °ซ (Extrapolated fusion end)
 T_n = จุดที่เริ่มเป็นผลึก, °ซ (Extrapolated nucleation)
 T_c = จุดสูงสุดของการเกิดผลึก, °ซ (Crystallization peak)

ในการหาจุดหลอมเหลวของสารมาตรฐานค่า T_m และ T_c ไม่ควรห่างกันเกิน ± 1 °ซ และเมื่อเทียบกับจุดหลอมเหลวในตารางที่ 5 ไม่ควรเกินกว่า ± 1 °ซ เช่นกัน

ตารางที่ 5 แสดงจุดหลอมเหลวและปริมาณความร้อนที่เกิดจากการหลอมเหลว (Heat of Fusion) ของสารมาตรฐาน⁽¹⁾

สารมาตรฐาน	จุดหลอมเหลว, °ซ	ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น กิโลจูล/กิโลกรัม(kJ/kg)
กรดเบนโซอิก(Benzoic acid)	122.37	142.04
อินเดียม (Indium)	156.634	28.45
ดีบุก (Tin) ^a	231.9682	59.50
ตะกั่ว (Lead)	327.502	22.92
สังกะสี (Zinc)	419.58	102.24

^a ดีบุกมีผลึกหลายรูปและอาจจะเกิดปฏิกิริยากับภาชนะบรรจุคั่งนั้นเมื่อใช้แล้วให้ทิ้งเลย

หลังจากทำการทวนสอบความถูกต้องแม่นยำของเครื่องแล้วจึงทำวิเคราะห์การหาจุดหลอมเหลวของตัวอย่างโดยวิเคราะห์ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

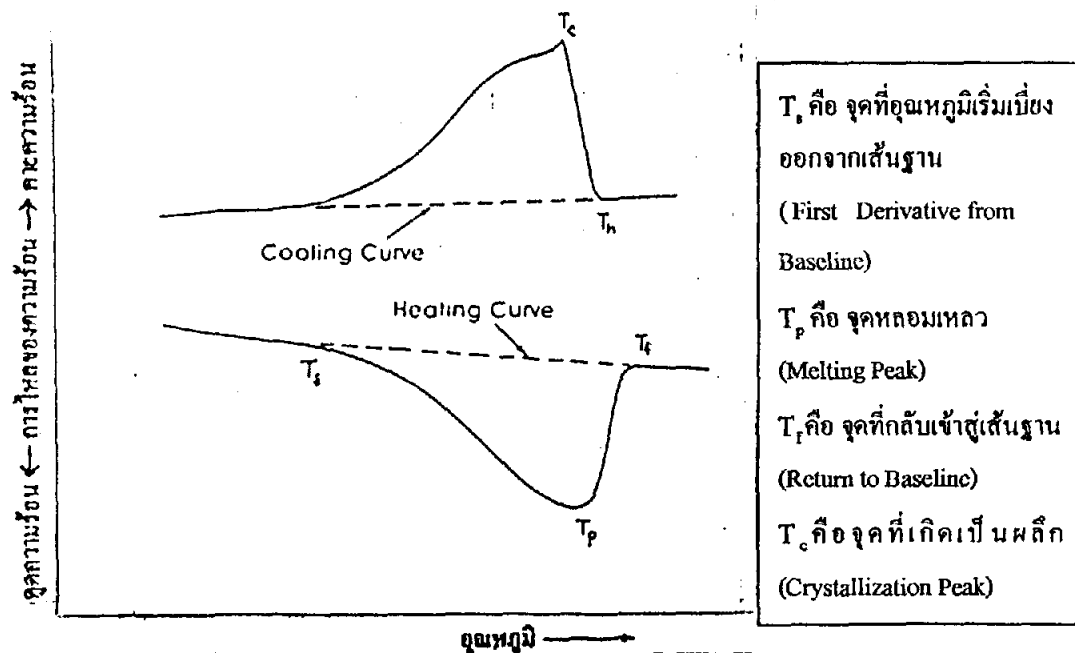
3.5.3.2.1.1 ทำสารตัวอย่างให้เป็นชิ้นเล็กๆหนักประมาณ 1-15 มิลลิกรัม ซึ่งด้วยเครื่องชั่งที่มีความถูกต้อง 0.01 มิลลิกรัม ใส่ลงในถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่าง ปิดฝาแล้วอัดให้ปิดสนิท ใส่ลงในช่องสำหรับตัวอย่าง

3.5.3.2.1.2 เปิดแก๊สไนโตรเจนให้ไหลด้วยอัตราเร็ว 10-50 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที แก๊สไนโตรเจนนี้จะไหลอยู่ในช่องใส่ตัวอย่าง เพื่อให้ตัวอย่างอยู่ในบรรยากาศที่เป็นแก๊สเฉื่อยในระหว่างการวิเคราะห์ จะได้ไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน(Oxidation)

3.5.3.2.1.3 ให้ความร้อนแก่สารตัวอย่าง ตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวประมาณ 50 องศาเซลเซียสอย่างรวดเร็ว ให้อยู่ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลาประมาณ 2 นาทีเพื่อให้อยู่ในสภาวะสมดุล (Equilibrate)

3.5.3.2.1.4 ให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนถึงอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดหลอมเหลวประมาณ 30 องศาเซลเซียส (ควรจะสแกนจุดหลอมเหลวคราวๆครั้งหนึ่งก่อน) และให้อุณหภูมิคงที่ที่จุดนั้นต่ออีกประมาณ 2 นาที ทำให้เย็นด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนผ่านจุดที่เกิดเป็นผลึก คือจุด T_c (Crystallization)

3.5.3.2.1.5 เมื่อการวิเคราะห์จบลง จะได้โค้ง DSC 2 โค้ง คือโค้งช่วงให้ความร้อน (Heating Curve) เป็นช่วงที่ใช้หาจุดหลอมเหลว และโค้งจากช่วงลดอุณหภูมิลง (Cooling Curve) สำหรับโพลีเมอร์จุดหลอมเหลวคือจุด T_p ซึ่งเป็นจุดสูงสุดของโค้งช่วงที่ให้ความร้อน รูปที่ 21



รูปที่ 21 แสดงโค้งช่วงที่เพิ่มความร้อน (heating Curve) และโค้งช่วงลดอุณหภูมิลง (Cooling Curve)

จากโค้ง DSC ในรูปที่ 21 โค้งช่วงให้ความร้อนจะสามารถหาจุดหลอมเหลวได้ ส่วนโค้งจากช่วงลดอุณหภูมิลง สามารถหาอุณหภูมิจุดที่เกิดเป็นผลึกได้

3.5.3.2.2 วิธีการหาจุดแปรผ่านสภาพแก้ว^(๑)

วิเคราะห์หาจุดแปรผ่านสภาพแก้วของพลาสติกดังต่อไปนี้

3.5.3.2.2.1 หาจุดหลอมเหลวของสารมาตรฐาน 1-2 ตัว จากตารางที่ 5 โดยเลือกสารมาตรฐานที่ครอบคลุมช่วงอุณหภูมิที่จะทำการวิเคราะห์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการสอบเทียบ

3.5.3.2.2.2 ทำตัวอย่างเป็นชิ้นขนาดเท่าถ้วยที่บรรจุหนักประมาณ 10-20 มิลลิกรัม ซึ่งด้วยเครื่องชั่งที่มีความถูกต้อง 0.01 มิลลิกรัมแล้วใส่ลงในถ้วยปิดฝาแล้วอัดให้ปิดสนิทใส่ลงในช่อง

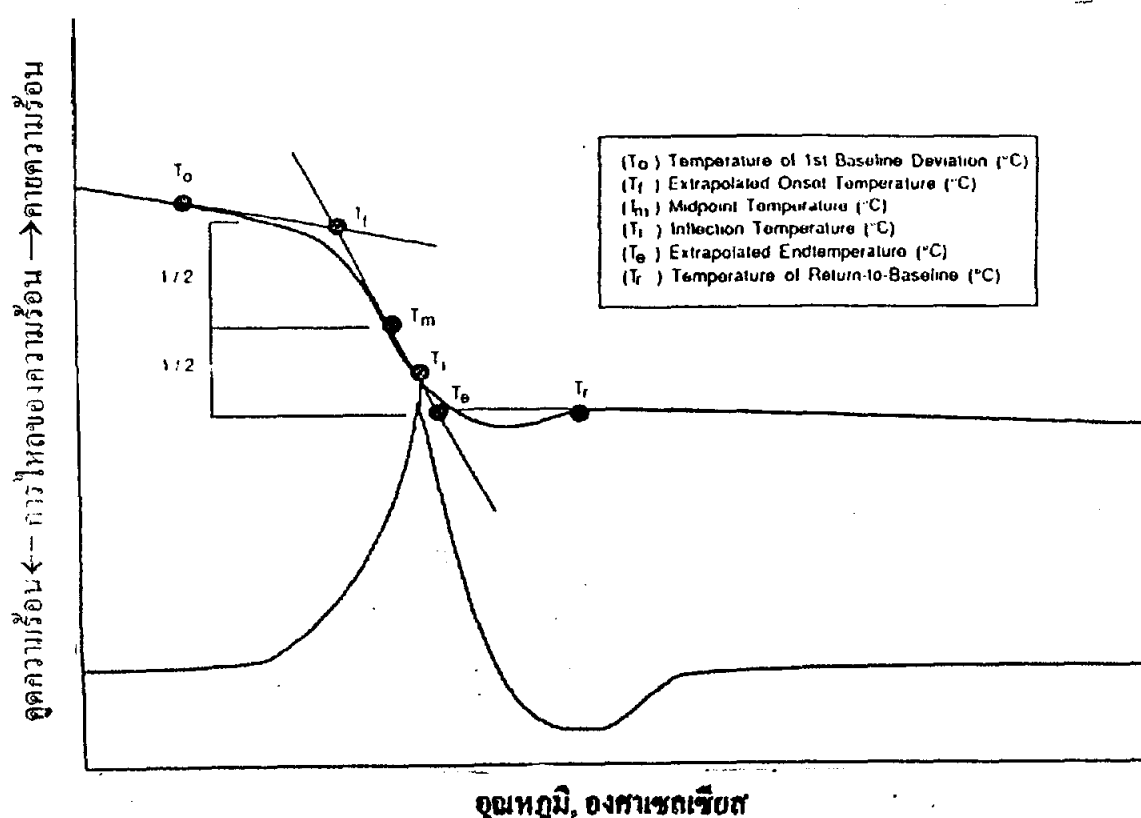
กำหนดตัวอย่าง

3.5.3.2.2.3 เปิดแก๊สในโตรเจนให้ไหลด้วยอัตราเร็ว 10-50 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที

3.5.3.2.2.4 ให้ความร้อนแก่สารตัวอย่าง ตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิที่สูงกว่าจุด T_r ประมาณ 20 องศาเซลเซียส T_r คือจุดที่ผ่านการแปรสภาพแก้วไปแล้วและเริ่มกลับสู่สภาวะ (Baseline) รูปที่ 22 ด้วยอัตราเร็ว 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ให้อยู่ที่อุณหภูมินี้จนกว่าจะอยู่ในสภาวะสมดุล (Equilibrate)

3.5.3.2.2.5 ทำให้เย็นลงด้วยอัตราเร็ว 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนต่ำกว่าจุดแปรผ่านสภาพแก้วประมาณ 50 องศาเซลเซียส และให้อยู่ที่อุณหภูมินี้จนกว่าจะอยู่ในสภาวะสมดุล (Equilibrate)

3.5.3.2.2.6 ให้ความร้อนด้วยอัตราเร็วเท่าเดิมจนกระทั่งผ่านการแปรผ่านสภาพแก้วสมบูรณ์ หากจุด T_r และ T_m รูปที่ 22



จากรูปที่ 22 ซึ่งแสดงโค้งการเปลี่ยนแปลงความร้อนของสาร สามารถหาจุดแปรผ่านสภาพแก้วได้ โดยลากเส้นจากจุดที่อุณหภูมิเริ่มเบี่ยงเบนจากเส้นฐาน คือจุด T_0 ลากต่อออกไปโดยให้เส้นที่ต่อออกไปนี้สัมผัสกับเส้นฐาน แล้วลากเส้นอีกเส้นให้สัมผัสกับโค้งการเปลี่ยนแปลงความร้อนของสาร เกิดจุดต่างๆดังนี้

T_0 = อุณหภูมิที่เริ่มเบี่ยงเบนจากเส้นฐาน (Temperature of first Baseline Deviation)

T_f = อุณหภูมิที่เริ่มหลอมเหลวที่ลากต่อออกไป (Extrapolated Onset Temperature)

T_m = อุณหภูมิที่กึ่งกลางของการแปรผ่านสภาพแก้ว (Midpoint Temperature)

T_i = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจากโค้ง (Inflection Temperature)

T_e = อุณหภูมิที่สิ้นสุดการเกิดผลึกที่ต่อออกไป (Extrapolated Endtemperature)

T_r = อุณหภูมิที่กลับสู่เส้นฐาน (Temperature of Return-to-Baseline)

T_f และ T_m เป็นอุณหภูมิที่แทนช่วงอุณหภูมิที่เกิดการแปรผ่านสภาพแก้ว จึงเลือกเป็นจุดแปรผ่านสภาพแก้ว(T_g) ได้ทั้ง 2 จุด แต่ในที่นี้เลือก T_m เป็นจุดแปรผ่านสภาพแก้วเนื่องจากอุณหภูมิที่จุดนี้ใกล้เคียงกับช่วงกลางของการแปรผ่านสภาพแก้วและมีความถูกต้องแม่นยำกว่า T_f

3.5.3.2.3 วิธีการหาเปอร์เซ็นต์การเกิดผลึก (% Crystallinity)⁽⁵⁾

เปอร์เซ็นต์การเกิดผลึกสามารถคำนวณได้จากปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลว (Heat of fusion หรือ Heat of melting) วิธีหาปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหลอมเหลวทำดังต่อไปนี้

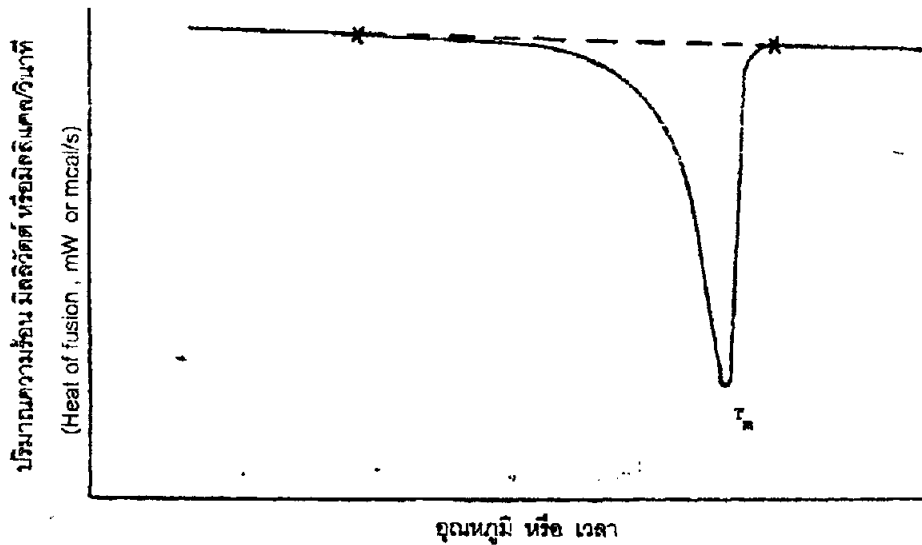
3.5.3.2.3.1 หาจุดหลอมเหลวของสารมาตรฐาน 1-2 ตัวจากตารางที่ 5 โดยเลือกสารมาตรฐานที่ครอบคลุมช่วงอุณหภูมิที่จะทำการวิเคราะห์ โดยให้ความร้อนด้วยอัตราเร็วและภายใต้สภาวะเดียวกันกับสารตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการสอบเทียบ

3.5.3.2.3.2 ทำสารตัวอย่างให้เป็นชิ้นขนาดเท่าด้วยที่บรรจุหนักประมาณ 5-10 มิลลิกรัม ชั่งด้วยเครื่องชั่งที่มีความถูกต้อง 0.01 มิลลิกรัม แล้วใส่ลงในถ้วยปิดฝาแล้วอัดให้ปิดสนิทใส่ลงในช่องสำหรับตัวอย่าง

3.5.3.2.3.3 เปิดแก๊สในโครเจนให้ไหลด้วยอัตราเร็ว 30 มิลลิลิตรต่อนาที ให้ไหลผ่านในระบบ ให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างตั้งแต่อุณหภูมิต้องจนถึงอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดหลอมเหลว 30 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียส/นาที ให้คงที่ที่อุณหภูมิ 10 นาที

3.5.3.2.3.4 ทำให้เย็นลงด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนต่ำกว่าจุดที่เกิดผลึก (peak crystallization temperature) ประมาณ 50 องศาเซลเซียส บันทึกอุณหภูมิช่วงนี้ไว้เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่เกิดจากการเกิดผลึก (Heat of Crystallization, ΔH_c) โดยคำนวณจาก

พื้นที่ใต้โค้งตามรูปที่ 23 เลือกจุดแรกคือจุดที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสถานะ จุดที่สองคือจุดที่กลับสู่สถานะ ลากเส้นระหว่าง 2 จุดนี้ ซอฟต์แวร์จะคำนวณหาปริมาณความร้อนที่เกิดภายใต้โค้งนี้ เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดจากการเกิดผลึก



รูปที่ 23 แสดงการลากเส้นเพื่อหาปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหลอมเหลว

3.5.3.2.3.5 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเป็นผลึกตามสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเกิดผลึก} = \Delta H_f / \Delta H^{*f} \times 100$$

ΔH_f คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหลอมเหลวของสารตัวอย่าง

ΔH^{*f} คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดจากการหลอมเหลวของ พลาสติกที่มีความเป็นผลึก 100 %

สำหรับโพลีเอทิลีน ΔH^{*f} ที่วัดด้วยเครื่อง DSC เท่ากับ 68.4 แคลอรี/กรัม

เมื่อวิเคราะห์ด้วย FTIR แล้วและรู้ว่าเป็นพลาสติกชนิดใด แต่ยังไม่แน่ใจในผลการวินิจฉัย จะตรวจสอบดูให้แน่ใจได้ด้วยการดูจุดหลอมเหลวและจุดแปรผ่านสภาพแก้วของพลาสติก จากตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงช่วงจุดหลอมเหลวและจุดแปรผ่านสภาพแก้ว (Glass transition temperature) ของพลาสติกต่างๆ⁽⁹⁾

โพลีเมอร์	จุดหลอมเหลว, °ซ	จุดแปรผ่านสภาพแก้ว, °ซ
เอบีเอส	-	110-125
โพลีอะซีทิล	175-185	-
ไนลอน 6	210-225	40-60
ไนลอน 6/6	250-260	50-60
ไนลอน 6/10	208-220	45-55
ไนลอน 6/12	206-215	-
ไนลอน 11	180-190	-
ไนลอน 12	175-180	-
โพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต	245-265	70-80
โพลีบิวทิลีนเทรฟทาเลต	220-270	-
โพลีคาร์บอเนต	-	140-150
โพลีอีเทอร์ซัลโฟน	-	220-230
โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง	130-140	-125
โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ	85-125	-130
โพลีโพรพิลีน	165-175	-20
โพลีสไตรีน	-	90-110
โพลีซัลโฟน	-	185-195
โพลีเตตราฟลูออโรเอทิลีน	320-330	120-130
โพลียูรีเทน(เทอร์โมพลาสติก)	-	120-160
โพลีไวนิลแอลกอฮอล์	-	80-90
โพลีไวนิลคลอไรด์	-	65-85

จากตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าพลาสติกที่มีโครงสร้างเป็นพอลิอะมอर्फัส เช่น โพลีคาร์บอเนต, โพลีสไตรีน และเอบีเอสเป็นต้นจะไม่มีจุดหลอมเหลว แต่จะมีจุดแปรผ่านสภาพแก้ว และโดยทั่วไปแล้วโพลีเมอร์มีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงกว้างเนื่องจากไม่ใช่สารบริสุทธิ์แต่จะมีการเติมแต่งสมบัติด้วยสารเสริมต่างๆ ดังนั้นการที่จะใช้จุดหลอมเหลวเพียงอย่างเดียวแล้วตัดสินว่าเป็นโพลีเมอร์อะไรนั้นไม่

ได้ เมื่อคุณลักษณะการเผาไหม้และหาธาตุที่มีอยู่และวิเคราะห์ด้วย FTIR จนพอจะรู้แล้วว่าเป็นพลาสติกอะไร ก็สามารถยืนยันให้แน่ชัดได้ด้วยจุดหลอมเหลวและจุดแปรผ่านสภาพแก้ว

การหาชนิดของ โพลีเอทิลีน เนื่องจากโพลีเอทิลีนมีหลายชนิดการวิเคราะห์ด้วย FTIR ไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นโพลีเอทิลีนชนิดใด ต้องดูจุดหลอมเหลวประกอบด้วย แต่จุดหลอมเหลวอย่างเดียวยังไม่เพียงพอเนื่องจากโพลีเอทิลีน 6 ,โพลีเอทิลีน 6/10 และ โพลีเอทิลีน 6/12 มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วงที่คาบเกี่ยวกัน ดังนั้นจะบอกได้ว่าเป็นโพลีเอทิลีนชนิดใดต้องทดสอบสมบัติเฉพาะทางเคมีและดูการละลายประกอบด้วย โดยทำตามข้อ 3.5.4.1.4

ส่วนเปอร์เซ็นต์การเกิดผลึก มีความสำคัญในการจำแนกระหว่าง โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ(LDPE) และ โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene, LLDPE) คุณสมบัติที่แตกต่างกันของ LDPE และ LLDPE ได้จากตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงค่าจุดหลอมเหลว,ความถ่วงจำเพาะ และ เปอร์เซ็นต์การเกิดผลึกของ LDPE และ LLDPE

ประเภท	จุดหลอมเหลว, °ซ	ความถ่วงจำเพาะ	เปอร์เซ็นต์การเกิดผลึก
LDPE	95-130	0.910-0.925	20-55
LLDPE	115-135	0.910-0.925	55-90

จากตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่าโพลีเอทิลีนทั้งสองชนิดนี้มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วงคาบเกี่ยวกัน แต่เปอร์เซ็นต์การเกิดผลึกของ LLDPE จะอยู่ในช่วงที่สูงกว่า LDPE เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของ LLDPE มีการเรียงตัวเป็นเส้นตรงและไม่มีแขนงมากเช่น LDPE จึงมีเปอร์เซ็นต์การเกิดผลึกสูงกว่า LDPE

ส่วน โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงแตกต่างจาก โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่จุดหลอมเหลวอย่างชัดเจน

3.5.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะทางเคมี⁽¹²⁾

3.5.4.1 โพลีเมอร์ที่มีไนโตรเจน

3.5.4.1.1 การทดสอบเซลลูโลสไนเตรต (Cellulose nitrate)

นำโพลีเมอร์ 0.02 กรัมมาละลายในอะซิโตน (Acetone) 1 มิลลิลิตร และนำสารละลายของไดฟีนีลลามีน (Diphenylamine) ที่ละลายในกรดซัลฟริกเข้มข้น (Concentrated sulfuric acid) 5% น้ำหนัก/ปริมาตร ที่เตรียมใหม่ๆ หยดลงทีละหยด ไดฟีนีลลามีนส่วนที่เกินจะทำให้สีน้ำเงินเข้มกลายเป็นสีน้ำตาล แสดงว่าโพลีเมอร์นั้นเป็น เซลลูโลสไนเตรต

3.5.4.1.2 การทดสอบเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Melamine formaldehyde)

นำโพลิเมอร์ 0.5 กรัมมารีฟลักซ์ (Reflux) กับ 80% กรดอะซิติก (Acetic acid) ปริมาณ 25 มิลลิลิตร นาน 30 นาที ทำส่วนผสมให้เย็นลงแล้วกรอง นำสารละลายนี้ไประเหยแห้งบนเครื่องอังไอน้ำ (Steam bath) ตะกอนใต้น้ำ 2 มิลลิลิตร แล้วอังบนเครื่องอังไอน้ำต่ออีก 5 นาที ทำส่วนผสมนี้ให้เย็นลงแล้วกรอง เติมกรดพิคริกที่อิ่มตัวในน้ำ (Saturated aqueous picric acid) 1 หยดลงในสารละลาย ถ้าเกิดตะกอนสีเหลืองแสดงว่ามีเมลามีน ถ้าเป็นยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea-formaldehyde) จะเกิดตะกอนสีเหลืองอ่อน (slight haze)

3.5.4.1.3 การทดสอบฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)

เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.5 มิลลิลิตร ลงในน้ำ 1 มิลลิลิตร แล้วใส่กรดโครโมโทรฟิก (Chromotropic acid) 2-3 เกล็ด และโพลิเมอร์ 0.01 กรัม ลงในสารละลาย ส่วนผสมนำไปให้ความร้อนบนเครื่องอังไอน้ำ 65-75 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ถ้าเกิดสีม่วงแสดงว่ามีฟอร์มัลดีไฮด์

