

การใช้ประโยชน์จากอ้อยและผลิตภัณฑ์จากอ้อย

กลุ่มส่งเสริมอุตสาหกรรมชีวภาพ

กองอุตสาหกรรมอ้อย น้ำตาลทราย และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง

1. ที่มาและความสำคัญ

อ้อยเป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยเพราะเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลทรายรายใหญ่เป็นอันดับ 2 ของโลกรองจากประเทศบราซิล จากการใช้รัฐบาลผลักดันนโยบายบริหารพื้นที่เกษตรกรรมของพืช (Zoning) โดยเปลี่ยนพื้นที่ปลูกข้าวที่อยู่ในพื้นที่ไม่เหมาะสมไปสู่การปลูกอ้อยโรงงานและพืชอื่นๆ สำหรับประเทศไทยพบว่ามีพื้นที่ปลูกอ้อยในปี 2559/2560 จำนวน 10,988,489 ไร่ ในเขตพื้นที่สำรวจรวม 47 จังหวัด (กลุ่มวิชาการและสารสนเทศอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย, 2560) ซึ่งอ้อยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วนเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม นอกจากการแปรรูปเป็นน้ำตาลทรายแล้วยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องหลายชนิด เช่น การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ พลาสติกชีวภาพ เคมีชีวภาพ และเวชภัณฑ์ชีวภาพ เป็นต้น (ภาพที่ 1) ซึ่งจะมีตลาดรองรับผลผลิตอ้อยที่แน่นอนและสร้างความมั่นคงจากการยึดอาชีพชาวไร่อ้อยได้

ความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพมีแนวโน้มจะถูกนำมาใช้ในการเปลี่ยนชีวมวล (Biomass) ไปเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuels) โดยเฉพาะพืชน้ำตาลที่ดึงดูดความสนใจของนักวิจัยและนักลงทุนซึ่งมีการใช้วัตถุดิบตั้งต้นที่แตกต่างกัน เช่น วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ป่าไม้ พืชให้แป้ง และพืชน้ำตาล เป็นต้น ซึ่งน้ำตาลจากพืชให้แป้ง (ข้าวโพด ข้าวฟ่างหวาน และข้าวสาลี) จะต้องนำไปผ่านกระบวนการที่ซับซ้อนกว่าอ้อยและหัวบีทโดยต้องนำไปผ่านกระบวนการย่อย (Hydrolysis) เพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลก่อนนำเข้าสู่กระบวนการหมักในลำดับต่อไป ในขณะที่วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส (ชานอ้อย เส้นใยจากลำต้นและใบข้าวโพด เศษเหลือทิ้งจากอ้อย และสาหร่าย เป็นต้น) ต้องนำมาผ่านกระบวนการในการปรับสภาพก่อนการหมักซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง เพื่อให้ได้น้ำตาลชนิดต่างๆ

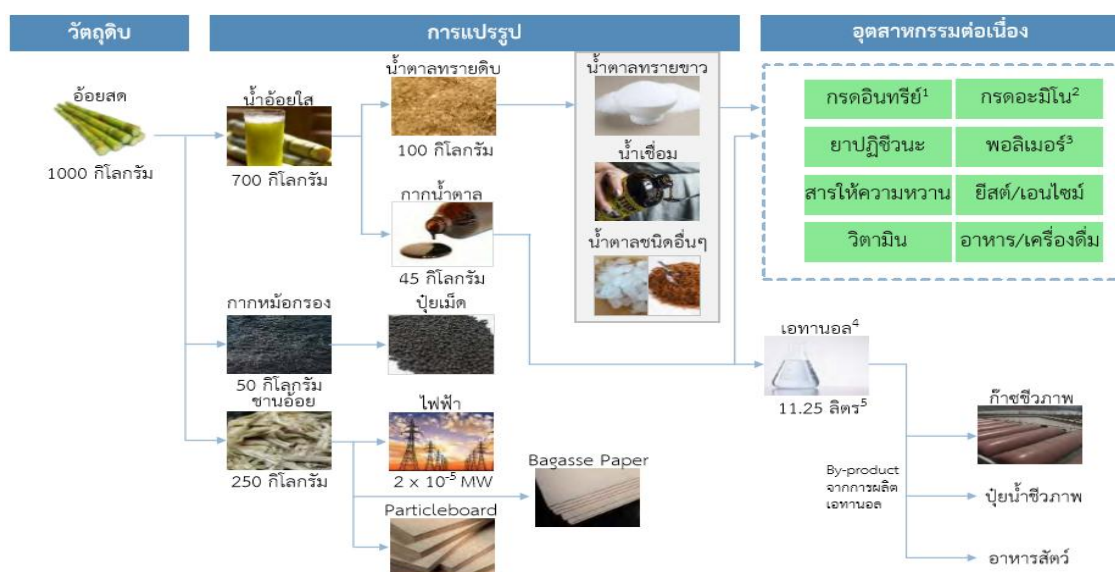
โดยทั่วไปวัตถุดิบขั้นต้นที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตสามารถแบ่งได้เป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องรุ่นที่ 1 (First generation) และ อุตสาหกรรมต่อเนื่องรุ่นที่ 2 (Second generation) โดยอุตสาหกรรมต่อเนื่องรุ่นที่ 1 คือ เชื้อเพลิงชีวภาพและเคมีชีวภาพที่ถูกผลิตขึ้นจากพืชอาหารโดยตรง ซึ่งได้มีการนำมาใช้กระบวนการผลิตที่มีขนาดใหญ่มานานกว่า 15 ปี ส่วนอุตสาหกรรมต่อเนื่องรุ่นที่ 2 ในปัจจุบันยังพบปริมาณน้อยในภาคอุตสาหกรรมเนื่องจากอุปสรรคทางด้านเทคนิคในการผลิตและราคา อย่างไรก็ตามผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ชีวภาพส่วนใหญ่กำลังมีการพัฒนาทางด้านการผลิตและการตลาดเพื่อที่จะทำให้อุตสาหกรรมต่อเนื่องรุ่นที่ 1 และวัตถุดิบในกลุ่มอาหารไปสู่การเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมต่อเนื่องรุ่นที่ 2 เพื่อการเพิ่มมูลค่าโดยการเปลี่ยนแปลงนี้จะถูกผลักดันโดยห่วงโซ่อุปทาน นโยบาย และการพัฒนาอย่างยั่งยืน

อุตสาหกรรมน้ำตาลคือหน่วยงานที่จะได้รับประโยชน์จากการพัฒนาตลาดของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ทั้ง 2 รุ่น โดยน้ำตาลที่สกัดได้จากอ้อยและหัวปีสามารถนำเข้าสู่กระบวนการหมักได้โดยตรงซึ่งช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดเทคโนโลยีใหม่ซึ่งได้จากวัตถุดิบที่เป็นพืช ตลาดของผลิตภัณฑ์ชีวภาพที่ผลิตจากน้ำตาล จึงมีโอกาเติบโต เนื่องจากน้ำตาลถูกนำไปใช้ในงานทางด้านเคมีและเวชภัณฑ์และยังพบว่าอุตสาหกรรมที่ใช้กระบวนการหมักโดยรวมของโลกมีมูลค่าสูงเกือบ 130 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ โดยมากกว่า 85% ของรายได้มาจากการผลิตแอลกอฮอล์ รองลงมา คือ กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ พอลิเมอร์ และก๊าซชีวภาพประมาณ 12% ของรายได้ทั้งหมด โดยคาดว่าในปี ค.ศ. 2020 พบโอกาสการเติบโตของโครงการที่เกี่ยวข้องกับพอลิเมอร์ชีวภาพที่อัตราการเติบโต 13.5% และ กรดอินทรีย์ 8.8% (ตารางที่ 1) ซึ่งบริษัท Deloitte ได้คาดการณ์ว่าเคมีภัณฑ์และเวชภัณฑ์จะมีมูลค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย (International Sugar Organization, 2015)

ตารางที่ 1 ภาพรวมของตลาดอุตสาหกรรมการหมัก

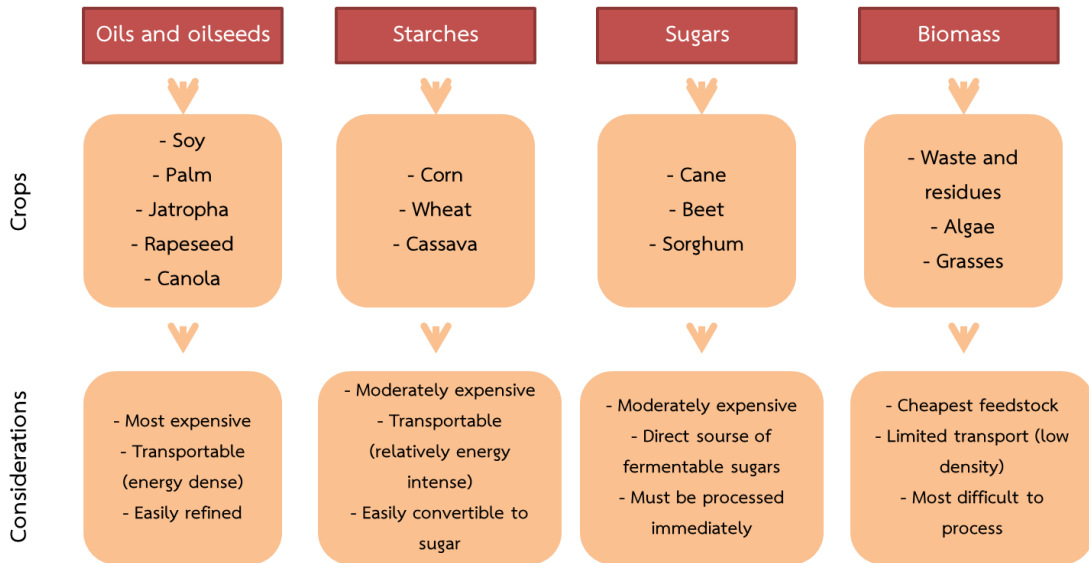
Segment	Market Size (mln tonnes)	Carbohydrate demand (CHEQ)	Market value (USD bln)	Added value (USD/CHEQ)	Estimated growth to 2020 (% CAGR)
Alcohols	99.8	195.1	110.0	164	4.4%
Amino acids	7.1	7.8	11.0	1,010	5.6%
Organic acids	2.9	2.8	3.5	850	8.8%
Biogas	0.1	0.5	0.2	0	5.0%
Polymers	0.2	0.2	0.6	2,600	13.5%
Vitamins	0.2	0.2	0.7	3,100	2.6%
Antibiotics	0.2	0.2	0.8	3,600	4.0%
Enzymes	0.1	0.1	0.3	2,600	8.0%

ที่มา: International Sugar Organization (2015)



ภาพที่ 1 การใช้ประโยชน์จากอ้อยและผลิตภัณฑ์จากอ้อย

น้ำตาลที่ได้จากอ้อย หัวบีท และข้าวฟ่างถือเป็นวัตถุดิบทางเลือกที่ดีเนื่องจากมีราคาไม่สูง เป็นแหล่งของน้ำตาลที่สามารถนำไปผ่านกระบวนการหมักได้โดยตรง ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้เป็นแหล่งน้ำตาลในกระบวนการหมัก

