บทที่ 6 รายละเอียดข้อมูลพลาสติกชีวภาพประเภท พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอท (Polyhydroxyalkanoates)

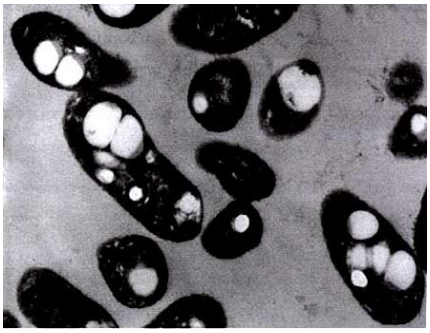
1. ข้อมูลทั่วไป

สารพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอท (Polyhydroxyalkanoates: PHAs) จัดเป็นพอลิเอสเตอร์ชีวภาพ (Biopolyester) กลุ่มหนึ่งโดยมีการสังเคราะห์ขึ้นภายในเซลล์สิ่งมีชีวิต พบมากในจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรีย โดยแบคทีเรียหลายชนิดสามารถสังเคราะห์ PHA เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานสำรองสะสมในรูปของเม็ดแกรนูล (Granule) อยู่ภายในเซลล์ของแบคทีเรีย ดังภาพที่ 1 และพบว่าแบคทีเรียบางชนิด เช่น แบคทีเรีย Ralstonia eutropha ที่สะสม PHA ได้ถึง 90% ของน้ำหนักเซลล์แห้ง จัดเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพลักษณะคล้ายเทอร์โมพลาสติกที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากย่อยสลายได้ทางชีวภาพ PHA ถูกสังเคราะห์ขึ้นเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนสำรองให้กับเซลล์คือจุลินทรีย์จะสลาย PHA เพื่อดึงคาร์บอนที่สำรองไว้กลับไปใช้ในการเจริญเติบโตเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมขาดแคลนคาร์บอน นอกจากนี้ PHA เป็นมิตรและเกื้อกูลต่อสิ่งแวดล้อม และมีสมบัติของการเข้ากันได้ทางชีวภาพ มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ PHA จัดเป็นพลาสติกประเภทพอลิเอสเตอร์ (Polyester) เป็นพลาสติกชีวภาพที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับพลาสติกสังเคราะห์จากปิโตรเลียม เช่น พอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีน ดังตารางที่ 1 [1]

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างพลาสติกชีวภาพในกลุ่ม PHA และพลาสติกจากปิโตรเคมี

ชนิด	Glass Transition Temperature	Melting temperature	Tensile Strength (MPa)	Elongation to break (%)
P(3HB)	4	180	43	5
P(3HB-CO-20mol% 3HV)	-1	145	20	50
P(3HB-CO-16mol% 4HV)	-7	150	26	444
P(3HB-CO-10mol% 3HHV)	-1	127	21	400
Polypropylene	-10	176	38	400
Low-density polyethylene	-30	130	10	620

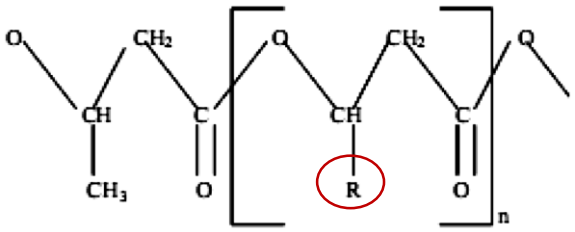
ในปี ค.ศ. 1926 นักจุลชีววิทยาชาวฝรั่งเศสได้ค้นพบการผลิตและการสะสมสาร PHAs ในรูปของสารพอลิไฮดรอกซีบิวไทเรท (PHB) ภายในเซลล์ของแบคทีเรียสายพันธุ์ Bacillus megaterium ซึ่งจะอยู่ในรูปของพอลิเมอร์เรียกว่าไบโอพอลิเมอร์ที่สามารถสร้างและสกัดได้ภายในเซลล์จุลินทรีย์โดยตรง (Intracellular product) PHA มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมวัสดุ อุตสาหกรรมยาและวัสดุการแพทย์ เพราะไม่กระทบต่อระบบภูมิต้านทานและย่อยสลายได้ช้าในร่างกายของมนุษย์และอุตสาหกรรมเชื้อเพลิง โดยบริษัท ICI ได้จำหน่ายพลาสติก PHA ภายใต้ชื่อทางการค้าว่า Biopol™ อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้ PHA มีข้อจำกัดในด้านของราคาที่สูง (ประมาณ 16 $/kg) ในอนาคตหากต้นทุนในกระบวนการผลิต PHA ลดลงจะส่งผลให้ความต้องการในการนำ PHA ในการนำไปใช้งานเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 1 ภาพของแบคทีเรียที่สะสม PHA ในรูปของก้อนแกรนูลอยู่ภายในเซลล์

