

รายงานฉบับสมบูรณ์  
การจัดทำแผนที่นำทางเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี

โดย

หน่วยศึกษานโยบายและความปลอดภัยทางชีวภาพ  
ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

เมษายน 2562

# สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	i
สารบัญตาราง.....	iii
สารบัญรูป.....	iv
บทสรุปผู้บริหาร.....	vi
<b>บทที่ 1</b>	<b>บทนำ..... 1</b>
	1.1 ความเป็นมา..... 1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ..... 2
	1.3 กรอบแนวคิดของการจัดทำแผนที่นำทาง..... 3
<b>บทที่ 2</b>	<b>สถานภาพและแนวโน้มตลาดผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรี..... 7</b>
	2.1 Bio-based drop-in..... 8
	2.1.1 สถานภาพอุตสาหกรรม 1,4-Butanediol (BDO)..... 9
	2.1.2 สถานภาพอุตสาหกรรม 1,3- Propanediol (PDO)..... 11
	2.1.3 สถานภาพอุตสาหกรรม Xylene (para)..... 12
	2.2 Smart drop-in chemicals..... 14
	2.2.1 สถานภาพอุตสาหกรรม Succinic acid..... 15
	2.2.2 สถานภาพอุตสาหกรรม Malic acid..... 18
	2.2.3 สถานภาพอุตสาหกรรม Polybutylene succinate (PBSX)..... 19
	2.2.4 สถานภาพอุตสาหกรรม Adipic acid..... 22
	2.2.5 สถานภาพอุตสาหกรรม Epoxy resin..... 23
	2.3 Dedicated bio-based chemicals..... 24
	2.3.1 สถานภาพอุตสาหกรรม Itaconic acid..... 26
	2.3.2 สถานภาพอุตสาหกรรม 3-Hydroxypropionic acid..... 27
	2.3.3 สถานภาพอุตสาหกรรม 2,5-Furandicarboxylic acid (FDCA)..... 27
	2.3.4 สถานภาพอุตสาหกรรม Polyhydroxyalkanoate (PHA)..... 29
	2.3.5 สถานภาพอุตสาหกรรม Polylactic acid (PLA)..... 30
	2.3.6 สถานภาพอุตสาหกรรม Bio-based Surfactants..... 32
	2.4 สารประกอบที่ให้คุณสมบัติพิเศษ..... 33
	2.4.1 จุลินทรีย์ที่ให้คุณสมบัติพิเศษ (Functional microbe)..... 33
	2.4.2 คาร์โบไฮเดรตที่ให้คุณสมบัติพิเศษ (Functional carbohydrates)..... 34
	2.4.3 ไขมันที่ให้คุณสมบัติพิเศษ (Functional lipid)..... 35
	2.4.4 โปรตีนที่ให้คุณสมบัติพิเศษ (functional protein)..... 36
	2.5 สรุป..... 36

	หน้า
<b>บทที่ 3</b>	<b>สถานภาพการพัฒนาเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรีของโลกและประเทศไทย..... 37</b>
	3.1 พัฒนาการของแนวความคิดการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี..... 37
	3.2 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี..... 38
	3.3 ความพร้อมของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีของโลก..... 42
	3.3.1 ความพร้อมของเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรีจำแนกตามกลุ่มวัตถุดิบ..... 43
	3.3.2 ความพร้อมของเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรีจำแนกตามผลิตภัณฑ์เป้าหมาย..... 54
<b>บทที่ 4</b>	<b>ระบบนิเวศนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี..... 60</b>
	4.1 สถานภาพการดำเนินงานของโรงงานต้นแบบของโลก..... 60
	4.1.1 สหรัฐอเมริกา..... 60
	4.1.2 สหภาพยุโรป..... 62
	4.1.3 ออสเตรเลีย..... 67
	4.1.4 มาเลเซีย..... 68
	4.2 บทวิเคราะห์รูปแบบการบริหารจัดการโรงงานต้นแบบของต่างประเทศ..... 68
<b>บทที่ 5</b>	<b>แผนที่นำทางเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี..... 72</b>
	5.1 ผลลัพธ์เป้าหมายของอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีของประเทศไทย..... 72
	5.2 ศักยภาพทางการตลาด..... 72
	5.3 ความพร้อมของเอกชนในการลงทุน..... 75
	5.4 ความพร้อมของเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรีของประเทศไทย..... 77
	5.4.1 ความพร้อมทางเทคโนโลยี..... 77
	5.4.2 บุคลากรที่ทำงานด้านไบโอรีไฟเนอรี..... 82
	5.4.3 โครงสร้างพื้นฐาน..... 82
	5.5 ความพร้อมวัตถุดิบ..... 84
	5.5.1 ความพร้อมของวัตถุดิบ..... 85
	5.5.2 ราคาของวัตถุดิบ..... 86
	5.5.3 ความสามารถในการเข้าถึงวัตถุดิบ..... 86
	5.5.4 ระดับความพร้อมของเทคโนโลยีในการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ..... 86
	5.6 แผนที่นำทางการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี..... 89
	5.6.1 บทวิเคราะห์ช่องว่างของวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม ด้านไบโอรีไฟเนอรีของประเทศไทย..... 89
	5.6.2 แผนที่นำทางการเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี..... 91
	5.6.3 แผนที่นำทางการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี..... 93
	5.6.4 แผนที่นำทางการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี : EECi..... 98
	<b>เอกสารอ้างอิง..... 101</b>

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 ปริมาณการผลิตบิวเทนไดออลชีวภาพของผู้ผลิตสำคัญ.....	10
ตารางที่ 2-2 ปริมาณการผลิต 1,3-โพรเพนไดออลของผู้ผลิตสำคัญ.....	11
ตารางที่ 2-3 ปริมาณการผลิตพาราไซลีนของผู้ผลิตสำคัญ.....	13
ตารางที่ 2-4 ผู้ผลิตไบโอซัคซินิกและกำลังการผลิตระหว่างปี 2554-2565.....	18
ตารางที่ 2-5 ผู้ผลิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) และกำลังการผลิตระหว่างปี 2554-2565.....	21
ตารางที่ 2-6 ผู้ผลิต Polyhydroxyalkanoates (PHA) รายหลักของโลกปี 2060.....	29
ตารางที่ 3-1 สรุปลักษณะการแปรรูปชีวมวล (Biomass).....	44
ตารางที่ 3-2 สายพันธุ์แบคทีเรียที่นำมาใช้ผลิต PHA ระดับอุตสาหกรรม.....	55
ตารางที่ 4-1 รูปแบบการบริหารจัดการโรงงานต้นแบบของต่างประเทศ.....	69
ตารางที่ 5-1 มูลค่าตลาดและผู้ผลิตหลักของผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรี.....	74
ตารางที่ 5-2 สถานภาพอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีของประเทศไทย.....	76
ตารางที่ 5-3 ภาคเอกชนที่มีศักยภาพในการลงเพิ่มเติมในอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี.....	77
ตารางที่ 5-4 สรุประดับความพร้อมของเทคโนโลยีการปรับสภาพวัตถุดิบ (pretreatment) ของโลก และประเทศไทย.....	79
ตารางที่ 5-5 สรุประดับความพร้อมของเทคโนโลยีการแปรรูป (conversion) และเทคโนโลยีปลายน้ำ (downstream processing) ของโลกและประเทศไทย.....	80
ตารางที่ 5-6 แหล่งของชีวมวลสำหรับอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี.....	85
ตารางที่ 5-7 ปริมาณชีวมวล การใช้ประโยชน์ วัตถุดิบคงเหลือ และราคาวัตถุดิบ.....	86
ตารางที่ 5-8 ผลิตภัณฑ์เป้าหมายจำแนกตามระดับความพร้อมของเทคโนโลยี.....	89
ตารางที่ 5-9 กลยุทธ์การพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีจำแนกตามความรับผิดชอบ ของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย.....	92

