

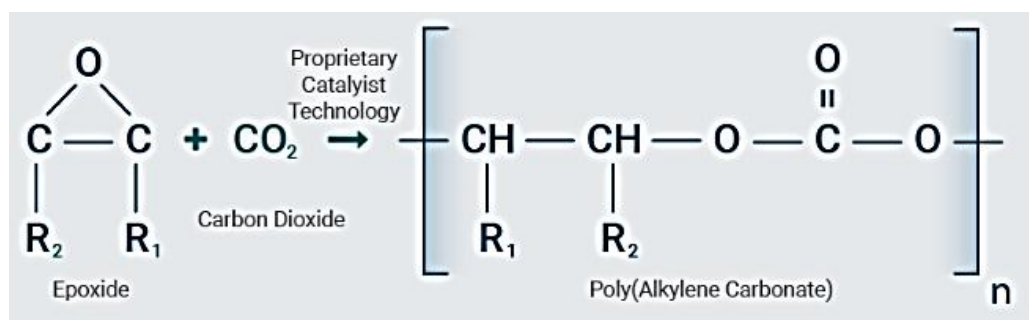
บทที่ 15 รายละเอียดข้อมูลพลาสติกชีวภาพประเภท พลาสติกชีวภาพพอลิคาร์บอเนต (Bio-Polycarbonate)

1. ข้อมูลทั่วไป

การสังเคราะห์อะลิฟาติกพอลิคาร์บอเนต (Aliphatic polycarbonates : APCs or Biopolycarbonate : Bio-PC) ได้ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Inoue ในปี ค.ศ. 1960 ^[1,2] โดยเกิดจากปฏิกิริยาโคพอลิเมอไรเซชัน (Copolymerization) ระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide : CO₂) และสารประกอบอีพอกซี (เช่น เอทิลีน ออกไซด์ พรอพิลีน ออกไซด์) ปริมาณ CO₂ หรือ คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide : CO) ที่ใช้ในการสังเคราะห์ในแต่ละครั้งนั้นมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นข้อดีที่ช่วยลดปริมาณก๊าซ CO₂ และ CO ที่อยู่ในสิ่งแวดล้อม ^[3]

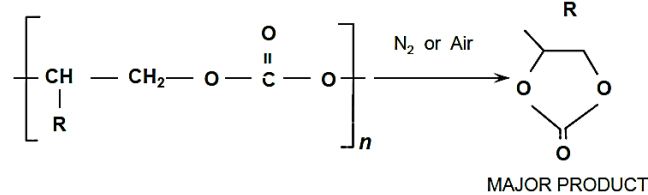
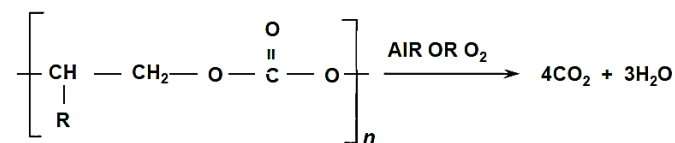
Bio-PC เป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable) จึงส่งผลให้มีการนำไปใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เช่น เป็นวัสดุสำหรับนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ เป็นตัวส่งผ่านยา (Drug carriers) และนำไปใช้ทางวิศวกรรมเนื้อเยื่อ (Tissue engineering) เนื่องจากมีสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีความสามารถในการเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อและไม่เป็นพิษ

Bio-PC สามารถแบ่งตามโครงสร้างของ Aliphatic ได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ พอลิเอทิลีนคาร์บอเนต (Poly(ethylene carbonate : PEC), พอลิไตรเมทิลคาร์บอเนต (Poly(trimethylene carbonate) : PTMC) พอลิพรอพิลีนคาร์บอเนต (Poly(propylene carbonate : PPC) และพอลิบิวทิลีนคาร์บอเนต (Poly(butylene carbonate) : PBC) ซึ่งกลไกในการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของ Poly(Alkylene Carbonate) ^[4]