สาร PHAs เป็นพอลิเอสเทอร์แบบกึ่งผลึกประกอบไปด้วยมอนอเมอร์หลักคือกรดไฮดรอกซีอัลคาโนอิก (Hydroxyalcanoic: HA) จำแนกได้เป็น 3 กลุ่ม[28] ตามความยาวสายโซ่ของหมู่แทนที่ในหน่วยของมอนอเมอร์ ได้แก่ ความยาวของหมู่แทนที่สั้น ประกอบด้วย 3-5 อะตอม มีลักษณะโครงสร้าง ดังภาพที่ 2 เช่น พอลิไฮดรอกซีบิวไทเรท (Polyhydroxybutyrate: PHB) ความยาวของหมู่แทนที่ปานกลาง ประกอบด้วยคาร์บอน 6-14 อะตอมและควมความยาวของหมู่แทนที่ยาวประกอบด้วยคาร์บอนมากกว่า 14 อะตอมขึ้นไป ส่วนใหญ่ที่พบในธรรมชาติจะเป็นพวกที่มีความยาวของหมู่แทนที่สั้น โดยเฉพาะ PHB ซึ่งจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับพลาสติกที่ใช้กันทั่วไปมากกว่าพวกที่มีความยาวของหมู่แทนที่ปานกลางซึ่งจะมีสมบัติใกล้เคียงกับอิลาสโตเมอร์และยาง

PHAs มีชื่อทางการค้าที่ใช้เรียกกันอย่างหลากหลาย ได้แก่ Biomer, Minerv-PHA, Biogreen, Biocycle, Ecogen, Mirel, Nodax, Metabolix, Jiansu Nantian และ Goodfellow ดังตารางที่ 2



R = hydrogen	Poly(3-hydroxypropionate)
R = methyl	Poly(3-hydroxybutyrate)
R = ethyl	Poly(3-hydroxyvalerate)
R = propyl	Poly(3-hydroxyhexanoate)
R = pentyl	Poly(3-hydroxyoctanoate)
R = nonyl	Poly(3-hydroxydodecanoate)

n varies from 600-3000

ภาพที่ 2 โครงสร้างของ PHAs

ตารางที่ 2 ชื่อทางการค้าของ PHA ตามบริษัทผู้ผลิต

Company	Trade name
Biomer	Biomer
Bio-on	Minerv-PHA
Mitshubishi Gas	Biogreen
PHB Industrial	Biocycle
Tianan Biological Material Polyone	Ecogen
Metabolix	Mirel
P&G Chemicals	Nodax

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของ PHAs

Physical Properties	Nominal value	Unit
Mold Shrinkage	0.0125-0.0155	in
Density	1.4	g/cc
Mechanical Properties	**Nominal value**	
Tensile Strength	3800	psi
Tensile Modulus	494,000	psi
Elongation @ Break	3	%
Flexural Strength	6390	psi
Mechanical Properties		
Flexural Modulus	460,000	psi
Notched Izod Impact	0.5	ft-lb/in
Thermal Properties		
Melting point	320-330	F
HDT		
@ 66 psi	290	F
@ 264 psi	172	F
Vicat Softening Temp.	296	F

2. กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ของ PHA สามารถขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดเข้าแม่พิมพ์ (Injection molding) กระบวนการหลอมอัดรีด (Extrusion) และกระบวนการเป่าขึ้นรูป (Blow molding) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 กระบวนการฉีดเข้าแม่พิมพ์ (Injection) [21]

กระบวนการฉีดเข้าแม่พิมพ์ของ PHA จะมีการตั้งค่าอุณหภูมิที่แตกต่างจากกระบวนฉีดขึ้นรูปของเทอร์โมพลาสติกทั่วไป โดยจะตั้งอุณหภูมิสูงสุดที่บริเวณส่วนป้อนซึ่งเป็นส่วนแรกและตั้งอุณหภูมิต่ำสุดไว้ที่ส่วน Nozzle เนื่องจาก PHA สามารถหลอมได้ในช่วงอุณหภูมิ 160-190 °C โดย PHA จะมีความหนืดที่สูงมากเมื่ออุณหภูมิในระหว่างการฉีดขึ้นรูปต่ำกว่า 160 °C PHA จะเกิดการเสื่อมสภาพทางความร้อนเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 190 °C และควรให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์เพื่อเพิ่มความเป็นผลึกให้กับผลิตภัณฑ์ โดยสภาวะที่ใช้ในการฉีดเข้าแม่พิมพ์แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สภาวะที่ใช้ในการฉีดเข้าแม่พิมพ์ของ PHA ชนิด Mirel P(3HB-4HB)

Zone	Nominal Value	Unit
Feed section	175	°C
Compression section	170	°C
Metering section	170	°C
Nozzle	165	°C

Zone	Nominal Value	Unit
Injection speed	25	mm/s
Injection time	1.25	seconds
Injection pressure	7200	kPa
Hold time	10.0	seconds
Hold pressure	4000	kPa
Screw speed	55	Rpm
Back pressure	500	kPa
Cooling time	10.0	seconds
Mold temperature	60	°C

โดยทั่วไปพอลิเมอร์ที่ได้หลังจากการฉีดเข้าแม่พิมพ์จะมีความเป็นผลึกต่ำและความเป็นผลึกจะเพิ่มขึ้นหลังจากการจัดเรียงตัวภายในโครงสร้างหลังจากทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เช่น พอลิเอทิลีน (Polyethylene) แต่สำหรับ PHA ควรจะทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงเพื่อพัฒนาสมบัติเชิงกลภายในโครงสร้าง

