Journal of Metals, Materials and Minerals. Vol. 8 No. 1, pp. 11-20, 1998.

Preliminary Experiment of Low Molar Mass Thermotropic Liquid Crystal as a Plasticizer of Polycarbonates

Aunchana CHUENCHAOKIT, Ml. Supakanok THONGYAI, and Suraphan POWANUSORN

Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Abstract

This work was a preliminary experiment to study effect of low molar mass thermotropic liuid crystal on properties of polycarbonates (PC). The blends of PC and a liquid crystal in cyclohexyl – biphenylcyclohexane group (CBC33) at low concentration range were prepared by melt mixing at three different concentrations (0.25, 0.5 and 1% by weight of CBC33). The shear viscosity of pure PC and their blends were investigated using a Capillary Rheometer, the tensile strength were test by a Tensile Testing Machine and the glass transition temperature were measured by Differential Scanning Calorimeter (DSC). Experimental results showed that the viscosity of the blends with only small weight fraction (1%) of CBC33 is about 90% lower than that of the pure PC, while their tensile strength is tiny different. DSC thermograms also show the decreasing in the glass transition temperatuer of PC. This indicates low molar mass thermotropic liquid crystal can act as plasticizer for PC.

การศึกษาผลึกเหลวชนิดเทอร์โมโทรปิกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เพื่อใช้เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกของพอลิคาร์บอเนต

อัญชนา ชื่นเชาว์กิจ, ม.ล. ศุภกนก ทองใหญ่, และสุรพันธ์ โปวอนุสรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate, PC) ซึ่งเป็นพลาสติกวิศวกรรมชนิดหนึ่ง กำลังเป็นที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเลคทรอนิก แต่ข้อด้อยในการใช้งานของพอลิคาร์บอเนตคือ ความหนืดสูง ทำให้หล่อขึ้นรูปได้ยาก ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงสารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) ที่จะช่วยลดความหนืดขณะใช้งานของพอลิคาร์บอเนตโดยใช้ผลึกเหลวชนิดเทอร์โมโทรปิก ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำในกลุ่มของ ไซโคลเฮกซิล-ไบฟีนิล ไซโคลเฮกเซน(cyclohexyl–biphenylcyclohexane) คือ CBC33 ของผสมของพอลิคาร์บอเนตและผลึกเหลวชนิดเทอร์โมโทรปิก

ถูกเตรียมขึ้นด้วยวิธีการหลอมละลาย (melt mixing) โดยผสมผลึกเหลวชนิด-เทอร์โมโทรปิกในอัตราส่วนเพียงเล็กน้อยคือ 0.25, 0.5 และ 0.1% โดยน้ำหนักทำการวัดความหนืดของของผสมเปรียบเทียบกับพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิ 290°C, วัดสมบัติทางแรงดึงโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Test Machine) และวัดค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, Tg) โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเติมผลึกเหลวชนิดเทอร์โมโทรปิกลงไปในปริมาณเพียง 1% สามารถลดความหนืดของพอลิคาร์บอเนตลงได้ถึง 90% โดยที่สมบัติทางแรงดึงเปลี่ยนแปลงไปจากพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของของผสมลดลงด้วย จึงสามารถสรุปได้ว่าผลึกเหลวชนิดเทอร์โมโทรปิก เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกสำหรับพอลิคาร์บอเนต

บทนำ

พอลิคาร์บอเนต (Charrier, 1991; and Bramdrup, *et al.* 1989) เป็นพลาสติกวิศวกรรมชนิดหนึ่งที่กำลังเป็นที่นิยมใช้กันมากใน อุตสาหกรรม ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นในด้านต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการใช้งาน คือ

1. คุณสมบัติเชิงกลที่ดี สามารถทนต่อแรงดึง แรงกด แรงกระแทกได้สูง
2. มีคุณสมบัติเชิงความร้อนที่ดี สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงถึง 140 °C โดยไม่เปลี่ยนแปลงสภาพใด ๆ
3. มีความโปร่งใส
4. เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก
5. ทนไฟ และเมื่อติดไฟสามารถดับได้เอง

ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวข้าวต้นทำให้มีการใช้งานพอลิ- คาร์บอเนตอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเลคทรอนิกและในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น ชิ้นส่วนรถยนต์ และแผ่นคอมแพคดิสก์ (compact disc, CD)

จากคุณสมบัติทางกลและทางความร้อนดังกล่าวทำให้เกิดปัญหาในการนำพอลิคาร์บอเนตไปใช้งานกล่าวคือ การหลอมละลายเพื่อขึ้นรูปทำที่อุณหภูมิสูงและเมื่อหลอมแล้วมีความหนืดสูง ทำให้การนำไปหล่อขึ้นรูปทำได้ลำบาก จึงได้มีการค้นคว้าวิจัยหาสารเสริมสภาพพลาสติก เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

ผลึกเหลว (Liquid Crystal) (Fles, 1995) เป็นสารประกอบที่มีสถานเป็นของแข็งในสภาวะปกติที่อุณหภูมิห้องแต่เมื่อเปลี่ยนสภาพไปเป็นของเหลวไม่ว่าจะโดยการละลาย หรือโดยการหลอมจะกลายเป็นของเหลวที่มีความเป็นระเบียบสูง (Anisotropic properties) ผลึกเหลวที่เปลี่ยนสภาพโดยการละลายเรียกว่า ผลึกเหลวชนิดไลโอโทรปิก (Lyotropic Liquid Crystal) ส่วนผลึกเหลวที่เปลี่ยนสภาพโดยการหลอมเรียกว่า ผลึกเหลวชนิดเทอร์โมโทรปิก (Thermotropic Liquid Crystal)

ผลึกเหลวชนิดเทอร์โมโทรปิก (Fles, 1995) เมื่อหลอมละลายที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความเป็นระเบียบจะค่อยๆ เปลี่ยนแปลงลดลงจนกระทั่งถึงที่อุณหภูมิค่าหนึ่งจะกลายเป็นของเหลวธรรมดา (isotropic liquid) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลึกเหลวชนิดเทอร์โมโทรปิก จะสามารถแบ่งแยกออกได้ 4 ขั้นตอน คือ จากที่เป็นผลึกของแข็ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ จะเปลี่ยนแปลงเป็นโครงสร้างที่มีความเป็นระเบียบเป็นชั้นๆ ในทิศทางเดียวกัน จากนั้นความเป็นระเบียบจะลงลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ เหลือความเป็นระเบียบเป็นชั้นๆ หรือในทิศทางหนึ่งๆ เท่านั้น จนกระทั่งถึงอุณหภูมิค่าหนึ่งเรียกว่า อุณหภูมิไอโซโทรปิก (Isotropic temperature หรือ Clearing temperature , Tc) ผลึกเหลวจะมีคุณสมบัติเหมือนของเหลวธรรมดา

crystal → smectic → nematic/chloresteric → isotropic

โครงสร้างแบบ smectic, nematic และ chloresteric แสดงดังรูปที่ 1, 2 และ 3

ผลึกเหลวที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงหรือพอลิเมอร์ผลึกเหลว (Liquid Crystalline Polymer, LCP)เป็นสารที่มีสายโซ่โมเลกุลยาว โดยมีผลึกเหลวต่อเป็นหน่วยที่ซ้ำๆ กันมีคุณสมบัติที่มีความเป็นระเบียบสูงทำให้เป็นสารพอลิเมอร์ที่มีลักษณะกึ่งผลึก (semicrystalline polymer) (Fles,1995) ทำให้มีลักษณะคล้ายเส้นใยและการใช้งานโดยส่วนใหญ่ก็จะอยู่ในเชิงเส้นใย.