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1-1	กรอบแนวคิดในการศึกษา..... 6
รูปที่ 2-1	ประเภทของผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรี..... 7
รูปที่ 2-2	แนวโน้มกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์ bio-based drop-in..... 8
รูปที่ 2-3	มูลค่าตลาดบิวเทนไดออลจำแนกตามการนำไปใช้ประโยชน์..... 9
รูปที่ 2-4	กำลังการผลิตพาราไซลีนของประเทศเกาหลี..... 12
รูปที่ 2-5	แนวโน้มกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์ smart drop-in..... 14
รูปที่ 2-6	ห่วงโซ่มูลค่าของ bio-based succinic acid..... 16
รูปที่ 2-7	แนวโน้มความต้องการใช้กรดซักซินิกชีวภาพปี 2563..... 16
รูปที่ 2-8	คุณสมบัติของ PBS..... 20
รูปที่ 2-9	ตำแหน่งของการตลาดของ PBS..... 20
รูปที่ 2-10	กระบวนการผลิตกรดอะดิพิก..... 22
รูปที่ 2-11	กระบวนการผลิตกรดอะดิพิกจากกลูโคส..... 22
รูปที่ 2-12	ส่วนแบ่งตลาดและอัตราการขยายตัวของตลาดอีพ็อกซีเรซินจำแนกตามภูมิภาค..... 23
รูปที่ 2-13	บริษัทผู้ผลิตอีพ็อกซีเรซินชั้นนำของโลก..... 24
รูปที่ 2-14	แนวโน้มกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์ Dedicated bio-based chemicals..... 25
รูปที่ 2-15	ห่วงโซ่มูลค่าของ bio-based itaconic acid..... 26
รูปที่ 2-16	ห่วงโซ่มูลค่าของ bio-based Furandicarboxylic acid..... 28
รูปที่ 2-17	กำลังการผลิตพลาสติกชีวภาพปี 25561..... 30
รูปที่ 2-18	กำลังการผลิตพลาสติกชีวภาพปี 25563..... 30
รูปที่ 2-19	ปริมาณกำลังการผลิต PLA ของผู้ผลิตรายสำคัญของโลก..... 31
รูปที่ 2-20	ตลาดจุลินทรีย์ทางการเกษตรปี 2560-2565 จำแนกตามภูมิภาค..... 34
รูปที่ 2-21	ประชากรที่ป่วยเป็นโรคเบาหวานจำแนกตามภูมิภาค..... 35
รูปที่ 3-1	แสดงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากวัสดุชีวมวลในอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี..... 38
รูปที่ 3-2	โครงสร้างของลิกโนเซลลูโลสและการนำไปใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรม..... 39
รูปที่ 3-3	ตัวอย่าง primary และ secondary products ของผลิตภัณฑ์พลาสติก..... 42
รูปที่ 3-4	แสดงการประมาณการมูลค่าการลงทุนตามระดับความพร้อมของเทคโนโลยี..... 43
รูปที่ 3-5	ห่วงโซ่มูลค่าของผลิตภัณฑ์จากน้ำตาล/กากน้ำตาล..... 45
รูปที่ 3-6	การใช้กระบวนการเคมี ความร้อน ในการเปลี่ยนของแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ..... 46
รูปที่ 3-7	การปรับปรุงสภาพ (pretreatment) และการแปรรูปขานอ้อย..... 47
รูปที่ 3-8	การใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลัง..... 48
รูปที่ 3-9	กระบวนการปรับปรุงสภาพกากมันสำปะหลัง..... 49
รูปที่ 3-10	ห่วงโซ่มูลค่าผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพจากวัตถุดิบมันสำปะหลัง..... 53
รูปที่ 3-11	ห่วงโซ่มูลค่าผลิตภัณฑ์สำหรับปาล์มน้ำมัน..... 54

	หน้า
รูปที่ 5-1	เกณฑ์คัดเลือกผลิตภัณฑ์เป้าหมายของอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี..... 72
รูปที่ 5-2	จำนวนผลงานตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรี..... 77
รูปที่ 5-3	จำนวนผลงานตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรีจำแนกตามหน่วยงาน..... 78
รูปที่ 5-4	สถานภาพความพร้อมทางเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรีของประเทศไทย..... 83
รูปที่ 5-5	สัดส่วนค่าใช้จ่ายในการลงทุนในอุตสาหกรรมฐานชีวภาพ..... 84
รูปที่ 5-6	เกณฑ์การคัดเลือกวัตถุดิบเป้าหมาย..... 84
รูปที่ 5-7	ผลิตภัณฑ์เป้าหมาย..... 88
รูปที่ 5-8	บทวิเคราะห์ช่องว่างความพร้อมด้าน วทน. เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี..... 91
รูปที่ 5-9	กลยุทธ์การพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี..... 92
รูปที่ 5-10	แผนที่นำทางการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี..... 94
รูปที่ 5-11	หุบเหวมรณะของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรี..... 96
รูปที่ 5-12	โครงสร้างพื้นฐานในพื้นที่ EECi..... 98

## บทสรุปผู้บริหาร

อุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีเป็นอุตสาหกรรมที่มีความโดดเด่นเนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมสนับสนุนการพัฒนาสามเศรษฐกิจพร้อมๆ กัน ประกอบด้วยเศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy) เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) และเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) หรือ “BCG Economy” ซึ่งเป็นรูปแบบการพัฒนาประเทศไทยที่นำพาประเทศไปสู่การเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างทั่วถึงและยั่งยืน เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่นำผลผลิตทางการเกษตร รวมถึงของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตหรือการบริโภคไปพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีทั้งเชื้อเพลิง ชีวเคมีภัณฑ์ วัสดุชีวภาพ หรือสารประกอบที่ให้คุณสมบัติพิเศษเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารเสริมสุขภาพ

อุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีเป็นอุตสาหกรรมที่ได้รับการประเมินว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีอัตราการเติบโตสูงกว่าร้อยละ 10 ต่อปี โดยมูลค่าตลาดคาดว่าจะเพิ่มขึ้นจาก 466.6 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 2559 เพิ่มเป็น 714.6 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 2564 ผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรีแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่

- 1) Bio-based drop-in chemical เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชีวภาพ แต่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากปิโตรเลียม
- 2) Smart Drop-in chemical เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชีวภาพ ผ่านกระบวนการทางชีวภาพ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม แต่มีคุณสมบัติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
- 3) Dedicated chemical เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชีวภาพ ผ่านกระบวนการทางชีวภาพ ทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่กระบวนการปิโตรเลียมไม่สามารถผลิตได้

