

การศึกษาสภาวะของไกลโคไลซิสสำหรับการรีไซเคิลพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต Study of the glycolysis condition for recycling polyethylene terephthalate

ประสาน ไชยแสนฤทธิ์^{1*}, สิงห์โต สกุลخمฤทัย² และ ชันท์ทิพ สกุลخمฤทัย¹

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

Prasan Chaisaenrith¹, Singto Sakulkhaemaruehai² and

Chuntip Sakulkhaemaruehai¹

¹Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

²Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Email : prasan_c@mail.rmutt.ac.th^{1*}

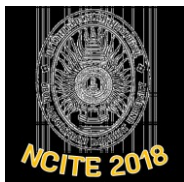
บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการรีไซเคิลพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate : PET) โดยกระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis) ทำการเปรียบเทียบโดยใช้สารตั้งต้นสองชนิด ได้แก่ โมโนเอทิลีน ไกลคอล (Monoethylene glycol :MEG) และไดเอทิลีน ไกลคอล (Diethylene glycol :DEG) อัตราส่วนของ PET : ไกลคอล เท่ากับ 30:70 โดยน้ำหนัก ใช้ซิงค์อะซิเตท (Zinc acetate) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 190 และ 220 องศาเซลเซียสตามลำดับเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ได้สาร Glycolyzed products ทดสอบสมบัติกายภาพของ Glycolyzed products พบว่า เมื่อใช้ MEG ให้ปริมาณผลผลิตน้อยกว่าที่ 80% และไม่สามารถจัดเก็บในรูปของเหลวได้ ส่วน DEG ให้ปริมาณผลผลิตที่ 94% ซึ่งสามารถจัดเก็บในสถานะของเหลวได้นาน 120 วัน จากนั้นนำ Glycolyzed products (PET:DEG) ไปทำการสังเคราะห์เป็นพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyester resin: UPR) ซึ่งให้ผลการทดสอบ สมบัติทางเคมีได้ค่าความเป็นกรด ค่าความหนืดที่สูงระยะเวลาการแข็งตัวที่สั้น เมื่อเปรียบเทียบกับ UPR เรซินมาตรฐานที่ใช้ในโรงงาน ส่วนสมบัติเชิงกลพบว่า ค่าการทนแรงดึงสูงกว่า การทนต่อแรงดัดโค้งต่ำกว่า UPR เรซินมาตรฐานที่ใช้ในโรงงาน ด้านสมบัติทางความร้อนมีจุดหลอมเหลวที่ 270 องศาเซลเซียสซึ่งสูงกว่า UPR เรซินมาตรฐานที่ใช้ในโรงงาน สมบัติทางโครงสร้างโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไกลโคไลซิส PET ด้วย MEG และ DEG รวมทั้ง UPR เรซิน Glycolyzed products (PET: DEG) เปรียบเทียบกับ UPR เรซินมาตรฐานที่ใช้ในโรงงาน พบช่วงตำแหน่งพีกส่วนใหญ่ใกล้เคียงกัน มีเพียงความแหลมบางช่วงที่ต่างกันคือช่วง $3440-3500\text{cm}^{-1}$, $1690-1720\text{cm}^{-1}$, $1253-1274\text{cm}^{-1}$ และ $675-900\text{cm}^{-1}$ ซึ่งส่งผลต่อความเป็นกรดและความหนืดที่ต่างกัน.

คำสำคัญ : พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต, ไกลโคไลซิส, ไกลคอล, พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว, ซิงค์อะซิเตท

Abstract

The objective of this project is to optimize the condition for recycling polyethylene terephthalate (PET) by glycolysis process. Two types of starting materials, monoethylene glycol (MEG)

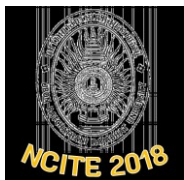


and diethylene glycol(DEG), are compared. The weight ratio of PET : Glycol (30:70). The zinc acetate is used as catalyst under temperature at 190°C and 220°C, respectively for 6 hours under inert gas atmosphere. The properties of products obtained from this glycolysis process were investigated. The results showed that the percentage yield of 94 was obtained under the condition that using DEG as the starting material and the obtained product can stored in liquid phase for duration 120 days. The percentage yield of 80 was obtained under the condition that using MEG as the starting material with the duration time 2 days that can store the obtained product in liquid phase. The product obtained from the glycolysis process using DEG were polymerized to be UPR. Molecular structure properties of glycolyzed products with MEG, DEG and including UPR with Glycolyzed products (PET: DEG) compared with UPR (STD) in factories. Peak positions are most similar. There are only a few different range $3440-3500\text{ cm}^{-1}$, $1690-1720\text{ cm}^{-1}$, $1253-1274\text{ cm}^{-1}$ and $675-900\text{ cm}^{-1}$ also effect on acidity and viscosity it Different.