งานวิจัยที่ผ่านมาไม่พบว่ามีการนำผลึกเหลว ชนิดเทอร์โมโทรปิกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมาผสมกับพอลิคาร์บอเนตมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่นำมาผสมกับพอลิเมอร์ตัวอื่นๆ โดย Buckley, *et al.* (1984) ได้ทำการศึกษาการนำผลึกเหลวชนิดเทอร์โมโทรปิกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมาผสมกับพอลิโอเลฟินส์และพอลิเอสเทอร์ พบว่า ผลึกเหลวชนิดเทอร์โมโทรปิกสามารถลดความหนืดของพอลิโอเลฟินส์และพอลิเอสเทอร์ได้ประมาณ 25–30%.

ส่วนพอลิเมอร์ผลึกเหลวพบว่ามีการนำไปผสมกับพอลิเมอร์หลายชนิดรวมทั้งพอลิคาร์บอเนต โดย Nobile, *et al.* (1989) ได้ทำการศึกษาการผสมพอลิคาร์บอเนตกับพอลิเมอร์ผลึกเหลวตัวหนึ่งคือ PET / PHB 60 โดยผสมแบบหลอมละลายพบว่า อัตราส่วนการใช้พอลิเมอร์ผลึกเหลว 5–10% สามารถลดความหนืดของพอลิคาร์บอเนตลงได้ 30-50%. Lin, *et al.* (1993) ได้ทำการศึกษาการผสมพอลิเมอร์ผลึกเหลวกับพอลิเอทธีลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate, PET) โดยผสมแบบหลอมละลายพบว่า อัตราส่วนการใช้พอลิเมอร์ผลึกเหลว 2% สามารถลดความหนืดของพอลิเอทธีลีนเทเรฟทาเลตลงได้ 60%. Heino, *et al.* (1991) ได้ทำการศึกษาการผสมพอลิเมอร์ผลึกเหลวกับพอลิเอทธีลีนเทเรฟทาเลต, พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) และพอลิฟีนิลีนซัลไฟด์ (Polyphenylene sulfide, PPS) โดยผสมแบบหลอมละลายพบว่าปริมาณการใช้พอลิเมอร์ผลึกเหลวประมาณ 20-30% จึงจะเห็นผลในการลดความหนืดของพอลิเมอร์ ได้ชัดเจน.

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

สารเคมี

1. พอลิคาร์บอเนตที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ กันจาก 2 บริษัท คือ 1.1 Aldrich Chemical Company , Inc. ที่มีความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ กัน 3 ตัวอย่างคือ PCM7, PCM10 และ PCM12

1.2 Bayer Co., Ltd. 1 ตัวอย่าง

2. ผลึกเหลวชนิดเทอร์โมโทรปิกของบริษัท Merck คือ CBC33

วัสดุอุปกรณ์

1.Digital Hot Plate Stirrer, 2.Hot Press, 3.Capillary Rheometer, 4. Tensile Test Machine และ 5. Differential Scanning Calorimeter

วิธีการทดลอง

1. ผสมของผสมระหว่างพอลิคาร์บอเนตชนิดต่างๆ CBC33 ในอัตราส่วน 0.25, 0.5 และ 1% โดยน้ำหนักของ CBC33, ผสมบน Digital Hot Plate Stirrer

2.เตรียมตัวอย่างที่ได้จากการผสมแล้วทั้งหมดและตัวอย่างของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์ให้มีขนาดตามต้องการ เพื่อนำไปวัดค่าความหนืดโดยใช้เครื่อง Capillary Rheometer

3.เตรียมตัวอย่างที่ได้จากการผสมแล้วทั้งหมดและตัวอย่างของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์ให้มีขนาด ตามต้องการ เพื่อนำไปวัดค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter

4.เตรียมตัวอย่างของของผสมระหว่างพอลิคาร์บอเนตของ Bayer และ CBC33 ที่อัตราส่วนการผสม 0.25 และ 0.5% และพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์วัดค่าความต้านทานแรงดึงเปรียบเทียบกันโดยใช้เครื่อง Tensile Test Machine