สำหรับผลิตภัณฑ์เป้าหมายที่ประเทศไทยมีศักยภาพในการแข่งขัน ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม smart drop-in เป็นผลิตภัณฑ์จากชีวมวลซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากปิโตรเลียม เช่น กรดซัคซินิกชีวภาพ และผลิตภัณฑ์ Dedicated bio-based เป็นผลิตภัณฑ์ที่ปิโตรเลียมไม่สามารถผลิตได้ เช่น สารอาหารที่มีคุณสมบัติพิเศษเป็นผลิตภัณฑ์เป้าหมายเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ตลาดมีแนวโน้มเติบโตสูง มีคู่แข่งน้อย และไม่ต้องแข่งขันกับราคากับน้ำมัน

อุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีจัดเป็นอุตสาหกรรมฐานนวัตกรรม ผลการประเมินระดับความพร้อมทางด้านเทคโนโลยีสะท้อนว่า ประเทศไทยยังมีช่องว่างนวัตกรรม ซึ่งจำเป็นต้องปิดช่องว่างดังกล่าวด้วยกลไกดังนี้

- 1) การลงทุนจัดตั้งโรงงานต้นแบบระดับขยายขนาดระดับใกล้เคียงกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม (precommercial) โดยเน้นระบบที่มีความยืดหยุ่นรองรับวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายรวมถึงมีการออกแบบให้เป็นไปได้ตามมาตรฐาน GMP และ Non GMP

- 2) การพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีต้องการบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ทั้งนี้ในระยะสั้นการพัฒนาความสามารถบุคลากรใช้กลไกความร่วมมือกับสถาบันวิจัยชั้นนำในต่างประเทศ หรือการดึงดูด หรือนำอาจารย์/นักวิจัยชั้นนำจากสถาบันที่มีชื่อเสียงต่างประเทศ และ Visiting Professors มาร่วมวิจัยและทำงานกับภาคอุตสาหกรรม โดยจัดให้มีสิ่งอำนวยความสะดวก สิทธิประโยชน์และมาตรการจูงใจต่างๆ

3) การพัฒนาความสามารถด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีโดยแบ่งตามระดับความพร้อมของเทคโนโลยี (1) เทคโนโลยีที่มีความพร้อมนำมาผลิตในระดับอุตสาหกรรม (TRL8-9) ส่งเสริมให้มีการซื้อสิทธิเทคโนโลยีเพื่อเข้าสู่ตลาดได้ในระยะเวลารวดเร็ว (2) เทคโนโลยีที่มีความพร้อมในระดับ TRL5-7 ส่งเสริมให้เกิดการลงทุนร่วมระหว่างภาครัฐและเอกชน และ (3) เทคโนโลยีที่อยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ (TRL ต่ำกว่า 4) ซึ่งยังมีความเสี่ยงอยู่มากในส่วนนี้ควรเป็นบทบาทของภาครัฐในการเป็นผู้ลงทุนด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีโดยให้กลุ่มเป้าหมายมีบทบาทในการกำหนดโจทย์วิจัย รวมถึงอาจให้สิทธิประโยชน์เพิ่มเติม เช่น การหักลดหย่อนภาษีได้ในอัตราที่สูงขึ้น หรือให้การสนับสนุนเงินร่วมลงทุนเพื่อจูงใจให้เอกชนที่มีการลงทุนการวิจัยพื้นฐาน

4) การบริหารจัดการทรัพย์สินทางปัญญามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในกรณีที่ประเทศไทยต้องการใช้ประโยชน์จากนวัตกรรมเปิด (open innovation) ในการเร่งรัดพัฒนาความสามารถทางเทคโนโลยีของประเทศด้วยการเปิดรับและแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ เทคโนโลยีจากหน่วยงานภายนอก หรืออาศัยความร่วมมือเชิงพันธมิตรหรือหน่วยงานที่มีความเชี่ยวชาญในเรื่องต่างๆ นำมาปรับใช้ในการสร้างเทคโนโลยี และนวัตกรรมที่มีคุณภาพดีขึ้น เนื่องจากผู้ประกอบการของประเทศเกือบทั้งหมดเป็น SMEs จึงไม่มีความพร้อมทางการเงินและผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการทรัพย์สินทางปัญญา ดังนั้น ประเทศไทย จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดให้มีผู้รับผิดชอบในฐานะเป็นหน่วยงานกลางในการรวบรวม/เจรจาเพื่อขอใช้สิทธิจากผู้เป็นเจ้าของ และนำทรัพย์สินทางปัญญาดังกล่าวมาบริหารจัดการเพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์โดยการเปิดโอกาสให้ภาคเอกชนสถาบันวิจัยและสถาบันการศึกษาเข้าถึงนวัตกรรมได้ด้วยค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม

นอกจากนี้ จำเป็นต้องมีกลไกเพิ่มเติมในการผลักดันให้เกิดการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีในประเทศทั้งการปรับปรุงกฎระเบียบ เช่น มาตรการของบีโอไอ การขึ้นทะเบียนผลิตภัณฑ์ การมีห้องปฏิบัติการเพื่อการวิเคราะห์ทดสอบเพื่อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ รวมถึงการสร้างตลาดภายในประเทศ

ทั้งนี้ เพื่อเร่งรัดให้เกิดการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีและไม่เป็นภาระด้านงบประมาณของรัฐบาล จึงควรนำร่องลงทุนจัดตั้งโรงงานต้นแบบไบโอรีไฟเนอรี (Biorefinery) ระดับขยายขนาดที่ใกล้เคียงกับระดับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม (10,000 ลิตร) รองรับวัตถุดิบและการผลิตผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย (multi-feedstock multi-products) โดยโรงงานต้นแบบไบโอรีไฟเนอรีต้องออกแบบให้รองรับมาตรฐาน GMP (Good Manufacturing Practice) และโรงงานต้นแบบไบโอรีไฟเนอรีมาตรฐาน Non-GMP (Non Good Manufacturing Practice) ในพื้นที่ BioPOLIS โดยใช้กลยุทธ์ในการทำงานที่เรียกว่า “PEAK” ประกอบด้วย

P - Public and Private Partnership เน้นการทำงานเชื่อมโยงระหว่างภาครัฐและเอกชนในลักษณะคลัสเตอร์อย่างใกล้ชิดเพื่อส่งเสริมให้เกิดการใช้ประโยชน์โรงงานต้นแบบอย่างเต็มประสิทธิภาพ

E - Excellence Service Provider เน้นการให้บริการที่เป็นเลิศด้วยทีมงานมืออาชีพ ส่งมอบผลงานที่มีคุณภาพในเวลาอย่างรวดเร็ว จัดให้มีบริการแบบเบ็ดเสร็จทั้งการบริการรับจ้างวิจัย ร่วมวิจัย ฝึกอบรม การให้บริการจัดการทรัพย์สินทางปัญญาทั้งการเจรจาการใช้สิทธิและการให้สิทธิ (licensed in/ licensed out) เป็นต้น

A - Accelerator เป็นแกนกลางในการจัดให้เกิดกิจกรรมต่างๆ เพื่อเร่งรัดให้เกิดการใช้งานโรงงานต้นแบบไบโอรีไฟเนอรี ทั้งการจัดให้มีการประชาสัมพันธ์ (road show) การเชื่อมโยงกับภาครัฐในการจัดทำโปรแกรมสนับสนุนการใช้งานโรงงานต้นแบบในรูปแบบต่างๆ เช่น คุ้มครองสำหรับการใช้บริการ การให้เอกชนนำค่าใช้จ่ายในการใช้บริการโรงงานต้นแบบไปหักภาษีได้ตามระดับความพร้อมของเทคโนโลยี (TRL) เป็นต้น