Keywords: Polyethylene terephthalate, Glycolysis, Glycol, Unsaturated polyester resin, Zinc acetate

1.บทนำ

ความแพร่หลายและความนิยมในการบริโภคเครื่องดื่มที่บรรจุในภาชนะประเภทขวดที่ผลิตจาก PET ได้เริ่มเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น สิ่งหนึ่งที่ตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้คือ ขยะจากภาชนะพลาสติกที่ผลิตจาก PET จากสถานการณ์ปัจจุบันพบว่าประเทศไทยกำลังประสบปัญหาในเรื่องปริมาณขยะและการจัดการขยะ อันเนื่องมาจาก ปริมาณความต้องการใช้ภาชนะพลาสติกที่ผลิตจาก PET ได้รับความนิยมแพร่หลายมากขึ้นในหลากหลายกลุ่ม อุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นเครื่องดื่ม เครื่องสำอาง เครื่องอุปโภคบริโภค ด้วยเหตุที่PETมีสมบัติที่ดีมากมาย ไม่ว่าจะเป็นด้านความแข็งแรง ไม่เปราะแตกง่าย โปร่งใส ทนทานต่อสารเคมีต่างๆ [1] โดยทั่วไปPETผลิตจากวัตถุดิบหลักคือเพียริลไฟลท์เทรฟทาลิก แอซิด(Purified terephthalic acid;TPA)ร้อยละ70และMEG ร้อยละ 30 ด้วยเหตุดังกล่าวนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาเพื่อหาวิธีการหรือสภาวะที่เหมาะสม ในการนำภาชนะพลาสติกใช้แล้วที่ผลิตจากPETกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเพิ่มทางเลือกในการลดปริมาณพลาสติกใช้แล้ว ที่ผลิตจากPETให้มากขึ้นในรูปของมอนอเมอร์หรือไกลคอล ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว ที่ใช้งานกันแพร่หลายในกลุ่มอุตสาหกรรม เป็นต้นว่า คอมโพสิตเสริมแรง งานหล่อ และงานสารเคลือบซ่อมแซมปกปิดผิว โดยมีวัตถุดิบหลักในกลุ่มไกลคอลที่นิยมใช้คือโมโนเอทิลีน ไกลคอลและไดเอทิลีน ไกลคอลซึ่งอยู่ในรูปของเหลวใส ด้วยเหตุนี้จึงได้นำโมโนเอทิลีน ไกลคอลและไดเอทิลีน ไกลคอลไปเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการรีไซเคิลพลาสติกPETซึ่งมีอยู่ด้วยกัน4วิธีหลัก [2] [3] [4]คือการรีไซเคิลแบบปฐมภูมิ การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ การรีไซเคิลแบบตติยภูมิและการรีไซเคิลแบบจตุภูมิ เมื่อพิจารณาเทคโนโลยีการรีไซเคิลพลาสติก ทั้ง4วิธี จะพบว่าวิธีการรีไซเคิลแบบตติยภูมิ ประเภทไกลโคไลซิส [5]มีความเหมาะสมและแพร่หลายที่สุด ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีที่ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ของPETเกิดการแตกออกได้สารบีเอซีที(Bis-hydroxy-ethylterephthalate:BHET)และโอลิโกเมอร์(Oligomer) โดยมีไกลคอลชนิดต่างๆเป็นตัวกลาง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้โมโนเอทิลีน ไกลคอลและไดเอทิลีน ไกลคอลทำการศึกษาเปรียบเทียบในปริมาณสัดส่วนร้อยละ70โดยน้ำหนักจะให้ปริมาณสุทธิต่อข้างสูง[8]ก่อนนำไปเป็นวัตถุดิบหลัก ที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว(UPR)ประเภทที่นำไปใช้ในการผลิตสารเคลือบปกปิดผิว [6]



