

การลดกลิ่นในเม็ดพีซีอาร์ด้วยสารเติมแต่ง

DEODORIZATION OF POST-CONSUMER RECYCLED
RESINS (PCRs) BY USING ADDITIVES



นฤเดช ทิมปา
ลักษกาญจน์ ทรงเผ่า
วรรัตน์ นามบำรุง

สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEODORIZATION OF POST-CONSUMER RECYCLED
RESIN (PCRs) BY USING ADDITIVES



NARUDECH THIMPA
LAKSAKARN SONGPAO
WAREERAT NABAMRUNG

A COOPERATIVE EDUCATION SUBMITTED IN PARTIAL
FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2022
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา

การลดกลิ่นในเม็ดพีซีอาร์ด้วยสารเติมแต่ง

Deodorization of Post-Consumer Recycled Resin (PCRs)
by using Additives

ชื่อนักศึกษา

นายนฤเดช ทิมปา

รหัสนักศึกษา 62050295

นางสาวลักขณาญจน์ ทรงเผ่า

รหัสนักศึกษา 62050324

นางสาววีรัตน์ นามำรุง

รหัสนักศึกษา 62050327

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี




ปีการศึกษา

2565

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2565

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย ประธานกรรมการ	
รศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ กรรมการ	
รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้สิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ไปยังผู้อื่นและห้องเรียนของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา	การลดกลิ่นในเม็ดพีซีอาร์ด้วยสารเติมแต่ง
ชื่อนักศึกษา	นายณฤเดช ทิมปา รหัสนักศึกษา 62050295
	นางสาวลักษกาญจน์ ทรงเผ่า รหัสนักศึกษา 62050324
	นางสาววีรัตน์ นามำรุง รหัสนักศึกษา 62050327
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีความต้องการเม็ดพีซีอาร์ (Post-Consumer Recycled resins, PCRs) หรือเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่ผลิตจากพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมีเพิ่มสูงขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาขยะแบบยั่งยืน เน้นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ในเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) เพื่อความยั่งยืนของโลก อย่างไรก็ตามเม็ดพีซีอาร์มีข้อเสียคือกลิ่นไม่พึงประสงค์ เป็นข้อจำกัดในการใช้งาน งานวิจัยสหกิจศึกษานี้ศึกษาการลดกลิ่นของเม็ดพีซีอาร์ โดยการใช้สารเติมแต่งสองชนิดคือ สารเติมแต่ง A เป็นสารลดกลิ่นด้วยการต่อต้านออกซิเดชัน และสารเติมแต่ง B เป็นสารดูดซับกลิ่น ทำการศึกษาในปริมาณที่แตกต่างกัน 0-2 % โดยน้ำหนัก ทำการหลอมผสมด้วยเครื่องฉีดสกรูเดี่ยว (Single screw extruder) ตัดเม็ด แล้วทำการทดสอบสมบัติต่างๆ จากการทดลองพบว่า การใช้สารเติมแต่งทั้งสองชนิดไม่ส่งผลต่อการดูดความชื้นและดัชนีการไหล แต่มีผลเล็กน้อยต่อสมบัติเชิงกล โดยเฉพาะเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และสีของผลิตภัณฑ์พลาสติก จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค OIT พบว่า การใช้สารเติมแต่งเพียงชนิดเดียวสามารถลดกลิ่นใน PCRs ได้ แต่การผสมสารเติมแต่งทั้ง 2 ชนิดรวมกันมีแนวโน้มว่าจะทำงานเสริมกันได้ดีและมีประสิทธิภาพในการป้องกันไม่ให้เกิดการเสื่อมสลายทางความร้อนด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งส่งผลให้ VOCs ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นระเหิดออกจากเม็ดน้อย มากกว่าการใช้สารเติมแต่งเพียงชนิดเดียว ซึ่งยืนยันผลจากแบบสอบถามผู้ปฏิบัติงานขณะขึ้นรูปเม็ดพีซีอาร์ พบว่าสูตรที่ใช้สารเติมแต่งทั้งสองชนิดรวมกันให้ประสิทธิภาพการลดกลิ่นสูงสุด และผลจากการทดสอบด้วยการวิเคราะห์แก๊สด้วยเทคนิค Headspace เครื่อง GC-MS

เอกสารนี้ **คำสำคัญ:** พลาสติกรีไซเคิล, เม็ดพีซีอาร์, สารดูดซับกลิ่น, สารเติมแต่ง ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Deodorization of Post-Consumer Recycled Resin (PCRs) by using Additives	
Students	Mr. Narudech Thimpa	Student ID 62050295
	Miss Laksakarn Songpao	Student ID 62050324
	Miss Wareerat Nabamrung	Student ID 62050327
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)	
Department	Chemistry	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2022	
Advisor	Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud	

Abstract

The increasing demand for PCRs (Post-Consumer Recycled Resins) has been derived from resolving plastic waste problems in circular economy for the world sustainability. However, the major drawback of PCRs is unpleasant odor which limits the applications of PCRs. In this cooperative research work, deodorization of PCRs was studied by using two additives, i.e., anti-oxidative deodorant (Additive A) and absorptive deodorant (Additive B). Additive loading was studied in the range of 0-2 % (by weight). The additives were mixed with PCRs by using a single-screw extruder, pelletized and tested for compound properties. It was found that % moisture absorption and MFI were unchanged when the deodorants were incorporated. Mechanical properties of PCRs with deodorants were insignificantly changed, except % elongation at break. Yellowness of PCRs was also slightly increased with adding the deodorants. By using questionnaire survey of operators during PCRs processing, It was found that F6 (PCRs with additive A 1% and additive B 2%) had less unpleasant odor compared to others. The results were confirmed with headspace technique of Gas Chromatography–Mass Spectrometer (GC-MS) and Oxidative Induction Times (OIT).

Keywords: Additives, Deodorants, PCRs, Recycled Plastics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเทคโนโลยีกองทัพอากาศและวิทยาลัยเทคนิค เมื่อผู้ยาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ เป็นส่วนหนึ่งของ สหกิจศึกษา โดยความร่วมมือระหว่างสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังกับบริษัทเอเวียนท์ คัลเลอร์แรรันท์ (ประเทศไทย) จำกัด คณะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ คุณฐิติพร นวมน่วม ผู้จัดการฝ่ายเทคนิค บริษัทเอเวียนท์ คัลเลอร์แรรันท์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่รับเข้าฝึกสหกิจศึกษาและให้คำแนะนำในงานวิจัยชิ้นนี้เป็นอย่างดี

สหกิจศึกษาเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ได้เพราะความกรุณาให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในทุกๆปัญหา คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล แจ่มชัด อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา ศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย และรศ.ดร.ภัทรารุช มนต์วิเศษ คณะกรรมการสอบสหกิจศึกษาที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยแก้ไขให้งานวิจัยชิ้นนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณฐิตินันท์ ศิริจันทร์นนท์, คุณยศวดี บัณฑิตย์, คุณกิตติยา สายรัตน์, คุณธานี จุลคนานุกิจ และคุณชุตินันท์ชา พัฒนกิจ และพี่ๆท่านอื่น จากบริษัทเอเวียนท์ คัลเลอร์แรรันท์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่คอยสนับสนุน ช่วยเหลือให้คำแนะนำและแก้ไขส่วนที่ผิดพลาดจนงานวิจัยเกิดความสำเร็จและมีผลลัพธ์เป็นไปตามที่คาดหวังไว้ ขอขอบคุณสำหรับคำสอนในการใช้เครื่องมือและการคิดวิเคราะห์ผลให้แก่คณะผู้วิจัย รวมถึงขอขอบคุณพี่ๆจากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สจล. สำหรับการมีส่วนช่วยในการให้คำแนะนำ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องหรือผู้ที่สนใจศึกษาต่อ ถ้าหากมีข้อผิดพลาดประการใด ทางคณะผู้วิจัยขอน้อมรับและขออภัยไว้ ณ ที่นี้

นฤเดช ทิมปา

ลักษณะกาญจน์ ทรงเผ่า

วริรัตน์ นามารุ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฌ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ความหมายของพลาสติกกรีซเคิล.....	5
2.2 กลิ่นของเม็ดพลาสติก PCRs.....	7
2.2.1 Volatile organic compounds (VOCs).....	7
2.2.2 วิธีการลดกลิ่นในอุตสาหกรรม.....	8
2.3 หลักการทำงานของสารเติมแต่ง.....	9
2.4 เครื่องมือการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	9
2.5 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ (Mechanical properties)	14
2.5.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile test)	14
2.5.2 วิธีการคำนวณค่า Elongation percentage.....	15
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	19
3.1 สาร และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	19
3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	19
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	19
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 เตรียมตัวอย่าง PCRs ผสมสารเติมแต่ง.....	21
3.3.1 การเตรียมเม็ดคอมปาวด์.....	21
3.3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบสมบัติเชิงกล.....	21
3.4 การทดสอบสมบัติ PCRs และ PCRs ผสมสารเติมแต่ง.....	22
3.4.1 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของ PCRs และเม็ดคอมปาวด์ด้วย เทคนิค FTIR.....	22
3.4.2 การศึกษาการสลายตัวของ PCRs และเม็ดคอมปาวด์ด้วย เทคนิค TGA.....	22
3.4.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของ PCRs และเม็ด คอมปาวด์ด้วยเทคนิค DSC.....	23
3.4.4 การศึกษา PCRs และเม็ดคอมปาวด์ด้วยเทคนิค OIT.....	23
3.4.5 การศึกษาอัตราการไหลของ PCRs และเม็ดคอมปาวด์ด้วย เทคนิค MFI.....	23
3.4.6 การศึกษาความชื้นของ PCRs และเม็ดคอมปาวด์ด้วยเทคนิค Halogen moisture analysis.....	24
3.4.7 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของ PCRs ผสมสารเติมแต่ง.....	25
3.4.8 การศึกษาสมบัติเชิงกลของ PCRs ผสมสารเติมแต่ง.....	25
3.4.9 ศึกษาสารระเหิดของ PCRs ด้วยเทคนิค Headspace เครื่อง GC-MS.....	26
3.5 การศึกษาความสามารถในการขึ้นรูป-เป่าขวดจาก PCRs.....	27
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	29
4.1 ผลการศึกษา PCRs ก่อนการเติมสารเติมแต่ง.....	29
4.1.1 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของ PCRs โดยใช้เทคนิค FTIR.....	29
4.1.2 การศึกษาการสลายทางความร้อนของ PCRs โดยใช้เทคนิค TGA.....	31
4.1.3 ศึกษาอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกของ PCRs โดยเทคนิค DSC	33
4.2 ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ อัตราการไหล และ ความชื้นของ PCRs.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลของสารเติมแต่งที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของ PCRs.....	36
4.4 ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อเสถียรภาพทางความร้อนของ PCRs.....	39
4.5 ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสารระเหิดจากการวิเคราะห์ GC-MS.....	40
4.6 ผลของสารเติมแต่งที่มีผลต่อกลิ่นของ PCRs ขณะฉีดขึ้นรูป.....	41
4.7 ผลของสารเติมแต่งที่มีผลต่อความสามารถในการเป่าขึ้นรูป PCRs.....	43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	44
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	44
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	44
เอกสารอ้างอิง.....	45
ภาคผนวก	48
ภาคผนวก ก.....	49
ภาคผนวก ข.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ปริมาณสารที่ใช้ในแต่ละสูตร.....	21
3.2 สูตรที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด.....	26
3.3 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	28
4.1 หมู่ฟังก์ชันของ PCRs และ Virgin polyethylene.....	30
4.2 แสดงค่าความชื้นและอัตราการไหลของ PCRs วัดจากเม็ดที่ฉีดเป็นคอมปาวด์ F1-F6.....	34
4.3 แสดงค่าความเปลี่ยนแปลงสีของ PCRs.....	35
4.4 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติเชิงกลของ PCRs.....	36
4.5 พื้นที่ของสารระเหิดที่ส่งกลิ่นที่พบจากการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Headspace.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 Roadmap การจัดการขยะพลาสติก พ.ศ. 2561-2573	2
1.2 Circular economy: Make-Use-Return	3
2.1 โครงสร้างและสายโซ่ของ PE	5
2.2 ปฏิกริยาสลายตัวแบบออกซิเดชันของพอลิเอทิลีน.....	7
2.3 การกำจัดกลิ่นทางเคมี	8
2.4 การลดกลิ่นทางกายภาพ	9
2.5 เทคนิค Headspace เครื่อง GC-MS.....	10
2.6 CIE color space.....	12
2.7 แบบจำลองกระบวนการขึ้นรูปในแม่พิมพ์.....	13
2.8 กระบวนการเป่าขึ้นรูปแบบ Extrusion blow molding.....	13
2.9 กราฟแสดงข้อมูลจากการทดสอบ Tensile strength	14
2.10 การตั้งตัวอย่างพลาสติกฉีดขึ้นรูปเป็นดัมเบล (Dumbbell specimen)	15
2.11 สูตร Elongation Percentage.....	16
2.12 ผลของต้านอนุมูลอิสระต่อความเสถียรของสีของกาวหลังจาก Heat-aging ที่ 170 °C	17
3.1 แผนผังแสดงการดำเนินงานวิจัย.....	20
3.2 เครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR).....	22
3.3 เครื่อง Thermal gravimetric analyzer (TGA)	22
3.4 เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)	23
3.5 เครื่อง Melt flow indexer (MFI)	24
3.6 เครื่อง Halogen moisture analyzer.....	24
3.7 เครื่อง Spectrophotometer.....	25
3.8 เครื่อง Universal testing machine.....	25
3.9 เครื่อง Gas chromatography mass spectrometer (GC-MS)	26
3.10 เครื่อง Extrusion blow molding machine (SMC 1000 T 3 LAYER).....	27
4.1 IR spectra ของ PCRs (พีคสีดำ) กับ Virgin polyethylene (พีคสีแดง).....	30
4.2 กราฟ TGA แสดงการสลายตัวของ PCRs เทียบระหว่างน้ำหนักกับอุณหภูมิ.....	31
4.3 กราฟ TGA แสดงการสลายตัวของ HDPE เทียบระหว่างน้ำหนักกับอุณหภูมิ.....	32
4.4 กราฟ DSC ของ PCRs และ Virgin polyethylene	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางแปลนขึ้นเพื่อการเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 รูปถ่ายแสดงสีที่เปลี่ยนไปของ PCRs ก่อน และหลังเติมสารเติมแต่ง.....	35
4.6 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อ Tensile modulus	37
4.7 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อ Tensile strength.....	37
4.8 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อ Elongation at break.....	38
4.9 กราฟ OIT การเสื่อมสลายทางความร้อนด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อเวลาผ่านไป.....	39
4.10 แสดงพื้นที่ที่พบสารระเหิดอินทรีย์ชนิดที่ส่งกลิ่น.....	40
4.11 การประเมินความรุนแรงของกลิ่นกลิ่นสูตร F1-F6.....	42
4.12 ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปจากเทคนิค Extrusion blow molding.....	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
DSC	Differential scanning calorimeter
FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy
GC-MS	Gas chromatography-mass spectrometer
HDPE	High density polyethylene
IAS	Intentionally added substance
LDPE	Low density polyethylene
MFI	Melt flow indexer
NIAS	Non-Intentionally added substance
OIT	Oxidative induction times
PCRs	Post-Consumer Recycled resins
PE	Polyethylene
PIRs	Post-Industrial recycled resin
PP	Polypropylene
SVOCs	Semi volatile organic compounds
T _c	Crystallization temperature
TGA	Thermal gravimetric analyzer
T _m	Melting temperature
WVOCs	Very volatile organic compounds
VOCs	Volatile organic compounds
WI	Whiteness index
YI	Yellowness index

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บรรจุภัณฑ์พลาสติกได้กลายเป็นผลผลิตทางอุตสาหกรรมที่มนุษย์สร้างชยะมามากในปัจจุบัน พอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดต่างๆ เช่น High density polyethylene (HDPE), Low density polyethylene (LDPE), Polypropylene (PP) และอีกหลายชนิดที่ยังไม่กล่าวถึงแต่ละชนิดได้รับการออกแบบมาให้มีความทนทานต่อสารเคมี และทนทานสภาพแวดล้อมส่งผลให้มีการเติบโตอย่างรวดเร็วในฐานะ "วัสดุที่ใช้ในชีวิตประจำวัน" แต่การกำจัดอย่างไม่ถูกวิธี และการไม่ย่อยสลายตามธรรมชาติจึงถือว่าเป็นภัยต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นสหภาพยุโรปจึงริเริ่มเป็นกลุ่มประเทศแรก ในการขับเคลื่อนกฎหมายเรื่องขยะพลาสติก ภายในปี พ.ศ. 2568 รูปแบบความรับผิดชอบของผู้ผลิตจะต้องมีผลบังคับใช้สำหรับบรรจุภัณฑ์ทุกประเภทในทุกประเทศสมาชิกสหภาพยุโรป แผนการนี้มีขึ้นเพื่อให้แน่ใจว่าวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วถูกส่งคืนหรือเก็บรวบรวมไว้เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่หรือใช้ซ้ำในลักษณะที่เหมาะสมที่สุด เป้าหมายของสหภาพยุโรปสำหรับพลาสติกในเศรษฐกิจแบบหมุนเวียน (EU strategy for plastics in a circular economy) ได้กำหนดไว้สำหรับการรวบรวมและรีไซเคิลวัสดุบรรจุภัณฑ์พลาสติก ได้แก่ ภายในปี พ.ศ. 2573 วัสดุบรรจุภัณฑ์ทั้งหมดจะต้องสามารถนำมาใช้ซ้ำหรือรีไซเคิลได้, 50% ของขยะพลาสติกทั้งหมดในยุโรปจะต้องถูกรีไซเคิล, ความสามารถในการคัดแยกและรีไซเคิลของสหภาพยุโรปจะต้องเพิ่มขึ้นเป็นสี่เท่าเมื่อเทียบกับปี 2558 [1] และปี 2563 ประเทศไทยมีการใช้เม็ดพลาสติก 5.68 ล้านตันเป็นการผลิตบรรจุภัณฑ์ (Packaging) มากที่สุด ดังนั้นกรมควบคุมมลพิษ จึงจัดตั้ง Roadmap เพื่อมาเป็นแนวทางควบคุมมลพิษขยะพลาสติก การจัดการขยะพลาสติกที่ผ่านมายังมีปัญหาอุปสรรคในการดำเนินงานโดยไม่มีกฎหมาย กฎระเบียบข้อบังคับเพื่อใช้ในการป้องกันและแก้ไขปัญหาขยะพลาสติกโดยเฉพาะ ยังคงมีการผลิตและออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกหลากหลายวัสดุและหลากหลายประเภทโดยไม่ได้คำนึงถึงการนำกลับมาใช้ประโยชน์ ทำให้เกิดขยะพลาสติกเพิ่มขึ้นทุกปี นอกจากนี้ความร่วมมือของประชาชนในการลด เลิกใช้พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว (Single-use plastics) ยังมีน้อยและมีเพิ่มขึ้นนับจากมีสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ขยะพลาสติกบางส่วนยังคงหลุดรอดลงสู่ธรรมชาติก่อให้เกิดมลพิษในแหล่งน้ำ รวมถึงสิ่งแวดล้อมส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศบนบกและสิ่งมีชีวิตในทะเล เพื่อการแก้ปัญหา จึงจัดตั้งแผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก กรมควบคุมมลพิษจึงได้ร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและภาคเอกชน จัดทำแผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก เพื่อขับเคลื่อนการดำเนินงานการจัดการขยะให้ปรับตัวไปตามข้อกำหนดของสหภาพยุโรป โดยขอความร่วมมือจาก

รัฐ, เอกชนและประชาชนให้ตระหนักถึงผลกระทบต่อการจัดการขยะอย่างไม่ถูกวิธี [2]

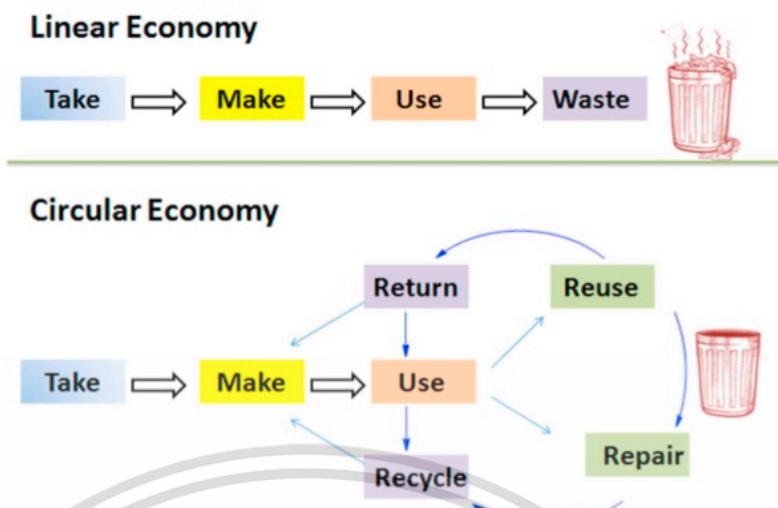
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 Roadmap การจัดการขยะพลาสติก พ.ศ. 2561-2573 [2]