วัตถุดิบจากอ้อยและหัวบีทมีข้อดีเนื่องจากสามารถนำเข้าสู่กระบวนการหมักน้ำตาลได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับพืชให้แป้งและเซลลูโลส โดยส่วนใหญ่การผลิตจะเลือกใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ในบริเวณนั้นทำให้สะดวกต่อการใช้งานและการแข่งขันทางด้านพลังงานและต้นทุนทางด้านแรงงาน ซึ่งผู้ผลิตอ้อยรายใหญ่อย่างประเทศบราซิลจะได้รับผลตอบแทนจากการเติบโตในด้านความสามารถในการผลิตผลิตภัณฑ์เคมีที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ส่วนประเทศในแถบเอเชียซึ่งเป็นประเทศผู้ผลิตอ้อยและพืชให้แป้งอาจกลายเป็นศูนย์กลางการผลิตที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักหากเกิดภาวะการแข่งขันเพิ่มมากขึ้น

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาการแข่งขันของตลาดน้ำตาลที่มีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของราคาที่คาดเดาไม่ได้ อีกทั้งยังถูกบังคับด้วยอัตราค่าไรในขณะนั้น การกระจายความเสี่ยงจึงเป็นอีกทางเลือกของภาคอุตสาหกรรมซึ่งจำเป็นสำหรับบริษัทที่ต้องการลดความเสี่ยงหรือต้องการเพิ่มอัตราค่าไรในภาคอุตสาหกรรม ในส่วนของงานเคมีภัณฑ์ชีวภาพที่ได้รับความนิยม ได้แก่ การปรับปรุงเคมีภัณฑ์ให้เหมาะสำหรับการใช้งานชนิดพิเศษ เช่น งานทางด้านเวชภัณฑ์ซึ่งเป็นธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมที่ดึงดูดการลงทุนและมีต้นทุนต่ำถึงแม้ว่าจะมีขนาดของตลาดที่ค่อนข้างจำกัดแต่มีอัตราค่าไรที่สูงโดยสามารถแยกเป็นผลิตภัณฑ์ ได้แก่ โภชนาเภสัช วิตามิน และกรดอินทรีย์ รวมถึงตลาดเคมีชีวภาพอย่าง Polyethylene (PE), Polypropylene (PP) และ Polyethylene terephthalate (PET) ซึ่งพบว่ามี การนำมาใช้ทำเป็นบรรจุภัณฑ์กันเป็นจำนวนมากแต่เคมีภัณฑ์ดังกล่าวจะมีความเสี่ยงเนื่องจากมีการแข่งขันจากการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากปิโตรเคมี

2. ผลกระทบที่แปรรูปจากอ้อย

อ้อยมีการนำไปใช้ประโยชน์ที่เกี่ยวข้องกับหลายภาคส่วน เช่น ภาคการเกษตร โรงงานน้ำตาล และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง โดยอ้อยที่ผ่านกระบวนการหีบสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

2.1 น้ำอ้อย

น้ำตาลทราย

ประเทศไทยถือเป็นอันดับหนึ่งในการผลิตอ้อยและน้ำตาลในเขตภูมิภาคอาเซียนและส่งออกน้ำตาลมากเป็นอันดับสองของโลก โดยผลผลิตน้ำตาลทรายต่อตันอ้อยรวมทั้งประเทศอยู่ที่ 107.94 กิโลกรัมต่อตันอ้อย เมื่อเปรียบเทียบกับปีการผลิต 2558/59 ที่ 104.05 กิโลกรัมต่อตันอ้อย พบว่าประสิทธิภาพการผลิตน้ำตาลทรายต่อตันอ้อยเพิ่มขึ้นจำนวน 3.89 กิโลกรัมต่อตันอ้อย คิดเป็นร้อยละ 3.74 ด้านคุณภาพความหวานของอ้อย อยู่ที่ 12.28 ซี.ซี.เอส. เมื่อเปรียบเทียบกับปีการผลิต 2558/59 พบว่าคุณภาพความหวานของอ้อยที่ 11.95 ซี.ซี.เอส. เพิ่มขึ้น 0.33 ซี.ซี.เอส. คิดเป็นร้อยละ 2.67 และมีปริมาณอ้อยส่งเข้าโรงงานทั้งประเทศอยู่ที่ 92.95 ล้านตัน เมื่อเปรียบเทียบกับปีการผลิต 2558/59 ที่ 94.05 พบว่าปริมาณอ้อยส่งเข้าโรงงานลดลง 1.10 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 1.17

สถานการณ์แนวโน้มตลาดน้ำตาลโลก

องค์การน้ำตาลระหว่างประเทศ (ISO) ได้คาดการณ์ว่าในฤดูการผลิตปี 2560/2561 ผลผลิตน้ำตาลโลกอยู่ที่ระดับ 179.448 ล้านตัน เพิ่มขึ้น 11.075 ล้านตัน จากปีก่อนที่ 168.378 ล้านตัน โดยมีสาเหตุมาจากผลผลิตน้ำตาลของ ผลผลิตอินเดีย สหภาพยุโรป ไทย และจีน ที่ปรับตัวเพิ่มขึ้นเนื่องจากสภาวะอากาศปกติ โดยผลผลิตน้ำตาลของบราซิลปรับตัวลดลงจำนวน 2.25 ล้านตัน เนื่องจากการเพิ่มสัดส่วนการผลิตเอทานอล แต่อย่างไรก็ตามการบริโภคน้ำตาลโลก คาดว่าจะเพิ่มขึ้นแค่ร้อยละ 1.71 ทำให้การบริโภคน้ำตาลโลกอยู่ที่ระดับ 174.414 ล้านตัน เพิ่มขึ้น 2.936 ล้านตัน จากปีก่อนที่ 171.478 ล้านตัน ทำให้ปี 2560/2561 จะเกิดผลผลิตน้ำตาลโลกเกินดุล (Surplus) โดยผลผลิตน้ำตาลโลกจะมากกว่าปริมาณการบริโภคน้ำตาลโลกที่ 5.034 ล้านตัน จากการขาดดุลในปีก่อนที่ -3.105 ล้านตัน ทำให้สต็อกน้ำตาลสะสมเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเป็น 61.094 ล้านตัน จากปีก่อนอยู่ที่ระดับ 60.040 ล้านตัน และอัตราสต็อกน้ำตาลต่อการบริโภคอยู่ที่ร้อยละ 35.02 ใกล้เคียงกับปีก่อนที่ร้อยละ 35.01 โดยมีสต็อกน้ำตาลสะสมจำนวนมากอยู่ที่ประเทศอินเดีย และสหภาพยุโรป สำหรับฤดูการผลิตปี 2561/2562 องค์การน้ำตาลระหว่างประเทศ (ISO) คาดการณ์ว่าผลผลิตน้ำตาลโลกจะอยู่ที่ระดับ 180.60 ล้านตัน และการบริโภคน้ำตาลโลกคาดว่าจะอยู่ที่ระดับ 177.6 ล้านตัน เนื่องจากสภาวะอากาศกลับมาอยู่ที่สภาวะปกติและคาดการณ์ว่าบราซิล อินเดีย ไทย จีน และสหภาพยุโรป จะมีผลผลิตปรับตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่การบริโภคน้ำตาลคาดว่าจะเติบโตที่อัตราร้อยละ 1.71 จะก่อให้เกิดภาวะการเกินดุล (Surplus) ซึ่งประมาณ 2 ล้านตัน ซึ่งอาจจะทำให้ราคาน้ำตาลโลกทรงตัวและปรับตัวลดลงบ้างในปี 2561 และจะอยู่ระหว่างช่วงระหว่าง 15 – 18 เซนต์ต่อปอนด์

ตารางสภาวะคุณน้ำตาลโลก

หน่วย : ล้านตัน

	2017/18	2016/17	Change	
			in min tonnes	in %
Production	179.448	168.373	+11.075	6.58
Consumption	174.414	171.478	+2.936	1.71
Surplus/Deficit	5.034	-3.105		
Import demand	57.467	60.040	-2.573	-4.29
Export availability	61.094	60.095	+0.999	1.66
Ending stocks			+1.407	

ที่มา : International Sugar Organization, 2017

2.2 ชานอ้อย

ชานอ้อย คือ เศษเหลือของลำต้นอ้อยมีลักษณะเป็นเส้นใยที่หีบเอาน้ำอ้อยหรือน้ำตาลออกจากท่อนอ้อยแล้ว เป็นวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล ประโยชน์ที่ได้จากชานอ้อยได้แก่

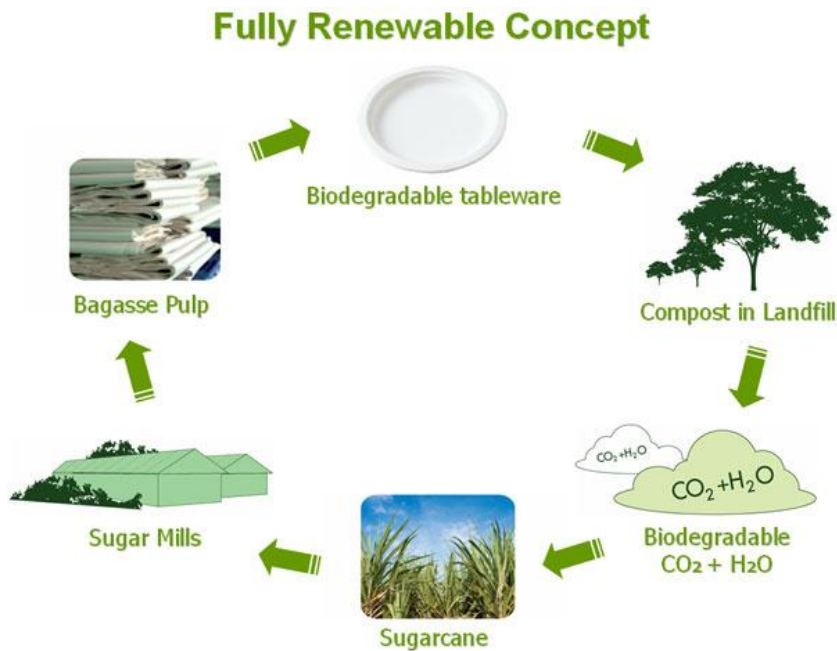
การผลิตไฟฟ้า

ชานอ้อยเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการหีบอ้อยซึ่งมีปริมาณน้ำตาลติดอยู่น้อยมากส่วนใหญ่จะเหลือเป็นเส้นใยอ้อย (Fiber) กับน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นและของแข็งที่ละลายน้ำได้เล็กน้อย ปริมาณชานอ้อยที่ได้จากการหีบอ้อยคิดเป็นร้อยละ 29 โดยประมาณของปริมาณอ้อยที่เข้าหีบ มีความชื้นร้อยละ 48-53 มีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำประมาณ 160 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีคุณสมบัติติดไฟง่าย ประกอบด้วยธาตุหลัก คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน มีค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (Low Heating Value) ที่ 7.53 MJ/kg มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเตาหม้อน้ำ (Boiler) ใช้ผลิตไอน้ำที่ความดันน้ำอยู่ระหว่าง 30 Bar ต่ออุณหภูมิเฉลี่ย 380 °C และที่ความดันน้ำอยู่ระหว่าง 80 Bar ต่ออุณหภูมิเฉลี่ย 520 °C สำหรับเป็นแหล่งพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตน้ำตาล โดยไอน้ำที่ผลิตได้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลโดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และนอกจากนี้ไอน้ำที่ผลิตได้สามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในโรงงานด้วยการนำไปขับกังหันไอน้ำ (Turbine) เพื่อผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในบางโรงงานสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เหลือใช้และสามารถจำหน่ายให้กับการไฟฟ้า มีข้อมูลระบุว่าในกระบวนการผลิตน้ำตาล อ้อยสดจำนวน 1 ตัน เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ จะใช้พลังงานทั้งสิ้นโดยประมาณ 25-30 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ใช้ไอน้ำ 0.4 ตัน เพื่อให้ได้น้ำตาลที่เหลือจะเป็นชานอ้อยประมาณ 290 กิโลกรัม ที่มีค่าเทียบเท่ากับพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 100 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง (นิตยสารน้ำตาล, ม.ป.ป.)