3.5.4.1.4 การทดสอบไนลอน (Nylon)

ใส่โพลิเมอร์ประมาณ 0.05 กรัม ลงในหลอดทดสอบ แล้วนำไปเผาให้ความร้อนน้อยๆ ก่อนจนโพลิเมอร์เกิดการแตกตัว (decompose) เกิดควันนำกระดาษกรองที่จุ่มสารละลายที่เตรียมใหม่ของ ออโนโรเบนซัลดีไฮด์ (O-nitrobenzaldehyde) ที่อิ่มตัวในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 นอร์มัล (2N Aqueous Sodium hydroxide) ไปจุ่มปากหลอดทดสอบ ถ้าเป็นไนลอน 66 จะเกิดสีม่วงเข้ม ไนลอนอื่นๆจะไม่เกิดสี

ตารางที่ 6 แสดงจุดหลอมเหลวของไนลอนชนิดต่างๆ จะเห็นได้ว่าไนลอน 6/6 , ไนลอน 11 และ ไนลอน 12 มีจุดหลอมเหลวที่แตกต่างกันชัดเจน ดังนั้นถ้าผลจากการวิเคราะห์ด้วย FTIR แสดงว่าเป็นไนลอน เมื่อดูจุดหลอมเหลว ถ้าจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วงที่บ่งบอกได้ชัดเจนว่าเป็น ไนลอน 6/6 , ไนลอน 11 และ ไนลอน 12 แล้วก็สามารถสรุปได้เลยว่าเป็นไนลอนนั้นๆ แต่ถ้ามีจุดหลอมเหลวในช่วงของไนลอน 6 , ไนลอน 6/10 และ ไนลอน 6/12 แล้ว ต้องหาสมบัติด้านการละลายประกอบด้วย ซึ่งดูได้จากตารางที่ 8 ซึ่งแสดงการละลายของไนลอนต่างๆ ในกรดเกลือความเข้มข้น 42.2 นอร์มัล (42.2 N HCl) ที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูง (Boiling) และในกรดฟอร์มิก ความเข้มข้น 90 % (Formic acid)

ตารางที่ 8 แสดงสมบัติด้านการละลายของไนลอน⁽⁹⁾

พลาสติก	กรดเกลือ 42.2 นอร์มัล อุณหภูมิห้อง	กรดเกลือ 42.2 นอร์มัล อุณหภูมิสูง	90% กรดฟอร์มิก
ไนลอน 6	ละลาย	ละลาย	ละลาย
ไนลอน 6/10	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	ละลาย
ไนลอน 6/12	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย

จากตารางที่ 8 จะเห็นถ้าสารตัวอย่างที่สงสัยว่าจะเป็นไนลอน 6, ไนลอน 6/10 หรือไนลอน 6/12 แล้วนำมาละลายในสารละลายตามตารางที่ 8 ถ้าไม่ละลายในสารละลายทั้ง 3 อย่างนั้นแล้วแสดงว่าเป็นไนลอน 6/12 แต่ถ้าละลายใน 90% กรดฟอร์มิก แต่ไม่ละลายในกรดเกลือความเข้มข้น 42.2 นอร์มัลและเมื่อนำมาต้มแล้วก็ยังไม่ละลายแสดงว่าเป็นไนลอน 6/10

3.5.4.2 โพลีเมอร์ที่มีคลอรีน

3.5.4.2.1 การทดสอบโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride)

นำโพลีเมอร์ 0.05 กรัม มาละลายในมอร์โฟลีน (Morpholine) ใช้ความร้อนช่วยในการละลายโดยวางบนอ่างอังไอน้ำ (Water bath) หลังจาก 2 นาทีสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงเข้ม (Dark red-brown) หลัง 5 นาที สารละลายและโพลีเมอร์จะเปลี่ยนเป็นสีดำ แสดงว่ามีโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride) หรือ ไวนิลลิซีน คลอไรด์ โคโพลีเมอร์ (Vinylidene chloride copolymer)

3.5.4.3 โพลีเมอร์ที่ไม่มีไนโตรเจน, ซัลเฟอร์ หรือ ฮาโลเจน

3.5.4.3.1 การทดสอบอัลคิด์ (Alkyd)

เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (concentrated sulphuric acid) 2 มิลลิลิตร ลงในน้ำ 0.5 มิลลิลิตร แล้วใส่โพลีเมอร์ลงไป 0.05 กรัม นำส่วนผสมนี้ไปต้ม 2-3 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น นำเฉพาะส่วนสารละลายมาใส่ลงในหลอดทดสอบอีกอันหนึ่ง แล้วเติมฟีนอล (Phenol) ลงไปประมาณ 0.1 กรัม นำส่วนผสมนี้ไปต้มอีก 2-3 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วกรอง นำสารละลายที่กรองได้มาทำให้เป็นค่าด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide 5 N) ความเข้มข้น 5 นอร์มัล ถ้ามีฟทาเลต สีแดงของฟีนอล์ฟทาเลิน (Phenolphthalein) จะหายไป

เนื่องจากอัลคิด์เกิดจากการที่โพลีเอสเตอร์ที่มีโครงสร้างแบบเส้น (Linear polyester) มาโพลีเมอร์ไรซ์ (polymerized) กับไดอัลลิล ฟทาเลต (Diallyl phthalate) ซึ่งอัลคิคชนิดนี้จะมีฟทาเลตจึงให้ผลการทดสอบเป็นบวก

3.5.4.3.2 การทดสอบพลาสติกเซลลูโลส

การทดสอบนี้เรียกว่า “ปฏิกิริยาโมลิช” (Molish test) นำโพลิเมอร์มาเขย่ากับน้ำ 1 มิลลิลิตร และสารละลายแอลฟาแนฟทอลในคลอโรฟอร์ม 10 % น้ำหนัก/ ปริมาตร (α -naphthol in chloroform 10% w/v) แล้วค่อยๆเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (Concentrated Sulphuric acid 4 มิลลิลิตร ลงไปโดยเทให้กรดค่อยๆไหลลงข้างๆหลอดทดสอบเพื่อให้ไปเกิดเป็นชั้นได้สารละลายที่มีอยู่ในหลอดทดสอบ ถ้าโพลิเมอร์นั้นเป็นเซลลูโลสจะเกิดวงแหวนสีม่วงตรงรอยต่อของชั้นของสารละลายทั้งสองชั้นนั้น แต่ถ้าเป็นเซลลูโลสในแคปซูล จะไม่เกิด เมื่อเขย่าสารละลายทั้งสองชั้นให้เข้ากันจะได้สารละลายสีม่วง

ถ้าการทดสอบข้างต้นให้ผลการทดสอบเป็นบวก กล่าวคือเกิดวงแหวนสีม่วงตรงรอยต่อของชั้นของสารละลายนั้น ให้นำโพลิเมอร์ 0.01 กรัมใส่ทูลูอีน (Toluene) 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนโดยจุ่มในอ่างอังไอน้ำ ถ้าเป็นเอทิลเซลลูโลส (Ethyl cellulose) จะละลายในสารละลายนี้ แต่เซลลูโลสอะซิเตต (Cellulose acetate) และเซลลูโลส-อะซิเตต-บิวทีเรต (Cellulose-acetate-butyrate) จะไม่ละลาย

3.5.4.3.3 การทดสอบฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Phenol formaldehyde)

เตรียม Millon's reagent โดยละลายปรอท (Mercury) 10 กรัม ในกรดไนตริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร โดยไม่ต้องนำไปทำให้ร้อน แล้วทำให้เจือจางด้วยน้ำ 20 มิลลิลิตร กรองเอาตะกอนที่เกิดขึ้นออกทิ้งไป นำโพลิเมอร์ 0.05 กรัมมาต้มกับสารละลายนี้ประมาณ 2 นาที ถ้าเกิดสีแดงขึ้นแสดงว่ามีฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์

3.5.4.3.4 การทดสอบโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate)

นำโพลิเมอร์ประมาณ 0.1 กรัมใส่ในหลอดทดสอบที่ทนความร้อน เอาสำลี (Cotton wool) อุดปากหลอดทดสอบเอาไว้แล้วนำไปเผาให้ร้อนจนโพลิเมอร์แตกตัวเกิดควัน สำลิจะดูดควันเอาไว้ นำสำลีไปจุ่มในสารละลายพารา-ไดเมทิลอะมีโนเบนซัลดีไฮด์ 1 % ในเมทานอล (p-dimethylaminobenzaldehyde 1% in methanol) จำนวน 2 มิลลิลิตร และเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 นอร์มัล (Hydrochloric acid 5 N) ลงไป 1 หยด ถ้ามีโพลีคาร์บอเนตจะเกิดสีน้ำเงิน (Blue)

3.5.4.3.5 การทดสอบ PET (Polyethylene Terephthalate)

นำกระดาษกรองจุ่มในสารละลาย ออโร-ไนโตรเบนซัลดีไฮด์ (o-Nitrobenzaldehyde) ที่อิ่มตัวในโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 นอร์มัล (2N Aqueous sodium hydroxide) เอากระดาษกรองจุ่มปากหลอดทดสอบที่ใส่โพลิเมอร์ไว้ และนำไปเผาด้วยตะเกียงเบนเซนจนเกิดควัน เมื่อควันกระทบกระดาษกรองจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวแกมน้ำเงิน (green-blue) แสดงว่าโพลิเมอร์นั้นเป็น PET

3.5.4.3.6 การทดสอบโพลิสไตรีน (Polystyrene)

นำโพลิเมอร์ประมาณ 1 กรัมมารีฟลักซ์กับกรดไนตริกเข้มข้น (Concentrated nitric acid) 20 มิลลิลิตร นาน 1 ชั่วโมง รินส่วนผสมนี้ใส่ในน้ำ 100 มิลลิลิตร แล้วสกัดด้วยอีเทอร์ (Ether) 50 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง นำส่วนอีเทอร์ที่สกัดแล้วทั้ง 2 ครั้งมารวมกันล้างด้วยน้ำ ทั้งส่วนน้ำ นำส่วนอีเทอร์มาสกัดด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล (1 N aqueous sodium hydroxide) 25 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง ทั้งส่วนอีเทอร์ นำส่วนที่เป็นค้างทั้ง 2 ครั้งมารวมกัน ทำให้เป็นกรดด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น เมื่อเป็นกรดแล้วแล้วเติมให้เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นลงไปอีก 20 มิลลิลิตร ใส่สังกะสี (Granulated Zinc) 5 กรัม ลงไปในสารละลายนี้ ให้ความร้อนโดยนำไปตั้งบนเครื่องอังไอน้ำนาน 20 นาที ส่วนผสมทำให้เย็นต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส เติมโซเดียมไนไตรต์ 0.1 กรัมในน้ำที่เตรียมใหม่ๆและทำให้เย็นจัด (freshly prepared aqueous sodium nitrite 0.1 g in 2 ml) นำสารละลายนี้รินใส่ในสารละลายแอลคาร์โบลีน เบคานแนปทอล(Alkaline β-naphthol) 0.05 กรัมในเอควิวสโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 นอร์มัล (5 N aqueous sodium hydroxide) 10 มิลลิลิตร ถ้าเกิดสีเลือดหมู (Vivid scarlet) แสดงว่ามีสไตรีน

3.5.5 สรุปผลการวิเคราะห์หาชนิดของพลาสติก

สารตัวอย่างที่ต้องการหาชนิด ทำการวิเคราะห์เริ่มด้วยการดูลักษณะการติดไฟ, การหาปริมาณธาตุจุดบันทึกไว้ และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ถ้าอินฟราเรดสเปกตรัมของสารตัวอย่างตรงกับอินฟราเรดสเปกตรัมของสารมาตรฐานแบบพีคต่อพีค แสดงว่าเป็นพลาสติกชนิดนั้น ตรวจสอบลักษณะการติดไฟและธาตุที่มี ที่ได้วิเคราะห์และจุดบันทึกไว้ ว่าตรงกับพลาสติกชนิดนั้นหรือไม่ ถ้าตรงกันก็สามารถสรุปได้ว่าเป็นพลาสติกชนิดนั้นดัง ตัวอย่างต่อไปนี้

โซ่ดำเหลือง

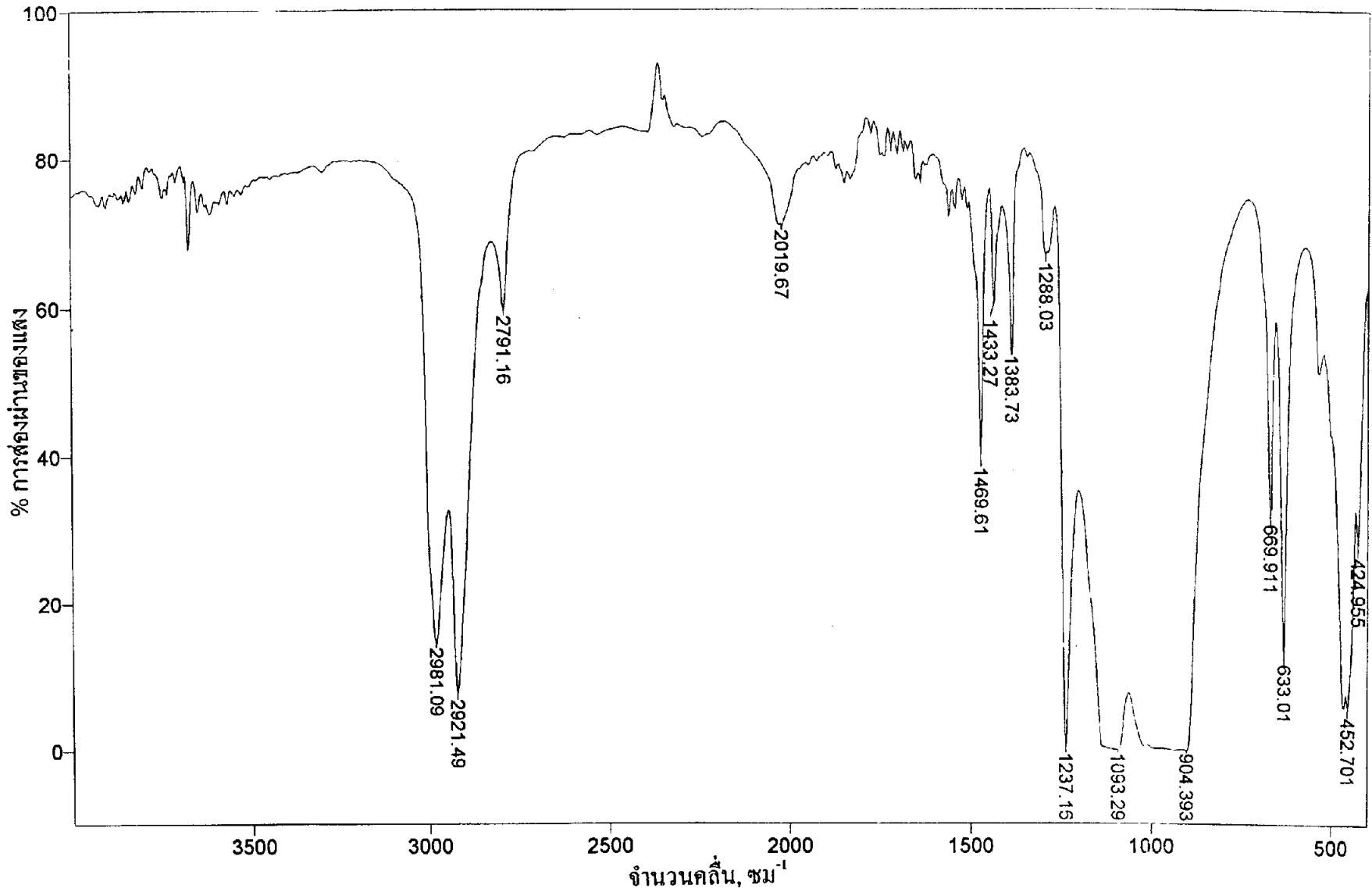
ทดสอบลักษณะการติดไฟและการดูไหม้ ตัวอย่างโซ่ดำเหลืองติดไฟเปลวสีน้ำเงินอ่อน เมื่อเอาออกจากเปลวไฟ ยังคงติดไฟต่อ

วิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบ ไม่พบธาตุฮาโลเจน , ไนโตรเจน และ ซัลเฟอร์

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR อินฟราเรดสเปกตรัมของโซ่ดำเหลืองในรูปที่ 24 เหมือนกับของโพลีเอซีทาลในรูปที่ 25

จุดหลอมเหลว โซ่ดำเหลืองมีจุดหลอมเหลวที่ 175^oซ ตรงกับจุดหลอมเหลวของโพลีเอซีทาลในตารางที่ 6 สรุปผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างโซ่ดำเหลืองเป็นโพลีเอซีทาล

DSS

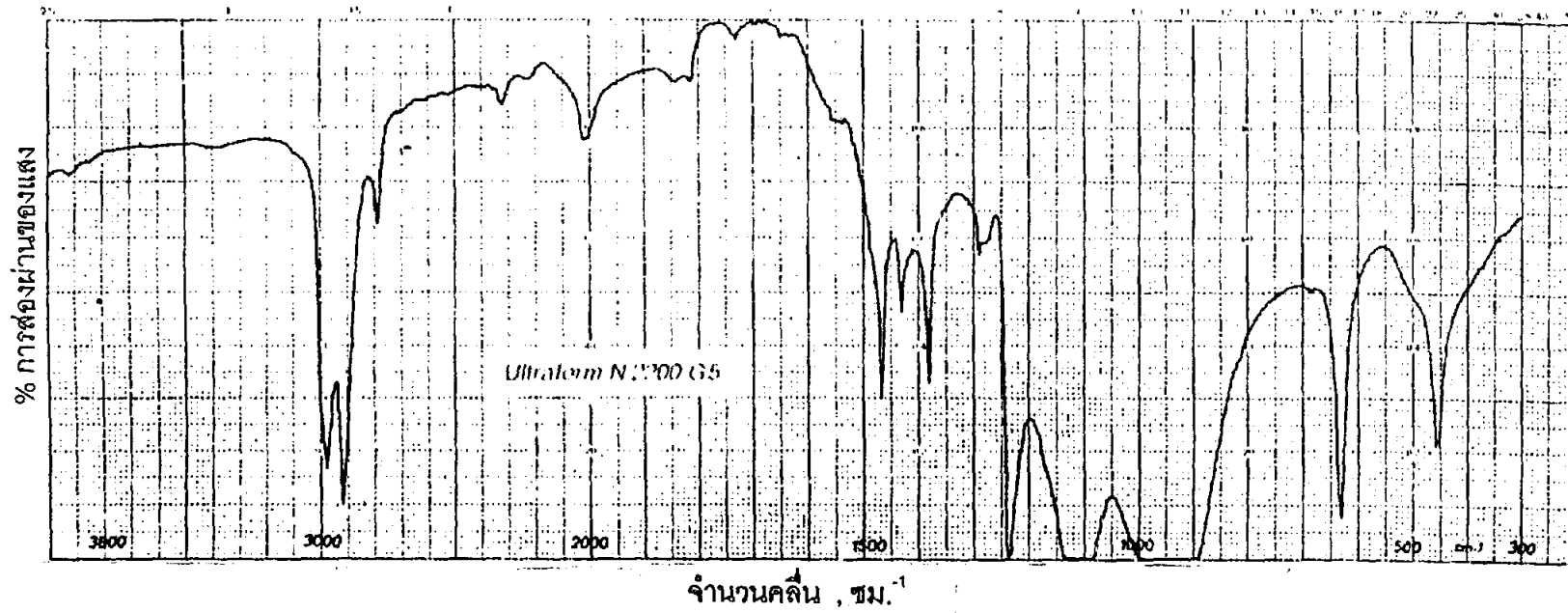


รูปที่ 24 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโซ่ดำเลี้ยง

113331111 + 19172

CH₂O P

2056



53

รูปที่ 25 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิอะซีท

โคมไฟจรรยา

ทดสอบลักษณะการคิดไฟและการดูใหม่ ตัวอย่างโคมไฟจรรยาคิดไฟเปลวสีเหลือง เขม่าดำ เมื่อเอาออกจากเปลวไฟยังคงติดไฟต่อ

วิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบ ไม่พบธาตุฮาโลเจน, ในโครเจน และ ซัลเฟอร์

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR อินฟราเรดสเปกตรัมของโคมไฟจรรยาในรูปที่ 26 เหมือนกับของโพลีคาร์บอนเนต ในรูปที่ 27

จุดแปรผ่านสภาพแก้ว ตัวอย่างโคมไฟจรรยาจุดแปรผ่านสภาพแก้วที่ 142°C ตรงกับจุดแปรผ่านสภาพแก้วของโพลีคาร์บอนเนตในตารางที่ 6

สรุปผลการวิเคราะห์ โคมไฟจรรยาเป็นโพลีคาร์บอนเนต

โต๊ะเก้าอี้นักเรียน

ทดสอบลักษณะการคิดไฟและการดูใหม่ ตัวอย่างโต๊ะเก้าอี้นักเรียนคิดไฟเปลวสีเหลืองฐานสีน้ำตาลเงิน หยคเหมือนเทียนไข เมื่อเอาออกจากเปลวไฟยังคงติดไฟต่อ

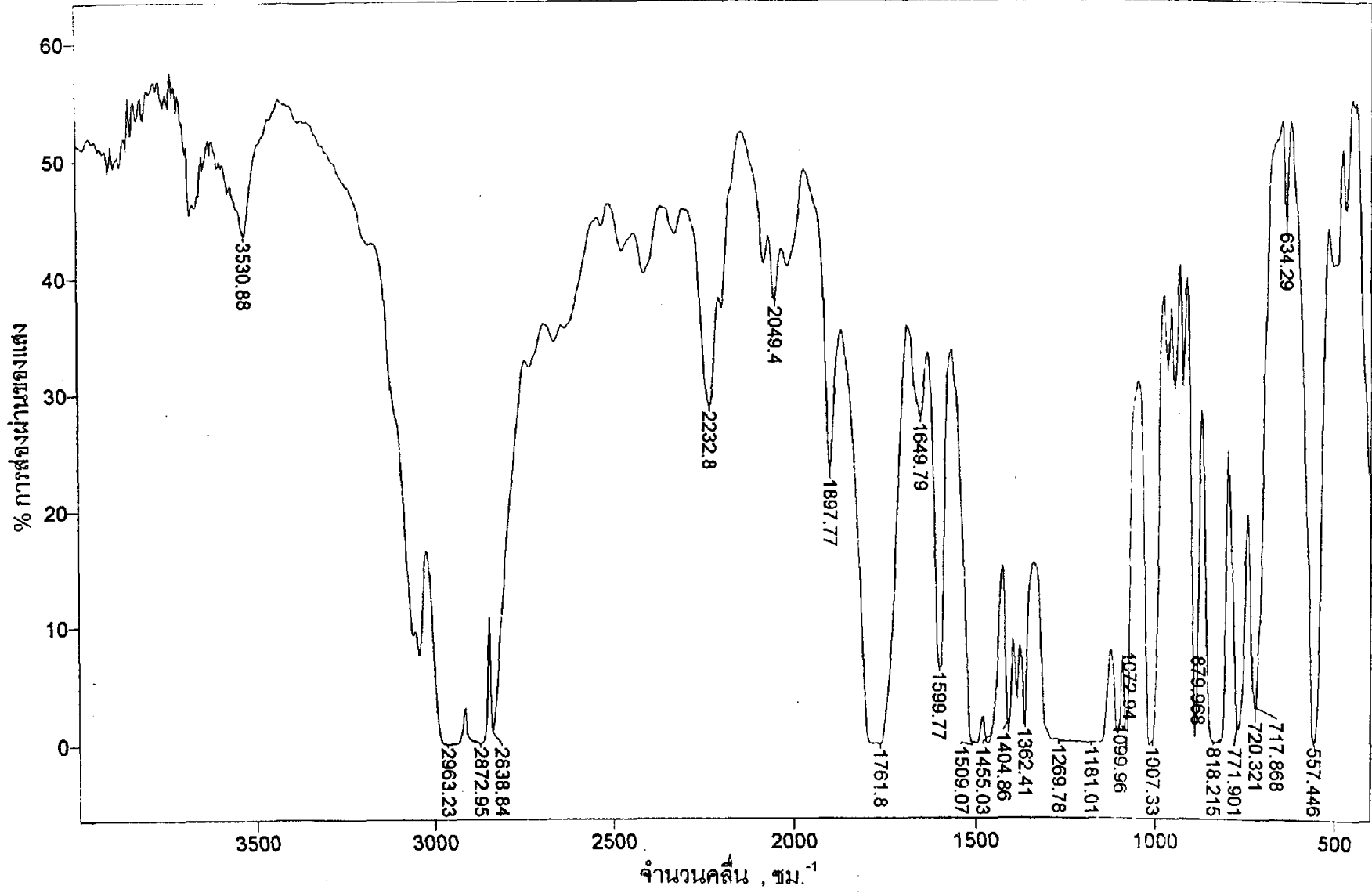
วิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบ ไม่พบธาตุฮาโลเจนฮาโลเจน ในโครเจน และซัลเฟอร์