PEC เกิดจากปฏิกิริยาโคพอลิเมอไรเซชันระหว่างเอทิลีน ออกไซด์และก๊าซ CO₂ PEC จัดเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐานวิทยา (Amorphous) โดยมีค่า T_g อยู่ในช่วง 15-25 °C และมีสมบัติยืดหยุ่น โดยฟิล์มของ PEC ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีการหลอมอัดรีด (Extrude) จะมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของออกซิเจนได้ดี ซึ่งเหมาะแก่การนำไปใช้งานสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร PEC สามารถย่อยสลายได้ที่อุณหภูมิร่างกายได้ก๊าซไนโตรเจนและอากาศได้ดีกว่าพอลิเมอร์เชิงการค้าอื่นๆ กลไกในการย่อยแสดงดังภาพที่ 2

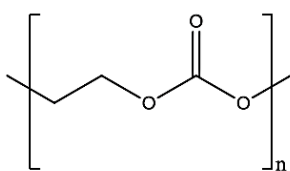
PYROLYSIS**COMBUSTION**

ภาพที่ 2 กลไกการเสื่อมสภาพของ Poly(Alkylene Carbonates) [4]

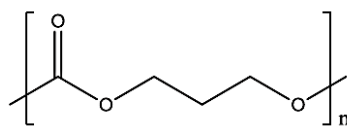
PPC เกิดจากปฏิกิริยาโคพอลิเมอไรเซชันระหว่างพรอพิลีน ออกไซด์และก๊าซ CO_2 PPC เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีโครงสร้างเป็นแบบ Amorphous เพราะมีหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ของโครงสร้าง APC อยู่บนสายโซ่หลัก PPC ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงสามารถสังเคราะห์ได้โดยใช้ซิงค์ คาร์บอกไซด์เรทเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา PPC สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายและสามารถเสื่อมสภาพได้ด้วยความร้อน PPC มีสมบัติที่ดีคือมีความสามารถในการเข้ากันได้ดี ทนต่อแรงกระแทกและสามารถผ่านกระบวนการหลอมได้ซึ่งคล้ายกับสมบัติของพอลิเอทิลีนเชิงการค้า แต่ PPC มีสมบัติที่ต้องปรับปรุงแก้ไขคือมีสมบัติเปราะที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากมี T_g อยู่ในช่วง $37-41^\circ\text{C}$ และมีหมู่ฟังก์ชันของ Hydroxyl อยู่ที่ปลายสายโซ่ วิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยนำ PPC ไปผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น [3]

PTMC เป็น Bio-PC อีกชนิดที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพและมีสมบัติยืดหยุ่นคล้ายกับยางแต่มีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีนักทำให้การใช้งานมีข้อจำกัด มีค่า T_m อยู่ในช่วง $100-110^\circ\text{C}$

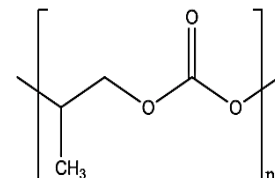
PBC เป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญในกลุ่มของ APC มีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (Semicrystalline) T_m เท่ากับ 60°C และ T_g เท่ากับ -30°C PBC มีสมบัติที่ต้านทานต่อแรงกระแทกได้ดีและมีแรงต้านทานแรงดึงที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ



Poly(ethylene carbonate)



Poly(trimethylene carbonate)



Poly(propylene carbonate)

ภาพที่ 3 โครงสร้างของ Bio-PC [3]

ตารางที่ 1 ชื่อทางการค้าของ PC ตามบริษัทผู้ผลิต

Company	Trade name
Empower Materials Inc.	QPAC®
Mitsubishi Chemical	DURABIO™

2. กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

Bio-PC จะถูกเปลี่ยนจาก Pellets ไปเป็นรูปร่างที่สามารถนำไปใช้งานได้นั้นต้องอาศัยการหลอมเหลวของ PC และแรงที่ให้อย่างเหมาะสมในแม่พิมพ์หรือผ่านทางหัว die เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน โดยกระบวนการหลักที่ใช้ในการขึ้นรูป Bio-PC ได้แก่ กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) และกระบวนการหลอมอัดรีด (Extrusion) [5]

2.1 กระบวนการฉีดเข้าแม่พิมพ์ (Injection molding)

