การศึกษาผลกระทบของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิโพรไพลีนที่มีต่อการสลายตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน

ณัฐพล จิตพุทธิ
นักศึกษาปริญญาโท
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สันติ วัฒนานุสรณ์
อาจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของพลาสติกที่เป็นสารเจือได้แก่ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิโพรไพลีนที่มีต่อการสลายด้วยความร้อนของพอลิสไตรีน โดยทำการผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิสไตรีน และพอลิโพรไพลีนกับพอลิสไตรีน ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดสกรูเดี่ยวในอัตราส่วน 20% 40% 60% และ 80% โดยน้ำหนัก จากการวิเคราะห์เบื้องต้นด้วย TGA พบว่า พอลิสไตรีน บริสุทธิ์สลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 340 – 450 องศาเซลเซียส และแนวโน้มของการสลายตัวของพอลิสไตรีนที่มีสารเจือเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่าการสลายตัวของพอลิสไตรีนบริสุทธิ์ ได้ทำการสลายพอลิสไตรีนที่มีสารเจือในอัตราส่วนต่างๆ ด้วยความร้อนภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่อุณหภูมิต่างๆ ในช่วง 340 – 500 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการสลายตัวของพอลิสไตรีนบริสุทธิ์พบว่า ได้ผลิตภัณฑ์เป็น

ของเหลวใส แก๊ส และกาก ผลจากการที่มีพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และพอลิโพรไพรีนเป็นสารเจือในพอลิสไตรีน เป็นผลให้ต้องใช้อุณหภูมิในการสลายตัวเพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวมีปริมาณลดลง

Effects of High Density Polyethylene and Polypropylene on Thermal Degradation of Polystyrene

Nutthapol Jitputthi
Graduate Student
Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Dr. Paisal Nakpipat
Assistant Professor
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technolcgy Ladkrabang

Santi Wattananusorn
Lecturer
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This research studied the effect of impurities on thermal degradation of PS. The impurities were HDPE and PP. Prepare the mixed plastic samples of either HDPE:PS and PP:PS in the ratio of 20% 40% 60% and 80% by weight using single-screw extruder, Using Thermo-gravimetric Analysis (TGA) to study their thermal properties, it is found that plastic mixtures degraded at the temperature about $340-450$ °C and the degradation of PS mixed with impurities are occurred at higher temperature than that of pure PS. Pure PS and plastic mixtures in above ratio were pyrolyzed under nitrogen atmosphere at the given temperature between $340-500$ °C. In these experiments the liquid, gas, and char products will be obtained and they can be used as fuel. In conclusion, the impurities on

thermal degradation of PS effected at higher temperature than that of pure PS and less in volume of liquid product.

คำนำ

พลาสติกเป็นวัสดุชนิดหนึ่งซึ่งนับวันจะเข้ามามีบทบาทในการใช้แทนโลหะและวัสดุชนิดอื่นมากขึ้น นอกจากนี้ยังนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย ทั้งนี้เพราะพลาสติกมีสมบัติที่ดีหลายประการเช่น เป็นวัสดุที่เติมแต่งสีสันให้สวยงามได้ง่าย มีน้ำหนักเบา บางชนิดทนต่อความเป็นกรดและเบสได้ดี ไม่เกิดสนิมหรือผุพังได้ง่าย จากสาเหตุดังกล่าวทำให้ปริมาณการใช้วัสดุพลาสติกมีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้ขยะประเภทพลาสติกมีปริมาณมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการกำจัดขยะพลาสติกใช้แล้วเหล่านี้ตามมาเช่น การฝังกลบพลาสติกจะถูกย่อยสลายช้า หรือการเผาทำลายมักก่อให้เกิดมลพิษในอากาศ จากสาเหตุเหล่านี้จึงต้องหาวิธีที่จะทำการหมุนเวียนขยะพลาสติกใช้แล้วเหล่านี้ให้กลับมาเป็นประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ เพื่อช่วยให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นการกำจัดขยะพลาสติกใช้แล้วให้มีปริมาณลดลง การหมุนเวียนพลาสติกใช้แล้วกลับมาใช้อีกเป็นแนวทางที่ควรกระทำ ซึ่งมีหลายลักษณะด้วยกันได้แก่ การนำผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงการนำมาหลอมขึ้นรูปใหม่ การนำมาผสมกับวัสดุใหม่หรือวัสดุอื่นแล้วขึ้นรูปใหม่ การนำพลาสติกใช้แล้วมาสลายเป็นสารเคมีพื้นฐานเพื่อผลิตพอลิเมอร์ใหม่ วิธีการที่น่าสนใจวิธีหนึ่งคือการนำพลาสติกใช้แล้วมาสลายด้วยความร้อนให้แตกตัวเป็นโมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอนเล็กๆ สำหรับใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพอลิเมอร์หรือสารอื่น

