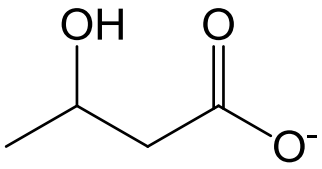
บทที่ 7 รายละเอียดข้อมูลพลาสติกชีวภาพประเภท พอลิไฮดรอกซีบิวทิเรต (Polyhydroxybutyrate)

1. ข้อมูลทั่วไป

พอลิไฮดรอกซีบิวทิเรต (Polyhydroxybutyrate : PHB) เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายตัวได้ทางชีวภาพ (Biodegradable plastic) เกิดจากการสะสมสารประกอบคาร์บอนในเซลล์ของจุลินทรีย์ที่สามารถสังเคราะห์พอลิเมอร์ได้ เช่น Alcaligenes, Azobacter, Bacillus, Pseudomonas และ Alcaligenes eutrophus [1] ในขั้นตอนแรกจะใช้น้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนให้กับจุลินทรีย์สำหรับผลิต PHB ซึ่งมีต้นทุนในการผลิตสูงกว่าการผลิตพอลิเมอร์จากปิโตรเคมี ทำให้ PHB ยังไม่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายนัก [2] ปัจจุบันได้มีการพัฒนาโดยใช้แหล่งสารประกอบคาร์บอนจากผลผลิตทางการเกษตร เช่น ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง [3] และผลผลิตพลอยได้ในอุตสาหกรรม เช่น กากน้ำตาล กลีเซอรอล คาร์บอนไดออกไซด์ หางนม เป็นต้น มาใช้ในการสังเคราะห์ PHB เพื่อลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง ทำให้ PHB ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางมากขึ้น เช่น ภาชนะบรรจุอาหาร ชิ้นส่วนรถยนต์ พลาสติกคลุมดิน และอุปกรณ์ทางการแพทย์ เนื่องจากมีความยืดหยุ่น ทนทานต่อการซึมผ่านของน้ำและออกซิเจน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [4,5]

มอนอเมอร์ของ PHB คือ บีตาไฮดรอกซีบิวทิเรต (β-hydroxybutyrate) ซึ่ง PHB จัดเป็นพอลิเมอร์สายสั้นที่อยู่ในกลุ่มพอลิไฮดรอกซีแอลคาโนเอต (PHA) ที่มีโครงสร้างทางเคมีที่ประกอบด้วยหมู่เอสเทอร์ (Ester) และหมู่เมทิล (Methyl) จัดเป็นสารประเภทอะลิฟาติกพอลิเอสเตอร์ (Aliphatic polyester) โดยสะสมอยู่ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ PHB ได้รับความสนใจในวงการอุตสาหกรรมพลาสติกอย่างมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพใกล้เคียงกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ โดยเฉพาะพอลิโพรพิลีน (Polypropylene : PP) [6,7,8] แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างของบีตาไฮดรอกซีบิวทิเรต

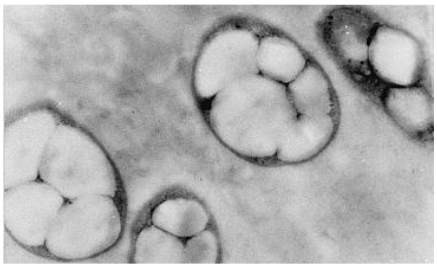
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติพลาสติกชีวภาพ PHB กับพลาสติกสังเคราะห์ PP

Properties	PHB	PP
% of Crystallinity degree	80	70
Average molar mass (g/mol)	4×10^5	2×10^5
Melting temperature (°C)	175	176
Glass transition temperature (°C)	- 5	-10

Properties	PHB	PP
Density (g/cm^3)	1.2	0.905
Modulus of flexibility (GPa)	1.4 – 3.5	1.7
Tensile strength (MPa)	15 – 40	38
% of Elongation at break	4 - 10	400

จะเห็นได้ว่าพลาสติก PHB มีความสามารถทนอุณหภูมิสูง โดยมีจุดหลอมเหลวสูงถึง 175 °C และมีคุณสมบัติเป็นฟิล์มกันน้ำและความชื้นได้ดี มีลักษณะคล้ายเรซิน คือ มีความหนืดสูงและสามารถหล่อขึ้นรูปเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ตามต้องการในอุณหภูมิที่ใกล้เคียงหรืออาจสูงกว่าจุดหลอมเหลวเล็กน้อย [9] และยังมีเปอร์เซนต์การตกผลึกถึง 80% แต่พบว่ามีค่าเปอร์เซนต์การยืดตัวเมื่อขาดน้อยกว่าพอลิโพรพิลีน [10]

ทั้งนี้ความยาวของพอลิเมอร์ PHB ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ วิธีการสกัด PHB ออกจากเซลล์ชนิดของแบคทีเรียที่ใช้ผลิต ชนิดของสารตั้งต้น ระยะเวลาในการเลี้ยงเซลล์ ชนิดของสารอาหารที่จำกัดต่อการเจริญเติบโต ตลอดจนสภาวะที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงระหว่างการผลิต [11]



ภาพที่ 2 ลักษณะของ PHB ที่สะสมอยู่ภายในแกรนูลของเซลล์ Alcaligenes eutrophus [12]

ตารางที่ 2 น้ำหนักของมวลเซลล์รวมและปริมาณ PHB ที่สกัดได้จากการเลี้ยงเชื้อ Alcoligenes lactus [13]

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง (g/l)	ปริมาณ PHB (g/l)	PHB content (%w/w)
0	0.60	0.35	58.33
12	1.05	0.47	44.44
24	1.17	0.40	34.29
36	1.50	0.20	13.33
48	1.45	0.33	22.99
60	1.10	0.40	36.36
72	0.95	0.45	47.37
84	1.35	0.13	9.88