2.2 กระบวนการหลอมอัดรีด (Extrusion Process) [21]

กระบวนการขึ้นรูปแบบหลอมอัดรีดเพื่อขึ้นรูปแผ่นชีทของ PHA ชนิด Mirel P(3HB-4HB) สามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องหลอมอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) และการผสมรวมกับสารเติมแต่งด้วยเครื่องหลอมอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder) ส่วน PHA ชนิด Tianan P(3HB-4HB) และ Tianan PVHB สามารถผสมรวมกับสารเติมแต่งในเครื่องหลอมอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่

ในขั้นตอนการผสมจะต้องผสมผง Tianan P(3HB-4HB) และ Tianan PVHB เข้าด้วยกันเพื่อขึ้นรูปเป็นเม็ดพลาสติกด้วยเครื่องหลอมอัดรีด เพื่อใช้สำหรับเตรียมป้อนเข้าสู่กระบวนการฉีดขึ้นรูป ในขั้นตอนการผสม P(3HB-4HB) และ PVHB จะผสมรวมกับสารก่อผลึก (Nucleating agent) เช่น Boron nitride และเพิ่มสมบัติเชิงกลด้วยการเติม Acrylic ในเครื่องหลอมอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Leistritz Model ZSE-18HP) โดยมีค่า L/D เท่ากับ 40:1 โดยอุณหภูมิที่ใช้แบ่งเป็น 8 โซน โดยส่วนป้อน (Feed zone) ตั้งอุณหภูมิอยู่ที่ 190 °C และอุณหภูมิที่บริเวณ Nozzel เท่ากับ 160 °C และความเร็วของสกรูในการหมุนเท่ากับ 60 rpm โดยอุณหภูมิของน้ำในอ่างที่ใช้ในการหล่อเย็นเท่ากับ 50 °C โดยสภาวะในการผสมระหว่าง P(3HB-4HB) และ PVHB ด้วยเครื่อง Twin screw extruder แสดงดังตารางที่ 5 การขึ้นรูป P(3HB-4HB) ด้วยเครื่อง Single screw extruder มีสภาวะในการขึ้นรูปคล้ายกับ Twin screw extruder โดยสภาวะในการขึ้นรูปแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 สภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูป PHA ชนิด P(3HB-4HB) และ PHBV ด้วยเครื่อง Twin screw extruder

Zone	Value	Unit
Rear	190	°C
Middle	180	°C
Front	170	°C
Nozzel	160	°C
Screw speed	60	rpm

Zone	Value	Unit
Side stuffer speed	30	rpm
Water bath temperature	40	°C

ตารางที่ 6 สภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูป PHA ชนิด P(3HB-4HB) ด้วยเครื่อง Single screw extruder

Zone	Value	Unit
Rear Barrel temperature	175	°C
Middle Barrel temperature	170	°C
Front Barrel temperature	165	°C
Die temperature	165	°C
Melt temperature	165-170	°C
Drying temperature	80	°C
Drying time	4	hours

2.3 กระบวนการเป่าขึ้นรูป (Blow molding) [21]

กระบวนการเป่าขึ้นรูปนิยมใช้ในการผลิตขวด สภาวะการเป่าเข้าฟิล์มและอัดรีดของ (Extrusion blow molding) P(3HB-4HB) และ PHBV ด้วยเครื่อง Rocheleau R4 สิ่งสำคัญในการขึ้นรูปคือควรใช้ Residence time น้อยกว่า 5 นาทีเพื่อส่งผลให้ขวดที่ผลิตได้มีคุณภาพ โดยสภาวะที่เหมาะสมในการเป่าแสดงดังตารางที่ 7 และภาพที่ 3 แสดงขวด P(3HB-4HB) ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Blow molding

ตารางที่ 7 สภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูป PHA ชนิด Mirel P(3HB-4HB) ด้วยกระบวนการ Blow molding

Molding parameter	Setting value	Unit
Injection pressure	7000	kPa
Blow pressure	400	kPa
Rear temperature	160	°C
Front temperature	150	°C
Shut-off block temperature	150	°C
Head temperature	154	°C
Mold temperature	50	°C

ภาพที่ 3 ขวด P(3HB-4HB ที่ Rocheleau R4 extrusion blow molding machine [21]

ตารางที่ 8 สมบัติของ PHA จำแนกตามกระบวนการขึ้นรูป (MatWeb2017) [22,23,24,25]

Processing	Mechanical properties															
	Tensile strength, Yield (MPa)	Elongation at Break (%)	Tensile modulus (GPa)	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (GPa)	Izod impact, Notched (J/cm)	Film Elongation at Break, MD (%)	Film Elongation at Break, TD (%)	Secant Modulus, MD (GPa)	Secant Modulus, TD (GPa)	Coefficient of Friction	Elmendorf Tear Strength, MD (g/micron)	Elmendorf Tear Strength, TD (g/micron)	Dart Drop (g/micron)	Film Tensile Strength at Break, MD (MPa)	Film Tensile Strength at Break, TD (MPa)
Injection molding	25.0	4.0	3.00	40.0	2.00	0.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Extrusion molding	20.0	5	-	-	1.90	0.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blow film	-	-	-	-	-	-	400	500	0.30	0.40	0.25	1.57	3.15	7.87	30.0	25.0
Thermoforming	19.0	13	-	-	1.48	0.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3. บริษัทผู้ผลิตและผู้จัดจำหน่าย