เมื่อพอลิเมอร์ได้รับความร้อนจะเกิดการหลอมและถูกฉีดเข้าไปยังแม่พิมพ์ โดยแม่พิมพ์จะมีการหล่อเย็น จากนั้นพอลิเมอร์หลอมจะเกิดการแข็งตัวและมีรูปร่างตามแม่พิมพ์ โดยกระบวนการนี้เหมาะกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีขั้นตอนเดียว เช่น จาน ขวดน้ำ เครื่องตกแต่งบ้าน

ตารางที่ 2 ตัวอย่างสภาวะที่ใช้ในกระบวนการฉีดเข้าแม่พิมพ์ของ Bio-PC

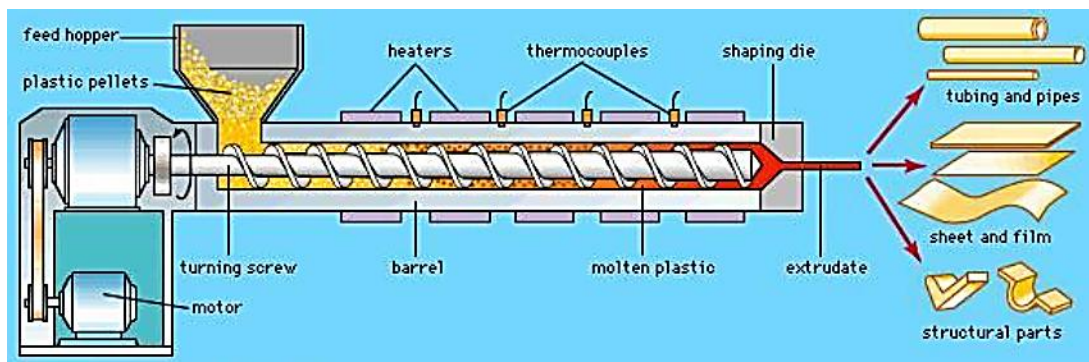
Injection properties	Pearlthane® ECO D12T80	Pearlthane® ECO D12T90
Feed temperature (°C)	40.0	40.0
Nozzle temperature (°C)	210	205 – 215
Zone 1 (°C)	190	190 – 200
Zone 2 (°C)	200	195 – 205
Zone 3 (°C)	200	200 – 210
Zone 4 (°C)	-	200 - 210
Dry time (hour) at 100 °C	3.00	3.00

2.2 กระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีหลอมอัดรีด (Extrusion)

เป็นกระบวนการขึ้นรูปสำหรับเครื่องอัดรีดพลาสติก โดยเม็ดพลาสติกจะเข้าสู่เครื่องทาง Hopper จากนั้นจะถูกหลอมภายในเครื่องอัดรีด (Extruder) โดยอาศัยทั้งความร้อน แรงเฉือน และความดัน พลาสติกหลอมจะถูกดันออกสู่แม่พิมพ์ (Mould) ที่บริเวณปลายเปิด (Die) เพื่อขึ้นรูปตามต้องการ พลาสติกหลอมที่ออกจากหน้า Die เรียกว่า Extrudate ในบางกระบวนการจะมีการให้ความเย็น (Cooling) หลังจากพลาสติกออกจากหน้า Die แล้วเพื่อให้คงรูปตามที่ต้องการ [6,7]

ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องอัดรีด ได้แก่

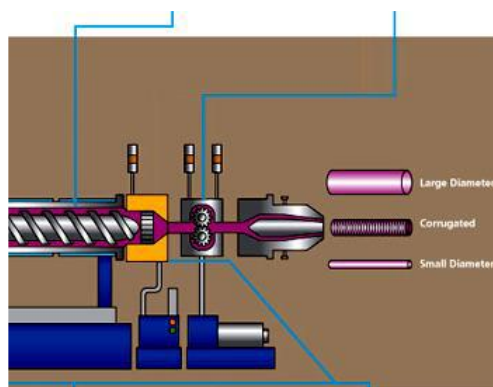
- บาเรล (Barrel) เป็นทรงกระบอกกลวงที่วางตัวตามแนวนอน
- เกลียว (Screw) ภายในบาเรลมีสกรู (Screw) ซึ่งจะถูกหมุนด้วยมอเตอร์ที่ปรับความเร็วรอบได้ อาจเป็นสกรูเดี่ยว (Single screw extruder) หรือเกลียวคู่ (Twin screw extruder) ครีบกวาดของสกรู (Flight) อาจถูกออกแบบให้มีความสูงลดลงตามแนวยาวของสกรู อยู่ภายในกระบอกที่มีรัศมีลดลง ทำให้เกิดหน้าที่แตกต่างกันช่วงต้นของสกรูที่มีความสูงของครีบกวาดมากจะทำหน้าที่ลำเลียงวัตถุดิบป้อนเข้าสู่ภายใน และจะถูกคลุกเคล้าให้ผสมกันในช่องว่างระหว่างครีบกวาดกับกระบอก เมื่ออาหารลำเลียงมาถึงช่วงที่ระยะครีบกวาดสั้นลงจะถูกบีบให้เคลื่อนที่อยู่ที่ว่างลดลง ความดันเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เกิดแรงเฉือน (Shear force) ระหว่างวัตถุดิบเองและระหว่างวัตถุดิบกับพื้นผิวของกระบอกและสกรู เกิดการนวดให้ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน และอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นจากแรง และความดันที่เพิ่มมากขึ้น
- ไต (Die)
- ใบมีดตัด (Face cutter)



ภาพที่ 4 เครื่องหลอมอัดรีด

กลุ่มกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป (Extrusion) ประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ ซึ่งแต่ละกระบวนการแตกต่างกันที่รูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่ท่านอยากได้ว่าจะเล็กหรือใหญ่ขึ้นอยู่กับแม่พิมพ์ (Mold) และ สกรู (Screw) สุดท้ายที่ต้องการในการนำไปใช้ประโยชน์ดังต่อไปนี้

- Blown Film Extrusion ประเภทผลิตภัณฑ์ ถุงพลาสติก
- Film Extrusion ประเภทผลิตภัณฑ์ แผ่นฟิล์มบาง
- Sheet Extrusion ประเภทผลิตภัณฑ์ เสื่อน้ำมัน, หนังสือเย็บ
- Pipe/tube Extrusion ประเภทผลิตภัณฑ์ ท่อ PVC, ท่อน้ำ
- Profile Extrusion ประเภทผลิตภัณฑ์ รางสายไฟ, ขอบหน้าต่าง
- Tape Yarn /Filament Extrusion ประเภทผลิตภัณฑ์ กระสอบพลาสติก



ภาพที่ 5 ส่วนของหน้า Die สำหรับ Pipe/tube/Profile extrusion

3. บริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

3.1 บริษัทผู้ผลิต PC

3.1.1 ภายในประเทศไทย ไม่พบบริษัทผู้ผลิต PC ภายในประเทศไทย

3.1.2 ต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายชื่อบริษัทผู้ผลิต Bio-PC ต่างประเทศ

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
MITSUBISHI CHEMICAL PERFORMANCE POLYMERS	1-1 Marunouchi 1- chome, Chiyoda-ku, 100-8521 Tokyo	+81-3-6748- 7131	Japan	http://www.mcpp-global.com/en/asia/
Empower Materials, Inc.	91 Lukens Drive Suite E New Castle, DE 19720	(302) 225- 0100	USA	http://www.empowermaterials.com/

3.2 บริษัทผู้จัดจำหน่าย PC

3.1.1 ภายในประเทศไทย ไม่พบบริษัทผู้จัดจำหน่าย PC ภายในประเทศไทย

3.1.2 ต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายชื่อบริษัทผู้จัดจำหน่าย Bio-PC ต่างประเทศ

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
Empower Materials, Inc.	91 Lukens Drive Suite E New Castle, DE 19720	(302) 225- 0100	USA	http://www.empowermaterials.com/

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
MITSUBISHI CHEMICAL PERFORMANCE POLYMERS (MCP)	1-1 Marunouchi 1- chome, Chiyoda-ku, 100-8521 Tokyo	+81-3- 6748-7131	Japan	http://www.mcpglobal.com/en/asia/

