



การสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว จากขวดพลาสติกที่ใช้แล้ว

(Synthesis of Unsaturated Polyester Resin from PET
Waste Bottles)

รองศาสตราจารย์ เสาวรณีย์ ช่วยจุลจิตร์
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Abstract

PET waste bottles can be recycled by depolymerization in excess glycols, such as ethylene glycol, propylene glycol and diethylene glycol in the presence of a zinc acetate catalyst. The reaction was carried out at 190° C under reflux for 8 hours in a nitrogen atmosphere. The glycolized products contained predominantly of bis(hydroxy ethyl) terephthalate (BHET) which is PET monomer. These glycolized products were reacted with maleic anhydride and mixed with styrene monomer to get unsaturated polyester resins. The resin can be cured by using methyl ethyl ketone peroxide (MEKPO) as the initiator and cobalt octoate as an accelerator. The physical and mechanical properties of the PET waste based resins were found to be comparable with the general purpose resin. Hardness, bending strength and softening point of the resins are higher than that of the general purpose resin. The PET waste based resin offers a new class of unsaturated polyester that can make casting products, fiber-reinforced plastics and cultured marble.

บทคัดย่อ

ขวดพลาสติกที่ใช้แล้ว สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ ด้วยการย่อยสลายทางเคมี โดยการไกลโคไลซิสในไกลคอล เช่น เอทิลีนไกลคอล, โพรพิลีนไกลคอล และไดเอทิลีนไกลคอล ปริมาณมากเกินพอ โดยมีซิงค์อะซิเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน ผลที่ได้จากปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะเป็นบิสไฮดรอกซีเอทิลเทเรฟทาเลต (BHET) ซึ่งเป็นโมโนเมอร์ของพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว และเมื่อนำผลที่ได้ไปทำปฏิกิริยากับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ และผสมกับสไตรีน โมโนเมอร์จะได้พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งสามารถทำให้แข็งตัว โดยการใช้เมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ (MEKPO) เป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา และโคบอลต์ออกโตเอตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล ระหว่างพอลิเอสเตอร์เรซิน ที่สังเคราะห์ได้จากขวดพลาสติกที่ใช้แล้วกับพอลิเอสเตอร์เรซินที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไป พบว่าสมบัติด้านความแข็งแรง ความทนการดัดโค้ง และจุดอ่อนตัวของเรซินที่สังเคราะห์ได้จะสูงกว่าเรซินที่ใช้งานอยู่ทั่วไป เรซินที่ได้จากขวดพลาสติกที่ใช้แล้วนี้ จึงสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ด้วยกรรมวิธีการหล่อเช่นเดียวกับพอลิเอสเตอร์เรซินทั่วไป นอกจากนี้ยังใช้ทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส และหินอ่อนเทียม ได้อีกด้วย

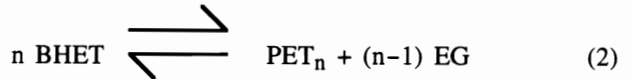
1. บทนำ

บรรจุภัณฑ์ที่ทำจาก “เพท” สามารถใช้บรรจุอาหารได้โดยการรับรองขององค์การอาหารและยา (Food and Drug Administration, FDA) ประเทศสหรัฐอเมริกา โรงงานผู้ผลิตน้ำดื่มหรือน้ำอัดลมส่วนใหญ่จะไม่นำขวดที่ใช้แล้วกลับมาบรรจุใหม่อีก เนื่องจากต้องการสมบัติด้านความใสและความสะอาดด้วยเหตุนี้ ขวดเพทกำลังกลายเป็นภัยสำคัญของสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพราะขวดพลาสติกบรรจุน้ำดื่ม และน้ำอัดลมจะสะดวกในการนำติดตัวไปขณะเดินทางท่องเที่ยว จึงมักถูกทิ้งให้เข้าสู่ระบบธรรมชาติ โดยเฉพาะในแหล่งท่องเที่ยวที่มีนักท่องเที่ยวนิยมเข้าไปพักผ่อนเป็นหมู่คณะ อีกทั้งขวดเพทนี้เป็นประเภท “one way” (ใช้แล้วทิ้ง) จึงไม่มีผู้มากลับไปแลกคืนใหม่ ที่ผ่านมามีปัญหาขยะพลาสติกเป็นปัญหาซึ่งเกิดในชุมชนเมือง แต่ในขณะนี้บรรจุภัณฑ์พลาสติกต่างๆ ได้แพร่กระจายจากชุมชนเมืองเข้าสู่ชนบทเกือบทุกแห่ง ทั้งที่ขวดพลาสติกมีราคาแพงเมื่อเทียบกับราคาน้ำดื่ม และน้ำอัดลมที่บรรจุอยู่ จะเห็นว่าเรากำลังใช้พลาสติกกันอย่างฟุ่มเฟือย พร้อมๆ กับการทำลายธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากขยะพลาสติกด้วยปริมาณที่เพิ่มขึ้นตลอดเวลา

ในปัจจุบันนี้ ประเทศไทยได้มีการนำพลาสติกที่ใช้แล้วบางประเภทกลับมาหลอมใช้งานใหม่อีกครั้ง แต่เป็นการนำกลับมาในรูปของพลาสติกชนิดเดิม เพื่อนำมาผลิตเป็นถุงหรือฟิล์มอย่างง่าย ๆ หรือทำเป็นภาชนะชนิดต่างๆ ที่มีคุณภาพด้อยลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จะมีรูปแบบและลักษณะที่แตกต่างไปจากเดิม โดยจะพยายามหาแนวทางในการนำขวดเพทที่ใช้แล้วกลับเข้าสู่ระบบการผลิตใหม่ เพื่อที่จะนำมาใช้ประโยชน์อีกครั้งโดยไม่จำเป็นต้องนำกลับมาหลอมทำเป็นขวดหรือภาชนะบรรจุ แต่จะนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบที่ต่างออกไปจากเดิม เพื่อการใช้งานที่ไม่เกี่ยวข้องกับอาหาร โดยการนำขวดเพทที่ใช้แล้วนี้ไปย่อยสลายโดยวิธีทางเคมี ให้โมเลกุลของพอลิเมอร์มีขนาดเล็กลง แล้วจึงนำผลที่ได้จากการย่อยสลายนี้ ไปสังเคราะห์เป็นพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นเรซินที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น การทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส หินอ่อนเทียม งามาช้างเทียม และอัลคิดีเรซิน (alkyd resin) เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสี เป็นต้น