บรรจุภัณฑ์อาหาร

บรรจุภัณฑ์อาหารที่ทำจากเยื่อกระดาษชานอ้อยเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นผลผลิตจากเทคโนโลยีชีวภาพที่นำวัสดุเหลือใช้อย่างชานอ้อยที่เหลือจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลมาใช้ เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ผลิตน้ำตาลจึงทำให้มีชานอ้อยที่เหลือจากการผลิตเป็นจำนวนมาก จึงสามารถนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่อาหารทดแทนการใช้กล่องโฟมที่สร้างปัญหากับสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ได้

โดยกระบวนการผลิตเริ่มจากการนำเยื่อกระดาษขานอ้อยไปผสมตีผ่านกระบวนการป้องกันน้ำรั่วซึมและขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เช่น จาน ชาม ถาด ถ้วยน้ำ และกล่องพร้อมฝาปิด เป็นต้น โดยเมื่อนำบรรจุภัณฑ์จากขานอ้อยมาเปรียบเทียบกับกล่องโฟมจะเห็นว่าบรรจุภัณฑ์ขานอ้อยจะมีสีหม่นไม่ขาวสะอาดเหมือนกล่องโฟมเนื่องจากในกระบวนการผลิตจะไม่ใช้คลอรีนฟอกสีทำให้สีที่ได้ไม่ขาวสะอาดแต่จะมีการฆ่าเชื้อก่อนถึงมือผู้บริโภคที่อุณหภูมิ 160 °C โดยในกระบวนการผลิตจะไม่เหลือของเสียจากการผลิตและสามารถนำกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ได้ทั้งหมดและยังใช้เวลาในการย่อยสลายได้เองในธรรมชาติภายใน 30-45 วัน (ภาพที่ 3) ในขณะที่โฟมไม่สามารถย่อยสลายได้เองและต้องสิ้นเปลืองพลังงานและสร้างของเสียจากกระบวนการผลิตและกำจัด โดยบรรจุภัณฑ์ขานอ้อยผลิตจากธรรมชาติ 100% สามารถทนความเย็นและความร้อนสูงได้ตั้งแต่ -40 ถึง 220 °C จึงสามารถใช้กับการแช่แข็งหรือใช้เป็นภาชนะในเตาไมโครเวฟหรือเตาอบได้โดยไม่ก่อสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งเมื่อถูกความร้อนซึ่งต่างจากโฟมทั่วไปที่ผลิตจากปิโตรเคมีที่ต้องอาศัยการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ ถึงแม้ว่าบรรจุภัณฑ์ขานอ้อยจะเป็นมิตรกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อมแต่ก็ยังไม่ค่อยเป็นที่นิยมในบ้านเรา ขณะที่ประเทศในแถบยุโรป อเมริกา หรือญี่ปุ่นกลายเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมมากกว่าโฟมเนื่องจากปลอดภัยต่อผู้บริโภคแต่มีราคาที่สูงกว่าโฟมประมาณ 2 เท่าสำหรับประเทศไทยยังไม่มี การสนับสนุนที่ชัดเจน หากมีการสนับสนุนให้ใช้บรรจุภัณฑ์ขานอ้อยมากขึ้นอาจทำให้ราคาของบรรจุภัณฑ์ถูกลงได้ (สถาบันไทยพัฒน์, 2554)



ภาพที่ 3 กระบวนการผลิตเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ของบรรจุภัณฑ์ขานอ้อย

ปาร์ติเคิลบอร์ด

การผลิตปาร์ติเคิลบอร์ดส่วนใหญ่มักเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อใช้งานภายในอาคารมากกว่าใช้งานภายนอกอาคาร โดยเฉพาะการใช้งานในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์และงานตกแต่งภายใน ซึ่งเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์วัสดุทดแทนไม้หรือแผ่นขึ้นไม้อัด เพราะสามารถใช้วัตถุดิบจากไม้หรือเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ขึ้นไม้หรือเส้นใยในการผลิต เช่น ชานอ้อยโดยผสมกับสารยึดติด สารเคลือบผิวกันชื้น และสารเติมแต่งอื่นๆ ผ่านกระบวนการอัดร้อนและทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล เพื่อให้ตรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์ที่กำหนดไว้

ซิลิกา

ซิลิกาเป็นผลึกของแข็งสีขาวที่ไม่ละลายน้ำเกิดจากสารประกอบทางเคมีระหว่างธาตุซิลิกอนกับธาตุออกซิเจนมีสูตรทางเคมี คือ SiO_2 มีทั้งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ โดยซิลิกาที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากสิ่งมีชีวิต เช่น ซิลิกาที่มีในสาหร่ายเปลือกแข็งหรือไดอะตอม มีขนาดอนุภาคเล็ก และมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าถูกนำมาใช้เป็นสารดูดความชื้น สารดูดซับ สารเพิ่มความแข็งแรง สารเติมแต่ง และองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์พบว่าปริมาณซิลิกาสูงมากกว่า 90% เหมาะแก่การนำมาใช้เป็นแหล่งซิลิกาในการสังเคราะห์วัสดุที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ เช่น ซิลิกาเจล ซีโอไลต์ และซิลิกอนคาร์ไบด์ เป็นต้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกันไปตามแต่คุณสมบัติ ซึ่งปัจจุบันซิลิกามีบทบาทสำคัญทั้งในอุตสาหกรรมและการศึกษาวิจัยรวมถึงมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายแขนง เช่น

อุตสาหกรรมยาง สามารถใช้เป็นสารเสริมแรงเพราะการเติมสารตัวเติมลงไปอย่างจะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลต่างๆ ของยางให้ดีขึ้น โดยเฉพาะค่าความแข็ง โมดูลัส ความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการขีดถู เป็นต้น

อุตสาหกรรมซีเมนต์ ใช้ประโยชน์จากซิลิกาที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตร เพื่อใช้เป็นส่วนผสมเพิ่มเติมทำให้ได้คอนกรีตคุณภาพสูงหรือคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวมีความสามารถในการไหลเทดีขึ้น

อุตสาหกรรมยา เป็นสารช่วยเพิ่มแรงตึงผิวและช่วยในการกระจายตัวของยาชนิดที่เป็นของเหลว

อุตสาหกรรมอาหาร สามารถใช้เป็นตัวดูดซับความชื้นเพื่อการถนอมอาหารและใช้ในการกรองน้ำดื่ม

อุตสาหกรรมสี สามารถใช้เป็นตัวควบคุมการไหลของสี

อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง สามารถใช้เป็นตัวช่วยดูดซับน้ำ

การนำชานอ้อยมาใช้เป็นแหล่งซิลิกาในการสังเคราะห์วัสดุที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบจะช่วยเพิ่มมูลค่าจากชีวมวลที่ได้จากการเกษตรและยังสามารถใช้ให้เกิดประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมได้ (พัชรินทร์, 2553)

ถ่านชีวภาพ (Biochar)

ถ่านชีวภาพสามารถผลิตได้โดยใช้เคมีเชิงความร้อนจากวัตถุดิบประเภทอินทรีย์ ซึ่งขานอ้อยเป็นอีกหนึ่งวัตถุดิบที่ดีเนื่องจากมีองค์ประกอบของคาร์บอนสูง โดยในระหว่างที่มีการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนจำกัดและที่ความร้อนสูง (300-700 °C) จะเกิดการแยกสลายและระเหยออก ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณคาร์บอนสูงเกิดรูพรุน โดยทั่วไปสามารถนำมาใช้เพิ่มความสมบูรณ์ให้กับดิน ซึ่งแตกต่างจากถ่านทั่วไปซึ่งเดิมผลิตจากถ่านหินและใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยถ่านชีวภาพได้ถูกนำมาใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 สามารถนำมาเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) โดยการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีเพื่อสร้างให้เกิดรูพรุนและนำไปใช้สำหรับงานดูดซับ ซึ่งในปัจจุบันมีการนำไปใช้ในหลายๆ ด้าน ได้แก่ การเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน การใช้เป็นเชื้อเพลิง การใช้เป็นวัสดุดูดซับ และการกักเก็บคาร์บอน เป็นต้น (Eggleston and Isabel, 2015)

2.3 กากหม้อกรอง (Filter Cake)

กากหม้อกรอง คือ ส่วนที่เป็นกากปนไปกับน้ำอ้อยหลังจากผ่านเครื่องหีบแล้วก่อนที่จะส่งน้ำอ้อยผ่านเข้าเครื่องต้ม เพื่อให้ได้น้ำอ้อยเข้มข้นที่จะทำเป็นน้ำตาลทรายต่อไป โดยน้ำอ้อยดังกล่าวจะต้องถูกกรองเอาเศษผงที่ติดมาออกก่อน ซึ่งกากที่ผ่านการกรองที่ค่อนข้างละเอียดนี้เรียกว่า Filter cake ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ได้แก่

ปุ๋ยอินทรีย์

กากหม้อกรองถูกนำมาใช้ทำปุ๋ยในหลายประเทศทั่วโลก เช่น บราซิล อินเดีย ออสเตรเลีย คิวบา ปากีสถาน ใต้หวัน แอฟริกาใต้ และอาร์เจนตินา โดยปุ๋ยดังกล่าวประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุและแร่ธาตุที่มีความจำเป็นต่อพืช ประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุ 29.6% ไนโตรเจน 1.4% ฟอสฟอรัส 1.2% โพแทสเซียม 0.2% แคลเซียม 2.7% แมกนีเซียม 1.1% ซัลเฟอร์ 0.2% พีเอช 8.2 และสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 12 ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่เหมาะสมทางการเกษตรสามารถนำมาใช้ทดแทนแร่ธาตุที่พืชต้องการในบางส่วนได้ และยังพบว่ามีการนำมาปรับใช้กับแปลงเพาะปลูกอ้อย ซึ่งในประเทศบราซิลมีการนำกากหม้อกรองมาปรับใช้ด้วยวิธีต่างๆ เช่น ใส่ผสมลงดิน 80-100 ตันต่อเฮกตาร์, ใช้ผสมรองกันหลุม 15-30 ตันต่อเฮกตาร์ และใส่ระหว่างร่องปลูก 40-50 ตันต่อเฮกตาร์ ผลของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีเมื่อใส่กากหม้อกรองลงดินคือ เพิ่มปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแคลเซียม, เพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก, ลดความเข้มข้นของปริมาณอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Al^{3+}) และลดความเป็นพิษต่อพืช เป็นประโยชน์ต่อลักษณะทางกายภาพและชีวภาพของดิน (Prado *et al.*, 2013)

รายงานจากประเทศอียิปต์แสดงให้เห็นว่าการใช้กากหม้อกรองที่ผสมกับหินฟอสเฟตในแปลงปลูกหัวหอมอินทรีย์พบว่าช่วยในการปรับปรุงธาตุอาหารของพืช ช่วยเรื่องการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช อีกทั้งยังมีผลช่วยเพิ่มคุณภาพของสินค้าส่งออกอีกด้วย (Abo-Baker Basha, 2011) เช่นเดียวกับประเทศคิวบามีการศึกษาถึงผลผลิตทางการผลิตอ้อยที่ได้รับอินทรีย์วัตถุและแร่ธาตุจากกากหม้อกรอง พบว่ามีผลในการปรับปรุงโครงสร้างของดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์มากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี โดยมีการใช้กากหม้อกรอง 15 ตันต่อเฮกตาร์