การสลายพอลิเมอร์ด้วยความร้อน เมื่อพอลิเมอร์ได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงพอจะทำให้โซ่พอลิเมอร์สลายสั้นลง ผลที่ตามมาก็คือ น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ลดต่ำลงด้วย และสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไป โดยทั่วไปกระบวนการสลายตัวเกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ

1. การสลายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ (random degradation) กระบวนการนี้โซ่พอลิเมอร์ขาดออกอย่างไม่เป็นระเบียบ ซึ่งโดยปกติจะเกิดที่โซ่ที่เป็นจุดอ่อน
2. การสลายตัวแบบดีพอลิเมอไรเซชัน (unzipping) ในกระบวนการนี้เกิดดีพอลิเมอไรเซชัน หรือดีโปรปาเกชัน ซึ่งเป็นกระบวนการตรงกันข้ามกับพอลิเมอไรเซ

ชัน โมโนเมอร์จะหลุดออกจากโซ่พอลิเมอร์เริ่มจากตอนปลายของโซ่ออกมาทีละตัว ในกรณีเช่นนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นโมโนเมอร์

โดยทั่วไปกระบวนการสลายตัวทั้งสองนี้เกิดขึ้นพร้อมกันสำหรับพอลิเมอร์แต่ละชนิด ซึ่งกระบวนการไหนจะเกิดมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์นั้น[1]

การสลายตัวด้วยความร้อนได้ผลิตภัณฑ์เป็นของเหลวใส แก๊ส และกากจากการวิเคราะห์แก๊สและของเหลวโดย Paul T. Williams and Elizabeth A. Williams [2,3] พบว่าผลิตภัณฑ์แก๊สประกอบด้วย ไฮโดรเจน (hydrogen) มีเทน (methane) อีเทน (ethane) อีทีน (ethene) โพรเพน (propane) โพรพีน (propene) บิวเทน (butane) และบิวทีน (butene) และจากการวิเคราะห์ของเหลวประกอบด้วย เบนซีน (benzene) โทลูอีน (toluene) ไซลีน (xylene) ฟลูออรีน (fluorene) ไตรเมทิลเบนซีน (trimethylbenzene) และฟีแนนทรีน (phenanthrene)

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

การผสมตัวอย่างพลาสติก

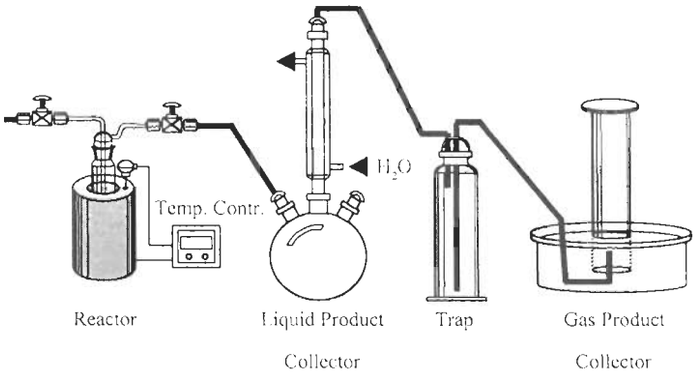
ผสมพลาสติกแต่ละองค์ประกอบคือ PS กับ HDPE และ PS กับ PP ในอัตราส่วน 80:20, 60:40, 40:60, และ 20:80 ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดสกรูเดี่ยว ซึ่งมีโซนให้ความร้อนทั้งหมด 4 โซน โดยมีอุณหภูมิในโซนที่ 1 เป็น 175 องศาเซลเซียส และโซนที่ 2 ถึง 4 มีอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการหมุนสกรูเป็น 50 rpm พลาสติกผสมที่ถูกอัดรีดออกมาจะถูกตัดให้เป็นเม็ดเล็กๆ (granule) เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