“เม็ดพลาสติก”เป็นต้นน้ำของอุตสาหกรรมจึงจำเป็นต้องเร่งปรับตัวรับประเด็นความยั่งยืน (Sustainability) ที่ทั่วโลกให้ความสำคัญท่ามกลางการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ดังนั้นความต้องการของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่ผลิตจากขยะพลาสติก หรือเรียกกันว่าเม็ดพีซีอาร์ (Post-Consumer Recycled resins, PCRs) จึงมีการเริ่มมีปรับตัวเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน การรีไซเคิลพลาสติกเป็นกระบวนการแปรรูปขยะพลาสติกให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานต่อได้ หรือนำพลาสติกมาแปรรูปใช้ใหม่ (Recycled plastics) ข้อดีคือสามารถลดปริมาณแก๊สเรือนกระจก (Carbon footprint) ที่ปล่อยออกมาตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นับตั้งแต่ได้วัตถุดิบมาจนถึงกระบวนการผลิต การกระจายสินค้าและการใช้งาน แก๊สเรือนกระจกเป็นสาเหตุสำคัญที่อยู่เบื้องหลังการเพิ่มระดับมลพิษในสภาพแวดล้อมของเรา เนื่องจากกระบวนการผลิตพลาสติกทั้งหมดต้องใช้น้ำมันในการเผาไหม้จึงก่อให้เกิดแก๊สเรือนกระจกจำนวนมาก การรีไซเคิลพลาสติกแทนการผลิตใหม่ตั้งแต่ต้นจึงช่วยลดการปล่อยแก๊สที่เป็นพิษได้อย่างมาก ซึ่งหมายความว่ามีการใช้พลังงานน้อยลงและมีการปกป้องทรัพยากรธรรมชาติ กระบวนการผลิตโพลีเมอร์บริสุทธิ์ต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติ เช่น น้ำ น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ และถ่านหินเป็นวัตถุดิบ ดังนั้นการรีไซเคิลวัสดุโพลีเมอร์จึงเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรอินทรีย์ที่มีค่าซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน ผลิต-ใช้-วนกลับ (Circular economy: Make-use-return)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 Circular economy: Make-use-return [3]

ข้อดีต่อมาคือ ประเด็นความยั่งยืนของ PCRs นอกเหนือจากความยั่งยืนทางด้านสิ่งแวดล้อมแล้วยังสามารถเติบโตด้านเศรษฐกิจได้ในระยะยาว เมื่อเผชิญกับผลกระทบที่สิ่งแวดล้อมได้รับจากอุตสาหกรรม โรงงานทั่วโลกจำเป็นต้องปรับตัวให้สามารถผลิตสินค้ามาตอบสนองความต้องการของประชากรบนโลกได้อย่างยั่งยืน

อย่างไรก็ดีการใช้ PCRs พบปัญหาสำคัญที่มีผลอย่างมากต่อการใช้งานคือกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์เมื่อผ่านกระบวนการผลิตเพื่อมาเป็นบรรจุภัณฑ์นั้นส่งกลิ่นเนื่องจากพลาสติกที่นำมารีไซเคิลอาจปนเปื้อน เช่น หมึกจากการพิมพ์ฉลาก หรือพิมพ์ลงบนขวด

สิ่งเจือปนในพลาสติก เกิดจากการที่พลาสติกเสื่อมสภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการลดกลิ่นโดยใช้สารเติมแต่ง และเพื่อศึกษาว่าสารลดกลิ่นจะมีประสิทธิภาพในการลดกลิ่นได้มากหรือน้อยเมื่อนำมาเทียบกับ PCRs ที่ไม่ได้ผ่านการผสมสารเติมแต่งรวมทั้งผลของสารลดกลิ่นที่มีต่อสมบัติของพลาสติก เช่น สมบัติเชิงกลสมบัติทางความร้อนและสี ฯลฯ โดยการพัฒนาสูตรที่ใช้ในการลดกลิ่นและศึกษาว่าสูตรใดมีประสิทธิภาพในการลดกลิ่นในพลาสติกมากที่สุด เพื่อนำมาลดกลิ่นในกระบวนการผลิตและในผลิตภัณฑ์ขวด และทดสอบว่าสามารถใช้ PCRs ทดแทนการใช้เม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ได้จริงหรือไม่

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการใช้สารเติมแต่งในการลดกลิ่นของ PCRs (Post-Consumer Recycled resin) โดยเน้นการศึกษาชนิดและปริมาณของสารลดกลิ่นที่ส่งผลต่อการลดกลิ่นและสมบัติของ PCRs ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาองค์ประกอบและคุณสมบัติของสารที่ใช้ในงานวิจัยคือ เม็ดพลาสติกรีไซเคิล ของ บริษัท VEOLIA CIRCULAR POLYMER (THAILAND) CO LTD.

2. ศึกษาประเภทและหลักการทำงานของสารเติมแต่งในงานวิจัยคือ RECYCLOBYK 4371 และ BYK MAX OR 4206 ของบริษัท COLOSSAL INTERNATIONAL CO LTD.

3. กำหนดอัตราส่วนปริมาณของ PCRs และสารเติมแต่งทั้ง 2 ชนิด เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการลดกลิ่น

4. ฉีดเป็นคอมปาวด์เพื่อศึกษาผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออัตราการไหล และความชื้น

5. ฉีดขึ้นรูปเป็น Dumbbell จากเครื่อง Injection molding เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล สี และบันทึกกลิ่นที่ได้รับขณะฉีดขึ้นรูป

6. วิเคราะห์สารระเหยที่ส่งกลิ่นจากเม็ดคอมปาวด์เฉพาะสูตรที่คาดว่าจะมีประสิทธิภาพในการลดกลิ่นสูงที่สุด โดยใช้เทคนิค Gas chromatography mass spectrometry (GC-MS)

7. ขึ้นรูปขวดตัวอย่างด้วยเทคนิค Extrusion blow molding เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ในอนาคต

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เม็ด PCRs ที่ไม่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์
2. ได้รับความรู้ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาเป็นสารเติมแต่งไว้สำหรับการดูดซับกลิ่นรวมทั้งเสริมสมบัติทางกายภาพในพอลิเมอร์หรือวัสดุชนิดอื่นต่อไปในอนาคต
3. สามารถผลิตเม็ดคอมปาวด์ที่ไม่มีกลิ่นจัดจำหน่ายเชิงพาณิชย์ได้
4. ส่งเสริมอุตสาหกรรมพลาสติกรีไซเคิลและเพิ่มปริมาณการใช้งาน PCRs ทำให้เกิด Circular economy และการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

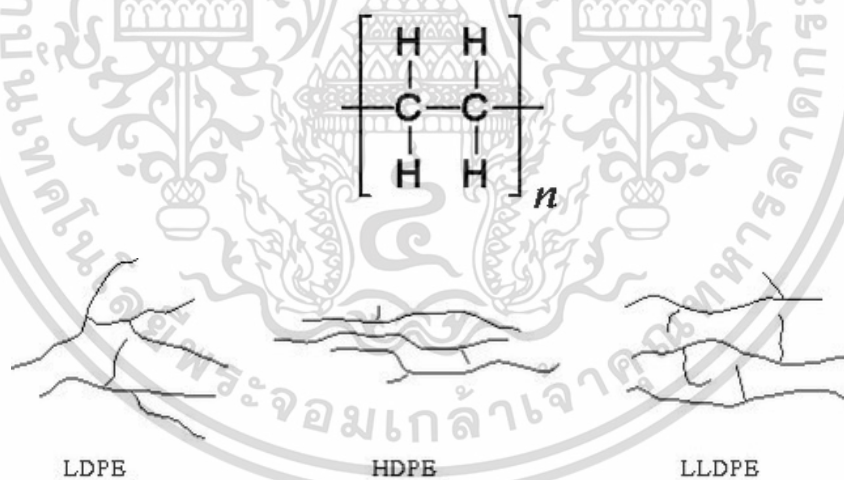
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ของงานวิจัยกล่าวถึงความหมายของ PCRs (Post-Consumer Recycled resins) กลิ่นของเม็ดพลาสติก PCRs และหลักการทำงานของสารเติมแต่งต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยรวมถึงวิธีการทดสอบการลดกลิ่นในเม็ด

2.1 ความหมายของพลาสติกรีไซเคิล

พลาสติกรีไซเคิลเป็นพลาสติกที่ได้จากกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่หลังจากใช้งานซึ่งในที่นี้กล่าวถึงพลาสติกที่ผ่านการขึ้นรูปมาเป็นบรรจุภัณฑ์และเกิดการใช้งานจริงนำกลับมาผลิตเป็นเม็ดอีกครั้งเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อ ขยะพลาสติกหลังการบริโภคที่รวบรวมมาได้มักจะผ่านกระบวนการคัดแยกและถูกแยกตามองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งงานวิจัยนี้สนใจการใช้พลาสติกรีไซเคิลชนิด Polyethylene (PE)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างและสายโซ่ของ PE [4]

ลักษณะโดยทั่วไปแล้ว PE มีสีขาวขุ่นโปร่งแสง มีความลื่นมันในตัวเอง เมื่อสัมผัสจึงรู้สึกลื่น ยืดหยุ่นได้ดี และที่สำคัญ ไม่มีกลิ่น และรส แถมยังไม่ติดแม่พิมพ์อีกด้วย มีความเหนียว แต่ทนความร้อนได้ไม่มากนัก (<math><100^{\circ}\text{C}</math>) แต่ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี (Chemical) เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี ไม่ไวไฟมาก ใสสีผสมได้ง่าย มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้ดี

เมื่อมีความหนาแน่นสูงขึ้น จะทำให้มีความแข็งแรง และความเหนียวเพิ่มขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิในการหลอมเหลวสูงขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อความหนาแน่นลดลง จะทำให้อัตราการเสื่อมสลายของผิวเพิ่มขึ้น กล่าวคือผิวจะแตกได้ง่ายขึ้น

สมบัติของพอลิเมอร์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับแค่รูปร่างกิ่งก้านโมเลกุลแต่ยังขึ้นอยู่กับความยาวของสายโซ่ เริ่มจากความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีสายสั้นจะหลอมเหลวได้ง่ายกว่าพอลิเมอร์ที่มีสายยาวกว่าซึ่งสายโซ่ยาวจะส่งผลให้ต้องใช้อุณหภูมิสูงในการหลอมและมีความหนืดที่มากกว่าทั้งนี้เป็นเพราะความยาวสายโซ่พันกัน

พลาสติกที่ถูกนำมารีไซเคิลจึงมีการแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ ได้แก่

1.Post-Industrial Recycled resin (PIRs) คือ การนำพลาสติกที่เหลือทิ้งหรือสูญเสียระหว่างกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม นำกลับเข้าสู่กระบวนการทำเป็นวัตถุดิบ เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกครั้ง เช่น ผู้ผลิตนำเม็ดพลาสติกที่ไม่ผ่านมาตรฐานคุณภาพนำมาขึ้นรูปกลับเป็นวัตถุดิบเม็ดพลาสติกใหม่อีกครั้ง เป็นต้น

2.Post-Consumer Recycled resin (PCRs) คือ การนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานโดยผู้บริโภคมาแล้ว มาผ่านกระบวนการทำความสะอาด แล้วปรับปรุงคุณสมบัติ ด้วยเทคโนโลยีหรือนวัตกรรมแล้วมาหลอมให้เป็นเม็ดพลาสติกอีกครั้ง เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตต่อไป [5]

ขั้นตอนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล แบ่งเป็น 4 ประเภท

1. ขั้นปฐมภูมิ เป็นวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไปเริ่มจากการนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานมาล้างทำความสะอาดอย่างง่ายแล้วนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง

2. ขั้นทุติยภูมิ เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในกลุ่มโฟมและพลาสติกแข็ง เรียกวิธีนี้ว่าการรีไซเคิลเชิงกล (ก) ตัดหรือบดขยะพลาสติกให้กลายเป็นชิ้นเล็ก (ข) กำจัดสิ่งปนเปื้อนเช่นฝุ่น, เศษกระดาษ โดยใช้เครื่อง Cyclone (เครื่องเป่าลม) (ค) คัดแยกชิ้นส่วนที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน โดยใช้วิธีลอยน้ำ (ง) ล้างด้วยน้ำเพื่อกำจัดสิ่งตกค้าง (จ) เป่าให้แห้ง (ฉ) เข้าเครื่องฉีดออกมาเป็นเส้นแล้วตัดให้เป็นเม็ดพลาสติก

3.ขั้นตติยภูมิ ขั้นตอนนี้รู้จักกันในนามการรีไซเคิลเชิงเคมี กระบวนการนี้คือการนำขยะพลาสติกกลับมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสารเคมีหรือเชื้อเพลิง โดยมีเทคนิคที่ใช้หลากหลาย เช่น Solvolysis คือกระบวนการที่ทำให้โครงสร้างของสายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดการแตกออกจากกันด้วยตัวทำละลายไดโมโนเมอร์ หรือโอลิโกเมอร์ซึ่งเป็นหนึ่งในการรีไซเคิลทางเคมี, Thermalysis คือกระบวนการที่ทำให้โครงสร้างของพอลิเมอร์แตกออกจากกันด้วยความร้อน เป็นต้น

4.ขั้นจตุภูมิ พลาสติกสามารถนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้โดยการให้ความร้อนในการเผาไหม้มีค่าความร้อนใกล้เคียงกับถ่านหิน (23 MJ/Kg) ช่วยในการเผาไหม้ส่วนที่เป็นขยะเปียก ทำให้ลดการใช้เชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการเผาขยะแต่ไม่เป็นที่นิยมในการทำขั้นตอนนี้ เพราะมีความเป็นพิษต่อ

ร่างกายและสิ่งแวดล้อม [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

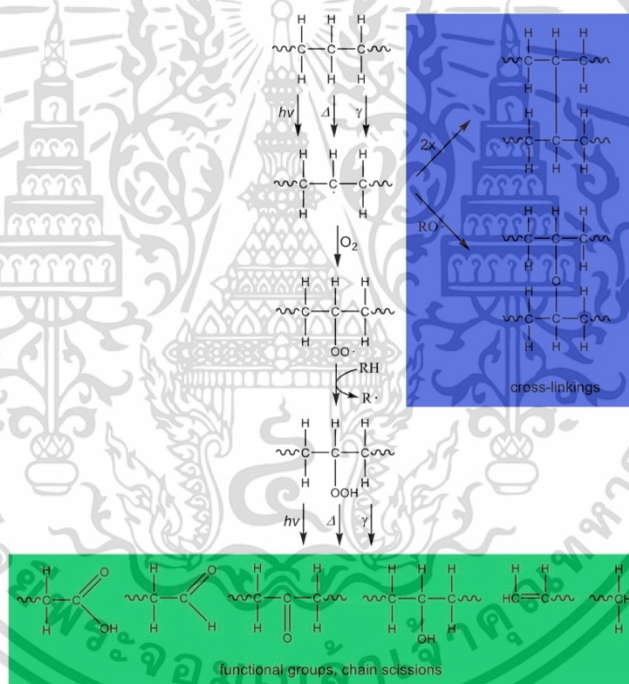
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กลิ่นของเม็ดพลาสติก PCRs

PCRs จะส่งกลิ่นเมื่อเม็ดผ่านกระบวนการผลิตออกมาเป็นบรรจุภัณฑ์ ซึ่งปัญหาหลักคือการส่งกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ หรือที่เรียกว่า การส่งกลิ่นของสารระเหยง่าย (VOCs, Volatile organic compounds) โดยมีการศึกษาว่าสารที่มีกลิ่นนั้นสามารถแยกประเภทของการเกิดกลิ่นได้ดังนี้

1. สารเพิ่มโดยเจตนา (IAS, Intentionally added substance) คือสารที่เพิ่มระหว่างการผลิตเช่น คราบขาว หมึกพิมพ์ สารเติมแต่ง

2. สารที่ไม่ตั้งใจเพิ่ม (NIAS, Non-Intentionally added substance) คือการเสื่อมสภาพของพลาสติกและสารเติมแต่ง และยังดูดซึมได้จากสารที่ใส่ในผลิตภัณฑ์หรือสิ่งแวดล้อม เช่น ฝุ่น จาระบี ดิน ยกตัวอย่างการทดลองนำเม็ด HDPE PCR และ HDPE เม็ดบริสุทธิ์มาขึ้นรูปเป็นขวดบรรจุภัณฑ์พบว่ากลิ่นของน้ำหอมหลงเหลืออยู่ในขวดที่ใช้เม็ด HDPE PCR เป็นไปได้ว่ากลิ่นติดอยู่ในเม็ดพลาสติกที่ผ่านการใช้งานมาในรูปแบบของขูดแซมพู ขวดสบู่ เป็นต้น [6]



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาสลายตัวแบบออกซิเดชันของพอลิเอทิลีน [7]

2.2.1 Volatile organic compounds (VOCs)

“VOCs” มาจากคำว่า Volatile organic compounds หมายถึงกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอได้ง่าย มีองค์ประกอบหลักได้แก่ อะตอมของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และอาจมีองค์ประกอบอื่นๆได้แก่ ซัลเฟอร์ ไนโตรเจน มีการจัดประเภทของ VOCs ไว้ 2 กลุ่มใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 1. แบ่งตามลักษณะของโมเลกุลของสาร ดังนี้ 1.1 Non-chlorinated VOCs / Non-halogenated hydrocarbons

กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยไม่มีอะตอมของธาตุคลอรีนในโมเลกุล สารกลุ่มนี้มาจากสิ่งแวดล้อมการเผาไหม้ขยะ พลาสติก สีทาวัสดุ

1.2 Chlorinated VOCs / Halogenated hydrocarbons จะเป็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยแบบมีอะตอมคลอรีนอยู่ในโมเลกุล เช่นสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งสารระเหยนี้สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมแตกต่างกันตามปริมาณที่ได้รับและชนิดของสารระเหยอินทรีย์นั้นๆ [8]

2. แบ่งตามความสามารถในการระเหยที่อุณหภูมิต่างๆ ยิ่งจุดเดือดต่ำก็ยิ่งมีโอกาสในการปล่อยแก๊สลอยอยู่ในอากาศ มากกว่าการเกาะติดอยู่กับพื้นผิววัสดุ เช่น พื้นผิวของเฟอร์นิเจอร์

2.1 Very volatile organic compounds (VOCs) จุดเดือดอยู่ในช่วง 0 ถึง 50-100 องศาเซลเซียส จะระเหยแก๊สประเภท Propane, Butane, Methyl chloride ออก

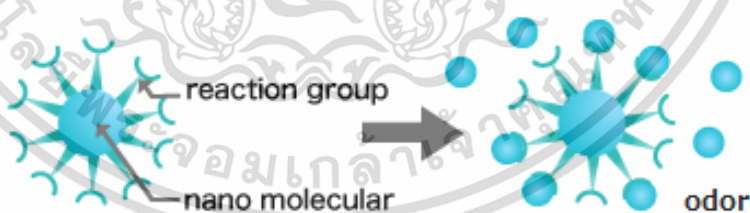
2.2 Volatile organic compounds (VOCs) จุดเดือดอยู่ในช่วง 50-100 ถึง 240-260 องศาเซลเซียส จะระเหยแก๊สประเภท Formaldehyde, d-Limonene, Toluene, Acetone, Ethanol (ethyl alcohol) 2-propanol (isopropyl alcohol), Hexanal

2.3 Semi volatile organic compounds (SVOCs) จุดเดือดอยู่ในช่วง 240-260 ถึง 380-400 องศาเซลเซียส จะระเหยแก๊สประเภท Pesticides (DDT, chlordane, plasticizers (phthalates), fire retardants (PCBs, PBB)) [9]

2.2.2 วิธีการดกกลิ่นในอุตสาหกรรม

โดยทั่วไปแล้วจะมีการกำจัดกลิ่น 2 ประเภท

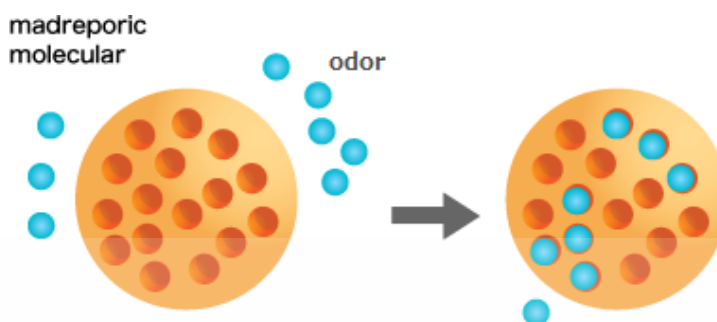
1.การกำจัดทางเคมี จะใช้สารเคมีในการทำให้สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยออกมาเป็นกลางด้วยปฏิกิริยาเคมี



รูปที่2.3 การกำจัดกลิ่นทางเคมี [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การกำจัดทางกายภาพ สารประกอบอินทรีย์ที่ส่งกลิ่นจะถูกดูดซับโดยวัสดุที่มีรูพรุนที่พบเห็นทั่วไปจะเลือกใช้ ถ่านกัมมันต์ ซีโอไลต์ และซิลิกาเจลที่มีความสามารถดูดซับสารเคมีได้หลายชนิด



รูปที่ 2.4 การลดกลิ่นทางกายภาพ [10]

2.3 หลักการทำงานของสารเติมแต่ง

สารเติมแต่ง A กลุ่ม Antioxidant, Heat stabilizer และ Neutralizer สามารถช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ ทำให้ทนอุณหภูมิสูงได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นสี และสมบัติของพลาสติกที่ถูกให้ความร้อนหลายครั้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยลงมีความสม่ำเสมอมากขึ้นรวมถึงสามารถช่วยลดความชื้น และกลิ่นของ PCRs ได้ดียิ่งขึ้น

สารเติมแต่ง B เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นสูงของสารกลุ่ม Anti-odor agent ใช้เพื่อช่วยลดปัญหากลิ่นของพลาสติกที่ถูกให้ความร้อนหลายครั้งโดยเฉพาะ

2.4 เครื่องมือการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

โดยในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุพอลิเมอร์

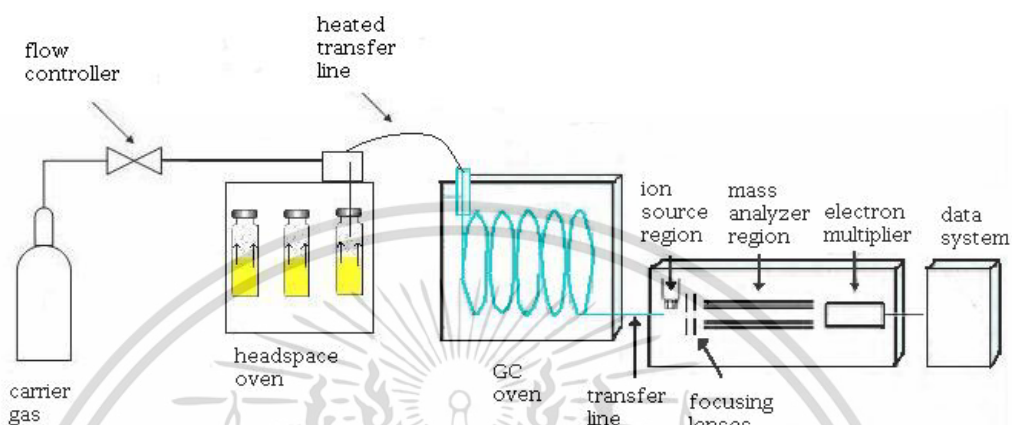
1. Gas chromatography (GC)