ร่วมกับซีโอไลต์ 2 ตันต่อเฮกตาร์ ปุ๋ยฟอสเฟต 4 ตันต่อเฮกตาร์ และหินแคลคาเรียส 2 ตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งส่งผลดีต่อคุณสมบัติของดินที่ใช้ในการเพาะปลูกและผลิตผลทางอุตสาหกรรมมากกว่า 3 ปี ส่วนในประเทศสวาซิแลนด์กากหม้อกรองถือเป็นปัญหาของเมืองและไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย แต่มีบางรายงานที่พบว่านำมาใช้ในแปลงปลูกมันสำปะหลังและมันเทศ โดยการเติมกากหม้อกรอง 60 ตันต่อเฮกตาร์ ช่วยให้ผลผลิตมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นกว่า 50% (Ossom, 2007)

ไขอ้อย

กากหม้อกรองประกอบด้วยกากใย 15-30% โปรตีน 15-30% น้ำตาลกลูโคส 5-15% แร่ธาตุ และไขอ้อย 5-15% โดยในไขอ้อยมีสารโพลีโคซานอล (Policosanol) และไฟโตสเตอรอล (Phytosterols) ซึ่งมีคุณสมบัติในการลดความดันโลหิต ลดไขมันแอลดีแอล ลดไตรกลีเซอไรด์ ลดปริมาณคอเลสเตอรอลในกระแสเลือด และช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจ ซึ่งเหมาะต่อการนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อผลิตเป็นอาหารเสริมไว้ใช้ในประเทศ เนื่องจากสารโพลีโคซานอลในต่างประเทศมีราคาขายสูงถึงกิโลกรัมละ 20,000 บาท โดยไขอ้อยที่สกัดได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ด้านอาหารในการเคลือบหมากฝรั่งหรือลูกอมซึ่งเป็นตัวช่วยในเรื่องของความเงางาม การยืดอายุอาหาร และเป็นสารเพิ่มความหนืดในผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับความงามซึ่งนำมาใช้ในการผลิตลิปสติก โลชั่น ครีมทาผิว ครีมบำรุงเล็บ ครีมบำรุงผมทดแทนการใช้ไขมันอื่น เช่น ไซคาร์โบนา ไชผึ้ง หรือไขมันวัว เป็นต้น และยังสามารถใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มสารสำคัญในการออกฤทธิ์ของเครื่องสำอางค์ เช่น การปลดปล่อยวิตามินในครีมบำรุงผิว สารแอนติ-ออกซิแดนต์ (Antioxidant) สามารถนำไปต่อยอดใช้จริงในอุตสาหกรรมเพื่อขยายโอกาสในการเพิ่มมูลค่าและขับเคลื่อนเศรษฐกิจให้กับอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลในประเทศไทยต่อไป (ไววิทย์, 2557)

2.4 กากน้ำตาล (Molasses)

การน้ำตาลเป็นของเหลวที่มีลักษณะหนืดข้น สีดำอมน้ำตาล ซึ่งเป็นผลผลิตอย่างหนึ่งในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายโดยมีอ้อยเป็นวัตถุดิบ กากน้ำตาลนี้จะแยกออกจากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายในขั้นตอนสุดท้าย ด้วยการแยกออกจากเกล็ดน้ำตาลโดยวิธีการปั่น (Centrifuge) ซึ่งไม่สามารถตกผลึกเป็นเกล็ดน้ำตาลได้ด้วยวิธีทั่วไป และไม่นำกลับมาใช้ผลิตน้ำตาลทรายอีก

ประโยชน์ของกากน้ำตาล

1. เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตเอทานอล เพื่อใช้เป็นส่วนผสมของน้ำมันเบนซิน 91 หรือ 95 หรือที่เรียกว่า แก๊สโซฮอล์ ทั้งนี้ กากน้ำตาลปริมาณ 1 ตัน จะผลิตเอทานอลได้ประมาณ 250 ลิตร
2. เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้แก่
 - อุตสาหกรรมผลิตแอลกอฮอล์และสุรา
 - อุตสาหกรรมผลิตกรดมะนาว กรดน้ำส้ม และกรดแลคติก

- อุตสาหกรรมผลิตผงชูรส ซอส และซีอิ๊ว
- อุตสาหกรรมผลิตยีสต์และขนมปัง
- อุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์

3. เป็นส่วนผสมของหญ้าหมักหรือใช้ผสมในอาหารชั้นเพื่อเพิ่มแหล่งคาร์โบไฮเดรต และเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยกระตุ้นการหมักให้เกิดรวดเร็วมากขึ้น เพราะช่วยเพิ่มปริมาณแบคทีเรียผลิตกรด นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงรสของอาหารหยาบและส่งเสริมการเติบโตของแบคทีเรียในกระเพาะ

4. เป็นส่วนผสมของปุ๋ยหมักหรือสารปรับปรุงดิน เนื่องจากในกากน้ำตาลมีธาตุอาหารที่ครบถ้วน

5. เป็นส่วนผสมของน้ำหมักชีวภาพเป็นแหล่งอาหารสำคัญเพื่อให้จุลินทรีย์ผลิตกรดเติบโตและช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางธาตุอาหาร

3. ผลกระทบที่แปรรูปจากอ้อยในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง

อ้อยนอกจากการนำไปใช้ประโยชน์ข้างต้นแล้วยังมีการนำน้ำตาลทราย น้ำเชื่อม และกากน้ำตาลไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ เช่น เอทานอล อาหาร เครื่องดื่ม กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน ยาปฏิชีวนะ พอลิเมอร์ สารให้ความหวาน ยีสต์ เอนไซม์ และวิตามิน เป็นต้น

3.1 ไบโอแอลกอฮอล์ (Bio-alcohol)

ชีวมวล (Biomass) จัดเป็นทรัพยากรทางเลือกประเภทหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจ ดังจะเห็นได้จากตัวอย่าง เช่น ประเทศอเมริกา โดย Department of Energy (DOE) ได้ตั้งเป้าไว้ว่าภายในปี ค.ศ. 2025 จะมีการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพแทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียมในภาคขนส่งในปริมาณ 25% และมีการใช้สารเคมีที่มาจากชีวมวลทดแทนการใช้สารอินทรีย์ที่มาจากปิโตรเคมีในปริมาณ 20%

เอทานอล

เอทานอล (Ethanol) หรือเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) ถูกแปรรูปจากพืชจำพวกแป้งและน้ำตาล รวมทั้งเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสโดยผ่านกระบวนการหมักให้ได้เอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% โดยปริมาตร เอทานอลนอกจากจะถูกนำไปใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงแล้วยังมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมยา เป็นต้น วัตถุดิบที่นำมาผลิตเอทานอลส่วนใหญ่ได้จากพืชผลทางการเกษตร ได้แก่ อ้อย ข้าว ข้าวฟ่าง ข้าวโพด และมันสำปะหลัง

คณะกรรมการประเมินตลาดการบริโภคและสถิติ (The Market Evaluation, Consumption and Statistics Committee: MECAS) ได้พูดถึงเอทานอลจากอ้อยและความปลอดภัยทางชีวภาพในการประชุมขององค์การน้ำตาลระหว่างประเทศ (International Sugar Organization: ISO) ซึ่งไม่พบประเด็นที่เชื่อมโยงระหว่างเอทานอลที่ผลิตจากอ้อยและราคาน้ำตาล และไม่เกี่ยวข้องกับราคาอาหารที่ปรับเพิ่มขึ้น โดยวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเอทานอลของโลกกว่า 40% มาจากอ้อย ในทางตรงข้ามอ้อยถือว่าเป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเอทานอล โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดหรือข้าวสาลี สำหรับการผลิตเอทานอลจากอ้อยในประเทศบราซิลพบว่าการปลูกอ้อยแทนพืชอื่นๆ เพิ่มมากขึ้น

ในปี ค.ศ. 2018 คาดการณ์ว่าปริมาณการผลิตเอทานอลโลกจะเพิ่มมากขึ้นจาก 99.7 พันล้านลิตร เป็น 102.5 พันล้านลิตร โดย 1.3 พันล้านลิตรมาจากการผลิตที่มากขึ้นของประเทศบราซิลจากปัญหาทางด้านราคาน้ำตาลอาจกระตุ้นให้โรงงานในประเทศบราซิลหันมาผลิตเอทานอลเพิ่มมากขึ้น สำหรับสถานการณ์เอทานอลของประเทศไทยคาดว่าจะเริ่มเติบโตในปี ค.ศ. 2018 โดยเพิ่มขึ้นจาก 1.3 พันล้านลิตรเป็น 1.5 พันล้านลิตร ถึงแม้ว่าจะมีการผลิตน้ำตาลและกากน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 2017/2018 โดยเอทานอลจะผลิตจากการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบซึ่งเหมาะกับประเทศที่เติบโตเข้า เพื่อการผลิตแก๊สโซฮอล์ (E10, E20 และ E85) ปัจจุบันมีโรงงานผลิตเอทานอลในประเทศไทยประมาณ 21 โรงงานและมีกำลังการผลิต 1.5 พันล้านลิตรต่อปี

ปัจจุบันการผลิตเอทานอลของไทยจะใช้กากน้ำตาล น้ำอ้อย และมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในสัดส่วน 66: 5: 29 โดยการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ผู้ผลิตมักเป็นรายใหญ่ที่ต่อยอดธุรกิจจากโรงงานน้ำตาลจึงไม่ค่อยมีปัญหาด้านวัตถุดิบ ส่วนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมักเกิดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบจากการแย่งชิงมันสำปะหลังกับอุตสาหกรรมอื่น รวมถึงความไม่แน่นอนทางด้านต้นทุนวัตถุดิบเนื่องจากการแทรกแซงราคาจากทางการเพื่อช่วยเหลือเกษตรกรในบางช่วงเวลาจึงอาจเป็นความเสี่ยงต่อผู้ผลิต

โครงสร้างต้นทุนการผลิตเอทานอลในประเทศจำแนกตามประเภทวัตถุดิบที่ใช้ได้ดังนี้

1. การผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบกากน้ำตาลต้นทุนการผลิตส่วนใหญ่จะเป็นค่าวัตถุดิบคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 60-70% ของต้นทุนการผลิตรวมทั้งเหลือเป็นต้นทุนดำเนินการ 25-35% และต้นทุนคงที่ 5%
2. การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ต้นทุนวัตถุดิบคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 55-60% ของต้นทุนการผลิตรวม ต้นทุนดำเนินการ 35-40% และต้นทุนคงที่ 5% การที่ต้นทุนดำเนินการในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังสูงกว่าการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล เนื่องจากกระบวนการผลิตมีขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล

ธุรกิจพลังงานชีวมวลมีแนวโน้มเติบโตได้ดี เนื่องจากได้รับปัจจัยสนับสนุนจากภาครัฐประกอบกับการที่ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีผลผลิตเหลือใช้ทางการเกษตรจำนวนมากที่สามารถถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานชีวมวลได้ เช่น แกลบและชานอ้อย เป็นต้น (ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจ ธุรกิจ และเศรษฐกิจฐานราก, 2559)