K - Knowledge based activity เน้นสร้างและเชื่อมโยงกับแหล่งความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรม ทั้งในและนอกเพื่อนำไปสู่การยกระดับคุณภาพการให้บริการ และความหลากหลายของบริการของโรงงาน ต้นแบบ

กลุ่มเป้าหมายผู้ใช้บริการโรงงานต้นแบบโดยหลักจะเป็นภาคเอกชนที่มีแผนลงทุนในอุตสาหกรรม ไบโอดีเซลแล้วเป็นอันดับแรก รองลงมาคือผู้ประกอบการขนาดกลาง และนักวิจัยในสถาบันการศึกษาและสถาบันวิจัย รวมถึงบริษัทจากต่างประเทศโดยเฉพาะในประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน โดยพันธมิตรร่วมดำเนินการ (Key Partnerships) ช่วงแรกเน้นทำงานร่วมกับหน่วยงานพันธมิตรที่ลงนามในบันทึกข้อตกลงความร่วมมือ (MOU) ไปแล้ว ประกอบด้วยภาคเอกชน หน่วยงานสถาบันการศึกษา รวมถึงสถาบันวิจัยในต่างประเทศ ทั้งนี้ คาดว่าการดำเนินการดังกล่าวจะส่งผลให้มูลค่าอุตสาหกรรมไบโอดีเซลจะเพิ่มจาก 152,000 ในปี 2560 เป็น 400,000 ล้านบาทในปี 2571 รวมถึงสร้างเสถียรภาพให้กับราคาผลผลิตทางการเกษตร

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา

คณะรัฐมนตรี มีมติเห็นชอบหลักการโครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor Development, EEC) เมื่อวันที่ 28 มิถุนายน 2559 ให้เป็นเขตเศรษฐกิจชั้นนำของอาเซียน เพื่อส่งเสริม 10 อุตสาหกรรมเป้าหมายให้เป็นกลไกขับเคลื่อนเศรษฐกิจเพื่ออนาคต (New Engine of Growth) โดยดำเนินการนำร่องใน 3 จังหวัดภาคตะวันออก ได้แก่ ชลบุรี ระยอง และฉะเชิงเทรา พร้อมทั้งมอบหมายให้สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นผู้รับผิดชอบหลักในการพัฒนาเขตนวัตกรรมระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor of Innovation, EECi) ซึ่งเป็นโครงการสำคัญภายใต้ EEC ที่มุ่งสนับสนุนอุตสาหกรรมเป้าหมายเป็นกลไกหลักในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจเพื่ออนาคต ด้วยการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและบุคลากรด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม (วทน.) เพื่อรองรับการต่อยอดการวิจัยสู่การสร้างนวัตกรรมเชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรม (Translational Research) และการพัฒนาระบบนิเวศนวัตกรรมที่สมบูรณ์เพื่อให้เป็นพื้นที่เศรษฐกิจใหม่ที่มีความเข้มข้นของงานวิจัย

การดำเนินการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของโครงการ EECi ที่กำหนดไว้ข้างต้น สวทช. ใช้การจัดทำแผนที่นำทางเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรม (Industrial Technology Roadmap) เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการเชิงกลยุทธ์ในการเชื่อมโยงระหว่างแนวโน้มตลาด ความสามารถทางเทคโนโลยีที่ต้องมี และทรัพยากรที่จำเป็น ได้แก่ บุคลากร เงินทุน โครงสร้างพื้นฐานและกลไก เพื่อรองรับเป้าหมายที่กำหนดไว้โดยนำข้อมูลดังกล่าวมากำหนดเป็นแผนการพัฒนาขีดความสามารถทางเทคโนโลยี การจัดเตรียมโครงสร้างพื้นฐานและนโยบาย/มาตรการในด้านต่างๆที่จำเป็นต่อการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี (Bio-refinery) ซึ่งเป็นหนึ่งในเป้าหมายภายใต้เศรษฐกิจฐานชีวภาพ (Bioeconomy) ที่ต้องเร่งรัดให้เกิดขึ้นโดยเร็ว

อุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีเป็นอุตสาหกรรมที่มีความโดดเด่นเนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมสนับสนุนการพัฒนาสามเศรษฐกิจพร้อมๆ กัน ประกอบด้วยเศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy) เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) และเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) หรือ “BCG Economy” ซึ่งเป็นรูปแบบการพัฒนาประเทศไทยที่น่าพาประเทศไปสู่การเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างทั่วถึงและยั่งยืน เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่นำผลผลิตทางการเกษตร รวมถึงของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตหรือการบริโภคไปพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีทั้งเชื้อเพลิง สารเคมีภัณฑ์ซึ่งมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากปิโตรเลียม และบางผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติพิเศษซึ่งไม่พบในผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมโดยเฉพาะคุณสมบัติ การย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติและเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ประเทศไทยมีความพร้อมของวัตถุดิบตั้งต้นโดยเฉพาะอย่างยิ่ง วัตถุดิบในกลุ่มแป้งและน้ำตาล รวมถึงมีวัสดุเหลือทิ้งการเกษตรที่เป็นเซลลูโลส ที่ผ่านมามีประเทศไทยส่งออกผลผลิตทางการเกษตรในรูปของวัตถุดิบสินค้าแปรรูปขั้นต้นที่มีมูลค่าเพิ่มไม่มาก แต่นำเข้าสารเคมี วัสดุ และพลังงานรวมกันคิดเป็นมูลค่ามากกว่า 2 ล้านล้านบาทต่อปี ทั้งนี้ประเทศไทยมีการวางรากฐานการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีมาระยะหนึ่งแล้ว เป็นต้นว่า การพัฒนาผลิตภัณฑ์โอเลโอเคมีคอลจากน้ำมันปาล์ม หรือ บริษัท คอร์เบียน (พูแรค) (ประเทศไทย) จำกัด จัดตั้งโรงงานผลิตกรดแลคติก แลคไทด์ และพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Polylactic acid;PLA) ในประเทศไทย และมีบริษัทอีกจำนวนหนึ่งมีแผนขยายธุรกิจสู่อุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี ดังเห็นได้จากแผนการลงทุนของอุตสาหกรรมชีวภาพปี 2561-2570 ซึ่งเกือบทั้งหมดเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี ยิ่งไปกว่านั้น ด้วยความเข้มแข็งของอุตสาหกรรม ปิโตรเคมีซึ่งมีกำลังการผลิต 30 ล้านตัน มากเป็นอันดับที่ 2 ของอาเซียน และอันดับที่ 16 ของโลก รวมถึงมีอุตสาหกรรมต่อเนื่องจากปิโตรเลียมจำนวนมากซึ่งเป็นฐานสำคัญให้กับอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีได้ เนื่องจากหลายผลิตภัณฑ์สามารถใช้โครงสร้างพื้นฐานในการผลิตร่วมกันได้

แม้ว่าประเทศไทยจะมีความพร้อมของวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรีมากเพียงใด แต่ก็ไม่ใช่หลักประกันว่าประเทศไทยจะประสบความสำเร็จในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบต้นทางเหล่านั้น เนื่องจากประเทศไทยมีปัญหาช่องว่างของนวัตกรรม (Gap in the innovation chain) ที่สำคัญทั้งโครงสร้างพื้นฐาน ความพร้อมทางด้านเทคโนโลยีนวัตกรรม และกำลังคนเชี่ยวชาญ จึงเป็นที่มาของการจัดทำแผนที่นำทางเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี (Bio-refinery) โดยมีองค์ประกอบหลักครอบคลุมการศึกษาแนวโน้มความต้องการของตลาด การกำหนดผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีเป้าหมาย การวิเคราะห์ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีของประเทศ การจัดเตรียมโครงสร้างพื้นฐาน การลงทุนวิจัยและพัฒนาทางเทคโนโลยี การพัฒนากำลังคนเชี่ยวชาญ นโยบายภาครัฐ มาตรการสนับสนุน รวมถึงรูปแบบการบริหาร (Business Model) ที่เหมาะสมเพื่อยกระดับความสามารถและเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีของประเทศไทยให้เกิดขึ้นอย่างก้าวกระโดดและยั่งยืน