แก๊สโครมาโทกราฟี (GC) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย และกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่กึ่งระเหย โดยอาศัยหลักการแยกระหว่างเฟสอยู่กับที่ และเฟสเคลื่อนที่ สำหรับเฟสอยู่กับที่ของเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี คือสารที่เคลือบผิวหรือบรรจุอยู่ในคอลัมน์ และเฟสเคลื่อนที่ คือแก๊สตัวพาซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ใช้เป็นแก๊สฮีเลียม (He) เมื่อเม็ดพลาสติกถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ระเหยออกจากเม็ดพลาสติก ถูกฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี และที่บริเวณหัวฉีดเป็นบริเวณที่ให้ความร้อนมีอุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้สารผสมเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นแก๊ส และส่วนแก๊สของสารผสมจะเคลื่อนที่เข้าสู่คอลัมน์ โดยอาศัยแก๊สฮีเลียม และมีการให้ความร้อนของคอลัมน์ด้วยตู้ควบคุมอุณหภูมิทำให้เกิดกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่ มิมีเหตุที่ประสงค์อื่นใด และต้องอ้างอิงถึงชื่อเอกสารที่ผู้จัดทำไว้

แยกแก๊สเกิดขึ้นจากนั้นสารผสมที่ถูกแยกภายในคอลัมน์จะเคลื่อนที่เข้าสู่ตัวตรวจวัด และผลที่ได้จะแสดงในรูปแบบของกราฟโครมาโทแกรม

HEADSPACE GC MS



รูปที่ 2.5 เทคนิค Headspace เครื่อง GC-MS [11]

2. Differential scanning calorimetry (DSC)

เป็นเทคนิคใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Thermal analysis) ซึ่งวัดค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิของสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การหลอมเหลว การเปลี่ยนสถานะ การเปลี่ยนรูปผลึก ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ต้องตัดเม็ดพลาสติกน้ำหนักประมาณ 5-10 มิลลิกรัม ซึ่งเม็ดพลาสติกจะถูกวางบน Aluminum pan ปิดฝาให้สนิทแล้วนำไปวิเคราะห์ในเครื่อง DSC ภายใต้แก๊สไนโตรเจน โดยให้ความร้อนเม็ดพลาสติกที่อุณหภูมิ 30-200 องศาเซลเซียส โดยพื้นที่ได้กราฟจะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงความร้อนของตัวอย่าง โดยข้อมูลการเปลี่ยนแปลงค่า Enthalpy ของสารตัวอย่างได้ข้อมูลดังนี้ อุณหภูมิหลอมผลึก อุณหภูมิการเกิดผลึก และอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว

3. Oxidative induction times (OIT)

เป็นเทคนิคที่ใช้เครื่อง DSC แต่ทำการให้ความร้อนตัวอย่างในบรรยากาศแก๊สออกซิเจน ศึกษาเวลาที่สารมีความสามารถในการทนการสลายทางความร้อนด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยจะใช้ทดสอบกับวัสดุพอลิเมอร์ เช่น พอลิโอฟีน (Polyolefin) ผลการทดลองที่ได้คือ กราฟระหว่างพลังงานที่ใช้กับเวลา เทคนิคนี้สามารถใช้ในการศึกษาความสามารถของพอลิเมอร์ที่จะทนการเสื่อมสลายทางความร้อนด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงนเวสสาหรับการเขางานเพื่อกการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาตให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Thermogravimetric analysis (TGA)

TGA เป็นเครื่องที่ใช้วิเคราะห์การสลายตัวของสารตัวอย่างผ่านการใช้อุณหภูมิ เมื่อสารตัวอย่างที่อยู่ในรูปของแข็งได้รับความร้อนจะทำการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง

สารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์จะถูกวางไว้บนถ้วยที่เชื่อมกับเครื่องชั่งที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสูงอยู่ในเตาที่ควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ซึ่งจะกำหนดตาม Raw material ที่เลือกใช้ โดยงานวิจัยนี้อัดแก๊สไนโตรเจนเข้าไป ซึ่งอุณหภูมิจะเริ่มเปลี่ยนแปลงจาก 30-800 องศาเซลเซียสจะเป็นการเริ่มต้นเผาไหม้ขั้นที่หนึ่ง หากต้องการเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จำเป็นต้องสลับมาใช้แก๊สออกซิเจน ณ อุณหภูมิ 800-950 องศาเซลเซียส เมื่อสารตัวอย่างได้รับความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไป จะเกิดสัญญาณการวัดที่สามารถแสดงผลในรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อน้ำหนัก (TG) โดยน้ำหนักของสารตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด น้ำหนักของสารตัวอย่างที่หายไปเกิดมาจากการระเหย ระเบิด หรือสลายไปที่อุณหภูมินั้นๆ

5. Halogen moisture analyzer

เป็นเครื่องมือที่ใช้หาความชื้นของสารซึ่งหาได้ทั้งในของแข็งและของเหลว โดยจะวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสารตัวอย่างก่อนและหลังให้ความร้อนด้วยแสงจากหลอดฮาโลเจน ซึ่งแปลผลน้ำหนักรวมที่สูญเสียเปลี่ยนเป็นปริมาณความชื้น

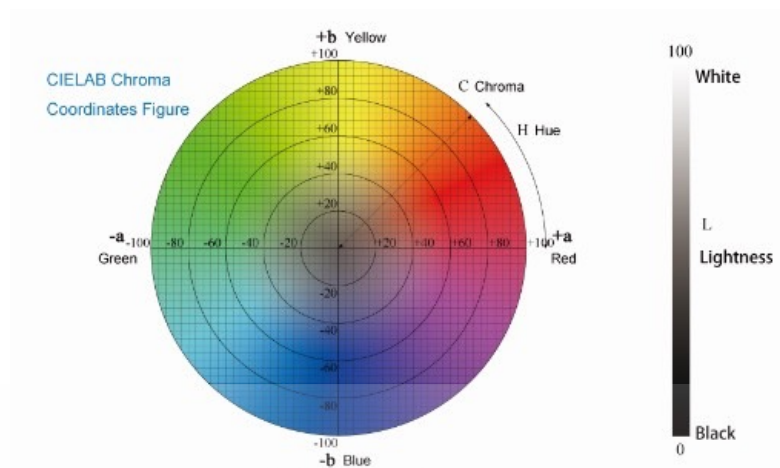
6. Melt Flow Index Tester (MFI)

เป็นเครื่องทดสอบหาคูณสมบัติการไหลของพลาสติกโดยการรีดผ่านรูมาตรฐาน (Standard die) แรงที่ใช้ในการรีด (Extrude) ได้จาก ตั้มน้ำหนัก กดผ่าน Piston ไปยังพลาสติกที่ได้รับความร้อนจนหลอมไหล โดยความร้อนจะถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมอุณหภูมิพลาสติกที่ได้รับความร้อนจะหลอมไหลผ่าน Die มาตรฐาน ด้วยแรงกดจากตั้มน้ำหนัก

7. Yellowness index (YI)

ดัชนีความเหลือง (YI) เป็นระดับของสีที่เปลี่ยนจากความขาวเป็นสีเหลืองหรือจากความโปร่งแสงเป็นสีเหลืองเข้ม สิ่งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่มากเกินไป เช่น การโดนแสงแดดหรือรังสียูวีมากเกินไป ก็จะทำให้พลาสติกเสื่อมสภาพและกลายเป็นสีเหลืองในที่สุด จะมี

การรายงานผลค่า L^* (ความสว่าง) , แกน a^* (+สีแดง-เขียว) , แกน b^* (+เหลือง-ฟ้า) , WI (ความขาว) , DE*
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

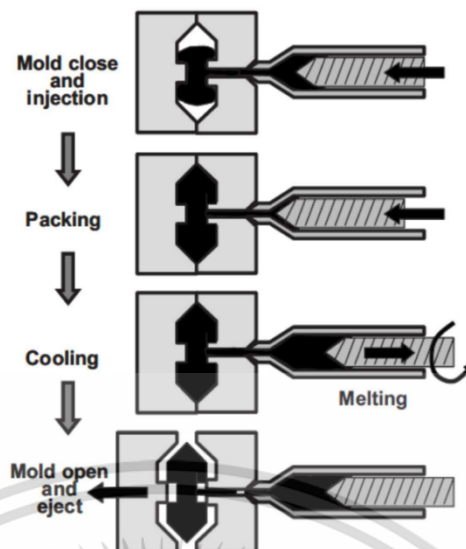


รูปที่ 2.6 CIE color space [12]

8. Injection molding

กระบวนการขึ้นรูปแบบฉีดเม็ดพลาสติก PCRs โดยใส่เม็ดเข้าไปในกรวยเติมสาร แล้วเม็ดพลาสติกมีสถานะเป็นแข็งโดยผ่านความร้อนในสกรูทั้งหมด 5 โซน ที่อุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g , Glass transition temperature) หรืออุณหภูมิการหลอม (T_m , Melting temperature) ให้ความร้อนแก่กระบอกฉีด และความร้อนจากแรงเสียดทานของเม็ดกับการหมุนของสกรู ทำให้เม็ดพลาสติกเปลี่ยนสถานะของแข็งเป็นของเหลว เมื่อเม็ดพลาสติกหลอมเป็นเนื้อเดียวกัน เครื่องจะทำการฉีดพลาสติกหลอมเข้าสู่แม่พิมพ์ หลังจากนั้นความดันจะลดลงแล้วค้างไว้ในแม่พิมพ์ระยะเวลาหนึ่ง เพื่อไม่ให้พลาสติกหดตัวในแม่พิมพ์ หลังจากนั้นเมื่อพลาสติกแข็งตัวในแม่พิมพ์แล้ว ชิ้นงานจะถูกปลดออกจากแม่พิมพ์

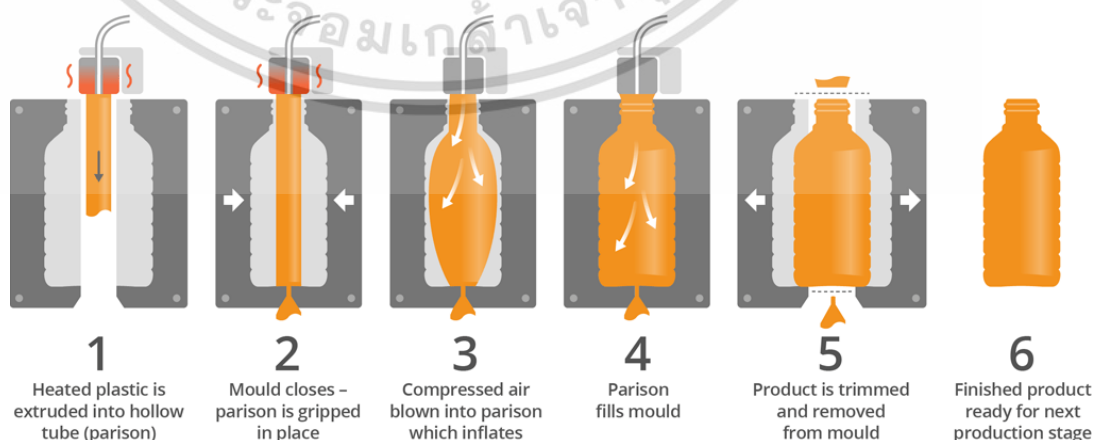
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แบบจำลองกระบวนการฉีดขึ้นรูปในแม่พิมพ์ [13]

9. Extrusion blow molding

กระบวนการเป่าขึ้นรูปขวดจากวิธีการ Extrusion blow molding พลาสติกหลอมเป็นหลอดพาริสัน (Parison) แล้วเป่าด้วยลมแรงดันสูงเพื่อให้หลอดพาริสันเกิดการพองตัวภายในแม่พิมพ์ การเป่าวิธีนี้เริ่มต้นที่หลอดพาริสันไหลออกมาให้ตำแหน่งวางอยู่ตรงใจกลางของเบ้าแม่พิมพ์ทั้งสองข้าง และหลอดพาริสันให้ยาวกว่าส่วนล่างของเบ้าเล็กน้อย หลอดพาริสันจำเป็นต้องไหลเป็นเส้นตรง ไม่บิดเบี้ยว หลังจากนั้นปิดแม่พิมพ์ ใบมีดที่ให้ความร้อนจะตัดหลอดพาริสันในตำแหน่งเหนือส่วนบนของแม่พิมพ์เล็กน้อย แล้วเป่าลมเข้าไปในแกนกลางของหลอดพาริสัน ในงานวิจัยชิ้นนี้ใช้ความดันลม 2 บาร์ ทำให้พลาสติกพองตัวกระทบแม่พิมพ์เย็น ซึ่งนิยมใช้น้ำเย็นที่มีช่วงอุณหภูมิ 20 องศา ไหลหมุนเวียนในแม่พิมพ์ตัวหล่อเย็นทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามรูปร่างของแม่พิมพ์ หลังจากขึ้นงานแข็งตัวดีแล้ว ถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์เป็นขวดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

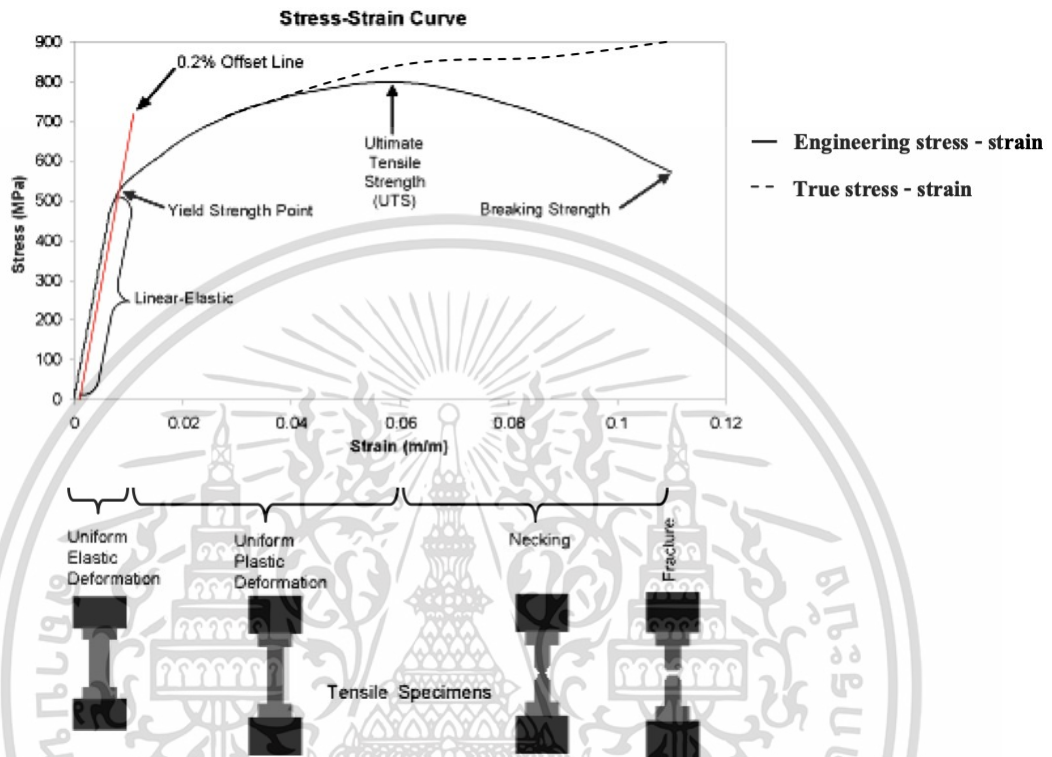


รูปที่ 2.8 กระบวนการเป่าขึ้นรูปแบบด้วยเทคนิค Extrusion blow molding [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

2.5 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์

2.5.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile test) เมื่อวัสดุถูกดึงด้วยแรงกระทำภายนอกจนกระทั่งขาด จะแสดงตามกราฟด้านล่าง [15]



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงข้อมูลจากการทดสอบ Tensile strength [15]

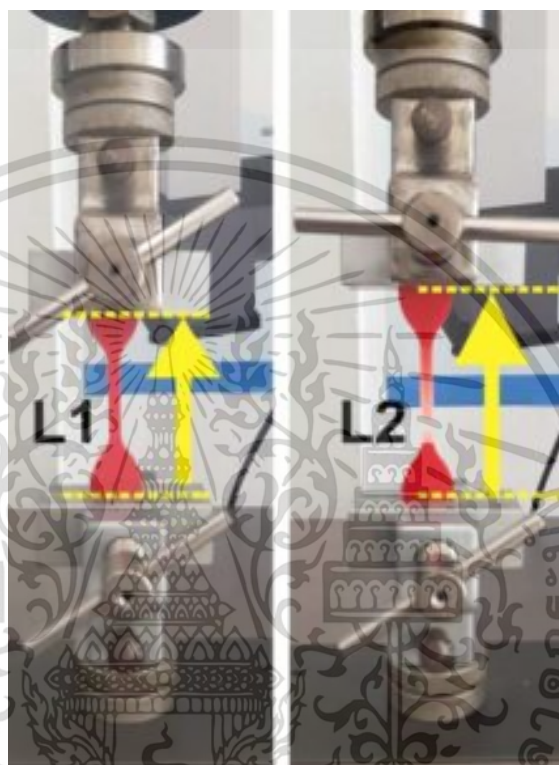
จากกราฟจะสามารถอ่านวิเคราะห์ข้อมูลได้ 3 จุด

- Yield strength point จุดที่วัสดุเริ่มเปลี่ยนรูปและไม่สามารถกลับมารูปเดิมได้
- Maximum load, Maximum force หรือ Ultimate tensile strength เป็นจุดที่พลาสติกทนแรงกระทำสูงสุด
- Breaking strength หรือ Break point จุดที่วัสดุขาดแต่ไม่จำเป็นต้องใช้แรงกระทำที่สูงสุด การอ่านผลการทดสอบในแต่ละจุด.
- Elongation at break การยืดตัวขณะที่ขึ้นงานขาดหรือแตกออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สอน Force คือค่าแรงดึง ที่เกิดจากการอ่านค่าของ โหลดเซลล์ Load cell มีหน่วย เช่น N ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Stress หรือ Tensile strength คือแรงเค้น คำนวณได้จากสูตร

$$\text{Stress} = \text{Force}/\text{Area}$$
 มีหน่วยเป็น MPa, N/sq.cm โดย Area คือ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ
- Strain คือ ค่าความตึงเครียดแรงดึง
- Elongation คือ เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุ



รูปที่ 2.10 การดึงตัวอย่างพลาสติกชนิดขึ้นรูปเป็นดัมเบล (Dumbbell specimen) [15]

2.5.2 วิธีคำนวณค่า Elongation percentage

จากรูป จะเป็นการดึงพลาสติกรูปดัมเบล (Dumbbell specimen) ให้เครื่องทดสอบ Tensile tester ทำการดึงขึ้นงานทดสอบจนกระทั่งขาด โดยกำหนดให้ L1 เท่ากับ ระยะเริ่มต้น และ L2 เท่ากับ ระยะทางที่จุดขาด ในกรณีที่ไม่มีอุปกรณ์วัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ ให้ทำการวัดระยะจากปากจับ Grip ด้านล่างถึงปากจับ Grip ด้านบน ตัวอย่างการคำนวณ สมมุติให้ L1 ระยะเริ่มต้น มีค่าเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และ L2 ระยะทางที่จุดขาด มีค่าเท่ากับ 150 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{สูตร} \frac{L2-L1}{L1} \times 100, \frac{150-100}{100} \times 100$$

รูปที่ 2.11 สูตร Elongation percentage [15]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Martijn Roosen และคณะ [16] ศึกษาการกำจัดกลิ่นใน PCRs โดยวิธีการกำจัดเชิงกายภาพ โดยการล้างหลายรูปแบบ เริ่มจากเตรียมตัวอย่างทั้งหมด 7 ตัวอย่าง ได้แก่ขวด PET (Polyethylene terephthalate) , ขวด PE (Polyethylene), ขวด PP (Polypropylene), ถาด PET, ถาด PP, ถาด PS (Polystyrene) และ PE ฟิล์ม จากการใช้เทคนิค Headspace solid-phase micro-extraction (SPME) GC-MS เพื่อระบุว่าใน PCRs เหล่านี้พบ VOCs โดยรวมทั้งหมด 169 ชนิด ซึ่งในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า ความแตกต่างของชนิด VOCs นั้นมาจากการใช้งานและความแตกต่างทางโครงสร้างเคมีของวัสดุต่างๆ จากการล้าง PCRs ด้วยสารละลายที่ทางคณะผู้จัดทำกำหนดมาดังนี้

- น้ำ
- Sodium hydroxide (NaOH)
- NaOH + cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB)
- CTAB
- Detergent C
- Detergent I
- Ethyl acetate (EtOAc)

พบว่า ความแตกต่างในแง่ของโครงสร้างทางเคมีของ VOCs สามารถอธิบายได้จากการใช้งานที่แตกต่างกัน เช่นขวดน้ำอัดลมที่ต้องกักเก็บน้ำอัดลมซึ่งจะมีสารปรุงแต่งในกลุ่มเทอร์พีน ในทางกลับกันถาดพลาสติกที่ใช้ในครัวเรือนส่วนใหญ่จะเข้ากับพวกเนื้อสัตว์ จึงสามารถอธิบายได้ว่าทำไมจึงพบสารประกอบที่มีออกซิเจนเช่น อัลดีไฮด์และคีโตน อีกหนึ่งปัจจัยที่อาจส่งผลต่อปริมาณของ VOCs คือความแข็งแรงเกี่ยวกับความอ่อนคล้ายยาง พอลิเมอร์ที่ที่แข็งแรงจะมีโครงสร้างแบบรูพรุนภายในแบบปิด ในขณะที่พลาสติกนุ่มคล้ายยางจะมีปริมาตรระหว่างโมเลกุลมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับที่การซึมผ่านเท่ากันพอลิเมอร์คล้ายยางเช่น PE, PP มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวที่สูงกว่าพอลิเมอร์คล้ายแก้ว เช่น PS ดังนั้น PE และ PP จะมีความสามารถในการดูดซับกลิ่นได้มากกว่า และมีการระบุไว้ว่าความถี่ของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีผลกระทบมากต่อปริมาณของ VOCs หลังการล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ Edward M. Petrie [17] ได้ศึกษาความเสถียรของสี และผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ทั่วไปของการเสื่อมสภาพ คือการเปลี่ยนสี ทั้งวัสดุพอลิเมอร์ธรรมชาติและพอลิเมอร์สังเคราะห์ในภาวและสาร