4. การนำไปประยุกต์ใช้ Bio-PC ในอุตสาหกรรม

Bio-PC หรือ PC เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีโครงสร้างและคุณสมบัติที่เหมือนกันเกือบทุกประการ จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้แทนกันได้หลาย ๆ ด้าน ซึ่งปัจจุบัน พลาสติกชีวภาพกำลังเป็นที่นิยมและเป็นที่ต้องการของตลาดพลาสติก เนื่องจากปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์น้อยหรือใช้เวลาในการย่อยสลายน้อยกว่าเทอร์โมพลาสติกทั่วไป จากสมบัติของ PC ดังที่กล่าวมาในข้างต้น ทำให้ PC ได้รับความนิยมสำหรับใช้งานด้านวิศวกรรม เช่น อุปกรณ์กีฬา อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น

4.1 อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

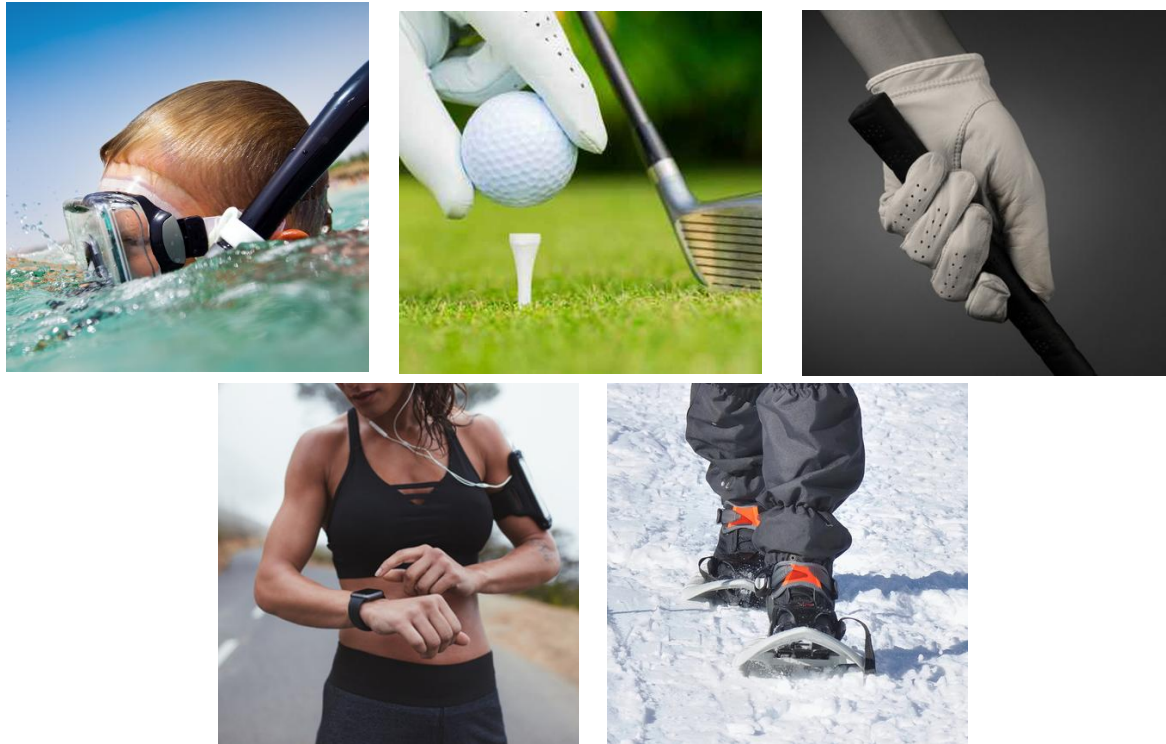
พอลิคาร์บอเนตส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นประโยชน์จากคุณสมบัติด้านความปลอดภัยของส่วนรวม เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีและมีคุณสมบัติทนความร้อนและทนไฟ ถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดแวร์ไฟฟ้าและสื่อสารโทรคมนาคม นอกจากนี้ยังสามารถทำหน้าที่เป็นฉนวนในตัวเก็บประจุสูง



ภาพที่ 6 ตัวอย่างชิ้นส่วนและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

