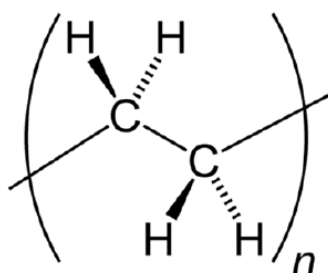


## บทที่ 10 รายละเอียดข้อมูลพลาสติกชีวภาพประเภท พลาสติกชีวภาพพอลิเอทิลีน (Bio-Polyethylene)

### 1. ข้อมูลทั่วไป

พอลิเอทิลีน (Polyethylene : PE) เป็นพลาสติกพื้นฐานที่มีกระบวนการผลิตสูงถึง 70 ล้านเมตริกตัน (Townsend Solutions, Townsend Annual Polyethylene Report (2010).) Polyethylene ได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในอุตสาหกรรมในปี ค.ศ.1930 โดยจัดเป็นเทอร์โมพลาสติกคือมีสมบัติที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้ยังมีสมบัติเชิงที่แข็งแรงและความหนาแน่นขึ้นอยู่กับมวลโมเลกุล (Molecular weights) โดยพลาสติกชีวภาพพอลิเอทิลีน (Bio-Polyethylene) ได้ถูกนำมาใช้แทนที่พอลิเอทิลีนที่ผลิตจากกระบวนการทางปิโตรเคมี โดย Bio-Polyethylene จัดเป็นพลาสติกชีวภาพชนิดสลายตัวไม่ได้ทางชีวภาพแต่สังเคราะห์จากแหล่งวัตถุดิบธรรมชาติ (Non-Compostable biobased) เป็นพลาสติกที่สังเคราะห์จากพืชเท่านั้น โดยมีคุณสมบัติเหมือนพอลิเอทิลีนที่ได้จากปิโตรเคมี แต่กระบวนการผลิตพลาสติกจากพืชที่ใช้กระบวนการหมักจะทำให้ลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint) เพราะในกระบวนการหมักใช้พลังงานน้อยกว่าและมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) น้อยกว่าการกลั่น จึงเป็นที่มาของการเรียกพลาสติกประเภทนี้ว่า non-compostable bioplastic หรือ green plastic นอกจากนี้ยังมีการนำพลาสติกธรรมดาตามาผสมกับ green plastic ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นผลผลิตจากพืช อาทิ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด เยื่อไม้ หรือเส้นใยจากพืช โดยโครงสร้างของ Bio-Polyethylene แสดงดังภาพที่ 1 โดยชื่อทางการค้าของ Bio-Polyethylene ได้แก่ Green PE และ Terralene ® แสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างของ Bio-Polyethylene, Green PE และ Terralene ®

ตารางที่ 1 ชื่อทางการค้าของ Bio-polyethylene ตามบริษัทผู้ผลิต

Company	Trade name
Braskem	Green PE
FKuR Kunststoff GmbH	Terralene ®

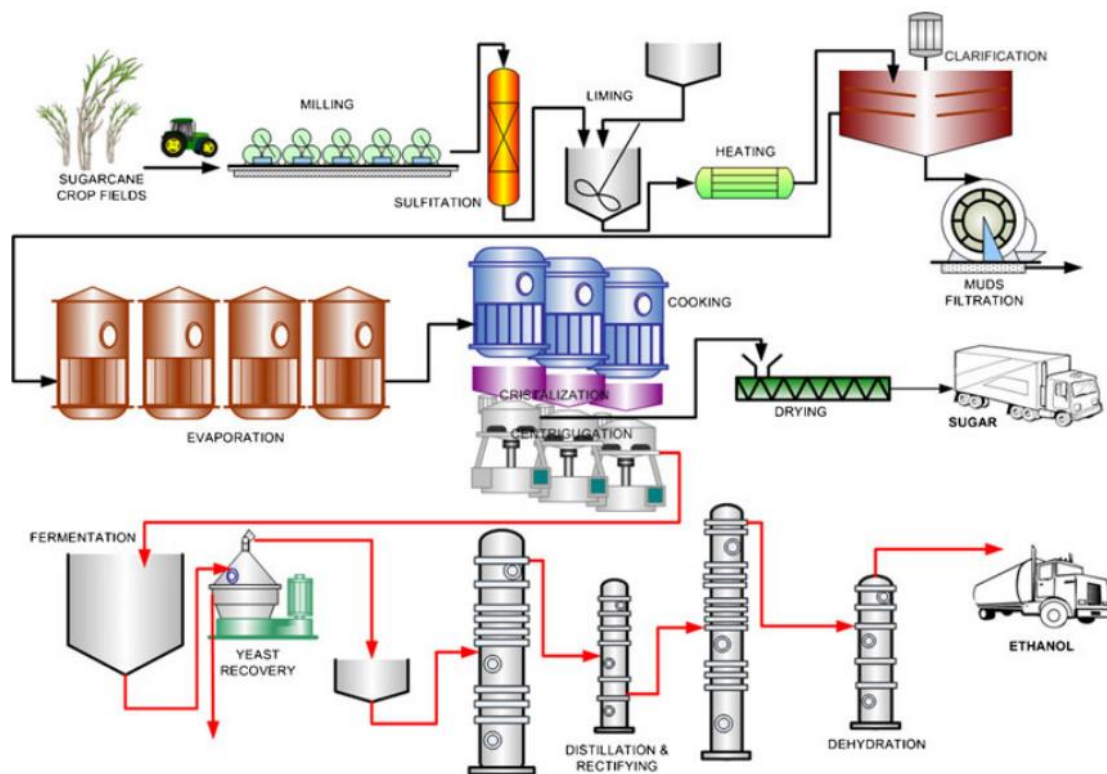
#### 1.1 วิธีการสังเคราะห์

วิธีการสังเคราะห์ Bio-Polyethylene สามารถจำแนกตามขั้นตอนการผลิตได้ 3 ขั้นตอน ได้แก่การผลิตเอทานอล การเปลี่ยนเอทานอลเป็นเอทิลีน และการกระบวนการสังเคราะห์พอลิเอทิลีน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

##### 1.1.1 วิธีการผลิตเอทานอล <sup>[1]</sup>

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพอลิเอทิลีนคือเอทานอลที่ได้จากอ้อย โดยกระบวนการผลิตเริ่มจากกระบวนการปลูกอ้อยเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต จากนั้นเก็บเกี่ยวอ้อยที่ได้บดให้มีขนาดเล็กแล้วบีบเพื่อให้