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR อินฟราเรดสเปกตรัมของโต๊ะเก้าอี้นักเรียนในรูปที่ 28 เหมือนโพลิโพรพิลีนโคเอทิลีนในรูปที่ 29 แต่ช่วง $1350-1500\text{ cm}^{-1}$ แถบจะกว้างไม่แยกออกเป็น 2 แถบที่ 1450 และ 1375 cm^{-1} เนื่องจากตัวอย่างมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเสริมและแคลเซียมคาร์บอเนตมีการดูดกลืนแสงในช่วงนี้ ดูอินฟราเรดสเปกตรัมของแคลเซียมคาร์บอเนตรูปที่ 30 ประกอบ

จุดหลอมเหลว โต๊ะเก้าอี้นักเรียนมีจุดหลอมเหลวจุดเดียวที่ 170°C ตรงกับจุดหลอมเหลวของโพลิโพรพิลีนในตารางที่ 6 แสดงว่าโต๊ะเก้าอี้นักเรียนเป็นโพลิโพรพิลีนเนื่องจากมีจุดหลอมเหลวจุดเดียว

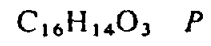
สรุปผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างโต๊ะเก้าอี้นักเรียนเป็นโพลิโพรพิลีนโคเอทิลีน

DSS

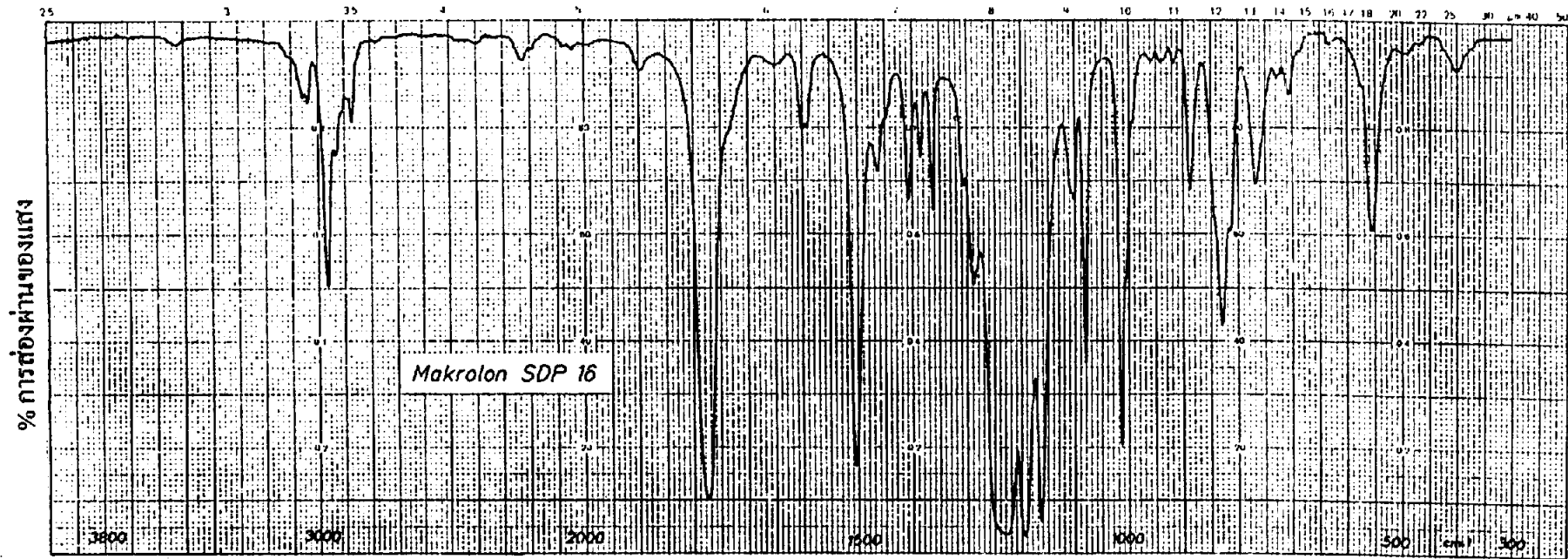


รูปที่ 26 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโคมไฟจราจร

11337123



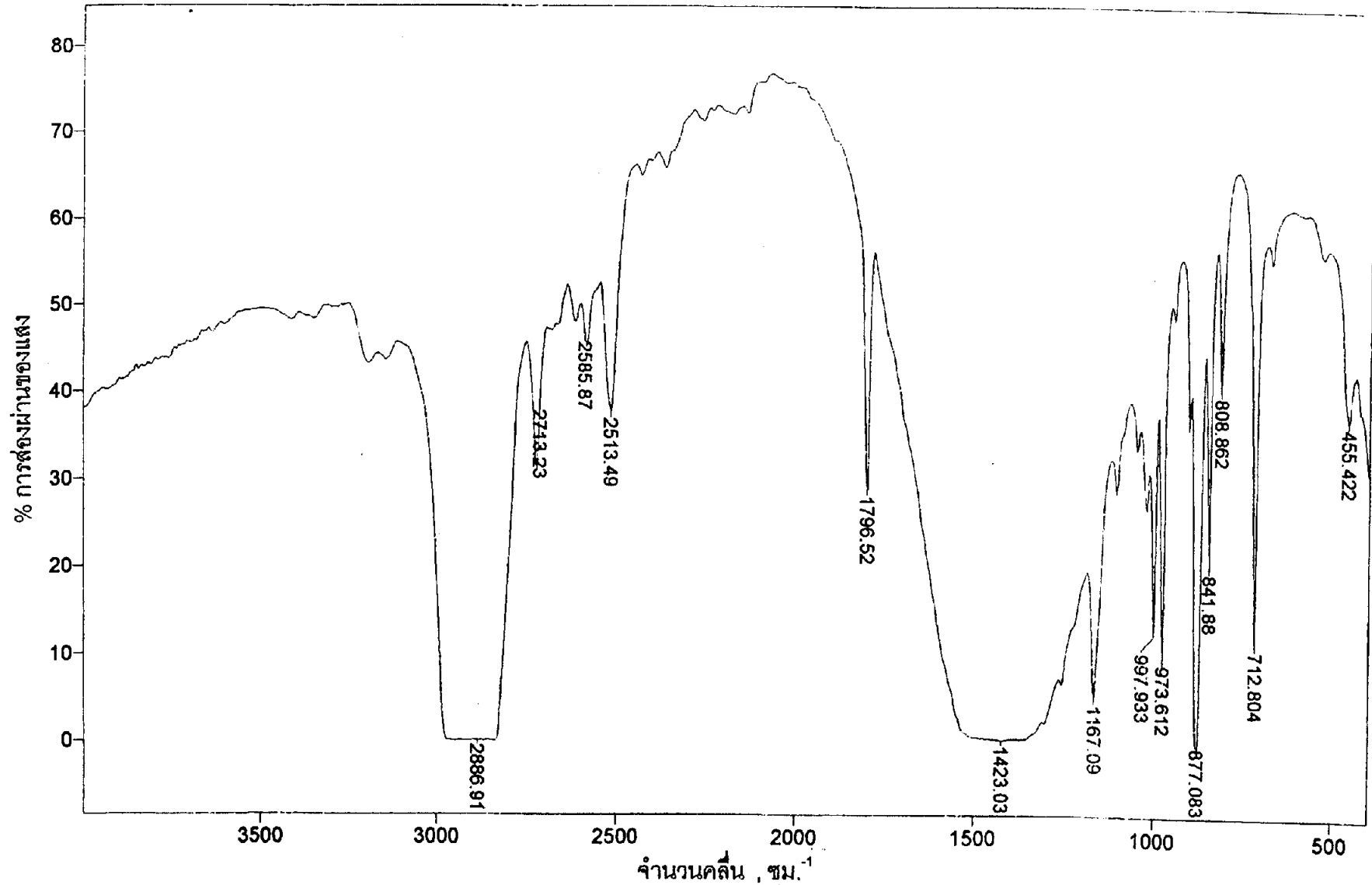
2109



จำนวนคลื่น, ซม.⁻¹

รูปที่ 27 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลีคาร์บอนेट

DSS

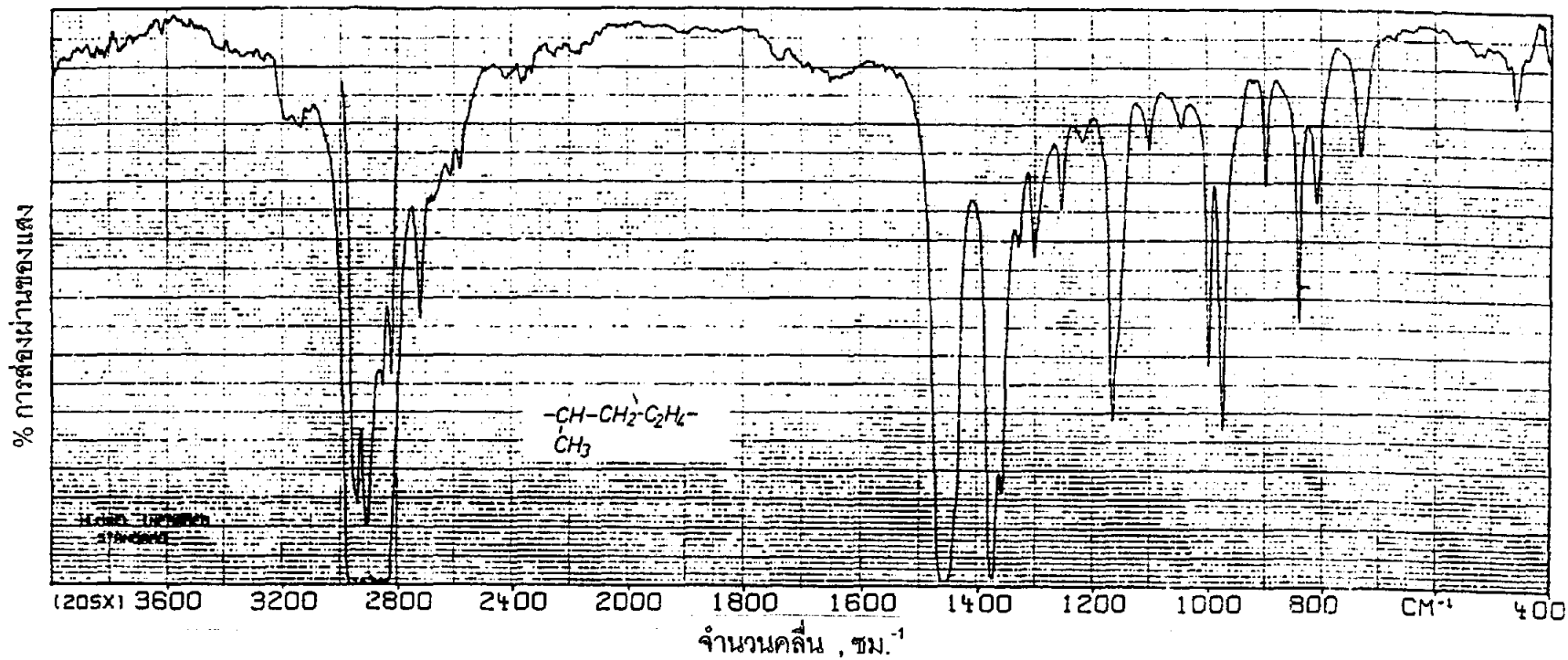


รูปที่ 28 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโต๊ะเก้าอี้นักเรียน

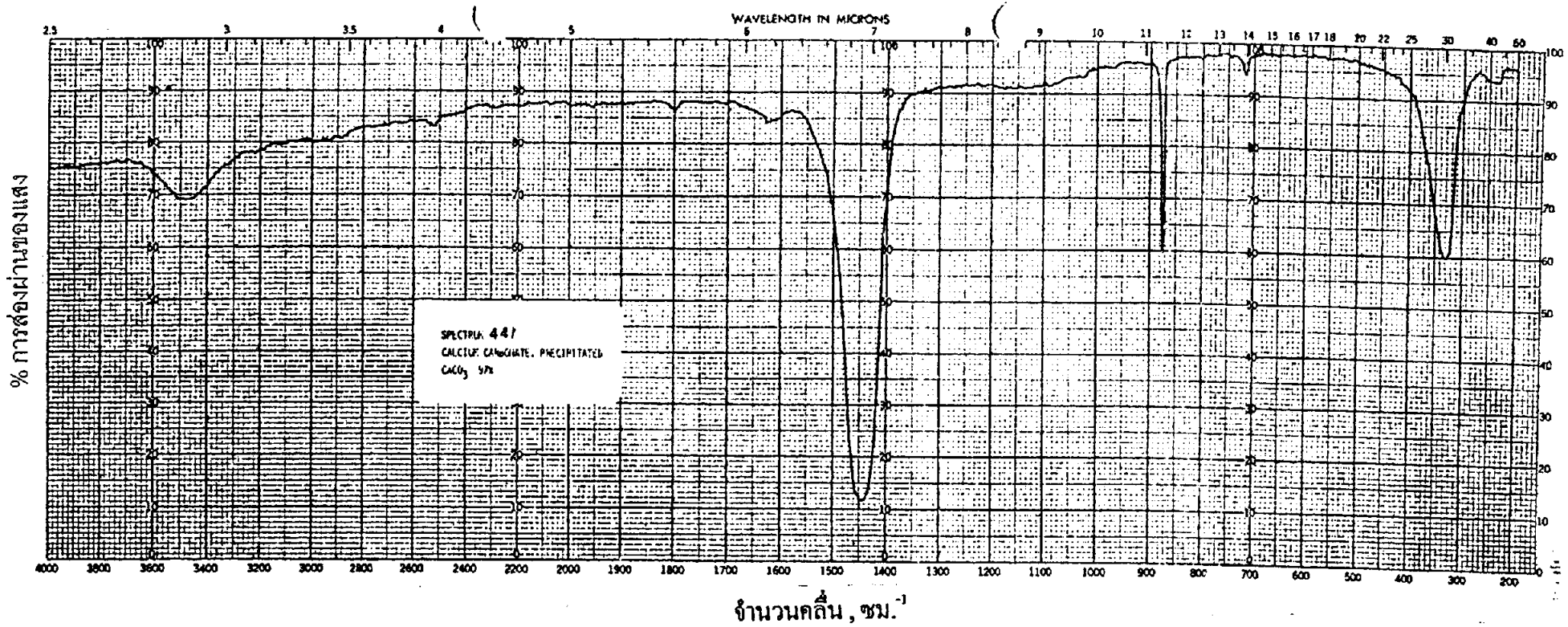
2111(211-1)

$C_3H_6-C_2H_4$ M

7113



รูปที่ 29 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิโพรพิลีน โคเอทิลีน [Poly(propylene-co-ethylene)]



รูปที่ 30 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของแคลเซียมคาร์บอเนต

เท้าแขนเก้าอี้

ทดสอบลักษณะการคิดไฟและการลุกไหม้ ตัวอย่างเท้าแขนเก้าอี้เมื่อนำมาจ่อเปลวไฟจะคิดไฟเปลวสีฟ้า ยอดเปลวสีเหลือง และตัวอย่างจะหลอมเหลวและหยด มีเขม่าดำ เมื่อเอาออกจากเปลวไฟจะดับเอง

วิเคราะห์หาราตุองค์ประกอบ ไม่พบธาตุฮาโลเจน และซัลเฟอร์ พบไนโตรเจน

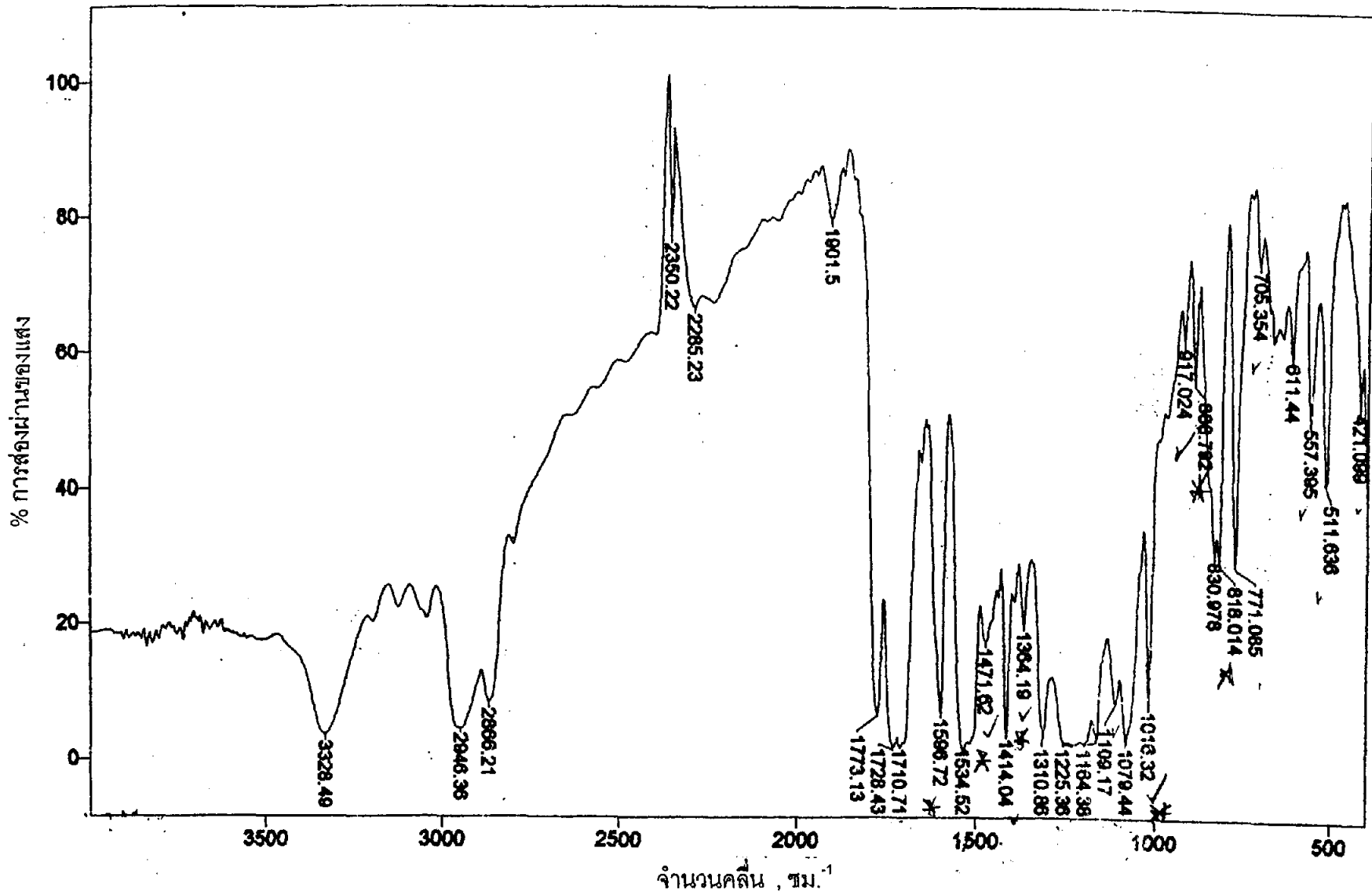
จากลักษณะการคิดไฟและธาตุที่มี จะเห็นได้ว่าพลาสติกที่คิดไฟเปลวสีฟ้ายอดเปลวสีเหลืองและดับเองเมื่อเอาออกจากเปลวไฟ และมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบมีเพียงตัวเดียวคือไนลอน มีข้อสังเกตคือไนลอนคิดไฟแล้วไม่มีเขม่าดำ แต่สารตัวอย่างมีเขม่าดำ

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR อินฟราเรดสเปกตรัมของเท้าแขนเก้าอี้ในรูปที่ 31 มีการดูดกลืนแสงที่เหมือนกับของไนลอน(รูปที่ 32)และโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต (รูปที่ 33)ปนกัน แสดงว่าตัวอย่างเป็นไนลอนผสมกับโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต

จุดหลอมเหลว พบ 2 จุดที่ 255 °ซ และ 265 °ซ จากตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่าไนลอน 6/6 มีจุดหลอมเหลว ที่ 250-260 °ซ และโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลตมีจุดหลอมเหลวที่ 245-265 °ซ ซึ่งเป็นช่วงที่คาบเกี่ยวกันอยู่ไม่ยืนยันได้ว่าเป็นไนลอน 6/6 หรือโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต ต้องวิเคราะห์ทางเคมีเพิ่มเติม
วิเคราะห์ทางเคมี ทดสอบไนลอน 6/6 โดยทำตามข้อ 3.5.4.1.4 ผลการวิเคราะห์กระดาษกรองเปลี่ยนเป็นสีม่วงเข้มแสดงว่าเป็นไนลอน 6/6

ทดสอบโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต โดยทำตามข้อ 3.5.4.3.5 ผลการวิเคราะห์กระดาษกรองเปลี่ยนเป็นสีเขียวแกมน้ำเงินแสดงว่าเป็นโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต

สรุปผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างเท้าแขนเก้าอี้เป็น ไนลอนและโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลตผสมกัน

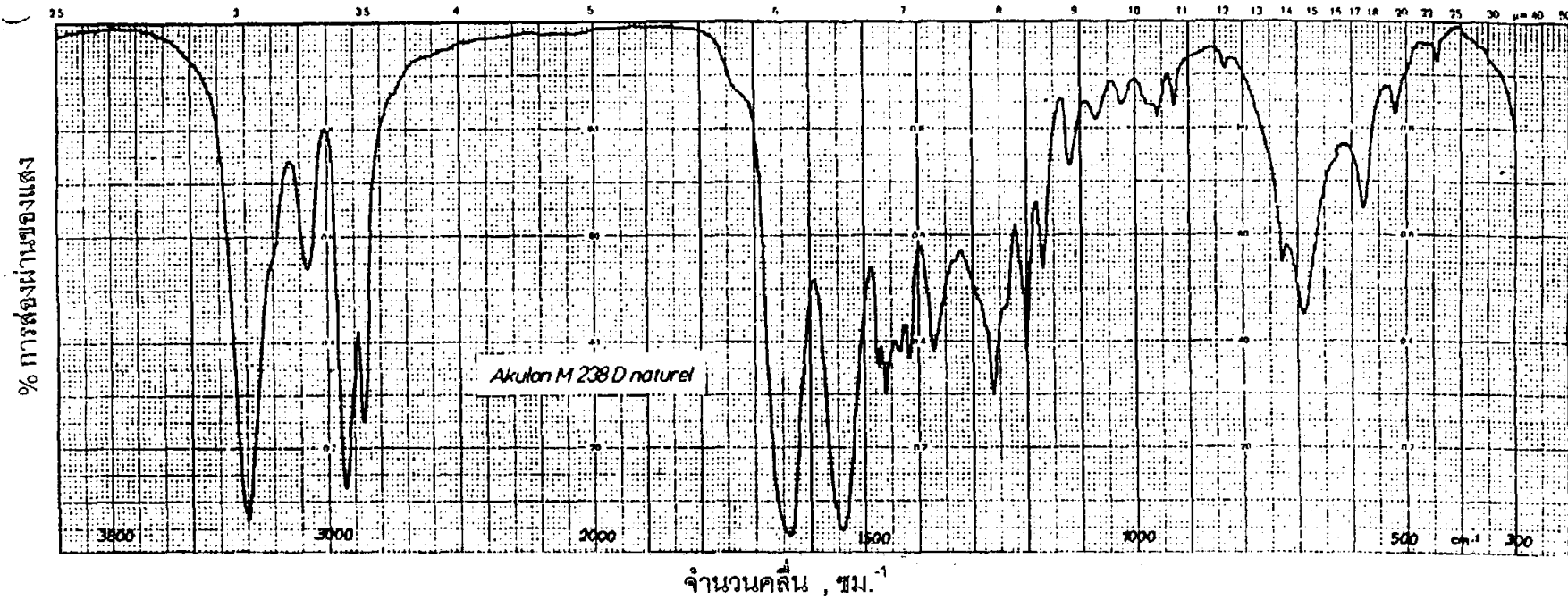


รูปที่ 31 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของเท้าแขนเก้าอี้

1142121111

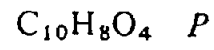


2172

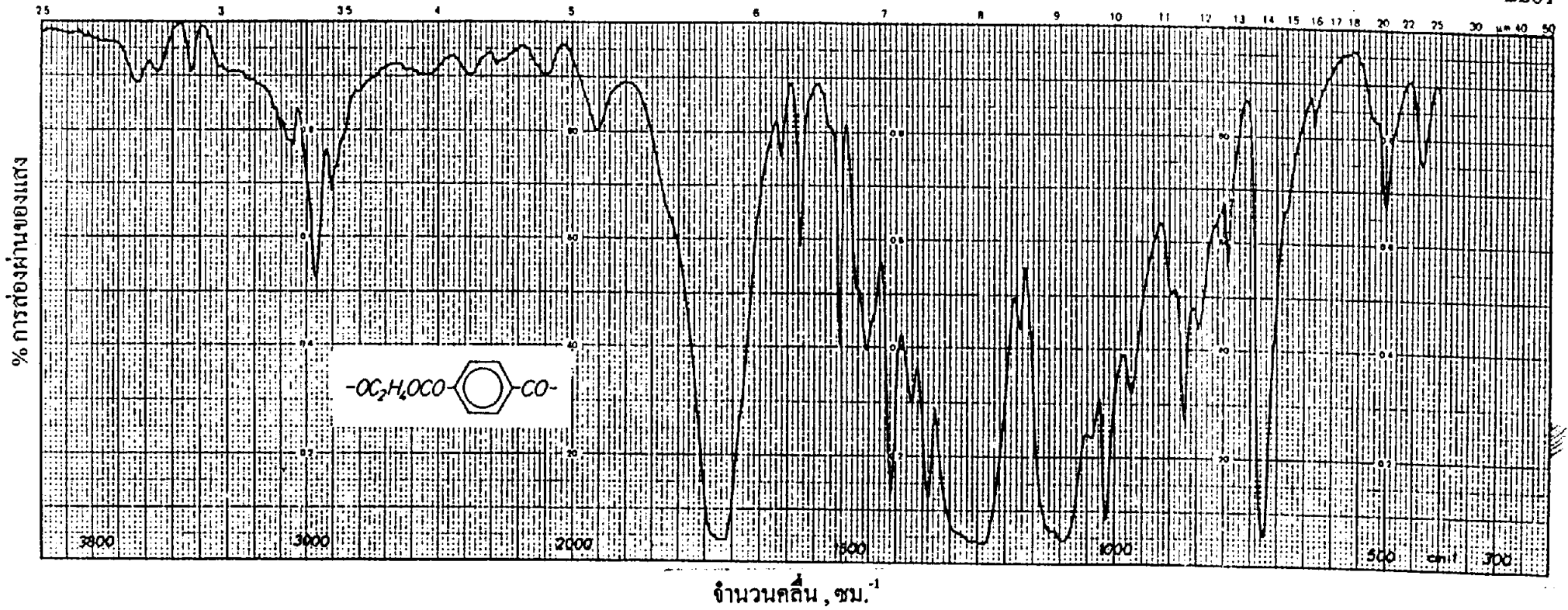


รูปที่ 32 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไนลอน

123371221



2261



รูปที่ 33 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต

ท่อ

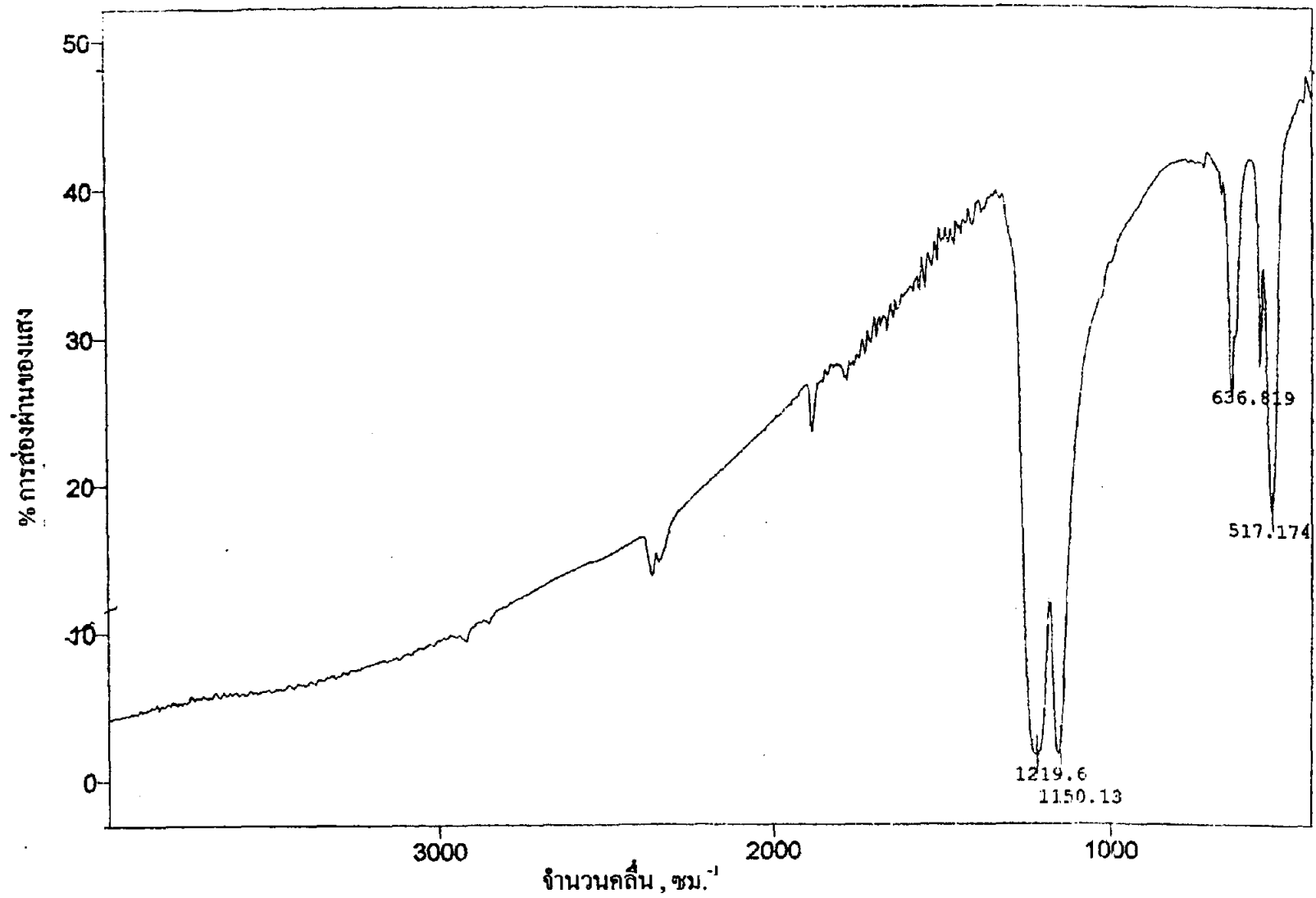
ทดสอบลักษณะการติดไฟและการลุกไหม้ ตัวอย่างท่อติดไฟเปลวสีเหลือง แต่ติดไฟยากและเป็น
 เข้า เมื่อเอาออกจากเปลวไฟจะดับเอง

วิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบ ไม่พบ ไนโตรเจน ,ซัลเฟอร์ , คลอรีน และ โบรมีน พบ ฟลูออรีน
 จากลักษณะการติดไฟและธาตุที่มี จะเห็นได้ว่าพลาสติกที่ติดไฟเปลวสีเหลือง ติดไฟ
 ยากเข้าช้าและดับเองเมื่อเอาออกจากเปลวไฟ มีฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบมีเพียงตัวเดียวคือ โพลีเอ
 ตรา ฟลูออโรเอทิลีน

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR อินฟราเรดสเปกตรัมของท่อในรูปที่ 34 มีการดูดกลืนแสงที่เหมือนกับของ
 โพลีเอตราฟลูออโรเอทิลีนรูปที่ 35 แสดงว่าตัวอย่างท่อเป็นโพลีเอตราฟลูออโรเอทิลีน

จุดหลอมเหลว พบจุดหลอมเหลวจุดเดียวที่ 325 °ซ โพลีเอตราฟลูออโรเอทิลีนมีช่วงจุดหลอมเหลว
 320-330 °ซ (จากตารางที่ 6)

สรุปผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างท่อเป็นโพลีเอตราฟลูออโรเอทิลีน

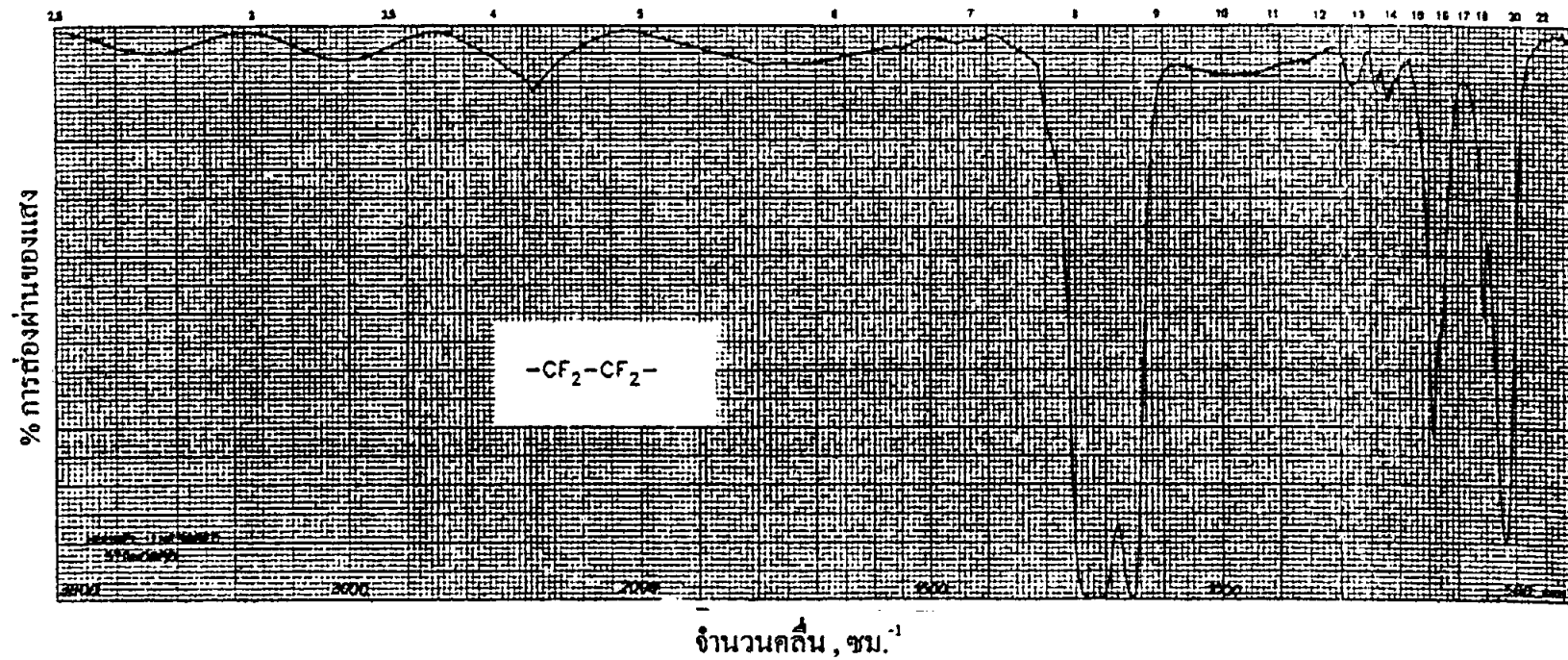


รูปที่ 34 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของท่อ

221111

C₂F₄ M

7471



รูปที่ 35 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลีเตตราฟลูออโรเอทิลีน

3.5.6 การหองค์ประกอบของพลาสติกด้วยเครื่อง TGA⁽⁷⁾

3.5.6.1 การสอบเทียบอุณหภูมิ, น้ำหนักและอัตราเร็วของการให้ความร้อน

เครื่อง TGA ที่ใช้เป็นเครื่องของ Perkin Elmer รุ่น Pyris I ก่อนการวิเคราะห์ต้องทำการสอบเทียบอุณหภูมิและอัตราเร็วของการให้ความร้อนก่อน โดยทำการสอบเทียบดังต่อไปนี้

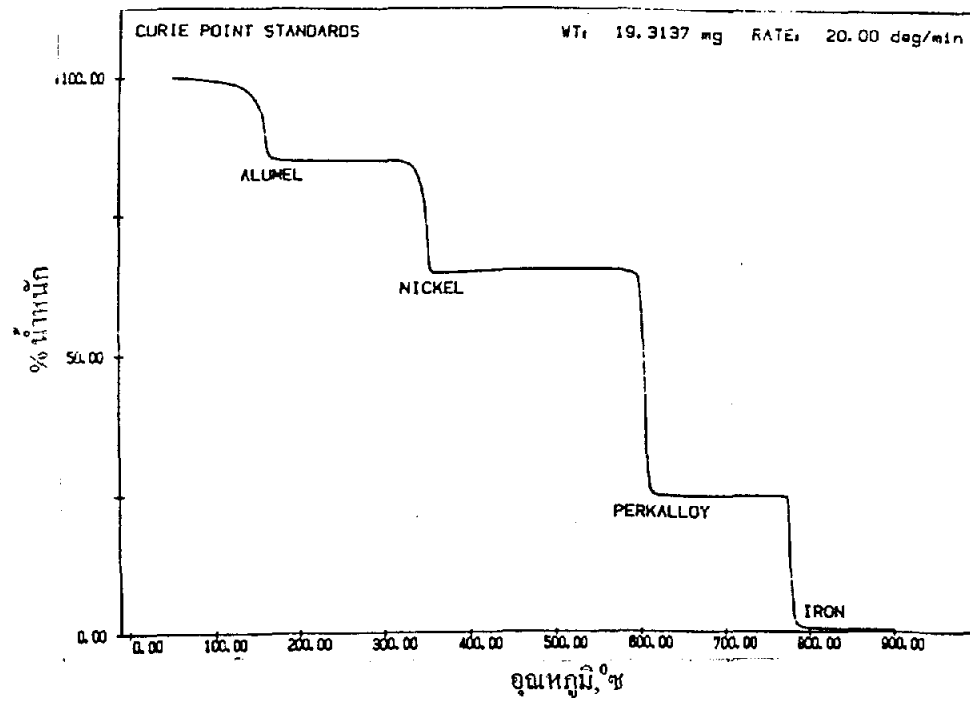
3.5.6.1.1 *สอบเทียบอุณหภูมิ (Calibrate temperature)* โดยใช้วิธีการหาจุดคิวรี (Curie point) ของสารมาตรฐานซึ่งเป็นสารพวกเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic material) อาศัยหลักการการสูญเสียความเป็นแม่เหล็กของสารเฟอร์โรแมกเนติกที่อุณหภูมิเฉพาะตัวอุณหภูมิหนึ่งเรียกอุณหภูมิที่จุดนี้ว่าจุดคิวรี โดยทั่วไปใช้สารมาตรฐานดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงจุดคิวรีของสารมาตรฐานที่นิยมใช้ในการสอบเทียบอุณหภูมิ

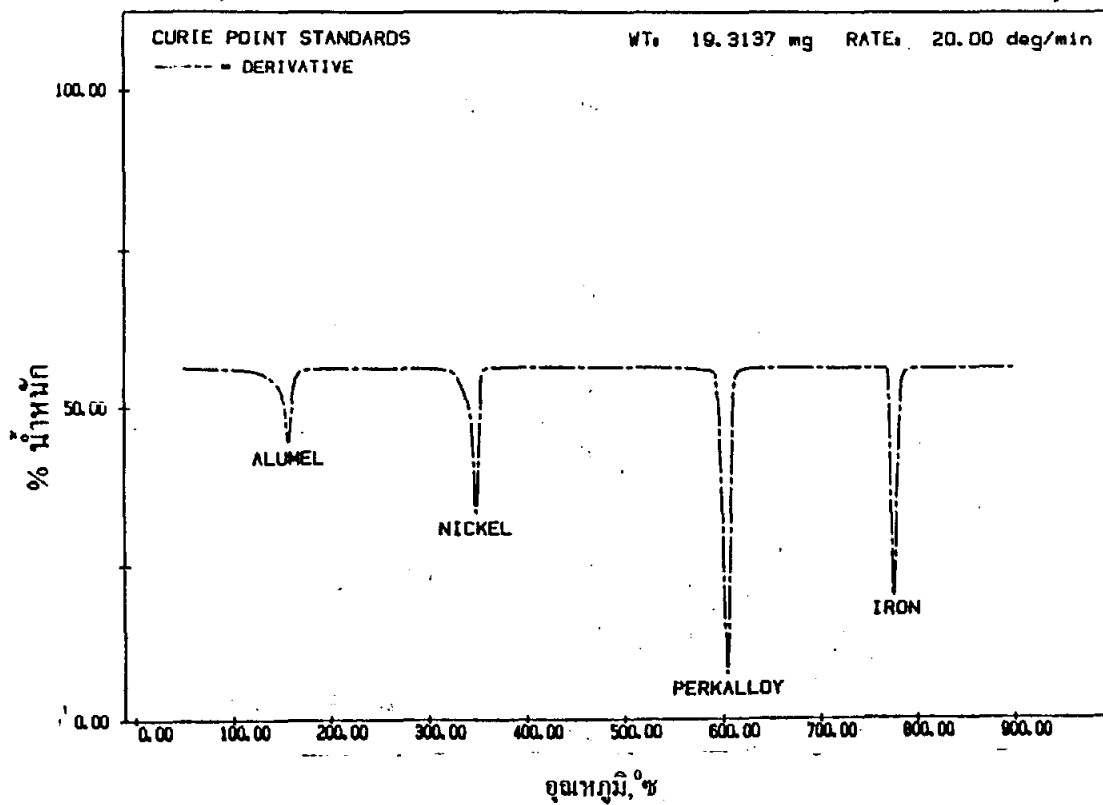
สารมาตรฐาน	จุดคิวรี, °ซ
อลูเมล(Alumel)	163°ซ
นิกเกิล (Nickel)	354°ซ
เปอร์อัลลอย (Peralloy)	596°ซ
เหล็ก(Iron)	780°ซ

จะเห็นได้ว่าสารมาตรฐานทั้งสี่ตัวในตารางที่ 9 นี้มีจุดคิวรีที่ครอบคลุมช่วงอุณหภูมิที่ทำการวิเคราะห์ ทำการสอบเทียบดังนี้

วางสารมาตรฐานที่เลือกมาจากตารางที่ 9 ให้ครอบคลุมช่วงอุณหภูมิที่ทำการวิเคราะห์ในจาน (Pan) ตั้งน้ำหนักให้เป็นศูนย์ ใส่แท่งแม่เหล็กซึ่งมีลักษณะเป็นค้อนวงกลมไว้บนขอบรอบนอกเตาเผา ซึ่งแท่งแม่เหล็กนี้จะอยู่ตรงกับส่วนใต้ครุฑเปิดในเตาเผา แม่เหล็กนี้จะดูดสารมาตรฐานไว้ น้ำหนักที่อ่านได้บันทึกไว้เป็นน้ำหนักของสารมาตรฐานซึ่งจะมากกว่าน้ำหนักจริงๆของสารนั้น เรียกน้ำหนักนี้ว่าน้ำหนักแมกเนติก (Magnetic mass) เมื่อให้ความร้อนจนถึงจุดคิวรีของสารมาตรฐานนั้น สารมาตรฐานซึ่งเป็นสารเฟอร์โรแมกเนติก(Ferromagnetic material) จะเริ่มเรียงตัวไม่เป็นระเบียบและอยู่ในสภาวะเป็นพาราแมกเนติก (Paramagnetic state) คือหมดสภาพการเป็นแม่เหล็กบนโค้งของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (TG thermal curve) น้ำหนักจะหายไปเนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักแมกเนติก (Magnetic mass) ดูรูปที่ 36



รูปที่ 36 แสดงโค้งของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก(Thermal curve)ของสารมาตรฐาน



รูปที่ 37 แสดงจุดควิรของสารมาตรฐาน 4 ตัวบนโค้งการเปลี่ยนแปลงหนึ่งหน่วยน้ำหนักต่อ
หนึ่งหน่วยเวลา (Derivative thermal curve)

รูปที่ 37 แสดงให้เห็นจุดคิวิรีบนโค้งที่พล็อตระหว่างหนึ่งหน่วยน้ำหนักกับหนึ่งหน่วยของเวลา [unit of mass per unit of time (mg/min)] ของสารมาตรฐาน 4 ตัว ได้แก่ แกอูเมลที่มีจุดคิวิรีที่ 163 °ซ; นิกเกิล มีจุดคิวิรีที่ 354 °ซ; เปรอร์อัลลอยมีจุดคิวิรีที่ 596 °ซ; และเหล็กที่มีจุดคิวิรีที่ 780 °ซ เมื่อได้จุดคิวิรีของสารมาตรฐานทั้ง 4 ตัวแล้วนำข้อมูลมาใส่ในส่วนเครื่องควบคุมการทำงานของเครื่อง TGA

3.5.6.1.2 สอบเทียบอัตราเร็วของการให้ความร้อน (Calibrate heating rate) โดยเลือกโปรแกรมการสอบเทียบอัตราเร็วของการให้ความร้อนที่อัตราเดียวกับที่จะทำการทดสอบ ในการทดสอบนี้ใช้อัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เครื่องจะทำการสอบเทียบตามโปรแกรมที่กำหนดให้

3.5.6.1.3 สอบเทียบน้ำหนัก (calibrate weight) โดยเมื่อวางจานสำหรับใส่ตัวอย่างในห้วงที่ห้อยมาจากเครื่องชั่งในเครื่อง TGA แล้วกดอ่านน้ำหนักของจานเป็น 0 แล้ววางน้ำหนักมาตรฐาน 100 มิลลิกรัมบนจาน อ่านน้ำหนักของสารมาตรฐานและใส่ ข้อมูลนี้ลงในเครื่องควบคุมการทำงานของ TGA เพื่อให้ได้น้ำหนักที่ถูกต้อง

3.5.6.2 วิธีดำเนินการวิเคราะห์

เมื่อทำการสอบเทียบเรียบร้อยแล้วจึงทำการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

3.5.6.2.1 เปิดแก๊สให้หมุนวนในระบบโดยใช้แก๊สไนโตรเจนซึ่งเป็นแก๊สเฉื่อยด้วยอัตราแรง 20 มิลลิตรต่อนาที

3.5.6.2.2 วางจานสำหรับใส่ตัวอย่างบนห้วงที่แขวนอยู่ เลื่อนเตาเผาขึ้นจนปิดสนิท รอจนน้ำหนักนิ่งกดปุ่ม Tare เพื่อให้น้ำหนักเป็นศูนย์

3.5.6.2.3 ตัดตัวอย่างให้มีขนาดพอดีกับจาน วางบนจานแล้วเลื่อนเตาเผาขึ้นจนปิดสนิท รอจนน้ำหนักนิ่งกดปุ่มอ่านน้ำหนักของตัวอย่าง โปรแกรมจะบันทึกค่าน้ำหนักของตัวอย่าง

3.5.6.2.4 ตั้งโปรแกรมการให้ความร้อนตั้งแต่อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งถึง 550 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และให้คงที่ที่อุณหภูมินี้ประมาณ 3 นาที จากนั้นเปลี่ยนแก๊สเป็นออกซิเจนเพื่อหาปริมาณคาร์บอนดำ แต่ถ้าตัวอย่างไม่มีคาร์บอนดำก็ไม่ต้องเปลี่ยนแก๊ส แล้วให้ความร้อนจนถึง 1000 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.5.6.2.5 เมื่อการวิเคราะห์จบลง คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของสารต่างๆ โดยดูจากโค้งของการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก (TGA curve) และโค้งของการเปลี่ยนแปลงหนึ่งหน่วยน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยเวลา (DTG curve) โดยเลือกจุดบนเส้นฐานที่เป็นเส้นตรงคือยังไม่มี การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก เป็นจุดแรกเริ่มปฏิกิริยา เมื่อสารได้รับความร้อนถึงอุณหภูมิที่เกิดการแตกสลาย น้ำหนักจะเริ่มลดลง จนกระทั่งสารสลายตัวหมด เส้นฐานจะกลับมาเป็นเส้นตรงอีกครั้ง ให้เลือกจุดนี้เป็นจุดสิ้นสุดปฏิกิริยา คำนวณหา น้ำหนักที่หายไปตั้งแต่จุดแรกถึงจุดนี้

ตัวอย่างการวิเคราะห์หาปริมาณของพลาสติกและสารเสริมต่างๆดังนี้

เส้นใย

การวิเคราะห์หาชนิด

ทดสอบลักษณะการติดไฟและการลุกไหม้ ตัวอย่างเส้นใยเมื่อนำมาจ่อเปลวไฟจะติดไฟเปลวสีเหลือง เขม่าดำ เมื่อหลอมเหลวจะใส คือเป็นเส้นได้ และยังคงติดไฟต่อเมื่อเอาออกจากเปลวไฟ

วิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบ ไม่พบธาตุฮาโลเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยในรูปที่ 38 เหมือนกับของเส้นใยโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลตซึ่งจัดเป็นเส้นใยโพลีเอสเตอร์ ในรูปที่ 39

จุดหลอมเหลว เส้นใยมีจุดหลอมเหลวที่ 255°ซ ตรงกับจุดหลอมเหลวของโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต (ตารางที่ 6)