2.วิธีการวิจัย

2.1 กระบวนการไกลโคไลซิส PET

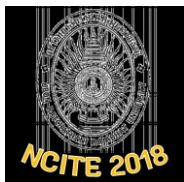
วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่PET ที่ผ่านการรีไซเคิลเกรด A จาก บริษัท ไทยปราจีนรีไซเคิล จำกัดกระบวนการไกลโคไลซิสเริ่มจาก นำ PET ใส่ลงในถังปฏิกริยาสแตนเลสกันกลม 4 คอ เติมไกลคอล โดยใช้ PET : ไกลคอลเท่ากับ 30:70 โดยน้ำหนัก โดยในงานวิจัยนี้ต้องการเปรียบเทียบผลจากการใช้ไกลคอลสองชนิด ได้แก่ MEG และ DEG ในการทำปฏิกริยาไกลโคไลซิสกับPETจากนั้นเติมซิงก์อะซีเตต0.3%ของน้ำหนักของPETที่ใส่ลงในถังปฏิกริยาสแตนเลส ซึ่งต่ออยู่กับชุดควบคุมความร้อน ใบกวน ชุดควบคุมแรงดัน เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ท่อน้ำและแก๊สไนโตรเจน พร้อมทั้งให้ความร้อนที่ 85 องศาต่อชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส สำหรับ PET : MEG และที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียสสำหรับPET: DEGโดยกวนสารตลอดเวลาเป็นเวลา 6 ชั่วโมงเมื่อครบตามเวลา ปลอ่ยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เย็นลงมา ณ อุณหภูมิห้อง เรียกว่า Glycolized product จากนั้นนำไปตรวจสอบสมบัติทางกาย ทางเคมีและวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างเคมีด้วย Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) ยี่ห้อ JASCO รุ่น FT / IR – 6800 แล้วนำ Glycolized productsที่ได้ไปใช้สังเคราะห์พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (UPR) ในขั้นตอนต่อไป.

2.2 การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว

นำ Glycolized products ที่ได้จากกระบวนการไกลโคไลซิสผสมกับมาเลอิก แอนไฮไดรด์ (Maleic Anhydride : M.A) และฟทาลิกแอนไฮไดรด์(Phthalic Anhydride :PA) อัตราส่วน 3 : 1.5 : 1.5 โดยน้ำหนัก เพื่อสังเคราะห์ UPR ในถังปฏิกริยาสแตนเลสกันกลม 4 คอ ที่ต่ออยู่กับชุดควบคุมความร้อน ใบกวน ชุดควบคุมแรงดัน เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) และท่อแก๊สไนโตรเจน ปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชัน ดำเนินภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 205 องศาเซลเซียสเป็นเวลา18 ชั่วโมงจากนั้นเติมไฮโดรควิโนน(Hydroquinone: H.Q)0.05% ของน้ำหนักทั้งหมดลงในUPRเหลวร้อนที่สังเคราะห์ได้ เพื่อป้องกันการแข็งตัวและปรับเวลาแข็งตัวก่อนนำไปใช้งาน ปลอ่ยให้UPRเย็นตัวภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนและเติมมอนอเมอร์ (Monomer)ประมาณ34%โดยน้ำหนักของUPRเพื่อลดความข้นเหลว นำUPRที่ได้ไปตรวจสอบ สมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพและวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วย Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Frontierและสมบัติด้านความร้อนด้วย Differential Scanning Calorimeter(DSC) ยี่ห้อ NETZSCH รุ่น DSC230F3.

2.3 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบและการทดสอบสมบัติทางกล

นำพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวที่สังเคราะห์ได้จาก Glycolized productsและUPRเรซินมาตรฐานที่ใช้ในโรงงานผสมกับตัวเร่งแข็งในสัดส่วน100ต่อ1โดยน้ำหนักพร้อมทั้งคนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนเทลงในแม่แบบ ปลอ่ยให้แห้งแข็งสนิท จึงค่อยถอดออกจากแบบประเภทต่างๆแล้วนำไปตัดเพื่อทำเป็นชิ้นทดสอบให้มีขนาดรูปร่างอย่างละ5-7ตัวอย่างตามหัวข้อการทดสอบสมบัติทางกลได้แก่ ความแข็ง(Hardness) มาตรฐานASTM D2240 ด้วยเครื่องดูโรมิเตอร์ (Durometer) โมเดล473ของ PTC ชนิด Shore D การทนแรงกระแทก(Impact) มาตรฐานASTM D 256ด้วยเครื่อง CEASTการทนแรงดึง(Tensile)มาตรฐานASTM D638ด้วยเครื่องHOUNFIELD ขนาด 2500kgและการทนแรงดัดโค้ง(Flexural)มาตรฐานASTMD790 ด้วย HOUNFIELD ขนาด 2500 โดยเปรียบเทียบกับUPRเรซินมาตรฐานที่ใช้ในโรงงาน.