ได้น้ำอ้อย สกัดน้ำออกจากน้ำอ้อยเพื่อให้ได้น้ำตาล (Sugar) และกากน้ำตาล (Molasses) จากนั้นนำไปเข้าสู่กระบวนการหมักด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* เพื่อผลิตเป็นเอทานอล แสดงดังภาพที่ 2 กระบวนการผลิตเอทานอลหลักๆ สามารถจำแนกได้เป็น 3 แนวทาง แนวทางที่ 1 ผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล โดยการนำอ้อยมาหีบ จะได้น้ำอ้อยแล้วนำมาผ่านกระบวนการทำให้เป็นกากน้ำตาล ดังกระบวนการ T1 จากนั้นเปลี่ยนกากน้ำตาลให้กลายเป็นเอทานอลดังกระบวนการ T3 แนวทางที่ 2 เป็นกระบวนการผลิตเอทานอลจากน้ำผึ้ง โดยการนำอ้อยมาหีบผ่านกระบวนการ T2 โดยการเปลี่ยนน้ำอ้อยให้กลายเป็นน้ำผึ้ง จากนั้นเปลี่ยนน้ำผึ้งให้กลายเป็นเอทานอลด้วยกระบวนการ T4 และแนวทางที่ 3 เป็นกระบวนการผลิตเอทานอลจากน้ำอ้อยโดยตรง เริ่มจากนำอ้อยมาหีบให้ได้น้ำอ้อย จากนั้นเปลี่ยนน้ำอ้อยให้เป็นเอทานอลโดยผ่านกระบวนการ T5



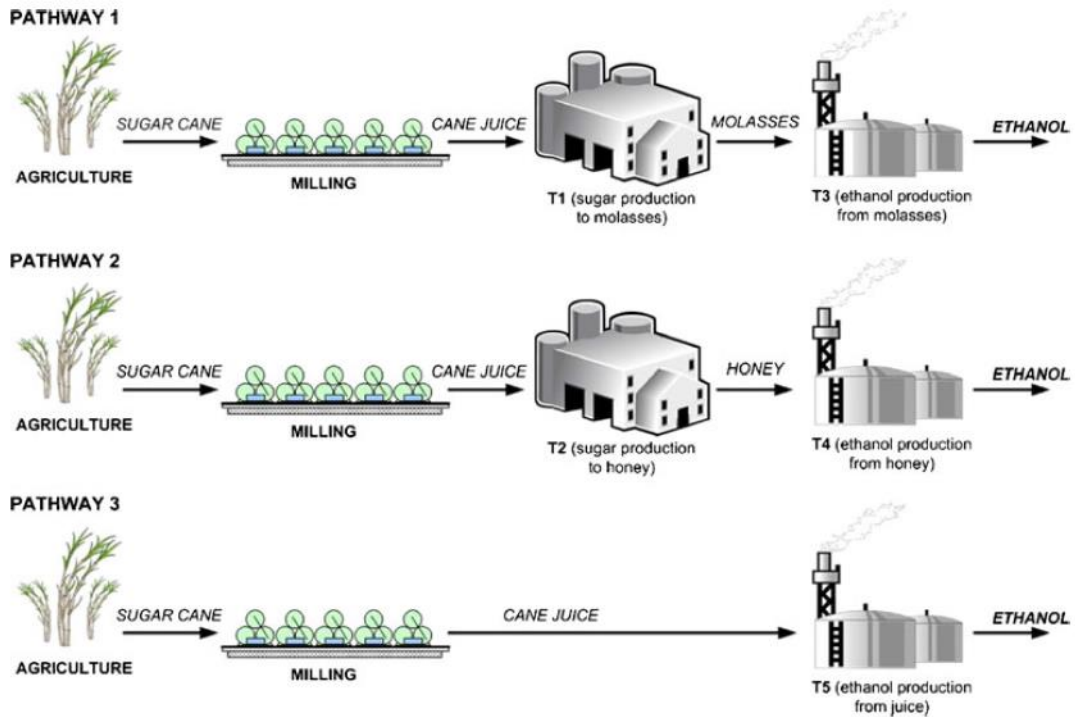
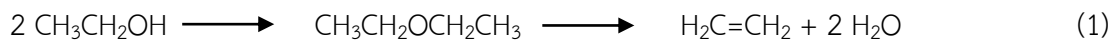
ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อยในประเทศอาเจนตินา [1]

1.1.2 วิธีการเปลี่ยนเอทานอลเป็นเอทิลีน [2]

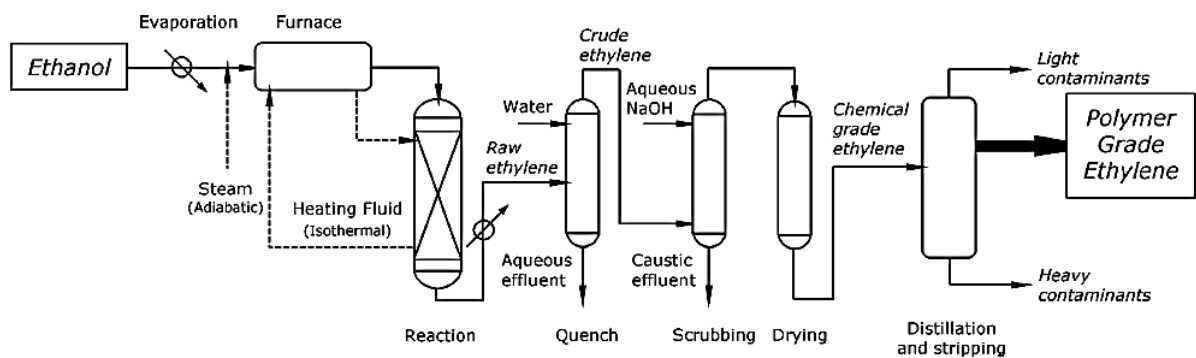
ในปี ค.ศ.1979 ได้มีงานวิจัยศึกษาการเปลี่ยนเอทานอลให้เป็นเอทิลีนด้วยกระบวนการดีไฮเดรชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic dehydration) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ได้แก่ อะลูมินา (Alumina) ซิลิกา (Silica) อะลูมินา-ซิลิกา (Alumina-Silica) ซีโอไลต์ (Zeolite) ดินเหนียว (Clays) โลหะออกไซด์ (Metal oxides) กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) และฟอสเฟต (Phosphate)