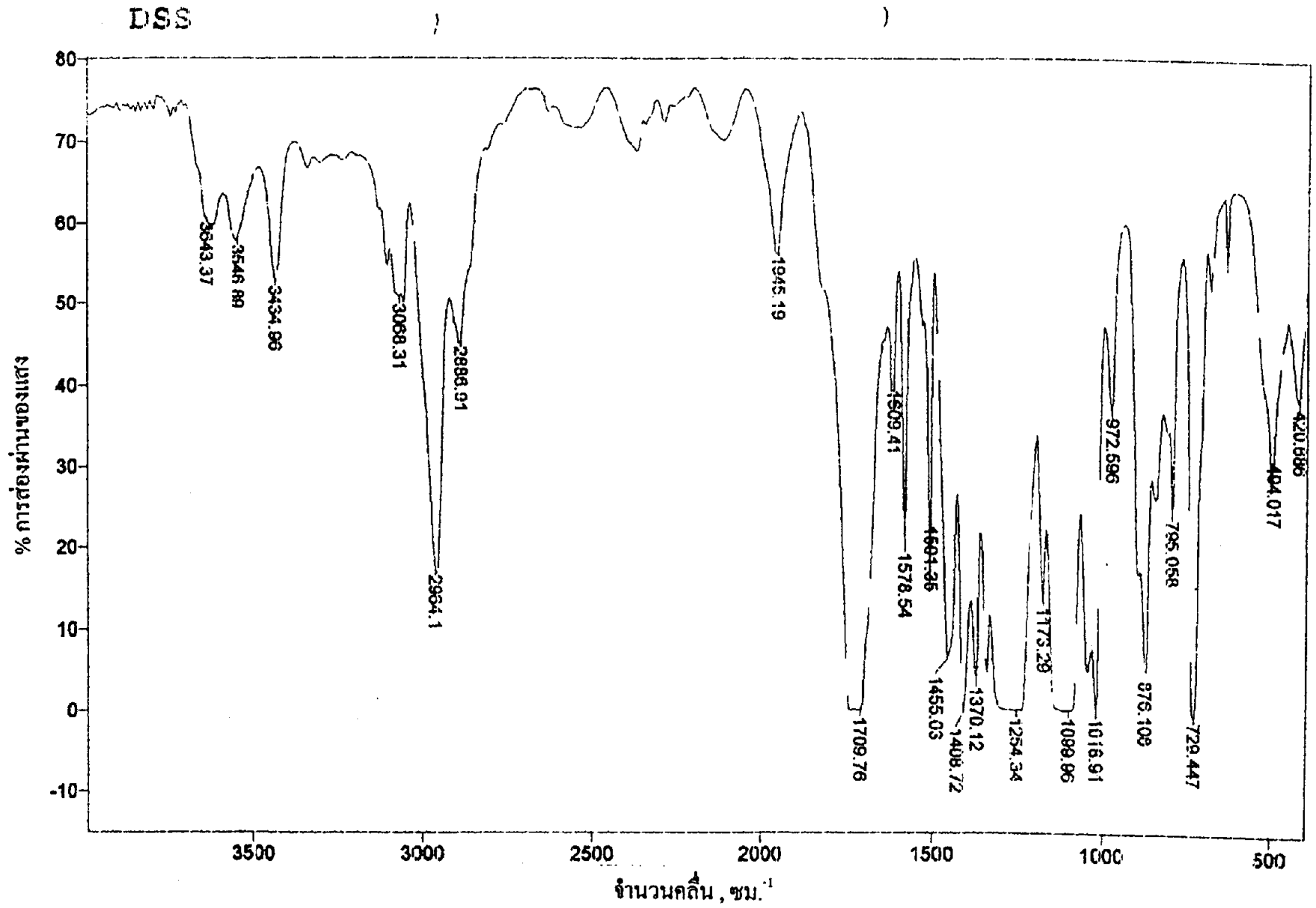
สรุปผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างเส้นใยเป็นโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต หรือ โพลีเอสเตอร์

การวิเคราะห์หาปริมาณ

ผลการวิเคราะห์ด้วย TGA จากโค้งการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในรูปที่ 40 พบว่าเส้นใยประกอบด้วยส่วนเส้นใยโพลีเอสเตอร์ 99.4% ที่เหลือเป็นเถ้า

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ของเถ้า อินฟราเรดสเปกตรัมของเถ้าในรูปที่ 41 เหมือนกับสเปกตรัมของไททานเนียมไดออกไซด์ในรูปที่ 42 แสดงว่าเถ้าเป็นไททานเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide)

สรุปผลการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณ เส้นใยประกอบด้วยเส้นใยโพลีเอสเตอร์ 99.4% และไททานเนียมไดออกไซด์ 0.6%



รูปที่ 38 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใย

Natürliche und synthetische Fasern

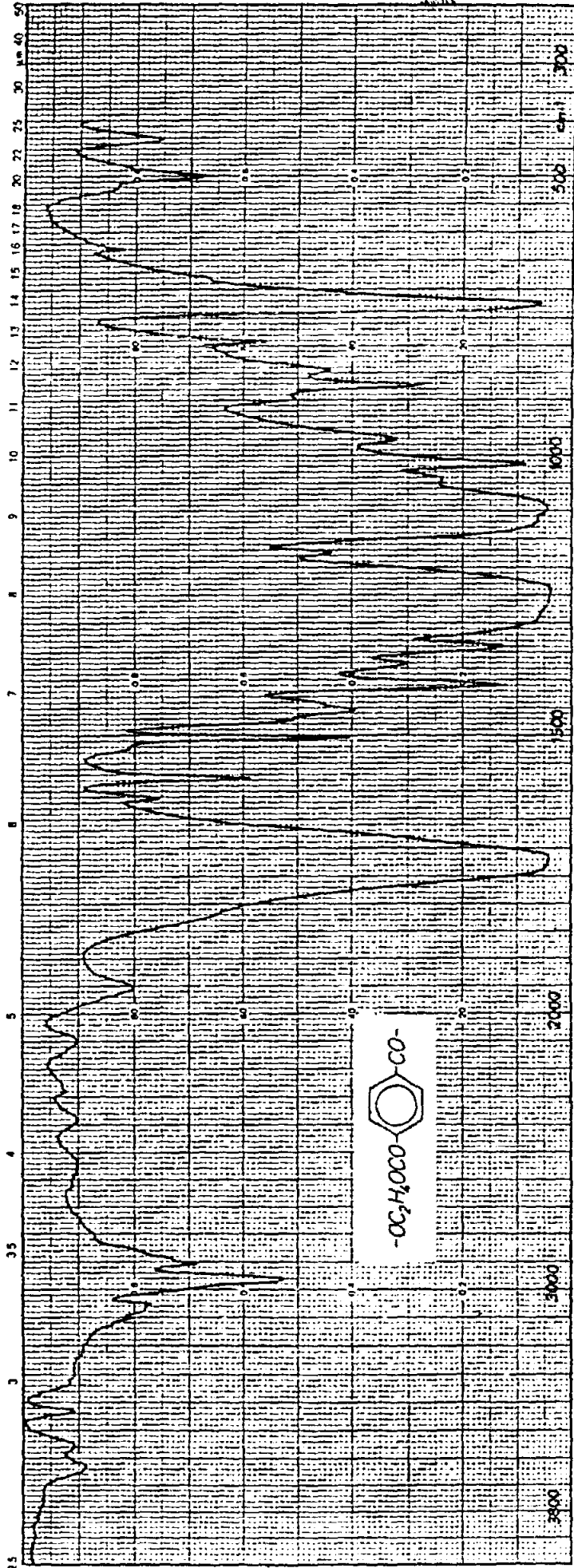
ClHO

Natural and Synthetic Fibers

123371221

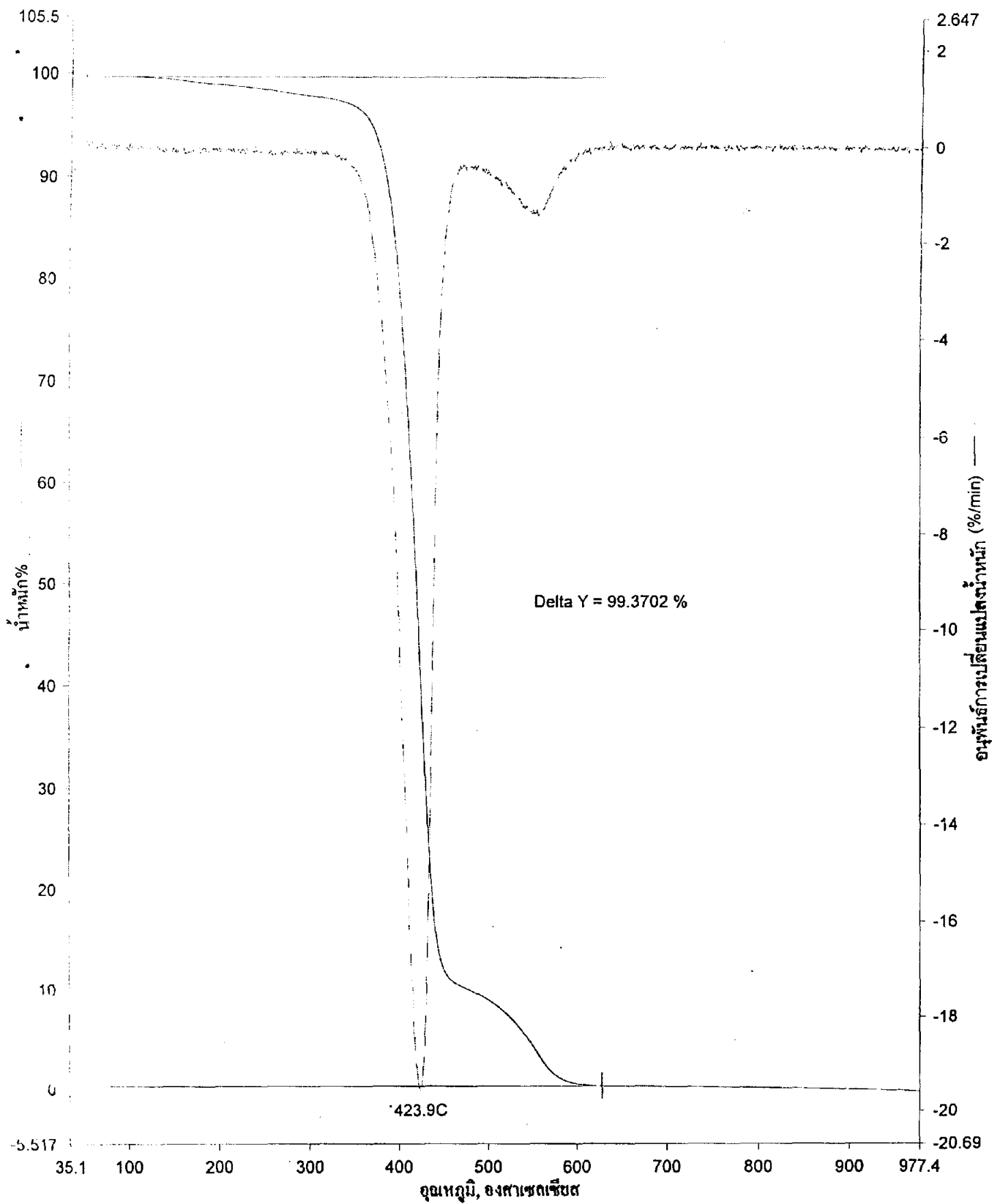
$C_{10}H_8O_4$ P

2261

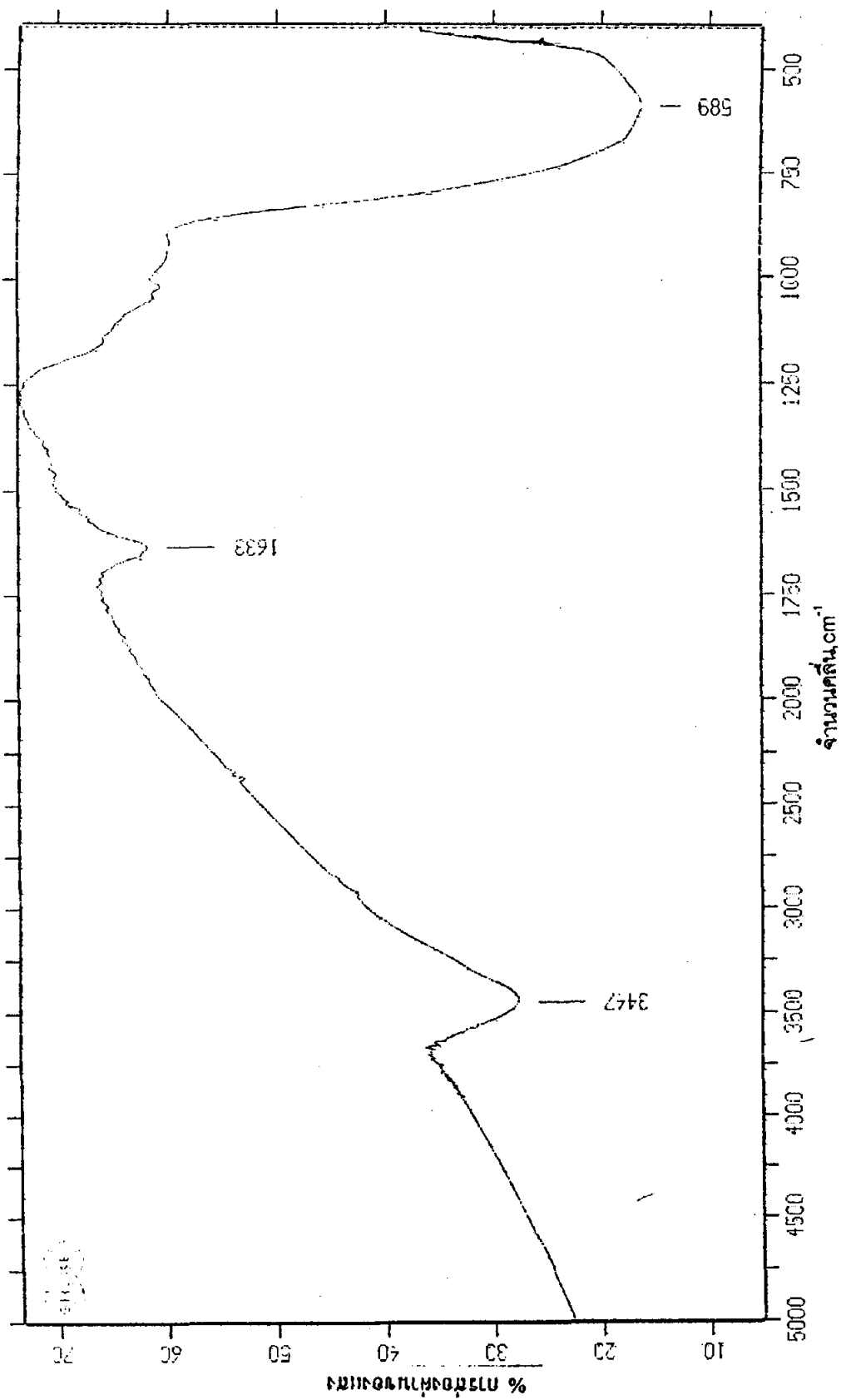


จำนวนคลื่น, ซม.¹

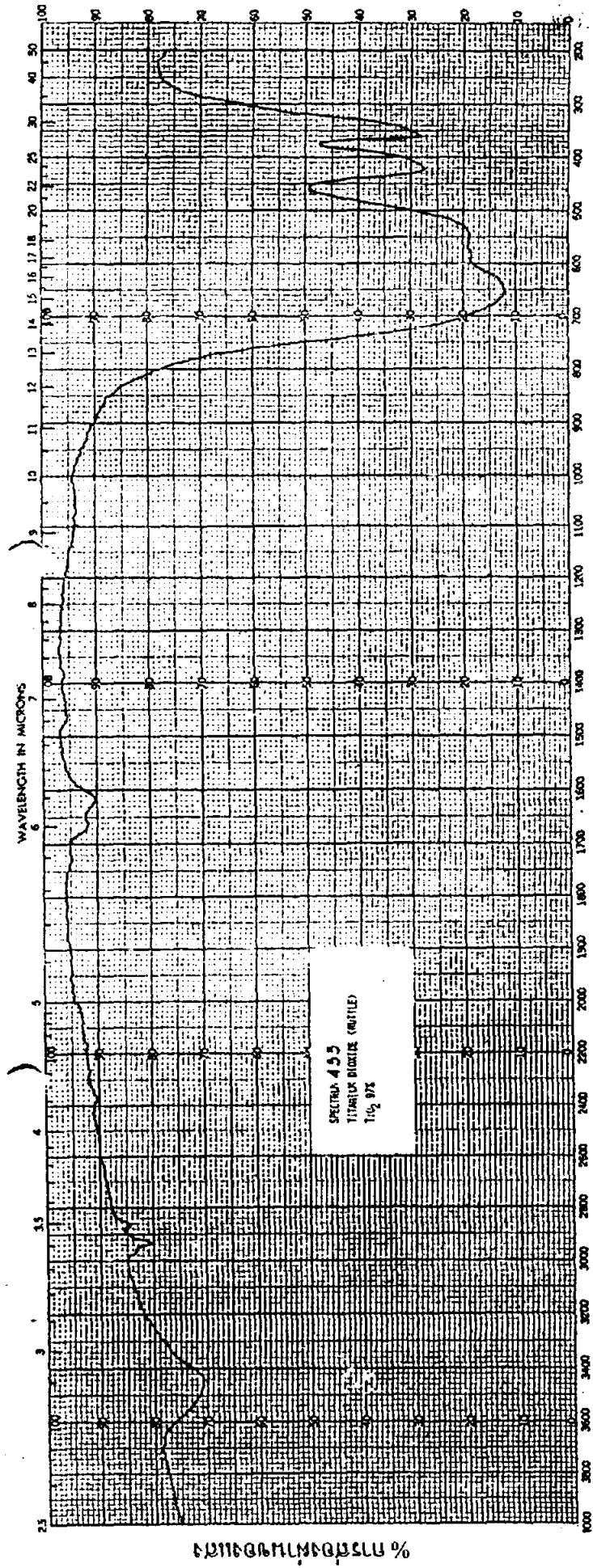
รูปที่ 39 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต



รูปที่ 40 แสดงโค้งของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเส้นใย



รูปที่ 41 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของเข้าทองเส้นใย



จำนวนคลื่น, ซม.⁻¹

รูปที่ 42 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไททาเนียมไดออกไซด์

พลาสติกกลามิเนต

การวิเคราะห์หาชนิด

ทดสอบลักษณะการติดไฟและการลุกไหม้ ตัวอย่างพลาสติกกลามิเนตติดไฟยาก เมื่อจ่อเปลวไฟจะติดไฟเปลวสีเหลือง แต่เมื่อเอาออกจากเปลวไฟจะดับเอง

วิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบ พบ ในโครเจน เพียงตัวเดียว

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR พลาสติกกลามิเนตมีสองชั้น ชั้นบนเป็นสีขาว ส่วนชั้นล่างเป็นสีน้ำตาลมีลักษณะคล้ายไม้ ขูดชั้นบนและชั้นล่างมาทำ KBR อินฟราเรดสเปกตรัมของพลาสติกกลามิเนตชั้นบนในรูปที่ 43 เหมือนกับสเปกตรัมของบิวทิลเลคเตด เมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Butyrate Melamine-Formaldehyde) ในรูปที่ 44 ส่วนสเปกตรัมของพลาสติกกลามิเนตชั้นล่างในรูปที่ 45 เหมือนกับสเปกตรัมของบิวทิลเลคเตด ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Butyrate Phenol-Formaldehyde) ในรูปที่ 46

จุดหลอมเหลว ไม่สามารถหาจุดหลอมเหลวได้เนื่องจากเป็นพลาสติกเทอร์โมเซต

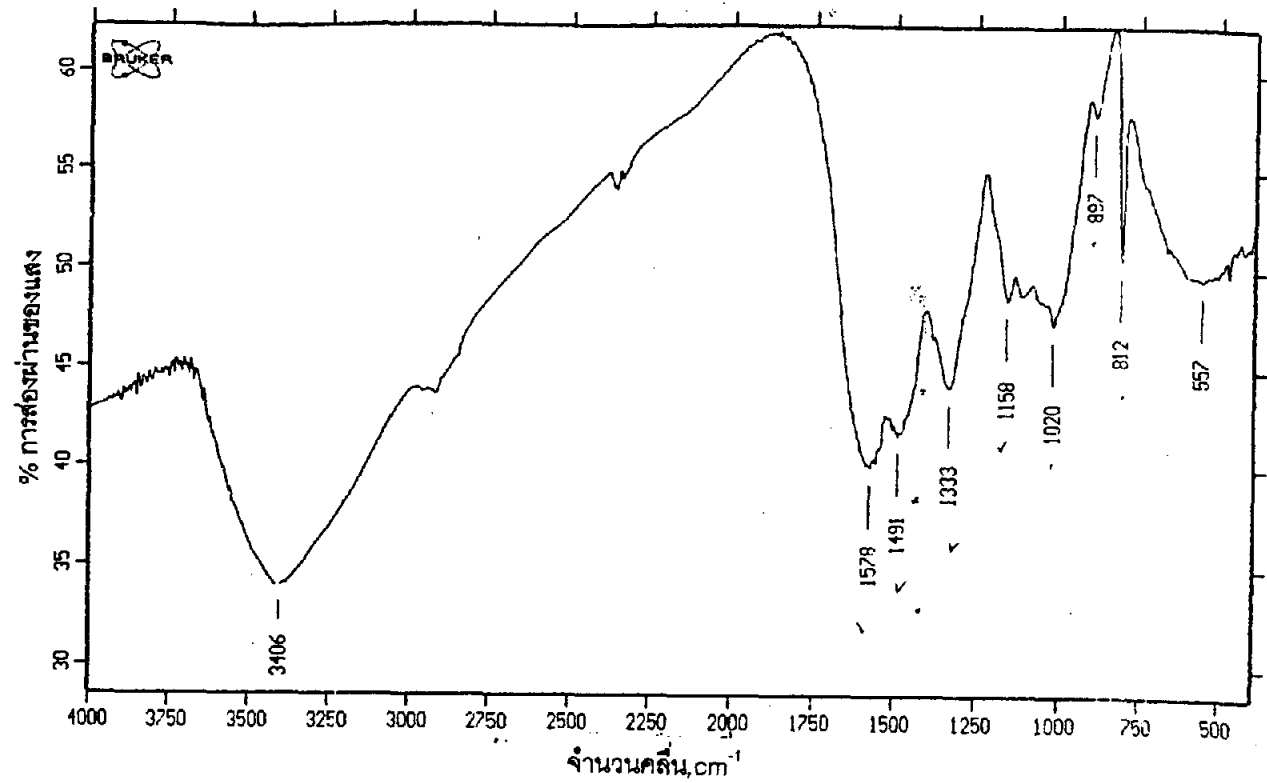
สรุปผลการวิเคราะห์หาชนิด พลาสติกกลามิเนตส่วนชั้นบนที่มีสีขาวเป็นบิวทิลเลคเตด เมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์ ส่วนชั้นล่างเป็นบิวทิลเลคเตด ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์

การวิเคราะห์หาปริมาณ

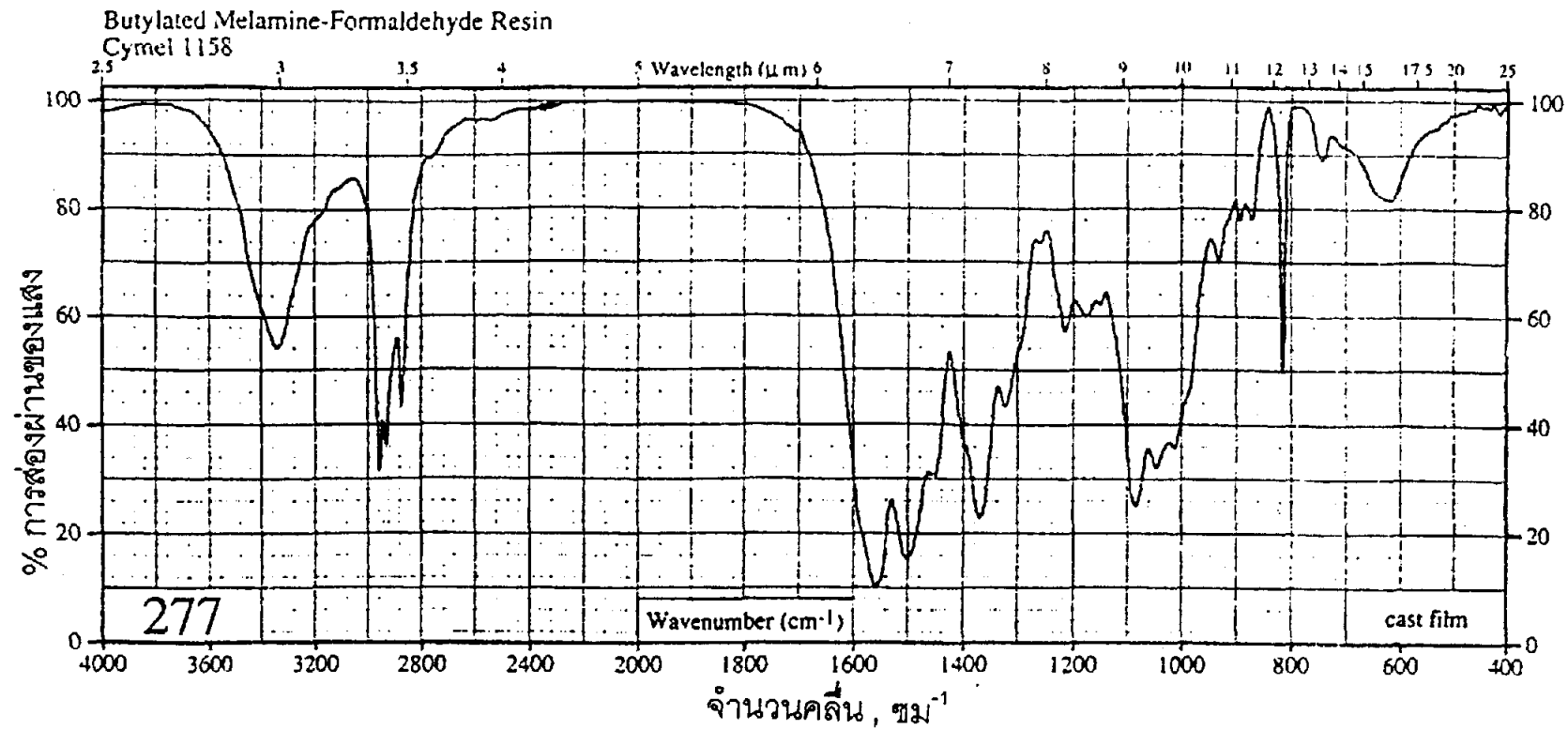
ผลการวิเคราะห์ด้วย TGA จากโค้งการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในรูปที่ 47 พบว่าพลาสติกกลามิเนตประกอบด้วยส่วนที่เป็นบิวทิลเลคเตด เมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์ และ บิวทิลเลคเตด ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ 60.7% ที่เหลือเป็นถ้ำ