การวิเคราะห์สมบัติของการสลายด้วยความร้อนของตัวอย่างพลาสติกด้วย TGA

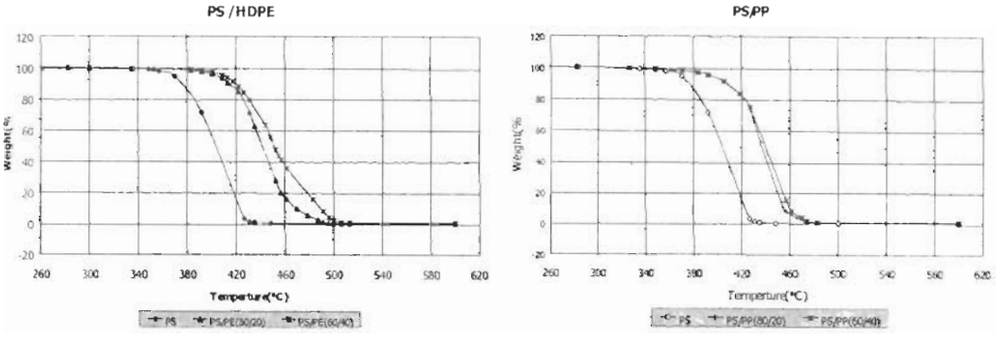
วิเคราะห์ตัวอย่างพลาสติกที่เตรียมไว้ด้วยเครื่อง TGA (model TGA51) โดยใช้ตัวอย่างพลาสติกแต่ละอัตราส่วนประมาณ 10 – 20 มิลลิกรัม อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที

การสลายตัวอย่างพลาสติกด้วยความร้อน

ศึกษาผลของการสลายด้วยความร้อนของพลาสติก โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ดังรูปที่ 1 ทำการสลายตัวอย่างพลาสติกในอัตราส่วนต่างๆ แต่ละตัวอย่างเป็นปริมาณ 20 กรัม อุณหภูมิ 300 , 340 , 380 , 420 , 460 และ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน เก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละช่วงอุณหภูมิ



รูปที่1 Pyrolysis reactor และ อุปกรณ์เก็บผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์ TGA

ผลการทดลอง

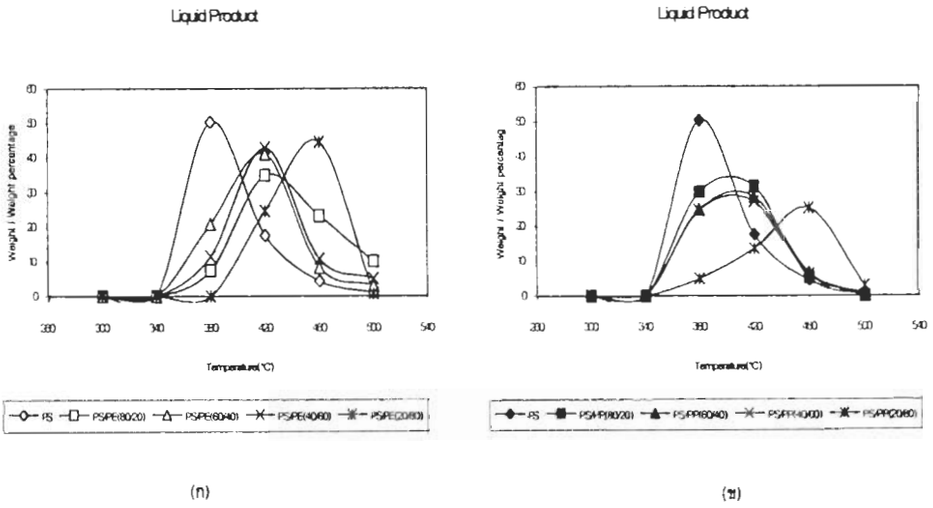
ผลจากการสลายตัวด้วยความร้อน

ตารางที่ 1

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว

อุณหภูมิ	ตัวอย่าง (%โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของเหลว)								
(°C)	PS	PS/PE (80/20)	PS/PE (60/40)	PS/PE (40/60)	PS/PE (20/80)	PS/PP (80/20)	PS/PP (60/40)	PS/PP (40/60)	PS/PP (20/80)
300	0	0	0	0	0	0	0	0	0
340	0	0	0	0	0	0	0	0	0
380	50.307	7.435	20.914	11.498	0	29.846	24.827	24.528	4.995
420	17.589	34.981	41.229	42.992	24.736	31.483	28.388	27.083	13.586
460	4.360	23.303	8.310	10.766	44.595	5.156	6.627	6.151	25.275
500	0.923	9.980	3.039	5.077	0.855	0	0	0	2.997
%รวม	73.179	75.699	73.492	70.333	70.186	66.485	59.842	57.762	46.853