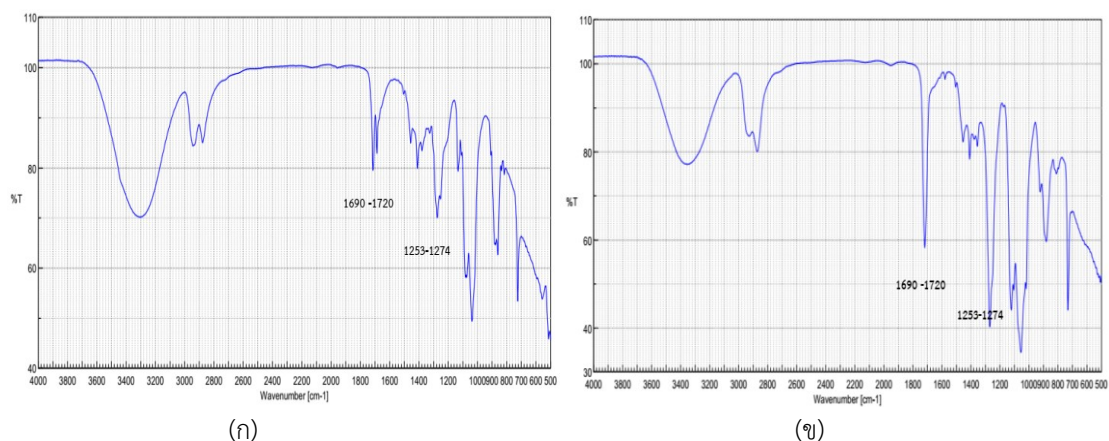
3.ผลการวิจัย

3.1 ผลจากกระบวนการไกลโคไลซิส PET

ทำการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไกลโคไลซิส PET ด้วย MEG และไกลโคไลซิส PET ด้วย DEG แสดงดังตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีใกล้เคียงกันแต่สมบัติทางกายภาพต่างกัน คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไกลโคไลซิส PET ด้วย MEG มีลักษณะทางกายภาพเป็นตะกอนนิ่มสีขาวที่อุณหภูมิห้องร้อยละผลผลิตเท่ากับ 80 จัดเก็บได้นาน 2 วันซึ่งแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไกลโคไลซิส PET ด้วย DEG ที่มีลักษณะเป็นของเหลวใสสีน้ำตาลเข้ม ร้อยละผลผลิตเท่ากับ 94 เมื่อตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก็ไม่มีตะกอนขึ้น และสามารถจัดเก็บได้นาน 120 วัน โดยคาดว่าเกิดจากกระบวนการไกลโคไลซิสด้วย MEG และ DEG มีการใช้อุณหภูมิในช่วงการเกิดปฏิกิริยาของ MEG ที่ 190 องศาเซลเซียส และ DEG ที่ 220 องศาเซลเซียส อันไม่เกินค่าจุดเดือดของสารทั้งสองตัว แต่ทำให้พลาสติก PET ที่มีจุดหลอมเหลวประมาณ 240-250 องศาเซลเซียส เกิดการละลายหรือเสื่อมสภาพจากสภาพกึ่งผลึก (Semi-crystalline) มาเป็นอสัณฐาน (Amorphous) ได้ดีใน DEG เกิดเป็น Glycolized products ที่คงสภาพของเหลว ณ อุณหภูมิห้องและสามารถนำใช้แทนไกลคอลในการสังเคราะห์ปฏิกิริยาพอลิเมอร์เชเช่น ได้ผลิตภัณฑ์ประเภทพอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัวได้ การตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลด้วยเทคนิค FT-IR รูปที่ 1 แสดงหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการ รีไซเคิล PET ด้วยปฏิกิริยาไกลโคไลซิส โดยใช้ไกลคอลในสัดส่วนเท่าๆกัน จะพบตำแหน่งของการเกิดพีคสำคัญ ๆ นั้น อยู่เหมือนกัน ส่วนที่ต่างกันคือช่วง 1690-1720 cm^{-1} (C=O) และช่วง 1253-1274 cm^{-1} (C-O Ester asymmetric vibration) ของ Glycolized products จาก DEG มีความแหลมมากกว่า Glycolized products จาก MEG แสดงว่าสารทั้งสองมีองค์ประกอบใกล้เคียงกันแต่อาจแตกต่างกันในส่วนของน้ำหนักโมเลกุล ที่เกิดจากสารตั้งต้นของไกลคอลทั้งคู่.