เคลือบหลุมร่องฟันทำให้เกิดการเปลี่ยนสีซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสลาย โดยทั่วไปจะสังเกตเห็นได้จาก การเพิ่มขึ้นของสีเหลืองหรือความเข้มของสี การเปลี่ยนสีมักปรากฏขึ้นก่อนการสูญเสียสมบัติทาง ภายภาพที่วัดได้ โดยปกติจะเป็นตัวบ่งชี้ความเสียหายที่สำคัญประการแรกที่สังเกตเห็น ซึ่งจะกำหนด อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ แม้ว่าพัฒนาสีจะเกิดขึ้นในระดับที่แตกต่างกันอย่างกว้างขวางในกาว และสารเคลือบหลุมร่องฟันต่างๆ และอาจไม่สอดคล้องโดยตรงกับการลดลงของคุณสมบัติทางกล แต่ การเปลี่ยนแปลงรูปลักษณะมักไม่เป็นที่ยอมรับในการใช้งานกาวจำนวนมาก



กาวที่ไม่มี AO

กาวกับ AO-1

กาวกับ AO-2

รูปที่ 2.12 ผลของต้านอนุมูลอิสระต่อความเสถียรของสีของกาว หลังจาก Heat-aging ที่ 170 °C [17]

Cabanes F.J. Valdés, Fullana [18] ศึกษาเทคโนโลยีที่ใช้ในการรีไซเคิลขยะพลาสติก เชิงกลในปัจจุบัน โดยมุ่งเน้นในการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปล่อยออกมาจากวัสดุ รีไซเคิล และด้วยการทบทวนเทคนิคการวิเคราะห์ที่นำไปใช้ในการระบุสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย รวมถึงเทคนิคที่ใช้ในการระบุออกฤทธิ์ต่อกลิ่นโดยเฉพาะอย่างยิ่ง งานวิจัยนี้รวบรวมสารประกอบ อินทรีย์ระเหยง่ายและสารออกฤทธิ์ที่มีกลิ่นทั้งหมดที่ระบุไว้ในพอลิเมอร์บริสุทธิ์และรีไซเคิล โดยมี เป้าหมายเพื่อประเมินว่ามีความแตกต่างที่โดดเด่นระหว่างสารประกอบเหล่านี้ตามโครงสร้างเคมีของ VOCs ที่ปล่อยออกมาหรือไม่ เป็นผลให้มีการรวบรวมสารระเหย 437 ตัว ซึ่งแสดงความแตกต่าง ระหว่างพลาสติก PCRs ชนิดต่างๆ เช่น PE PP และ PC เทียบกับแหล่งขยะพลาสติกอื่นๆ สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารปรุงแต่งกลิ่นและน้ำหอมรวมถึง ออกซิเจน ปรากฏใน PCRs เมื่อเทียบกับพลาสติกบริสุทธิ์และหลังอุตสาหกรรม และการกำจัด VOCs ในพลาสติก PCRs นำเสนอความท้าทายทางเทคโนโลยีในการรีไซเคิลเชิงกลในปัจจุบัน การวิจัยนี้ เปิดเผยว่าสารที่ปล่อยออกมาจากพลาสติกบริสุทธิ์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน ในขณะที่ พลาสติก PCRs ยังมีอัลดีไฮด์ เอสเทอร์ และกรดคาร์บอกซิลิกจำนวนมาก พลาสติก PCRs จะปล่อย

สารประกอบเหล่านี้จำนวนมาก นอกเหนือจากสารปรุ่่งแต่งกลิ่นและน้ำหอมยัง มีสารอื่นอีกจำนวนมากที่ผลิตกลิ่นไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ VOCs โดยเทคนิค Headspace GC-MS ในบางกรณีควบคู่ไปกับการดมกลิ่นเพื่อระบุสารออกฤทธิ์ที่มีกลิ่น ซึ่งการลดลงของกลิ่นหรืออย่างดีที่สุดคือการกำจัดกลิ่นได้หมด จะช่วยลดมลพิษของกลิ่นอินทรีย์เหล่านี้ที่อยู่ในขยะพลาสติกหลังบริโภค ซึ่งบางส่วนส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จาก PCRs มีเทคโนโลยีเพียงไม่กี่อย่างที่มีอยู่ในตลาด ที่สามารถลดกลิ่นผ่านขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการรีไซเคิลในอุตสาหกรรม แต่น่าเสียดายที่เทคโนโลยีส่วนใหญ่ไม่สามารถดับกลิ่นได้อย่างสมบูรณ์ แต่ยังคงมีโอกาสมากมายที่จะพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่ออัปเดตการรีไซเคิลเพื่อให้สามารถกำจัด VOCs ที่ไม่ต้องการในพลาสติกรีไซเคิลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Horodytska และคณะ [19] ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเม็ดพลาสติก Low density polyethylene (LDPE) และ High-density polyethylene (HDPE) post-consumer recycled มีปริมาณและแหล่งที่มาต่างกัน การใช้งานโดยทั่วไป LDPE ใช้สำหรับบรรจุภัณฑ์แบบฟิล์ม และถุง ในขณะที่ HDPE มักจะใช้กับขวดผงซักฟอกและสารทำความสะอาด ดังนั้น สารปนเปื้อนที่ได้รับในตัวอย่าง HDPE จึงแสดงส่วนผสมเครื่องสำอางและสารลดแรงตึงผิวจำนวนมากขึ้นเนื่องจากการใช้งานในกรณีของ LDPE ความหลากหลายและความเข้มข้นของสารเติมแต่งและผลิตภัณฑ์ย่อยสลายจะสูงกว่าในตัวอย่าง HDPE ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคต่อการนำกลับมาใช้ใหม่ ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าสารที่จัดเป็นสารปนเปื้อนควรใช้เทคนิค Headspace GC-MS ในการระบุประเภท ดังนั้นการสกัดด้วยตัวทำละลายจึงดูเหมือนจะเป็นเทคนิคการสุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุด GC-MS ได้พิสูจน์แล้วว่าเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับการระบุ VOCs และ SVOCs อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาวิจัยในอนาคต ควรใช้วิธีการเสริม เช่น โครมาโตกราฟีของเหลวเพื่อระบุสารประกอบขนาดใหญ่

Miriam Strangl และคณะ [7] ได้ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบและโครงสร้างกลิ่นของขยะ โดยกำหนดตัวอย่างไว้ 3 ชนิด 1. ขวดขยะ HDPE (ขยะถุงสีเหลืองที่ถูกคัดแยกจากประเทศเยอรมนี) และเม็ด HDPE รีไซเคิล และเม็ด HDPE บริสุทธิ์ เริ่มการศึกษาโดยการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส (การดม) ตลอดจนการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Chromatography-olfactometry ตามด้วย Chromatography-mass spectrometry-olfactometry มีการระบุสารที่มีกลิ่นทั้งหมด 32 ชนิด แม้ว่าส่วนใหญ่จะมีความเข้มข้นของกลิ่นสูงกว่ามากเมื่อพุดถึงขวดขยะและเม็ดรีไซเคิล พบเทอร์พีนและฟีนิลโพรพานอยด์จำนวนหนึ่งพบเฉพาะในขยะ HDPE และวัสดุรีไซเคิล และในกรณีส่วนใหญ่กลิ่นเหล่านี้จะเกิดจากน้ำหอมที่ใช้ในเครื่องสำอางและสารซักทำความสะอาด หรือสารเติมแต่งที่ใส่เข้าไปในขั้นตอนการผลิตเพื่อเสริมคุณสมบัติ นอกจากนี้ การวิเคราะห์การเจือจางสารสกัดจากกลิ่นเปรียบเทียบกับ (cOEDA) เปิดเผยว่ากระบวนการรีไซเคิลแบบเดิมที่ใช้กันทั่วไปส่งผลให้มลพิษทางกลิ่นลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องมีกลยุทธ์ที่ปรับให้เหมาะสมยิ่งขึ้นสำหรับการกำจัดกลิ่นจากวัสดุ Post-consumer recycled HDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการขังอื่นเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ทำประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สาร และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้

1. เม็ดพีซีอาร์ (Post-Consumer Recycled resins, PCRs) จากบริษัท
VEOLIA CIRCULAR POLYMER (THAILAND) CO LTD
2. สารเติมแต่ง A
 - Antioxidants, AO
 - Co-stabilizers
3. สารเติมแต่ง B
 - Anti-odor agent

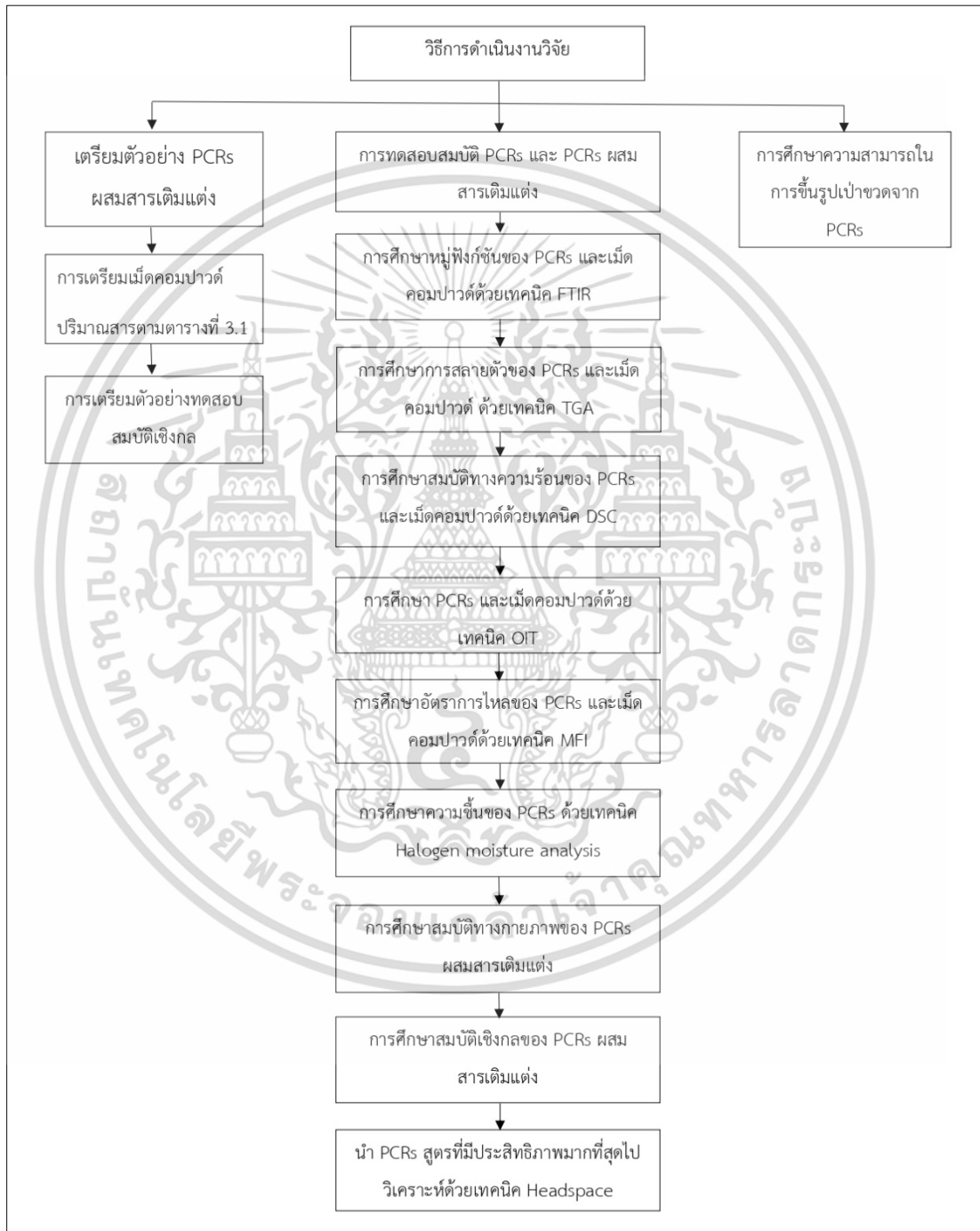
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องชั่งดิจิตอล (METTLER TOLEDO XS204)
2. เครื่อง Vernier caliper (MITUTOYA 500)
3. เครื่อง Gas chromatography-mass spectrometer (GC-MS) (Agilent 8890 GC System, Agilent 8697 Headspace Sampler)
4. เครื่อง Fourier transform infrared spectroscope (FTIR) (PERKINELMER)
5. เครื่อง Halogen moisture analyzer (METTLER TOLEDO HC103)
6. เครื่อง Thermal gravimetric analyzer (TGA) (PERKIN ELMER TGA-4000)
7. เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) (METTLER TOLEDO DSC3)
8. เครื่อง Melt flow indexer (MFI) (CEAST MF30)
9. เครื่อง Single screw extruder (ARENZ D-5309)
10. เครื่อง Extrusion blow molding machine (SMC 1000 T 3 LAYER)
11. เครื่อง Injection molding machine (ARBURG ALLROUNDER 270 C)
12. เครื่อง Universal testing machine (ZWICKROELL Z010)
13. เครื่อง Spectrophotometer (DATACOLOR 850)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ เตรียมตัวอย่าง PCRs ผสมสารเติมแต่ง, การทดสอบสมบัติ PCRs และ PCRs ผสมสารเติมแต่ง และการศึกษาความสามารถในการขึ้นรูปเป่าขวดจาก PCRs ซึ่งวิธีการศึกษาแสดงแผนผังดังรูปที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 3.1** แผนผังแสดงการดำเนินงานวิจัย หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เตรียมตัวอย่าง PCRs ผสมสารเติมแต่ง

3.3.1 การเตรียมเม็ดคอมปาวด์

PCRs ผสมสารเติมแต่งสามารถทำได้โดยใช้เทคนิค Single screw extrusion โดยนำ PCRs 100% และ PCRs ผสมกับสารเติมแต่งปริมาณตามตารางที่ 3.1 ไปอัดรีด และตัดเป็นเม็ดคอมปาวด์ โดยใช้เครื่อง Single screw extruder อุณหภูมิสกรูทั้ง 5 โซนคือ 170, 170, 170, 170, 170 องศาเซลเซียส และใช้ความเร็วสกรู 100 รอบต่อนาที

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารที่ใช้ในแต่ละสูตร

สูตร	PCRs	สารเติมแต่ง A	สารเติมแต่ง B
F1	100.00%	-	-
F2	99.90%	0.10%	-
F3	99.00%	1.00%	-
F4	99.50%	-	0.50%
F5	98.00%	-	2.00%
F6	97.00%	1.00%	2.00%

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบสมบัติเชิงกล

นำ PCRs 100% และ PCRs ผสมกับสารเติมแต่งปริมาณตามตารางที่ 3.1 ไปฉีดขึ้นรูปเป็น Dumbbell โดยใช้เครื่อง Injection molding machine ที่อุณหภูมิสกรู 5 โซนคือ 210, 210, 210, 210 และ 210 องศาเซลเซียส แรงดันสองช่วงคือ 1500 และ 1600 บาร์ ความเร็วในการฉีด 15 เมตรต่อนาที เวลาทั้งหมด 41 วินาทีต่อชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดสอบสมบัติ PCRs และ PCRs ผสมสารเติมแต่ง

3.4.1 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของ PCRs และเม็ดคอมปาวด์ด้วยเทคนิค FTIR

นำ PCRs และเม็ดคอมปาวด์ไปทดสอบด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscope (FTIR) เพื่อศึกษาองค์ประกอบหมู่ฟังก์ชัน



รูปที่ 3.2 เครื่อง Fourier transform infrared spectroscope (FTIR) [20]

3.4.2 การศึกษาการสลายตัวของ PCRs และเม็ดคอมปาวด์ด้วยเทคนิค TGA

นำ PCRs และเม็ดคอมปาวด์ไปทดสอบด้วยเครื่อง Thermal gravimetric analyzer (TGA) ที่อุณหภูมิ 30-800 องศาเซลเซียส ภายใต้แก๊สไนโตรเจน และอุณหภูมิ 800-950 องศาเซลเซียส ภายใต้แก๊สออกซิเจน เพื่อศึกษาน้ำหนักที่ระเหิดตามอุณหภูมิของสาร และน้ำหนักที่เหลืออยู่ของสารที่ไม่ระเหิด



รูปที่ 3.3 เครื่อง Thermal gravimetric analyzer (TGA) [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของ PCRs และเม็ดคอมปาวด์ด้วยเทคนิค DSC

นำ PCRs และเม็ดคอมปาวด์ 5-10 มิลลิกรัมไปทดสอบแบบปิดฝาด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) ที่อุณหภูมิ 30-200 องศาเซลเซียส ภายใต้แก๊สไนโตรเจน เพื่อศึกษา อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature; T_m) และอุณหภูมิตกผลึก (Crystallization temperature ; T_c) ของ PCRs



รูปที่ 3.4 เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) [22]

3.4.4 การศึกษา PCRs และเม็ดคอมปาวด์ด้วยเทคนิค OIT

นำเม็ดคอมปาวด์สูตร F1, F2, F3 และ F6 ที่ใส่ Antioxidant ไปศึกษาการเสื่อมสลายทางความร้อนด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้เทคนิค Oxidative induction times (OIT) เครื่อง DSC โดยชั่งสาร 4-6 มิลลิกรัม นำไปใส่ Aluminum pan แล้วนำไปทดสอบโดยไม่ต้องปิดฝา เพื่อให้แก๊สออกซิเจนทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ได้ เริ่มทดสอบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อเริ่มทดสอบ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้น 20 องศาต่อนาที ภายใต้แก๊สไนโตรเจนที่อัตราการไหล 50 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 210 องศาเซลเซียสจะเปลี่ยนจากแก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สออกซิเจนที่อัตราการไหล 50 มิลลิลิตรต่อนาที และจะเริ่มนับเวลาที่แก๊สออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์

3.4.5 การศึกษาอัตราการไหลของ PCRs และเม็ดคอมปาวด์ด้วยเทคนิค MFI

นำเม็ด PCRs และเม็ดคอมปาวด์ไปทดสอบอัตราการไหลของพลาสติก (Melt flow index) ตามมาตรฐาน ASTM D1238 ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส น้ำหนักแรงกด 2.16 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 เครื่อง Melt flow indexer (MFI) [23]

3.4.6 การศึกษาความชื้นของ PCR และเม็ดคอมปาวด์ด้วยเทคนิค Halogen moisture analysis

นำ PCR และเม็ดคอมปาวด์ไปทดสอบด้วยเทคนิค Halogen moisture analysis เพื่อหาความชื้น หลักการทำงานของเครื่องคือ นำสารปริมาณ 10 กรัม ไปให้ความร้อนด้วยแสงจากหลอดฮาโลเจน (Halogen moisture analyzer) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้ น้ำระเหยออกไปจากสาร โดยจะแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์ของมวลวัสดุ (%MC)



รูปที่ 3.6 เครื่อง Halogen moisture analyzer [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของ PCRs ผสมสารเติมแต่ง

นำ Dumbbell ไปทดสอบหา Yellowness index (YI), Whiteness index (WI) และ DE โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 Detection ทำมุม 8 องศา บันทึกค่า L^* , a^* , b^* , WI, YI และ DE^*



รูปที่ 3.7 เครื่อง Spectrophotometer [25]

3.4.8 การศึกษาสมบัติเชิงกลของ PCRs ผสมสารเติมแต่ง

นำ Dumbbell ไปทดสอบ Tensile test ตามมาตรฐาน ASTM D638 เพื่อศึกษาความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) โมดูลัสแรงดึง (Tensile modulus) และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ทดสอบโดยใช้ความเร็วในการดึง 200 มิลลิเมตรต่อนาที รายงานค่าเฉลี่ยจากการทดสอบตัวอย่างจำนวน 10 ชิ้น



รูปที่ 3.8 เครื่อง Universal testing machine [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.9 การศึกษาสารระเหิดของ PCRs ด้วยเทคนิค Headspace เครื่อง GC-MS

จากผลการทดลองนำ PCRs และเม็ดคอมปาวด์ไปวิเคราะห์หาการเสื่อมสลายทางความร้อน ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน และจากผลแบบสอบถามการได้รับกลิ่นขณะขึ้นรูปชิ้นงานจาก PCRs พบว่า สูตรที่ใส่ Antioxidant และ Anti-odor agent ในปริมาณที่มากที่สุดจะมีแนวโน้มที่จะลดกลิ่นมากที่สุด จึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Headspace โดยสูตรที่นำไปวิเคราะห์เป็นไปตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สูตรที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

สูตร	PCRs	สารเติมแต่ง A	สารเติมแต่ง B
F1	100%	-	-
F3	99%	1%	-
F5	98%	-	2%
F6	97%	1%	2%

นำ PCRs 100% และ PCRs ผสมกับสารเติมแต่งสูตรที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดไปวิเคราะห์หาสารที่ระเหิดโดยใช้เทคนิค Headspace เครื่อง Gas chromatograph mass-spectrometer เตรียมตัวอย่างโดยชั่งน้ำหนักสาร 10 กรัม ใส่ขวดแก้วมีฝาปิดปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปฉีดเข้าเครื่อง GC-MS โดยใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สพา (Carrier gas) เพื่อตรวจวิเคราะห์สารที่ระเหิดออกมาจากเม็ดพลาสติก