3.1 บริษัทผู้ผลิต PHAs

3.1.1 ภายในประเทศไทย ไม่พบผู้ผลิต PHAs เชิงการค้าภายในประเทศ

3.1.2 ต่างประเทศ

ตารางที่ 8 รายชื่อบริษัทผู้ผลิตพลาสติก PHAs ในต่างประเทศ [3]

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
Biomer	Forst-Kasten-Str. 15 D-82152 Krailling	+49/89/12 765 136	Germany	http://www.biomer.de/ IndexE.html

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
Bio-on	Via Santa Margherita al Colle 10/3 40136 Bologna	+39(0)513 92336	Italy	http://www.bio-on.it/
Mitshubishi Gas	Mitsubishi Building 5-2,Marunouchi 2-chome Chiyoda-ku, Tokyo 100-8324	81-3-1234-5678	Japan	http://www.mgc.co.jp/eng/
PHB Industrial	Fazenda da Pedra, s/n – C, Postal 02. CEP 14150-000 Serrana-Sao Paulo	55 16 3987-9000	Brazil	http://www.biocycle.com.br/site.htm
Tianan Biological Material Polyone	68 Dagang 6th Road, Beilun District, Ningbo City, Zhejiang Province, PR China 315800	-	China	http://www.tianan-enmat.com/
Metabolix	Yield10 Bioscience, Inc. 19 Presidential Way Woburn, MA 01801	1-617-583-1700	USA	http://www.yield10bio.com/
P&G Chemicals	11 North Buona Vista Drive, # 21-07 The Metropolis Tower 2 Singapore 138589	+65-6712-5121	Singapore	http://www.pgchemicals.com/
Goodfellow Cambridge Ltd	Ermine Business Park, Huntingdon, England PE29 6WR	0800 731 4653 (UK) or +44 1480 424 800	UK	http://www.goodfellow.com/

3.2 บริษัทผู้จัดจำหน่าย PHA

3.2.1 ภายในประเทศ ไม่พบรายชื่อผู้จัดจำหน่ายภานในประเทศ

3.2.2 ต่างประเทศ

ตารางที่ 9 รายชื่อบริษัทผู้จัดจำหน่ายพลาสติก PHAs ต่างประเทศ [3]

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
Biomer	Forst-Kasten-Str. 15 D-82152 Krailling	+49/89/12 765 136	Germany	http://www.biomer.de/IndexE.html
Bio-on	Via Santa Margherita al Colle 10/3 40136 Bologna	+39(0)513 92336	Italy	http://www.bio-on.it/
Mitshubishi Gas	Mitsubishi Building 5-2,Marunouchi 2-chome Chiyoda-ku, Tokyo 100-8324	81-3-1234-5678	Japan	http://www.mgc.co.jp/eng/
PHB Industrial	Fazenda da Pedra, s/n – C, Postal 02. CEP 14150-000 Serrana- Sao Paulo	55 16 3987-9000	Brazil	http://www.biocycle.com.br/site.htm
Tianan Biological Material Polyone	68 Dagang 6th Road, Beilun District, Ningbo City, Zhejiang Province, PR China 315800	-	China	http://www.tianan-enmat.com/
Metabolix	Yield10 Bioscience, Inc. 19 Presidential Way Woburn, MA 01801	1-617-583-1700	USA	http://www.yield10bio.com/
P&G Chemicals	11 North Buona Vista Drive, # 21-07 The Metropolis Tower 2 Singapore 138589	+65-6712-5121	Singapore	http://www.pgchemicals.com/
Goodfellow Cambridge Ltd	Ermine Business Park, Huntingdon, England PE29 6WR	0800 731 4653 (UK) or +44 1480 424 800	UK	http://www.goodfellow.com/

4. การประยุกต์ใช้งาน PHAs ในอุตสาหกรรม

4.1 อุตสาหกรรมในครัวเรือน เช่น ขวดเครื่องดื่ม ของใช้ในครัวเรือน เป็นต้น

ภาพที่ 4 ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจาก PHAs สำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือน [8]
ขวดเครื่องดื่ม ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Blow extrusion molding

ตารางที่ 10 คุณสมบัติของเม็ดพลาสติก PHAs ที่ใช้ในกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือน

Physical Properties	Metric	English	Comments
Specific Gravity	1.30 g/cc	1.30 g/cc	ASTM D792
Linear Mold Shrinkage	0.0125 - 0.0155 cm/cm	0.0125 - 0.0155 in/in	ASTM D955
Mechanical Properties	**Metric**	**English**	**Comments**
Tensile Strength	24.0 MPa	3480 psi	ASTM D638
Elongation at Break	7.0 %	7.0 %	ASTM D638
Tensile Modulus	1.60 GPa	232 ksi	ASTM D638
Flexural Strength	33.0 MPa	4790 psi	ASTM D790 A
Flexural Modulus	1.30 GPa	189 ksi	ASTM D790 A
Izod Impact, Notched	0.310 J/cm	0.581 ft-lb/in	ASTM D256 A
Thermal Properties	**Metric**	**English**	**Comments**
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	123 °C	253 °F	ASTM D648 B
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	36.0 °C	96.8 °F	ASTM D648 B
Vicat Softening Point	124 °C	255 °F	ASTM 1525 B10

ตารางที่ 11 ข้อกำหนดและสภาวะในการขึ้นรูป PHAs สำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือน

Processing Properties	Metric	English	Comments
Rear Barrel Temperature	175 - 180 °C	347 - 356 °F	Reverse Temperature Profile

Processing Properties	Metric	English	Comments
Middle Barrel Temperature	170 - 175 °C	338 - 347 °F	
Front Barrel Temperature	165 - 170 °C	329 - 338 °F	
Nozzle Temperature	165 - 170 °C	329 - 338 °F	
Melt Temperature	160 - 165 °C	320 - 329 °F	
Mold Temperature	55.0 - 65.0 °C	131 - 149 °F	(A/B)
Drying Temperature	80.0 °C @Time 7200 - 14400 sec	176 °F @Time 2.00 - 4.00 hour	Desiccant
Back Pressure	<= 3.45 MPa	<= 500 psi	Low
Screw Speed	<= 200 rpm	<= 200 rpm	Slow
Descriptive Properties			
2nd Stage Pressure	<30%		of 1st Stage Pressure (Low)
Equipment Recommendation: Non-Return Valve	Standard Check Ring		
Equipment recommendation: Screw Profile	2.2:1 to 2.6:1		Low Shear GP

4.2 อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์

เช่น ถุงพลาสติก ถุงซ้อปปิ้ง ขวดใส่แชมพู รวมทั้งถ้วยเย็นและร้อน ฝาถ้วยโยเกิร์ต อ่างและถาดสำหรับเนื้อสัตว์และผัก, ถ้วยเครื่องปรุงบรรจุภัณฑ์อาหารอื่นๆ วัสดุที่เหมาะสำหรับการจัดเก็บอาหารแช่แข็ง สามารถอุ่นในไมโครเวฟ และสามารถแช่ลงไปในน้ำเดือดที่มีอุณหภูมิสูงถึง 212 ° F

ภาพที่ 5 ผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกและแผ่นฟิล์มที่ผลิตจากพลาสติก PHAs [5,6]

ภาพที่ 6 ผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้จากพลาสติก PHAs [6,8]

ถุงพลาสติก	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Extrusion molding
ถุงชอปปิ้ง	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Extrusion molding
แผ่นฟิล์มถนอมอาหาร	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Extrusion molding
ขวดใส่แชมพู	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Extrusion blow molding
จาน	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Thermoforming
ถ้วย	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Thermoforming

ตารางที่ 12 คุณสมบัติของพลาสติก PHAs ที่ใช้ในกระบวนการผลิตสำหรับแผ่นฟิล์ม

Physical Properties	Metric	English	Comments
Specific Gravity	1.30 g/cc	1.30 g/cc	ASTM D792
Viscosity	1200 cP @Temperature 180 °C	1200 cP @Temperature 356 °F	Apparent Melt Viscosity, per 100 sec, 5 min dwell time; Telles internal test method
Mechanical Properties	**Metric**	**English**	**Comments**
Film Elongation at Break, MD	400%	400%	ASTM D882
Film Elongation at Break, TD	500%	500%	ASTM D882
Secant Modulus, MD	0.300 GPa	43.5 ksi	ASTM D882
Secant Modulus, TD	0.400 GPa	58.0 ksi	ASTM D882
Coefficient of Friction	0.25	0.25	ASTM D1894
Elmendorf Tear Strength, MD	1.57 g/micron	40.0 g/mil	ASTM D1922

Elmendorf Tear Strength, TD	3.15 g/micron	80.0 g/mil	ASTM D1922
Dart Drop	7.87 g/micron	200 g/mil	ASTM D1709
Film Tensile Strength at Break, MD	30.0 MPa	4350 psi	ASTM D882
Film Tensile Strength at Break, TD	25.0 MPa	3630 psi	ASTM D882
Thermal Properties	**Metric**	**English**	**Comments**
Melting Point	170 °C	338 °F	

ตารางที่ 13 ข้อกำหนดและสภาวะในการขึ้นรูป PHAs สำหรับแผ่นฟิล์ม

Processing Properties	Metric	English	Comments
Die Temperature	168 °C	334 °F	Die zone settings
Die Opening	0.0900 - 0.230 cm	0.0354 - 0.0906 in	-
Drying Temperature	80.0 °C	176 °F	-
Moisture Content	<= 0.050 %	<= 0.050 %	-
Descriptive Properties	-	-	-
Air Ring	Dual Lip Air Ring	-	-
Blown Film Die Type	Spiral Mandrel	-	-
Bubble Configuration	Low-Stalk (In-Pocket)	-	-
Equipment recommendation: Screw Profile	2.0:1 to 2.5:1	Low compression ratio with a metering section depth of about 8-10% of barrel diameter.	-
Extruder Barrel Settings	Metering Zone	Compaction Zone	