ผลการทดลอง

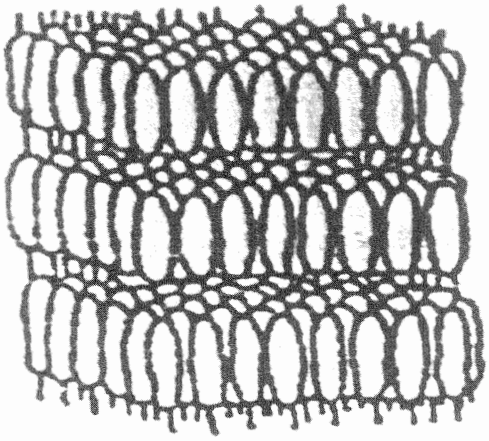
1.ผลการวัดค่าความหนืดของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์และของผสมระหว่างพอลิคาร์บอเนตกับ CBC33 ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 4 และ รูปที่ 4 ถึงรูปที่ 7

2.ผลการวัดค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์และของผสมระหว่างพอลิคาร์บอเนตกับ CBC33 ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆแสดงดังตารางที่ 5 และ รูปที่ 8

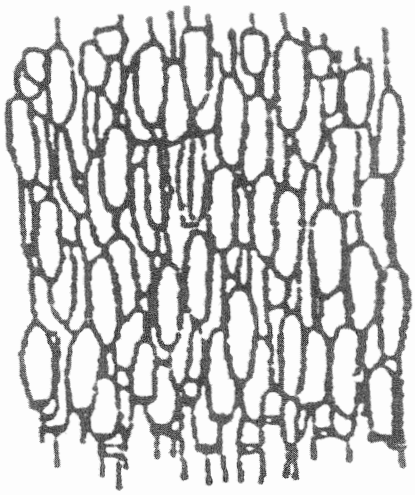
3.ผลการวัดค่าความต้านทานแรงดึงของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์และของผสมระหว่างพอลิคาร์บอเนตกับ CBC33 ที่อัตราส่วนการผสม 0.25 และ 0.5% โดยน้ำหนัก แสดงดังตารางที่ 6 และ รูปที่ 9

ตารางที่ 1 ค่าความหนืดของพอลิคาร์บอเนต PCM7 บริสุทธิ์ และของผสมที่อัตราส่วนการผสม CBC33 ต่างๆ กัน

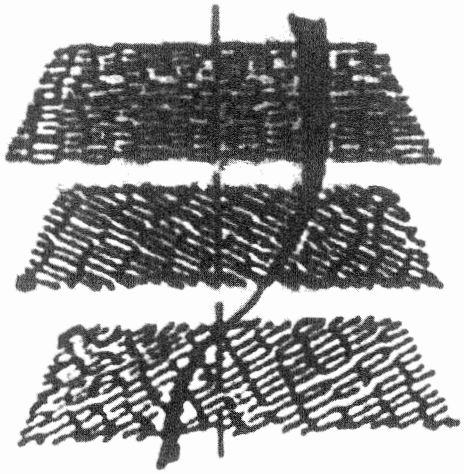
Shear rate	**Shear Viscosity (Pa.s)**			
(/s)	PURE PCM7	PCM7 + 0.25% CBC33	PCM7 + 0.5% CBC33	PCM7 + 1% CBC33
1800	322.9	112.64	62.71	33.10
2400	270.7	102.85	53.61	30.22
3000	236.4	92.78	47.47	27.29
3600	203.4	83.19	38.06	24.30
4800	174.3	69.04	31.42	20.30
6000	146.8	52.85	27.74	16.86
8400	104.0	41.01	29.84	14.24



รูปที่ 1 โครงสร้างแบบ Smectic



รูปที่ 2 โครงสร้างแบบ Nematic



รูปที่ 3 โครงสร้างแบบ Chloresteric

ตาราง ที่ 2 ค่าความหนืดของพอลิคาร์บอเนต PCM10 บริสุทธิ์ และของผสมที่อัตราส่วนการผสม CBC33 ต่างๆ กัน