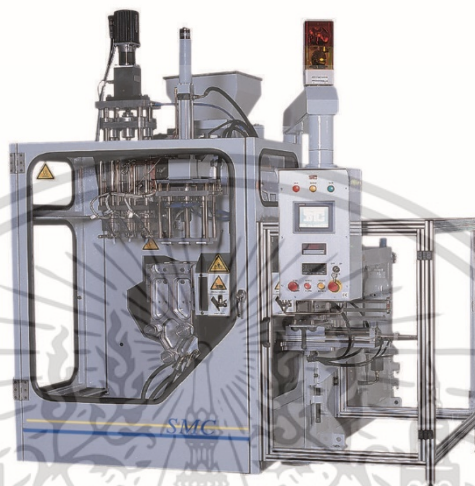


รูปที่ 3.9 เครื่อง Gas chromatograph mass spectrometer (GC-MS) [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การศึกษาความสามารถในการขึ้นรูป-เป่าขวดจาก PCRs

นำเม็ด PCRs 100% และเม็ด PCRs ผสมกับสารเติมแต่งปริมาณตามตารางที่ 3.1 เป่าขึ้นรูปขวดโดยใช้เครื่อง Extrusion blow molding machine อุณหภูมิสกรู 14 โซน คือ 175, 175, 175, 180, 190, 190, 190, 190, 190, 190, 190, 200, 200, 210 องศาเซลเซียส ความเร็วสกรู 33 รอบต่อนาที แรงดันลม 2 บาร์ เวลาทั้งหมด 100 วินาทีต่อขวด



รูปที่ 3.10 เครื่อง Extrusion blow molding machine (SMC 1000 T 3 LAYER) [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินงาน						
	พ.ย. 2565	ธ.ค. 2565	ม.ค. 2566	ก.พ. 2566	มี.ค. 2566	เม.ย. 2566	พ.ค. 2566
สืบค้นข้อมูลและศึกษา ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ งานวิจัย	←				→		
ศึกษาเม็ด PCRs และ สารเติมแต่ง			←		→		
นำเสนอหัวข้อสหกิจศึกษา		←			→		
ทดสอบตัวอย่างด้วย เครื่องมือทางบริษัท					←	→	
สรุปผลการทดลอง					←	→	
เรียบเรียงและจัดทำรูปเล่ม งานวิจัย					←		→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

จากการศึกษาทดลองงานวิจัยชิ้นนี้สามารถแบ่งออกเป็น การกำหนดอัตราส่วนปริมาณ และ ชนิดของสารเติมแต่งที่แตกต่างกัน 2 ชนิดให้เป็นสูตรที่เหมาะสม โดยศึกษาแนวเปรียบเทียบระหว่าง สารเติมแต่ง A ที่ทำหน้าที่เป็น Antioxidant และสารเติมแต่ง B ทำหน้าที่เป็น Anti-odor agent เพื่อหาว่าอัตราส่วนที่มีการลดกลิ่นใน PCRs ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และการศึกษาแนว เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารเติมแต่งนั้นประกอบไปด้วยการศึกษา PCRs การทดสอบสมบัติ เชิงกลโดยใช้เครื่อง Universal testing ทดสอบอัตราการไหลโดยใช้เครื่อง Melt flow indexer (MFI) ทดสอบความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์โดยเครื่อง Spectrophotometer และนำเม็ดที่ผ่าน การทำเป็นคอมปาวด์มาวัดหาสารระเหยอินทรีย์ด้วยเครื่อง GC-MS และวิเคราะห์ผลจากเทคนิค Oxidative induction times (OIT) เพื่อศึกษาความสามารถในการต้านทานการทำปฏิกิริยาของ ออกซิเจนกับสารเติมแต่งในเม็ด PCRs หลังจากนั้นขึ้นรูปเป็นขวดผลิตภัณฑ์โดยเทคนิค Extrusion blow molding

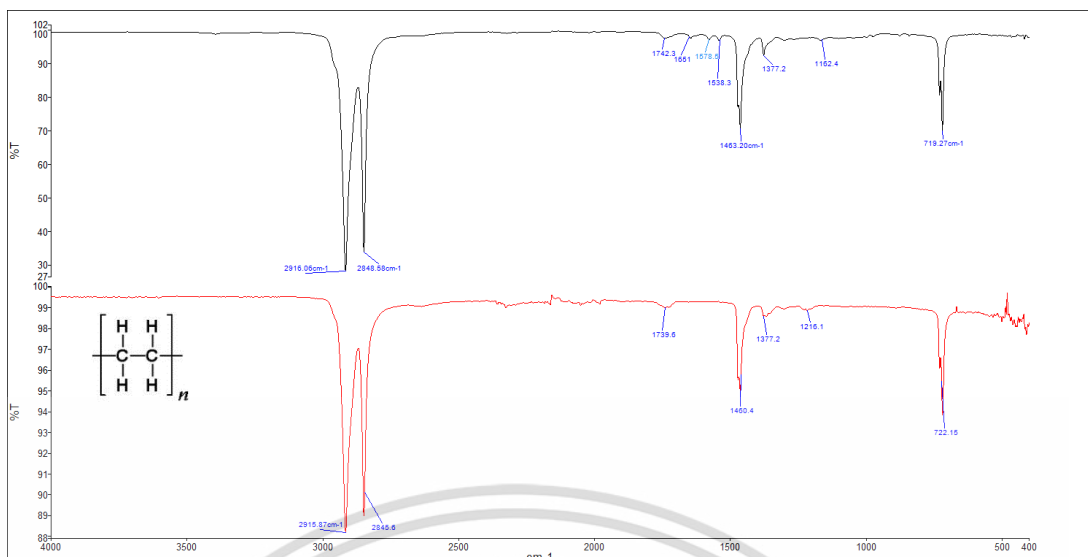
4.1 ผลการศึกษา PCRs ก่อนการเติมสารเติมแต่ง

จากการนำ PCRs ไปศึกษาหมู่ฟังก์ชัน การสลายตัว อุณหภูมิหลอมเหลวผลึกและการเสื่อม สลายทางความร้อนด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

4.1.1 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของ PCRs โดยใช้เทคนิค FTIR

FTIR เป็นเทคนิควิเคราะห์วัสดุที่เป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ เพื่อตรวจวิเคราะห์หา โครงสร้าง และองค์ประกอบของโมเลกุล โดยอาศัยหลักการของการดูดกลืนคลื่นรังสี เมื่อนำพีคของ PCRs กับ Virgin Polyethylene มาเปรียบเทียบกัน พบว่าพีคของ PCRs มีหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างจาก Virgin Polyethylene คือหมู่ C=C stretching, C=C aromatic, NO₂ stretching และ C-O alcohol เนื่องจากกระบวนการผลิต PCRs คือการนำขยะมาผลิตเป็นเม็ดพลาสติก ดังนั้นหมู่ฟังก์ชันที่พบ และ ช่วงความยาวคลื่นแสดงดังตารางที่ 4.1 จึงอาจเกิดจากสารเติมแต่งที่ใส่ในพลาสติกหรือสิ่งสกปรกที่ ปะปนมากับขยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 IR spectra ที่แสดงระหว่าง Percent transmittance (%T) กับ Wavenumber (4000-400 cm^{-1}) ของ PCRs (พีคสีดำ) กับ Virgin polyethylene (พีคสีแดง)

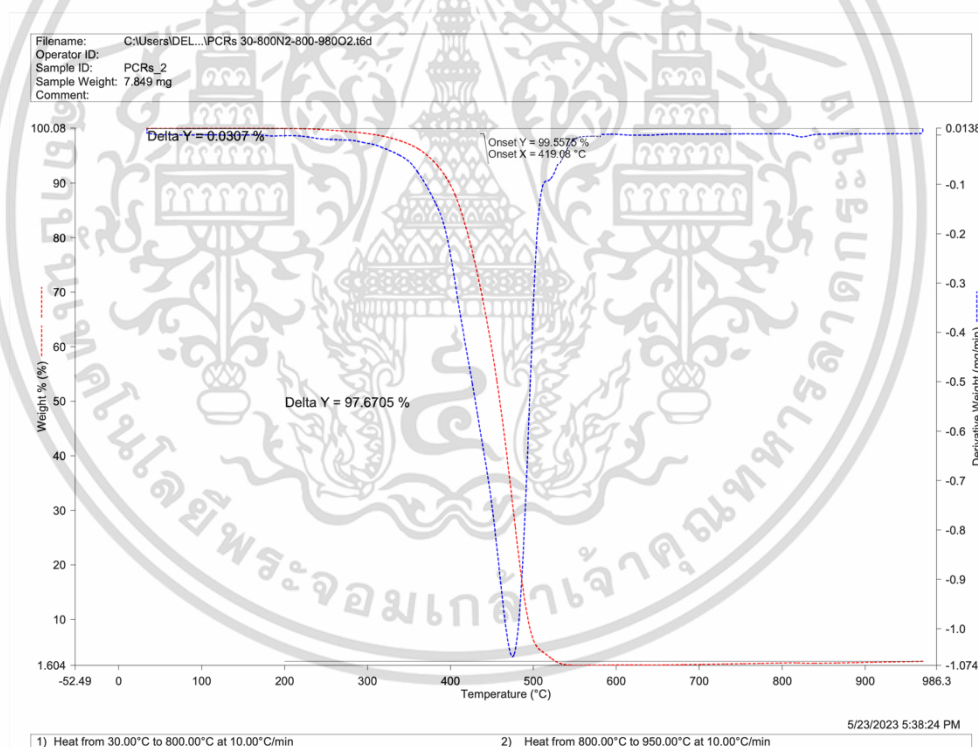
ตารางที่ 4.1 หมู่ฟังก์ชันของ PCRs และ Virgin polyethylene

IR spectra (cm^{-1})		หมู่ฟังก์ชัน
PCRs	Polyethylene	
2916	2915	CH_2 Stretching
2848	2845	CH_2 Stretching
1743	1733	$\text{C}=\text{O}$ stretching
1661		$\text{C}=\text{C}$ stretching
1573		$\text{C}=\text{C}$ aromatic
1538		NO_2 stretching
1463	1460	CH_2 bending
1377	1377	CH_3 bending
	1215	$\text{C}-\text{O}-\text{C}$ stretching
1162		$\text{C}-\text{O}$ alcohol
719	722	CH_2 rocking

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

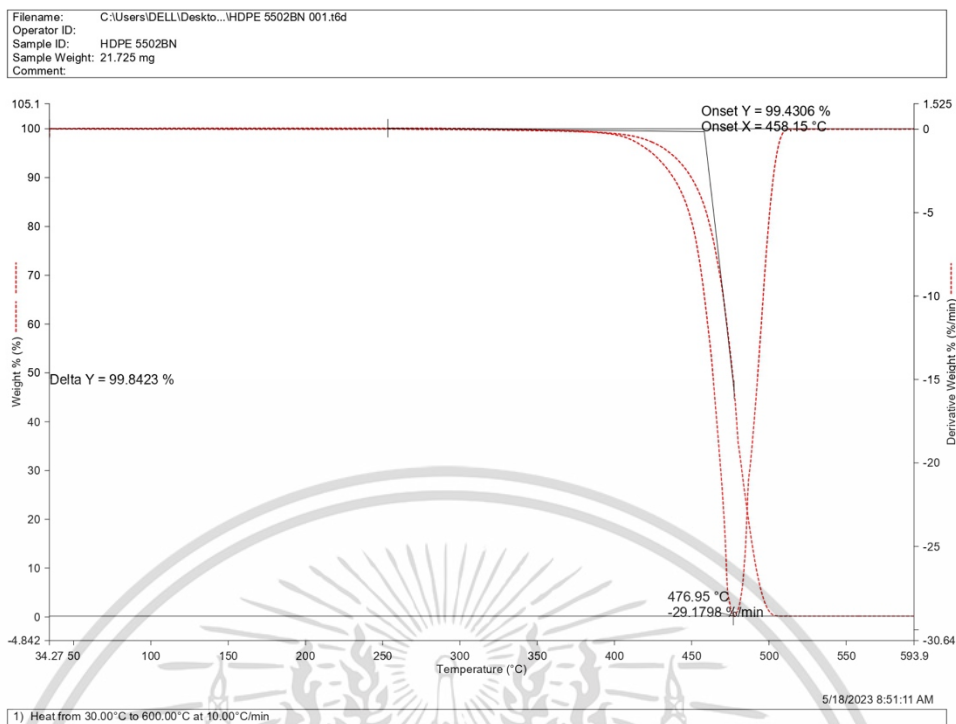
4.1.2 การศึกษาการสลายทางความร้อนของ PCRs โดยใช้เทคนิค TGA

จากรูป 4.2 เม็ด PCRs จะถูกวางไว้บนถ้วยที่เชื่อมกับตาซึ่งที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ซึ่งจะอยู่ในเตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ หรือบรรยากาศได้ ซึ่งจากงานวิจัยชิ้นนี้ได้กำหนดการให้ความร้อนที่ 2 สภาวะ กล่าวคือสภาวะที่ 1 อุณหภูมิเริ่มที่ 30-800 องศาเซลเซียสภายใต้แก๊สไนโตรเจน สภาวะที่ 2 อุณหภูมิเริ่มที่ 800-950 องศาเซลเซียสภายใต้แก๊สออกซิเจน เพื่อให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ ผลที่ได้วิเคราะห์ได้ว่า จากรูปที่ 4.2 พบการสลายตัวของสารระเหิดอินทรีย์บางชนิดที่ระบุไม่ได้ช่วง 30–200 ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิในการผลิต (Processing temperature) อยู่ 0.03% มีความเป็นไปได้ว่าสารระเหิดนั้นจะเป็นกลุ่มสารอินทรีย์ที่ส่งกลิ่นออกจาก PCRs เมื่อเทียบกับรูป 4.3 ที่เป็นเม็ด HDPE ใหม่ไม่พบสัญญาณที่บอกการสลายตัว ณ อุณหภูมิการผลิต และวิเคราะห์ได้ว่า PCRs เริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 419 องศาเซลเซียสภายใต้แก๊สไนโตรเจน และพบการสลายตัวของเรซิน 97.63% แต่เม็ด HDPE สามารถทนความร้อนได้ถึง 458 องศาเซลเซียสจึงเริ่มเกิดการสลาย ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวว่า PCRs จะมีความสามารถในการทนความร้อนได้น้อยกว่าเม็ดพลาสติกใหม่



รูปที่ 4.2 กราฟ TGA แสดงการสลายตัวของ PCRs เทียบระหว่างน้ำหนักกับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

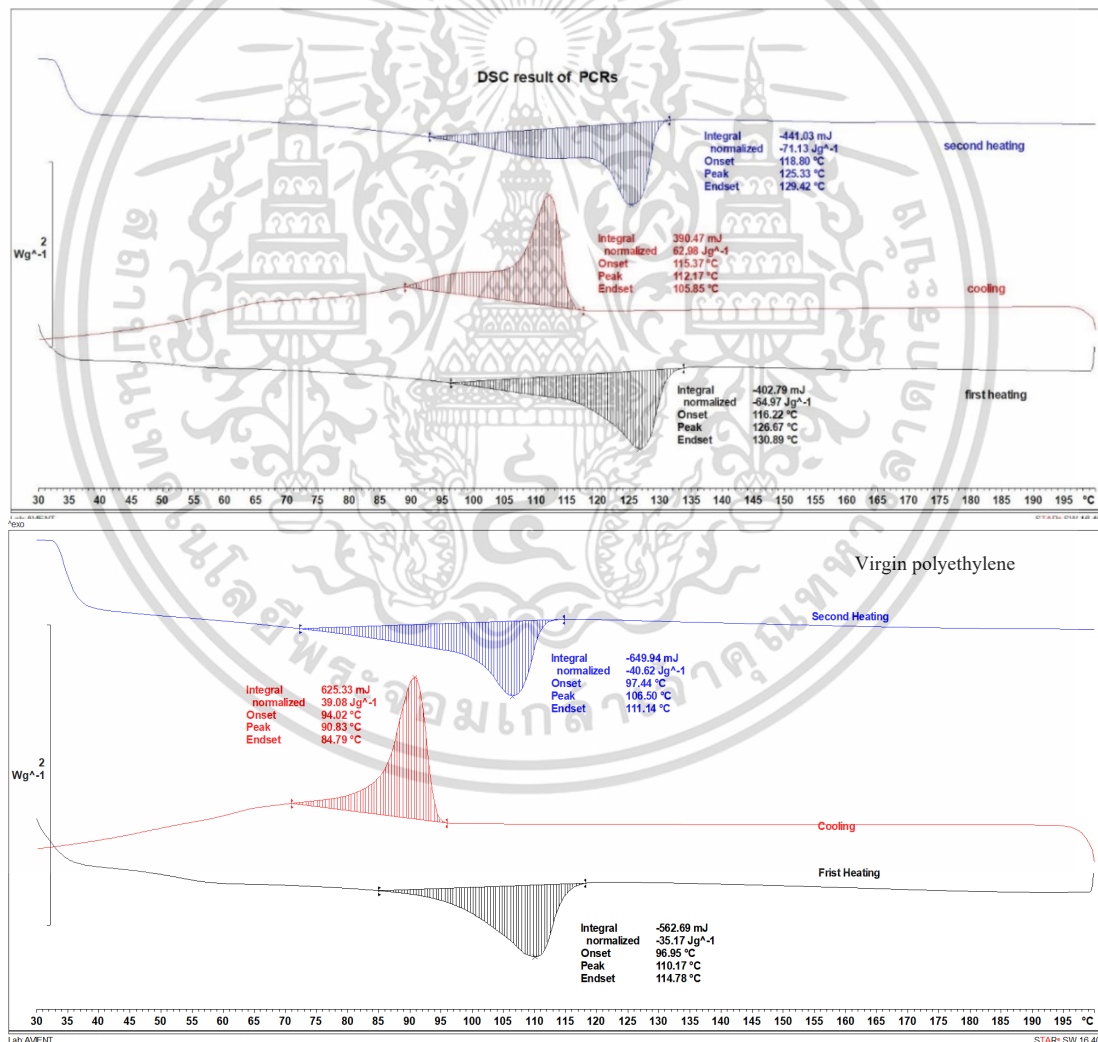


รูปที่ 4.3 กราฟ TGA แสดงการสลายตัวของ HDPE เทียบระหว่างน้ำหนักกับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ศึกษาอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกของ PCRs โดยใช้เครื่อง DSC

จากรูปจะแสดงกราฟ 3 ช่วง ได้แก่ First heating, Cooling และ Second heating ช่วง first heating จะแสดงอุณหภูมิของกระบวนการผลิตร่วมกับอุณหภูมิหลอมเหลวของ PCRs ซึ่งเริ่มหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 116 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature; T_m) อยู่ที่ 126 องศาเซลเซียส และสิ้นสุดการหลอมที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ช่วง cooling เริ่มตกผลึกที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส อุณหภูมิตกผลึก (Crystallization temperature ; T_c) อยู่ที่ 112 องศาเซลเซียส และสิ้นสุดการตกผลึกที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ช่วง second heating จะแสดงอุณหภูมิหลอมเหลว ของ PCRs ซึ่งจะเริ่มหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 118 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature ; T_m) อยู่ที่ 125 องศาเซลเซียส และสิ้นสุดการหลอมที่อุณหภูมิ 129 องศาเซลเซียส จากรูป 4.4 พบว่าค่า T_m ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับ Virgin polyethylene



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ที่ **รูปที่ 4.4** กราฟ DSC ของ PCRs และ Virgin polyethylene ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ อัตราการไหล และความชื้นของ PCRs

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการทดลองเชิงเปรียบเทียบสมบัติทั่วไปของ PCRs ระหว่างเมื่อใส่สารเติมแต่ง และไม่ได้ใส่สารเติมแต่งในเม็ดพลาสติก โดยสารเติมแต่งชนิด A มีสมบัติเป็น Antioxidant และสารเติมแต่งชนิด B มีสมบัติเป็น Anti-odor agent ซึ่งจะศึกษาว่าสารเติมแต่งมีผลกระทบต่อค่าอัตราการไหลรวมถึงค่าความชื้นของ PCRs แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความชื้น และอัตราการไหลของ PCRs วัดจากเม็ดที่ฉีดเป็นคอมปาวด์ F1-F6

สูตร	PCRs	
	Moisture (%MC)	MFI (g/10min)
PCRs unprocessed	0.10	1.10
F1	0.08	1.06
F2	0.16	1.24
F3	0.08	1.14
F4	0.13	1.14
F5	0.10	1.02
F6	0.10	1.03

จากการทดลองนำ PCRs ที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการขึ้นรูปใดๆ วัดค่าความชื้นได้ 0.1% และอัตราการไหลอยู่ที่ 1.1 กรัมต่อ 10 นาที หลังจากนั้นอัตราส่วนอื่นๆ จำเป็นต้องผสมกันก่อนโดยทำให้เป็นเม็ดคอมปาวด์ผ่านการใช้เครื่อง Single screw extruder แล้วจึงนำมาวัดค่าความชื้น และอัตราการไหลของสูตรนั้นๆ

จากการวิเคราะห์ผลตามตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อใส่สารเติมแต่งทั้งชนิด A และชนิด B แม้ว่าจะกำหนดปริมาณที่ต่างกันก็ไม่ได้ส่งผลต่อค่าความชื้นในเม็ดเพิ่มสูงขึ้นรวมถึงไม่ได้ส่งผลให้เม็ดเหลืองขึ้นหรือหนืดขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าทุกสูตรสามารถนำไปขึ้นรูปเพื่อทดสอบสมบัติอื่นได้ต่อไป

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ PCRs ก่อน และหลังเติมสารเติมแต่งทั้ง 2 ชนิด โดยฉีดขึ้นรูปเป็น Dumbbell เครื่อง Injection molding machine ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ตั้งแต่อัตราส่วน F1-F6 นำไปวัดค่าความเหลือง (Yellowness index) โดยเครื่องมือ Spectrophotometer เพื่อวิเคราะห์หาความเปลี่ยนแปลงที่สารเติมแต่งส่งผลต่อ PCRs ได้ผลลัพธ์เอกสารนี้ตามรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.3 ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 รูปถ่ายแสดงสีที่เปลี่ยนไปของ PCRs ก่อน และหลังเติมสารเติมแต่ง

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงสีของ PCRs

สูตร	L*	a*	b*	WI	YI	DE*
F1	35.93	1.30	5.63	2.62	23.99	STD
F2	35.74	1.27	5.57	2.63	23.83	0.23
F3	36.59	1.61	6.54	1.81	27.49	1.20
F4	36.29	1.42	5.89	2.49	24.75	0.55
F5	37.75	1.66	7.09	1.49	28.88	2.39
F6	38.53	1.60	7.50	1.21	29.78	3.24