เพท (PET, polyethylene terephthalate) สามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดเทเรพทาติก (terephthalic acid, TA) และเอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol, EG) หรือไดเมทิลีน เทเรพทาเลต (dimethylene terephthalate, DMT) และเอทิลีนไกลคอล ด้วยอัตราส่วนโมลาร์ 1:2.0 ถึง 1:2.5 ซึ่งในขั้นตอนแรกของปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจะเกิด

โมโนเมอร์ของเพท คือ บิสไฮดรอกซีเอทิลเทเรพทาเลต [bis (hydroxy ethyl) terephthalate, BHET] และจะพอลิเมอร์ไรซ์แบบควบแน่นได้เพท และเอทิลีนไกลคอล ดังสมการที่ (1) และ (2)



จากสมการที่ (2) ปฏิกิริยาสามารถย้อนกลับได้ เมื่อมีปริมาณของ EG มากเกินไป จึงได้มีการศึกษาถึงการย่อยสลายเพทโดยกระบวนการไกลโคไลซิสด้วยไดเอทิลเอทิลีนไกลคอลชนิดต่างๆ เช่น เอทิลีนไกลคอล โพรพิลีนไกลคอล และไดเอทิลีนไกลคอล ปริมาณมากเกินไป โดยใช้โลหะอะซีเตตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 1-5

2. วัสดุ

2.1 ขวดเพท 3 ประเภท

- ขวดน้ำอัดลม
- ขวดน้ำดื่ม
- ขวดน้ำมันพืช
- ขวดน้ำอัดลมผสมขวดน้ำดื่ม (1:1 โดยน้ำหนัก)

2.2 ไกลคอล 3 ชนิด

- เอทิลีนไกลคอล (EG)
- โพรพิลีนไกลคอล (PG)
- ไดเอทิลีนไกลคอล (DEG)

2.3 ซิงก์อะซีเตต (ตัวเร่งปฏิกิริยา)

2.4 แก๊สไนโตรเจน

2.5 มาเลอิกแอนไฮไดรด์

2.6 ไฮโดรควิโนน (ตัวยับยั้งปฏิกิริยา)

2.7 สไตรีนโมโนเมอร์

2.8 พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวเกรดงานหล่อจาก

โรงงาน

2.9 เมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ (methyl ethyl ketone peroxide, MEKPO)

2.10 โคบอลต์ออกโตเอต (co-octoate)

2.11 Accelerator RP-51 (ตัวเร่งปฏิกิริยาของพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวจากโรงงาน)

2.12 แคลเซียมคาร์บอเนต

2.13 โยแก้ว

3. การทดลอง

3.1 การย่อยสลายขวดพลาสติก

3.1.1 นำขวดพลาสติกซึ่งแยกประเภทเป็นขวดน้ำอัดลม ขวดน้ำดื่ม และขวดน้ำมันพืชมาบดด้วยเครื่องบดหยาบ

3.1.2 บรรจุพลาสติกซึ่งผ่านการบดแล้วลงในขวดแก้วกันกลม 4 คอ

3.1.3 เติมไกลคอล (พลาสติก : ไกลคอล เท่ากับ 35 : 65, 40 : 60 และ 60 : 40) และซิงก์อะซีเตต 0.5% ของน้ำหนักพลาสติกซึ่งลงในขวดกันกลม 4 คอ ซึ่งต่ออยู่กับเครื่องกวน เครื่องควมแน่น เทอร์โมมิเตอร์ ท่อน้ำและแก๊สไนโตรเจน

3.1.4 ปล่อยให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายดำเนินไปภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส โดยกวนสารตลอดเวลาเป็นเวลา 8 ชั่วโมง พร้อมทั้ง reflux ตลอดการทดลอง

3.1.5 เมื่อครบ 8 ชั่วโมง จะปล่อยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เย็นลงมา ณ อุณหภูมิห้องภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน โดยไม่ต้องกวน แล้วแบ่งสารส่วนหนึ่งไปหาค่าไฮดรอกซิล (hydroxyl value) ตาม ASTM D2849 Method A

3.1.6 นำผลิตภัณฑ์ที่เย็นแล้วมาล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อล้างไกลคอลอิสระที่เหลือจากปฏิกิริยาออกไป กรองส่วนที่เป็นตะกอนมาทำให้แห้งและเก็บไว้ และเรียกส่วนนี้ว่า glycolized product เพื่อนำไปใช้สังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัวต่อไป

3.2 การสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

3.2.1 นำ glycolized product ที่ได้มาผสมกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (อัตราส่วนระหว่างค่าไฮดรอกซิลและคาร์บอกซิลเท่ากับ 1.1 : 1) ในขวดกันกลม 4 คอ ที่ต่ออยู่กับเครื่องกวน เครื่องควมแน่น เทอร์โมมิเตอร์ และท่อน้ำแก๊สไนโตรเจน

3.2.2 ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ดำเนินไปภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง

3.2.3 เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสิ้นลงแล้ว ให้เติมไฮโดรควิโนนประมาณ 0.45 % ของน้ำหนักพลาสติกในเรซินเหลวร้อนที่ได้ เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเรซินก่อนนำไปใช้งาน

3.2.4 ปล่อยให้เรซินเย็นตัวภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน และนำไปละลายในสไตรีนโมโนเมอร์ประมาณ 30 % โดยน้ำหนักของเรซิน

3.3 การขึ้นรูปขึ้นทดสอบ

3.3.1 นำพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวที่สังเคราะห์ได้ ผสมกับโคบอลต์ออกไซด์ และ MEKPO ในอัตราส่วน 100 : 0.5 : 0.5 ตามลำดับ โดยจะผสมเรซินให้เข้ากับโคบอลต์ออกไซด์เสียก่อนในบีกเกอร์ โดยใช้แท่งแก้วกวนเบาๆ แล้วจึงเติม MEKPO ภายหลัง

3.3.2 หลังจากของผสมเข้ากันดีแล้ว ให้เทลงในแม่แบบ

3.3.3 ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนขึ้นทดสอบแข็งตัว จึงถอดจากแม่แบบ

3.3.4 นำขึ้นทดสอบที่ได้ไปตัดด้วยเครื่องตัดเพื่อทำเป็นขึ้นทดสอบให้มีขนาด และรูปร่างตามมาตรฐานการทดสอบสมบัติต่างๆ

3.3.5 นำพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวจากโรงงาน มาผสมกับ Accelerator RP-51 และ MEKPO ในอัตราส่วน 100 : 0.5 : 0.5 ตามลำดับ ทำการขึ้นรูปเป็นขึ้นทดสอบเช่นเดียวกับวิธีในข้อ 3.3.1 - 3.3.4