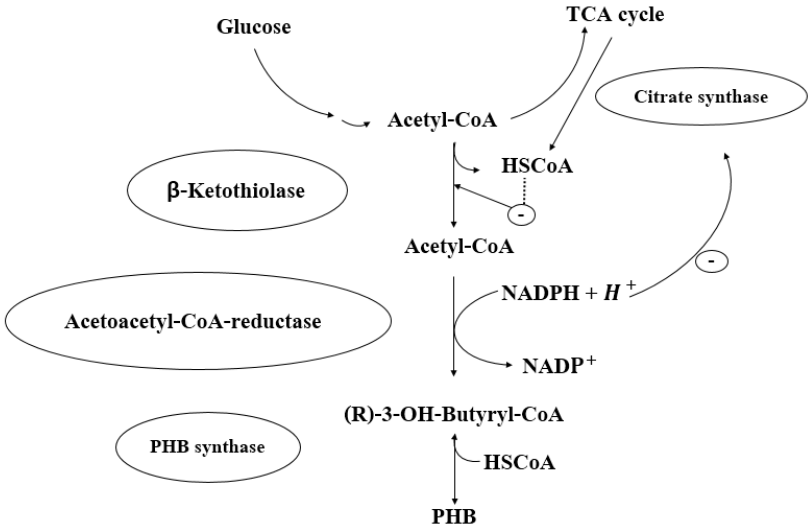
การเรียกชื่อ PHB สามารถเรียกได้หลายแบบทั้งชื่อทางเคมี คือ Polyhydroxybutyrate, Poly (beta-hydroxybutyrate), Poly (3-hydroxybutyric acid), Poly-3-hydoxybutyrate และชื่อทางการค้าซึ่งขึ้นกับบริษัทผู้ผลิต เช่น Biopol®, ENMAT™, ENMAT™ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ชื่อทางการค้าของ PHB ตามบริษัทผู้ผลิต

Company	Trade name
Biopol	Biopol®
Mitsubishi Gas Chemicals (MGC)	Biogreen®
Tianan Biologic Material Co. Ltd.	ENMAT™
Biomer	ENMAT™
Mitsubishi Plastic, Inc.	Ecoloju
Green Bio/DSM, China	Green Bio
PHB Industrial Brasil S. A.	Biocycle
Telles, US	Mirel

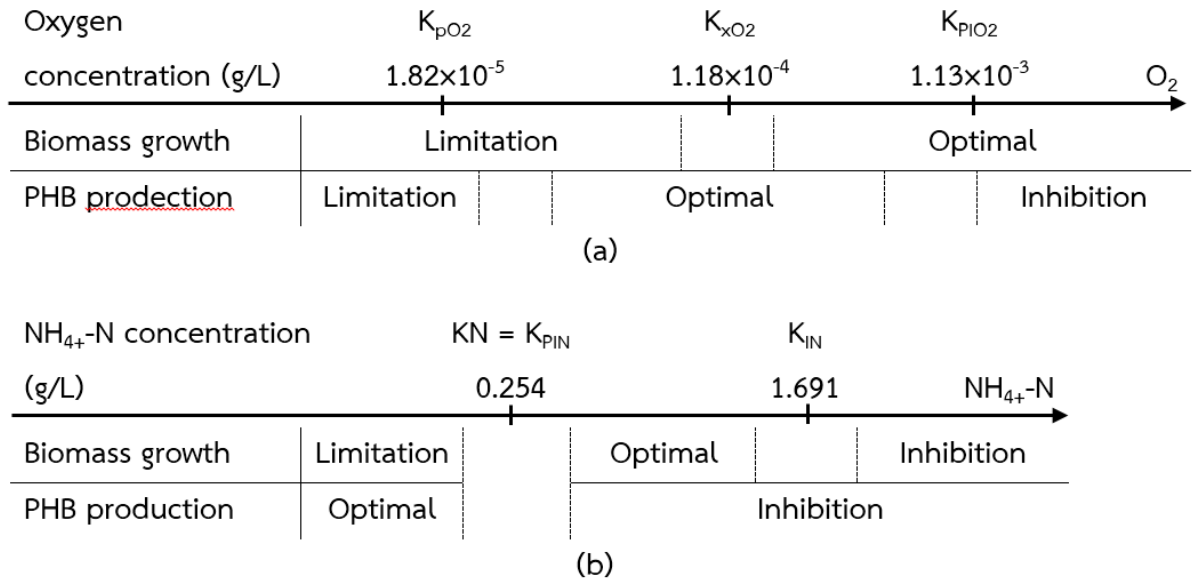
กระบวนการสังเคราะห์

PHB เป็นสารที่สะสมอยู่ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ ดังนั้นการสังเคราะห์ PHB ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์จะมีความเกี่ยวข้องกับสารตัวกลางในวัฏจักรเครปส์ (Kreb's cycle, TCA cycle) และมีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้องในปฏิกิริยาทั้งหมด 3 ชนิด คือ เอนไซม์ 3-Ketothiolase จะเร่งให้เกิดการรวมตัวกันของ Acetyl CoA ได้เป็น Acetoacetyl-CoA, เอนไซม์ Acetoacetyl-CoA reductase จะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ Acetoacetyl-CoA ไปเป็น (R)-3-Hydroxybutynl-CoA และเอนไซม์ PHA synthase จะมาเร่งปฏิกิริยา Polymerizes สาร(R)-3-Hydroxybutynl-CoA ได้เป็นพอลิเมอร์ PHB [14] ดังภาพที่ 3