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของ PCRs เมื่อวิเคราะห์ด้วยตาเปล่าจะพบว่ารูปที่ 4.5 เอกสารนี้แสดงการเปลี่ยนแปลงของสี เมื่อใช้ F1 เป็นมาตรฐานในการวัด อัตราส่วน F3, F5, F6 มีสีที่เหลืองขึ้น ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเดิมซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปตามการวิเคราะห์จากเครื่อง Spectrophotometer ที่แสดงค่า DE* หรือค่าความเบี่ยงเบนไปจากมาตรฐานซึ่งมีค่าไม่เกิน 1 จะสังเกตได้ว่า F3, F5, F6 มีค่า 1.20, 2.39, 3.24 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่า YI ที่บ่งบอกความเหลืองพบว่า F3, F5, F6 มีค่าที่สูงขึ้นจากมาตรฐานซึ่งแสดงถึงปริมาณ 1% เป็นไปได้ว่าอาจเป็นปริมาณที่มากเกินไปของสารเติมแต่งชนิด A ใน F3 และปริมาณ 2% สารเติมแต่งชนิด B ใน F5 รวมถึงปริมาณที่มากเกินไปของสารเติมแต่ง A และ B ใน F6 มีความเป็นไปได้ว่าเนื่องจากการเติมสารเติมแต่งในปริมาณที่มากที่สุดตามข้อแนะนำในการใช้สารเติมแต่ง อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของสารเติมแต่งที่ลดประสิทธิภาพในการทำงานของสารนั้นๆได้ จึงมีส่วนในการทำให้ลักษณะทางกายภาพของ PCRs เหลืองขึ้นจากเดิมจึงต้องดำเนินการศึกษาเพิ่มเติมในลำดับถัดไป

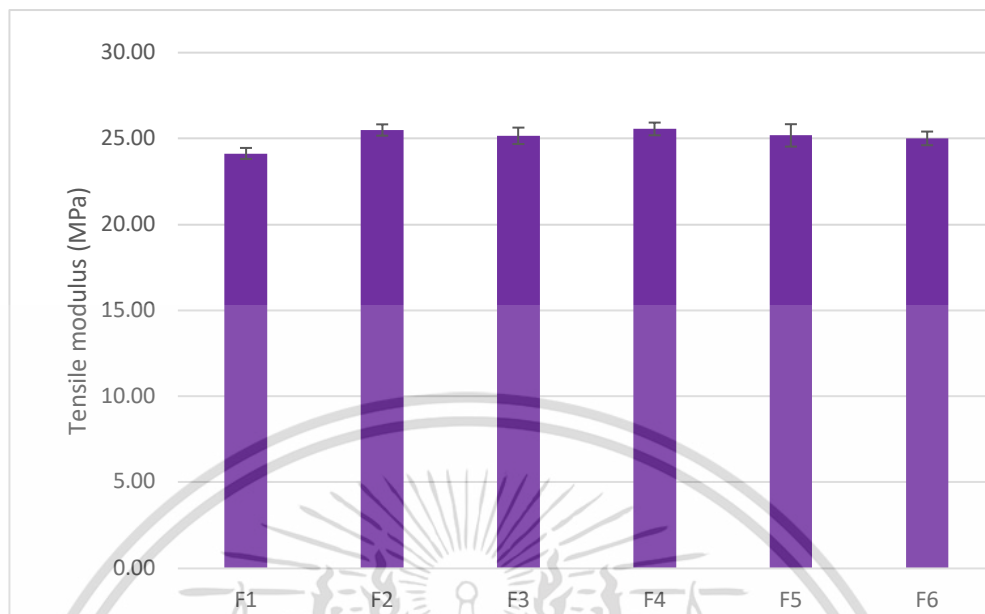
4.3 ผลของสารเติมแต่งที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของ PCRs

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาเชิงเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารเติมแต่งทั้ง 2 ชนิด และไม่ใส่สารเติมแต่งเพื่อเปรียบเทียบว่าการใส่สารเติมแต่งในปริมาณที่แตกต่างกันจะมีประสิทธิภาพในการลดกลิ่น และส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของพลาสติกหรือไม่ จึงทำการทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องมือ Universal testing machine ผลเป็นไปตามตารางที่ 4.4

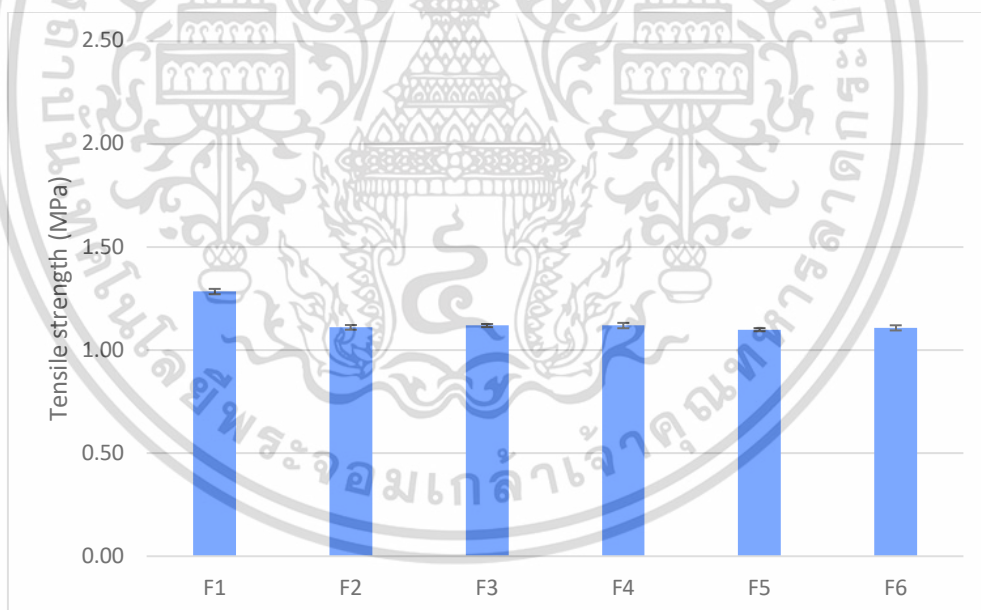
ตารางที่ 4.4 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติเชิงกลของ PCRs

สูตร	Tensile modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
F1	24.10 ± 0.30	1.30 ± 0.04	490.00 ± 45.70
F2	25.50 ± 0.30	1.10 ± 0.01	345.00 ± 5.40
F3	25.20 ± 0.50	1.10 ± 0.01	355.00 ± 7.60
F4	25.60 ± 0.40	1.10 ± 0.01	350.00 ± 7.60
F5	25.20 ± 0.70	1.10 ± 0.01	348.80 ± 8.40
F6	25.00 ± 0.40	1.10 ± 0.01	352.50 ± 7.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

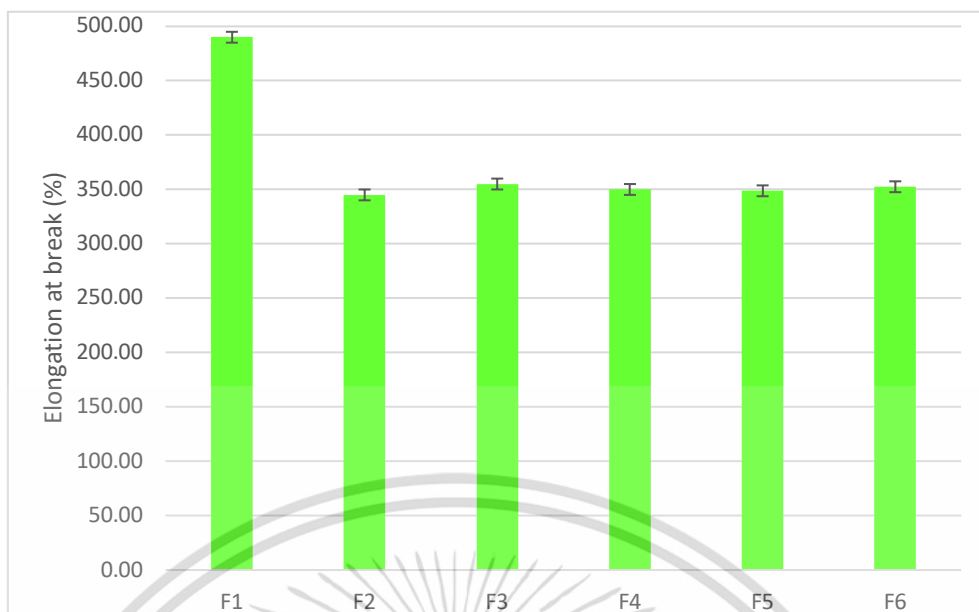


รูปที่ 4.6 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อ Tensile modulus



รูปที่ 4.7 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อ Tensile strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อ Elongation at break

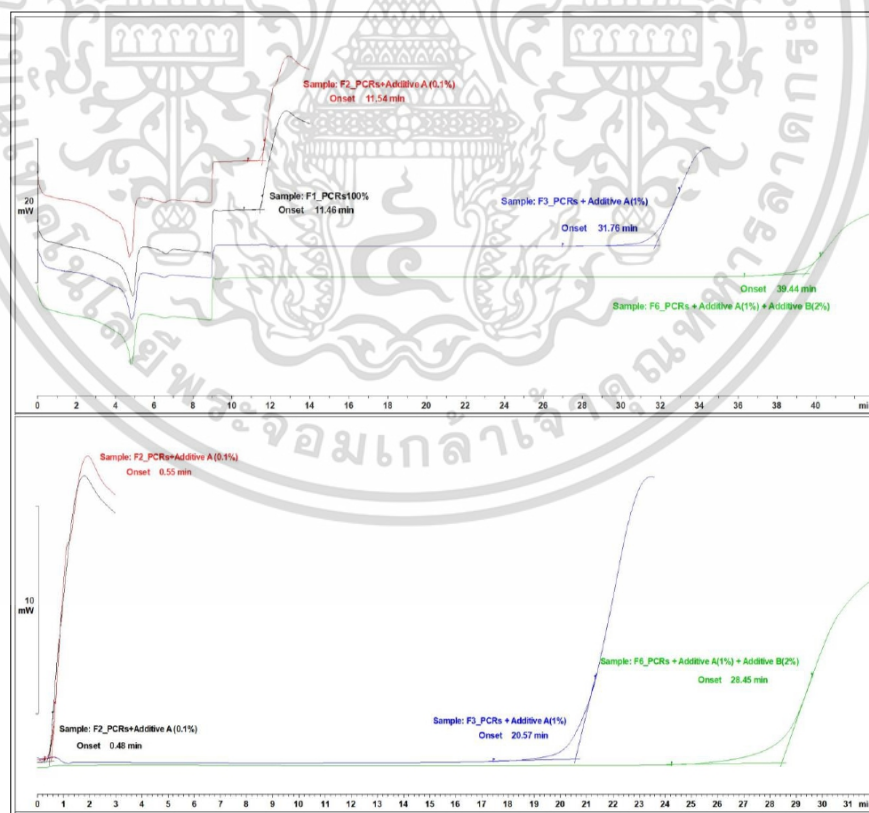
ผลการทดลองการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าค่าความแข็งหรือมอดุลัส (Tensile modulus) ของ F2-F6 ที่มีการเพิ่มสารเติมแต่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ F1 ที่เป็น PCRs 100% ค่า Tensile modulus ไม่ได้มีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่า Tensile strength และค่า Elongation at break มีความสอดคล้องกัน ค่าทั้ง 2 มีการลดลงจาก F1 จาก Data sheet ของสารเติมแต่งทั้ง 2 ชนิด พบว่ามีส่วนประกอบเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นสารเพิ่มเนื้อ ก้อนอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตมีส่วนทำให้พอลิเมอร์ทนแรงดึงยึดได้น้อยลง เนื่องจากอาจมีการจัดเรียงตัวเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ รวมทั้งแรงยึดเกาะที่ไม่แข็งแรงระหว่างอนุภาค CaCO_3 ที่มีขั้วกับสารโซ่พอลิเมอร์ HDPE ที่ไม่มีขั้ว ทำให้เกิดรอยตำหนิที่เป็นจุดริเริ่มของการเสียหาย ส่งผลให้ค่า Tensile strength และ Elongation at break ลดลงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อเสถียรภาพทางความร้อนของ PCRs

จากรูปที่ 4.4 พบว่าสูตร F1 (PCR_s 100%) เสื่อมสลายทางความร้อนเวลา 0.48 นาที สูตร F2 (PCR_s + A 0.1%) เสื่อมสลายทางความร้อนที่เวลา 0.55 นาที สูตร F3 (PCR_s + A 1%) เสื่อมสลายทางความร้อนที่เวลา 20.57 นาที และสูตร F6 (PCR_s + A 1% + B 2%) เสื่อมสลายทางความร้อนที่เวลา 28.45 นาที

เมื่อนำทั้ง 4 สูตรมาเปรียบเทียบกับพบว่า ทุกสูตรที่มีการเติมสารเติมแต่ง A ที่ทำหน้าที่เป็น Antioxidant มีความทนทานต่อการเสื่อมสลายทางความร้อนได้ดีขึ้นตามปริมาณของสารเติมแต่ง สูตร F2 เสื่อมสลายทางความร้อนที่เวลาใกล้เคียงกับ F1 ที่เป็น PCR_s 100% ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่า สูตร F2 ที่ใส่สารเติมแต่ง A ในปริมาณ 0.1% มีประสิทธิภาพในการป้องกันไม่ให้ PCR_s เกิดการเสื่อมสลายทางความร้อนด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันได้น้อย และจากรูปยังสามารถบ่งบอกได้ว่า สูตร F3 สามารถทนการเสื่อมสลายทางความร้อนได้ดีมากขึ้น และสูตร F6 ที่ใช้สารเติมแต่งทั้งสองชนิดร่วมกันสามารถทำงานเสริมกันได้ดีและป้องกันไม่ให้พลาสติกเกิดการเสื่อมสลายทางความร้อนได้มีประสิทธิภาพมากที่สุดเพราะสามารถทนการเสื่อมสลายทางความร้อนได้นานที่สุด และเมื่อ PCR_s มีความสามารถในการทนความร้อนได้นานขึ้นทำให้ VOCs ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่น ระเหิดออกจากเม็ดได้ยากยิ่งขึ้นส่งผลให้ PCR_s มีกลิ่นน้อย



รูปที่ 4.9 กราฟ OIT การเสื่อมสลายทางความร้อนด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อเวลาผ่านไป

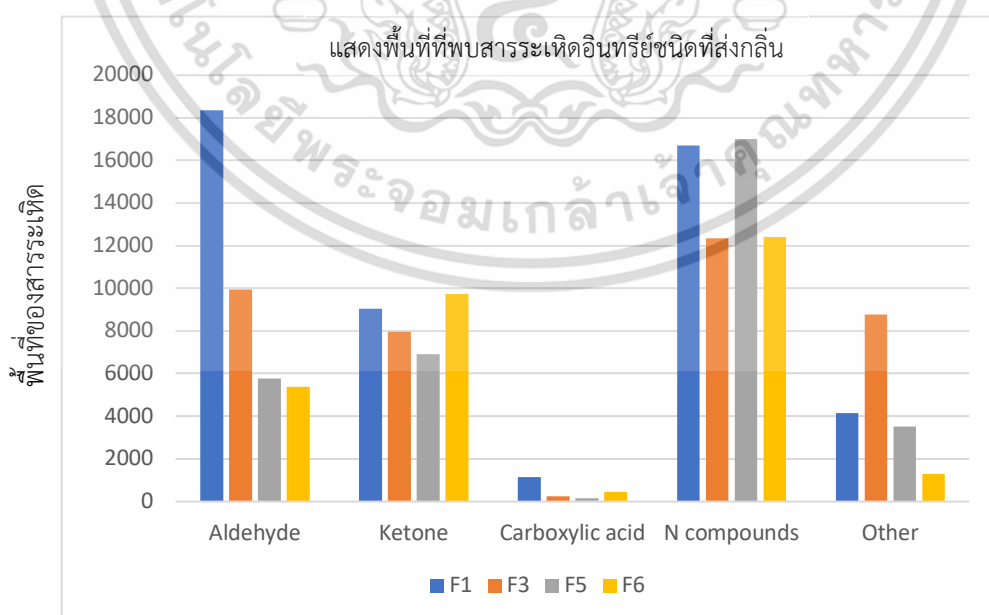
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลของสารเติมแต่งที่มีต่อสารระเหิดจากการวิเคราะห์ GC-MS

ผู้วิจัยต้องการศึกษาหาความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังจากใส่สารเติมแต่งทั้ง 2 ชนิด จึงได้สรุปจากการทดลอง 4.4 พบว่าแนวโน้มของอัตราส่วนที่คาดว่ายังมีกลิ่นลดลงจากสูตร F1 (PCRs 100%) คือ สูตร F3 (PCRs + A 1%), F5 (PCRs + B 2%), F6 (PCRs + A 1% + B 2%) จากการวิเคราะห์ผลคาดว่า เมื่อมีการใช้สารเติมแต่งชนิด A ที่ทำหน้าที่เป็น Antioxidant ช่วยในการป้องกันการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ และสารเติมแต่งชนิด B ที่มีหน้าที่เป็นรูปรงดูดซับสารระเหิดจะมีความสามารถในการทำงานร่วมกันได้ดีส่งผลให้สูตร F6 มีประสิทธิภาพในการลดกลิ่นสูงสุดจึงได้มีการวิเคราะห์ผลจากเทคนิค GC-MS ตรวจพบสารระเหิดอินทรีย์ดังนี้ Alkane, Aldehyde, Ketone, Carboxylic acid, N compounds, Siloxane, Carbon dioxide และอื่นๆ เมื่อทำการศึกษาเพิ่มเติมพบสารระเหิดที่ส่งกลิ่นดังแผนภูมิแท่งรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.5 พื้นที่ของสารระเหิดที่ส่งกลิ่นที่พบจากการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Headspace

หมู่ฟังก์ชัน	F1	F3	F5	F6
Aldehyde	18368.00	9948.00	5779.00	5371.00
Ketone	9034.00	7957.00	6914.00	9729.00
carboxylic acid	1143.00	258.00	172.00	448.00
N compounds	16715.00	12353.00	17016.00	12401.00
other	4141.00	8763.00	3528.00	1294.00
Total	49401.00	39279.00	33409.00	29243.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 4.10 แสดงพื้นที่ที่พบสารระเหิดอินทรีย์ชนิดที่ส่งกลิ่น ครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 สูตร F1 (PCRs 100%) ที่ไม่ได้มีการเติมสารเติมแต่งลงไปจะเห็นได้ชัดเจนว่า สารที่ระเหิดส่งกลิ่นของ PCRs ส่วนใหญ่จะเป็น Aldehyde พื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 18368, N compounds มีพื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 16713 และ Ketone มีพื้นที่ใต้กราฟ 9034 นอกจากนี้มีการ ตรวจพบ Carboxylic acid เล็กน้อย

สูตร F3 (PCRs 99% + A 1%) พื้นที่ใต้กราฟที่พบมากที่สุดคือกลุ่ม N compounds มีพื้นที่ อยู่ 12353 และพบ Aldehyde 9948, Ketone 7957 และสารกลุ่มอื่นที่ไม่สามารถระบุได้พบพื้นที่ ใต้กราฟอยู่ 8763 ซึ่งเมื่อเทียบกับ F1 คาดว่ามีแนวโน้มที่สารระเหยอินทรีย์จะลดลง แต่ยังคงพบสาร กลุ่มที่ระบุไม่ได้ถึง 8763 มีความเป็นไปได้ว่าสารกลุ่มที่ระบุไม่ได้ก็อาจมีความสามารถในการส่งกลิ่น ได้เช่นกัน

สูตร F5 (PCRs 98% + B 2%) ตรวจพบพื้นที่ใต้กราฟของ N compounds สูงสุดถึง 17016 ซึ่งมากกว่า F1 ที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งอาจเป็นผลมาจากการเติมสารเติมแต่งชนิด B และพบ พื้นที่ใต้กราฟของ Aldehyde 5779, Ketone 6914 พื้นที่ใต้กราฟของ Carboxylic acid คือ 172 สังเกตจากแนวโน้มที่เกิดขึ้นพบว่ามีการระเหยอินทรีย์ที่ลดลงเมื่อเทียบกับ PCRs 100%

สูตร F6 (PCRs 97% + A 1% + B 2%) จากการวิเคราะห์แผนภูมิแท่ง พบพื้นที่ใต้กราฟ ของ Aldehyde ที่พบอยู่ 5371, N compounds พบที่พื้นที่ใต้กราฟ 12401, Carboxylic acid พบ 448 จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มที่สารระเหยอินทรีย์จะลดลงจากสูตร F1 ยกเว้น Ketone ที่พบ 9729 คาดว่าอาจเกิดจากการที่ผสมสารเติมแต่งชนิด A และ B เข้าด้วยกันจึงอาจทำให้เกิด Ketone เพิ่มขึ้น

จากพื้นที่รวมทั้งหมดจะเห็นได้ว่าสูตร F1, F3, F5 และสูตร F6 มีพื้นที่รวมทั้งหมด 49401, 39279, 33409 และ 29243 มีการลดลงของพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสูตร F3 และ F5 มีพื้นที่ลดลงจากสูตร F1 ถึง 20 % และ 32% ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสูตร F6 มีการ ลดลงถึง 40% เมื่อเปรียบเทียบกับสูตร F1 ซึ่งการลดลงของพื้นที่อาจบ่งบอกได้ว่าสารเติมแต่งทั้งสองชนิด ทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพรวมถึงการลดกลิ่นที่ระเหิดออกมากจากเม็ดพลาสติก ซึ่งพื้นที่ ทั้งหมดมากจากการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ ที่เวลาเดียวกันทั้ง 4 สูตรจากเครื่อง GC-MS (ภาคผนวก ข)