Shear rate (/s)	**Shear Viscosity (Pa.s)**			
	PURE PCM10	PCM10 + 0.25% CBC33	PCM10 + 0.5% CBC33	PCM10 + 1% CBC33
1800	162.4	43.35	35.46	28.35
2400	145.0	41.68	33.63	27.82
3000	133.4	38.87	33.41	26.13
3600	121.8	36.67	32.28	25.79
4800	102.1	35.18	31.47	22.84
6000	93.2	34.33	30.40	20.91
8400	83.5	29.26	28.27	19.07

ตารางที่ 3 ค่าความหนืดของพอลิคาร์บอเนต PCM12 บริสุทธิ์ และของผสมที่อัตราส่วนการผสม CBC33 ต่างๆ กัน

Shear rate (/s)	**Shear Viscosity (Pa.s)**			
	PURE PCM12	PCM12 + 0.25% CBC33	PCM12 + 0.5% CBC33	PCM12 + 1% CBC33
1800	248.9	68.80	51.22	35.07
2400	219.8	60.58	40.57	32.23
3000	193.7	58.10	32.78	28.46
3600	162.3	49.49	29.13	23.69
4800	147.2	44.49	26.04	19.22
6000	125.8	42.93	25.47	17.66
8400	100.3	39.08	20.76	16.72

ตารางที่ 4 ค่าความหนืดของพอลิคาร์บอเนต BAYER บริสุทธิ์ และของผสมที่อัตราส่วนการผสม CBC33 ต่างๆ กัน

Shear rate	**Shear Viscosity (Pa.s)**			
(/s)	PURE BAYER	BAYER + 0.25% CBC33	BAYER + 0.5% CBC33	BAYER + 1% CBC33
1800	172.2	101.20	73.14	60.12
2400	142.5	98.50	64.71	55.57
3000	135.8	88.34	58.96	50.36
3600	116.9	79.44	55.96	46.85
4800	109.8	70.04	51.39	39.29
6000	106.5	65.86	45.35	37.87
8400	103.6	50.30	40.37	30.40

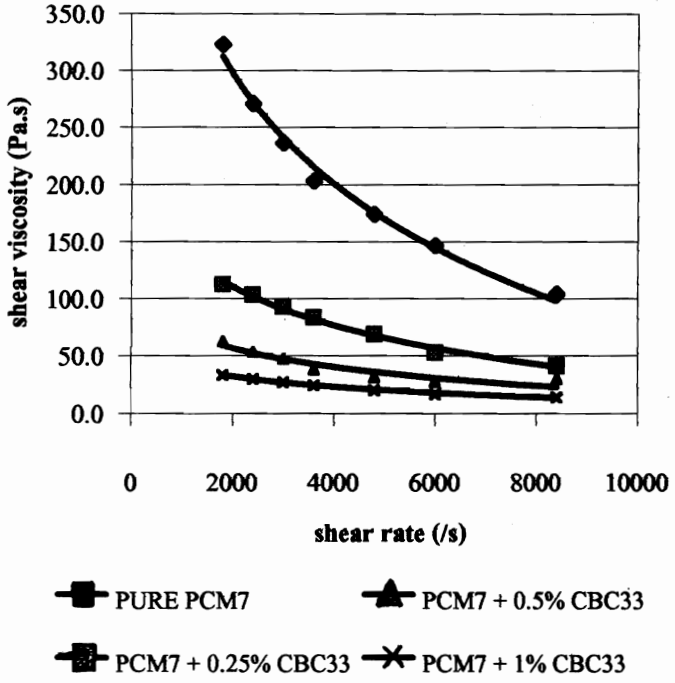
ตารางที่ 5 สมบัติทางแรงดึงของพอลิคาร์บอเนต BAYER บริสุทธิ์เปรียบเทียบกับของผสมที่อัตราส่วนการผสม CBC33 ต่างๆ กัน