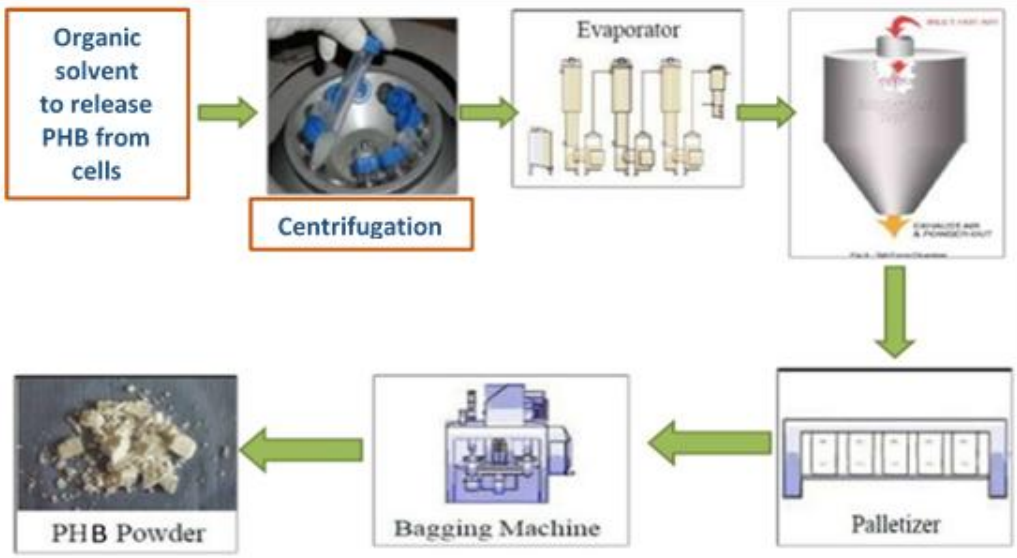
ภาพที่ 3 การสังเคราะห์ PHB [14]

การสังเคราะห์และการสะสมของพอลิเมอร์ PHB ภายในจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นเมื่อเข้าสู่การเจริญในระยะคงที่ของจุลินทรีย์ หรือในอีกกรณีคือ มีการสร้างพอลิเมอร์ PHB ไปพร้อมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งจะต้องอยู่ในสภาวะจำกัดสารอาหาร เช่น ฟอสฟอรัส ออกซิเจน ไนโตรเจน เป็นต้น เพื่อให้เซลล์ของจุลินทรีย์สามารถสังเคราะห์และสะสมพอลิเมอร์ PHB ได้ ในขณะเดียวกัน หากจุลินทรีย์มีสารอาหารที่เพียงพอ เซลล์จะใช้สารอาหารในการเจริญเติบโตทำให้ไม่สามารถสังเคราะห์ PHB ได้ [15] ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 สภาวะที่จำกัดออกซิเจนของ PHB [16]

สำหรับอุตสาหกรรมการผลิต PHB เริ่มจากการสกัด PHB ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์จากเซลล์จุลินทรีย์ที่นำมาผลิต จากนั้นนำโพลิเมอร์ที่สกัดได้มาทำให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นโดยการล้างด้วยไดเอทธิลอีเธอร์ (Diestyl ether) หรือเมธานอล (Methanol) เพื่อกำจัดไขมันออก [17] และยังพบอีกว่าในการสกัดในสภาวะที่มีความเป็นด่างสูงจะทำให้สายพอลิเมอร์ของ PHB ถูกทำลายซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางด้านพื้นผิวและโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ และการแช่เซลล์ในสารลดแรงตึงผิวก่อนทำการสกัดจะช่วยเพิ่มความบริสุทธิ์และมวลโมเลกุลของสารถึง 95 เปอร์เซนต์ จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที แล้วระเหยตัวทำละลายออกด้วย Evaporator ก่อนเข้าเครื่อง Bagging Machine จะได้ได้ผง PHB ออกมา [18] ดังภาพที่ 5

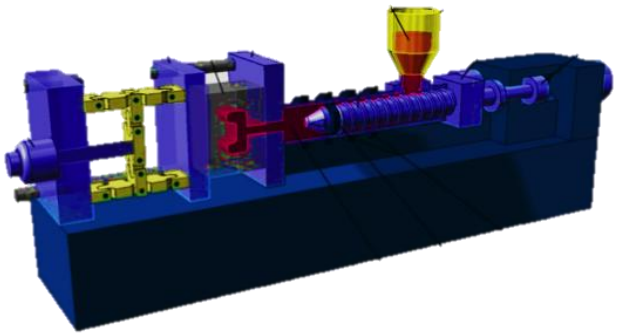


ภาพที่ 5 การผลิต PHB ในอุตสาหกรรม [19]

2. กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

2.1 กระบวนการฉีดเข้าแม่พิมพ์ (Injection molding)

กระบวนการฉีดเข้าแม่พิมพ์เริ่มจากนำเม็ดหรือผง PHB เติมลงในฮอปเปอร์ (Hopper) ลักษณะเป็นกรวยขนาดใหญ่ สำหรับบรรจุเม็ดพลาสติกและสารเติมแต่ง เพื่อป้อนเข้าเครื่องฉีดพลาสติก เกลียวหนอนเป็นสกรูที่มีความยาวสั้นกว่ากระบอกเล็กน้อย มีลักษณะเป็นเกลียวหยาบหมุนป้อนส่วนผสมของพลาสติก ให้เคลื่อนที่เข้าสู่กระบอก สามารถเคลื่อนถอยหลังและดันกลับ เพื่อเพิ่มแรงดันให้พลาสติกหลอมเหลวไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ และยังมีอุปกรณ์ให้ความร้อนไฟฟ้า (Electrical Heater) เพื่อทำให้ PHB หลอม จากนั้นเกลียวหนอนจะเคลื่อนดัน PHB ที่หลอมผ่านหัวฉีดไปเข้าแม่พิมพ์ (Mold) มีลักษณะเป็นช่องว่างที่มีรูปร่างตามผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต มักออกแบบให้มี 2 ชิ้น เพื่อให้สะดวกต่อการถอดผลิตภัณฑ์ออก แม่พิมพ์จะมีการหล่อเย็นด้วยน้ำเย็นที่ผลิตจากเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) เพื่อทำให้ชิ้นงานเย็นและแข็งตัว สามารถถอดออกจากแบบได้ จากนั้นจะส่งไปตกแต่งชิ้นงานต่อไป [20] ลักษณะเครื่องฉีดเข้าแม่พิมพ์ ดังภาพที่ 6 และแสดงตัวอย่างสภาวะสำหรับขึ้นรูป PHB ดังตารางที่ 4