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ของถ้ำ เนื่องจากพลาสติกกลามิเนตมี 2 ชั้นคงได้กล่าวมาแล้ว ชั้นบนซึ่งเป็นสีขาวถ้ำมีสีขาวเช่นกันเมื่อนำถ้ำส่วนนี้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ผลปรากฏว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของถ้ำในรูปที่ 48 เหมือนกับสเปกตรัมของไททานเนียมไดออกไซด์ในรูปที่ 42 แสดงว่าถ้ำเป็นไททานเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) ส่วนชั้นล่างที่มีสีน้ำตาลถ้ำมีสีเทาซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ผลปรากฏว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของถ้ำในรูปที่ 49 เหมือนกับสเปกตรัมของคาโอลิไนท์ (Kaolinite) ในรูปที่ 50 แสดงว่าถ้ำเป็นคาโอลิไนท์

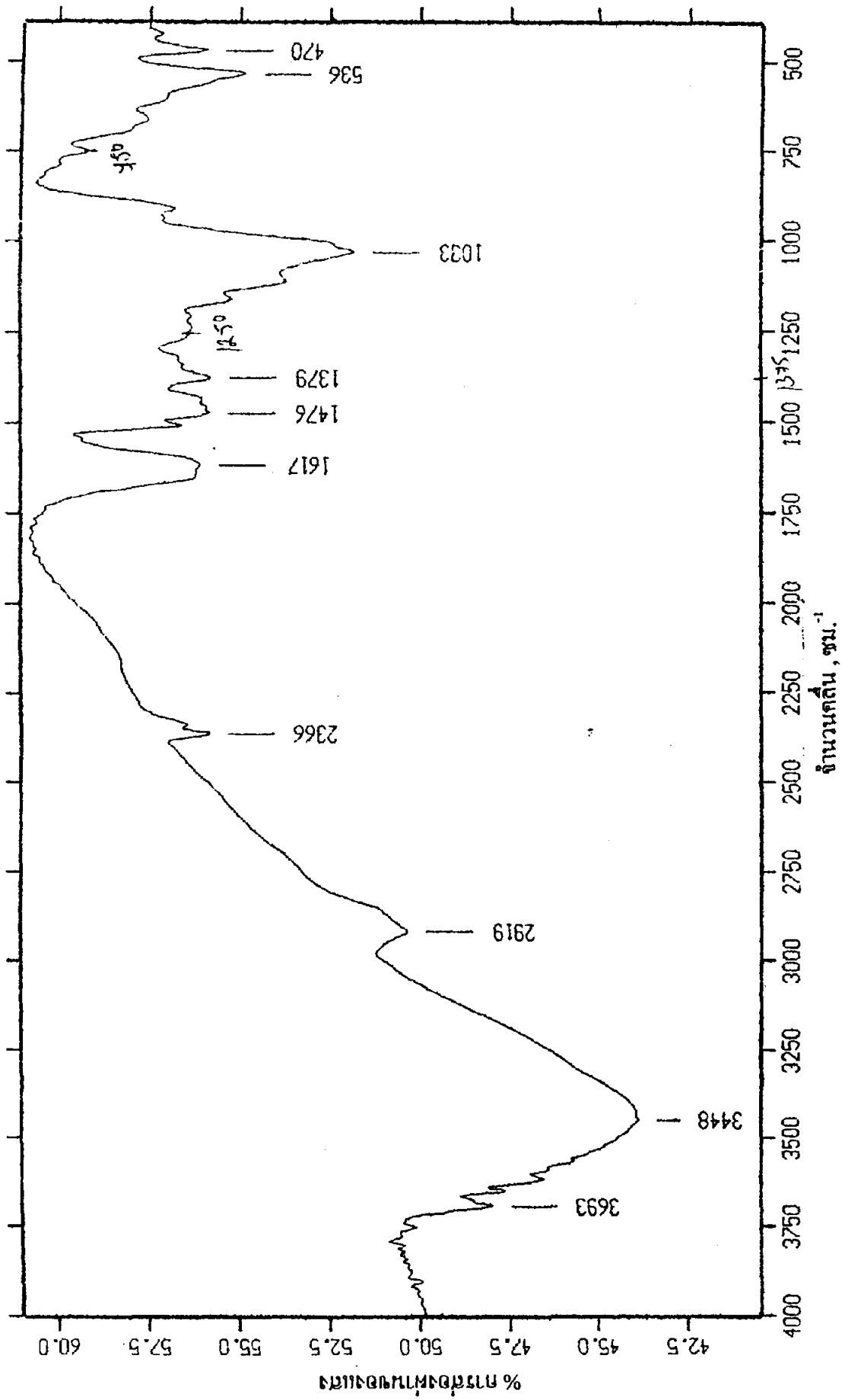
สรุปผลการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณ ตัวอย่างพลาสติกกลามิเนตประกอบด้วยส่วนที่เป็นบิวทิลเลคเตด เมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์ และบิวทิลเลคเตด ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ 60.7% ที่เหลือเป็นไททานเนียมไดออกไซด์ และคาโอลิไนท์



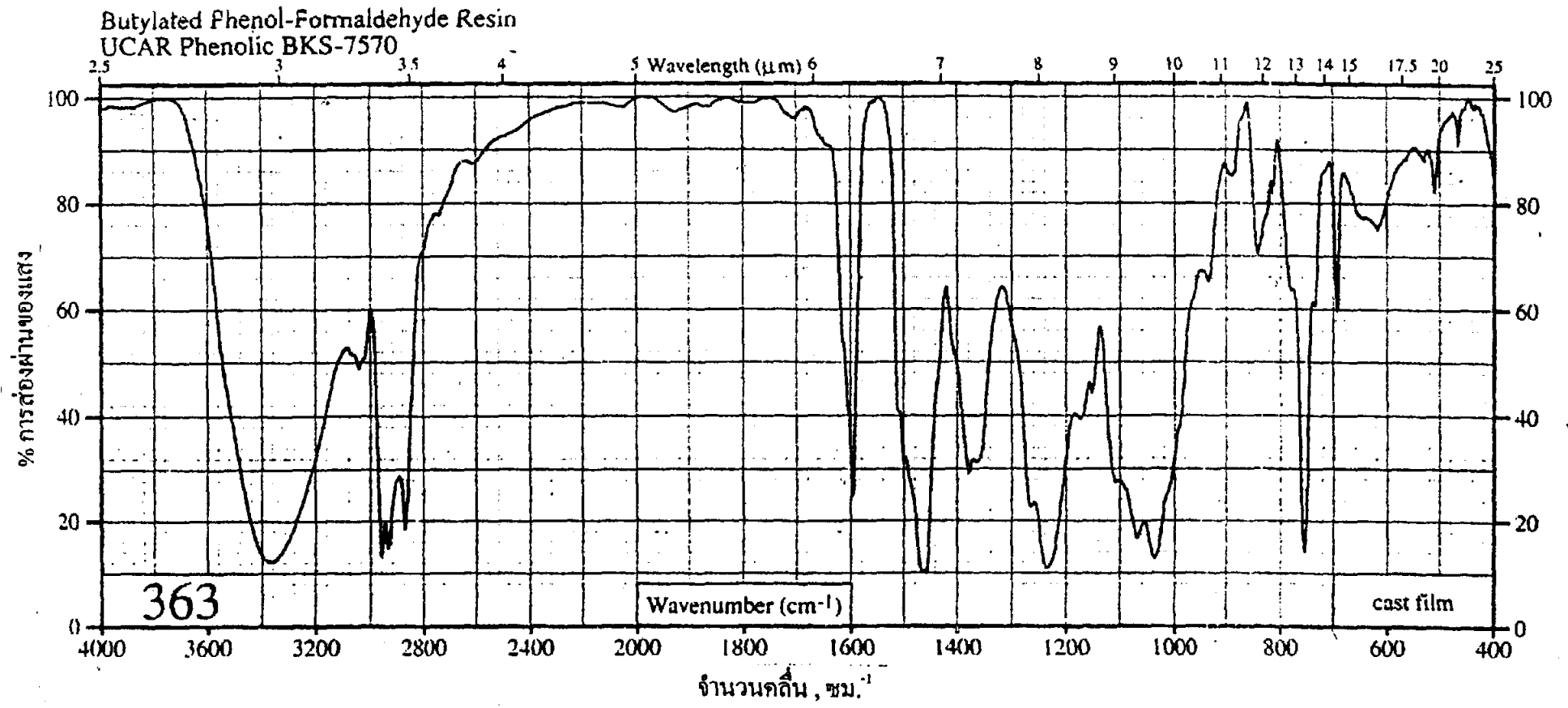
รูปที่ 43 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของชั้นบนของพลาสติกกามิเนต



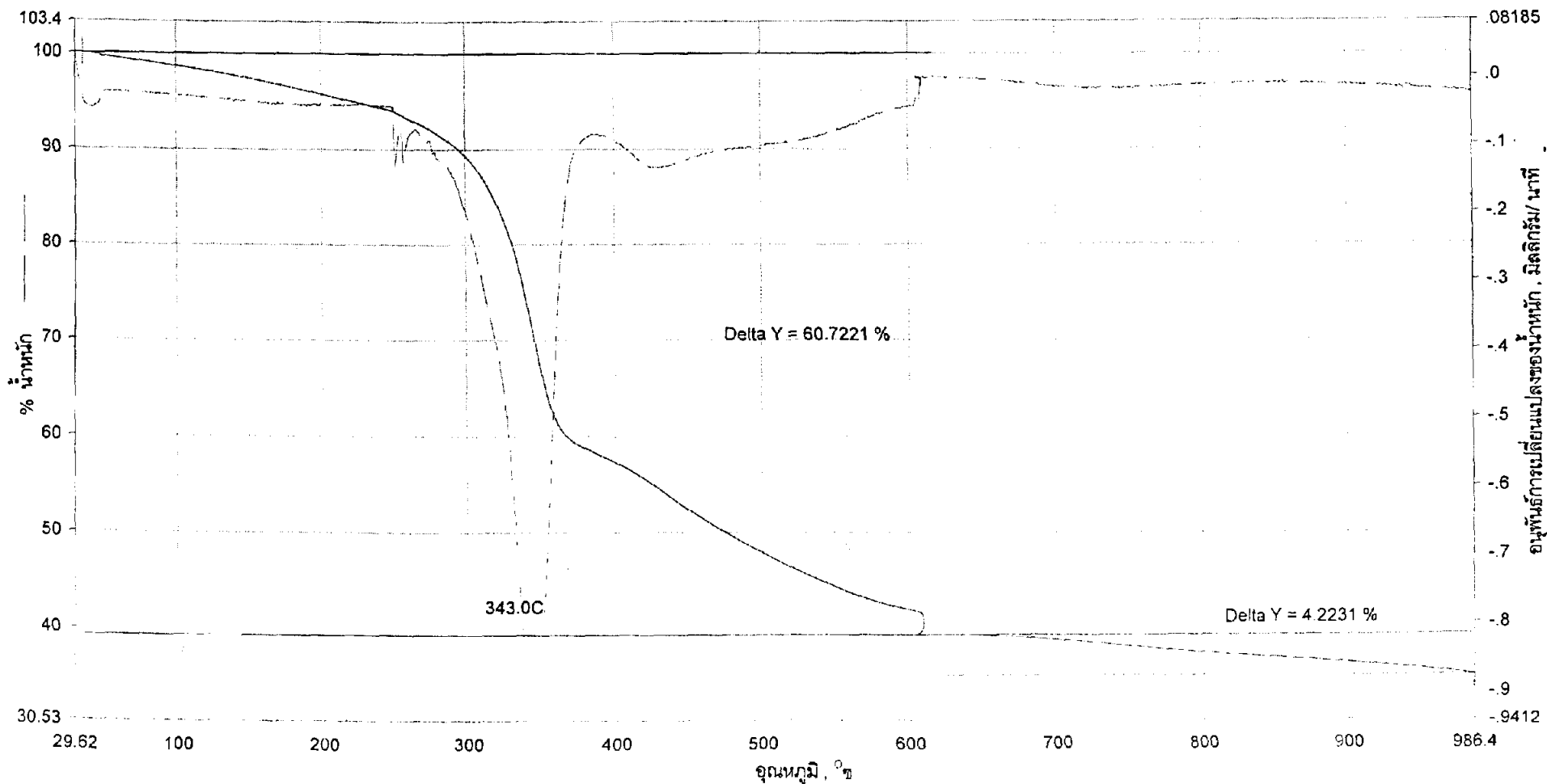
รูปที่ 44 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของบิวทิลเตคเตด เมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์



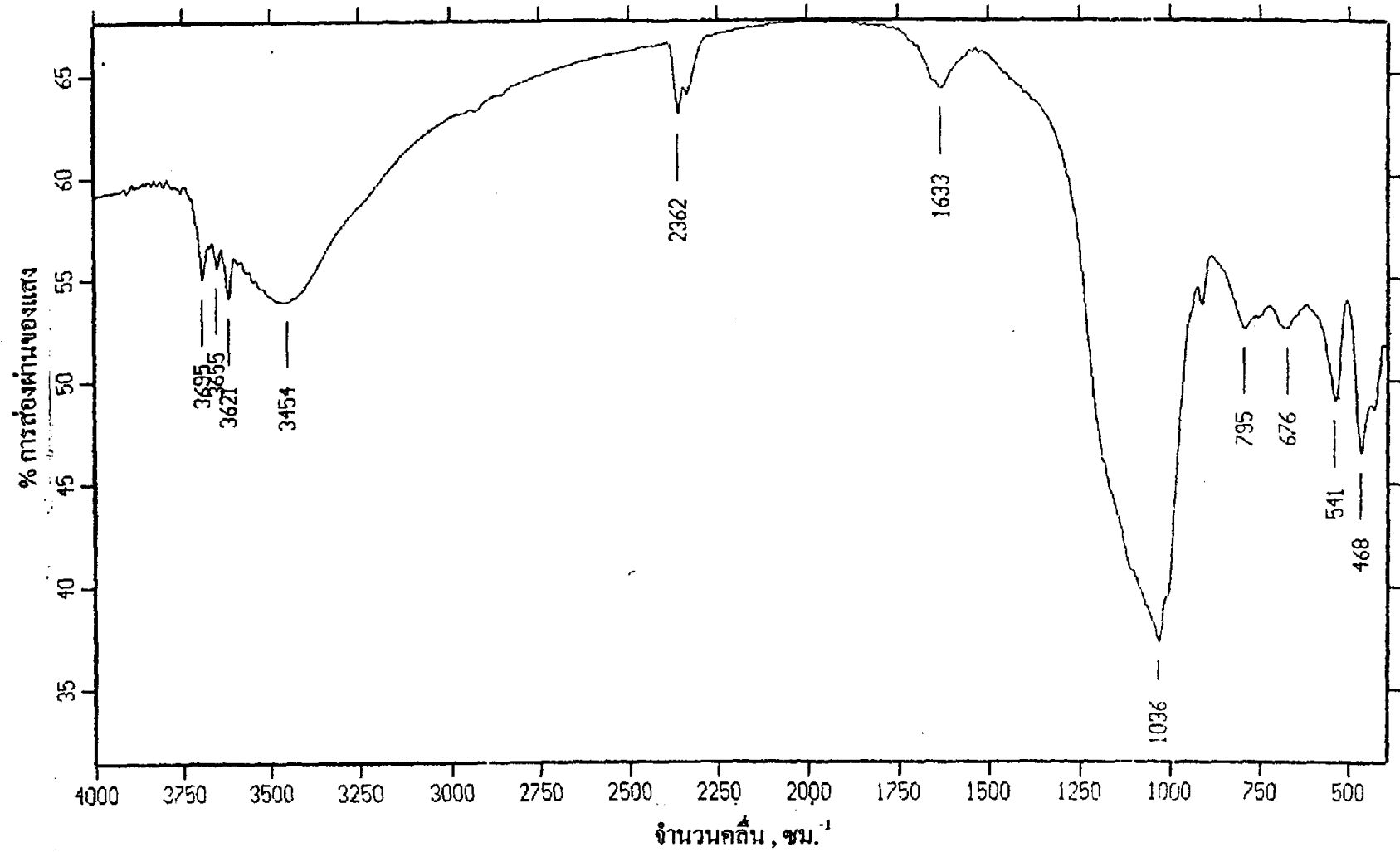
รูปที่ 45 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของชั้นล่างของเปลือกถักใยแก้ว



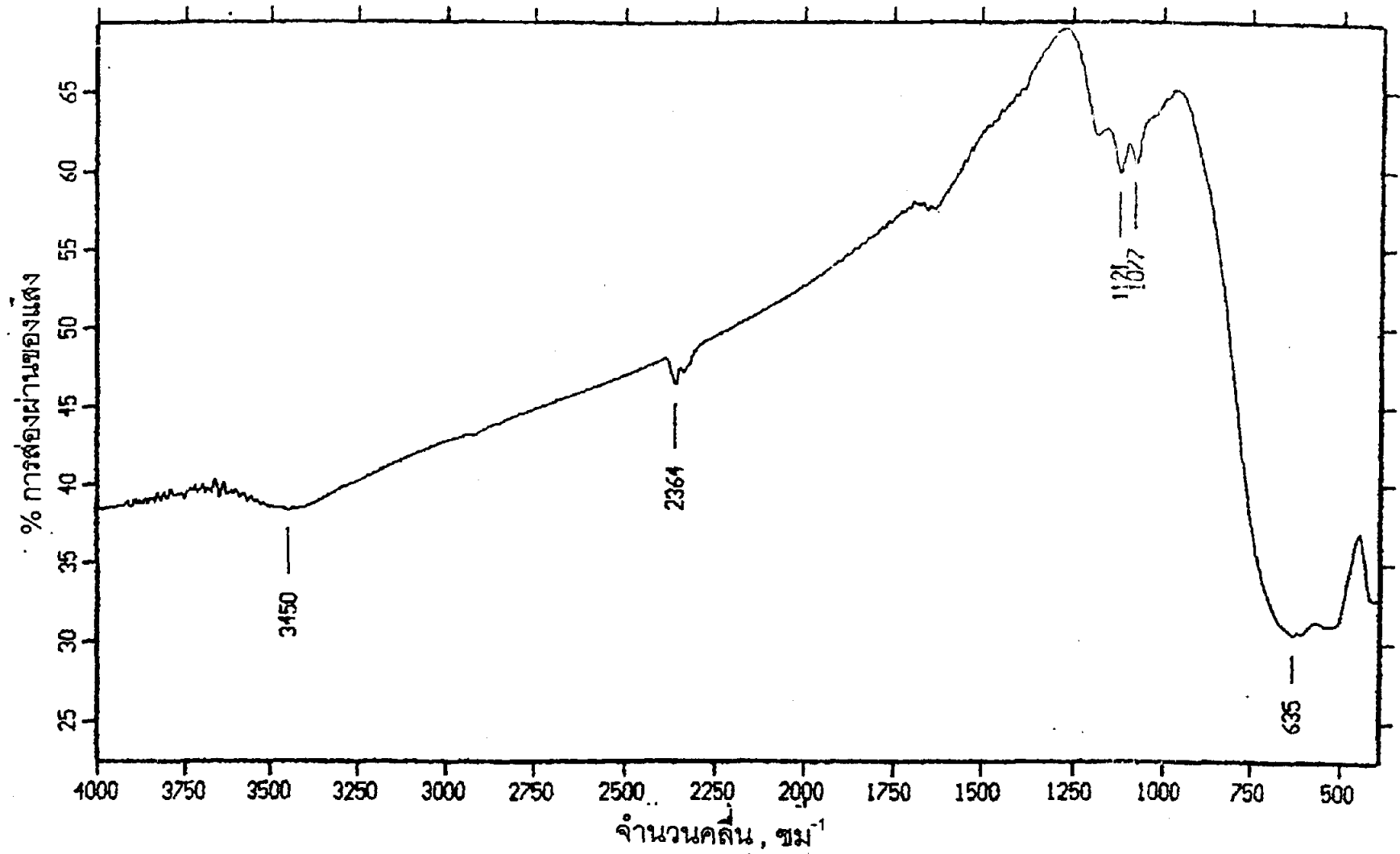
รูปที่ 46 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของบิวทิลเลตเตด ฟีนอล-ฟอร์มาลดีไฮด์



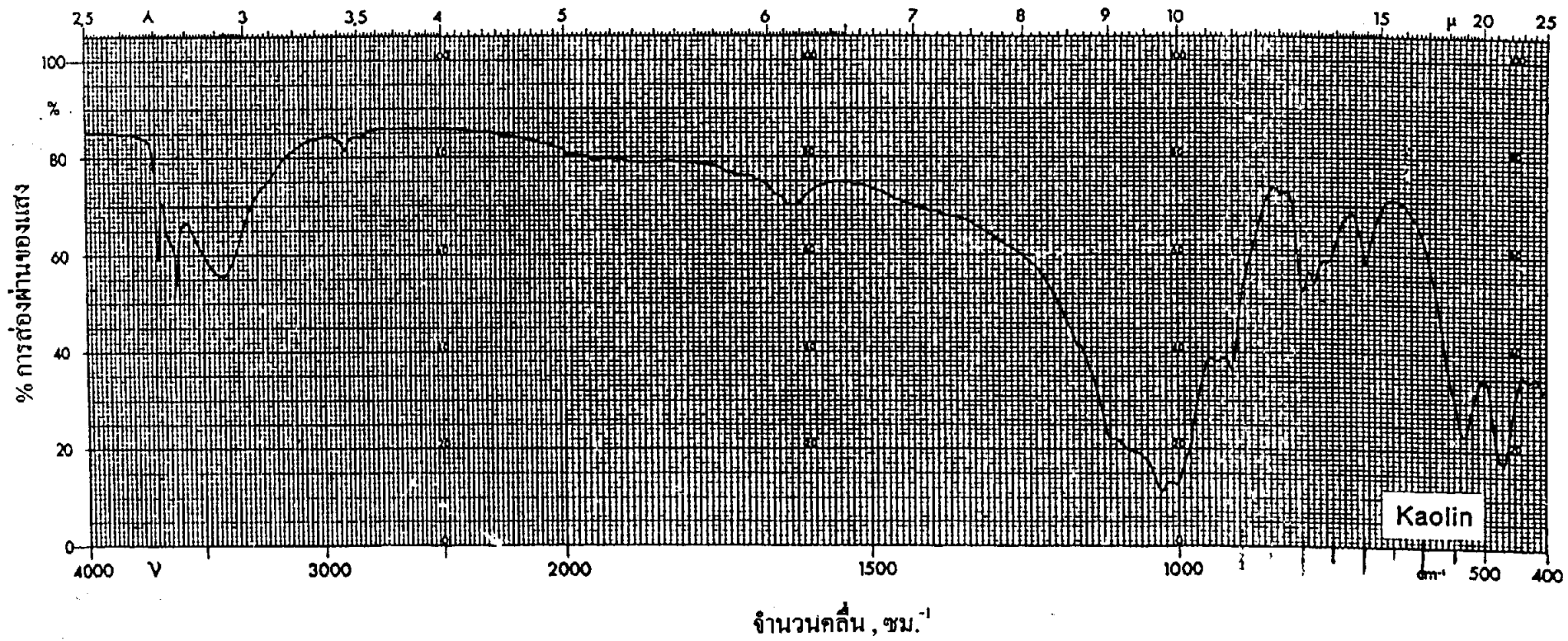
รูปที่ 47 แสดงโค้งของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพลาสติกชนิด



รูปที่ 48 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของแก้วของพลาสติกลามิเนตชั้นบน



รูปที่ 49 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของแก้วของพลาสติกลามิเนตชั้นล่าง