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ Glycolized products ที่ได้จากกระบวนการไกลโคไลซิส PET ด้วยไกลคอล 2 ชนิด MEG และ DEG

Glycolized products	สมบัติทางกายภาพ			สมบัติทางเคมี		
	Appearance	Yields	Stability	Non volatile ASTM D1259	Viscosity ASTMD2196	Acid Number ASTM D1639
PET:MEG	ตะกอนนิ่มสีขาวขุ่น	80 %	2 days	81.0 %	-	1.0 mgKOH/g
PET:DEG	ของเหลวใสสีน้ำตาลเข้ม	94 %	120days	93.3 %	585 mPa.S	1.1 mgKOH/g



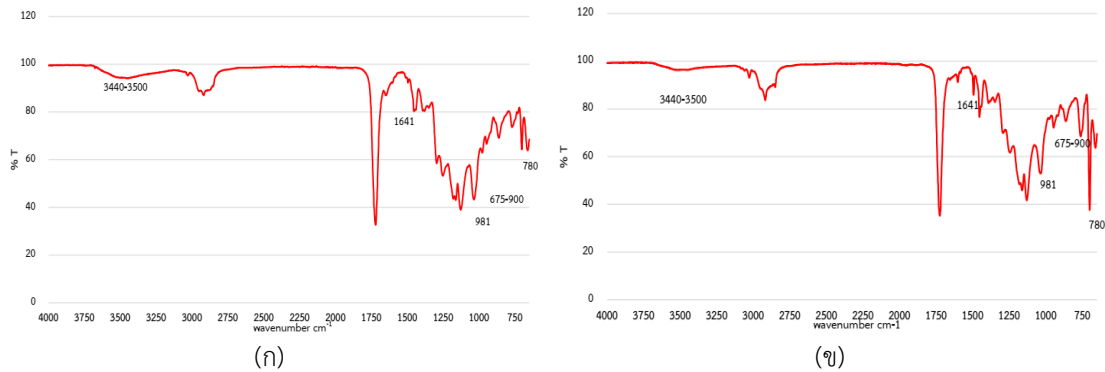
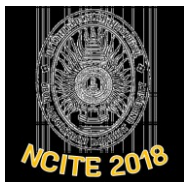
รูปที่ 1 FTIR spectra ของ Glycolized products จากกระบวนการไกลโคไลซิส PET ด้วยไกลคอล 2 ชนิด: (ก) Glycolized products จาก MEG และ (ข) Glycolized products จาก DEG

3.2 ผลการทดลองจากการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว

งานวิจัยนี้มีเพียง Glycolized products จาก DEG เท่านั้นที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการพอลิเมอไรเซชันเพื่อสังเคราะห์เป็น UPR ต่อได้ เนื่องจาก Glycolized products ที่ได้นั้นอยู่ในสถานะของเหลว งานวิจัยนี้จะศึกษาสมบัติทางเคมีของ UPR ที่สังเคราะห์ได้จาก Glycolized products ระหว่าง PET:DEG เปรียบเทียบกับ UPR เรซินมาตรฐาน (STD) ที่ใช้ในโรงงาน แสดงในตารางที่ 2 พบว่า UPR ที่ได้จาก Glycolized products (PET:DEG) จะให้ค่าความหนืดและค่าความเป็นกรดที่สูงกว่าเรซินมาตรฐาน (STD) ที่ใช้ในโรงงาน น่าจะเกิดจาก Glycolized products (PET:DEG) ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบมีความหนืดมาก อาจเป็นผลมาจากน้ำหนักโมเลกุลที่สูงทำให้สมบัติทางเคมียังไม่ใกล้เคียง UPR เรซินมาตรฐาน (STD) ที่ใช้ในโรงงาน แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการตรวจวัด.