N-butanol

N-butanol หรือบิวทิลแอลกอฮอล์ เป็นแอลกอฮอล์หลักที่มีโครงสร้าง 4 คาร์บอนและสูตรทางเคมี C_4H_9OH ไม่มีสี ไวไฟ และมีความสามารถในการละลายในน้ำได้ เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักน้ำตาลและคาร์โบไฮเดรตเช่นเดียวกับการผลิตเอทานอล ใช้วัตถุดิบพวกผลผลิตทางการเกษตร เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และน้ำตาล ปัจจุบันมีการวิจัยเพื่อใช้เซลลูโลส (Cellulose-based-crops) มาเป็นวัตถุดิบในการผลิต เช่น ฟางข้าวโพดและหญ้าจำพวก Switchgrass นอกจากนี้ในประเทศสหรัฐอเมริกายังใช้ในเนยครีม ผลไม้ เหล้ารัม วิสกี้ ไอศกรีม และขนมมาเป็นวัตถุดิบอีกด้วย

N-butanol ถูกนำมาใช้เป็นตัวกลางในการผลิต Butyl acrylate, Butyl acetate, Dibutyl phthalate, Dibutyl sebacate และ Ester butyl และ Esters อื่น ๆ เช่น Etylen glycol monobutyl ether และ Triethylene glycol monobutyl ether, และ Acetate butyl ether ส่วนการใช้งานในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้แก่ การผลิตยา, เม็ดโพลีเมอร์, พลาสติก pyroxylin, สารเคมีกำจัดวัชพืช และ Butyl xanthate นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเจือจางหรือทำปฏิกิริยาในการผลิต Urea formaldehyde resin (สารที่นำมาทำพลาสติก) และ Melamine formaldehyde resin (สารที่นำมาทำพลาสติกชนิดแข็งที่ทนความร้อน) รวมถึงใช้เป็นส่วนผสมในน้ำหอมและเป็นตัวทำละลายสำหรับการสกัดน้ำมันหอมระเหย ใช้เป็นตัวสกัดในอุตสาหกรรมการผลิตยาปฏิชีวนะฮอร์โมนและวิตามิน ตัวทำละลายสำหรับผสมกับสี กาว สีย้อม สารเคลือบผิวเรซิน อัลคาลอยด์ และการบูร รวมถึงใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ และยังมีการนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซินอีกด้วย

Isobutanol

Isobutanol เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ไวไฟและไม่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม มีคุณสมบัติให้พลังงานสูง ความดันไอต่ำ มีความเข้ากันได้กับเครื่องยนต์และกับโครงสร้างพื้นฐานด้านปิโตรเคมีจึงจัดว่าเป็นส่วนผสมของน้ำมันเบนซินที่น่าสนใจ ตลอดจนนำไปใช้เป็นตัวทำละลายในการผลิตสีและน้ำมันเคลือบเงา, เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารอินทรีย์, น้ำยาทำความสะอาด, ของไหลในระบบไฮดรอลิก, ใช้ในการผลิต Isobutyl esters, สารเติมแต่งในพลาสติก, หัวกลิ่น และน้ำหอม ซึ่งในประเทศไทยส่วนใหญ่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตร เช่น อ้อยและมันสำปะหลัง

1,4-Butanediol (BDO)

1,4-Butanediol (BDO) เป็นของเหลว ไม่มีน้ำมัน หนืด ไม่มีสี สามารถละลายได้ในเมทานอลและเอทานอล และละลายได้เล็กน้อยในอีเทอร์ รสขมและสามารถดูดซึมความชื้นได้ เป็นวัตถุดิบสำคัญของสารเคมีอินทรีย์และเป็นวัสดุพื้นฐานในการผลิต Polyethylene terephthalate (PET) และพลาสติกเส้นใย PET รวมถึงเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต Tetrahydrofuran (THF) ซึ่งเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่สำคัญ โดย THF polymer PTMEG เป็นวัสดุพื้นฐานของเส้นใยโพลียูรีเทนความยืดหยุ่นสูงใช้เป็นวัสดุหลักในการผลิตรองเท้าและชุดว่ายน้ำที่ต้องการความยืดหยุ่นสูง โดยวัตถุดิบที่ได้มาจากชีวมวล หรือจากปิโตรเคมี ในกรณีที่มาจากชีวมวล เช่น ผลิตผลจากการเกษตรที่ให้แบ่งอย่างข้าว อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด และปาล์มน้ำมัน โดยจะผ่านกระบวนการเทคโนโลยีชีวภาพเปลี่ยนแบ่งเป็นน้ำตาล และเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นโมโนเมอร์

Sorbitol

ซอร์บิทอล (Sorbitol) เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่มีความหวานเทียบเท่ากับ 60% ของน้ำตาล สามารถให้พลังงานกับร่างกายในขนาด 2.6 กิโลแคลอรีต่อกรัม ในขณะที่น้ำตาลให้พลังงานในขนาดประมาณ 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม ร่างกายของมนุษย์จะเผาผลาญซอร์บิทอลได้อย่างช้าๆ วัตถุดิบที่ถูกนำมาใช้เพื่อการผลิตซอร์บิทอล คือ ผลิตผลทางการเกษตรที่มีแป้ง (Starch) เป็นส่วนประกอบ เช่น

มันสำปะหลัง อ้อย มันฝรั่ง ข้าวโพด ข้าว และข้าวสาลี โดยกระบวนการผลิตซอร์บิทอลเริ่มต้นจากการย่อยโมเลกุลของแป้งให้เป็นโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสได้สารตั้งต้น คือ น้ำเชื่อมกลูโคส (Glucose syrup) แล้วจึงทำปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนให้กับโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสโดยมีนิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยา ดังนี้

- ใช้เป็นสารแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก อาหารให้พลังงานต่ำ หรือไม่มีน้ำตาล และใช้ในอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น เบเกอรี่ แยม หมากฝรั่ง ลูกกวาด ลูกอม และผสมเครื่องดื่ม

- รักษาความชุ่มชื้น (humectant) ในผลิตภัณฑ์

- ป้องกันการตกผลึกของน้ำตาล ในการผลิตช็อกโกแลต ลูกกวาด ลูกอม

ป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็ง โดยไปทำให้จุดเยือกแข็ง (freezing point) ของอาหารลดลง น้ำในอาหารอยู่ในรูปของเหลวที่อุณหภูมิต่ำมาก จึงไม่เกิดผลึกน้ำแข็งที่ไปทำลายเซลล์เนื้อเยื่อ ใช้ในอาหารแช่เยือกแข็ง เช่น ซูริมิ และไอศกรีม

3.2 ไบโอฟอลิเมอร์ (Bio-polymer)

พอลิเมอร์หรือที่เรียกกันติดปากว่าพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในชีวิตประจำวันส่วนใหญ่ได้มาจากการสังเคราะห์ทางเคมีจากสารตั้งต้นที่มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ปริมาณการใช้งานพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและได้ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาในการกำจัดหลังการใช้งาน โดยถุงพลาสติกและกล่องโฟมที่เราใช้ใส่อาหารต้องใช้เวลาในการย่อยสลายตามธรรมชาติกว่า 400 ปี เมื่อพิจารณาแบ่งกลุ่มพลาสติกชีวภาพตามความสามารถในการสลายตัวทางชีวภาพและวัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์ จึงสามารถแบ่งพลาสติกชีวภาพออกได้เป็น 3 ประเภท (ภาพที่ 4) ได้แก่

1. พลาสติกที่เป็น Bio-based หรือ Partly bio-based plastic ซึ่งเป็น Non-biodegradable plastic คือพลาสติกที่ผลิตจากการใช้ผลผลิตจากพืชเป็นวัตถุดิบแต่ไม่สามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพ โดยพลาสติกชีวภาพกลุ่มนี้มีสมบัติเหมือนกับพลาสติกทั่วไปที่ผลิตจากปิโตรเคมีทุกประการ เช่น พอลิเอทิลีนชีวภาพ (Bio polyethylene; Bio-PE) พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตชีวภาพ (Bio polyethylene terephthalate; Bio-PET)

2. พลาสติกที่เป็นทั้ง Bio-based และเป็น Biodegradable คือ พลาสติกที่ผลิตจากการใช้ผลผลิตจากพืชเป็นวัตถุดิบและสามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพ ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตร เช่น อ้อย ข้าวโพด หรือ มันสำปะหลัง นำไปผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อผลิตเป็นน้ำตาล แล้วจึงนำไปหมักโดยแบคทีเรียเพื่อผลิตเป็นมอนอเมอร์ที่เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตพลาสติกชีวภาพ ซึ่งพลาสติกชีวภาพในกลุ่มนี้สามารถสลายตัวได้ด้วยจุลินทรีย์ภายใต้อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม จนกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เช่น พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid; PLA) พอลิไฮดรอกซีอัลคานอเอต (Polyhydroxyalkanoate; PHA) หรือ พอลิบิวทิลีน ซัคซิเนต (Polybutylene succinate; PBS)

3. พลาสติกที่ผลิตจากพอสซิลและเป็น Biodegradable คือ พลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเคมีแต่สามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพ สามารถสลายตัวได้ด้วยจุลินทรีย์ภายใต้อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม เช่น พอลิบิวทีลีนอะดิเปตโคเทอเรพทาเรต (Polybutylene adipate co-terephthalate; PBAT)

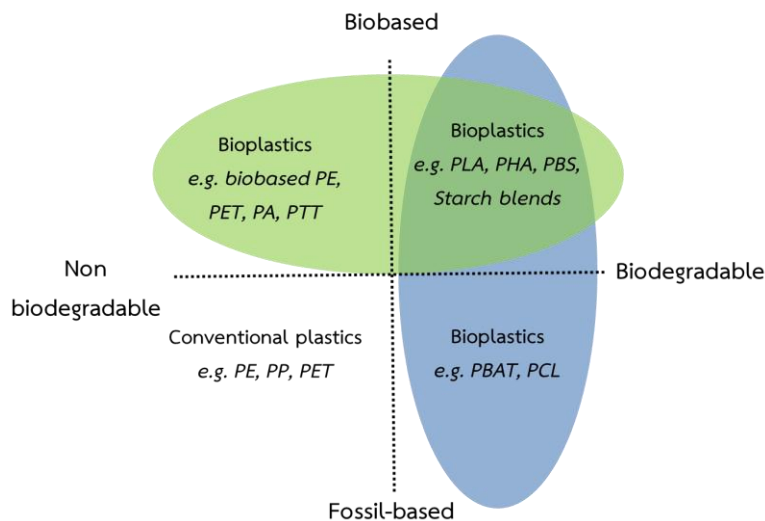
ทั้งนี้พลาสติกชีวภาพที่ผลิตได้จากการใช้อ้อยและผลิตภัณฑ์จากอ้อยเป็นวัตถุดิบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพ (Compostable plastics) และพลาสติกที่ไม่สามารถสลายตัวได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (เป็นกลุ่มพลาสติกที่มีสมบัติเหมือนกับพลาสติกที่ใช้ในชีวิตประจำวัน) โดยชนิดของพลาสติกชีวภาพที่ผลิตได้จากการใช้อ้อยและผลิตภัณฑ์จากอ้อยเป็นวัตถุดิบที่สำคัญและมีการดำเนินการผลิตในเชิงพาณิชย์ มีดังนี้

กลุ่มพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพ

1. พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid; PLA)
2. พอลิบิวทีลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate; PBS)
3. พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (Polyhydroxyalkanoate; PHA)

กลุ่มพลาสติกที่ไม่สามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพ

1. พอลิเอทิลีนชีวภาพ (Bio polyethylene; Bio-PE)
2. พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลตชีวภาพ (Bio polyethylene terephthalate; Bio-PET)
3. พอลิไวนิลคลอไรด์ชีวภาพ (Bio polyvinyl chloride; Bio-PVC)