รูปที่ 50 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของคาโอลิไนท์ (Kaolinite)

เม็ดพลาสติก

การวิเคราะห์หาชนิด

ทดสอบลักษณะการติดไฟและการลุกไหม้ ตัวอย่างเม็ดพลาสติกติดไฟเปลวสีเหลืองฐานสีน้ำเงิน และยังคงติดไฟต่อเมื่อเอาออกจากเปลวไฟ

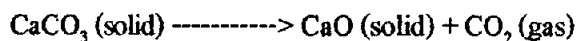
วิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบ ไม่พบธาตุฮาโลเจนฮาโลเจน ในโครเจน และ ซัลเฟอร์

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR อินฟราเรดสเปกตรัมของเม็ดพลาสติกในรูปที่ 51 เหมือนกับ อินฟราเรดสเปกตรัมของแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปที่ 30 ตรงช่วง 1430 cm^{-1} และ 875 cm^{-1} และ เหมือนสเปกตรัมของไททานเนียมไดออกไซด์ในรูปที่ 42 ตรงช่วง 500-700 cm^{-1} แสดงว่าเม็ดพลาสติก มีแคลเซียมคาร์บอเนตและไททานเนียมไดออกไซด์เป็นสารเสริม เมื่อนำเม็ดพลาสติกมาเผาและเก็บไอ ที่เกิดจากการเผาไหม้และควบแน่นมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ได้อินฟราเรดสเปกตรัมในรูปที่ 52 เหมือนกับสเปกตรัมของโพลิ(เอทิลีน-โค-โพรพิลีน) [Poly(ethylene-co-propylene)] ในรูปที่ 53

สรุปผลการวิเคราะห์หาชนิด เม็ดพลาสติกเป็นโพลิ(เอทิลีน-โค-โพรพิลีน) มีแคลเซียมคาร์บอเนต และไททานเนียมไดออกไซด์เป็นสารเสริม

การวิเคราะห์หาปริมาณ

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA จากโค้งการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในรูปที่ 54 หาปริมาณของโพลิ (เอทิลีน-โค-โพรพิลีน) ได้ 25.54 % และมีน้ำหนักในช่วง 600-900 cm^{-1} หายไป 8.84 % ซึ่งเกิด จากการที่แคลเซียมคาร์บอเนตแตกตัวกลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์



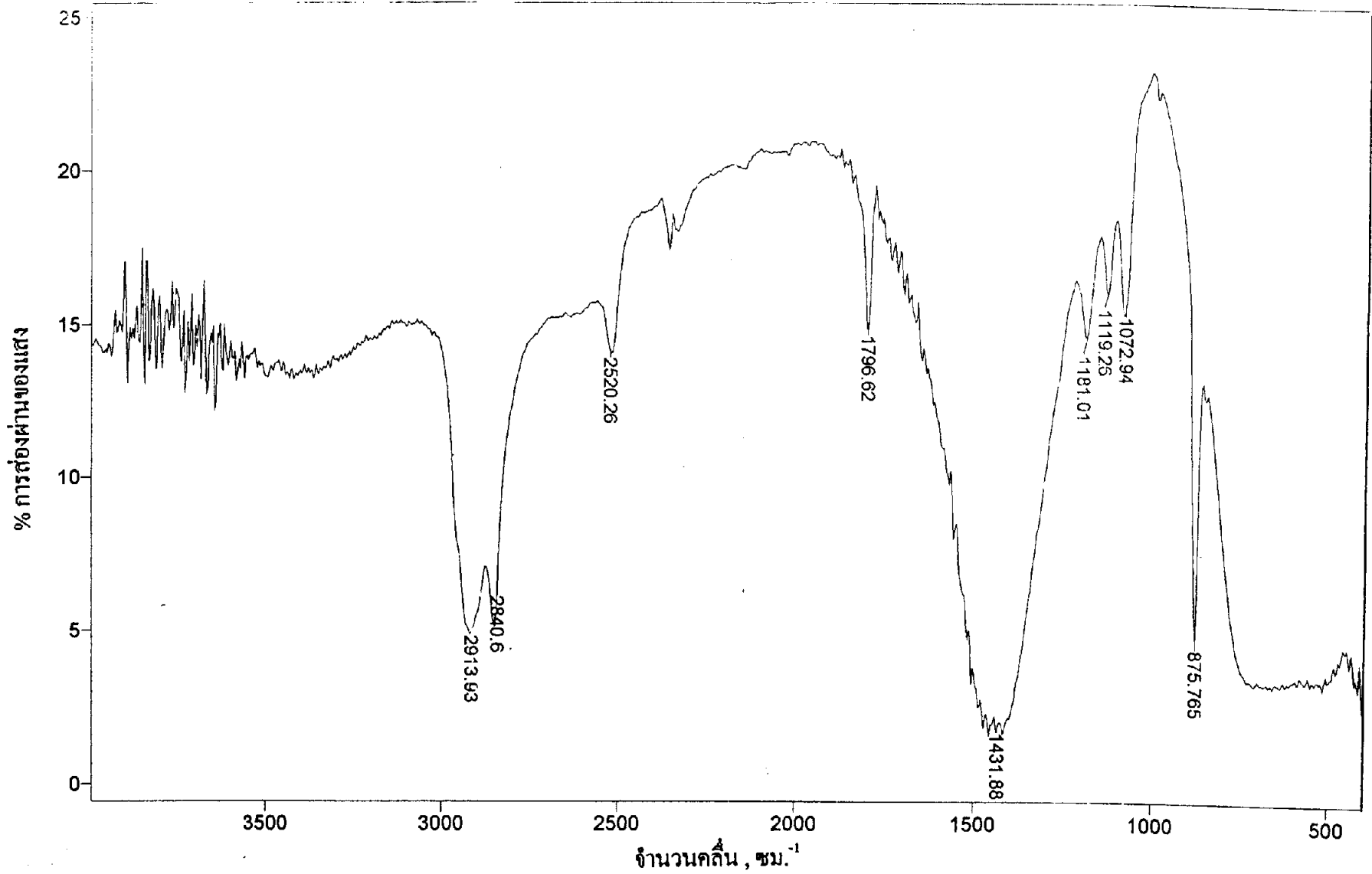
จากสมการ 1 กรัม โมลของแคลเซียมคาร์บอเนต (100.1 กรัม) จะสลายตัวเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ 1 กรัม โมล (44 กรัม) ดังนั้นจึงสามารถหาเปอร์เซ็นต์ของแคลเซียมคาร์บอเนต ได้จากสูตรดังนี้

$$\% \text{CaCO}_3 = \% \text{CO}_2 \times \% \text{CaCO}_3 / \text{CO}_2$$

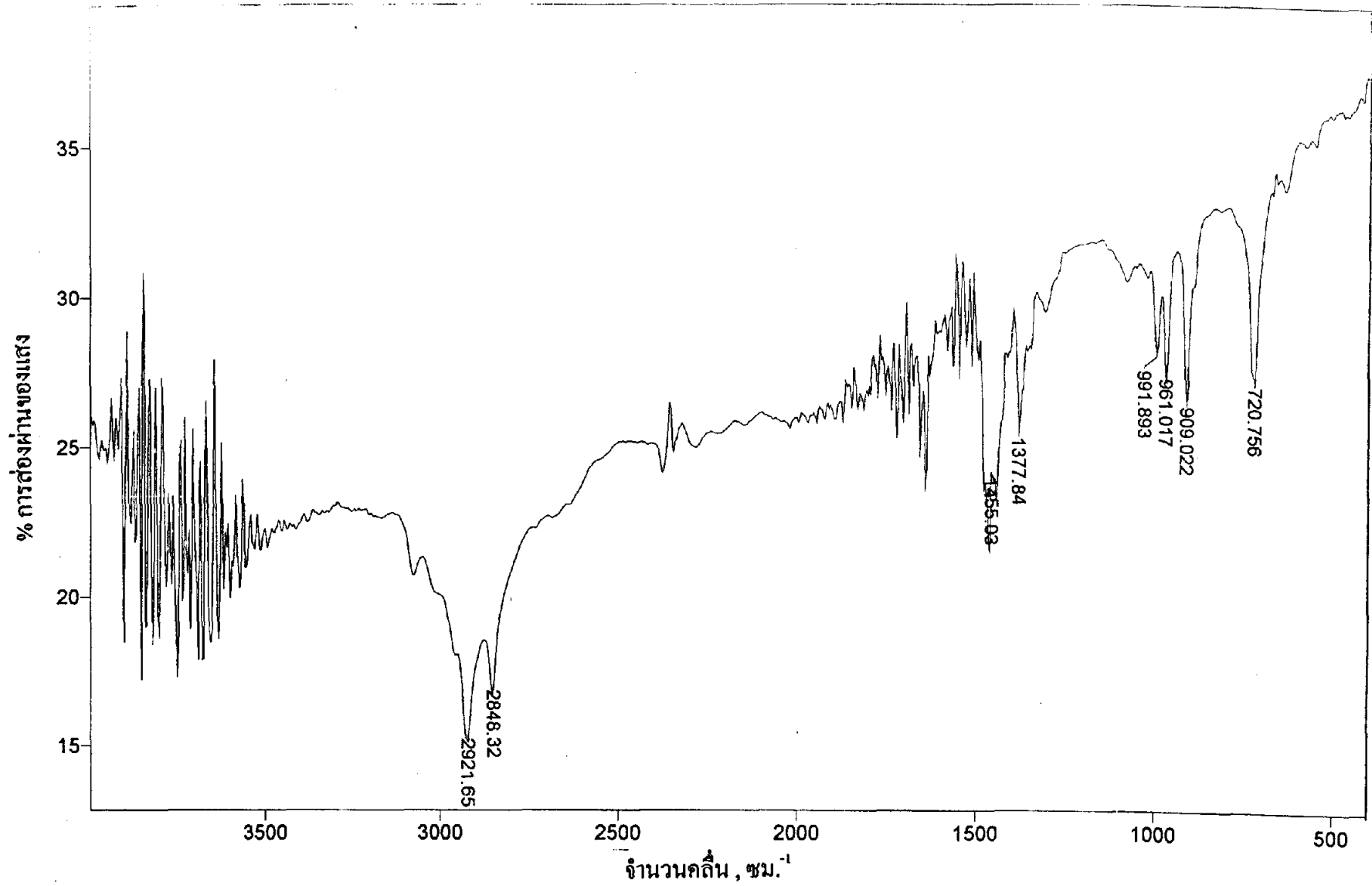
$$\text{CaCO}_3 / \text{CO}_2 \text{ เท่ากับ } 100/44 \text{ หรือ } 2.27$$

เมื่อนำปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น 8.84 % นี้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ ของแคลเซียมคาร์บอเนตตามสูตรข้างต้น พบว่าเม็ดพลาสติกมีแคลเซียมคาร์บอเนต 20.06 %

สรุปผลการวิเคราะห์ เม็ดพลาสติกประกอบด้วยโพลิ(เอทิลีน-โค-โพรพิลีน) 25.54% มีแคลเซียม คาร์บอเนต 20.06 % ที่เหลือ 54.40 % เป็นไททานเนียมไดออกไซด์



รูปที่ 51 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมที่เกิดจากการอัดเป็นฟิล์มบางๆของเม็ดพลาสติก

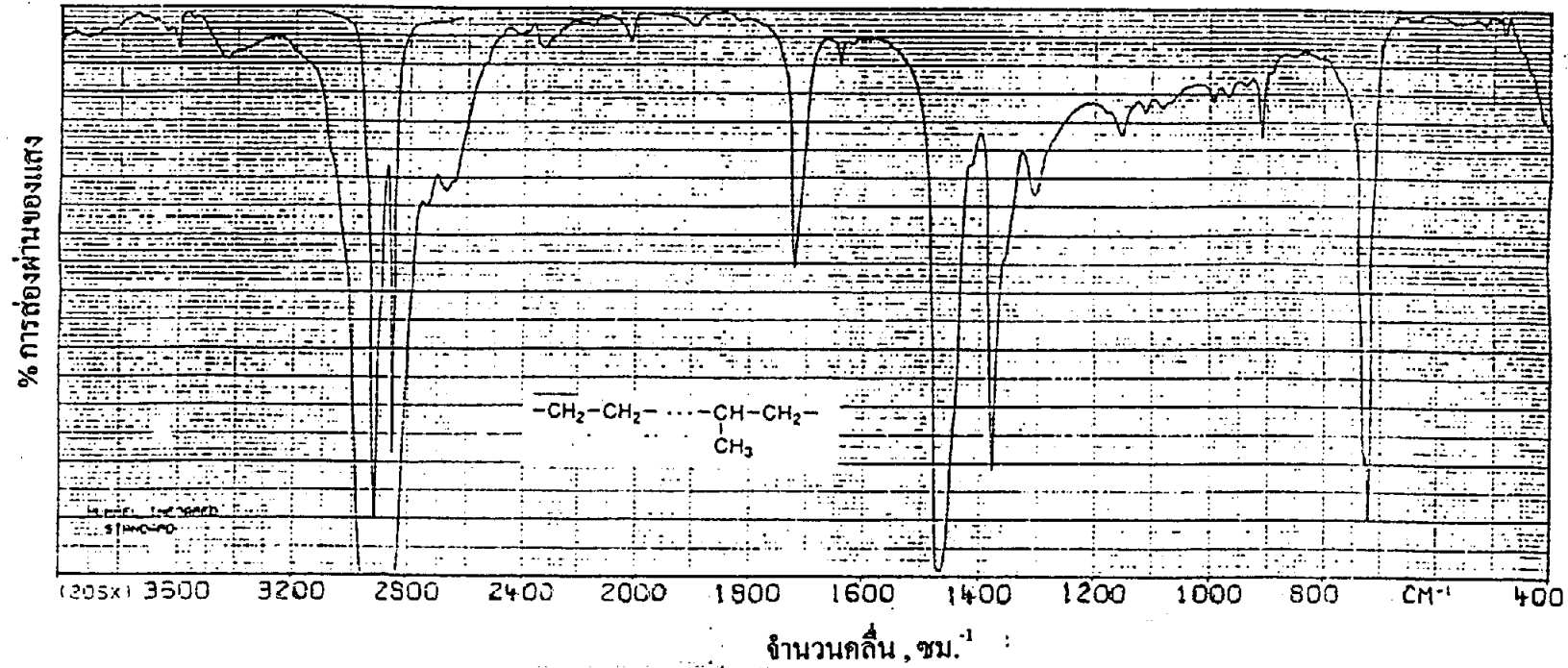


รูปที่ 52 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้จากไอที่เกิดจากการเผาไหม้และความแน่นของเม็ดพลาสติก

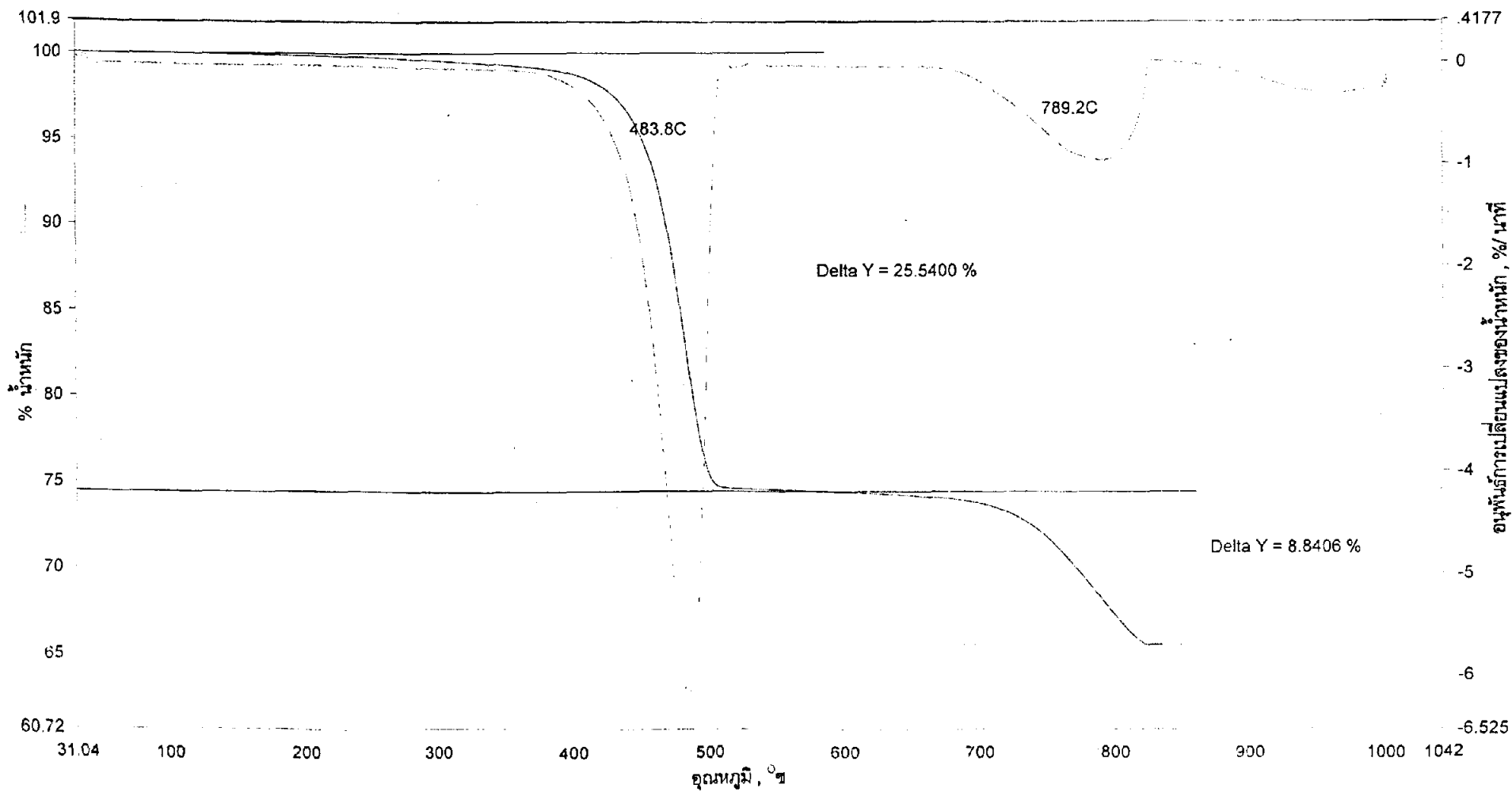
2111(1-211)

$C_2H_4-C_3H_6$ M

7024



รูปที่ 53 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิ(เอทิลีน-โค-โพรพิลีน)



รูปที่ 54 แสดงโค้งการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเม็ดพลาสติก

ท่อ PFA

การวิเคราะห์หาชนิด

ทดสอบลักษณะการติดไฟและการลุกไหม้ ตัวอย่างท่อ PFA ติดไฟเปลวไฟสีเหลืองฐานสีน้ำเงิน เมื่อเอาออกจากเปลวไฟยังคงติดไฟต่อ

วิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบ ไม่พบธาตุฮาโลเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR เนื่องจากท่อ PFA ไม่หลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อนจึงไม่สามารถเตรียมตัวอย่างให้เป็นแผ่นฟิล์มได้ ต้องใช้วิธีเผาไหม้และเก็บไอที่เกิดจากการเผาไหม้และควมแน่นเป็นของเหลว นำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR อินฟราเรดสเปกตรัมของท่อ PFA ในรูปที่ 55 เหมือนกับอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลีเอทิลีนในรูปที่ 56

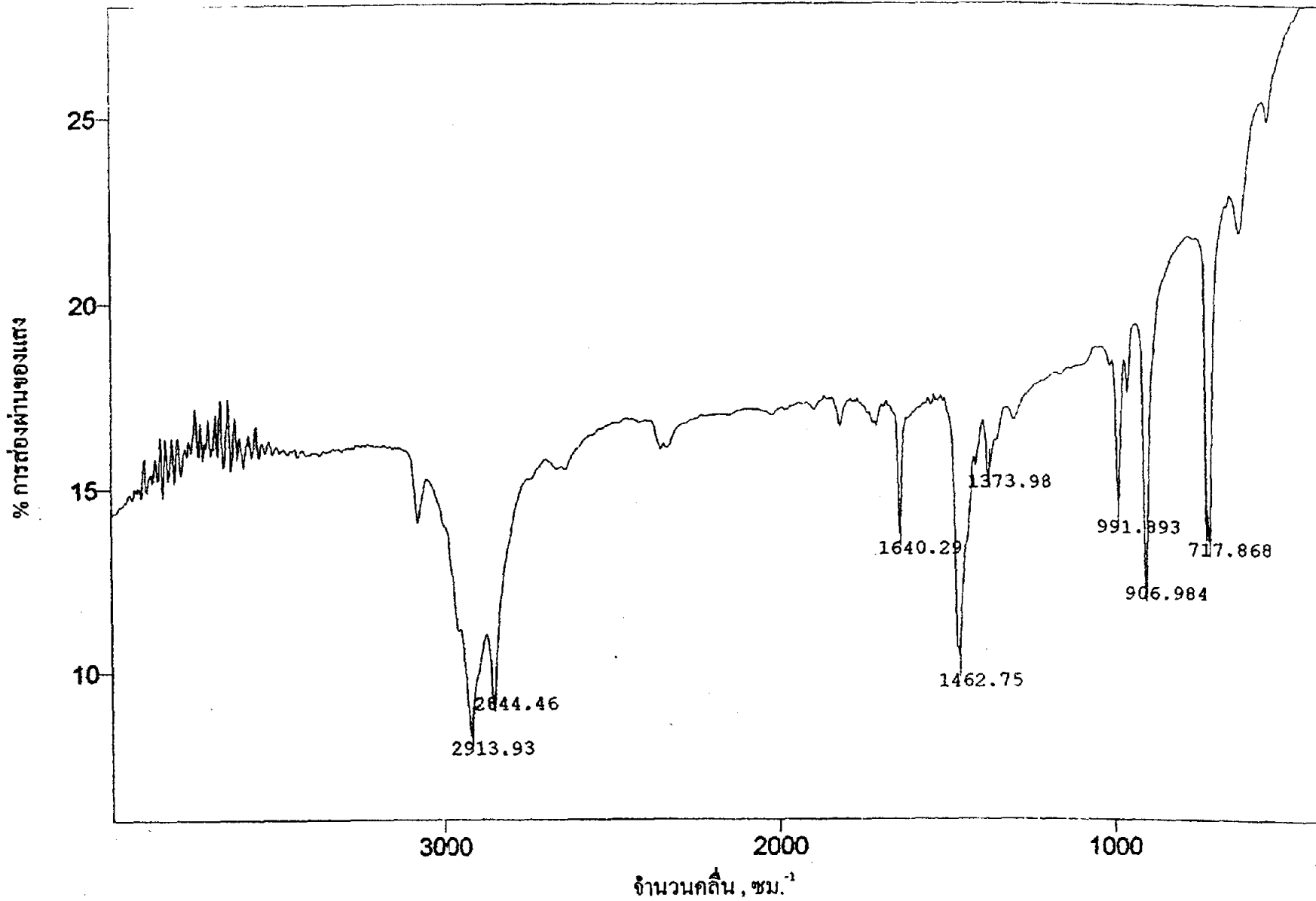
สรุปผลการวิเคราะห์ จากลักษณะการติดไฟ ชาติที่มีอยู่ และผลจากการเปรียบเทียบสเปกตรัมกับสารมาตรฐานพบว่าเม็ดพลาสติกเป็นโพลีเอทิลีนแบบเชื่อมขวาง (Crosslinked polyethylene) คือโพลีเอทิลีนที่มีการเชื่อมขวางด้วยหมู่ไซเลนหรือเปอร์ออกไซด์ จัดเป็นพลาสติกเทอร์โมเซต เนื่องจากท่อ PFA มีลักษณะเป็นพลาสติกเทอร์โมเซตคือไม่หลอมเหลวและเป็นโพลีเอทิลีน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าท่อ PFA เป็นโพลีเอทิลีนแบบเชื่อมขวาง