การขาดกระบวนการผลิตในขั้นตอนที่เรียกว่า Refinery ซึ่งเป็นกระบวนการปลายน้ำ (Downstream process, DSP) ที่มีผลต่อผลได้ (% yield) และต้นทุนการผลิตเป็นอย่างมาก โดยพบว่า ประเทศไทยไม่มีโรงงานต้นแบบที่มีขนาดใกล้เคียงการผลิตในระดับอุตสาหกรรมที่มีอุปกรณ์ครบถ้วนตั้งแต่ต้นน้ำไปจนถึงปลายน้ำ อุปสรรคนี้ส่งผลทำให้การวิจัยไม่สามารถส่งต่อผลงานไปสู่การใช้ประโยชน์ทำได้ยาก อุตสาหกรรมไม่กล้าลงทุน เพราะไม่มีข้อมูลเพียงพอที่จะใช้ในการประเมินความเป็นไปได้ทั้งทางเทคโนโลยี และทางเศรษฐศาสตร์ได้อย่างแม่นยำ (Techno-Economic Feasibility)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) จัดทำแผนที่นำทางเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี (Bio-refinery Industrial Technology Roadmap) ของประเทศในระยะ 10 ปี
- 2) จัดทำแผนที่นำทางเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี (Bio-refinery Industrial Technology Roadmap) สำหรับพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ในระยะ 10 ปี

### 1.3 กรอบแนวคิดของการจัดทำแผนที่นำทาง

การจัดทำแผนที่นำทางเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีฉบับนี้ให้ความสำคัญกับการจัดเตรียมระบบนิเวศนวัตกรรมเพื่อเร่งรัดพัฒนาความสามารถทางเทคโนโลยีสำหรับอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี โดยมุ่งเน้นผลิตภัณฑ์เป้าหมายที่ตลาดต้องการและประเทศไทยมีความได้เปรียบในการแข่งขัน

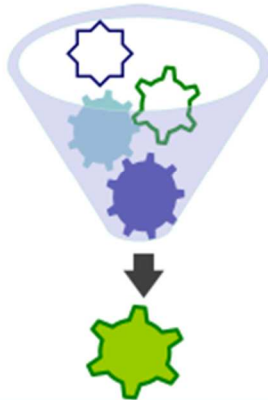
กระบวนการจัดทำแผนที่นำทางเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี (bio-refinery) เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และ Fraunhofer 3 สถาบัน ได้แก่ Institute for International Management and Knowledge Economy (IMW) Fraunhofer Center Factory Operation and Automation (IFF) และ Fraunhofer Center for Chemical-Biotechnological Processes in Leuna (CBP) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีความเชี่ยวชาญด้านทั้งทางด้านเทคโนโลยี การบริหารจัดการโรงงานต้นแบบ รวมถึงการบริหารธุรกิจนวัตกรรม โดยมีขั้นตอนในการศึกษา ดังนี้

#### 1. กำหนดผลิตภัณฑ์เป้าหมาย

- ศึกษาแนวโน้มความต้องการของตลาดโลกอ้างอิงข้อมูลจากรายงานการวิจัยด้านการตลาด รวมถึงข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญของเครือข่าย Fraunhofer
- ศึกษาแนวโน้มความต้องการของตลาดภายในประเทศอ้างอิงจากแผนการลงทุน ภายใต้โครงการพัฒนาเศรษฐกิจชีวภาพอย่างยั่งยืน ของคณะกรรมการพัฒนาคัลส์เตอร์ภาคอุตสาหกรรมแห่งอนาคต (D5) แผนการพัฒนาอุตสาหกรรม 4.0 ของประเทศไทยและการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้อง
- คัดเลือกผลิตภัณฑ์เป้าหมาย (End product) ซึ่งเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม เป็นที่ต้องการและมีศักยภาพในการแข่งขันทั้งในตลาดโลกและประเทศไทย โดยใช้เกณฑ์ 1) มูลค่าตลาดทั้งภายในประเทศและตลาดโลก อัตราการขยายตัวของตลาด จำนวนคู่แข่ง) 2) ภาคเอกชนมีแผนลงทุนหรือสนใจลงทุน 3) ความพร้อม/ระดับความพร้อมด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม ศักยภาพในการพัฒนา และรับถ่ายทอดเทคโนโลยีของประเทศ 4) ความพร้อมของวัตถุดิบ ซึ่งประเมินทั้งในด้านปริมาณ ความสม่ำเสมอ และความสามารถในการเข้าถึง และ/หรือต้นทุนในการรวบรวมวัตถุดิบ



## เกณฑ์การคัดเลือกผลิตภัณฑ์เป้าหมาย



- 1) มูลค่าตลาด (ตลาดในประเทศและตลาดโลก) อัตราการขยายตัว จำนวนคู่แข่งในตลาด
- 2) มีภาคเอกชนลงทุน/สนใจลงทุน มีความเป็นไปได้ในการลงทุน
- 3) ความพร้อมของเทคโนโลยีหรือมีศักยภาพในการพัฒนา และรับถ่ายทอดเทคโนโลยีของประเทศ
- 4) ความพร้อมของวัตถุดิบ (availability, accessibility)

ผลิตภัณฑ์เป้าหมาย

## 2. กำหนดเทคโนโลยีเป้าหมาย และโครงสร้างพื้นฐานที่ต้องพัฒนาเพิ่มเติม

- ประเมินระดับความพร้อมของเทคโนโลยี (Technology Readiness Levels : TRL) ของโลก จำแนกตามผลิตภัณฑ์เป้าหมายโดยอ้างอิงจากรายงานการวิจัยและความเชี่ยวชาญของ Fraunhofer
- ประเมินระดับความพร้อมของเทคโนโลยี (Technology Readiness Levels : TRL) ของประเทศไทยจำแนกตามผลิตภัณฑ์เป้าหมายโดยอ้างอิงจากรายงานการวิจัยและผู้เชี่ยวชาญ
- วิเคราะห์ช่องว่าง (GAP Analysis) ความพร้อมทางเทคโนโลยีและโครงสร้างพื้นฐานของประเทศไทยในการพัฒนากลุ่มผลิตภัณฑ์เป้าหมายของอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี
- คัดเลือก/จัดลำดับเทคโนโลยีเป้าหมาย (Key Technology) ที่มีบทบาทต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีที่เชื่อมโยงกับผลิตภัณฑ์เป้าหมายที่ประเทศไทยต้องพัฒนาเพิ่มเติม เกณฑ์คัดเลือกเบื้องต้น พิจารณาจาก 1) ผลกระทบของเทคโนโลยีต่อการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบ (Potential & Benefit) 2) ความพร้อมด้านเทคโนโลยี (technology capability of country) ของประเทศ 3) ความสามารถในการดูดซับเทคโนโลยี (Technology absorption) และ 4) ความพร้อมทางเทคโนโลยีของภาคเอกชน (technology capability of private sector)
- วิเคราะห์ความพร้อมของประเทศไทยในการพัฒนาเทคโนโลยีเป้าหมายครอบคลุมเทคโนโลยี โครงสร้างพื้นฐาน และการพัฒนากำลังคนเชี่ยวชาญที่ต้องพัฒนาเพิ่มเติม