3.4 การทดสอบสมบัติต่างๆ

3.4.1 การหาค่าความแข็ง (hardness) โดยใช้วิธีทดสอบความมาตรฐาน ASTM D 2240 ด้วยเครื่องดูโรมิเตอร์ (Durometer) ชนิด Shore D

3.4.2 การหาค่าจุดอ่อนตัวไวแคท (Vicat softening point) โดยวิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1525 ด้วยเครื่อง Vicat tester

3.4.3 การหาค่าความดัดโค้ง (bending test) โดยวิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1525 ด้วยเครื่อง LLOYD 500

3.5 การทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

3.5.1 นำขวดพลาสติกทั้งประเภทน้ำดื่มและน้ำอัดลม มาบดคละกันโดยไม่แยกประเภท แล้วโกลโคไลซ์ด้วยโพพิลีนไกลคอล โดยใช้พลาสติก : ไกลคอล เท่ากับ 40 : 60 ด้วยวิธีเดียวกับข้อ 3.1

3.5.2 นำผลที่ได้ไปทำปฏิกิริยากับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ เพื่อที่จะสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ด้วยวิธีเดียวกับข้อ 3.2 แล้วนำผลที่ได้ไปตรวจสอบด้วยเครื่อง IR spectrophotometer และ เครื่อง DSC (Differential Scanning Calorimetry) แล้วเปรียบเทียบกับเรซินที่ได้จากโรงงาน

3.5.3 นำเรซินที่สังเคราะห์ได้ และเรซินจากโรงงานมาขึ้นรูปเป็นขึ้นทดสอบ โดยใช้ใยแก้ว 30 % โดยน้ำหนัก

3.5.4 นำขึ้นทดสอบไปทดสอบสมบัติต่างๆ

3.6 การทำหินอ่อนเทียม

ใช้เรซินที่สังเคราะห์ได้จากข้อ 3.5.2 มาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ให้มีลักษณะคล้ายหินอ่อนธรรมชาติ โดยจะใช้แคลเซียมคาร์บอเนตผสมเข้าไปในเรซินประมาณ 1 เท่าของเรซินโดยน้ำหนัก แล้วจึงเติมผงสีเพื่อทำให้เกิดลวดลาย เมื่อเรซินแข็งตัวให้นำไปขัดตกแต่งด้านหลังด้วยกระดาษทราย (เทคนิคของการผสมและการทำให้เกิดลวดลาย ขึ้นกับความชำนาญของผู้ผลิต)

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการย่อยสลายขวดพลาสติกทางเคมี

ผลการย่อยสลายพลาสติกจากขวดน้ำมันพืช ขวดน้ำอัดลม ขวดน้ำดื่ม และขวดน้ำดื่มผสมขวดน้ำอัดลม แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการย่อยสลายขวดพลาสติกด้วยไกลคอล

สูตรที่	พลา : ไกลคอล	น้ำหนักที่ได้ (กรัม) *	ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้	ค่าไฮดรอกซิล mg of KOH/g
1	ขวดน้ำมันพืช พลา : EG 35 : 65	--	ไหม้เกรียมเป็นสีน้ำตาลเข้ม	--
		--	ไหม้เกรียมเป็นสีน้ำตาลเข้ม	--
3	ขวดน้ำดื่ม พลา : EG 35 : 65	107.93	ผงสีขาว	703.49
		119.10	ผงสีขาว	665.12
5	พลา : PG 40 : 60	248.60	ของเหลวใสสีฟ้า	765.21
		171.20	ของเหลวใสสีฟ้า	540.31
7	พลา : DEG 40 : 60	242.20	ของเหลวใสสีเขียว	850.25
		172.40	ของเหลวใสสีเขียว	539.64
9	ขวดน้ำอัดลม พลา : EG 35 : 65	121.23	ผงสีครีม	464.73
		115.5	ผงสีขาว	550.00
11	พลา : PG 40 : 60	230.50	ของเหลวใสสีเขียว	811.05
		241.50	ของเหลวใสสีเขียว	791.21
13	น้ำดื่ม+น้ำอัดลม พลา : EG 35 : 65	114.01	ผงสีขาว	622.49
		109.21	ผงสีขาว	511.63
15	พลา : PG 40 : 60	241.64	ของเหลวใสสีเขียว	810.27
		246.23	ของเหลวใสสีเขียว	865.38

* น้ำหนักขวดพลาสติกเริ่มต้น 96 กรัม

4.2 ผลการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ชนิดที่ไม่อิมิตัว

ผลการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซิน ชนิดไม่อิมิตัว จากขวดเพทที่ใช้แล้วประเภทต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2

4.3 ลักษณะของพอลิเอสเตอร์แข็ง

ตารางที่ 3 แสดงลักษณะของพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิมิตัวที่ขึ้นรูปได้

ตารางที่ 2 แสดงผลการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิมิตัว

สูตรที่	น้ำหนักที่ได้ (กรัม)	ลักษณะของพอลิเอสเตอร์เรซิน
ขวดน้ำดื่ม		
3	153.72	ของแข็งสีขาวขุ่น มีความอ่อนตัว นิ่ม
4	180.51	ของแข็งสีขาวขุ่น มีความอ่อนตัว นิ่ม
5	347.25	ของเหลวขุ่นสีครีม มีความหนืดสูง
6	208.23	ของเหลวขุ่นสีครีม มีความหนืดสูง
7	345.31	ของเหลวขุ่นสีครีม มีความหนืดสูง
8	204.57	ของเหลวขุ่นสีครีม มีความหนืดสูง
ขวดน้ำยัดลม		
9	162.47	ของแข็งสีน้ำตาล มีความอ่อนตัว นิ่ม
10	177.89	ของแข็งสีขาวขุ่น มีความอ่อนตัว นิ่ม
11	351.35	ของเหลวขุ่นสีเขียวอ่อน มีความหนืดสูง
12	348.42	ของเหลวขุ่นสีเขียวอ่อน มีความหนืดสูง
ขวดน้ำดื่ม+น้ำยัดลม		
13	161.48	ของแข็งสีขาวขุ่น มีความอ่อนตัว นิ่ม
14	157.32	ของแข็งสีครีม มีความอ่อนตัว นิ่ม
15	367.52	ของเหลวขุ่นสีเขียวอมเหลือง มีความหนืดสูง
16	351.31	ของเหลวขุ่นสีเขียวอมเหลือง มีความหนืดสูง