ปฏิกิริยา Dehydration เป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน (Endothermic) ซึ่งต้องใช้ความร้อน 390 แคลอรีเพื่อผลิตเอทิลีน 1 กรัม โดยปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตเอทานอลได้แก่ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ความดัน อุณหภูมิและการเจือจางเอทานอลด้วยไอน้ำ กระบวนการแปลงเอทานอลสามารถควบคุมด้วยพื้นผิวในการเกิดปฏิกิริยา การแพร่ของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ภายในตัวเร่งปฏิกิริยา โดยกระบวนการเปลี่ยนเอทานอลเป็นเอทิลีนแสดงดังสมการที่ 1 โดยเอทานอลจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไดเอทิล อีเทอร์ (Diethyl ether) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บทที่ 10 พลาสติกชีวภาพพอลิเอทิลีน (Bio-Polyethylene)

ซึ่งช่วงนี้จัดเป็นสารมัธยันตร์ (Intermediate) ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์ โดยจะเกิดในช่วงอุณหภูมิ 150-300 องศาเซลเซียส และจะเปลี่ยนไปเป็นเอทิลีนที่อุณหภูมิ 320-500 องศาเซลเซียส



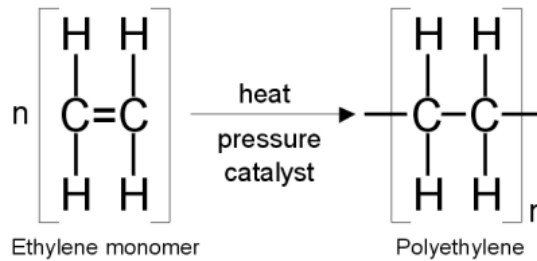
ภาพที่ 3 แนวทางในกระบวนการผลิตเอทานอล [1]



ภาพที่ 4 ไดอะแกรมแสดงผังกระบวนการผลิตเอทิลีนจากเอทานอล [2]

### 1.1.3 กระบวนการสังเคราะห์พอลิเอทิลีน

การเปลี่ยนเอทิลีนเป็นพอลิเอทิลีนเป็นกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบการเติม (Addition polymerization) โดยปฏิกิริยาในการเกิดแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กระบวนการ Polymerization ของ Bio polyethylene<sup>[3]</sup>

Bio-polyethylene ที่ผลิตได้ถ้าจำแนกจากความหนาแน่นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene: HDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene: LDPE) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene: LLDPE) โดย Bio-polyethylene เชิงการค้าสามารถจำแนกตามความหนาแน่นได้ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกรด Bio-polyethylene เชิงการค้าจำแนกตามสมบัติความหนาแน่น<sup>[13]</sup>

Type	Grade	Melt flow rate	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Min. Bio content (%)	Typical applications
HDPE	SGM9450F	9.3 <sup>c</sup>	0.952	96	Bags in general, bag on roll, and geomembranes
	SHE150	1.0	0.948	94	Barrier films for general use, nets, and ropes
	SHA7260	20	0.955	94	Durable storage plastic containers, closures, lids, toys, thin-walled parts, housewares, and fibers in general.
	SHC7260	7.2	0.959	94	Industrial containers, toilet seats, housewares, toys, lids, caps, closures, pallets, boxes, and bottles.
	SHD7255L SL	4.5	0.954	94	Bins and boxes for general purpose.

Type	Grade	Melt flow rate	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Min. Bio content (%)	Typical applications
	SGE7252	2.0	0.952	96	Caps and closures for beverages.
	SGF4950	0.34	0.956	96	Bottles for cleaning products, hair care, product bottles, tubes for cosmetic use, lubricant oil bottles.
	SGF4960	0.34	0.961	96	Lubricant oil containers; ethanol bottles; tubes for food and non-food applications; dairy and non-dairy products, car water reservoir.
	SGD4960	0.70	0.961	96	
	SGM7746C	4.5 <sup>c</sup>	0.944	96	Mono and multilayer automotive fuel tanks, car water reservoir, and truck bed liners.
LLDPE	SLH0820/30AF	0.80	0.920	84	Lamination films, duty bags, LDPE and HDPE blends.
	SLL118/21	1.0	0.917	87	Form fill seal automatic packaging films, pillow bags, lamination film for SUP, LDPE and HDPE blends.
	SLL218/21	2.0	0.917	87	Form fill seal automatic packaging films, pillow bags, lamination film for SUP, LDPE and HDPE blends
	SLL118	1.0	0.916	87	Stretch films, liners, LDPE and HDPE blends; packages for general use.
	SLH118	1.0	0.916	84	
	SLH218	2.3	0.916	84	
	SLL218	2.3	0.918	87	

Type	Grade	Melt flow rate	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Min. Bio content (%)	Typical applications
	SLL318	2.7	0.918	87	
LDPE	SBF0323 HC	0.32	0.923	95	Heavy duty bags, agriculture, co-extruded and shrink films.
	SBF0323/12HC	0.32	0.923	95	Automatic packaging of solid and liquid products, shrink films for pallets.
	STN7006	0.6	0.924	95	High clarity films for coextruded food packaging. Cast films and flexible bottles.
	STS7006	0.6	0.924	95	High clarity films for coextruded food packaging
	SEB853	2.7	0.923	95	Blown film applications such as film for diapers; LLDPE and HDPE blends.
	SEB853/72	2.7	0.923	95	Lamination film, general purposes, automatic packaging of solids products (FFS)
	SBC818	8.1	0.918	95	Extrusion coating, injection of general parts and carrier for masterbatches
	SPB681	3.8	0.922	95	Blown and cast film extrusion Injection molding
	SPB681/59	3.8	0.922	95	Films for lamination and general purposes.
	SPB208	22	0.923	95	Masterbatches. Injection of large flat area parts.
	SPB608	30	0.915	95	

Source: Braskem.