ตารางที่ 14 คุณสมบัติของพลาสติก PHAs ที่ใช้ในกระบวนการผลิตสำหรับบรรจุภัณฑ์

Physical Properties	Metric	English	Comments
Specific Gravity	1.29 g/cc	1.29 g/cc	ASTM D792
Oxygen Transmission	10.2 cc-mm/m²-24hr-atm	26.0 cc-mil/100 in²-24hr-atm	ASTM D3985

Viscosity	1700 cP @Temperature 180 °C	1700 cP @Temperature 356 °F	Apparent Melt Viscosity, per 100 sec; ASTM D3835
Mechanical Properties	**Metric**	**English**	**Comments**
Tensile Strength, Yield	19.0 MPa	2760 psi	ASTM D638
Elongation at Break	13 %	13 %	ASTM D638
Flexural Modulus	1.48 GPa	215 ksi	ASTM D790 A
Izod Impact, Notched	0.370 J/cm	0.693 ft-lb/in	ASTM D256 A
Thermal Properties	**Metric**	**English**	**Comments**
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	116 °C	241 °F	ASTM D648 B
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	64.0 °C	147 °F	ASTM D648 B
Vicat Softening Point	136 °C	277 °F	ASTM 1525 A10

ตารางที่ 15 ข้อกำหนดและสภาวะในการขึ้นรูป PHAs สำหรับกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์

Processing Properties	**Metric**	**English**	**Comments**
Rear Barrel Temperature	175 °C	347 °F	Reverse Temperature Profile
Middle Barrel Temperature	170 °C	338 °F	
Front Barrel Temperature	165 °C	329 °F	
Die Temperature	165 °C	329 °F	Center Zone

Processing Properties	Metric	English	Comments
	165 °C	329 °F	Edge Zones
Melt Temperature	165 - 170 °C	329 - 338 °F	
Roll Temperature	<= 32.0 °C	<= 89.6 °F	A-roll (Top roll of a down-stack)
	50.0 - 65.0 °C	122 - 149 °F	B-roll (Middle roll)
	65.0 °C	149 °F	C-roll (Bottom roll of a down-stack)
Drying Temperature	80.0 °C @Time 14400 sec	176 °F @Time 4.00 hour	-
Moisture Content	<= 0.10 %	<= 0.10 %	-

4.3 อุตสาหกรรมทางการแพทย์

เช่น เข็มหมุดทางการแพทย์ (Surgical pins) ผ้าก๊อซ (Swabs) ข้อต่อกระดูก (Bone replacements) หลอดเลือดเทียม (Blood vessel replacements) ผ้าพันแผล (Wound dressings) และด้ายเย็บแผล [26]

เข็มหมุดทางการแพทย์	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Injection molding
ด้ายเย็บแผล	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Extrusion
ผ้าก๊อซ	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Extrusion
ผ้าพันแผล	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Extrusion
ข้อต่อกระดูก	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Injection molding
หลอดเลือดเทียม	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Extrusion

5. ความรู้และข่าวสารใหม่ๆ

พอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยไม้ (WPC) เป็นวัสดุที่ผลิตด้วยด้วยการรวมอนุภาคไม้หรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีเส้นใยเข้ากับพอลิเมอร์หรือเม็ดพลาสติกพร้อมเติมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ ซึ่ง WPC ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบันในการใช้แทนไม้ สำหรับการผลิตวัสดุก่อสร้างเช่นพื้น ระเบียง รั้ว ราวบันได และอุปกรณ์ Outdoor อื่นๆ โดย พลาสติกที่นิยมนำมาใช้ผลิต WPC นั่นก็คือ PVC การผสมกันได้ระหว่าง PVC และ Plasticizer ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ WPC ซึ่ง PHA I6003 (Polyhydroxyalkanoate polymers) ชีวภาพ ของบริษัท Metabolix นั้นสามารถทำหน้าที่เป็น plasticizer ที่มีคุณสมบัติในการผสมรวมกันกับเนื้อ PVC ได้ดี (Highly miscible) และยังสามารถใช้กระบวนการผลิตประเภทเดียวกับ PVC ปกติได้เช่นเดิม โดย PHA I6003 นั้นทำหน้าที่เป็น Fusion promoter ในการผลิต WPC ช่วยปรับปรุงคุณภาพของการผสมกันระหว่าง PVC และไม้ให้มีการกระจายตัวของเนื้อวัสดุที่ดีขึ้นและยังช่วยลด torque ในกระบวนการอัดรีดด้วย

Metabolix ร่วมมือลูกค้าในการพัฒนาสูตรการผลิต WPC จาก PVC ที่ผสม PHA ของบริษัทในการผลิตพื้น ระเบียง รั้ว ราวบันได โดยมีจุดมุ่งหมายในการเพิ่มการใช้ผงไม้และลดการใช้ PVC ให้น้อยลง สามารถผลิตได้ง่ายขึ้น ลดการใช้พลังงานและมีคุณสมบัติของชิ้นงานดีขึ้นทั้งในด้านความสวยงามและความทนทาน