Percent of CBC33	**Tensile Strength (N/mm^2)**
0	40.03
0.25	39.99
0.5	39.35

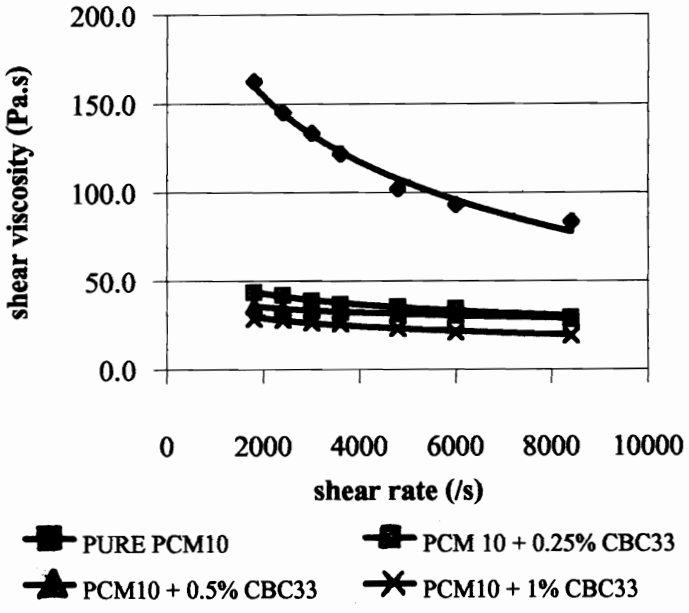
ตารางที่ 6 อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิคาร์บอเนตแต่ละชนิดและของผสมที่อัตราส่วนการผสม CBC33 ต่างๆ กัน

Percent of CBC 33	**Glass Transition Temperature (^{o}C) of**			
	PCM7	PCM10	PCM12	BAYER
0	151.5	147.9	148.6	146.1
0.25	150.7	146.8	147.6	145.9
0.5	146.5	143.1	146.2	144.6
1	141.5	139.8	146.1	143.6

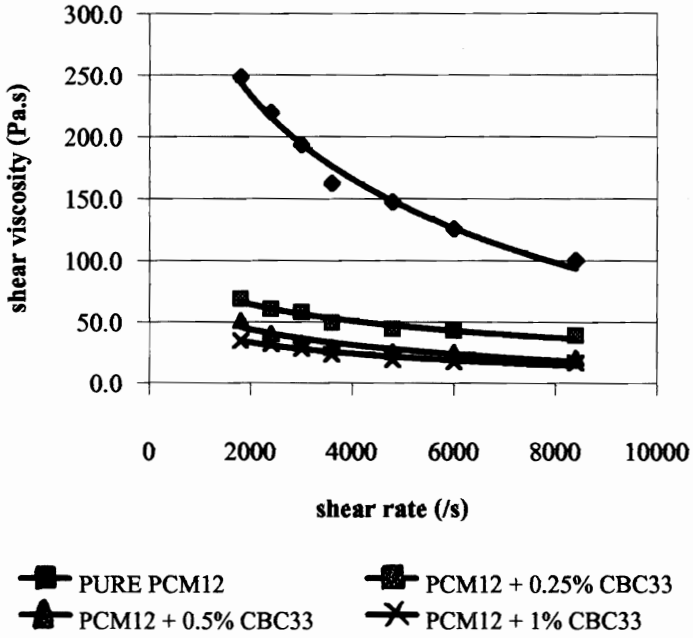
Low Molar Mass Thermotropic Liquid Crystal.



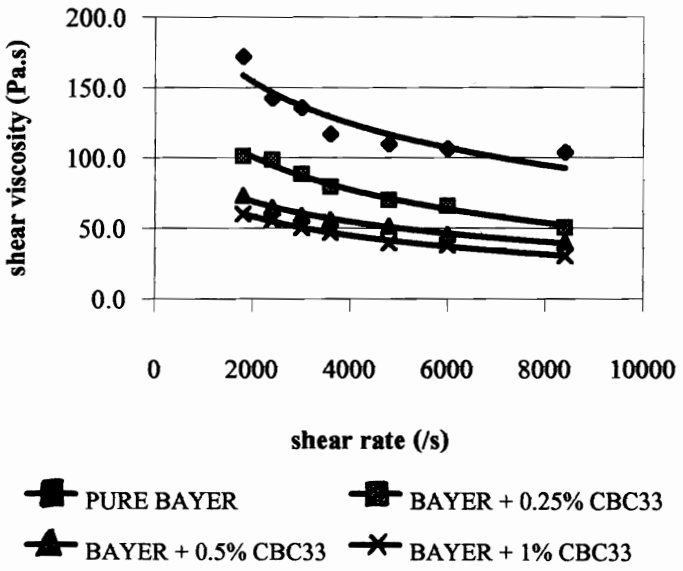
รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนืดของพอลิคาร์บอเนต PCM7 บริสุทธิ์ และของผสมที่อัตราส่วนการผสม CBC33 ต่างๆ กัน