## 3. นโยบายและมาตรการสนับสนุนเพิ่มเติม

- รวบรวมข้อมูลมาตรการ/ปัจจัยส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีของต่างประเทศ ด้วยการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากแหล่งทุติยภูมิ โดยประเทศที่เป็นเป้าหมายในการทบทวนเอกสาร ได้แก่ สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา
- พัฒนานโยบายและมาตรการสนับสนุนเพิ่มเติมด้วยการวิเคราะห์ช่องว่างของมาตรการ (Gap Analysis) การเปรียบเทียบระหว่างนโยบาย/มาตรการของไทยและประเทศที่ประสบความสำเร็จในการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี

#### 4. รูปแบบการบริหารจัดการที่เหมาะสม

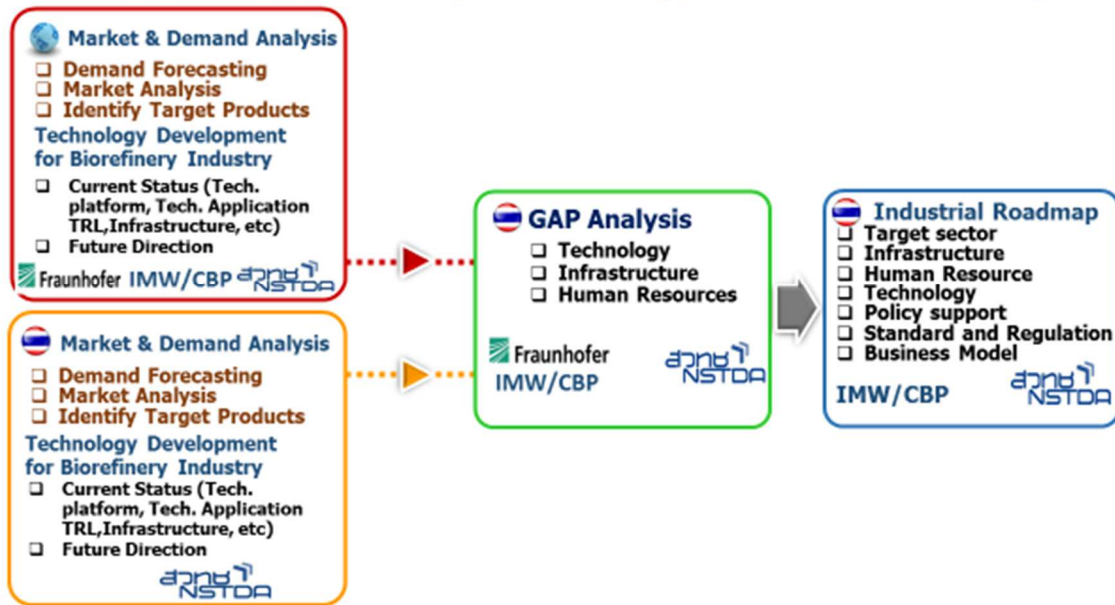
- ศึกษาแบบอย่างความสำเร็จ (Business Model) การพัฒนาความสามารถทางเทคโนโลยีเพื่อการยกระดับความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี ครอบคลุมการจัดเตรียมและการบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐาน ระบบนิเวศนวัตกรรมที่เหมาะสมด้วยการสืบค้นจากเอกสาร การร่วมการประชุมนานาชาติ และการศึกษาดูงานจากต่างประเทศ
- พัฒนารูปแบบการบริหารจัดการที่เหมาะสมในการส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาความสามารถของอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีอย่างรวดเร็ว ครอบคลุมรูปแบบการพัฒนาความสามารถทางเทคโนโลยี การพัฒนา/การบริหารโครงสร้างพื้นฐาน การพัฒนา/สร้างกำลังคนทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ผู้ที่มีบทบาทสำคัญ (Change Agent) ในการผลักดันให้เกิดการปรับเปลี่ยนทิศทางการพัฒนาอุตสาหกรรม และเทคโนโลยีในแต่ละสาขาเป้าหมาย

#### 5. จัดทำแผนที่นำทางการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี ในระยะ 10 ปี เนื้อหาโดยหลักประกอบด้วย

- กลุ่มผลิตภัณฑ์เป้าหมายที่มีศักยภาพและสอดคล้องกับระดับความพร้อมและขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศไทย
- เทคโนโลยีเป้าหมาย/โครงสร้างพื้นฐานทางด้านเทคโนโลยี/กำลังคนเชี่ยวชาญทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพที่ต้องพัฒนาเพิ่มเติม
- มาตรการเร่งรัดการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี การลงทุนโครงสร้างพื้นฐาน/เทคโนโลยีเป้าหมาย รวมถึงการแก้ไขกฎ/ระเบียบที่เป็นอุปสรรค
- รูปแบบการบริหารจัดการ (Business Model) ที่ส่งผลต่อการพัฒนาความสามารถทางเทคโนโลยีสำหรับอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี และยกระดับขีดความสามารถทางเทคโนโลยีของภาคเอกชนโดยเฉพาะ SMEs ผู้รับผิดชอบหลัก (ภาคเอกชน/สถาบันวิจัย/สถาบันการศึกษา) ที่มีบทบาทสำคัญ (Change Agent) หรือพันธมิตรทางยุทธศาสตร์ (strategic partners) ทั้งในและต่างประเทศในการผลักดันให้เกิดการปรับเปลี่ยนทิศทางการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี/เทคโนโลยีเป้าหมาย

#### 6. จัดนำเสนอแผนที่นำทางฯ ต่อผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องสำคัญ ซึ่งประกอบด้วย ภาคเอกชน สถาบันการศึกษา สถาบันวิจัย และหน่วยงานรัฐที่เกี่ยวข้องเพื่อรับฟังข้อคิดเห็นและร่วมขับเคลื่อนให้บรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้

## Biorefinery Technology Industrial Roadmap



รูปที่ 1-1 : กรอบแนวคิดในการศึกษา  
ที่มา : ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ, 2560.