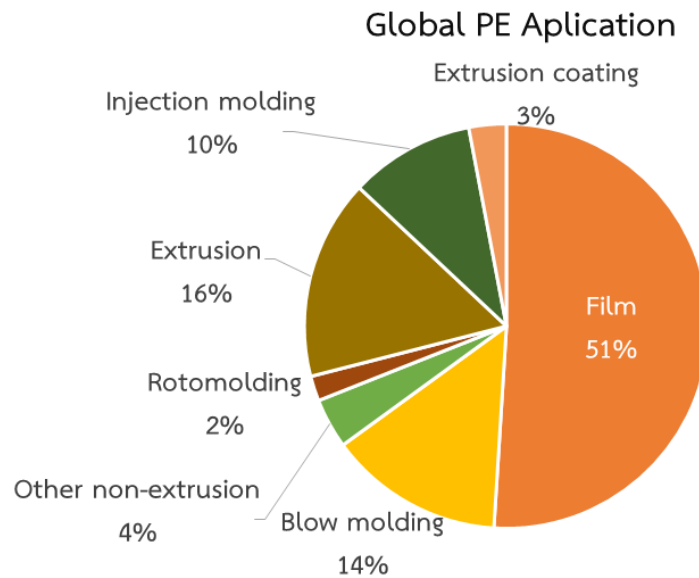
a = ASTM D1238 g/10min (190°C/2.16 kg) except where noted.

b = ASTM D6866.

c = ASTM D1238 g/10min (190°C/21.6 kg).

## 2. กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

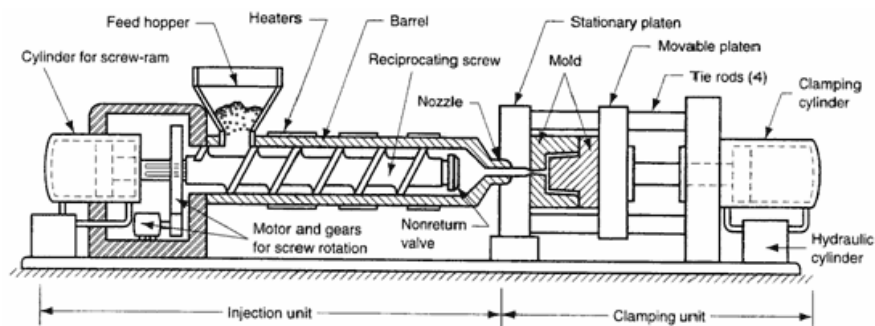
เนื่องจากสมบัติเชิงกลและสมบัติทางเคมีที่เหมือนกันระหว่าง Polyethylene ที่ผลิตจากปิโตรเคมีและ Bio-polyethylene ที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตร ทำให้สถานะที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปจึงไม่แตกต่างกัน โดยกระบวนการขึ้นรูปของ Bio-polyethylene ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ กระบวนการฉีดเข้าแม่พิมพ์ (Injection molding) การขึ้นรูปแบบเป่า (Blow molding) และกระบวนการหลอมอัดรีด (Extrusion) <sup>[13]</sup>



ภาพที่ 6 กระบวนการขึ้นรูป PE ในอุตสาหกรรมการใช้งาน <sup>[13]</sup>

### 2.1 กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection molding)

กระบวนการการขึ้นรูปแบบการฉีดเข้าแม่พิมพ์ จะเริ่มจากการเติมวัตถุดิบที่เป็นเม็ดพลาสติกหรือเป็นผงลงในกรวยเติม (Hopper) จะถูกเกลี่ยวนนอนหมุนส่งไปยังด้านหน้าของกระบอกสูบ ซึ่งมีแผ่นความร้อนไฟฟ้า (Electrical heater) ทำให้พลาสติกหลอมเหลว หลังจากนั้นจะเคลื่อนเกลี่ยวนนอนให้ดันพลาสติกผ่านหัวฉีดไปเข้าแม่พิมพ์(mold) หลังจากนั้นจะมีการหล่อเย็นด้วยน้ำเย็นที่ผลิตจากเครื่องทำน้ำเย็น (chiller) เพื่อให้ชิ้นงานเย็นและแข็งตัวสามารถถอดออกจากแบบได้ในระยะเวลาสั้นจากนั้นจะถูกส่งไปตกแต่งชิ้นงานต่อไป ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการฉีดเข้าแบบแม่พิมพ์นั้นมีหลากหลายรูปแบบ เช่น อุปกรณ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์, ชิ้นส่วนรถยนต์, เครื่องใช้ไฟฟ้า, ของใช้ในครัวเรือน, ของเล่นเด็ก เป็นต้น ดังภาพที่ 7 แสดงกระบวนการการฉีดเข้าแบบแม่พิมพ์ (injection molding)



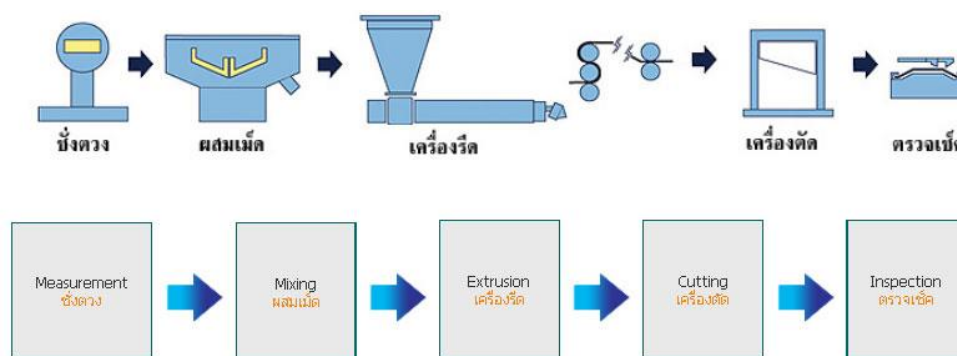
ภาพที่ 7 แสดงกระบวนการการฉีดเข้าแบบแม่พิมพ์ (injection molding) <sup>[14]</sup>

ตารางที่ 3 สภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูป Bio-PE ด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป

Condition	Value	Unit
<b>Time</b>		
Injection time	1.5-2	s
Cooling time	25-28	s
Cycle time	44-47	s
<b>Pressure</b>		
Injection pressure	1200	bar
Dwell pressure	600-625	bar
<b>Force</b>		
Tensile force	485	kN
<b>Velocity</b>		
Injection velocity	70	mm/s
<b>Temperature</b>		
Entry/Zone 1/Zone 11	30/155/195	°C
Tooling temperature	2 x 45	°C