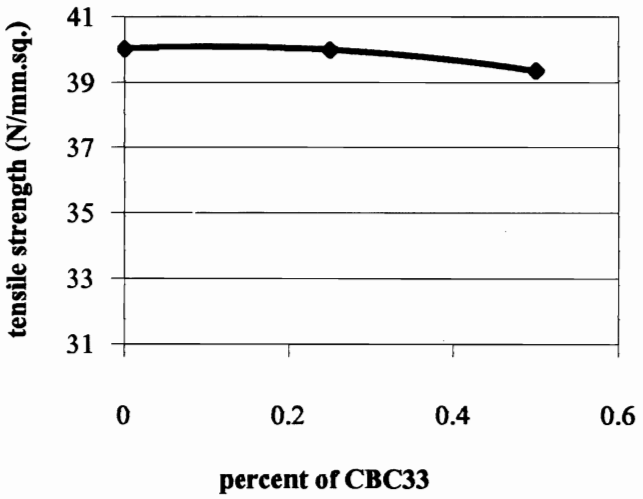
รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนืดของพอลิคาร์บอเนต PCM10 บริสุทธิ์ และของผสมที่อัตราส่วนการผสม CBC33 ต่างๆ กัน



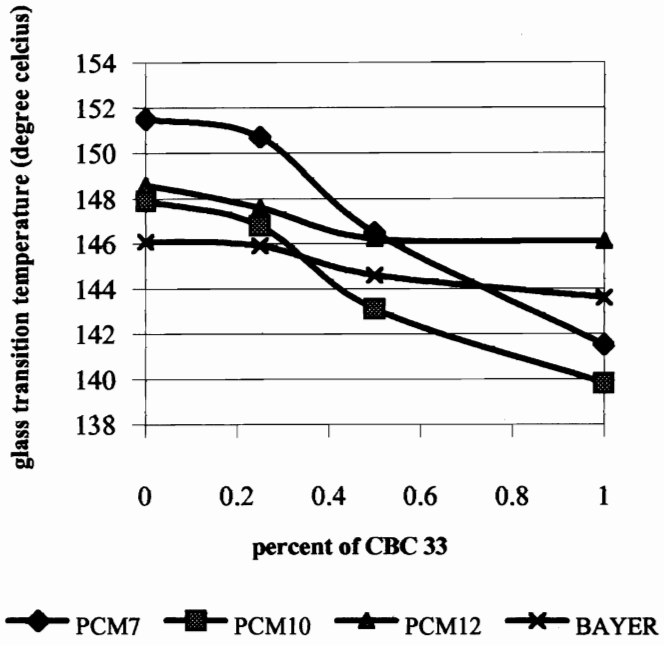
รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนืดของพอลิคาร์บอเนต PCM12 บริสุทธิ์ และของผสมที่อัตราส่วนการผสม CBC33 ต่างๆ กัน



รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนืดของพอลิคาร์บอเนต BAYER บริสุทธิ์ และของผสมที่อัตราส่วนการผสม CBC33 ต่างๆ กัน



รูปที่ 8 แสดงสมบัติทางแรงดึงของพอลิคาร์บอเนต BAYER บริสุทธิ์ เปรียบเทียบกับของผสมที่อัตราส่วนการผสม CBC33 ต่างๆ กัน



รูปที่ 9 แสดงอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วของพอลิคาร์บอเนตแต่ละชนิด เปรียบเทียบกับของผสมที่อัตราส่วนการผสม CBC33 ต่างๆ กัน