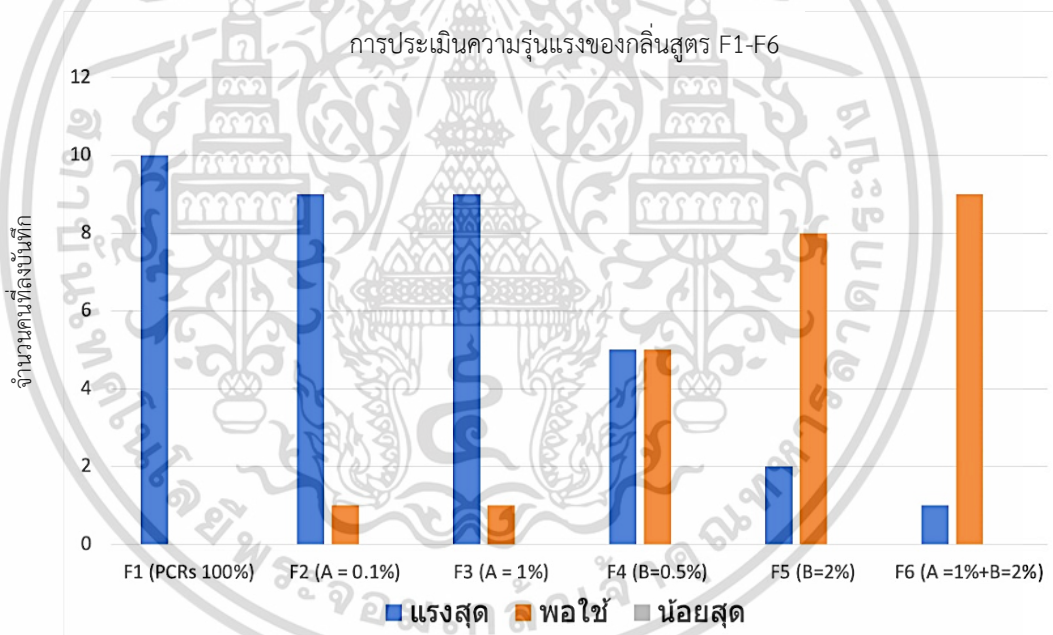
จากการศึกษาหาความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อใส่สารเติมแต่งทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มว่าสูตรที่ F3, F5, F6 จะมีสารระเหยอินทรีย์ที่ส่งกลิ่นลดลงจากสูตร F1 เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมที่สุดจึง จำเป็นต้องทดสอบในขั้นถัดไป

4.6 ผลของสารเติมแต่งที่มีผลต่อกลิ่นของ PCRs ขณะฉีดขึ้นรูป

กลิ่นใน PCRs มีสาเหตุมาจากสารระเหยอินทรีย์ที่ปะปนอยู่ในเม็ดรีไซเคิล ซึ่งสาเหตุมาจากการเสื่อมสภาพ (Degradation) ของพอลิเมอร์ สารเติมแต่งในพอลิเมอร์ และการปนเปื้อนของขยะที่เคยเป็นบรรจุภัณฑ์มาก่อน ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงต้องการศึกษาว่าสารเติมแต่ง ชนิด A ที่มีสมบัติเป็น Antioxidant ช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นโดยกำหนดอัตราส่วนที่ 0.1% และ 1% ศึกษาชนิดของสารเติมแต่ง B ที่มีสมบัติเป็น Anti-odor agent หรือสารที่มีรูพรุนดูด

ชั้นสารระเหย ได้กำหนดอัตราส่วนไว้ที่ 0.5%, 2% ตามลำดับ เพื่อหาว่าอัตราส่วนใดมีประสิทธิภาพที่สุดในการลดกลิ่น

ผู้วิจัยต้องการศึกษาเชิงเปรียบเทียบระหว่าง PCR's ที่ใส่ และไม่ได้ใส่สารเติมแต่งว่าจะส่งกลิ่นออกมาแตกต่างกันอย่างไรจึงทำการบันทึกความแรงของกลิ่นโดยใช้แบบสอบถาม (ภาคผนวก ก) ซึ่งให้บุคคลในบริเวณที่ผู้วิจัยได้มีการฉีดขึ้นรูป PCR's ให้เป็น Dumbbell จำนวน 10 คนทั้งผู้ที่มีประสบการณ์ด้านพลาสติก และผู้ที่ไม่มีความรู้ประสบการณ์ ลงบันทึกตามความแรงของกลิ่นที่ได้รับ ซึ่งผลการทดลองที่ได้พบว่า PCR's 100% หรือสูตร F1 มีความแรงของกลิ่นมากที่สุดในขณะกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกเป็น Dumbbell โดยการใช้เครื่อง Injection molding machine ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 3.1 พบว่า เมื่อใส่สารเติมแต่งชนิด A และชนิด B ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ รวมถึงการผสมทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มที่กลิ่นของ PCR's จะลดลง จากบันทึกการได้รับกลิ่น อัตราส่วน F6 ที่เป็นการผสมระหว่างสารเติมแต่งชนิด A 1% และ ชนิด B 2% มีความสามารถในการลดกลิ่นใน PCR's มากกว่าทุกสูตรดังที่ได้บันทึกไว้ตามรูปที่ 4.11 จึงได้มีการนำข้อมูลมาศึกษาต่อในลำดับถัดไป



รูปที่ 4.11 การประเมินความรุนแรงของกลิ่นสูตร F1-F6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ผลของสารเติมแต่งที่มีผลต่อความสามารถในการเป่าขึ้นรูป PCRs

ผู้วิจัยต้องการที่จะศึกษาการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานจาก PCRs รวมถึงปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน ได้ผลดังรูปที่ 4.12 จากการทดลองเป่าขึ้นรูปเป็นขวดผลิตภัณฑ์พบว่าเม็ด PCRs สามารถขึ้นรูปได้นั้นจึงเป็นข้อสรุปได้ PCRs สามารถขึ้นรูปเป็นขวดบรรจุภัณฑ์ได้ ผ่านการปรับสภาวะการผลิตให้เหมาะสมกับเม็ด PCRs และเพื่อเสนอว่าเม็ด PCRs จะสามารถพัฒนาให้เป็นบรรจุภัณฑ์ไร้กลิ่นอันไม่พึงประสงค์ได้ในอนาคต



รูปที่ 4.12 ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปจากเทคนิค Extrusion blow molding

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

- สารเติมแต่งทั้ง 2 ชนิด คือ Antioxidant และ Anti-odor agent ใช้ปริมาณ 1-2% โดยน้ำหนัก มีผลต่อสมบัติทางกายภาพเล็กน้อย กล่าวคือสีของ PCRs มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย หลังเติมสารเติมแต่ง แต่ไม่ได้ส่งผลต่ออัตราการไหลและเปอร์เซ็นต์ความชื้น
- ผลของสารเติมแต่งทั้ง 2 ชนิดที่มีต่อสมบัติเชิงกล ค่า Tensile modulus ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ส่งผลให้ค่า Tensile strength และ Elongation at break ลดลงเล็กน้อย
- ผลของสารเติมแต่งทั้ง 2 ชนิดที่มีต่อเสถียรภาพทางความร้อนทดสอบโดยเทคนิค OIT เพื่อวัดความทนทานต่อการเสื่อมสลายทางความร้อนด้วยปฏิกิริยาออกซิชั่น พบว่า เมื่อเติมสารเติมแต่งชนิด A ในปริมาณที่แตกต่างกัน มีแนวโน้มว่ายิ่งปริมาณที่มากจะทำให้ PCRs ทนต่อการเสื่อมสลายได้นานขึ้น ส่งผลให้ VOCs ที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นระเหิดออกจากเม็ดน้อยกว่าสูตรที่เติมสารเติมแต่งชนิด A ปริมาณน้อย และสูตรที่ไม่ได้ใส่สารเติมแต่ง
- จากแบบสอบถามผู้ปฏิบัติงานพบว่าเมื่อสูตรที่ใส่สารเติมแต่งรวม 2 ชนิด มีแนวโน้มว่ากลิ่นเจือจางกว่าสูตรอื่น
- ผลจากการทดลองด้วยเทคนิค Headspace เครื่อง GC-MS พบว่า Total area ของ VOCs มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบ PCRs ก่อน และหลังใส่สารเติมแต่ง
- การเติมสารเติมแต่งชนิดเดียวสามารถลดกลิ่นใน PCRs ได้ แต่เพื่อประสิทธิภาพในการลดกลิ่นที่ดียิ่งขึ้นควรใช้ทั้ง 2 ชนิดรวมกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. กลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ของ PCRs มีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรศึกษาสารเติมแต่งชนิดอื่นเพิ่มเติม เพื่อให้การลดกลิ่นมีประสิทธิภาพมากที่สุด
2. ทำการพัฒนาสารเติมแต่งชนิดใหม่ ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดกลิ่น
3. ควรศึกษาประสิทธิภาพในการทำงานของสารเติมแต่งทั้ง 2 ชนิดกับ PCRs ชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. PackForward, (2018) Law and regulations, สืบค้นเมื่อ 22 มีนาคม 2566
<https://packforward.eu/theme/policy-and-strategy/laws-and-regulations>
2. กรมควบคุมมลพิษ ,(2023) แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก ระยะที่ 2 (พ.ศ.2566 – 2570), สืบค้น 21 มีนาคม 2566,
<https://www.pcd.go.th/publication/28484>
3. Rupinder Singh and Ran Vijaykumar, CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, LLC,(2022), Additive Manufacturing for Plastic Recycling Efforts in Boosting A Circular Economy
4. MO Memoir, (2552), พอลิเอทิลีน, สืบค้นเมื่อ 24 มีนาคม 2566
<http://tamagozilla.blogspot.com/2009/09/mo-memoir->
5. Plastket.com, (2021). ทำความรู้จักประเภทของพลาสติกที่ถูกรีไซเคิล, สืบค้นเมื่อ 19 มีนาคม 2566, <https://www.plastket.com/th/news/ทำความรู้จัก%2520ประเภทพลาสติกที่ถูกนำมารีไซเคิล/173>
6. Lilian Seiko Kato and Carlos A. Conte-Junior, (2021). “Safety of Plastic Food Packaging: The Challenges about Non-Intentionally Added Substances (NIAS) Discovery, Identification and Risk Assessment” Polymer Journal, 13(13), 2077.
7. Miriam Sarah Strangl, (2021). “Characterization of odor-active compounds in post-consumer polyolefins” (Thesis)
8. มหาวิทยาลัยมหิดล,สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย, สืบค้นเมื่อ 3 มีนาคม 2565
https://www.si.mahidol.ac.th/th/research-academics/research/division_3/biosafety/doc/knowledge/4%20%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%9B%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%94%E0%B8%A0%E0%B8%B1%E0%B8%A2%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9B%E0%B8%8F%E0%B8%B4%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A1%E0%B8%B5/10%20%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%81%E0%B8%AD%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B9%8C%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%AB

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงบนสื่อออนไลน์และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาใช้

[%E0%B8%A2%E0%B8%87%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%A2%20Volatile%20Organic%20Compounds.pdf](https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds.pdf)

9. EPA, United State Environmental Protection Agency, (2023), สืบค้นเมื่อ 22 มีนาคม 2566, <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds>
10. NICCA CHEMICAL CO.LTD, (2019) Anti-Odor Agent, สืบค้นเมื่อ 21 มีนาคม 2566 <https://nctexchem.com/product/process/finishing/antiodor/>
11. Department Of Food Science,(2023), Arhus University, GC-MS Headspace, สืบค้นเมื่อ 7 พฤษภาคม 2566, <https://food.au.dk/foodhay/instruments/food-biophysics-platform/food-biophysics-lab/gcms-headspace>
12. Tim Mouw, (2018), Lab Color Values/ Color Space, สืบค้นเมื่อ 7 พฤษภาคม 2566 <https://www.xrite.com/blog/lab-color-space>
13. PRECISION MOLDED METAL PARTS (2023), Liquidmetal® Technologies, Inc., สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2566, <https://liquidmetal.com/metal-injection-molding/>
14. The process extrusion blow moulding machine (2021), Central machinery & plastic products, สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2566 <https://www.cmppin.com/blog/the-process-of-extrusion-blow-moulding-machine/>
15. Astro instrument, Tensile strength tester (2021), สืบค้นเมื่อ 12 พฤษภาคม 2566 <https://www.astroinstrument.com/knowledge/tensile-strength-tester/>
16. Martijn Roosen (UGent) , Lies Harinck (UGent) , Sibel Ügdüler (UGent) , Tobias De Somer (UGent) , Amaury-Gauvain Hucks, Tiago G.A. Belé, Andrea Buettner, Kim Ragaert (UGent) , Kevin Van Geem (UGent) , Ann Dumoulin (UGent),
“Deodorization of post-consumer plastic waste fractions : a comparison of different washing media” (2022) [SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.164444). 812.
17. Edward M. Petrie, Selecting Antioxidants for Adhesives & Sealants, สืบค้นเมื่อ 18 มีนาคม 2566, <https://adhesives.specialchem.com/selection-guide/antioxidants-for-adhesives>
18. A. Cabanes, F.J. Valdés, A. Fullana, (2020), “A review on VOCs from recycled plastics”. *Journal Sustainable Materials and Technologies*, 2020, e00179.
19. Horodytska, [Andrea Cabanes Gil](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126373) , [Andrés Fullana](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126373),(2020) “Non-intentionally added substances (NIAS) in recycled plastics”. *Journal Chemosphere* ,Volume 251, July

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. Perkin Elmer. 2023. **FTIR Instruments**. [Online]. Available :
<https://www.perkinelmer.com/category/ftir-instruments>. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 9 ม.ค. 2023
21. Perkin Elmer. 2023. **TGA 4000**. [Online]. Available :
<https://perkinelmer.cl/productos/tga-4000/>. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 9 ม.ค. 2023
22. Indiamart. 2023. **Mettler Toledo DSC 3**. [Online]. Available :
<https://www.indiamart.com/proddetail/dsc-3-differential-scanning-calorimeter-15128879573.html>. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 13 ก.พ. 2023
23. Instron. 2022. **Melt Flow Indexer CEAST MF30**. [Online]. Available :
<https://www.instron.com/en/products/testing-systems/rheology/melt-flow-index-testers>. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 30 ม.ค. 2023
24. Fisherscientific. 2023. **METTLER TOLEDO HC103**. [Online]. Available :
<https://www.fishersci.com/shop/products/hc103-halogen-moisture-balance/01914060>. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 19 ม.ค. 2023
25. Businesswire. 2023. **Spectrophotometer DATACOLOR 850**. [Online]. Available :
<https://www.businesswire.com/news/home/20160202005003/en/Datacolor%C2%AE-850-550-Spectrophotometers-Purchase>. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 10 มี.ค. 2023
26. Zwick Roell. 2023. **Universal Testing Machine ZWICKROELL Z010**. [Online]. Available :
<https://www.zwickroell.com/products/pre-owned-market/>. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 20 ม.ค. 2023
27. SMC Corporation Limited. 2008. **Extrusion Blow Moulding SMC**. [Online]. Available :
<https://www.thaitechno.net/dip/productdetails.php?id=27653&uid=36363>. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 2 มี.ค. 2023
28. HEALTHCARERADIUS. 2023. **Gas Chromatograph-Mass Spectrometer**. [Online]. Available :
<https://www.healthcareradius.in/features/technology/28530-agilent-announces-8697-headspace-sampler-with-integrated-intelligencer>. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 9 ธ.ค. 2022
29. ALPAPOWER. 2021. **ตัวชี้วัดทางเทคนิคของแคลเซียมคาร์บอเนตและการใช้งานในพลาสติก**. [Online]. Available :
<https://www.alpapowder.com/th/111477/>. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 20 เม.ย. 2023


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แบบสอบถามความข้อมูล



สหกิจศึกษา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

แบบสอบถามข้อมูล สหกิจศึกษา เรื่องการลดกลิ่นในเม็ดพีซีอาร์ด้วยสารเติมแต่ง

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้ จัดทำขึ้นโดย นักศึกษาสาขาเคมีอุตสาหกรรม ชั้นปีที่ 4 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้สารเติมแต่งในการลดกลิ่นของ PCRs (Post-Consumer Recycled)

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

- อาชีพ พนักงาน นักศึกษา อื่นๆ _____
- ประสบการณ์การทำงาน 0-2 ปี 2-5 ปี มากกว่า 5 ปี
- ประสบการณ์เกี่ยวกับพลาสติก มีประสบการณ์ ไม่มีประสบการณ์

ตอนที่ 2 แบบสอบถามข้อมูล

เกณฑ์การประเมิน ระดับ 1 มีกลิ่นน้อย
ระดับ 2 มีกลิ่นแต่พอรับได้
ระดับ 3 เข้มข้นมาก

โปรดใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความพึงพอใจของท่านมากที่สุด

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
	3	2	1
สูตรที่ 1 (F1)			
สูตรที่ 2 (F2)			
สูตรที่ 3 (F3)			
สูตรที่ 4 (F4)			
สูตรที่ 5 (F5)			
สูตรที่ 6 (F6)			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 ลักษณะของกลิ่นที่ได้รับ

รายการประเมิน	ลักษณะของกลิ่นที่ได้รับ
สูตรที่ 1 (F1)	
สูตรที่ 2 (F2)	
สูตรที่ 3 (F3)	
สูตรที่ 4 (F4)	
สูตรที่ 5 (F5)	
สูตรที่ 6 (F6)	

1. ท่านมีอุปกรณ์ป้องกันขณะฉีดขึ้นรูปพลาสติกหรือไม่ มี ไม่มี
2. ถ้ามี PCR ที่ไม่มีกลิ่น ท่านยินดีที่จะใช้ในการผลิตชิ้นงานหรือไม่ ใช่ ไม่ใช่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลวิเคราะห์จากเครื่อง Gas Chromatograph Mass Spectrometer (GC-MS)

Information from Data File:

File: D:\66_032\F1_2.D
 Operator:
 Date Acquired: 25 Apr 2023 16:10
 Method File: UNKNOW
 Sample Name: F1
 Misc Info:
 Vial Number: 1

Search Libraries: C:\Database\wiley7n.1 Minimum Quality: 50

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: RTE Integrator - FA.P

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	2.82	1.26	C:\Database\wiley7n.1			
			Acetaldehyde (CAS) \$\$ Ethanal \$...	203	000075-07-0	2
			Acetaldehyde (CAS) \$\$ Ethanal \$...	205	000075-07-0	2
			Acetaldehyde \$\$ Acetic aldehyde...	201	000075-07-0	2
2	3.49	1.54	C:\Database\wiley7n.1			
			Hexahydropyridine, 1-methyl-4-[...	125674	094427-47-1	9
			Pyrido[2,3-d]pyrimidine, 4-phen...	125730	028732-75-4	5
			5-Methyl-2-phenylindolizine	125908	036944-99-7	5
3	4.88	0.96	C:\Database\wiley7n.1			
			Acetaldehyde (CAS) \$\$ Ethanal \$...	205	000075-07-0	2
			Acetaldehyde \$\$ Acetic aldehyde...	201	000075-07-0	2
			Ethyne, fluoro- \$\$ Acetylene, f...	197	002713-09-9	2
4	5.26	0.98	C:\Database\wiley7n.1			
			5-(Dimethylamino)-4,4-dimethyl-...	125164	000000-00-0	2
			2-Pyridinepropanoic acid, .alph...	125485	000000-00-0	1
			6-Nitro-1H-indazole-5-carboxyli...	125151	075844-38-1	1
5	5.65	0.91	C:\Database\wiley7n.1			
			Acetaldehyde (CAS) \$\$ Ethanal \$...	205	000075-07-0	2
			Acetaldehyde \$\$ Acetic aldehyde...	201	000075-07-0	2
			Ethyne, fluoro- \$\$ Acetylene, f...	197	002713-09-9	2
6	5.71	1.06	C:\Database\wiley7n.1			
			Oxirane (CAS) \$\$ Epoxyethane \$\$...	211	000075-21-8	2
			Nitrogen oxide (N2O) (CAS) \$\$ N...	233	010024-97-2	2
			Carbon dioxide	194	000124-38-9	2
7	5.80	0.90	C:\Database\wiley7n.1			
			3-BROMO-1,2,4-TRIAZINE 2-OXIDE ...	79351	061178-02-7	2
			4-(Dichloromethylene)-1-methyl-...	158762	000000-00-0	2
			2H-Pyran[3,2-b]pyridine	28738	004767-91-3	1
8	6.01	0.93	C:\Database\wiley7n.1			
			TRIDEUTEROACETONITRILE \$\$ Aceto...	155	002206-26-0	2
			Carbon dioxide (CAS) \$\$ Dry ice...	196	000124-38-9	2
			Acetaldehyde (CAS) \$\$ Ethanal \$...	205	000075-07-0	2
9	6.16	1.04	C:\Database\wiley7n.1			
			Acetaldehyde (CAS) \$\$ Ethanal \$...	205	000075-07-0	2
			Acetaldehyde \$\$ Acetic aldehyde...	201	000075-07-0	2
			Ethyne, fluoro- \$\$ Acetylene, f...	197	002713-09-9	2
10	6.27	1.05	C:\Database\wiley7n.1			
			Acetaldehyde	204	000075-07-0	2
			Propane (CAS) \$\$ R 290 \$\$ Lpg \$...	224	000074-98-6	2
			Oxirane (CAS) \$\$ Epoxyethane \$\$...	210	000075-21-8	2
11	6.30	1.03	C:\Database\wiley7n.1			
			Acetaldehyde (CAS) \$\$ Ethanal \$...	205	000075-07-0	2
			Acetaldehyde \$\$ Acetic aldehyde...	201	000075-07-0	2
			Ethyne, fluoro- \$\$ Acetylene, f...	197	002713-09-9	2
12	7.16	1.22	C:\Database\wiley7n.1			
			Acetaldehyde (CAS) \$\$ Ethanal \$...	205	000075-07-0	2
			Acetaldehyde \$\$ Acetic aldehyde...	201	000075-07-0	2
			Ethyne, fluoro- \$\$ Acetylene, f...	197	002713-09-9	2
13	7.29	1.45	C:\Database\wiley7n.1			
			4-HYDROXY-3-NITROCOUMARIN \$\$ 2H...	125182	020261-31-8	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยระบบอัตโนมัติของห้องปฏิบัติการฯ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีการตีพิมพ์ หรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆ จากเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากห้องปฏิบัติการฯ