## 2.2 กระบวนการการขึ้นรูปฟิล์มด้วยการอัดรีด (Film extrusion process)

เป็นกระบวนการการขึ้นรูปในอุตสาหกรรมพลาสติก โดยการหลอมพลาสติกแล้วอัดให้พลาสติกไหลผ่านหัวตายซึ่งหัวตายจะมีหน้ากว้างพลาสติกเหลวไหลผ่านออกมาจะมีลักษณะเป็นแผ่น เช่น การหล่อเย็น, การดึงหรือลาก และการตัดหรือม้วนการอัดรีด ซึ่งเป็นกระบวนการอัดรีดแบบต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่จะต้องนำไปเข้ากระบวนการอื่นๆต่อไป เพื่อประกอบหรือตกแต่งเป็นชิ้นงานขั้นสุดท้าย การอัดรีดจะใช้พลาสติกที่อยู่ในรูปผง (Powder) หรือ เม็ด (Pellets) ให้หลอมเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วอัดไหลโดยการหมุนสกรูหรือลูกสูบตัน พลาสติกจะถูกหลอมและไหลพร้อมทั้งถูกอัดให้ไหลผ่านหัวตาย ที่มีรูปทรงตามลักษณะชิ้นงานที่ต้องการผลิต เมื่อผ่านออกจากหัวตาย ทำการปรับรูปร่างของชิ้นงานแล้วหล่อเย็น ชิ้นงานที่ผ่านการอัดรีดจะมีหลายรูปแบบ เช่น เส้นใย (Fiber) ท่อขนาดเล็ก (Tube) ท่อขนาดกลางและใหญ่ (Pipe) แผ่นพลาสติก (Sheet) ฟิล์มพลาสติก (Film) และชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นโพรไฟล์ (Profile) เป็นต้น ดังภาพที่ 4 แสดงกระบวนการการขึ้นรูปฟิล์มด้วยการอัดรีด (Film extrusion process)

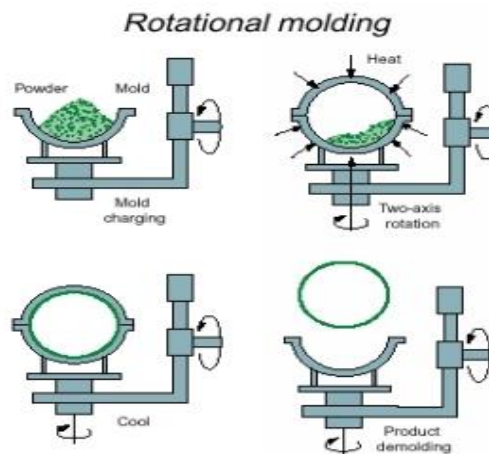


ภาพที่ 8 กระบวนการการขึ้นรูปฟิล์มด้วยการอัดรีด (film extrusion process) <sup>[15]</sup>



### 2.3 กระบวนการขึ้นรูปด้วยการหมุนเหวี่ยง (Rotational Molding)

เป็นกระบวนการขึ้นรูปโดยวิธีการหมุนเหวี่ยง ซึ่งเหมาะกับการผลิตชิ้นงานภายในที่กลวงใหญ่ จะได้ชิ้นงานที่ไม่มีความเค้น ผิวงานเรียบร้อย ระยะเวลาในการผลิตต่ำ มีความสม่ำเสมอของชิ้นงาน โดยมีหลักการขึ้นรูปโดยการใส่วัตถุดิบ (Loading) มีลักษณะเป็นของเหลวหรือ เป็น ผง ใสลงไปแม่พิมพ์ที่กลวงหลังจากนั้นปิดฝาเพื่อประกบกับแม่พิมพ์หลังจากนั้นในการหลอมละลาย (Molding หรือ Curing) จะย้ายแม่พิมพ์เข้าไปในห้องร้อนเพื่อนำไปหมุนสองแกนพร้อมทั้งให้ความร้อนทำให้พลาสติกเหลวและไหลไปตามผิวของแม่พิมพ์โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (ไม่ใช่อาศัยแรงเหวี่ยง) หลังจากนั้นจะทำให้ชิ้นงานแข็งตัวโดยการหล่อเย็น (Cooling) อาจจะใช้อากาศที่เย็น หรือใช้น้ำเย็นพ่นใส่แม่พิมพ์ขณะที่แม่พิมพ์ยังหมุนอยู่ เพื่อลดการหดตัวของชิ้นงานขณะหล่อเย็น จากนั้นเอาชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (Unloading) เมื่อชิ้นงานแข็งตัวและคงรูปแล้วก็สามารถที่จะเปิดเอาชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการหมุนขึ้นรูป เช่น ถังเก็บน้ำขนาดใหญ่, ถังที่ใช้ในอุตสาหกรรม, ถังขยะ, เครื่องเล่นสำหรับเด็กในสวนสนุก เป็นต้น ดังภาพที่ 9 แสดงกระบวนการขึ้นรูปด้วยการหมุนเหวี่ยง (Rotational molding)



ภาพที่ 9 แสดงกระบวนการขึ้นรูปด้วยการหมุนเหวี่ยง (Rotational molding)<sup>[16]</sup>

## 2.4 สมบัติของ Bio PE จำแนกตามกระบวนการขึ้นรูป

### 2.4.1 กระบวนการฉีดขึ้นรูป

Injection molding														
Typical Properties	Melt Flow Rate (190 °C / 2.16 kg)	Melt Flow Rate (190 °C / 21.6 kg)	Density	Tensile Strength at Yield	Tensile Strength at Break	Flexural Modulus (1% Secant)	Shore D Hardness	Notched Izod Impact Strength	Environmental Stress Cracking Resistance (10% Igepal)	Environmental Stress Cracking Resistance (100% Igepal)	Vicat Softening Temperature	Deflection Temperature Under Load (0.455 MPa)	Minimum C14 content	
ASTM Method	D 1238	D 1238	D 792	D 638	D 638	D 790	D 2240	D 256	D 1693	D 1693	D 1525	D 648	D 6866	
Units	g/10 min	g/10 min	g/cm <sup>3</sup>	MPa	MPa	MPa	-	J/M	h (F50)	h (F50)	C	C	%	
HPPE	SHA7260	20	-	1	29	25	1150	60	20	-	-	121	67	94
	Pails and basins; caps and closures; toys; thin-walled parts; Housewares; rigid containers for cosmetics and pharmaceutical application (complies with USP 37).													
	SHC7260	7.2	-	1	29	18	1375	63	35	-	-	126	74	94
	Industrial containers and boxes for general use; safety helmets; toilet seats; housewares; toys; caps & closures; pallets; boxes for beverages bottles; boxes for frozen food and agricultural products; rigid containers for cosmetics and pharmaceutical applications (complies with USP 37).													
	SHD7255LSL	4.5	-	1	27	16	1150	60	45	-	-	124	69	94
	Boxes for frozen food and horticultural products; industrial containers and boxes for general use.													
	SGE7252	2	-	1	26	32	1100	62	50	15	60	125	66	96
	Caps and closures.													
	SHC7260LS-L	7.2	-	1	29	18	1375	63	35	-	-	126	74	94
Industrial containers and boxes for general use; safety helmets; toilet seats; housewares; toys; caps and closures; pallets; boxes for beverages bottles; boxes for frozen food and agricultural products.														
LDPE	SPB208	22	-	0.9	10	8	250	45	NB	-	-	87	43	95
	Masterbatches; injected parts with large flat area; caps and closures.													
	SPB608	30	-	0.9	8	9	150	42	NB	-	-	79	42	95
Masterbatches; injected parts with large flat area; caps and closures.														