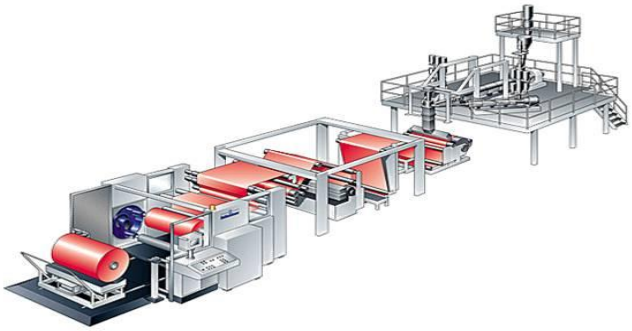
ภาพที่ 6 เครื่อง Injection molding modified [21]

ตารางที่ 4 ตัวอย่างสภาวะที่ใช้ในการฉีดเข้าแม่พิมพ์เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์จาก PHB [22]

Processing parameters	Value	Unit
Injection Pressure	400 - 600	bar
Injection Speed	20 - 40	cm^3/s
Commutation	400 - 600	bar
Packing Pressure	300 - 550	bar
Packing Time	10 - 15	s
Dosage Speed	8 – 14	m/min
Counter Pressure	10 - 20	bar
Cooling Time	20 - 35	sec

2.2 กระบวนการขึ้นรูปฟิล์มและแผ่นฟิล์ม (Cast film and sheet)

การผลิตฟิล์มและแผ่นฟิล์ม นิยมขึ้นรูปจากเครื่องหลอมอัดรีด โดยใช้หัวดายน์ (Die) ที่มีลักษณะคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า เมื่อพอลิเมอร์เกิดการหลอมเหลวแล้วไหลออกสู่หัวดายน์จะได้แผ่นฟิล์มที่มีความกว้างมากกว่าความหนา โดยแผ่นฟิล์มนี้จะไหลผ่านลูกกลิ้งที่มีการหล่อเย็น (Chill roll) เพื่อควบคุมขนาดและความหนาของฟิล์มให้ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งการรีดกลิ้งนอกจากจะควบคุมความหนาของฟิล์มแล้วยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความโปร่งใสให้กับฟิล์มได้อีกด้วย นอกจากนี้ปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการควบคุมความหนาและนาดของฟิล์ม เช่น อุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิการหล่อเย็น และการถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เป็นต้น [23]

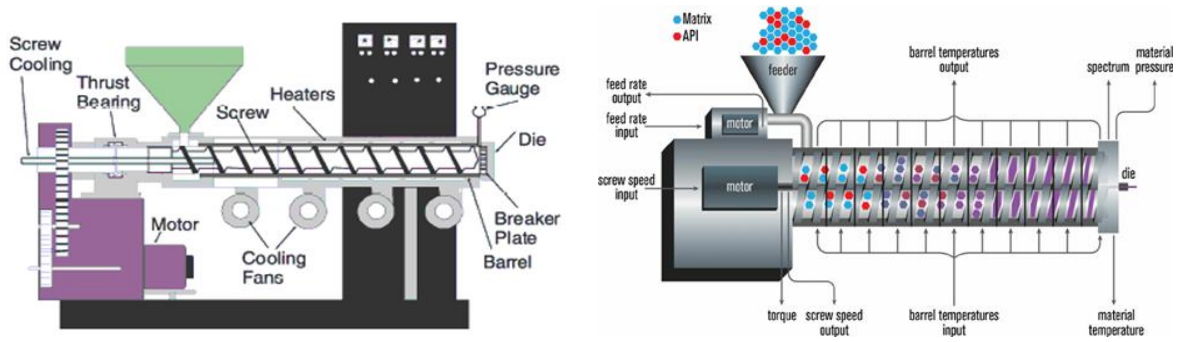


ภาพที่ 7 เครื่อง Cast film and sheet [24]

2.3 กระบวนการหลอมอัดรีด (Extrusion)

กระบวนการหลอมอัดรีด จะเริ่มจากการป้อนเม็ดพลาสติกเข้าสู่เครื่องป้อน (Hopper) จากนั้นเม็ดพลาสติกจะถูกส่งผ่านไปยังบาเรล (Barrel) โดยมีเกลียวหนอน (Screw) ภายในบาเรลเป็นตัวลำเลียงเม็ดพลาสติกเหล่านี้ไปด้านหน้า ซึ่งเกลียวหนอนที่ใช้ในอุตสาหกรรมมี 2 แบบ คือ เครื่องหลอมอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) ดังภาพที่ 8 (a) และเครื่องหลอมอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin

screw extruder) ดังภาพที่ 8 (b) เมื่อเม็ดพลาสติกเคลื่อนไปด้านหน้าจะได้รับความร้อน ความดันและแรงเฉือนทำให้เม็ดพลาสติกหลอมและไหล ซึ่งจะส่งผลให้พลาสติกหลอมเหลวสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนจะดันเข้าสู่แม่พิมพ์ (Mold) บริเวณหัวดายน์ โดยที่บริเวณทางออกหน้าดายน์จะมีการหล่อเย็น (Cooling) ด้วยน้ำเพื่อให้ได้ชิ้นงานตามรูปทรงที่ต้องการ [25]