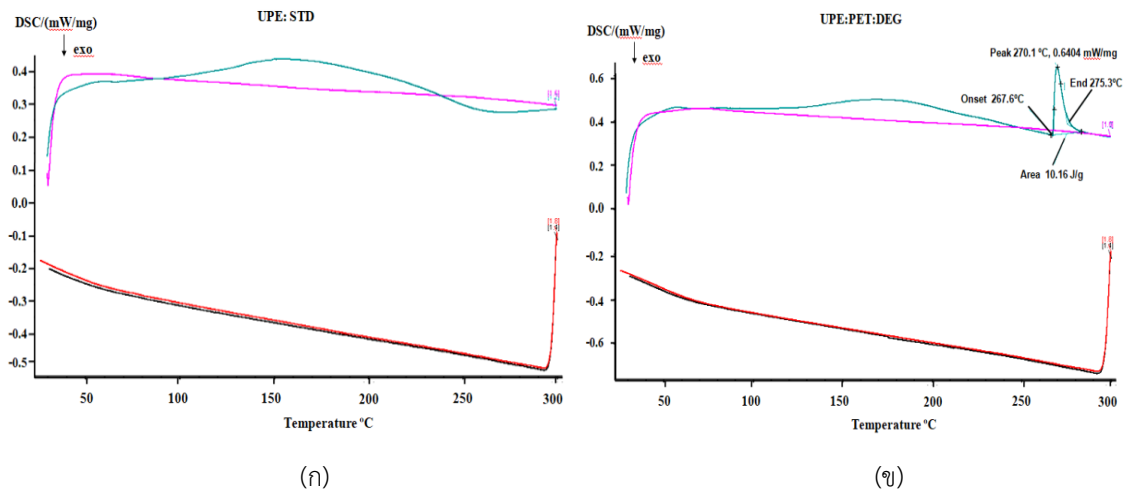
ตารางที่ 2 สมบัติของ UPR ที่สังเคราะห์ได้จาก Glycolized products (PET:DEG) เปรียบเทียบกับ UPR เรซินมาตรฐาน (STD) ที่ใช้ในโรงงาน

ITEM	SPECIFICATION	STD	PET:DEG	Method
Non volatile (%)	64.0-67.0	65.47	65.5	ASTM D1259
Acid Number (mgKOH/g)	10.0-30.0	12.5	21.8	ASTM D1639
Viscosity (mPa.s)	450-800	522	784	ASTM D2196
Gel Time (min;sec)	8-12	10.38	8.22	ASTM D2471



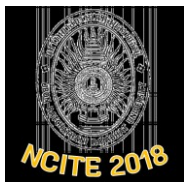
รูปที่ 2 FTIR spectra ของ UPR : (ก) UPR เรซินมาตรฐาน (STD) ที่ใช้ในโรงงานและ
(ข) UPR ที่ได้จาก Glycolized products (PET: DEG)

การตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลด้วยเทคนิค FT-IR รูปที่ 2 แสดงหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของ UPR ที่สังเคราะห์ได้จาก UPR ที่ได้จาก Glycolized products (PET: DEG) และ UPR เรซินมาตรฐาน (STD) ที่ใช้ในโรงงาน จะเห็นว่า ตำแหน่งของการเกิดพีคในช่วง 780cm^{-1} (C=C Vinyl in Styrene) ช่วง 981cm^{-1} (C-H out of plane bending in styrene) และช่วง 1641cm^{-1} (C=C in Styrene) นั้นอยู่ที่เดียวกัน ส่วนช่วงที่ต่างกันคือ $3440-3500\text{ cm}^{-1}$ (OH Alcoholic group) พบใน UPR เรซินมาตรฐาน (STD) ที่ใช้ในโรงงาน ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด (Acid number) ต่ำ และช่วง $675-900\text{ cm}^{-1}$ (Aromatic ring) ใน Glycolized products (PET: DEG) ส่งผลต่อความหนืดที่สูงมาก แต่สารทั้งสองยังคงมีองค์ประกอบใกล้เคียงกัน.



รูปที่ 3 กราฟแสดงสมบัติทางความร้อนของ UPR : (ก) UPR เรซินมาตรฐาน (STD) ที่ใช้ในโรงงาน
และ (ข) UPR ที่ได้จาก Glycolized products (PET: DEG)

จากรูปที่ 3 แสดงสมบัติทางความร้อนของ UPR ที่วิเคราะห์โดยเครื่อง DSC จากผลการทดลองพบว่า UPR เรซินมาตรฐาน (STD) ที่ใช้ในโรงงานมีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า UPR ที่ได้จาก Glycolized products