ตารางที่ 3 แสดงลักษณะของพอลิเอสเตอร์แข็งซึ่งขึ้นรูปโดยการหล่อ

สูตรที่	ลักษณะของพอลิเอสเตอร์แข็ง
เรซินจากโรงงาน ขวดน้ำดื่ม	ใสไม่มีสี โปร่งใส ไม่มีลวดลาย มีความเงามากที่สุด
3	มีสีครีม ทึบแสง ไม่มีลวดลาย มีความเงาเล็กน้อย
4	มีสีครีม ทึบแสง ไม่มีลวดลาย มีความเงาเล็กน้อย
5	มีสีเหลือง โปร่งแสง ไม่มีลวดลาย มีความเงามากกว่า
6	มีสีส้มออกน้ำตาล โปร่งแสง มีความเงามากกว่า EG
7	มีสีครีมออกเหลือง โปร่งแสงเล็กน้อย ไม่มีลวดลาย ความเงาน้อยกว่าของ PG แต่มากกว่าของ EG
8	มีสีครีมออกเหลือง โปร่งแสงเล็กน้อย ไม่มีลวดลายความเงาน้อยกว่าของ PG แต่มากกว่าของ EG

ต่อ =>

สูตรที่	ลักษณะของพอลิเอสเตอร์แข็ง
ขวดน้ำอัดลม	
9	มีสีน้ำตาล ทึบแสง ไม่มีลวดลาย ผิวด้าน ไม่เงา
10	มีสีเหลืองอ่อน ทึบแสง ไม่มีลวดลาย มีความเงาเล็กน้อย
11	มีสีครีม โปร่งแสง ไม่มีลวดลาย มีความเงามากกว่า EG
12	มีสีเหลือง โปร่งแสงเล็กน้อย มีความเงาเล็กน้อย
น้ำดื่ม+น้ำอัดลม	
13	มีสีครีมออกเหลือง ทึบแสง ผิวหน้าด้าน ไม่เงา
14	มีสีเหลืองอ่อน ทึบแสง ไม่มีลวดลาย มีความเงาเล็กน้อย
15	สีเหลืองอ่อน โปร่งแสงมากที่สุด มีความเงามากกว่า EG
16	มีสีเหลือง โปร่งแสงเล็กน้อย มีความเงาเล็กน้อย

4.4 ผลการทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบ

4.4.1 ความแข็ง (hardness) ผลการทดสอบความแข็งด้วยเครื่องดูโรมิเตอร์ ชนิด Shore D แสดงไว้ในตารางที่ 4

4.4.2 จุดอ่อนตัว (softening point) ผลการหาจุด

อ่อนตัวของพอลิเอสเตอร์แข็ง ด้วยเครื่อง Vicat Tester แสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาค่าความแข็งของพอลิเอสเตอร์แข็ง

สูตรที่	ความแข็ง (Shore D)						เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	
เรซินจากโรงงาน							
ขวดน้ำดื่ม							
3	50	52	50	65	46	55	53.0
4	65	60	70	65	80	70	68.3
5	55	55	70	60	60	55	59.2
6	32	30	31	47	80	41	43.5
7	70	70	70	85	90	85	78.3
8	50	60	40	53	60	52	52.5
ขวดน้ำอัดลม							
9	80	50	52	50	47	50	54.8
10	55	65	65	50	60	58	58.8
11	80	75	75	80	80	75	77.5
12	80	80	80	60	70	70	73.3
น้ำดื่ม+น้ำอัดลม							
13	46	35	65	60	50	55	51.8
14	46	65	70	45	65	55	57.6
15	85	75	70	85	85	85	80.8
16	60	62	82	70	72	70	69.3

ตารางที่ 5 จุดอ่อนตัวของพอลิเอสเตอร์แข็ง

สูตรที่	จุดอ่อนตัว (องศาเซลเซียส)
เรซินจากโรงงาน	91.2
ขวน้ำต็ม	
3,4	> 150
5,6	> 150
7,8	> 150
ขวน้ำอัดลม	
9	> 150
10	> 150
11	120.0
12	> 150
น้ำต็ม+น้ำอัดลม	
13	135.5
14	135.0
15	138.0
16	> 150

ตารางที่ 6 ค่าความดัดโค้งของพอลิเอสเตอร์แข็ง

ชนิดของชั้นทดสอบ (ชนิดขวด : โกลคอลล)	bending strength (N/mm ²)
น้ำต็ม : EG 40:60	25.21
อัดลม : EG 40:60	30.51
ผสม : EG 40:60	21.80
น้ำต็ม : PG 40:60	21.61
อัดลม : PG 40:60	38.40
ผสม : PG 40:60	25.15
น้ำต็ม : DEG 40:60	38.40
อัดลม : DEG 40:60	22.33
ผสม : DEG 40:60	38.40
เรซินจากโรงงาน	17.20

4.4.3 BENDING STRENGTH ผลการทดสอบ
ค่าความดัดโค้งแสดงไว้ในตารางที่ 6

4.5 ผลการทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

4.5.1 ลักษณะและสมบัติของเรซินที่สังเคราะห์ได้

1. เป็นของเหลวหนืดสีเหลืองอมน้ำตาล โปร่งแสง

2. ความหนืดของเรซินเท่ากับ 992 เซนติ-พอยส์ (วัดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer) เท่ากับเรซินของโรงงาน

3. เรซินที่สังเคราะห์ได้เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง IR และ DSC เปรียบเทียบกับเรซินของโรงงาน แสดงไว้ในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

จากรูปที่ 1 จะเห็น peak ที่ตำแหน่ง 1725 ซึ่งเป็นของ C=O และ 1269 เป็นของ C-O ที่อยู่ในหมู่เอสเตอร์ ส่วนตำแหน่งที่ 1646 เป็นของ C=C ในอะโรมาติกของสไตรีน และตำแหน่ง 2700-3994 เป็นของหมู่ OH ซึ่งมีอยู่ในน้ำหรือไกลคอล ถ้านำกราฟทั้ง 2 ซ้อนกัน ก็จะได้ peak ที่ใกล้เคียงกัน

รูปที่ 2 (ก) จะแสดง T_m ของเรซินที่สังเคราะห์ได้เท่ากับ 220.10 องศาเซลเซียส รูปที่ 2 (ข) แสดงการเปลี่ยนเฟสที่อุณหภูมิ 131.81 องศาเซลเซียส และ T_m ที่อุณหภูมิ 206.60 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าของเรซินที่สังเคราะห์ได้และ peak จะกว้างกว่า เนื่องจากการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลมากนั่นเอง