การวิเคราะห์หาปริมาณ

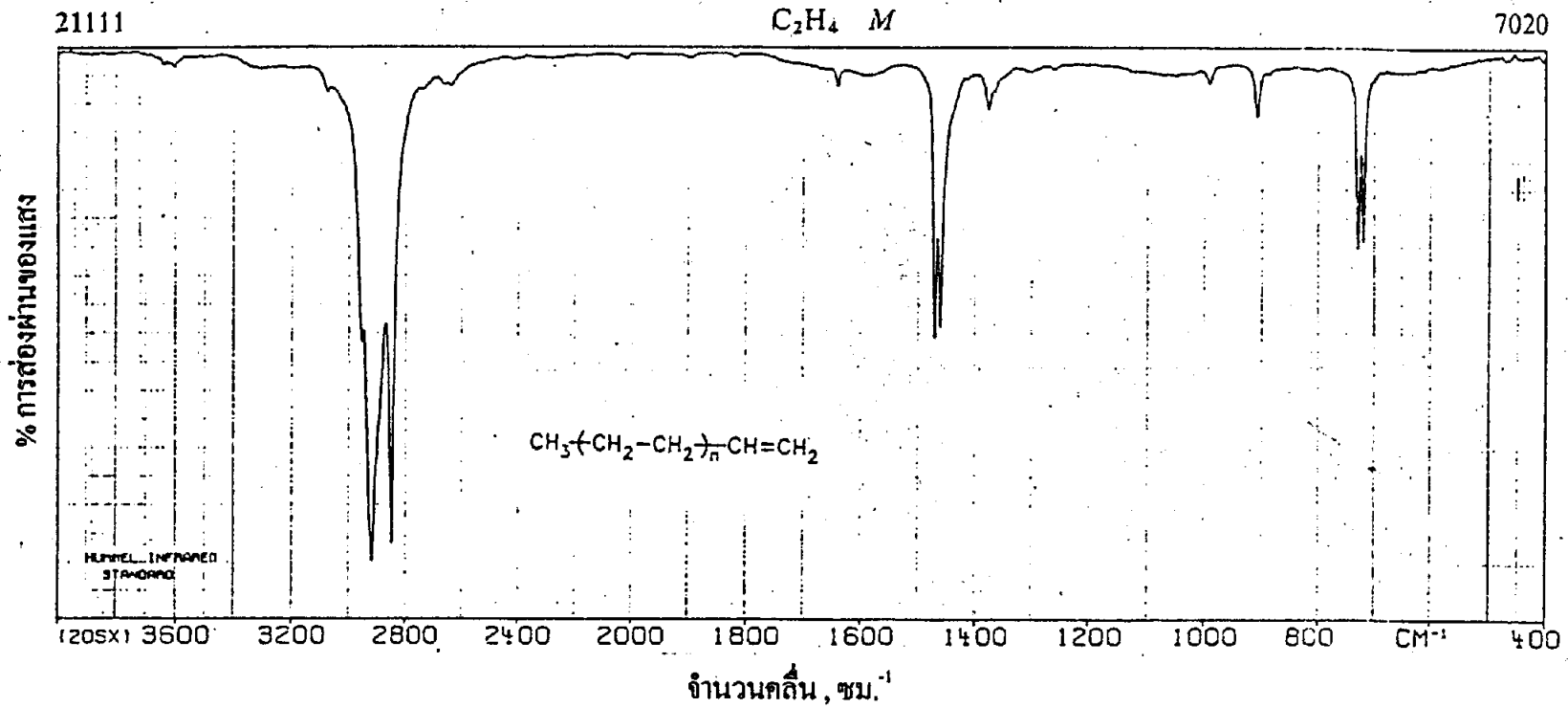
ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA วิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนดำที่มีในท่อ PFA ด้วยเครื่อง TGA โดยวิเคราะห์ภายใต้สภาวะแก๊สเฉื่อยตั้งแต่ 50-550 องศาเซลเซียส แล้วเปลี่ยนเป็นแก๊สออกซิเจนตั้งแต่ 550-1000 องศาเซลเซียส

จากโค้งการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในรูปที่ 57 ท่อ PFA ประกอบด้วยโพลีเอทิลีนแบบเชื่อมขวาง 95.76% และคาร์บอนดำ 4.09 %

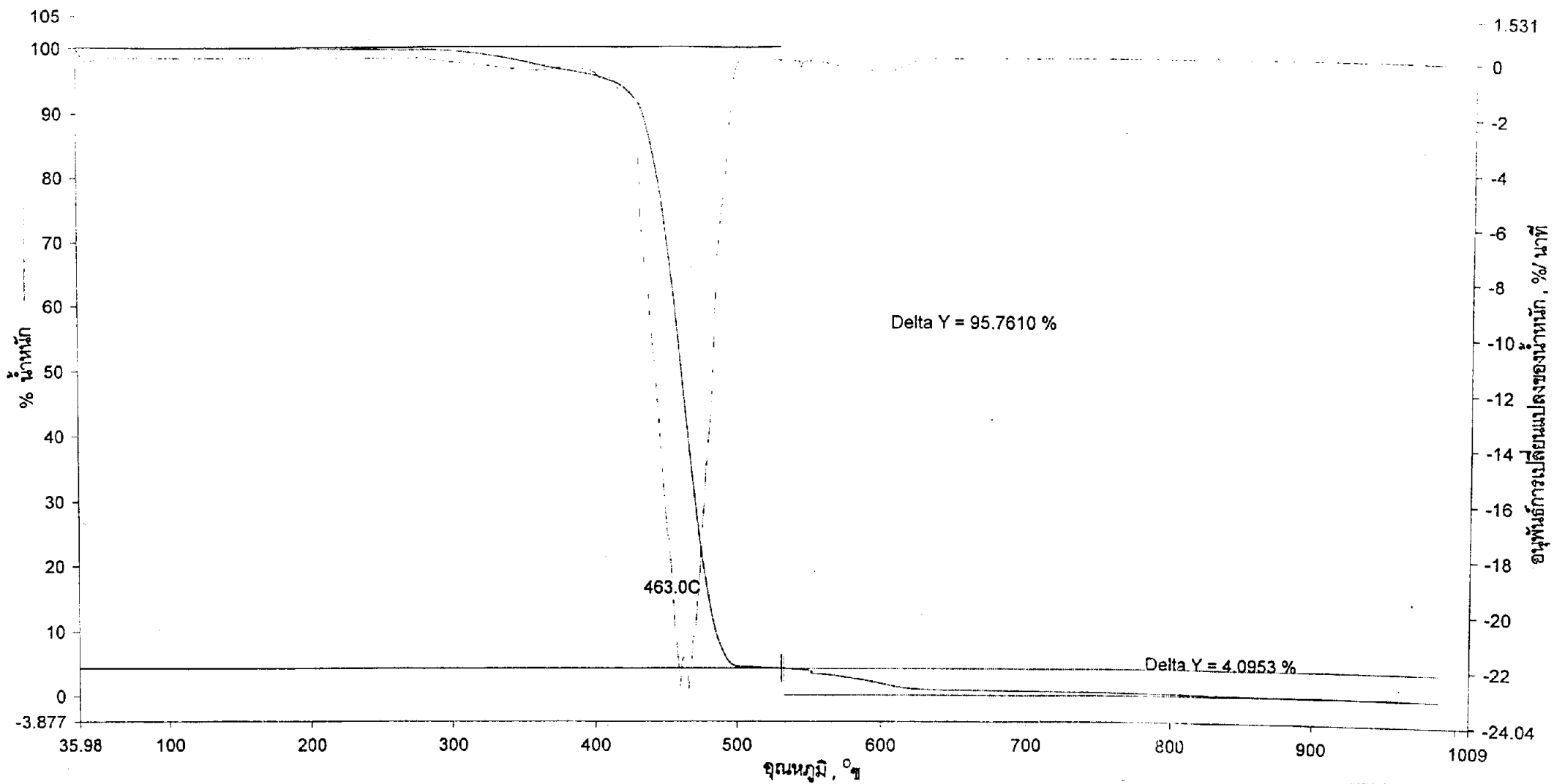
สรุปผลการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณ ตัวอย่างท่อ PFA เป็นโพลีเอทิลีนแบบเชื่อมขวาง ประกอบด้วย โพลีเอทิลีนแบบเชื่อมขวาง 95.76% และคาร์บอนดำ 4.09 %



รูปที่ 55 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของท่อ PFA



รูปที่ 56 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลิเอทิลีน



รูปที่ 57 แสดงโค้งการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของท่อ PFA

บทที่ 4

สรุปและวิจารณ์ผล

4.1 ปัญหาและอุปสรรค

เนื่องจากพลาสติกนั้นมีทั้งเป็นเรซิน (Resin) และ คอมพอนด์ (compound) คอมพอนด์ก็คือพลาสติกที่ผสมสารเคมีแต่งแล้ว หรือเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป การวิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบจึงเป็นเรื่องที่ยากมาก ในการวิเคราะห์เพื่อหาชนิดด้วยเครื่อง FTIR นั้น ต้องเตรียมตัวอย่างให้เหมาะสมจึงจะได้อินฟราเรดสเปกตรัมที่สามารถแปลผลได้ถูกต้อง พลาสติกที่มีสารเสริมเป็นปริมาณมาก ถ้าเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีอัดเป็นแผ่นฟิล์มด้วยความร้อน เพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR อินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้จะมีแถบการดูดกลืนแสงของสารเสริมปนอยู่ด้วย ต้องเปลี่ยนวิธีการเตรียมตัวอย่าง โดยการนำเม็ดพลาสติกไปเผาแล้วเก็บไอที่เกิดขึ้นจากการควบแน่นมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR อินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้จึงจะเป็นสเปกตรัมที่ถูกต้องขององค์ประกอบที่มีในพลาสติกนั้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเลือกวิธีการเตรียมตัวอย่างนั้นสำคัญมาก ถ้าเตรียมตัวอย่างไม่ถูกวิธีก็อาจทำให้ไม่สามารถวินิจฉัยได้ว่าเป็นพลาสติกชนิดใด หรือบางครั้งอาจทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้

พลาสติกที่เป็นผลิตภัณฑ์แล้วนั้น บางตัวอย่างไม่สามารถอัดเป็นฟิล์มบางๆ ได้เนื่องจากเป็นพลาสติกที่มีจุดหลอมเหลวสูงเช่นพวกเส้นใยต่างๆ เป็นต้น ต้องทำตัวอย่างให้เป็นผงละเอียดแล้วนำมาอัดกับ KBR ให้เป็นแผ่นเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ต่อไป

การหาองค์ประกอบด้วยเครื่อง TGA ก็มีข้อควรระมัดระวัง คือ ถ้าต้องการความถูกต้องแม่นยำสูงมาก ต้องทำการทวนสอบอุณหภูมิ และน้ำหนักก่อนการวิเคราะห์ทุกครั้ง และที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือต้องทำการสอบเทียบอุณหภูมิ , น้ำหนัก และอัตราการเร่งของอุณหภูมิ อย่างสม่ำเสมอ ในรอบ 1 ปี จะทำการสอบเทียบบ่อยมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับความสะอาดของเตาเผา ถ้าพลาสติกที่นำมาวิเคราะห์เป็นเรซินที่ไม่มีสารเสริม (filler) หรือสารเติมแต่ง (additive) จะเผาไหม้ได้หมดที่อุณหภูมิประมาณ 650 องศาเซลเซียส แต่ถ้าพลาสติกนั้นเป็นพลาสติกที่ผสมสีหรือสารเสริมและสารเติมแต่งอื่นๆ พลาสติกบางตัวอย่างจะเผาไหม้ไม่หมดแม้ว่าจะให้ความร้อนจนอุณหภูมิสูงถึง 1000 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดของความสามารถของเครื่อง และถ้าทำการวิเคราะห์โดยใช้อุณหภูมิสูงๆก็จะทำให้เตาเผามีอายุการใช้งานสั้น ซึ่งเตาเผามีราคาแพงมาก เมื่อพลาสติกเผาไหม้ไม่หมดก็จะมีถ่านเหลืออยู่ พลาสติกบางชนิดมีสารเสริมเป็นสี ดังนั้นถ้าที่เหลือบางครั้งจะมีสีด้วย ซึ่งทำให้ด้วยบรรจุตัวอย่างสกปรกไม่สามารถทำความสะอาดได้โดยง่าย ต้องนำด้วยบรรจุตัวอย่างนั้นไปเผาที่อุณหภูมิสูงด้วยตะเกียงเบนเสน โดยส่วนใหญ่แล้ว จะไม่สามารถทำความสะอาดได้หมด ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองเพราะด้วยบรรจุนี้มีราคาแพงมาก นอกจากด้วยบรรจุตัวอย่างจะสกปรก

แล้วส่วนตามผาก็จะสกรปรกด้วย ถ้าเตาเผาสกรปรกโค้งที่ได้จากการวิเคราะห์จะไม่เรียบและผลการวิเคราะห์จะคลาดเคลื่อนได้ ต้องเผาไล่สิ่งสกปรกที่หลงเหลืออยู่ด้วยการใช้โปรแกรมทำความสะอาด ส่วนตามผา ทางที่จะแก้ไขได้ก็คือถ้าพลาสติกที่นำมาวิเคราะห์มีสารเสริมและสารเติมแต่งด้วย ควรใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์ให้น้อยๆประมาณ 1-2 มิลลิกรัม เพื่อจะได้ไม่มีเถ้าเหลือมากนักเป็นการช่วยยืดอายุการใช้งานของเตาเผาและด้วยบรรจุตัวอย่าง นอกจากนี้เพื่อการรักษาและยืดอายุส่วนเตาเผา ต้องเปิดแก๊สที่ไหลเข้าในส่วนเครื่องซึ่งให้มีอัตราการไหลสูงกว่าแก๊สที่ไหลในส่วนเตาเผา เพื่อที่ว่าแก๊สที่เกิดจากการสลายตัวของพลาสติก ซึ่งบางชนิดเป็นแก๊สที่อันตรายอาจทำให้ส่วนเครื่องซึ่งเสียหายได้ จะไม่ขึ้นมาในส่วนเครื่องซึ่ง เนื่องจากแก๊สในส่วนเครื่องซึ่งที่เปิดไว้แรงกว่าส่วนเตาเผานั้น จะกดแก๊สที่เกิดในส่วนเตาเผาไม่ให้ลอยขึ้นมาในส่วนเครื่องซึ่งๆได้

สิ่งที่ควรจะต้องจำอีกอย่างหนึ่งในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA หรือ DSC ก็คือ เมื่อมีการเปลี่ยนแก๊สที่ใช้ในการวิเคราะห์ ไม่ว่าจะเนื่องจากแก๊สหมดแล้วเปลี่ยนถังใหม่หรือเปลี่ยนชนิดของแก๊สที่ใช้ก็ตาม และเมื่อมีการเปลี่ยนอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์ ต้องสอบเทียบทั้งอุณหภูมิและอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิใหม่ทุกครั้ง สรุปก็คือถ้ามีการเปลี่ยนแปลงใดๆในการวิเคราะห์ต้องทำการสอบเทียบอุณหภูมิและอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิใหม่

นอกจากเรื่องควรรระวังต่างๆดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีสิ่งอื่นที่มีความสำคัญในการวิเคราะห์หาสมบัติทางความร้อนของพลาสติกด้วยเครื่อง TGA และ DSC นั่นก็คืออัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์ จะใช้อัตราเร็วเท่าใดก็ขึ้นอยู่กับชนิดและจำนวนของพลาสติก, สารเสริม และสารเติมแต่งต่างๆ ที่มีในพลาสติกนั้น ถ้ามีพลาสติกนั้นเป็นพลาสติก 2 ชนิดมาผสมกัน (blend) และพลาสติกทั้งสองชนิดนั้นมีการแตกตัวที่อุณหภูมิต่างกันมากก็ใช้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิในการวิเคราะห์ประมาณ 20 องศาเซลเซียสต่อนาทีก็อาจจะสามารถแยกพลาสติกทั้งสองชนิดนั้นได้ว่ามีปริมาณของพลาสติกแต่ละชนิดเท่าไรในองค์ประกอบ แต่จะใช้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิเท่าไรในการวิเคราะห์จึงจะเหมาะสมก็ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้วิเคราะห์ มีหลักสำคัญอยู่ว่าถ้าใช้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิเร็วเกินไปจะไม่สามารถแยกพลาสติกหลายชนิดออกจากกันได้ แต่ถ้าอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิจำกั้นไป และพลาสติกที่ผสมกันอยู่นั้นมีการแตกตัวที่อุณหภูมิใกล้เคียงกันก็จะไม่สามารถแยกพลาสติกออกจากกันได้เช่นกัน เนื่องจากพลาสติกตัวหนึ่งยังแตกตัวไม่หมดพลาสติกอีกตัวก็เริ่มแตกตัวเช่นกัน ดังนั้นการเลือกอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิในการวิเคราะห์จึงมีความสำคัญมาก

ในการวิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบของพลาสติกนั้นมีความสำคัญทุกขั้นตอน ตั้งแต่เริ่มเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือต่างๆ ต้องเลือกวิธีเตรียมตัวอย่างให้เหมาะสมจึงจะได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง และการแปลผลอินฟราเรดสเปกตรัมนั้น ถ้าอินฟราเรดสเปกตรัมของพลาสติกที่นำมาวิเคราะห์เหมือนกับอินฟราเรดสเปกตรัมของสาร มาตรฐานแบบพีคต่อพีค

มีลักษณะการเผาไหม้ , มีจุดหลอมเหลว และธาตุที่มีอยู่ตรงกับพลาสติกที่คาดว่าจะเป็ น ก็สามารภสรุปได้ว่าเป็นพลาสติกนั้นๆ แต่เนื่องจากปัจจุบันนี้พลาสติกในตลาดโลกมีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลา ทั้งพลาสติกเรซินและพลาสติกที่เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป พลาสติกสองชนิดอาจจะนำมาทำโคโพลิเมอไรซ์ (copolymerize) หรืออาจจะนำมาผสม (blend) กัน เช่น โพลี(เอทิลีน-โค-โพรพิลีน) หรือ โพลีเอทิลีนผสมกับโพลีโพรพิลีน การจะบอกว่าพลาสติกสองตัวผสมกันหรือเป็นโคโพลิเมอร์ ต้องใช้เครื่อง DSC ในการวิเคราะห์ ถ้าพลาสติกนั้นเป็น โคลิโพลิเมอร์จะมีจุดหลอมเหลวเพียงจุดเดียว เนื่องจากเอทิลีนจะมีพันธะคู่กับโพรพิลีนเกิดเป็น เอทิลีน-โพรพิลีน โคลิโพลิเมอร์ แต่ถ้าเป็นพลาสติกผสมโพลีเอทิลีนจะไม่มีพันธะกับโพลีเอทิลีน จึงมีจุดหลอมเหลวแยกกัน

การทดสอบทางเคมีนั้นก็มึปัญหาในบางครั้ง เนื่องจากผลิตภัณฑ์พลาสติกบางอย่างมีสีเจือปนทำให้การวิเคราะห์ทางเคมีทำได้ยากมาก บางครั้งอาจต้องสกัดผลิตภัณฑ์พลาสติกด้วยสารเคมีที่เหมาะสมเพื่อแยกพลาสติกออกจากสารเสริมและสารเติมแต่งอื่นๆ ซึ่งพลาสติกบางตัวก็ละลายยากมาก นับเป็นปัญหาที่ต้องใช้ข้อมูลของพลาสติกนั้นๆมาพิจารณาหาทางแก้ไข ผู้วิเคราะห์จึงต้องมีความรู้ในเรื่องสมบัติต่างๆของพลาสติกชนิดต่างๆเป็นอย่างดี จะ ได้สามารถแก้ไขปัญหาล่านี้ได้

4.2 สรุปและวิจารณ์ผล

การวิเคราะห์หาชนิดของพลาสติกโดยวิธีการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของพลาสติกที่ไม่รู้ชนิด (unknown) กับอินฟราเรดสเปกตรัมของสารมาตรฐานนั้นเป็นวิธีที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง เนื่องจากอินฟราเรดสเปกตรัมเป็นเหมือนลายนิ้วมือของพลาสติกแต่ละชนิด ถ้าอินฟราเรดสเปกตรัมของพลาสติกที่ไม่รู้ชนิดเหมือนกับอินฟราเรดสเปกตรัมของสารมาตรฐานแบบพีคต่อพีค ก็สามารภสรุปได้ว่าเป็นพลาสติกชนิดนั้น ในการวิเคราะห์หาชนิดในห้องปฏิบัติการนอกจากจะดูอินฟราเรดสเปกตรัมแล้ว มีการดูลักษณะการเผาไหม้ว่าพลาสติกนั้นเมื่อจ่อเปลวไฟจะติดไฟ และยังคงติดไฟต่อเมื่อเอาออกจากเปลวไฟ หรือเป็นพลาสติกที่เมื่อจ่อเปลวไฟจะติดไฟแต่เมื่อเอาออกจากเปลวไฟแล้วจะดับเอง ติดไฟแล้วให้เปลวไฟสีเหลือง เขม่าดำ หรือเปลวไฟสีเหลืองฐานสีเขียวเหล่านี้เป็นคั้น และวิเคราะห์หาธาตุที่มีในพลาสติกว่าพลาสติกนั้นมีไนโตรเจน , ซัลเฟอร์ , ฟลูออรีน , คลอรีน หรือ โบรมีน อยู่ในองค์ประกอบหรือไม่ ถ้าพลาสติกที่ไม่รู้ชนิดมีอินฟราเรดสเปกตรัมตรงกับสารมาตรฐานตัวใดแบบพีคต่อพีค มีธาตุและลักษณะการเผาไหม้ตรงกับสารมาตรฐานนั้น จึงสรุปว่าเป็นพลาสติกชนิดนั้น

ในกรณีที่อินฟราเรดสเปกตรัมของสารมาตรฐานไม่เหมือนกับพลาสติกที่ต้องการรู้ชนิดแบบพีคต่อพีค ต้องวิเคราะห์หาสมบัติอื่นๆเพิ่มเติม นอกเหนือจากการดูลักษณะการเผาไหม้ และธาตุที่มี แล้วต้องวิเคราะห์หาจุดหลอมเหลว , การละลาย และทดสอบทางเคมีเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์อีกครั้งหนึ่ง จึงสรุปผลการวิเคราะห์ได้ ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องแม่นยำสูงเนื่อง

จากมีข้อมูลในเรื่องสมบัติต่างๆอย่างเพียงพอ เช่นจุดหลอมเหลว , การละลาย และสมบัติทางเคมีซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของพลาสติกแต่ละชนิด

การวิเคราะห์ทางองค์ประกอบหลักของพลาสติก วิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีความละเอียดสูง ให้ผลการวิเคราะห์ทดสอบที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง แต่การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือที่มีความละเอียดอ่อนเช่นนี้ก็มีข้อควรระมัดระวังในการใช้เครื่องมือมากมาย ซึ่งผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้ความเข้าใจและต้องปฏิบัติตามเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่พึงพอใจซึ่งความถูกต้องและยังช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องอีกด้วย ส่วนที่สำคัญของเครื่อง TGA ก็คือส่วนเตาเผาและส่วนเครื่องชั่ง ต้องมีการดูแลรักษาเครื่องให้อยู่ในสภาพที่ดี โดยการทำความสะอาดเตาเผาในระยะเวลาอันสมควร มีการสอบเทียบและทวนสอบอย่างสม่ำเสมอถูกต้องตามหลักวิชาการ สารมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบต้องเก็บรักษาให้ถูกวิธี เพื่อจะได้คงความถูกต้องแม่นยำไว้ได้ ในการวิเคราะห์ต้องไม่ลืมว่าต้องเปิดแก๊สให้อัตราการไหลในส่วนเครื่องชั่งสูงกว่าส่วนเตาเผาเพื่อที่ว่าแก๊สที่เกิดจากการที่พลาสติกสลายตัวจะได้ไม่ลอยขึ้นไปในส่วนเครื่องชั่ง เพราะแก๊สเหล่านี้มีส่วนทำให้ส่วนเครื่องชั่งสกปรกและจะทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำผลงานขอขอบคุณ ผู้อำนวยการกองฟิสิกส์และวิศวกรรม ที่สละเวลาให้คำแนะนำและสนับสนุนในการทำงานนี้

เอกสารอ้างอิง

1. American Society for Testing and Materials. Standard test method for enthalpies of fusion and crystallization of polymers by differential scanning calorimeter (DSC). ASTM D 3417. 1997.
2. _____. Standard test method for melting and crystallization temperature by thermal analysis. ASTM E 794. 1998.
3. _____. Standard practice for temperature calibration of differential scanning calorimeter and differential thermal analyzer. ASTM E 967. 1996.
4. _____. Standard practice for heat flow calibration of differential scanning calorimeters. ASTM E 968. 1999.
5. _____. Standard test method for glass transition temperatures by differential scanning calorimetry or differential thermal analysis. ASTM E 1356. 1998.
6. _____. Standard specification for polyethylene plastics molding and extrusion materials. ASTM D 1248. 1972.
7. Earnest, Charles M. The Modern thermogravimetric approach to the compositional analysis of materials. In Earnest, Charles M. Compositional analysis by thermogravimetry. Philadelphia: American society for Testing and Materials, 1998. p. 5-13, 61
8. Federation of Society for Paint. Its use in the coating industry. Philadelphia: Federation of Society for Paint, 1969. p. 20-36
9. Kohan, MI. Nylon plastics. New York: Willey, 1973. p. 88
10. Perkin Elmer. MP.Tg and structure of common polymers. Connecticut: Perkin Elmer, [n.d.]
11. Richardson, TA. Modern industrial plastics. Indianapolis: Howard W.SAMS, 1974. p. 23- 231
12. Saunders, KJ. The Identification of plastics and rubbers. London: Chapman. 1996. p. 15-38
13. นันทนา ศรีทิพย์วาณิชย์. Thermal analysis techniques. PE Lens. May/August. 1997. vol. 1, no.2, p. 12-16
14. รัชณี ตัฒจะพานิชกุล. เคมีอินทรีย์ 2. กรุงเทพมหานคร: บริษัทสหบูรพาสาส์นการพิมพ์. 2526. หน้า 82-103