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

วิจารณ์ผลการทดลอง

1.จากการทดลองวัดความหนืดของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์และของผสมระหว่าง พอลิคาร์บอเนตกับ CBC33 ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ พบว่า CBC33สามารถลดความหนืดของพอลิ-คาร์บอเนตลงได้ จากกราฟรูปที่ 4–7 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนการผสมCBC33เพิ่มขึ้นพอลิคาร์บอเนตทุกชนิดมีความหนืดลดลง ที่อัตราส่วนการผสม CBC33 1% ความหนืดของพอลิ-คาร์บอเนต PCM7 ลดลงประมาณ 90% PCM10 ลดลง 80% PCM 12 ลดลง 85% และพอลิ-คาร์บอเนตของ Bayer ลดลงประมาณ 64%

2.ผลการทดสอบคุณสมบัติทางแรงดึงของพอลิ-คาร์บอเนตบริสุทธิ์ของบริษัท Bayer กับของผสมที่ผสมด้วย CBC33 0.25 และ 0.5% พบว่าคุณสมบัติทางแรงดึงของของผสมนั้นเปลี่ยนแปลงไปจากพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์น้อยมาก ดังกราฟรูปที่ 9 พบว่าของผสมที่ผสมด้วย CBC33 0.25% มีคุณสมบัติทางแรงดึงลดลง 0.1% และของผสมที่ผสมด้วย CBC33 0.5% มีคุณสมบัติทางแรงดึงลดลงไม่ถึง 2% ตามลำดับ

3. เมื่อเปรียบเทียบกันด้วยอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วพบว่าที่อัตราส่วนการผสม CBC33 ที่เพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของของผสมลดลงเช่นกัน ดังกราฟรูปที่ 8 และพบว่า ที่อัตราส่วนการผสม CBC33 1% ทำให้พอลิ-คาร์บอเนต PCM7 มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วลดลงมากที่สุดคือลดลงประมาณ 7%

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นว่าผลึกเหลวชนิดเทอร์โมโทรปิกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำคือ CBC33 สามารถลดความหนืดของพอลิคาร์บอเนตลงได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางแรงดึงเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก อีกทั้งยังสามารถลดอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วลงได้ด้วยทำให้สามารถลดอุณหภูมิการใช้งานของพอลิคาร์บอเนตลงได้และสามารถ หล่อขึ้นรูปได้สะดวกยิ่งขึ้น จึงสามารถใช้ผลึกเหลวชนิดเทอร์โมโทรปิกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเป็นสารเสริมสภาพพลาสติกสำหรับพอลิคาร์บอเนต

(Revised version accepted Novermber 3, 1998.)

เอกสารอ้างอิง

Brandrup, J. and Immergut, E. H. 1989. *Polymer Handbook.* 3rd ed. New York, John Wiley & Sons.

Buckley, A., Conciatori, A. B. and Calundamm, G. W. 1984. Melt processable blend of a low molecular weight liquid crystalline compound and a polyolefin or polyester. *U.S. Patent* No. 4,434,262.

Charrier, J. M. 1991. *Polymeric Materials and Processing : Plastics , Elastomers and Composites.* Munich, Hanser.

Fles, D. 1995. *International Polymer Science and Technology : Liquid crystalline polymer.* **22 (6)**.

Heino, M. T. and Seppala, J. V. 1991. Extruded blends of a thermotropic liquid crystalline polymer with polyethylene terephthalate, polypropylene and polyphenylene sulfide. *Journal of Applied Polymer Science.* **44** : 2185-2195.

Lin, Y. G., Lee, H. W. and Winter, H. H. 1993. Miscibility and viscoelastic properties of blends of a liquid crystalline polymer and poly (ethylene terephthalate). *Polymer.* **34 (22)** : 4703-4709.

Nobile, M. R., Amendola, E. and Nicolias, L. 1989. Physical properties of blends of Polycarbonate and a liquid crystalline copolyester. *Polymer Engineering and Science.* **29** : 244-257.