(a) (b)

ภาพที่ 8 เครื่องหลอมอัดรีด (a) แบบเกลียวหนอนเดี่ยว (b) แบบเกลียวหนอนคู่ [26,27]

3. บริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

3.1 บริษัทผู้ผลิต PHB

3.1.1 ภายในประเทศไทย ไม่พบบริษัทผู้ผลิต PHB

3.1.2 ต่างประเทศ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รายชื่อบริษัทผู้ผลิต PHB ต่างประเทศ

Manufactures	Address	Contact	Country	Website
Biomatera	2130, rue de la Chute-du-Diable CHICOUTIMI, Quebec G7J 0B2	(418) 695-7133	Canada	www.biomatera.com
Metabolix	19 Presidential Way Woburn, Massachusetts 01801	1-617-583-1700	USA	www.metabolix.com
PHB Industrial S/A	Loc Usina da Pedra, S/N, Zona Rural Serrana; Sao Paulo; Map 14150-000	+55 (0)16 3987-9000	Brazil	www.biocycle.com.br

Manufactures	Address	Contact	Country	Website
Mitsubishi Gas Chemicals (MGC)	2-5-2 Marunochi Chiyoda-Ku, 100-8324Japan	81-3-3283-5080	Japan	www.mgc.co.jp/eng/
Biomer	Forst-Kasten-Str. 15D-82152 Krailling	+49/89/12 765 136	Germany	www.biomer.de

3.2 บริษัทผู้จัดจำหน่าย PHB

3.2.1 ภายในประเทศไทย ไม่พบบริษัทผู้จำหน่าย PHB

3.2.2 ต่างประเทศ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 รายชื่อบริษัทผู้จัดจำหน่าย PHB ต่างประเทศ

Manufactures	Address	Contact	Country	Website
Metabolix	19 Presidential Way Woburn, Massachusetts 01801	1-617-583-1700	USA	www.metabolix.com
Biomer	Forst-Kasten-Str. 15D-82152 Krailling	+49/89/12 765 136	Germany	www.biomer.de
Biomatera	2130, rue de la Chute-du-Diable CHICOUTIMI, Quebec G7J 0B2	(418) 695-7133	Canada	www.biomatera.com
PHB Industrial S/A	Loc Usina da Pedra, S/N, Zona Rural Serrana; Sao Paulo; Map 14150-000	+55 (0)16 3987-9000	Brazil	www.biocycle.com.br
Mitsubishi Gas Chemicals (MGC)	2-5-2 Marunochi Chiyoda-Ku, 100-8324Japan	81-3-3283-5080	Japan	www.mgc.co.jp/eng/

4. การนำไปประยุกต์ใช้ PHB ในอุตสาหกรรม

จากคุณสมบัติของ PHB ดังที่กล่าวมาข้างต้น จึงมีการนำ PHB มาประยุกต์ใช้งานในระดับอุตสาหกรรมหลากหลายด้าน ทั้งอุตสาหกรรมการเกษตร อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ ฟิล์มห่อหุ้มอาหาร กล่องใส่อาหาร ขวดน้ำ กล่องโฟม เม็ดโฟมกันกระแทก อุตสาหกรรมทางการแพทย์ ได้แก่ ที่วัสดุปิดแผล ไหมเย็บแผล อุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น [28]

4.1 อุตสาหกรรมการเกษตร

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีศักยภาพเพียงพอที่จะผลิตพลาสติกชีวภาพ เนื่องจากมีแหล่งวัตถุดิบ ผลผลิตทางการเกษตรปริมาณมาก ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้สามารถส่งต่อยังภาคอุตสาหกรรมเกษตรหลากหลายด้าน รวมถึงอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพที่สามารถนำวัตถุดิบเหล่านี้มาใช้เป็นสารตั้งต้น เพื่อการผลิตพลาสติกชีวภาพได้ เช่น ภาชนะปลูกพืช วัสดุห่อหุ้มและปลดปล่อยยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืชหรือปุ๋ยตามช่วงเวลาที่กำหนด ถุงเพาะชำกล้าไม้ ถุงห่อผลไม้ ดังภาพที่ 8 ข้อดีคือ เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผลผลิตทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตรที่มีอยู่ในประเทศ และยังช่วยลดปริมาณการนำเข้าวัตถุดิบหรือสารตั้งต้นเพื่อใช้ในการผลิตพลาสติกจากต่างประเทศ [29]

ภาชนะสำหรับปลูกพืช

วัสดุห่อหุ้มและปลดปล่อยยาฆ่าแมลง
ยาฆ่าวัชพืชหรือปุ๋ยตามช่วงเวลาที่กำหนด

ภาพที่ 9 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร [30,31]

ภาชนะปลูกพืช	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	Blow film
วัสดุห่อหุ้มและปลดปล่อย ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืชหรือ ปุ๋ยตามช่วงเวลาที่กำหนด	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	Cast film
ถุงห่อผลไม้	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	Extrusion molding
ถุงเพาะชำกล้าไม้	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	Extrusion molding