4.5.2 สมบัติของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

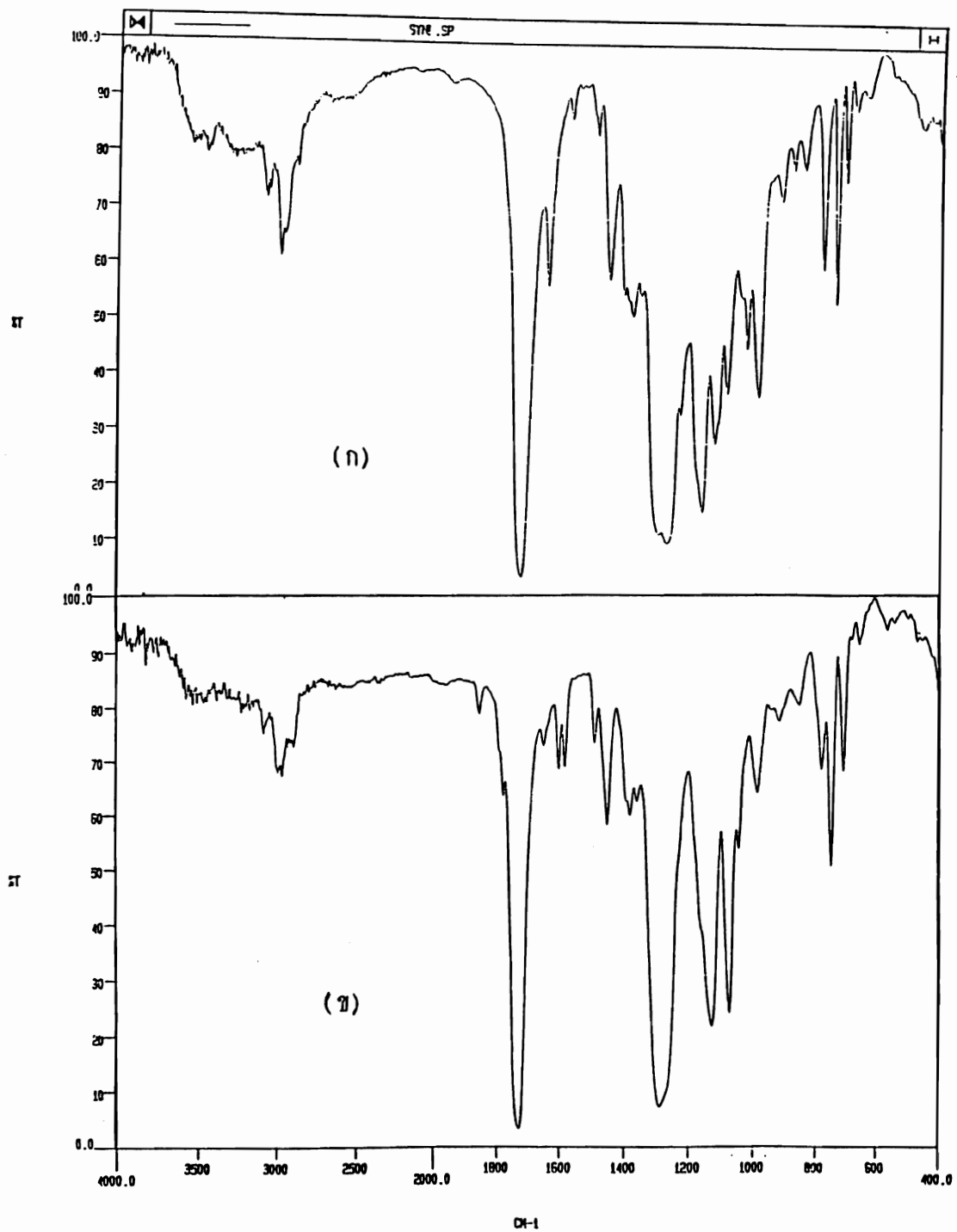
สมบัติต่างๆ ของเรซินที่สังเคราะห์ได้ ทั้งที่ไม่เสริมใยแก้วและเสริมใยแก้ว 30 % เมื่อเปรียบเทียบกับเรซินจากโรงงานจะแสดงไว้ในตารางที่ 7

4.6 ผลการทำหินอ่อนเทียม

เรซินที่ใช้ทำหินอ่อนเทียมจะเป็นชนิดเดียวกับที่ทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสจากการใส่แคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อและน้ำหนักมากขึ้นเพื่อให้มีลักษณะใกล้เคียงหินอ่อนธรรมชาติ และสมบัติต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 8 และตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปได้แสดงไว้ในรูปที่ 3

ตารางที่ 7 สมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

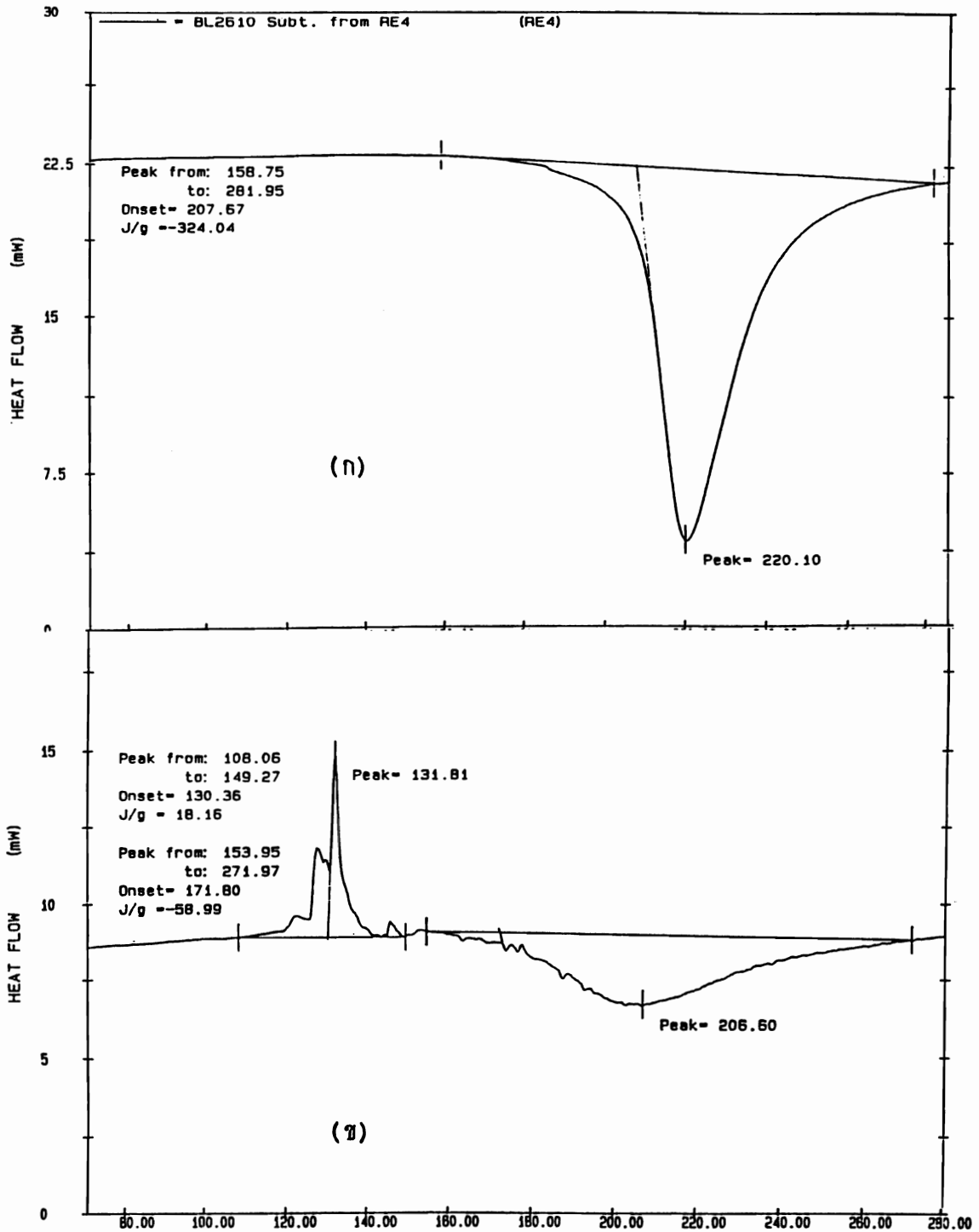
สมบัติ	เรซินโรงงาน	เรซินโรงงาน + 30% ใยแก้ว	เรซินสังเคราะห์	เรซินสังเคราะห์ + 30% ใยแก้ว
ความแข็ง (Shore D)	64.2	81.6	82.5	92
Bending Strength (N/mm ²)	17.2	35.9	26.3	42.8
จุดอ่อนตัว ไวแคต (°C)	91.2	125	135	>150



รูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิมิตัวด้วยเครื่อง IR Spectrophotometer

(ก) เรซินที่สังเคราะห์ได้

(ข) เรซินจากโรงงาน



Date: Oct 26, 1994 11:11am
 Scanning Rate: 20.0 C/min
 Sample Wt: 5.800 mg Path: a:\n
 File 1: RES

Temperature(C)

PERKIN-ELMER DSC7

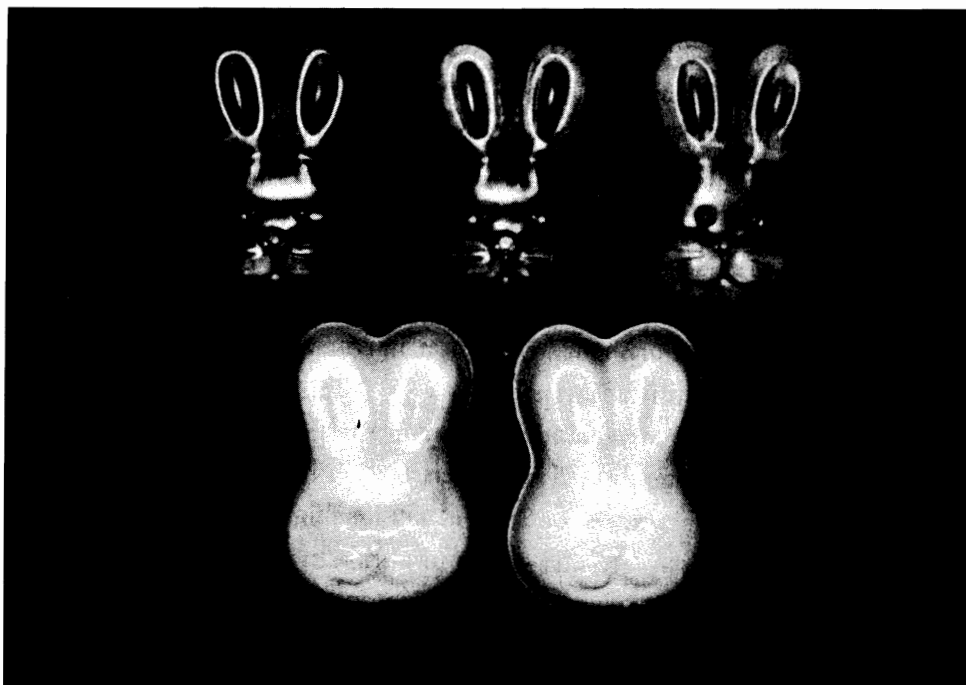
รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์พอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวด้วยเครื่อง DSC

(ก) เรซินที่สังเคราะห์ได้

(ข) เรซินจากโรงงาน

ตารางที่ 8 สมบัติของผลิตภัณฑ์หินอ่อนเทียม

สมบัติ	เรซิน โรงงาน	เรซินโรงงาน + CaCO ₃	เรซินสังเคราะห์	เรซินสังเคราะห์ + CaCO ₃
ความแข็ง (Shore D)	64.2	75.8	82.5	86.3
Bending Strength (N/mm ²)	17.2	14.6	26.3	19.4
จุดอ่อนตัว ไวแคต (°C)	91.2	>150	135	>150



รูปที่ 3 ตัวอย่างชิ้นงานซึ่งขึ้นรูปด้วยเรซินที่สังเคราะห์ได้

5. สรุปผลการทดลอง

5.1 ผลจากการย่อยสลายขวดพลาสติก

5.1.1 การย่อยสลายขวดพลาสติกประเภทขวดน้ำมันพืช ไม่สามารถทำได้เนื่องจากเกิดการไหม้เกรียมขึ้นเสียก่อน อาจเนื่องจาก เพทที่ใช้ทำขวดน้ำมันพืชเป็นคนละเกรดกับที่ใช้ทำ ขวดน้ำอัดลมหรือขวดน้ำดื่ม หรือมีเจนนั้ผู้ผลิตน้ำมันพืชอาจ ใช้ขวดพีวีซีมาบรรจุน้ำมันพืช ซึ่งเป็นการยากในการคัดเลือก หรือแบ่งประเภทของขวดอย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงไม่ใช้ขวดน้ำมัน พืชในการย่อยสลาย เพื่อนำไปสังเคราะห์เป็นพอลิเอสเตอร์ชนิด ไม่อ้อมตัว เพราะจะยุ่งยากในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