## 2.4.2 กระบวนการเป่าขึ้นรูป

Blown molding and tubing															
Typical Properties	Melt Flow Rate (190 °C / 2.16 kg)	Melt Flow Rate (190 °C / 21.6 kg)	Density	Tensile Strength at Yield	Tensile Strength at Break	Flexural Modulus (1% Secant)	Shore D Hardness	Notched Izod Impact Strength	Environmental Stress Cracking Resistance (10% Igepal)	Environmental Stress Cracking Resistance (100% Igepal)	Vicat Softening Temperature	Deflection Temperature Under Load (0.455 MPa)	Minimum C14 content		
ASTM Method	D 1238	D 1238	D 792	D 638	D 638	D 790	D	D 256	D 1693	D 1693	D 1525	D 648	D 6866		
Units	g/10 min	g/10 min	g/cm <sup>3</sup>	MPa	MPa	MPa	-	J/M	h (F50)	h (F50)	°C	°C	%		
HDPE	SGF4950	0.34	28	0.956	30	30	1350	63	150	40	70	127	70	96	Bottles for household cleaning products and health and care products; bottles for food products; caps and closures molded by compression; rigid containers for cosmetics and pharmaceutical applications (complies with USP 33).
	SGF4960	0.34	28	0.961	30	30	1400	67	225	-	-	132	75	96	Bottles for food and beverages; bottles for dairy products; rigid containers for cosmetics and lubricant oils; caps and closures molded by compression; rigid bottles for pharmaceutical applications (complies with USP 33).
	SGD4960	0.70	50	0.962	32	22	1600	64	89	19	24	128	79	96	Bottles for food and beverages; bottles for dairy products; bottles for non-food applications such as alcohol, cosmetics and lubricant oils.
	SGF4950HS	0.21	20	0.951	30	35	1100	65	175	150	>1000	125	70	95	Canisters from 2 to 20L for chemical products; bottles for concentrated detergent; bottles for food; tanks for wind shield and air ducts.
LDPE	SEB853	2.70	-	0.923	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95	Bottles and tubes.
	STN7006	0.60	-	0.924	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95	Bottles and tubes.
	SBF0323HC	0.32	-	0.923	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95	Bottles and tubes.

### 2.4.3 กระบวนการเอ็กซ์ทรูดเส้นใย

Fiber Extrusion														
Typical Properties	Melt Flow Rate (190 °C / 2.16 kg)	Melt Flow Rate (190 °C / 21.6 kg)	Density	Tensile Strength at Yield	Tensile Strength at Break	Flexural Modulus (1% Secant)	Shore D Hardness	Notched Izod Impact Strength	Environmental Stress Cracking Resistance (10% Igepal)	Environmental Stress Cracking Resistance (100% Igepal)	Vicat Softening Temperature	Deflection Temperature Under Load (0.455 MPa)	Minimum C14 content	
ASTM Method	D 1238	D 1238	D 792	D 638	D 638	D 790	D 2240	D 256	D 1693	D 1693	D 1525	D 648	D 6866	
Units	g/10 min	g/10 min	g/cm <sup>3</sup>	MPa	MPa	MPa	-	J/M	h (F50)	h (F50)	°C	°C	%	
HPPE	SHA7260	20	-	0.955	29	25	1150	60	20	-	-	121	67	94
	Bicomponent nonwoven fibers; general fibers.													
HPPE	SHE150	1.0	-	0.948	28	40	1280	62	-	-	-	128	76	94
	Raschel; shading and protecting nets; ropes.													

### 2.4.4 กระบวนการเอ็กซ์ทรูดแบบเป่าและเอ็กซ์ทรูดแผ่นฟิล์ม

Blown film extrusion and cast film extrusion															
Typical Properties		Melt Flow Rate (190 °C / 2.16 kg)	Melt Flow Rate (190 °C / 5 kg)	Melt Flow Rate (190 °C / 21.6 kg)	Density	Thickness	Tensile Strength at Break (MD/TD)	Tensile Elongation at Break (MD/TD)	Tensile Modulus 1% (MD/TD)	Dart Drop Impact	Elmendorf Tear Strength (MD/TD)	Haze	Gloss 60°	Minimum C14 content	Additives
ASTM Method		D 1238	D 1238	D 1238	D 792	-	D 882	D 882	D 882	D 1709	D 1922	D 1003	D 2457	D 6866	-
Units		g/10 min	g/10 min	g/10 min	g/cm <sup>3</sup>	µm	MPa	%	MPa	g (F50)	gf	%	-	%	-
HPPE	SGM9450F	-	0.33	9.3	0.952	12.5	85/45	590/740	750/870	200	5/50	-	-	96	AF
	Retail bags; promotional bags; star bags; frozen food packaging.														
HPPE	SHE150	1.0	-	-	0.948	-	-	-	-	-	-	-	-	94	AF
	Cereal packaging; LLDPE and LDPE blends.														
LLDPE	SLL118	1.0	-	-	0.916	25	50/40	1130/1430	180/200	120	180/400	37	48	87	-
	Stretch films; liners; LDPE and HDPE blends and packages for general use. Others applications: blends for irrigation pipes; liners; flexible bottles for cosmetics and pharmaceutical applications (complies with USP 37).														
	SLL118/21	1.0	-	-	0.918	38	40/30	1070/1340	210/230	130	180/400	-	-	87	AB, D
	Automatic Packaging (FFS); HDPE and LDPE blends.														
	SLL318	2.7	-	-	0.918	38	30/30	1220/1440	180/200	90	120/340	-	-	87	-
	Stretch films; liners; LDPE and HDPE blends; packages for general use. Others applications: blends for irrigation pipes; insulation for low and medium tension XLPE wires and cables.														
	SLH118	1.0	-	-	0.916	40	40/40	1080/1360	200/210	150	300/510	-	-	84	-
Stretch films; liners; LDPE and HDPE blends; packages for general use. Others applications: blends for irrigation pipes; bottles for cosmetics and pharmaceutical applications (complies with USP 37).															
SLH218	2.3	-	-	0.916	38	40/40	1170/1500	210/240	110	240/520	-	-	84	-	
Stretch films; liners; LDPE and HDPE blends; packages for general use. Others applications: blends for irrigation pipes; insulation for low and medium tension XLPE wires and cables.															
SLH0820/30AF	0.80	-	-	0.92	100	40/40	1190/1370	190/220	410	600/2020	24	95	84	AB, AF	