เมื่อนำผลจากตารางที่ 1 มาเขียนเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 3



(ก) (ข)

รูปที่ 3 ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการสลายตัวด้วยความร้อน จากตารางที่ 1
(ก) PSผสมกับ PE (ข) PS ผสมกับ PP

จากรูปที่ 3(ก) เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของเหลวจะเห็นว่า PS ให้ปริมาณของเหลวมากที่สุดที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส และ PS:PE อัตราส่วน 40:60 60:40 และ 80:20 จะมีปริมาณของเหลวมากที่สุดตามลำดับจากมากไปน้อยที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส และ PS:PE ในอัตราส่วน 20:80 จะมีปริมาณของเหลวมากที่สุดที่อุณหภูมิ 460 องศาเซลเซียส ดังนั้น เมื่อเติม HDPE ลงใน PS ในอัตราส่วนที่มีปริมาณของ HDPE มากขึ้น จะมีผลให้ทำให้อุณหภูมิที่ให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมากที่สุดของแต่ละอัตราส่วนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ PS บริสุทธิ์ และตัวอย่างพลาสติกผสมที่ให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวออกมาเรียงจากมากไปหาน้อยคือ 20:80 40:60 60:40 และ 80:20 ตามลำดับ

จากรูปที่ 3(ข) เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของเหลวจะเห็นว่า เมื่อเติม PP ลงใน PS ในอัตราส่วนที่มีปริมาณของ PP มากขึ้น จะมีผลทำให้อุณหภูมิที่ให้ผลิต

ภัณฑ์ของเหลวมากที่สุดของแต่ละอัตราส่วนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ PS บริสุทธิ์ และตัวอย่างพลาสติกผสมที่ให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวออกมาเรียงจากมากไปน้อยคือ 80:20 60:40 40:60 และ 20:80 ตามลำดับ

ตารางที่ 2

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของปริมาณผลิตภัณฑ์ทั้งหมด

ผลิตภัณฑ์	PS	PS/PE (80/20)	PS/PE (60/40)	PS/PE (40/60)	PS/PE (20/80)	PS/PP (80/20)	PS/PP (60/40)	PS/PP (40/60)	PS/PP (20/80)
กาก	25.693	22.056	1.989	5.973	5.028	15.468	10.089	2.976	17.882
ของเหลว	73.179	75.698	73.492	70.333	70.186	66.485	59.842	54.762	46.853
แก๊ส	1.128	2.246	24.519	23.694	24.786	18.047	30.069	42.262	35.265

จากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวจะเห็นว่าเมื่อผสม HDPE กับ PS และ ผสม PP กับ PS จะมีผลให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมีปริมาณลดลงเมื่อปริมาณของ HDPE และ PP เพิ่มขึ้น

สรุปผลและวิจารณ์

การที่มีพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และพอลิโพรไพรีนเป็นสารเจือในพอลิสไตรีนเป็นผลให้ต้องใช้อุณหภูมิในการสลายตัวเพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวมีปริมาณลดลง เนื่องจากเมื่อมีสารเจือผสมกับพอลิสไตรีนแล้วทำให้การสลายตัวด้วยความร้อนต้องใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้น ควรจะทำการศึกษาเพิ่มเติมในแนวทางอื่นๆ เช่น การใช้สารเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น เพื่อเป็นการช่วยลดพลังงานความร้อนที่จะสูญเสียไป

เอกสารอ้างอิง

[1] ดร.ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์ ***เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน(Basic Polymer Chemistry)*** สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

[2] Paul T. Williams and Elizabeth A. Williams, ***Interaction of Plastics in Mixed-Plastics Pyrolysis,*** Energy & Fuels, 13, 1999, pp. 188-196

[3] Elizabeth A. Williams & Paul T. Williams, ***The pyrolysis of Individual Plastics and a Plastic Mixture in a Fixed Bed Reactor***, J.Chem. Tech. Biotechnol., 70, 1997, pp. 9-20

[4] Billmeyer F. W. JR., ***Textbook of Polymer Science***, John Wiley & son, Newyork,1984.

[5] Bicerano J., ***Prediction of polymer Properties,*** The Dow Chemical Company, Midland, Michigan, Marcel Dekker Inc., Newyork, 1996.