ภาพที่ 7 ระเบียง รั้ว ราวบันได WPC [9]

บริษัท Bio-on ได้ทำสัญญากับบริษัท S.E.C.I. S.p.A. (บริษัทในเครือ Industriale Maccaferri Holding) เพื่อทำการผลิต PHA จาก Glycerol ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมจากการผลิตไบโอดีเซล โดยเริ่มต้นจะทำการผลิต 5000 ตัน/ปี และจะขยายกำลังการผลิต 10000 ตัน/ปี โดย S.E.C.I. S.p.A. ลงทุนกว่า 55 ล้านยูโร สำหรับหน่วยการผลิต และโรงงานผลิตตั้งอยู่ที่ Eridania Sadam ประเทศอิตาลี

บริษัท Bio-on ได้พัฒนาพลาสติกชีวภาพตัวใหม่ ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นของเล่นสำหรับเด็ก ซึ่งมีความปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยพลาสติกชีวภาพตัวใหม่นี้ มีชื่อว่า Minerva PHA Super toys สำหรับพลาสติก PHA จาก Bio-on เป็นพลาสติกชีวภาพ 100% ที่ได้รับการรับรองจาก Vincotte ว่าสามารถย่อยสลายได้ ในการผลิตของเล่นในครั้งนี้ ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ในเชิงการค้า แต่ต้องการที่จะสาธิตให้เห็นว่าพลาสติกชีวภาพสามารถนำไปผลิตของเล่นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้และปลอดภัยสำหรับเด็ก เนื่องจากเป็นวัสดุที่ไม่เป็นพิษ

พลาสติก PHA ที่ผลิตจากของเสียในอุตสาหกรรมและก๊าซจากสัตว์ บริษัทที่เติบโตใหม่ในรัฐ California ได้จดสิทธิบัตรจากการผลิตกก๊าซมีเทนที่ได้จากสัตว์และของเสียใน อุตสาหกรรมโดยเฉพาะพวกสารอินทรีย์ระเหยง่าย บริษัท Newlight Technologies เจ้าของ 7 รางวัล ด้านสิทธิบัตร กำลังดำเนินการสร้างการผลิตโดยอ้างว่าเทคโนโลยี นี้จะสามารถผลิตพลาสติกชีวภาพที่มีประสิทธิภาพสูง แต่มีราคาต่ำกว่าพลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเลียม บริษัท Newlight ได้อธิบายวิธีการในเว็บไซต์ว่า “แรงจูงใจนั้นมาจากกระบวนการจับตัวกันของคาร์บอนที่พบในธรรมชาติ บริษัทจึงได้พัฒนาและจดสิทธิบัตรรวมทั้งผลิตเป็นเชิงการค้า โดยกระบวนการนี้เริ่มจากการแยกโมเลกุล ของคาร์บอนและออกซิเจนในอากาศ และจัดเรียงสายโซ่โมเลกุลใหม่ให้เป็นสายโซ่ยาวจะได้เทอร์โมพลาสติกที่มีคุณภาพสามารถแข่งขันกับพลาสติกจากปิโตรเลียมได้ ในเรื่องราคา คุณภาพและการพัฒนาอย่างยั่งยืน” สารประกอบอินทรีย์จะถูกป้อนสู่เครื่องปฏิกรณ์ พร้อมกับจุลินทรีย์ เพื่อสังเคราะห์เอนไซม์ของมีเทน เมื่อจุลินทรีย์โตจะถูกเปลี่ยนเป็นพลาสติกชีวภาพที่เรียกว่า Polyhydroxyalkanoate (PHA) ความพยายามที่จะผลิต PHA จากน้ำตาลของแป้งให้เป็นเชิงการค้านั้นล้มเหลว เพราะวัตถุดิบมีราคาสูง มีเทนที่ได้จากของเสียเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูก บริษัท Newlight ใช้ชื่อทางการค้าของ PHA ว่า “Airflex” และกล่าวอีกว่ามีเกรดทสามารถใช้แทนพลาสติก Polypropylene, Polyethylene (HD, LD และ LLD), ABS, HIPS, PMMA และ TPU ซึ่งเม็ดพลาสติก Airflex สามารถใช้ในกระบวนการขึ้นรูปทั้งแบบหลอมอัดรีด (Extrusion) แบบเป่าฟิล์ม (Blown film) แบบหล่อฟิล์ม (Cast film) เทอร์โมฟอร์มมิ่ง (Thermoforming) การป้อนเส้นใย (Fiber spinning) และการฉีดเข้าแม่พิมพ์ (Injection)

เอกสารอ้างอิง

1 วรัญญา สุวรรณสิงห์, ผกาวดี แก้วก้นเนตร การคัดแยกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตสารไบโอพอลิเมอร์จากธรรมชาติ วารสารศูนย์บริการวิชาการ ปีที่ 18 ฉบับที่ 3-4 กรกฎาคม-ธันวาคม 2553 [online] 2010. Available from: http://www.biotechnologyforums.com/thread-2280.html

2 Keshavarz, T., & Roy, I. (2010). Polyhydroxyalkanoates: bioplastics with a green agenda. Current opinion in microbiology, 13(3), 321-326. [online] 2010. Available from: https://sites.google.com/site/lsubentoncorewiki/project-portals/algae/this-is-a-link-to-algae-stuff

3 Bugnicourt, E., Cinelli, P., Lazzeri, A., & Alvarez, V. A. (2014). Polyhydroxyalkanoate (PHA): Review of synthesis, characteristics, processing and potential applications in packaging.