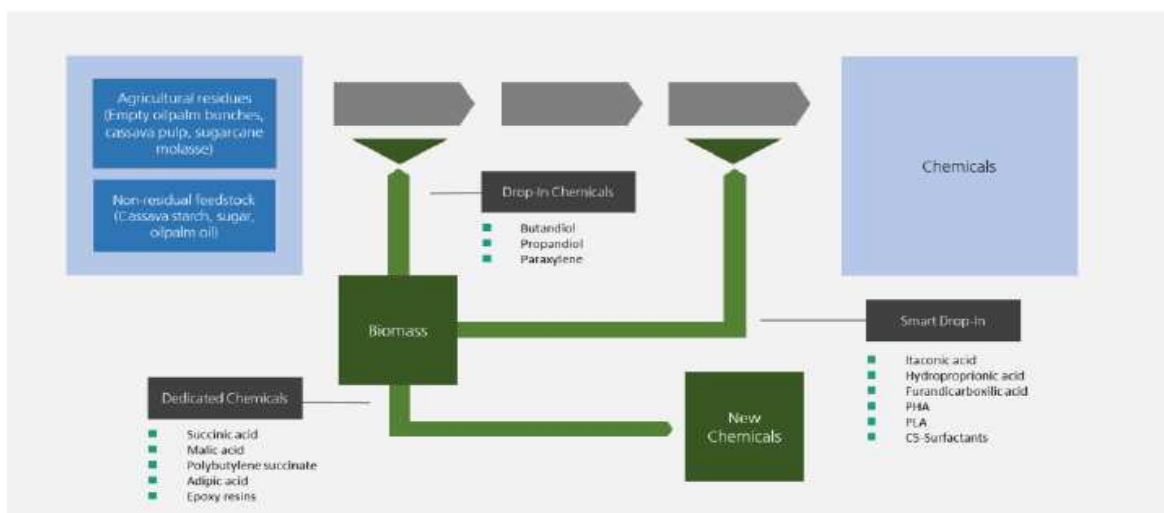
## บทที่ 2

### สถานภาพและแนวโน้มตลาดผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรี

ยุทธศาสตร์การพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีในการศึกษานี้ให้ความสำคัญกับการศึกษาความต้องการของตลาดในอนาคต และสถานภาพการผลิตของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการกำหนดผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรีที่ประเทศไทยมีศักยภาพในการแข่งขัน

อุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีเป็นอุตสาหกรรมที่ได้รับการประเมินว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีอัตราการเติบโตสูงกว่าร้อยละ 10 ต่อปี โดยมูลค่าตลาดคาดว่าจะเพิ่มขึ้นจาก 466.6 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 2559 เพิ่มขึ้นเป็น 714.6 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 2564 (prnewswire,2017) ในภาพรวมผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรีแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่

- 1) Bio-based drop-in chemical เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชีวภาพ แต่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากปิโตรเลียม
- 2) Smart Drop-in chemical เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชีวภาพ ผ่านกระบวนการทางชีวภาพ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม แต่มีคุณสมบัติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
- 3) Dedicated chemical เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชีวภาพ ผ่านกระบวนการทางชีวภาพ ทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่กระบวนการปิโตรเลียมไม่สามารถผลิตได้ รายละเอียดดังรูปที่ 2-1

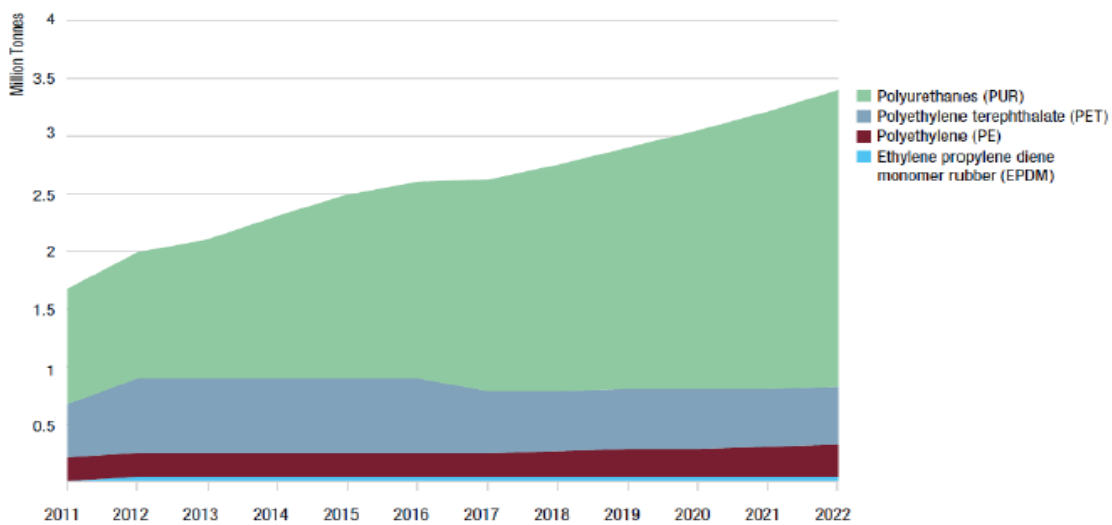


รูปที่ 2-1 : ประเภทของผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรี

ที่มา : Fraunhofer,2018

## 2.1 Bio-based drop-in

Bio-based drop-in chemical เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุชีวภาพแต่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากปิโตรเลียม ทั้งนี้มีรายงานการศึกษาจำนวนมากที่ชี้ว่าสารเคมีชีวภาพประเภท Bio-based drop-in ที่ผลิตขึ้นเพื่อทดแทนสารเคมีที่มาจากปิโตรเลียมมีแนวโน้มขยายตัวอย่างมาก เนื่องจากผู้ผลิตไม่ต้องปรับแต่งเครื่องจักรและกระบวนการผลิต เป็นการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบชีวภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งของเหลือทิ้งจากการเกษตร ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กระบวนการผลิตมีค่าฟุตพริ้นท์ (Footprint) ที่ต่ำกว่ากระบวนการที่ใช้ปิโตรเลียม ดังนั้น ความต้องการสารเคมีชีวภาพประเภท Drop-in จะเพิ่มขึ้นมาก หากทั่วโลกมีเป้าหมายลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และมีกลไกทางการเงินสนับสนุนการผลิตสารเคมีชีวภาพให้เติบโตเพิ่มขึ้นที่ชัดเจน



รูปที่ 2-2 : แนวโน้มกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์ bio-based drop-in  
ที่มา : Fraunhofer, 2018

### ข้อดี

- ตลาดมีขนาดใหญ่ ความเสี่ยงของตลาดต่ำ เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับที่ผลิตจากปิโตรเลียม
- ผู้นำไปใช้งานไม่ต้องปรับเปลี่ยนเครื่องจักร/กระบวนการผลิต
- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Footprint) ต่ำกว่าปิโตรเคมี

### ข้อเสีย

- ศักยภาพในการพัฒนาการแข่งขันต่ำ เนื่องจากตลาดมีการแข่งขันสูง มีผู้เล่นรายใหญ่ครองตลาด และต้องแข่งขันด้วยราคา
- ต้นทุนการผลิตสารเคมีชีวภาพปัจจุบันสูงกว่ากระบวนการที่ผลิตด้วยปิโตรเคมี

จากการศึกษาของ Fraunhofer (2018) ระบุว่าผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพในการแข่งขัน ประกอบด้วย 1,4-Butanediol (BDO), 1,3-Propanediol (PDO), Xylene (para)

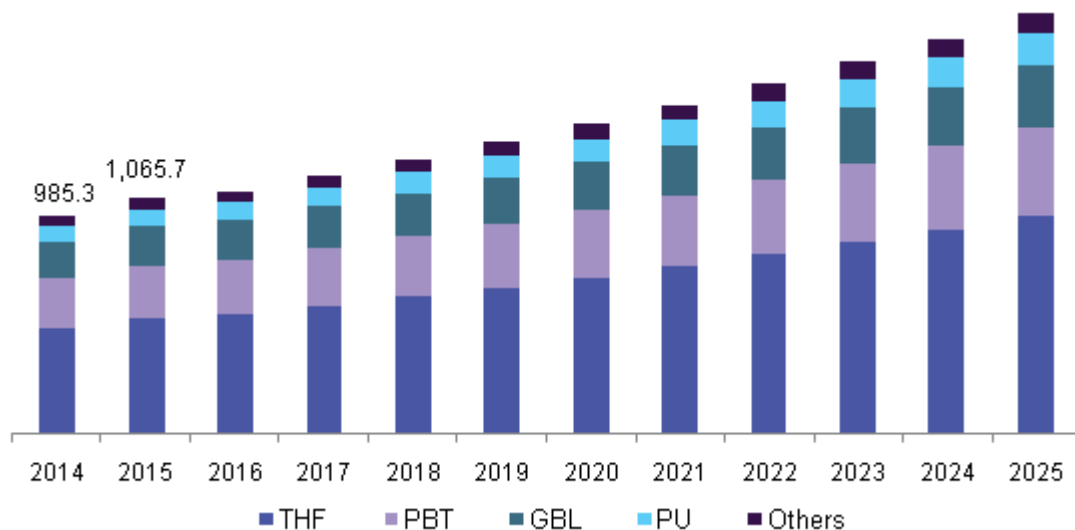
## 2.1.1 สถานภาพอุตสาหกรรม 1,4-Butanediol (BDO)