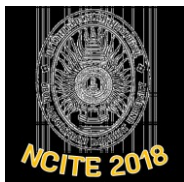
(PET:DEG)ทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่า นอกจากนั้นจะเห็นว่าจุดหลอมเหลวUPRที่ได้จาก Glycolyzed products (PET: DEG)มีค่า 270 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าUPRเรซินมาตรฐาน (STD) ที่ใช้ในโรงงาน เนื่องจากมีความเป็นไปได้ที่อาจมีการเชื่อมโยงโมเลกุลมากกว่าหรืออาจเกิดจากส่วนประกอบของโครงสร้าง PET ที่เป็นส่วนหนึ่งในการรีไซเคิลพลาสติกในกระบวนการโกลโคไลซิส ซึ่งสามารถพิจารณาจากความหนืดและระยะเวลาในการแข็งตัวประกอบเข้าด้วยกัน เมื่อนำUPRทั้งสองชนิดไปทำการขึ้นรูปให้แข็งตัวและเตรียมชิ้นงานตามขนาดทดสอบต่างๆ แล้วทำการทดสอบสมบัติเชิงกล ดังแสดงในตารางที่3จากผลการทดลองพบว่าUPRที่ได้จากGlycolyzed products (PET: DEG) มีสมบัติความแข็ง การทนต่อแรงดึงสูงกว่า UPRเรซินมาตรฐาน(STD) ที่ใช้ในโรงงาน นั้นแสดงถึงการเป็นพอลิเมอร์ที่แข็งแรงกว่า ในขณะที่UPRเรซินมาตรฐาน (STD)ที่ใช้ในโรงงาน มีสมบัติการทนต่อการดัดโค้งที่สูงกว่า UPR ที่ได้จาก Glycolyzed products (PET: DEG) แสดงว่ามีพฤติกรรมการเป็นอีลาสติก (Elastic) สูง ส่วนค่าการทนแรงกระแทก โกลโคไลซิสกัน จากนั้นหากพิจารณาUPRทั้งสองชนิดในแง่ของการรับแรงจะพบว่าค่าการยืดตัว ณ จุดขาด(Elongation at break)จะมีค่าการยืดตัวที่สูงมาก จนแสดงสมบัติของความเป็นอีลาสติก(Elastic) ด้วยเหตุนี้หากต้องมีการนำไปใช้งาน อาจไม่เหมาะสมในแง่ของการที่ต้องมีการรับแรง หรือมีแรงเข้ามากระทำซึ่งคาดว่าจะมีผลต่อการเปลี่ยนรูปร่างของพอลิเมอร์นั้นๆได้โดยง่าย.

ตารางที่ 3 สมบัติเชิงกลของ UPR ที่สังเคราะห์ได้จาก UPR ที่ได้จาก Glycolyzed products (PET: DEG) เปรียบเทียบกับ UPR เรซินมาตรฐาน (STD)ที่ใช้ในโรงงาน

Properties	STD	PET:DEG	ASTM
Hardness (Shore D)	69.5	71.7	D 2240
Impact Strength (J/m)	15.2	15.3	D 256
Flexural Modulus (MPa)	292.2	242.62	D 790
Flexural Strength (MPa)	32.44	27.28	D 790
Young Modulus (MPa)	223.18	529.0	D 638
Tensile Strength (MPa)	9.77	14.40	D 638
Elongation at Break (%)	16.62	10.79	D 638

4.อภิปรายวิจารณ์

การรีไซเคิลพลาสติก PET แบบวิธีโกลโคไลซิสด้วยโกลคอลแต่ละชนิด พบว่า DEGให้ผลการศึกษาที่ดีทั้งในแง่การ คงรูปได้ ในสถานะของเหลว ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของ Francis Padal, Gilles Tersac [8] ที่รายงาน ว่า DEG ให้ปริมาณของ Glycolyzed products ที่สูง โดยมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จำพวก Metal salt คือ Zinc Acetate มีความเหมาะสมในแง่เวลา และสภาวะที่ใช้ในการย่อยสลาย ตามที่ Vandana Jamdar , Mukesh Kathalewar,Kumar Abhinav Dubey and Anagha Sabnis [2] Muhamud Imran , Do Hyun Kim , Waheed A. Al-Masry , Asif Mahmood,Azman Hassan , Saijad Haider and Shahid M.Ramay [5] Onusa Saravari,Pranut Potiyaraj and Siliphon Phunphoem [7] ศึกษาไว้ ในส่วนของการสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (UPR) ผลของค่าสมบัติเชิงกล ด้านความแข็งแรงมีค่าต่ำ



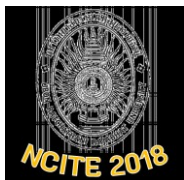
สอดคล้องกับการศึกษาของ George P. Karayannidis [9] ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับวัสดุประเภทที่ต้องมีการรับแรง หากเป็นไปได้ต้องมีการศึกษาถึงความเหมาะสมในการเลือกใช้พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (UPR) ที่ใช้ในงานประเภทอื่นที่เหมาะสมกว่างานที่ต้องมีการรับแรง เพื่อให้มีการนำ Glycolized products ที่ได้จากการรีไซเคิลพลาสติก PET แบบวิธีทางเคมี ไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและหลากหลายในอุตสาหกรรมต่างๆ.