ภาพที่ 4 การแบ่งประเภทของพลาสติกชีวภาพ

ต่อมาเมื่อโลกได้เข้าสู่กระแสอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ได้มีความพยายามในการพัฒนาอุตสาหกรรมชีวภาพขึ้น โดยนำวัตถุดิบทางการเกษตรมาแปรรูปให้เกิดมูลค่าเพิ่ม ลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและ

สร้างความยั่งยืน น้ำตาลทรายซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ซูโครส เป็นหนึ่งในแหล่งวัตถุดิบชีวมวล ทางเลือกที่สามารถนำไปสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมชีวภาพในด้านต่างๆ โดยเฉพาะในส่วนของอุตสาหกรรม พลาสติกชีวภาพ ซึ่งถือเป็นหนึ่งในกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีแนวโน้มความต้องการสูงขึ้นในตลาดโลกอย่างต่อเนื่อง และรวดเร็ว

ปัจจัยพื้นฐานของพลาสติกชีวภาพ

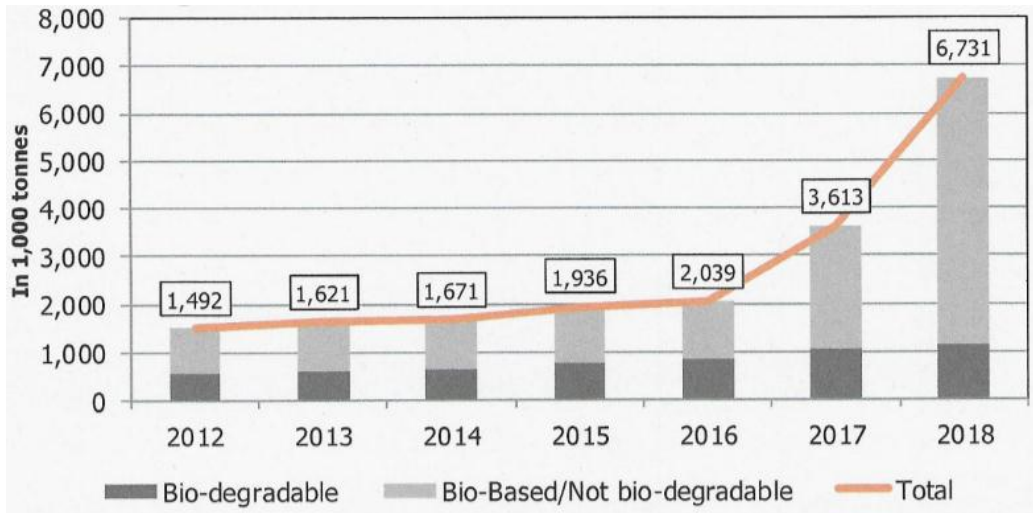
จากการศึกษาพบว่าปริมาณการใช้พลาสติกทั่วโลกเพิ่มขึ้นจากประมาณ 5 ล้านตัน ในปี ค.ศ 1950 เพิ่มขึ้นเป็น 240 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 500 พันล้านเหรียญสหรัฐ จะเห็นได้ว่าตลาดพลาสติกมีอัตราการเติบโตอย่างรวดเร็วเพราะมีความทนทานและมีน้ำหนักเบา รวมทั้งมีการนำวัสดุเกรดต่างๆไปใช้ในงานวิศวกรรมยานยนต์ พลาสติกส่วนใหญ่ที่ได้จากวัตถุดิบฟอสซิล ได้แก่ น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ โดยพบว่าพอลิเมอร์ที่ได้จากปิโตรเลียมมีการขยายตัวอย่างน่าตกใจ เพราะมีการฝังกลบขยะเป็นจำนวนมากทำให้มีสิ่งปนเปื้อนไหลลงสู่แม่น้ำและมหาสมุทร

ในปัจจุบันพลาสติกชีวภาพที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการแปรรูปมากกว่าพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เนื่องจากพลาสติกชีวภาพที่ไม่สามารถย่อยสลายได้เป็นพลาสติกที่มีสมบัติเชิงกลที่เทียบเคียงได้กับพลาสติกจากปิโตรเลียม โดยทั่วไปจึงสามารถนำมาใช้งานได้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายทั้งในการผลิตบรรจุภัณฑ์ ชิ้นส่วน ยานยนต์ ชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และสิ่งทอ เมื่อปริมาณความต้องการเม็ดพลาสติกชีวภาพที่ไม่สามารถย่อยสลายได้มีเพิ่มมากขึ้น ภาคอุตสาหกรรมเม็ดพลาสติกชีวภาพจึงสามารถดำเนินการผลิตเม็ดพลาสติกชีวภาพได้ในระดับปริมาณที่ก่อให้เกิดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยที่ต่ำ (Economy of Scale) ราคาของเม็ดพลาสติกชีวภาพที่ไม่สามารถย่อยสลายได้จึงอยู่ในระดับที่ไม่แตกต่างกับราคาของเม็ดพลาสติกจากปิโตรเลียมมากนัก อย่างไรก็ตามพลาสติกชีวภาพที่ไม่สามารถย่อยสลายได้มักไม่ได้รับการยอมรับในด้านการเป็นพลาสติกทางเลือกเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม เนื่องจากภาคประชาชนหรือหน่วยงาน ที่อยู่นอกภาคอุตสาหกรรมยังไม่มีความรู้ความเข้าใจถึงข้อดีด้านการลดปริมาณการใช้วัตถุดิบจากปิโตรเลียม และการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลาสติกชีวภาพจากวัสดุจำพวกพืชทดแทนพลาสติกจากปิโตรเลียม

ในส่วนของพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้เป็นชนิดของพลาสติกชีวภาพที่สามารถตอบสนองการนำมาใช้เพื่อการลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหาเรื่องการจัดการขยะได้เป็นอย่างดี จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง เช่น แก้วกาแฟ ถุงพลาสติก จานชามที่ใช้ในแหล่งท่องเที่ยว อย่างไรก็ตามด้วยสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ เช่น การทนต่อแรงดึง การทนต่อแรงกระแทก การทนต่อความร้อน ซึ่งยังต่ำกว่าพลาสติกจากปิโตรเลียมอยู่ ในปัจจุบันมีการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีการ Compound และกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถเพิ่มสมบัติเชิงกลให้กับพลาสติกชีวภาพที่ย่อยสลายได้ แต่ก็ก่อให้เกิดต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย ส่งผลให้พลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ไม่สามารถนำมาใช้งานได้หลากหลายเท่ากับพลาสติกจากปิโตรเลียม ระดับปริมาณการผลิตเม็ดพลาสติกชีวภาพที่ย่อยสลายได้ในภาคอุตสาหกรรมจึงไม่มากเพียงพอที่จะก่อให้เกิด Economy of Scale ส่งผลให้ราคาเม็ดพลาสติกชีวภาพที่ย่อยสลายได้ยังอยู่ในระดับที่สูง

พลาสติกชีวภาพของโลกยังมีอัตราการผลิตน้อยเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมเทอร์โมพลาสติกซึ่งกำลังการผลิตประมาณ 2.0 ล้านตัน (ภาพที่ 5) หรือน้อยกว่ากำลังการผลิตเม็ดพลาสติกที่ได้จากวัตถุดิบปิโตรเลียมแต่อย่างไรก็ตามอัตราการเติบโตของปีที่ผ่านมายังคงมีมากกว่าวัตถุดิบที่ได้จากฟอสซิล

โดยปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้มีความต้องการพลาสติกชีวภาพเนื่องมาจากกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมที่มีความเข้มงวดมากขึ้น รวมถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากการเริ่มพัฒนาขององค์กรและมีการเข้าถึงผู้บริโภคมากขึ้น



ภาพที่ 5 กำลังการผลิตทั่วโลกตามประเภทของพลาสติก

จากการคาดการณ์ของสถาบันวิจัย Freedonia ในสหรัฐอเมริกาพบว่ามีความต้องการพลาสติกชีวภาพและพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพทั่วโลกจะเพิ่มขึ้นประมาณ 20% เป็นประจำทุกปี โดยในปี ค.ศ. 2017 จะเหลือเพียง 1.0 ล้านตัน และในปี ค.ศ. 2017 ส่วนใหญ่จะผลิตพลาสติกจากแป้งและ PLA การใช้พลาสติกชีวภาพและพอลิเมอร์ชีวภาพอย่าง PLA และ PHA จะมีอัตราการเติบโตที่รวดเร็วซึ่งทดแทนพอลิเมอร์เม็ดพลาสติกจาก PET, PE และ PP โดยสถาบัน Nova-Institute ได้คาดการณ์ว่ากำลังการผลิต PLA ของทั่วโลกจะอยู่ที่ 180,000 ตันต่อปี และคาดว่าจะเพิ่มเป็น 800,000 ตันต่อปี ภายในปี ค.ศ. 2020 ในขณะเดียวกันยังคาดการณ์ว่ากำลังการผลิต Bio-PET จะถึง 5.0 ล้านตัน ภายในปี ค.ศ. 2020 ซึ่งได้จากเอทานอลที่ผลิตจากอ้อยเป็นหลัก โดยการลงทุนส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในประเทศแถบเอเชียและอเมริกาใต้เนื่องจากมีวัตถุดิบที่มากเพียงพอ

ชนิดที่สำคัญของพลาสติกชีวภาพที่สามารถผลิตได้จากการใช้อ้อยและผลิตภัณฑ์จากอ้อยมีอยู่ด้วยกัน 5 ชนิด ซึ่งมีสมบัติและการนำไปใช้งานที่แตกต่างกันไป ดังนี้

พอลิเอทิลีน (Polyethylene; PE) ได้มาจากการดีไฮเดรชันเอทานอลหรือโดยการไฮโดรจีเนชันอะเซทิลีน ได้จากวัตถุดิบจากธรรมชาติ เช่น กากน้ำตาลจากอุตสาหกรรมน้ำตาลซึ่งได้มาในรูปแบบเอทานอล นอกจากนี้ อาจใช้ปฏิกิริยาการแตกของโมเลกุลอีเทนหรือโพรเพนแล้วทำให้บริสุทธิ์ พอลิเอทิลีนชีวภาพมีสมบัติเหมือนพอลิเอทิลีน

ลิเอทิลีนที่ผลิตจากปิโตรเคมี โดยมีความแข็งแรงสูง ทนความร้อนได้ดี ทั้งนี้พอลิเอทิลีนสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้หลากหลาย โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ ทั้งในส่วนของบรรจุภัณฑ์แบบคงรูปและบรรจุภัณฑ์แบบอ่อนตัว รวมถึงอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยใช้น้ำตาลจากอ้อยเป็นวัตถุดิบ ได้เอทานอล แล้วเปลี่ยนเอทานอลเป็นสารตั้งต้นเอทิลีนมาผลิตพอลิเอทิลีนซึ่ง Toyota Tsusho Corporation (Japan) ได้ใช้ Bio-based polyethylene นี้ในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์และอุปกรณ์ในรถยนต์แล้ว

ในปัจจุบันผู้ผลิตพอลิเอทิลีนสังเคราะห์จากชีวภาพรายใหญ่ของโลก คือ บริษัท Braskem ของประเทศบราซิล และคาดการณ์ว่ากำลังการผลิตพอลิเอทิลีนสังเคราะห์จากชีวภาพของโลกในปี 2562 จะยังคงอยู่ที่ประมาณ 2.0 แสนตัน

พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid; PLA) ผลิตโดยนำแป้งหรือน้ำตาลมาผ่านกระบวนการหมัก (Fermentation) ด้วยจุลินทรีย์ที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดเป็นกรดแลคติก (Lactic acid) เพื่อใช้เป็นมอนอเมอร์ (Monomer) ในขั้นตอนการสังเคราะห์เป็นพอลิเมอร์ พอลิแลคติกแอซิดมีสมบัติคล้ายกับพอลิสไตรีน คือ มีความใส มีความแข็งแต่มีความยืดหยุ่นไม่มากนัก และไม่ทนความร้อน อย่างไรก็ตาม พอลิแลคติกแอซิดสามารถนำมาขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการผลิตหลายประเภท เช่น การฉีดขึ้นรูป การอัดขึ้นรูป การเป่าขึ้นรูป หรือการผลิตเส้นใย ที่สำคัญพอลิแลคติกแอซิดมีราคาถูกกว่าพลาสติกชีวภาพที่สามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพชนิดอื่นๆ จึงนิยมนำไปใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น

- การใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้เกิดการย่อยสลายในสภาวะธรรมชาติ เช่น ฟิล์มคลุมดิน
- การใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะในกลุ่มผลิตภัณฑ์ใช้ครั้งเดียวทิ้ง เช่น แก้วพลาสติกและยังสามารถนำไป Compound กับพลาสติกชีวภาพชนิดอื่นเพื่อผลิตบรรจุภัณฑ์แบบอ่อนตัว
- การใช้ทางการแพทย์ เช่น ไหมละลายสำหรับใช้เย็บแผล
- การใช้ในการขึ้นรูปต้นแบบผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการ 3D Printing เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปต่ำ เป็นต้น

พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate; PET) พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตชีวภาพมีสมบัติเหมือนกับพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่ผลิตจากปิโตรเคมี โดยเป็นพลาสติกที่มีความใส มีความยืดหยุ่นสูงและป้องกันการซึมผ่านของก๊าซโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี แต่ไม่ทนความร้อน พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตมักได้รับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ ในการผลิตบรรจุภัณฑ์แบบคงรูป และผลิตเป็นเส้นใยในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

ในปัจจุบันผู้ผลิตพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตสังเคราะห์จากชีวภาพรายใหญ่ของโลก คือ บริษัท Braskem ของประเทศบราซิล โดยข้อมูลของ European bioplastics ปี 2558 ระบุว่ากำลังการผลิตพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตสังเคราะห์จากชีวภาพของโลกในปี 2557 สูงถึงประมาณ 6.0 แสนตัน และคาดการณ์ว่า

กำลังการผลิตพอลิเอทิลีนเทรฟทาเลตสังเคราะห์จากชีวภาพของโลกในปี 2562 จะเพิ่มขึ้นสูงถึงประมาณ 5 ล้านตัน

พอลิไฮดรอกซีอัลคานอเอต (Polyhydroxyalkanoate; PHA) มีคุณสมบัติเชิงกล คือ ความยืดหยุ่นและความทนต่อแรงดึงที่ดี ตลอดจนทนต่อความร้อนใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน อีกทั้งยังมีสมบัติด้านความสามารถในการเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatible) ความสามารถในการดูดซึมทางชีวภาพ (Bioresorbable) รวมถึงความสามารถในการย่อยสลายที่หลากหลาย จึงเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมวัสดุทางการแพทย์ โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์เพื่อการใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง เช่น เข็มฉีดยา รวมถึงยังมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น เช่น การผลิตฟิล์มบรรจุอาหารในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์

พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylenesuccinate; PBS) เป็นพอลิเอสเทอร์สังเคราะห์ที่ผลิตจากกรดซัคซินิก และ 1,4-บิวเทนไดออล ซึ่งโมโนเมอร์ทั้งสองชนิดนี้เตรียมได้จากทั้งผลิตภัณฑ์ทางปิโตรเคมีและจากวัตถุดิบธรรมชาติ โดยผ่านกระบวนการหมักแป้งและน้ำตาลได้เป็นกรดซัคซินิก เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิต 1,4-บิวเทนไดออล ผ่านการเตรียมเป็นมาเลอิกแอนไฮไดรด์ โดยพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตเป็นพลาสติกที่มีสมบัติคล้ายกับพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน คือ มีความอ่อนตัวสูง มีความยืดหยุ่นที่ดี ทนความร้อนได้สูงแต่ขุ่น ทั้งนี้พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตเหมาะสมกับกระบวนการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทฟิล์ม อีกทั้งพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตยังสามารถนำไปผสมกับพอลิแลคติกแอซิดเพื่อปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมกับการผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลายประเภท พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตมักนิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เช่น ฟิล์มบรรจุอาหาร พลาสติกเคลือบบรรจุภัณฑ์กระดาษ นอกจากนี้ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตยังสามารถนำไป compound กับ พอลิแลคติกแอซิดเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น ฟิล์มคลุมดินและของใช้ในครัวเรือน

3.3 กรดอินทรีย์และอื่นๆ

กรดแลคติก (Lactic acid)

กรดแลคติก (2-hydroxypropanoic acid, $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-COOH}$) เป็นกรดอินทรีย์ที่สามารถผลิตได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีหรือกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ แต่โดยทั่วไปนิยมผลิตจากกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์กว่า 90% ลักษณะเป็นของเหลวไม่มีสี ละลายในน้ำ และเป็นตัวทำละลายที่ดี และสามารถตกผลึกได้หากมีความเข้มข้นสูง การหมักกรดแลคติกด้วยเชื้อจุลินทรีย์ สามารถใช้วัตถุดิบราคาถูก สามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกทั้งวัตถุดิบยังมีราคาถูก ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน และใช้ระยะเวลาที่สั้น เช่น แป้ง ข้าวสาลี ข้าวโพด มันฝรั่ง ลิกโนเซลลูโลส เวย์ ผักกาดฝรั่ง และอ้อย เป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบตั้งต้นที่มาจากอ้อย ได้แก่ น้ำอ้อย กากน้ำตาล และชานอ้อย ตัวอย่างเช่นการผลิตไอโซเมอร์บริสุทธิ์ของ L(+) หรือ D(-) Lactic acid เนื่องจากวัตถุดิบสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้จึงสามารถช่วยลดปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะถูกปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ (Komesu *et al.*, 2014) โดยกรดแลคติกถูกนำมาใช้ในงานทางด้านอาหาร เกษษภัณฑ์ อุตสาหกรรมเคมี และอุตสาหกรรมสิ่งทอ ใช้เป็นตัวตั้งต้นในการผลิตสารลดแรงตึงผิว (Emulsifiers) เช่น Stearoyl-2-lactylates รวมถึงอุตสาหกรรมขนมอบ และมีการนำมาใช้เป็น

วัตถุดิบในการผลิตพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid; PLA) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ (Biodegradable) แต่ในกระบวนการทำให้ผลิตภัณฑ์มีความบริสุทธิ์ยังมีต้นทุนการผลิตที่สูงและวัตถุดิบมีราคาแพง ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาวัตถุดิบที่ราคาถูกเพื่อการหมักกรดแลคติกขายเป็นการค้า ซึ่งโดยทั่วไปนิยมผลิตจากน้ำตาลกลูโคส มอลโตสหรือแลคโตส โดยน้ำอ้อยเป็นอีกหนึ่งวัตถุดิบทางเลือกและมีการนำมาใช้ในกระบวนการผลิตเนื่องจากเป็นแหล่งคาร์บอนที่มีราคาถูกและประกอบด้วยน้ำตาลซูโครสถึง 13-16% (w/v) (Timbuntam *et al.*, 2006) ซึ่งปริมาณความต้องการกรดแลคติกทั่วโลกมีแนวโน้มสูงขึ้นในแต่ละปีโดยมีการคาดการณ์ว่าจะสูงถึง 367.3 แสนเมตริกตัน ในปีค.ศ. 2017 อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาที่อัตราการเพิ่มขึ้นของการใช้งานคาดว่าน่าจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของการใช้กรดแลคติกในการผลิต PLA สูงที่สุดตามมาด้วยการใช้เป็นตัวทำละลายแลคเตต (Lactate solvent) โดยปัจจุบันประเทศสหรัฐอเมริกามีปริมาณการใช้กรดแลคติกมากที่สุด ในขณะที่ประเทศแถบยุโรปมีอัตราการเจริญเติบโตของตลาดกรดแลคติกสูงสุดโดยอัตราการเติบโตเฉลี่ยมีมากกว่า 8% ต่อปี

กรดซัคซินิก (Succinic acid)

กรดซัคซินิก ($C_4H_6O_4$) เป็นกรดอินทรีย์ในกลุ่มของ Tricarboxylic acid cycle (TCA) ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนรวม 4 อะตอม ถูกนำไปใช้ในงานที่ค่อนข้างหลากหลาย เช่น เป็นสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ตัวทำละลาย สารปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ และการผลิตเภสัชภัณฑ์ ปัจจุบันกรดซัคซินิกส่วนใหญ่ผลิตจากกระบวนการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) จากปิโตรเลียม แต่วัตถุดิบจากน้ำมันและปิโตรเลียมมีราคาที่สูงจึงมีการนำวิธีผลิตโดยกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์มาใช้ในเชิงการค้า วัตถุดิบชีวภาพจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งได้จากกระบวนการหมักน้ำตาลบริสุทธิ์ภายใต้สภาวะที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูง วัตถุดิบที่มีลิกโนเซลลูโลสสามารถนำมาใช้ได้แต่ยังต้องการกระบวนการปรับสภาพและกระบวนการไฮโดรไลซิสซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง โดยแบคทีเรียจะสามารถใช้น้ำตาลได้โดยตรงในการผลิตซัคซิเนต (Alcantara *et al.*, 2017) ถึงแม้จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางแต่การใช้กรดซัคซินิกในภาคอุตสาหกรรมยังมีปริมาณไม่มากนักประมาณ 25,000 ตัน เนื่องจากกรดซัคซินิกที่ป้อนให้กับอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ได้จากการสังเคราะห์ปิโตรเคมีที่ต้องใช้ต้นทุนการผลิตสูง โดยราคาของกรดซัคซินิกจากปิโตรเคมีในตลาดจะอยู่ในช่วง 5.90-8.80 เหรียญสหรัฐต่อกิโลกรัม ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นปัจจัยจำกัดที่สำคัญของภาคอุตสาหกรรมในระยะที่ผ่านมา แต่ด้วยศักยภาพที่น่าสนใจของกรดซัคซินิก จึงมีความพยายามที่จะคิดค้นวิธีการผลิตกรดซัคซินิกให้ได้ปริมาณมากด้วยต้นทุนที่ประหยัดกว่าที่เป็นอยู่ จนกระทั่งเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการค้นพบว่าการผลิตกรดซัคซินิกโดยการหมักชีวมวลสามารถให้ผลผลิตสูงและประหยัดกว่าการผลิตโดยวิธีสังเคราะห์จากปิโตรเคมี และในขณะเดียวกันพบว่ากรดซัคซินิกนั้นสามารถผลิตได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ โดยอาศัยกระบวนการหมักของแบคทีเรียแบบที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic cultivation) โดยการใช้วัตถุดิบทางการเกษตร เช่น มันสำปะหลัง ข้าวโพด และอ้อย เป็นต้น และยังได้มาจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น