5.1.2 ผลที่ได้จากการไกลโคไลซ์เพทด้วย EG จะเป็นตะกอนแข็งสีขาวที่อุณหภูมิห้อง จึงสามารถกรองและล้าง ด้วยน้ำเอาไกลคอลอิสระ และสารอื่นๆที่เหลือจากปฏิกิริยาออกไปได้ ซึ่งต่างจากการไกลโคไลซ์ด้วย PG และ DEG จะได้ เป็นของเหลวใส เมื่อตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก็ไม่มี ตะกอนเกิดขึ้น และเมื่อสกัดด้วยน้ำจะได้ตะกอนที่มีขนาดเล็ก มากจนไม่สามารถทำการกรองได้ ดังนั้นจึงลดขั้นตอนการล้าง ไกลคอลอิสระออกไป และใช้สารที่ได้จากปฏิกิริยาไกลโคไลซิส ไปทำการพอลิเมอไรส์ เป็นพอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อ้อมตัวได้เลย

5.1.3 Glycolized products ซึ่งได้จากการย่อย สลายด้วย PG และ DEG จะเป็นของเหลวใส อาจมีสีฟ้าอ่อน หรือเขียวอ่อน ทั้งนี้เพราะขวดน้ำอัดลมและขวดน้ำดื่มบางชนิด มีสี ซึ่งจะส่งผลให้พอลิเอสเตอร์เรซินที่สังเคราะห์ได้มีสีแตกต่างกัน ไปเล็กน้อย จึงเหมาะจะนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ไม่เข้มงวด ด้านสีมากนักหรือใส่ผงสีเข้าไป เพื่อช่วยให้มีสีสันสวยงามขึ้น

5.2 ผลจากการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อ้อมตัว

5.2.1 กรดไม่อ้อมตัวที่นำมาทำปฏิกิริยา ได้แก่ มาลิ- อิกแอนไฮไดรต์และฟูมาริกแอซิดผลปรากฏว่าฟูมาริกแอซิด ซึ่งเป็นของแข็ง จะไม่หลอมละลาย ณ อุณหภูมิที่ใช้สังเคราะห์ (180 องศาเซลเซียส) ทำให้ลำบากในการกวนสารและไม่เกิด ปฏิกิริยาแม้เวลาผ่านไป จึงใช้เฉพาะมาลิอิกแอนไฮไดรต์ ซึ่ง สามารถควบคุมปฏิกิริยาได้ง่ายกว่า

5.2.2 พอลิเอสเตอร์เรซินซึ่งได้จาก glycolized products ของ EG จะมีความหนืดสูงมากเรซินจะแข็งติด ขวดแก้ว จึงต้องรีบเทออกจากขวดก่อนที่เรซินจะเย็นลง และ เมื่อตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เรซินจะมีลักษณะเป็นของ แข็งสีขาวขุ่นนึ้ๆ ไม่สามารถละลายในสไตรีนโมโนเมอร์ที่ อุณหภูมิห้อง เพราะพอลิเอสเตอร์เรซินที่ได้จาก EG จะมีความ สม่ำเสมอของโครงสร้างมากกว่าที่ได้จาก PG และ DEG

จึงสามารถเกิดผลึกได้ การละลายเรซินในสไตรีนโมโนเมอร์ ต้องเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น (100 องศาเซลเซียส) แต่เมื่อเรซิน เย็นตัวลงก็จะแข็งติดบีกเกอร์อีก ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในการ ขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ เพราะก่อนใช้งานต้องนำไปทำให้ร้อน ก่อนจึงจะเทลงในแม่แบบได้ ซึ่งเป็นวิธีที่ยุ่งยากและสิ้นเปลือง สำหรับพอลิเอสเตอร์เรซินที่ได้จาก glycolized product ของ PG และ DEG จะมีลักษณะเป็นของเหลวใสความหนืดสูงที่ อุณหภูมิห้อง และเนื่องจากใน glycolized product ยังมี ไกลคอลอิสระปนอยู่ ซึ่งสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับมาลิ- อิกแอนไฮไดรต์ได้เช่นกัน แต่จะได้พอลิเอสเตอร์ที่โมเลกุลมี ขนาดเล็กกว่า จึงเป็นของเหลวไหลได้ ณ อุณหภูมิห้อง และ สามารถละลายใน สไตรีนโมโนเมอร์ได้ง่ายกว่า เหมาะที่จะนำ ไปใช้งานด้านการหล่อ

5.2.3 พอลิเอสเตอร์เรซินที่ได้จาก PG และ DEG จะมีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่พบว่าอัตราส่วนระหว่างเพทและ ไกลคอลที่เหมาะสมคือ 40:60 เพราะจะให้ปริมาณเรซินออกมา มากกว่าการใช้ในอัตรา 60:40 ดังแสดงในตารางที่ 1 และไม่ว่าจะใช้ขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำอัดลม หรือขวดทั้งสองชนิดผสมกัน ผลที่ได้จะไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้น ในทางปฏิบัติหน้าที่ใช้ ขวดทั้งสองชนิดปะปนกันไปโดยไม่ต้องคัดแยก

5.3 ผลจากการขึ้นรูปและทดสอบสมบัติ

5.3.1 เมื่อพิจารณาสมบัติในด้านสี และความใส ของชิ้นงาน จะพบว่าเรซินที่ได้จาก PG จะดีที่สุดเพราะให้ชิ้น งานที่โปร่งแสงมากที่สุด สำหรับเรซินที่ได้จาก DEG จะโปร่ง แสงน้อยกว่า และจาก EG จะทึบแสง สีของชิ้นงานจะออกไป ในโทนสีเหลือง ซึ่งแตกต่างจากเรซินที่ได้จากโรงงาน ซึ่งมี ลักษณะใสและไม่มีสี ทั้งนี้เนื่องจาก เรซินที่สังเคราะห์ได้มา จากขวดเพท ซึ่งได้มีการเติมสารเติมแต่งลงไปในช่วง กระบวนการผลิต

5.3.2 เมื่อพิจารณาสมบัติด้านความแข็งแรงของชิ้น ทดสอบ พบว่าชิ้นทดสอบที่ได้จากเพท : ไกลคอล (EG, PG และ DEG) เท่ากับ 40 : 60 จะให้ค่าความแข็งแรงสูงกว่าอัตรา ส่วนอื่น และที่มีค่าความแข็งแรงมากที่สุดจะได้จากขวดน้ำดื่มผสม กับขวดน้ำอัดลม โดยการใช้ PG ซึ่งมีค่าความแข็งแรงมากกว่าชิ้น งานที่ได้จากเรซินของโรงงาน ดังแสดงในตารางที่ 4

5.3.3 เมื่อพิจารณาสมบัติด้านจุดอ่อนตัวไวแคต จะได้ว่าจุดอ่อนตัวไวแคตของเรซินจากโรงงานมีค่า 91.2 องศา เซลเซียส ซึ่งจะต่ำกว่าของเรซินที่สังเคราะห์ได้ทุก ๆ สูตร และ บางสูตรจะสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 5 ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถทนความร้อนได้มากขึ้น