4.2 อุปกรณ์กีฬา

ได้แก่ พื้นกันลื่น (Grips) สายนาฬิกา (Straps) แผ่นกันลื่น (Anti-sliding pads) จอป้องกันรอยขีดข่วน (Scratch resistant screen) เลนส์ที่ใช้ในแว่นกันแดด (Sunglasses) หน้ากากดำน้ำ (Diving masks) กล้องส่องทางไกล (Binoculars) แว่นขยาย (Magnifiers) รองเท้าวินเซิร์ฟ (Windsurf shoes) และลูกกอล์ฟ (Golf balls) [8]



ภาพที่ 7 ตัวอย่างอุปกรณ์กีฬาที่ผลิตจาก Bio-PC [8]

พื้นกันลื่น	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	Extrusion
สายนาฬิกา	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	Extrusion
แผ่นกันลื่น	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	Extrusion
จอบป้องกันรอยขีดข่วน	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	Injection molding
แว่นกันแดด	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	Injection molding
หน้ากากดำน้ำ	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	Injection molding
กล้องส่องทางไกล	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	Injection molding
แว่นขยาย	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	Injection molding
รองเท้าวินเซิร์ฟ	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	Injection molding

4.3 อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์

ได้แก่ ถุงพลาสติก

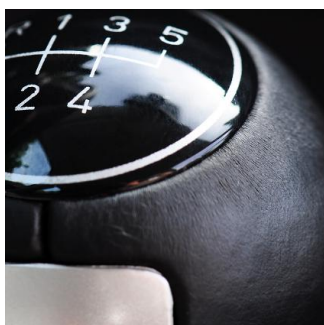
ตารางที่ 5 เปรียบเทียบสมบัติเกรตเม็ดพลาสติก Bio-PC สำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์ ของ DURABIO™ D5380

Properties	Valve	Units
Density	1.19	g/cm ³
Melt flow index @ 170 °C/2.16 Kg	30 - 60	g/10 min

Properties	Valve	Units
Moisture content	< 0.15	%
Crystallization range	4 - 6	min
Melt viscosity @ 130 °C	1,680	Pa.s
Melting point	82	°C

4.4 อุตสาหกรรมยานยนต์ ^[9]

ได้แก่ พนักแขน ปุ่มและลูกบิด แผงคอนโซลและเฟรมหน้าจอบ ที่วางแก้ว เกียร์ พรหมปูพื้น ส่วนประกอบของเบาะนั่ง ด้ามจับสำหรับปรับที่นั่ง หน้าจอสัมผัส



ภาพที่ 8 ตัวอย่างชิ้นงานในอุตสาหกรรมยานยนต์ที่ผลิตจาก Bio-PC^[9]

4.5 อุตสาหกรรมทางการแพทย์ ^[10]

พอลิคาร์บอเนตหลายเกรดที่ใช้ในทางการแพทย์ ถูกทำการตรวจสอบตามมาตรฐาน ISO 10993-1 และ USP ชั้นมาตรฐาน VI (บางครั้งเรียกว่า PC-ISO) Class VI โดยมาตรฐานเหล่านี้เป็นที่เข้มงวดมากที่สุดใน 6 ของการจัดอันดับ USP เกรดเหล่านี้จะต้องฆ่าเชื้อโดยใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิ 120 °C ^[10] มีความทนทานต่อรังสีแกมมา อย่างไรก็ตามการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ชี้ให้เห็นปัญหาในทางชีวภาพ จึงเป็นข้อจำกัดของ พลาสติกทุกชนิดที่เกี่ยวกับการใช้งานทางการแพทย์



ภาพที่ 9 ขวดสุญญากาศ

ตารางที่ 6 แสดงตัวอย่างสมบัติชิ้นงาน (Polycarbonate)^[10]

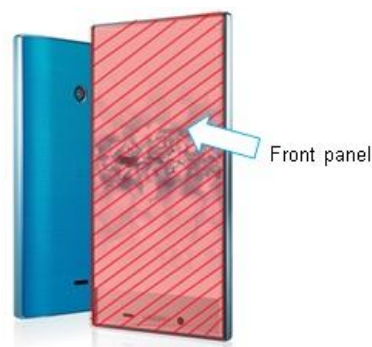
Properties	Test method	Value	Unit
Tensile Strength, Yield, 125"	ASTM D-638	9,000	psi
Tensile Strength Ultimate	ASTM D-638	9,500	psi
Tensile Modulus	ASTM D-638	345,000	psi
Shear Strength	ASTM D-732	6,000	psi
Compressive Strength	ASTM D-695	12,500	psi
Heat Deflection Temperature 264psi	ASTM D-648	270	°F