4.2 อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์

พลาสติกชีวภาพเป็นที่นิยมอย่างมากในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เพื่อทดแทนการใช้พลาสติกที่ได้จากแหล่งปิโตรเคมี เช่น พอลิเอทิลีน (Polyethylene : PE) พอลิพรอพิลีน เนื่องจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกไม่นิยมนำกลับมารีไซเคิลหรือนิยมการใช้งานครั้งเดียวเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากมีการปนเปื้อนสูง ทำให้ไม่สะดวกต่อการเก็บและทำความสะอาด [32] ซึ่งก่อให้เกิดขยะปริมาณมาก ดังนั้นพลาสติกชีวภาพที่ผลิตได้จากวัตถุดิบทางธรรมชาติ มีความปลอดภัย ไร้สารเคมีหรือย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จึงได้รับความนิยมอย่างมากที่จะนำมาทดแทนการใช้พลาสติกจากแหล่งปิโตรเคมี โดย PHB สามารถผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ได้หลายรูปแบบ เช่น ขวดน้ำ ถุงพลาสติก กล่องโฟม ถาดย่อยสลายได้สำหรับอาหารสำเร็จรูปและอาหารจานด่วน พลาสติกเคลือบภาชนะกระดาษ ดังภาพที่ 10

ภาชนะบรรจุอาหาร

ฟิล์มห่ออาหาร

ขวดน้ำ

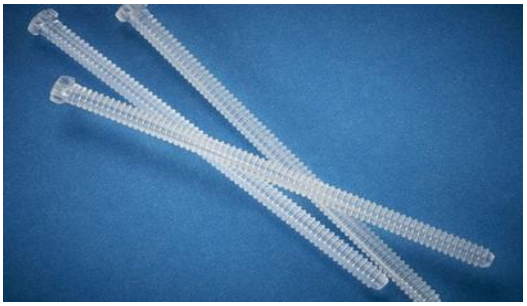
ภาพที่ 10 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ [33-35]

ฟิล์มห่ออาหาร	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	Blow film
ขวดน้ำ	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	Blow molding

4.3 อุตสาหกรรมทางการแพทย์

พลาสติกชีวภาพ สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบหรือตั้งต้นสำหรับผลิตวัสดุทางการแพทย์ ซึ่งนอกจากจะช่วยลดอัตราการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศแล้ว ยังเป็นการส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมของอุตสาหกรรมชีวการแพทย์จากพลาสติกชีวภาพในประเทศไทยอีกด้วย [36] วัสดุชีวการแพทย์ที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพ เช่น ไหมเย็บแผล (Sutures), วัสดุปิดแผล (Wound dressing), ตัวเย็บแผล (Staples), อุปกรณ์ฝังในร่างกาย (Surgical implants), อุปกรณ์สำหรับยึดกระดูก (Orthopedic fixation devices), วัสดุสำหรับพาหรือปลดปล่อยตัวยา ซึ่งสามารถควบคุมอัตราและระยะเวลาในการปลดปล่อยยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัสดุปิดแผล



อุปกรณ์ฝังในร่างกาย

ภาพที่ 11 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ด้านการแพทย์ [37,38]

ไหมเย็บแผล	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	Electrospinning
วัสดุปิดแผล	ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ	Electrospinning

4.2 อุตสาหกรรมสิ่งทอ

สารตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอหรือหัตถกรรม คือ เส้นใยจากการสังเคราะห์ เช่น เส้นใยไนลอน เส้นใยแก้ว เส้นใยพอลิเอสเทอร์ หรือเส้นใยที่ได้จากธรรมชาติ เช่น เส้นใยฝ้าย เส้นใยลินิน ดังภาพที่ 12 ดังนั้นในปัจจุบัน จึงมีการพัฒนาเส้นใยจากพลาสติกชีวภาพเพื่อทดแทนการใช้ไหมหรือเส้นใยที่มีราคาแพง และยังสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย เช่น ผลิตภัณฑ์อนามัย ผ้าอ้อมสำเร็จรูป เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม เส้นใยสำหรับบรรจุในเครื่องนอน [39]

เสื้อผ้า

แผ่นผ้าแบบ Non-woven

ผ้าอ้อมสำเร็จรูป

ภาพที่ 12 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ด้านสิ่งทอ [40-42]

5. ความรู้และข่าวสารใหม่ๆ

จุดด้อย PHB คือมีสมบัติที่เปราะและไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic character) ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนา PHB ให้มีความเหนียวและมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic character) มากขึ้นโดยการเติม Polyethylene glycol (PEG) เข้าไปในโครงสร้างของ PHB และนำโคพอลิเมอร์ของ PHB-PEG ไปปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต (Electro spinning) ได้เป็นเส้นใยขนาดเล็กประสานไปมาจนมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุน โดยโครงสร้างที่เป็นรูพรุนนี้จะช่วยเพิ่มสมบัติการทนต่อแรงดึง ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างภายนอกเซลล์ (Extracellular matrix) สำหรับให้เซลล์

เติบโต รวมทั้งมีคุณสมบัติเชิงพื้นผิวคล้ายกับกระดูกมนุษย์ และโครงเลี้ยงเซลล์นี้ยังสามารถดูดซับน้ำและแคลเซียมได้ดี เหมาะสำหรับการใช้สร้างกระดูกใหม่ (Bone regeneration) [43]

การพัฒนาการสกัดพอลิบีตาไฮดรอกซีบิวทิเรต PHB จากเซลล์ของแบคทีเรียคัปเรียวิดัสเนเคเตอร์ (Cupriavidus necator) โดยการสกัดสารละลายผสมระหว่างคลอโรฟอร์มและโซเดียมไฮโพคลอไรต์ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสม (25–35 °C) และเวลาที่ใช้สกัด (60–120 นาที) ทำให้สามารถสกัดพอลิบีตาไฮดรอกซีบิวทิเรตได้สูง 60–97 เปอร์เซนต์ และพอลิบีตาไฮดรอกซีบิวทิเรตที่สกัดได้มีสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์พอลิบีตาไฮดรอกซีบิวทิเรตทางการค้า ซึ่งสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมพลาสติกเพื่อใช้ในการผลิตพลาสติกชีวภาพที่ย่อยสลายได้ที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หรือใช้ในการสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ซึ่งเป็นวัสดุชีวภาพชนิดใหม่ทางด้านการแพทย์และเภสัชกรรม [44]