5.3.4 เมื่อพิจารณาสมบัติด้าน bending strength พบว่าเรซินของโรงงานจะมีค่าต่ำกว่าเรซินที่สังเคราะห์ได้ ดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งจะทดสอบกับเรซินที่ได้จากเพท : โกลคอลลในอัตราส่วน 40 : 60 เท่านั้น จะเห็นว่าชั้นทดสอบที่ได้จากขวดน้ำดื่ม : PG, ขวดน้ำดื่ม : DEG และ ขวดผสม : DEG จะให้ค่าสูงสุดและเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากชั้นทดสอบไม่แตกหัก แต่จะโค้งงอไปตามแรงกด จนกระทั่งชั้นทดสอบงอไปแตะพื้น ทำให้ไม่สามารถกดต่อไปได้อีก จึงเป็นชั้นทดสอบที่มีความเหนียวมากกว่าชั้นทดสอบอื่น

5.4 ผลจากการทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสและหินอ่อนเทียม

5.4.1 จากการทำทดสอบที่ผ่านมาพบว่าเรซินที่สังเคราะห์ได้จากขวดน้ำอัดลม ขวดน้ำดื่ม และขวดน้ำอัดลมผสมขวดน้ำดื่ม จะให้สมบัติที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องแยกประเภทขวด เพื่อความสะดวกในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม และเลือกใช้ PG ในการโกลโคไลซ์เพท เนื่องจากให้สมบัติที่ดีและราคาถูกกว่าโกลคอลลชนิดอื่น

5.4.2 รูปที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์เรซินด้วยเครื่อง IR จะเห็นว่าตำแหน่งของการเกิด peak สำคัญๆ นั้นอยู่ที่เดียวกัน จะต่างกันที่ความสูงของ peak แสดงว่าเรซินทั้งสองมีองค์ประกอบใกล้เคียงกัน จะเห็นว่าเรซินที่สังเคราะห์ได้จะมีปริมาณสไตรีนมากกว่า (ดูจาก peak ที่ตำแหน่ง 1646) ซึ่งอาจมีผลทำให้การเชื่อมโยงโมเลกุลมากกว่า ดังนั้นความแข็งของผลิตภัณฑ์จึงสูงกว่า (จากตารางที่ 7)

รูปที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์เรซินด้วยเครื่อง DSC จะเห็นว่า เรซินจากโรงงานจะมีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าเรซินที่สังเคราะห์ได้ ทำให้มีสมบัติทางกายภาพและเชิงกลที่ต่ำกว่า นอกจากนี้จะเห็นว่าจุดหลอมเหลวของเรซินที่สังเคราะห์ได้จะสูงกว่าเรซินของโรงงาน ทั้งนี้เนื่องจากเรซินที่สังเคราะห์ได้มีการเชื่อมโยงโมเลกุลมากกว่านั่นเอง

5.4.3 ชั้นทดสอบไฟเบอร์กลาส ที่ทำจากเรซินสังเคราะห์ จะให้สมบัติทางกายภาพและเชิงกลเหนือกว่าเรซินที่ได้จากโรงงาน เพราะให้ค่าความแข็ง, bending strength และจุดอ่อนตัวที่สูงกว่า (ตารางที่ 7) แต่ชั้นทดสอบที่ได้จะไม่ใสเหมือนจากเรซินของโรงงาน อีกทั้งยังมีสีเหลืองอมน้ำตาล จึงเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่คำนึงถึงสีเป็นสำคัญ แต่อาจใช้ผงสีปิดบังสีเดิมของเรซินได้

5.4.4 การทำหินอ่อนเทียม สามารถทำได้จากเรซินสังเคราะห์ เช่นเดียวกัน โดยใส่แคลเซียมคาร์บอเนตเข้าไปเพื่อเพิ่มเนื้อและน้ำหนัก ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงหินอ่อนธรรมชาติ นอกจากนี้ยังทำให้ผงสีกระจายตัวในเรซินได้ดีและมีสีสดใสขึ้น เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตช่วยให้เรซินมีเนื้อที่ทึบแสง จากตารางที่ 8 แสดงให้เห็นว่าเรซินที่ได้จากการสังเคราะห์จะให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลที่ดีสำหรับลวดลายของหินอ่อนเทียม ต้องอาศัยความชำนาญของผู้ผลิตเป็นสำคัญ

เอกสารอ้างอิง

1. พิษิต เลี่ยมพิพัฒน์ และ ส. จิว มานะศิลป์ , “พลาสติกหล่อ” กองบริการอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, 2521.
2. ASTM D 790M, Annual Book of ASTM Standards, Section 8, Volume 08.01, Plastics(1) C 177-D 1600, 1984.
3. ASTM D 1525, Annual Book of ASTM Standards, Section 8, Volume 08.01, Plastics(1) C 177-D 1600, 1984.
4. ASTM D 2240, Annual Book of ASTM Standards, Section 9, Volume 08.02, Plastics (11) D 1601-D 3099, 1984.
5. A. Fujita, M. Sato and M. Murakami, U.S. Pat. 4, 609, 680, 1986.
6. G.R. Smoluk, Modern Plastics, 65(2), 87(1988).
7. H.S. Ostroski, U.S. Pat. 3, 884, 850, 1975.
8. J. R. Lawrence, Polyester Resins, Plastics Application series, Reinhold Publishing Corporation, 1960.
9. K. Miura, Y. Kagiya, and T. Ichikawa, Japan Pat. 6, 823, 449, 1968.
10. M. Matsuura, T. Habara and Y. Katagiri, Japan Kobai Pat. 7, 571, 639, 1975.
11. S. Baliga and T. Wong, “Depolymerization of Poly (ethylene terephthalate) Recycled from Post-Consumer Soft-Drink Bottles,” J. of Polymer Science : Part A: Polymer Chemistry, John Wiley & Sons, Vol. 27, 2071-2082, 1989.
12. U.R. Vaidya and V.M. Nadkarni, “Unsaturated Polyesters From PET Waste : Kinetics of Polycondensation”, J. of Applied Polymer Science, Vol.34, 235-245, 1987.
13. U.R. Vaidya and V.M. Nadkarni, “Unsaturated Polyester Resins from Polyethylene terephthalate Waste. 1. Synthesis and Characterization” Ind. Eng. Chem. Res., 26, 194-198, 1987.
14. U.R. Vaidya and V.M. Nadkarni, “Unsaturated Polyester Resins from Polyethylene terephthalate Waste 2. Mechanical and Dynamic Mechanical Properties”, Ind. Eng. Chem. Res. 27, 2056-2060, 1988.