ซึ่งข้าวโพด ฟางข้าว และเมล็ดข้าวสาลี เป็นต้น ประกอบกับประเทศไทยเป็นเมืองเกษตรกรรมมีการผลิตสินค้าทางการเกษตรหลากหลายชนิดและมีปริมาณมากทำให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งและของเสียที่ไม่ต้องการเป็นปริมาณมากเช่นกัน ทำให้กรดซัคซินิกที่ได้มีราคาต่ำกว่าการผลิตจากปิโตรเลียมและยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

กรดซัคซินิกจากการหมักชีวมวลหรือ ไบโอสัคซินิก (Bio-succinic) เป็นเคมีชีวภาพตัวหนึ่งที่เป็นความหวังไม่เฉพาะสำหรับอุตสาหกรรมเคมีเท่านั้น แต่ยังรวมถึงอุตสาหกรรมการแพทย์ เกษษกรรม อาหาร และอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพด้วย การที่สามารถผลิตกรดซัคซินิกได้ด้วยต้นทุนที่ถูกลงย่อหมายถึงการแปรรูปกรดซัคซินิกเป็นเคมีภัณฑ์ต่างๆที่ประหยัดและยั่งยืนด้วย เพราะไบโอสัคซินิกจะช่วยลดการพึ่งพาน้ำมันดิบหรือปิโตรเคมีลงไปได้มากและสามารถนำกรดซัคซินิกไปใช้สังเคราะห์เป็นพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate) หรือ PBS ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้และนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายโดยเฉพาะด้านวัสดุทางการแพทย์และพลาสติกชีวภาพ

ไอโซบิวทีน (Isobutene)

Isobutene หรือ 2-Methylpropene เป็นของเหลวที่ไม่มีสีและเป็นอนุพันธ์ปลายน้ำของน้ำมันดิบถูกผลิตขึ้นในระหว่างกระบวนการแยกส่วนของก๊าซที่ได้จากการกลั่นและโดยวิธีการแตกตัวเร่งปฏิกิริยาของอีเทอร์ Methyl-t-butyl ไอโซบิวทีนเป็นสารเคมีที่สำคัญและใช้ได้หลากหลายรูปแบบตั้งแต่สารเติมแต่งเชื้อเพลิงและโพลีเมอร์ไปจนถึงเวชภัณฑ์ยาและอุตสาหกรรมเกษตร ดังนั้นการผลิตทั่วโลกต้องมีเกินกว่า 10 ล้านเมตริกตัน

ในปัจจุบันสามารถสังเคราะห์ Isobutene ได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด แต่ความต้องการ Isobutene ในปัจจุบันนั้นมีมากขึ้นเนื่องจาก Isobutene เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตเมทิลเทอร์บิวทิลอีเทอร์ (Methyl tert-butyl ether) และเอทิลเทอร์บิวทิลอีเทอร์ (Ethyl tert-butyl ether) สารทั้งสองชนิดนี้เป็นสารเพิ่มคาออกเทนในน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งสถานะในปัจจุบันน้ำมันมีความเกี่ยวข้องกับทั้งอุตสาหกรรมและการคมนาคมขนส่งเป็นผลให้ความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้น จึงส่งผลให้ความต้องการของ Isobutene สูงขึ้นตามไปด้วย

เฟอร์ฟิวรัล (Furfural)

เฟอร์ฟิวรัลมีลักษณะใสไม่มีสี เป็นของเหลวที่มีลักษณะกลิ่นเป็น Almond-benzaldehyde โดยเฟอร์ฟิวรัลสามารถผลิตได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น แขนข้าวโพด เปลือกเมล็ดฝ้าย เปลือกข้าวโอ๊ต รำข้าว ขี้เลื่อย ชานอ้อย แกลบ ซึ่งประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์เฮมิเซลลูโลสหรือเพนโทแซน แต่วัตถุดิบที่หาง่ายและมีราคาถูกในการผลิตเฟอร์ฟิวรัล คือ ชานอ้อย ซึ่งได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาล โดยเมื่อนำเฮมิเซลลูโลสมาให้ความร้อนกับกรดซัลฟิวริกแล้วนำไปผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ทำให้ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวอย่างไซโลส (Xylose) ภายใต้อุณหภูมิเดียวกันเมื่อให้ความร้อนและกรดน้ำตาลไซโลสที่ผ่านการกำจัดน้ำ (Dehydration) จะให้ผลผลิตออกมาเป็นเฟอร์ฟิวรัล โดยเฟอร์ฟิวรัลเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นกลางที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์เคมีภัณฑ์ เช่น ไนลอน ผลิตภัณฑ์หล่อลื่น สารละลาย กาว ยา และพลาสติก รวมถึงเฟอร์ฟูริลแอลกอฮอล์ซึ่งผลิตจากเฟอร์ฟิวรัลด้วยปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) โดยสามารถใช้ฟีนอล

อะซิโตนหรือยูเรียมาเติมเพื่อให้ได้เรซินแข็ง ซึ่งเรซินที่ได้สามารถนำไปใช้ทำเส้นใยแก้ว (Fiber glass) ชิ้นส่วนเครื่องบิน และระบบเบรกอัตโนมัติ โดยเฟอร์พูลแอลกอฮอล์ยังสามารถนำมาใช้ในงานทางด้านเวชภัณฑ์ยา สารที่ใช้กำจัดเชื้อรา และสารที่ใช้กำจัดแมลง เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเฟอร์พูลคือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรทำให้ถูกขนานนามว่าเป็น “ทองคำจากขยะ (Gold from Garbage)” (Uppal *et al.*, 2008)

ฟาร์เนสซีน (Farnesene)

ฟาร์เนสซีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอน 15 อะตอมต่อโมเลกุล และเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว มีคุณสมบัติเฉพาะทางกายภาพและทางเคมีที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตขั้นต่อไป ผลิตขึ้นจากการนำอ้อยมาผ่านกระบวนการหมักด้วยยีสต์ พบใช้อย่างแพร่หลายในทางการค้า ประกอบด้วยน้ำมันดีเซลหมุนเวียน (Renewable diesel) และ น้ำมันเครื่องบิน (Jet Fuel) โดยบริษัท Amyris คือ ผู้ผลิต Farnesene ที่อยู่ในประเทศบราซิล ซึ่งนำจุลินทรีย์ตัดแต่งพันธุกรรมมาใช้กับวัตถุดิบที่เป็นน้ำเชื่อมจากอ้อย โดยใช้เทคโนโลยี Renmatix's Plantrose[®] มีน้ำตาลกลีโคซิลโลสเป็นวัตถุดิบและยังมีการนำไปใช้ผลิตวัสดุสมรรถนะสูง, กาว, น้ำหอม, สารลดแรงตึงผิว, สารกำจัดศัตรูพืช, โอลิโกเมอร์และพอลิเมอร์, เรซิน, โฟม, งานเคลือบผิวและงานประสาน, อิมัลซิไฟเออร์, ตัวตั้งต้นของวิตามิน และสารเกี่ยวกับงานอารักขาพืช (Mitrovich and Wichmann, 2017) และยังสามารถนำไปใช้เป็นโมโนเมอร์สำหรับผลิต Isoprene ต่อไป โดย Isoprene (สารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอน 5 อะตอม/1 โมเลกุล) เป็นผลิตภัณฑ์รองที่ได้จากกระบวนการทำลายพันธะของ Naphta ด้วยความร้อน (Thermal Cracking of Naphtha) เพื่อผลิตเอทิลีนหรือได้จากกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 4 อะตอม เนื่องจากปัจจุบันได้มีการปรับเปลี่ยนกระบวนการ Thermal Cracking ของสาร Naphta ในกระบวนการปิโตรเคมีเป็นกระบวนการ Thermal Cracking ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เบากว่าทำให้การหาแหล่งวัตถุดิบในการผลิต Isoprene กลายเป็นเรื่องสำคัญอย่างมาก

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มวิชาการและสารสนเทศอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย. 2560. รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2559/2560. 128.
- นิตยา กานต์ กันต์รพีเกสร. ม.ป.ป. สถานภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล. แหล่งที่มา: <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/2151>, 18 ธันวาคม 2560.
- พัชรินทร์ วรชนกุล. 2553. เทคโนโลยีสังเคราะห์ซิลิกาจากขานอ้อย. แหล่งที่มา: [http://www.sptn.dss.go.th/otopinfo/attachments/article/116/CF79\(A10\).pdf](http://www.sptn.dss.go.th/otopinfo/attachments/article/116/CF79(A10).pdf), 13 ธันวาคม 2560.
- ไวยวิทย์ ยอดประสิทธิ์. 2557. นักวิจัยนาโนเทคโนโลยี “ไขอ้อย” เพิ่มมูลค่าเวชสำอาง-อาหารเสริม. แหล่งที่มา: <http://164.115.22.186/webmost/main/index.php/contribution/practical-rd/4022-2014-10-31-06-42-11.pdf>, 18 ธันวาคม 2560.
- ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจ ธุรกิจ และเศรษฐกิจฐานราก. 2559. รายงานสถานการณ์และแนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ประจำปีไตรมาส 4 ปี 2559 และแนวโน้มปี 2560. แหล่งที่มา: <https://www.gsb.or.th/getattachment/8f77ddd6-7c71-47f8-a4d5-33754ff059e>, 15 ธันวาคม 2560.
- สถาบันไทยพัฒนา. 2554. บรรลุภัณฑ์ขานอ้อย “ไบโอ” นวัตกรรมใหม่ทดแทนกลองโพน. แหล่งที่มา: <http://oknation.nationtv.tv/blog/greenocean/2011/05/05/entry-1>, 15 ธันวาคม 2560.
- Abo-Baker Basha, A.A. 2011. Improving filter mud cake with rock phosphate and biofertilizer for exporting organic onion production in newly cultivated land at south valley area. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences** 5: 1354-1361.
- Alcantara, J., A. Mondala, L. Hughey and S. Shields. 2017. Direct succinic acid production from minimally pretreated biomass using sequential solid-state and slurry fermentation with mixed fungal cultures. **Fermentation** 3: 30.
- Eggleston, G. and I. Lima. 2015. Sustainability issues and opportunities in the sugar and sugar-bioproduct industries. **Sustainability** 7: 12209-12235.
- International sugar organization. 2015. **Adding value through bio-products**. 47.
- Komesu, A., P.F. Martins, J. Oliveira, B.H. Lunelli, R.M. Filho and M.R.W. Maciel. 2014. Purification of lactic acid produced from sugarcane molasses. **The Italian Association of Chemical Engineering** 37: 367-372.
- Mitrovich, Q. and G. Wichmann. 2017. **Integrated process for production of farnesene, a versatile platform chemical, from domestic lignocellulosic feedstock**. Available Source: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/05/>

f34/Integrated%20Process%20for%20Production%20of%20Farnesene%2C%20a%20Ve
rsatile%20Platform%20Chemical%20from%20Domestic%20Lignocellulosic%20Feedst
ock_0.pdf, 18 December 2017.

Ossom, E.M. and F.T. Dlamini. 2012. Effects of filter cake on soil mineral nutrients and maize (*Zea mays* L.) agronomy. **Tropical Agriculture** 89: 141-150.

Prado, R.M., G. Caione and C.N.S. Campos. 2013. Filter cake and vinasse as fertilizers contributing to conservation agriculture. **Hindawi Publishing Corporation Applied and Environmental Soil Science** 581984: 1-8.

Timbuntam, W., K. Sriroth and Y. Tokiwa. 2006. Lactic acid production from sugar-cane juice by a newly isolated *Lactobacillus* sp. **Biotechnology Letters** 28: 811-814.

Uppal, S.K., R. Gupta, R.S. Dhillon and S. Bhatia. 2008. Potential of sugarcane bagasse for production of furfural and its derivatives. **Sugar Tech** 10: 298-301.