ภาพที่ 13 ผลิต PHB จากจุลินทรีย์ในน้ำนม [45]

โครงการ WHEYPACK ดำเนินการโดยศูนย์เทคโนโลยี AINIA ในสเปน ที่ประสบความสำเร็จในการผลิตวัสดุพลาสติกชีวภาพที่ทำจากโปรตีนในน้ำนมเป็นครั้งแรก ซึ่งใช้พลาสติกชีวภาพ PHB ที่ผลิตจากการหมักด้วยจุลินทรีย์ของโปรตีนในน้ำนมจากกระบวนการผลิตเนยแข็งชนิดต่างๆ ทำการคัดเลือกเนยแข็งที่เหมาะสม ใช้ในบรรจุภัณฑ์อาหารขณะนี้ EMBALNOR บริษัทผู้เชี่ยวชาญด้านบรรจุภัณฑ์ของโปรตุเกสกำลังออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ขั้นสุดท้าย บรรจุภัณฑ์อาหารที่ทำจาก PHB ประเภทใหม่นี้มีลักษณะและสมบัติคล้ายคลึงกับบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ได้จากปิโตรเลียมแบบดั้งเดิม แต่มีคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint) น้อยกว่า จึงสามารถนำมาใช้แทนพลาสติกดั้งเดิมในการผลิตบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์นมในยุโรปได้

เอกสารอ้างอิง

[1] Barham, P. J., Keller, A., Otun, E. L., & Holmes, P. A. (1984). Crystallization and morphology of a bacterial thermoplastic: poly-3-hydroxybutyrate. *Journal of Materials Science*, *19*(9), 2781-2794.

[2] Mothes, G., Schnorpfeil, C., & Ackermann, J. U. (2007). Production of PHB from crude glycerol. *Engineering in Life Sciences*, *7*(5), 475-479.

[3] Thompson, J. C., & He, B. B. (2006). Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks. *Fuel (g)*, *98*, 0-23.

[4] Marang, L., Jiang, Y., van Loosdrecht, M. C., & Kleerebezem, R. (2013). Butyrate as preferred substrate for polyhydroxybutyrate production. *Bioresource technology*, *142*, 232-239.

[5] ณัฐพล ถนัดช่างแสง, วรัญญา ประจำหลัก และคณะ (2559). ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการผลิตพอลิไฮดรอกซีบิวทิเรตที่โดยแบคทีเรีย *Cupriavidus necator* ในอาหารเลี้ยงที่มีกลีเซอรอลเป็นแหล่งคาร์บอน. *RSU National Research Conference 2016*, 157-167.

[6] ประดินินท์ เอี่ยมสะอาด. (2560). โพลีไฮดรอกซีอัลคาโนเอต: พลาสติกชีวภาพจากแบคทีเรีย. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 27, ฉบับที่ 1, 147-158.

[7] Savenkova, L., Gercberga, Z., Nikolaeva, V., Dzene, A., Bibers, I., & Kalnin, M. (2000). Mechanical properties and biodegradation characteristics of PHB-based films. *Process Biochemistry*, *35*(6), 573-579.

[8] Grillo Fernandes, E., Pietrini, M., & Chiellini, E. (2004, November). Thermo-Mechanical and Morphological Characterization of Plasticized Poly [(R)-3-hydroxybutyric acid]. In *Macromolecular Symposia* (Vol. 218, No. 1, pp. 157-164). WILEY-VCH Verlag.

[9] Poirier, Y., Nawrath, C., & Somerville, C. (1995). Production of polyhydroxyalkanoates, a family of biodegradable plastics and elastomers, in bacteria and plants. *Nature Biotechnology*, *13*(2), 142-150.

[10] Dos Santos Rosa, D., Calil, M. R., das Graças Fassina Guedes, C., & Santos, C. E. O. (2001). The effect of UV-B irradiation on the biodegradability of poly-β-hydroxybutyrate (PHB) and poly-ε-caprolactone (PCL). *Journal of Polymers and the Environment*, *9*(3), 109-113.

[11] Iwata, T., Aoyagi, Y., Fujita, M., Yamane, H., Suzuki, Y., Takeuchi, A., & Uesugi, K. (2004). Processing of a Strong Biodegradable Poly [(R)-3-hydroxybutyrate] Fiber and a New Fiber Structure Revealed by Micro-Beam X-Ray Diffraction with Synchrotron Radiation. *Macromolecular rapid communications*, *25*(11), 1100-1104.

[12] Wieczorek, R., Pries, A., Steinbüchel, A., & Mayer, F. (1995). Analysis of a 24-kilodalton protein associated with the polyhydroxyalkanoic acid granules in Alcaligenes eutrophus. *Journal of Bacteriology*, *177*(9), 2425-2435.

[13] การปรับปรุงสายพันธุ์และการพัฒนาสภาวะการเลี้ยงแบคทีเรีย Alcaligenes sp. เพื่อ เพิ่มความสามารถในการผลิตพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ กลุ่มพอลีไฮดรอกซีอัลคาโนเอต [Online]. Available from: digital_collect.lib.buu.ac.th/dcms/files//2559_105

[14] Davies, S., Tighe, B. (1995). Cell attachment to gel-spun polyhydroxybutyrate fibers. *Polymer preprints,* 36, 103-104.

[15] Mozumder, M.S.I., Garcia-Gonzalez, L., De Wever, H., & Volcke, E.I. (2015). Poly (3-hydroxybutyrate)(PHB) production from CO 2: model development and process optimization. *Biochemical Engineering Journal*, *98*, 107-116.