5. ความรู้และข่าวสารใหม่ๆ

เป็นครั้งแรกที่ได้มีการนำ bio-based engineering plastic มาใช้เป็นแผงหน้าของโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยปกติแล้วแผงหน้าของโทรศัพท์จะทำมาจากกระจก ซึ่งพบปัญหาที่สามารถแตกหักได้ง่าย ดังนั้นผู้ผลิตโทรศัพท์จึงได้เลือกใช้ Bio-based PC และพลาสติกชนิดอื่นๆ มาผลิตเป็นแผงหน้าของโทรศัพท์เนื่องจากมีข้อดีคือ มีน้ำหนักเบา มีความคงทนมากกว่ากระจก และสมบัติทางแสงที่ดีกว่าคือมีความใสแต่เมื่อได้รับแรงกระแทกอาจทำให้เกิดการแตกหักได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มสมบัติเชิงกลซึ่งจะทำให้สมบัติทางแสงของวัสดุต่ำลง จากสมบัติของพลาสติกที่ยังต้องปรับปรุงแก้ไขจึงทำให้บริษัทยังคงใช้กระจกเป็นแผงด้านหน้าของโทรศัพท์เคลื่อนที่

จากการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพสูงของบริษัท MCC ซึ่งมุ่งมั่นที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ DURABIO พัฒนาขึ้นโดยบริษัท MCC DURABIO เป็นพลาสติกวิศวกรรมชีวภาพที่ผลิตจาก Isosorbide ที่ได้จากพืชและมีสมบัติที่ดีคือมีความต้านทานต่อแรงกระแทก ความร้อนและอุณหภูมิได้สูงกว่าพลาสติกวิศวกรรมแบบเดิม นอกจากนี้ยังมีความโปร่งใสและการบิดเบือนภาพต่ำ

DURABIO ได้รับการประเมินจาก Sharp เป็นพลาสติกที่มีความต้านทานต่อแรงกระแทกและคุณสมบัติทางออปติคอลที่ดีเยี่ยมซึ่งนำไปสู่การเลือก DURABIO สำหรับเป็นแผงด้านหน้าของโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่น AQUOS CRYSTAL 2. (KL)

ภาพที่ 10 โทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่น AQUOS CRYSTAL 2. (KL) ที่ผลิตแผงด้านหน้าจาก DURABIO (Bio-PC)^[11]

เอกสารอ้างอิง

- [1] Inoue S, Koinuma H, Tsuruta T. Copolymerization of carbon dioxide and epoxide with organometallic compounds. *Die Makromol Chem* 1969;130:210–20.
- [2] Inoue S, Koinuma H, Tsuruta T. Copolymerization of carbon dioxide and epoxide. *J Polym Sci Part B: Polym Lett* 1969;7:287–92.
- [3] Niaounakis, Michael. *Biopolymers: applications and trends*. William Andrew, 2015.
- [4] <http://www.empowermaterials.com/technology>
- [5] <http://www.plasticseurope.org/what-is-plastic/types-of-plastics-11148/engineering-plastics/pc.aspx>
- [6] http://www.panyathaiplastic.com/index.php?option=com_content&view=article&id=16:article-cap4&catid=1:category-captifycontent
- [7] <http://web.rtpcompany.com/info/data/0300/>
- [8] <http://www.mcgp-global.com/en/asia/applications/segment/sports-equipment/>
- [9] <http://www.mcgp-global.com/en/asia/applications/segment/automotive-interior-functioning-components/>
- [10] https://thematking.com/business_industry/industrial/chairmats/polycarbonate/tech-specs.htm
- [11] <http://www.bioplasticsmagazine.com/en/news/meldungen/20150710Shap-selects-Durabio-for-fron-panel.php>