5.สรุป

พลาสติกรีไซเคิล PET ที่ผ่านการย่อยสลายทางเคมีด้วยปฏิกิริยาประเภทไกลโคไลซิส โดยใช้ DEG สามารถเก็บได้ในสถานะของเหลวหนาน 4 เดือนและนำมาใช้เป็นวัตถุดิบประเภทไกลคอล ซึ่งเมื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ให้ผลการทดสอบด้านต่างๆ ทั้งสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี สมบัติทางความร้อนและโครงสร้างโมเลกุลที่ใกล้เคียง UPR เรซินมาตรฐาน (STD) ที่ใช้ในโรงงาน อย่างไรก็ตามหากต้องมีการนำ Glycolized products ที่ได้จาก DEG มาใช้ให้มีความนิยมน้อยแพร่หลาย เห็นควรต้องมีศึกษาการปรับปรุงในส่วนของความหนืดและลักษณะของสี ความใส ให้ดีขึ้นพร้อมทั้งควรมีการเปรียบเทียบสมบัติกับไกลคอลชนิดต่างๆ ก่อนที่จะมีการนำไปใช้ในการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว แล้วจึงนำไปทดสอบในกลุ่มของอุตสาหกรรมต่างๆ ที่เหมาะสมต่อไป.

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Nawal E Ikladious, Jeannette N Asaad, Hassan S and Samia H Mansour. Alkyd resins based on hyperbranched polyester and PET waste for coating applications. Organic coating. 2017; 102 : 217- 222.
- [2] Vandana Jamdar, Mukesh Kathalewar, Kumar Abhinav Dubey and Anagha Sabnis. Recycling of PET wastes using Electron beam radiations and preparation of polyurethane coating using material. Organic Coating. 2017; 107 : 54-63.
- [3] Aline Machado de Castro, Adriano Carniel. A novel process for poly(ethyleneterephthalate) depolymerization via enzyme-catalyzed glycolysis. Engineering Journal. 2017; 124 : 64 -68.
- [4] A M Al - Sabagh, F Z Yehia, Gh Eshaq, A M Rabie and A E Elmetwally. Greener routes for recycling of polyurethane terephthalate. Petroleum. 2016; 25 : 23-64.
- [5] Muhamud Imran, Do Hyun Kim, Waheed A Al-Masry, Asif Mahmood, Azman Hassan, Saijad Haider and Shahid M Ramay. Mananese cobalt and zinc based mixed spinels as novel catalyst for the chemical recycling of poly (ethyleneterephthalate) via glycolysis. Polymer Degradation and Stability. 2013; 98 : 904-915.
- [6] Ayman M Atta, Rasha A EL- Ghazawy and Ashraf M EL- Saeed. Corrosion Protective Coating Based on Alkyd Resins Derived from Recycled Poly (ethylene terephthalate) waste for Carbon steel. International Journal of Electrochemical science. 2011; 8 : 5136-5152.
- [7] Onusa Saravari, Pranut Potiyaraj and Siliphon Phunphoem. Preparation of Urethane Oils from Microwave Assisted Glycolized Product of Waste PET Bottles. Energy Procedia. 2011; 9 : 491-497.



การประชุมวิชาการระดับชาติด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม ครั้งที่ 4 (NCITE2018)

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

26-27 กรกฎาคม 2561 อุบลราชธานี

- [8] Francis Padal, Gilles Tersac. Kinetics of poly (ethylene terephthalate) glycolysis by diethylene glycol. Evolution of Liquid and solid phase. Polymer Degradation and Stability. 2006;91:2840-2847.
- [9] George P Karayannidis, Dimitris S Achilias, Irini D Sideridou and Dimitris N Bikiaris. Alkyd resins derived from glycolized waste poly (ethyleneterephthalate). European Polymer Journal. 2005; 41 : 201-210.