45	19.15	1.18	C:\Database\wiley7n.1					
			Acetaldehyde	204	000075-07-0	2		
			Carbon dioxide (CAS) \$\$ Dry ice...	195	000124-38-9	2		
			Acetaldehyde \$\$ Acetic aldehyde...	201	000075-07-0	2		
46	19.98	0.90	C:\Database\wiley7n.1					
			N-Methyl-propylamine	1885	000000-00-0	4		
			1-Propanamine, 2-methyl- (CAS) ...	1847	000078-81-9	4		
			2-Pyridinepropanoic acid, .alph...	125485	000000-00-0	3		
47	20.21	1.69	C:\Database\wiley7n.1					
			4-HYDROXY-3-NITROCOUMARIN \$\$ 2H...	125182	020261-31-8	5		
			1-(2-Adamantylidene)semicarbazide	125535	000000-00-0	4		
			2-Butanamine (CAS) \$\$ sec-Butyl...	1840	013952-84-6	4		
48	20.88	1.15	C:\Database\wiley7n.1					
			4-HYDROXY-3-NITROCOUMARIN \$\$ 2H...	125182	020261-31-8	5		
			2-Butanamine (CAS) \$\$ sec-Butyl...	1840	013952-84-6	4		
			Propanamide	1784	000079-05-0	4		
49	21.31	1.75	C:\Database\wiley7n.1					
			4-HYDROXY-3-NITROCOUMARIN \$\$ 2H...	125182	020261-31-8	5		
			2-Butanamine (CAS) \$\$ sec-Butyl...	1840	013952-84-6	4		
			1-(2-Adamantylidene)semicarbazide	125535	000000-00-0	4		
50	21.63	1.47	C:\Database\wiley7n.1					
			2-(Acetoxymethyl)-3-(methoxycar...	228364	093103-70-9	9		
			Perhydro-htx-2-one, 2-depentyll...	226947	000000-00-0	5		
			4' METHYL-2 PHENYLINDOLE \$\$ Ind...	125867	000000-00-0	5		

Mon May 22 14:02:49 2023



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Area Percent Report

Data File : D:\66 032\F1 2.D
 Acq On : 25 Apr 2023 16:10
 Sample : F1
 Misc :

Vial: 1
 Operator:
 Inst : Instrumen
 Multiplr: 1.00
 Sample Amount: 0.00

Signal : TIC

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.816	502	507	510	rVB3	792	1331	4.37%	1.256%
2	3.485	626	631	632	rBV3	1139	1628	5.35%	1.536%
3	4.883	885	890	892	rBV2	844	1013	3.33%	0.956%
4	5.260	957	960	964	rBV	800	1041	3.42%	0.982%
5	5.654	1031	1033	1036	rBV2	828	967	3.18%	0.913%
6	5.708	1040	1043	1048	rVV2	575	1125	3.70%	1.062%
7	5.800	1057	1060	1063	rBV2	1036	956	3.14%	0.902%
8	6.010	1097	1099	1103	rBV2	812	987	3.24%	0.931%
9	6.156	1124	1126	1132	rBV	640	1101	3.62%	1.039%
10	6.269	1144	1147	1150	rBV2	1036	1114	3.66%	1.051%
11	6.296	1150	1152	1159	rVB2	728	1093	3.59%	1.031%
12	7.160	1306	1312	1314	rBV	1037	1289	4.23%	1.216%
13	7.295	1333	1337	1343	rBV3	979	1534	5.04%	1.448%
14	7.370	1345	1351	1353	rBV3	930	1696	5.57%	1.600%
15	7.597	1381	1393	1408	rVB3	6662	30445	100.00%	28.730%
16	8.778	1608	1612	1614	rBV2	869	1063	3.49%	1.003%
17	8.929	1633	1640	1645	rVB3	1136	2483	8.16%	2.343%
18	9.679	1776	1779	1783	rVB2	676	1039	3.41%	0.980%
19	9.955	1827	1830	1834	rVB	910	1055	3.47%	0.996%
20	9.992	1834	1837	1841	rBV3	650	973	3.20%	0.918%
21	10.084	1852	1854	1858	rVV2	756	1009	3.31%	0.952%
22	10.192	1867	1874	1885	rVV3	6770	12618	41.45%	11.907%
23	10.289	1889	1892	1897	rVB2	791	1144	3.76%	1.080%
24	10.883	1997	2002	2004	rBV2	759	1156	3.80%	1.091%
25	11.298	2075	2079	2085	rVB3	1993	2745	9.02%	2.590%
26	11.498	2113	2116	2117	rBV	815	861	2.83%	0.812%
27	12.291	2261	2263	2267	rBV2	748	841	2.76%	0.794%
28	12.480	2295	2298	2303	rBV2	582	846	2.78%	0.798%
29	12.706	2334	2340	2345	rBV3	2454	3636	11.94%	3.431%
30	12.868	2369	2370	2376	rVB2	976	1241	4.08%	1.171%
31	12.922	2376	2380	2381	rBV2	938	952	3.13%	0.898%
32	13.429	2469	2474	2478	rVV4	1220	1769	5.81%	1.669%
33	13.548	2492	2496	2499	rVV2	679	946	3.11%	0.893%
34	13.688	2517	2522	2526	rVB2	619	843	2.77%	0.796%
35	14.039	2585	2587	2594	rBV2	598	1267	4.16%	1.196%
36	14.249	2622	2626	2633	rBV2	735	1383	4.54%	1.305%
37	16.149	2975	2978	2981	rBV2	774	1075	3.53%	1.014%
38	17.163	3161	3166	3167	rVB2	864	875	2.87%	0.826%
39	17.438	3212	3217	3222	rVB3	686	1157	3.80%	1.092%
40	17.508	3224	3230	3240	rVV4	984	2653	8.71%	2.504%
41	18.323	3379	3381	3384	rVB2	971	899	2.95%	0.848%
42	18.345	3384	3385	3391	rBV2	902	1416	4.65%	1.336%
43	18.712	3451	3453	3456	rBV2	947	864	2.84%	0.815%
44	18.965	3495	3500	3503	rBV3	799	1211	3.98%	1.143%
45	19.154	3532	3535	3538	rBV2	894	1249	4.10%	1.179%
46	19.985	3686	3689	3691	rVB3	1237	953	3.13%	0.899%
47	20.206	3726	3730	3736	rVB4	1191	1794	5.89%	1.693%
48	20.875	3852	3854	3857	rBV3	1236	1220	4.01%	1.151%
49	21.312	3933	3935	3939	rBV3	1460	1857	6.10%	1.752%
50	21.625	3989	3993	3995	rBV4	1283	1557	5.11%	1.469%

Sum of corrected areas: 105970

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Area Percent Report

Data File : D:\66 032\F2.D Vial: 1
 Acq On : 26 Apr 2023 8:42 Operator:
 Sample : F3 Inst : Instrumen
 Misc : Multiplr: 1.00
 Sample Amount: 0.00

MS Integration Params: FA.P

Method : C:\MSDCHEM\1\METHODS\WARM DB-5MS.M (RTE Integrator)
 Title : Pork oils
 Smoothing : ON Filtering: 5
 Sampling : 1 Min Area: 50 Area counts
 Start Thrs: 0.2 Max Peaks: 50
 Stop Thrs : 0 Peak Location: TOP

If leading or trailing edge < 100 prefer < Baseline drop else tangent >
 Peak separation: 5

Signal : TIC

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.827	506	509	511	rM 2	525	334	1.35%	0.406%
2	3.485	628	631	632	rM 2	659	477	1.93%	0.579%
3	4.877	886	889	890	rM 2	886	655	2.66%	0.795%
4	5.261	957	960	961	rM	796	369	1.50%	0.448%
5	5.644	1029	1031	1034	rM 2	471	320	1.30%	0.389%
6	5.719	1042	1045	1046	rM 2	1029	714	2.90%	0.867%
7	5.816	1060	1063	1064	rM 2	503	332	1.35%	0.403%
8	5.994	1094	1096	1098	rM 2	595	489	1.98%	0.594%
9	6.162	1123	1127	1128	rM 2	539	527	2.14%	0.640%
10	6.264	1145	1146	1147	rM	508	182	0.74%	0.221%
11	6.302	1152	1153	1154	rM	566	274	1.11%	0.333%
12	7.154	1310	1311	1312	rM	549	188	0.76%	0.228%
13	7.300	1336	1338	1339	rM	1004	440	1.78%	0.534%
14	7.365	1348	1350	1353	rM 2	357	395	1.60%	0.480%
15	7.602	1378	1394	1405	rM 3	5335	24659	100.00%	29.945%
16	7.867	1442	1443	1444	rM	317	147	0.60%	0.179%
17	8.773	1609	1611	1613	rM 2	635	581	2.36%	0.706%
18	8.908	1628	1636	1642	rM 4	1969	4017	16.29%	4.878%
19	9.663	1774	1776	1779	rM 2	863	969	3.93%	1.177%
20	9.987	1835	1836	1838	rM 2	296	113	0.46%	0.137%
21	10.073	1851	1852	1854	rM	655	437	1.77%	0.531%
22	10.187	1868	1873	1879	rM 3	5232	9150	37.11%	11.111%
23	10.295	1892	1893	1894	rM	579	258	1.05%	0.313%
24	10.877	2000	2001	2002	rM	474	198	0.80%	0.240%
25	11.293	2076	2078	2082	rM 3	1458	1794	7.28%	2.179%
26	11.492	2113	2115	2116	rM	488	273	1.11%	0.332%
27	12.302	2262	2265	2266	rM 2	483	446	1.81%	0.542%
28	12.491	2298	2300	2301	rM	433	259	1.05%	0.315%
29	12.701	2333	2339	2344	rM 5	2843	4296	17.42%	5.217%
30	12.874	2369	2371	2372	rM	640	309	1.25%	0.375%
31	12.922	2378	2380	2381	rM	483	273	1.11%	0.332%
32	13.440	2471	2476	2480	rM 3	1532	1765	7.16%	2.143%
33	13.554	2496	2497	2499	rM	408	136	0.55%	0.165%
34	13.672	2515	2519	2525	rM 5	2059	3389	13.74%	4.115%
35	14.050	2586	2589	2591	rM	640	528	2.14%	0.641%
36	14.250	2625	2626	2628	rM	243	155	0.63%	0.188%
37	16.138	2974	2976	2981	rM 2	2381	2660	10.79%	3.230%
38	17.147	3161	3163	3167	rM 2	747	847	3.43%	1.029%
39	17.449	3217	3219	3220	rM	605	363	1.47%	0.441%
40	17.503	3225	3229	3233	rM 3	1225	1867	7.57%	2.267%
41	18.307	3376	3378	3381	rM	1010	925	3.75%	1.123%
42	18.350	3384	3386	3390	rM 2	1259	1439	5.84%	1.747%
43	18.712	3452	3453	3456	rM	363	193	0.78%	0.234%
44	18.971	3499	3501	3502	rM 2	304	206	0.84%	0.250%
45	19.138	3531	3532	3535	rM	631	536	2.17%	0.651%
46	19.985	3688	3689	3691	rM	660	467	1.89%	0.567%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

47	20.201	3724	3729	3735	rM 4	2145	4056	16.45%	4.925%
48	20.886	3855	3856	3857	rM	460	191	0.77%	0.232%
49	21.312	3932	3935	3936	rM 3	1012	796	3.23%	0.967%
50	21.615	3986	3991	3998	rM 3	5128	7954	32.26%	9.659%

Sum of corrected areas: 82348



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Area Percent Report

Data File : D:\66 032\F3.D Vial: 1
 Acq On : 26 Apr 2023 9:40 Operator:
 Sample : F5 Inst : Instrumen
 Misc : Multiplr: 1.00
 Sample Amount: 0.00

MS Integration Params: FA.P

Method : C:\MSDCHEM\1\METHODS\WARM DB-5MS.M (RTE Integrator)
 Title : Pork oils
 Smoothing : ON Filtering: 5
 Sampling : 1 Min Area: 50 Area counts
 Start Thrs: 0.2 Max Peaks: 50
 Stop Thrs : 0 Peak Location: TOP

If leading or trailing edge < 100 prefer < Baseline drop else tangent >
 Peak separation: 5

Signal : TIC

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.805	504	505	506	rM	558	284	1.67%	0.320%
2	3.485	629	631	632	rM 2	523	284	1.67%	0.320%
3	4.877	888	889	890	rM	287	77	0.45%	0.087%
4	5.255	957	959	960	rM	176	207	1.21%	0.233%
5	5.649	1030	1032	1034	rM 2	415	305	1.79%	0.344%
6	5.708	1041	1043	1044	rM	432	288	1.69%	0.325%
7	5.805	1060	1061	1062	rM	494	187	1.10%	0.211%
8	6.010	1097	1099	1100	rM	224	162	0.95%	0.183%
9	6.161	1125	1127	1129	rM 2	477	263	1.54%	0.297%
10	6.275	1145	1148	1150	rM 2	540	423	2.48%	0.477%
11	6.286	1150	1150	1152	rM	112	53	0.31%	0.060%
12	7.154	1308	1311	1314	rM 2	427	447	2.62%	0.504%
13	7.289	1334	1336	1339	rM 2	439	403	2.36%	0.455%
14	7.365	1349	1350	1352	rM	550	254	1.49%	0.286%
15	7.607	1379	1395	1403	rM 2	4299	17049	100.00%	19.230%
16	8.778	1610	1612	1614	rM 2	492	351	2.06%	0.396%
17	8.919	1632	1638	1648	rM 4	1642	4235	24.84%	4.777%
18	9.679	1772	1779	1780	rM 2	549	896	5.26%	1.011%
19	9.938	1825	1827	1830	rM 2	449	348	2.04%	0.393%
20	9.998	1834	1838	1839	rM 2	539	494	2.90%	0.557%
21	10.084	1852	1854	1855	rM 2	342	250	1.47%	0.282%
22	10.197	1868	1875	1883	rM 5	4683	8324	48.82%	9.389%
23	10.278	1889	1890	1891	rM	417	172	1.01%	0.194%
24	10.883	2000	2002	2008	rM 2	723	1050	6.16%	1.184%
25	11.303	2074	2080	2084	rM 3	1859	3127	18.34%	3.527%
26	11.492	2114	2115	2117	rM 2	470	300	1.76%	0.338%
27	12.285	2261	2262	2263	rM	310	91	0.53%	0.103%
28	12.474	2294	2297	2298	rM 2	611	430	2.52%	0.485%
29	12.706	2335	2340	2344	rM 3	2125	2367	13.88%	2.670%
30	12.857	2366	2368	2369	rM	359	225	1.32%	0.254%
31	12.911	2377	2378	2380	rM	243	148	0.87%	0.167%
32	13.419	2470	2472	2473	rM	495	321	1.88%	0.362%
33	13.537	2493	2494	2495	rM	347	127	0.74%	0.143%
34	13.678	2513	2520	2526	rM 4	5071	9419	55.25%	10.624%
35	14.028	2584	2585	2586	rM	215	35	0.21%	0.039%
36	14.239	2621	2624	2625	rM	379	253	1.48%	0.285%
37	16.143	2970	2977	2982	rM 4	9284	13802	80.95%	15.568%
38	17.158	3164	3165	3166	rM	436	152	0.89%	0.171%
39	17.427	3214	3215	3216	rM	382	153	0.90%	0.173%
40	17.503	3226	3229	3232	rM 2	1322	1420	8.33%	1.602%
41	18.323	3379	3381	3382	rM 2	767	469	2.75%	0.529%
42	18.350	3382	3386	3391	rM 4	8735	12411	72.80%	13.999%
43	18.712	3450	3453	3455	rM 2	466	518	3.04%	0.584%
44	18.954	3497	3498	3500	rM	370	266	1.56%	0.300%
45	19.143	3532	3533	3535	rM	687	289	1.70%	0.326%
46	19.985	3686	3689	3690	rM 2	792	541	3.17%	0.610%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

47	20.206	3728	3730	3733	rM 2	1037	1130	6.63%	1.275%
48	20.881	3854	3855	3856	rM	623	271	1.59%	0.306%
49	21.307	3931	3934	3935	rM 2	914	530	3.11%	0.598%
50	21.614	3987	3991	3995	rM 3	2219	3057	17.93%	3.448%

Sum of corrected areas: 88658



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Area Percent Report

Data File : D:\66 032\F4.D Vial: 1
 Acq On : 26 Apr 2023 10:25 Operator:
 Sample : F6 Inst : Instrumen
 Misc : Multiplr: 1.00
 Sample Amount: 0.00

MS Integration Params: FA.P

Method : C:\MSDCHEM\1\METHODS\WARM DB-5MS.M (RTE Integrator)
 Title : Pork oils
 Smoothing : ON Filtering: 5
 Sampling : 1 Min Area: 50 Area counts
 Start Thrs: 0.2 Max Peaks: 50
 Stop Thrs : 0 Peak Location: TOP

If leading or trailing edge < 100 prefer < Baseline drop else tangent >
 Peak separation: 5

Signal : TIC

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.816	506	507	508	rM	277	137	1.48%	0.226%
2	3.491	630	632	633	rM	846	620	6.70%	1.024%
3	4.883	889	890	891	rM	486	220	2.38%	0.363%
4	5.250	957	958	960	rM	599	376	4.06%	0.621%
5	5.649	1031	1032	1033	rM	424	234	2.53%	0.386%
6	5.692	1038	1040	1042	rM 2	554	579	6.26%	0.956%
7	5.800	1059	1060	1062	rM 2	673	467	5.05%	0.771%
8	6.005	1097	1098	1100	rM	785	458	4.95%	0.756%
9	6.151	1123	1125	1126	rM	529	352	3.80%	0.581%
10	6.264	1144	1146	1147	rM	699	432	4.67%	0.713%
11	6.286	1149	1150	1151	rM	460	170	1.84%	0.281%
12	7.165	1312	1313	1314	rM	1312	735	7.94%	1.214%
13	7.300	1337	1338	1339	rM	517	180	1.95%	0.297%
14	7.370	1350	1351	1352	rM	886	489	5.28%	0.807%
15	7.591	1384	1392	1396	rM 6	2165	5602	60.54%	9.250%
16	8.768	1609	1610	1611	rM	222	114	1.23%	0.188%
17	8.908	1633	1636	1643	rM 3	1816	3597	38.87%	5.939%
18	9.663	1775	1776	1778	rM	531	338	3.65%	0.558%
19	9.949	1828	1829	1830	rM	156	35	0.38%	0.058%
20	9.998	1837	1838	1839	rM	281	58	0.63%	0.096%
21	10.089	1852	1855	1856	rM 2	521	513	5.54%	0.847%
22	10.197	1870	1875	1880	rM 4	6090	9253	100.00%	15.279%
23	10.289	1891	1892	1894	rM	626	448	4.84%	0.740%
24	10.888	2002	2003	2004	rM	618	221	2.39%	0.365%
25	11.293	2075	2078	2084	rM 3	3161	5422	58.60%	8.953%
26	11.492	2113	2115	2116	rM	325	253	2.73%	0.418%
27	12.302	2262	2265	2266	rM	316	255	2.76%	0.421%
28	12.480	2297	2298	2299	rM	257	79	0.85%	0.130%
29	12.706	2337	2340	2341	rM 2	1329	1243	13.43%	2.052%
30	12.863	2368	2369	2372	rM 2	687	573	6.19%	0.946%
31	12.917	2378	2379	2380	rM	406	171	1.85%	0.282%
32	13.429	2470	2474	2478	rM 2	1664	2028	21.92%	3.349%
33	13.548	2493	2496	2498	rM	739	702	7.59%	1.159%
34	13.678	2517	2520	2524	rM 2	2835	3531	38.16%	5.830%
35	14.028	2583	2585	2586	rM	499	317	3.43%	0.523%
36	14.249	2625	2626	2627	rM	468	147	1.59%	0.243%
37	16.143	2972	2977	2983	rM 3	4753	7399	79.96%	12.217%
38	17.163	3165	3166	3167	rM	562	212	2.29%	0.350%
39	17.427	3214	3215	3217	rM	411	328	3.54%	0.542%
40	17.498	3225	3228	3233	rM 3	1828	3064	33.11%	5.059%
41	18.318	3378	3380	3382	rM	625	502	5.43%	0.829%
42	18.345	3382	3385	3390	rM 4	3811	5813	62.82%	9.599%
43	18.706	3451	3452	3453	rM	249	96	1.04%	0.159%
44	18.949	3496	3497	3499	rM 2	353	256	2.77%	0.423%
45	19.149	3533	3534	3535	rM	215	87	0.94%	0.144%
46	19.985	3688	3689	3690	rM	608	243	2.63%	0.401%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

47	20.201	3727	3729	3734	rM 3	863	1237	13.37%	2.043%
48	20.870	3851	3853	3854	rM 2	433	356	3.85%	0.588%
49	21.301	3932	3933	3935	rM 2	701	412	4.45%	0.680%
50	21.625	3992	3993	3994	rM	744	207	2.24%	0.342%

Sum of corrected areas: 60561



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองเล่มสหกิจศึกษา

วันที่ 22 เดือน พฤษภาคม พ.ศ 2566

ข้าพเจ้า นาย นฤเดช ทิมปา รหัสประจำตัว 62050295
นางสาว ลักขภาญจน์ ทรงเผ่า รหัสประจำตัว 62050324
นางสาว วรวิรัตน์ นานำรุ่ง รหัสประจำตัว 62050327

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี ขอรับรองว่าสหกิจศึกษา เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การลดกลิ่นในเม็ดพีซีอาร์ด้วยสารเติมแต่ง

ชื่อภาษาอังกฤษ Deodorization of Post-Consumer Recycled resins (PCRs) by using Additives

ปีการศึกษา 2565

เป็นผลงานวิจัยที่ได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 0.50 %

ลงชื่อ.....*นฤเดช ทิมปา*.....

(นาย นฤเดช ทิมปา)

นักศึกษา

ลงชื่อ.....*ลักขภาญจน์ ทรงเผ่า*.....

(นางสาว ลักขภาญจน์ ทรงเผ่า)

นักศึกษา

ลงชื่อ.....*วรวิรัตน์ นานำรุ่ง*.....

(นางสาว วรวิรัตน์ นานำรุ่ง)

นักศึกษา

ข้าพเจ้า รศ.ดร. อธิพล แจ่มชัด อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา ได้ตรวจสอบสหกิจศึกษาของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....*[Signature]*.....

อาจารย์ที่ปรึกษา