Blown film extrusion and cast film extrusion															
Typical Properties	Melt Flow Rate (190 °C / 2.16 kg)	Melt Flow Rate (190 °C / 5 kg)	Melt Flow Rate (190 °C / 21.6 kg)	Density	Thickness	Tensile Strength at Break (MD/TD)	Tensile Elongation at Break (MD/TD)	Tensile Modulus 1% (MD/TD)	Dart Drop Impact	Elmendorf Tear Strength (MD/TD)	Haze	Gloss 60°	Minimum C14 content	Additives	
	Heavy duty bags; LDPE and HDPE blends.														
LDPE	SBF0323HC	0.32	-	-	0.923	70	20/20	390/930	150/160	290	-/270	10	92	95	-
	Heavy duty bags; agriculture, coextruded and shrink films; bottles for cosmetics and pharmaceutical applications (complies with USP 37).														
	SBF0323/12HC	0.32	-	-	0.923	70	20/20	390/930	150/160	290	-/270	12	80	95	AB, D
	Automatic packaging of liquid products; shrink films for pallets.														
	STN7006	0.6	-	-	0.924	40	25/20	280/870	165/175	140	-/160	9	90	95	-
	High clarity films for coextruded food packaging, such as: cheese, meat, sausages, sliced ham, etc; Cast films for table cloth, curtains and laminated tissues; flexible bottles for solids, liquids or pasties products for hygiene and cleanness; flexible containers for cosmetics and pharmaceutical applications (complies with USP 37).														
	STS7006	0.6	-	-	0.925	40	25/20	280/870	165/175	140	-/160	12	80	95	AB, D
	High clarity films for coextruded food packaging, such as: cheese, meat, sausages, sliced ham, etc.														
	SEB853	2.7	-	-	0.923	40	25/20	350/1050	145/150	80	580/210	7	75	95	-
	Typical blown film applications, among them films for diapers and other general purposes as well as LLDPE and HDPE blends.														
SEB853/72	2.7	-	-	0.923	40	25/20	350/1050	145/150	70	580/210	7	-	95	AB, D	
Lamination film; general purpose; automatic packaging of solids products (FFS); automatic packaging for several products; High clarity films.															
SPB681	3.8	-	-	0.922	40	23/14	370/875	145/150	75	685/265	7	75	95	-	
LLDPE and HDPE blends; bottles for cosmetics and pharmaceutical applications (complies with USP 37).															
SPB681/59	3.8	-	-	0.922	40	23/14	370/875	145/150	75	685/265	7	-	95	AB, D	
Lamination film; general purpose; automatic packaging of solids products (FFS).															

## 2.4.5 กระบวนการเคลือบแบบเอ็กซ์ทรูด

Blown film extrusion and cast film extrusion														
Typical Properties	Melt Flow Rate (190 °C / 2.16 kg)	Melt Flow Rate (190 °C / 5 kg)	Melt Flow Rate (190 °C / 21.6 kg)	Density	Thickness	Tensile Strength at Break (MD/TD)	Tensile Elongation at Break (MD/TD)	Tensile Modulus 1% (MD/TD)	Dart Drop Impact	Elmendorf Tear Strength (MD/TD)	Haze	Gloss 60°	Minimum C14 content	Additives
ASTM Method	D 1238	D 1238	D 1238	D 792	-	D 882	D 882	D 882	D 1709	D 1922	D 1003	D 2457	D 6866	-
Units	g/10 min	g/10 min	g/10 min	g/cm <sup>3</sup>	μm	MPa	%	MPa	g (F50)	gf	%	-	%	-
LDPE	SBC818													
	8.30	-	-	0.918	25	25/20	380/870	-	70	-/56	8	76	95	-
	Applications with low neck-in, good stability of film and good adhesion to porous substrates; carton packaging for food application.													

### 3. บริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

#### 3.1 บริษัทผู้ผลิต Bio-PE

##### 3.1.1 ภายในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 บริษัทผู้ผลิต Bio-PE ภายในประเทศ

บริษัทผู้ผลิต	ที่อยู่	เบอร์โทร	ประเทศ	เว็บไซต์
Dow Chemical (Thailand) Co., Ltd	4 นิคมอุตสาหกรรม มาบตาพุด ซอย จี2 ตำบลมาบตาพุด อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง 21150	0-3868-7400, 0-3868-5078-80, 0-3868-5598, 0-3868-5644	ไทย	<a href="http://www.dow.com/thailand/">http://www.dow.com / thailand/</a>

##### 3.1.2 ต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 บริษัทผู้ผลิต Bio-PE ต่างประเทศ

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
Braskem	Rua Lemos Monteiro, 120 Edifício Odebrecht São Paulo – Butantã 05501-050 - São Paulo	-	Brasil	<a href="http://www.braskem.com/site.aspx/plastic-green">http://www.braskem.com/site.aspx/plastic-green</a> <sup>[5]</sup>
Toyota Tsusho Corporation	4 Chome-9-8 Meieki, Nakamura Ward, Nagoya, Aichi Prefecture 450-0002	-	Japan	<a href="http://www.toyota-tsusho.com/english/">http://www.toyota-tsusho.com/english/</a> <sup>[6]</sup>
Dow Chemical	The Dow Chemical Company in Washington D.C. Washington, DC 20006	+1 989-636-1000	USA	<a href="http://www.dow.com/en-us">http://www.dow.com /en-us</a>
Solvay	Rue de Ransbeek 3101120 Bruxelles	+32 (0)2 264 21 11	Belgium	<a href="http://www.solvay.com/en/index.html">http://www.solvay.com/en/index.html</a>