4 ศิริรัตน์ ศิริพรวิศาล “PHA: พลาสติกชีวภาพจากแบคทีเรีย”ส่งเสริมเทคโนโลยี ปีที่ 35 ฉบับที่ 202 หน้า 1-7 [online]. Available from: http://www.neutron.rmutphysics.com/news/index.php?option=com_content&task=view&id=867&Itemid=99999999&limit=1&limitstart=0

5 PoliMax, IRPC Public Company Limited, Film blowing process, [online] 2016. Available from:http://www.irpcmarket.com/upload/infobox/65bf41754bce1176260cec14830ae209-doc.pdf

6 National roadmap for the development of bioplastics industry, PHA bioplastic, [online] 2008. Available from: http://www.nia.or.th/bioplastics/books/10_1.pdf.

7 Biomass Program production of Polyhydroxyalcanoated Polymer, PHA bioplastic. [online] 2006. Available from: http://www1.eere.energy.gov/bioenergy/pdfs/production_polymers.pdf.

8 The impact of MHG’s PHA bioplastic, PHA bioplastic, [online] 2016. Available from: http://www.mhgbio.com/pha-mhg-biodegradable-plastics/

9 http://www.bioplasticsmagazine.com/en/news/meldungen/2016-01-19-Metabolix-explores-use-of-PHA-in-WPCs.php

10 http://plastic.oie.go.th/ReadArticle.aspx?id=14885

11 PHA bioplastic processing, [online] 2016. Available from: http://www.mhgbio.com/pha-mhg-biodegradable-plastics/

12 Ptonline, PHA polymer molding, [online] 2009. Available from: http://www.ptonline.com/articles/injection-molding-biopolymers-how-to-process-renewable-resins.

13 MatWeb Material Property Data, PHA specification, [online] 2016. Available from: http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=9a8bbca39deb4e45be0710940d33448d&ckck=1.

14 MatWeb Material Property Data, PHA specification, [online] 2016. Available from: http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=19fa89949f5041d9b8e1d153ec66dbc2.

15 รองศาสตราจารย์ดร.วาณี ชนเห็นชอบ เทคโนโลยีการบรรจุอาหาร (Food Packaging Technology) [online] 2016. Available from: http://www.kmutt.ac.th/foodeng/download/food-packaging-coursepak.pdf
16 PRC Plast (Thailand) Company Limited, thermoforming process, [online] 2016. Available from: http://prcp.co.th/tech.php
17 Bioplastics Magazine, ข่าวสารพลาสติก. [online] 2016. Available from: http://goo.gl/HpexrS.
18 Bio plastic magazine, [online] 2015. Available from: http://www.bioplasticsmagazine.com/en/news/meldungen/2015-12-17-Bio-on-presents-new-Supertoy-grade.php
19 Bioplastics Magazine, ข่าวสารพลาสติก. [online] 2016. Available from: http://goo.gl/rbyzCB
20 Plastic, ข่าวสารพลาสติก. [online] 2016. Available from http://plastic.oie.go.th/ReadArticle.aspx?id=14516
21 Joseph P. Greene (2014). Sustainable Plastics: Environmental Assessments of Biobased, Biodegradable, and Recycled Plastics. (p.77-82) John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
22 MatWeb Material Property Data, PHA specification of Thermoforming, [online] 2017. Available from: http://www.matweb.com/search/DataSheet.maspx?MatGUID=19fa89949f5041d9b8e1d153ec66dbc2
23 MatWeb Material Property Data, PHA specification of blow film, [online] 2017. Available from: http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=ed4f9848cf204d2291bfd427a7e01540
24 MatWeb Material Property Data, PHA specification of sheet extrusion, [online] 2017. Available from: http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=592a490c62344ace88b83758b46d4042
25 MatWeb Material Property Data, PHA specification of injection molding, [online] 2017. Available from: http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=6a0ec0c2b5704aaabff1f4bded9b0455
26 Bioplastics in fo. Applications of PHA as Bioplastic. [online] 2017. Available from: http://bioplasticsinfo.com/polyhydroxy-alkonates/applications-of-pha-as-bioplastic/
27. Evan, J.D. and Sikdar, S.K. (1990). Biodegradable plastic: An idea whose time has come. Chemtech, (20), 38-42.

28 Madison, L.L. and Huisman, G.W. (1999). Metabolic engineering of poly(3-hydroxyalkanoates): from DNA to plastic. Microbiology and Molecular Biology Reviews, (63), 21–53.