[16] UĞUR, A., ŞAHİN, N., & BEYATLI, Y. (2002). Accumulation of Poly-\ beta-Hydroxybutyrate in Streptomyces Species During Growth with Different Nitrogen Sources. *Turkish Journal of Biology*, *26*(3), 171-174.

[17] Siriwimol, S., Wasu, P., (2012). The role of Bacteria on Bioplastic. SWU Sci. J., 28(2), 287-304

[18] คลังข้อมูลงานวิจัย มหาลิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี [Online]. Available from: www.research.rmutt.ac.th/wp-content/uploads/2014/.../127277.pdf

[19] PHB production by Bacteria and its application [Online] 2017. Available from: https://www.slideshare.net/shanthanukgowda/phb-production-by-bacteria-and-its-applications

[20] การฉีดพลาสติกคืออะไร? [Online] 2016. Available from: http://www.machine.in.th/review/การฉีดพลาสติก

[21] Injection Molding Machine [Online] 2015. Available from: http://hassanplas.com/injection-molding-machine/

[22] การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก [Online]. Available from: https://sites.google.com/site/kaewphlastik/kar-khun-rup-phlitphanth-phlastik

[23] Kraussmaffeiberstorff [Online]. Available from: www.kraussmaffeiberstorff.com/media/files/.../EXT_HAN_BR_SheetandFilm_en.pdf

[24] CAST FILM LINES [Online]. Available from: http://www.tekra.com/resources/tek-tip-white-paper/tek-tip-cast-vs-calendered-vinyl.

[25] Plastics Technology [Online] 2017. Available from: http://www.ptonline.com/knowledgecenter/Profile-Extrusion/profile-extrusion-fundamentals/History-and-fundamentals-of-extrusion.

[26] SJ model Single Screw Extruder [Online] 2017. Available from: http://www.bogdamachine.com/3-plastic-pipe-Extrusion-Machine/SJ-model-Single-Screw-Extruder.html

[27] Hot Melt Extrusion [Online] 2011. Available from: http://www.particlesciences.com/news/technical-briefs/2011/hot-melt-extrusion.html

[28] Choi, J. I., & Lee, S. Y. (1997). Process analysis and economic evaluation for poly (3-hydroxybutyrate) production by fermentation. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, *17*(6), 335-342.

[29] Kim, M. N., Lee, A. R., Yoon, J. S., & Chin, I. J. (2000). Biodegradation of poly (3-hydroxybutyrate), Sky-Green® and Mater-Bi® by fungi isolated from soils. *European Polymer Journal*, *36*(8), 1677-1685.

[30] [Online]. Available from: http://www.thairath.co.th/media/NjpUs24nCQKx5e1A7rrMvyojfOPyVDEwtklPmZvS6dJ.jpg

[31] Plastic Intelligence Unit Website [Online] 2017. Available from: http://plastic.oie.go.th/MovementBioPlastic.aspx

[32] Bucci, D. Z., Tavares, L. B. B., & Sell, I. (2007). Biodegradation and physical evaluation of PHB packaging. *Polymer testing*, *26*(7), 908-915.

[33] [Online]. Available from: http://www.biopolymer.in/files/images/slides/bio-polymer-5.jpg

[34] [Online]. Available from: https://3.bp.blogspot.com/-YONlRI5UeVE/T8bW5-FrjII/AAAAAAAAAwg/VKnjXUSaHBQ/s1600/FKuR+Bioflex.jpg

[35] [Online]. Available from: https://i0.wp.com/www.infobik.com/wp-content/uploads/2012/11/PVC-ve-Fitalat-300x200.jpg?resize=350%2C200

[36] TÜRESİN, F., GÜMÜŞYAZICI, Z., KÖK, F. N., GÜRSEL, İ., ALAEDDİNOĞLU, N. G., & HASIRCI, V. (2000). Biosynthesis of polyhydroxybutyrate and its copolymers and their use in controlled drug release. *Turkish Journal of Medical Sciences*, *30*(6), 535-541.

[37] [Online]. Available from: http://www.exportersindia.com/vikaa-surgical-imppex-coimbatore-3742380/hypodress-sterile-adhesive-dressings-2504453.htm

[38] [Online]. Available from: http://www.medicalplasticsnews.com/downloads/2486/download/degradable%20plastic%20screws.jpg?cb=cb9f9d348d1002f20b10e1694f3946b2&w=480

[39] วันทนีย์ จองคำ (2556). โครงการ “อุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ” สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ. 1-39.

[40] [Online]. Available from: http://theenchantedmanor.com/wp- content/uploads/ 2014/10/Grace-Kelly-civil-ceremony-dress-2.jpg

[41] [Online]. Available from: http://img.archiexpo.com/images_ae/photo-g/3326-6221809.jpg

[42] [Online]. Available from: http://image.ec21.com/image/lisa037700/OF0013595014_2/Sell_adult_pull_ups_diaper.jpg

[43] Liu, K. L., Choo, E. S. G., Wong, S. Y., Li, X., He, C. B., Wang, J., & Li, J. (2010). Designing poly [(R)-3-hydroxybutyrate]-based polyurethane block copolymers for electrospun nanofiber scaffolds with improved mechanical properties and enhanced mineralization capability. *The Journal of Physical Chemistry B*, *114*(22), 7489-7498.

[44] [Online]. Available from: https://research.rdi.ku.ac.th/forest/OutputByDepartmentEx.aspx?CampusID=01&FacultyID=15&SectionID=02

[45] พลาสติกชีวภาพทำจากโปรตีนในน้ำนมเป็นครั้งแรก [Online] 2016. Available from: http://plastic.oie.go.th/ReadArticle.aspx?id=16282