### 3.2 บริษัทผู้จัดจำหน่าย Bio-PE

#### 3.2.1 ภายในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 บริษัทผู้จัดจำหน่าย Bio-PE ในประเทศไทย

บริษัทผู้จำหน่าย	ที่อยู่	เบอร์โทร	ประเทศ	เว็บไซต์
Dow Chemical (Thailand) Co., Ltd	4 นิคมอุตสาหกรรม มาบตาพุด ซอย จี2 ตำบลมาบตาพุด อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง 21150	0-3868-7400, 0-3868-5078-80, 0-3868-5598, 0-3868-5644	ไทย	<a href="http://www.dow.com/thailand/">http://www.dow.com/thailand/</a>

#### 3.2.2 ต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 บริษัทผู้จัดจำหน่ายเม็ด Bio-PE ต่างประเทศ

Manufacturers	Address	Contact	Country	Website
Braskem	Rua Lemos Monteiro, 120 Edificio Odebrecht São Paulo – Butantã 05501-050 - São Paulo	-	Brasil	<a href="http://www.braskem.com/site.aspx/plastic-green">http://www.braskem.com/site.aspx/plastic-green</a> <sup>[5]</sup>
Toyota Tsusho Corporation	4 Chome-9-8 Meiki, Nakamura Ward, Nagoya, Aichi Prefecture 450-0002	-	Japan	<a href="http://www.toyota-tsusho.com/english/">http://www.toyota-tsusho.com/english/</a> <sup>[6]</sup>
Dow Chemical	The Dow Chemical Company in Washington D.C. Washington, DC 20006	+1 989- 636-1000	USA	<a href="http://www.dow.com/en-us">http://www.dow.com/en-us</a>
Solvay	Rue de Ransbeek 310 1120 Bruxelles	+32 (0)2 264 21 11	Belgium	<a href="http://www.solvay.com/en/index.html">http://www.solvay.com/en/index.html</a>

### 4. การประยุกต์ใช้งาน Bio-PE ในอุตสาหกรรม

#### 4.1 บรรจุภัณฑ์สำหรับเครื่องสำอางค์

เช่น ขวดครีมอาบน้ำ ซองใส่ครีมอาบน้ำ



ภาพที่ 10 Bio-PE ที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์เครื่องสำอาง [7]

ขวดครีมอาบน้ำ  
ซองใส่ครีมอาบน้ำ

ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ blow molding  
ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ extrusion

#### 4.2 บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร

เช่น ขวดน้ำ ซองใส่น้ำ



ภาพที่ 11 Bio-PE ที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร [7]

ขวดน้ำ  
ซองใส่น้ำ

ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ blow molding  
ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ extrusion

#### 4.3 เครื่องใช้ไฟฟ้า

เช่น เครื่องซักผ้า



ภาพที่ 12 Bio-PE ที่ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้า [8]

เครื่องซักผ้า

ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Rotational Molding

#### 4.4 ผลิตภัณฑ์พลาสติกทางการเกษตร

เช่น บัวรดน้ำต้นไม้ กระจ่างต้นไม้ ซ่อมพรวน



ภาพที่ 13 Bio-PE ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์พลาสติกทางการเกษตร<sup>[9]</sup>

บัวรดน้ำต้นไม้

ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ blow molding

กระจ่างต้นไม้

ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ thermoforming

ซ่อมพรวน

ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Injection molding

#### 4.5 อุปกรณ์รักษาความปลอดภัย

เช่น หมวกนิรภัย



ภาพที่ 14 Bio-PE ที่ใช้ในอุปกรณ์รักษาความปลอดภัย<sup>[10]</sup>

หมวกนิรภัย

ขึ้นรูปด้วยกระบวนการ Thermoforming

#### 5. ความรู้และข่าวสารใหม่ๆ<sup>[12]</sup>

บริษัท Braskem เป็นหนึ่งในผู้ที่มีบทบาทในการวางแผนผลิตพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำจากเอทานอล กำลังการผลิตของโรงงานประมาณเกือบ 66 ล้านปอนด์ต่อปี การขยายกำลังการผลิตจะช่วยให้บริษัทสามารถผลิตเรซินโพลีเอทิลีนชีวภาพซึ่งจะเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตฝาเครื่องดื่มอัดลม บริษัทได้เปิดตัวโครงการ ethanol-to-ethylene เพื่อผลิตพลาสติกชีวภาพพอลิเอทิลีนจากเอทานอล ต้นทุนทั้งหมดโครงการอยู่ที่ประมาณ 278 ล้านดอลลาร์ กระบวนการผลิตพีซีจะส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีความยั่งยืนไปสู่อุตสาหกรรมต่างๆ เช่นบรรจุภัณฑ์ สารเติมแต่งเชื้อเพลิงและอื่น ๆ การพัฒนานี้ทำให้ Braskem มีความได้เปรียบเหนือคู่แข่งทั่วโลก

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Amores, M. J., Mele, F. D., Jiménez, L., & Castells, F. (2013). Life cycle assessment of fuel ethanol from sugarcane in Argentina. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(7), 1344-1357.
- [2] Morschbacker, A. (2009). Bio-ethanol based ethylene. *Journal of Macromolecular Science®*, Part C: Polymer Reviews, 49(2), 79-84.
- [3] <http://www.materials.unsw.edu.au/tutorials/online-tutorials/1-polymerisation>
- [4] <http://www.dow.com/thailand/>
- [5] <http://www.braskem.com/site.aspx/plastic-green>
- [6] <http://www.toyota-tsusho.com/english/>
- [7] <http://green-polyethylene.com/products.html>
- [8] <http://www.braskem.com/site.aspx/Products/Electrolux-eng>
- [9] <http://www.braskem.com/site.aspx/Products/tramontina-eng>
- [10] <http://www.braskem.com/site.aspx/Products/MSA-eng>
- [11] <http://www.braskem.com/site.aspx/Im-greenTM-Polyethylene>
- [12] <http://www.micromarketmonitor.com/researchinsight/bio-based-pe.html>
- [13] Kristiina Oksman and Aji P Mathew. *Handbook of Green Materials: Processing Technologies, Properties and Applications*. World Scientific Publishing
- [14] <http://www.siamshop.com/product-1561057>
- [15] <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~sanongn1/processing.pdf>
- [16] <http://www.quinl.com/productImages/UploadImagesSmall/y5I8DSL-FaANSOd-flexiblepack.jpg>