### (1) สถานภาพต่างประเทศ

#### ก) การตลาด

1,4 บิวเทนไดออล (1,4 Butanediol ; BOD) เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเตตระไฮโดรฟูแรน (Tetrahydrofuran; THF) และพอลิบิวทิลีนเทเรฟทาเลต (Polybutyleneterephthalate; PBT) โดยเตตระไฮโดรฟูแรนเป็นวัตถุดิบผลิตเส้นใย spandex สำหรับผลิตเสื้อผ้ากีฬา อุปกรณ์การแพทย์ และของตกแต่งภายในยานยนต์ บิวเทนไดออลชีวภาพสามารถใช้ทดแทนบิวเทนไดออลที่ผลิตจากปิโตรเคมีได้โดยสมบูรณ์

Grand View Research (2017) ประเมินว่ามูลค่าตลาด BOD มีมูลค่า 6.19 พันล้านเหรียญสหรัฐ ในปี 2558 มีอัตราการเติบโตของตลาดร้อยละ 7.7 ต่อปี และคาดว่าตลาดโลกจะมีมูลค่า 12.6 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 2568 สหรัฐมีการใช้ BOD คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 15 ของมูลค่าตลาด



รูปที่ 2-3 : มูลค่าตลาดบิวเทนไดออลจำแนกตามการนำไปใช้ประโยชน์

ที่มา : Fraunhofer,2018

เตตระไฮโดรฟูแรนเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย (final product) ที่ใช้ BOD เป็นสารตั้งต้นมากที่สุดคิดเป็นสัดส่วนประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณการผลิต BOD ทั้งหมด จากรูปที่ 2-3 คาดว่าในอนาคต THF ยังคงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้ BOD มากที่สุดอย่างต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการใช้รองลงมาได้แก่ พอลิบิวทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate; PBT) และแกมมา-บิวทิโรแลคโตน (gamma-butyrolactone;GBL) ซึ่งนิยมใช้เป็นสารเสริมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหาร อีกผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้บิวเทนไดออลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ โพลียูรีเทน (Polyurethane; PU) ซึ่งเป็นส่วนประกอบในการผลิตสินค้ากลุ่มเครื่องแต่งกาย โพลียูรีเทนเป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตเส้นใยสแปนเด็กซ์ (spandex fiber) ที่มีความทนทานและยืดหยุ่นสูง เป็นวัสดุใสมอน ที่นอน และเบาะนั่งรถยนต์ โฟมกันกระแทกในกล่องบรรจุภัณฑ์ วัสดุประกอบไม้-พลาสติก กาวและสารผนึกต่างๆ นอกจากนี้ ยังใช้ในอุปกรณ์ทางการแพทย์ และเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

ตลาดเอเชียแปซิฟิกเป็นตลาดที่มีความต้องการใช้ BOD มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 63 รองลงมาได้แก่ อเมริกาเหนือ และสหภาพยุโรป และเอเชียแปซิฟิกเป็นตลาดที่ขยายตัวสูงสุด

## ข) การผลิต

1) บริษัท DuPont Tate & Lyle Bio Products เป็นบริษัทแรกที่ประสบความสำเร็จในการผลิต BDO ในระดับอุตสาหกรรม บริษัทมีความเชี่ยวชาญด้านการผลิตปลายน้ำ (downstream) เมื่อปลายปี 2557 บริษัทมีความร่วมมือกับบริษัท Genomatica ซึ่งมีเทคโนโลยีการผลิต BDO จากจุลินทรีย์ในระดับสาธิต และเมื่อเดือนมีนาคม 2561 บริษัท DuPont Tate & Lyle Bio Products ประกาศขยายกำลังการผลิต 1,3-BDO เพิ่มขึ้นอีก 16,000 ตัน ทั้งนี้คาดว่าจะการก่อสร้างโรงงานในส่วนขยายจะแล้วเสร็จในช่วงกลางปี 2562

2) บริษัท Novamont S.p.A. เป็นบริษัทที่ลงทุนผลิต BDO ด้วยมูลค่ามากกว่า 100 ล้านยูโร กำลังการผลิต 30,000 ตัน ถือเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ที่สุดของโลก บริษัท Novamont S.p.A. ผลิต BDO ด้วยการใช้เทคโนโลยีของบริษัท Genomatica เช่นกัน และมีการพัฒนาต่อยอดด้วยการใช้เชื้อแบคทีเรียที่ผ่านการดัดแปลงพันธุกรรมทำให้ได้ผลผลิต BOD เพิ่มขึ้น (Novamont,2016)

นอกจากนี้ ยังมีบริษัทยักษ์ใหญ่ เช่น BASF และ BioAmber มีแผนสร้างโรงงานผลิต BDO ที่พร้อมผลิตในปี 2565 อีกด้วย

ตารางที่ 2-1 : ปริมาณการผลิตบิวเทนไดออลชีวภาพของผู้ผลิตสำคัญ

	ประเทศ	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2565
DuPont Tate & Lyle Bio Products	สหรัฐ	0	0	0	0	2,000	0	0	16,000
Novamont S.p.A	อิตาลี	0	0	0	0	0	30,000	30,000	30,000
BASAF-SE	โมร็อกโก	0	0	0	0	0	0	0	75,000
BioAmber	สหรัฐ	0	0	0	0	0	0	0	70,000
BioAmber	แคนาดา	0	0	0	0	0	0	0	23,000

ที่มา : Fraunhofer,2018

## (2) สถานภาพประเทศไทย

### ก) การตลาด

ปี 2560 ประเทศไทยนำเข้า BOD รวมกันประมาณ 2,022 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 108 ล้านบาท (กระทรวงพาณิชย์,2560) โดยนำเข้าจากเนเธอร์แลนด์ และได้หวันเป็นหลัก ในช่วงปี 2559 ไทยนำเข้า BOD เพิ่มขึ้นถึง 3 เท่าตัวเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนหน้า และหลังจากนั้นปริมาณการนำเข้าค่อนข้างคงที่ประมาณ 2,000 ตัน/ปี

### ข) การผลิต

ประเทศไทยยังไม่มีการผลิต BOD ชีวภาพในเชิงพาณิชย์

## 2.1.2 สถานภาพอุตสาหกรรม 1,3- Propanediol (PDO)

### (1) สถานภาพต่างประเทศ

#### ก) การตลาด

1,3-โพรเพนไดออล (PDO) ผลิตได้จากวัตถุดิบประเภทแป้งและน้ำตาลโดยใช้จุลินทรีย์ PDO เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตพอลิไตรเมทิลีนเทเรฟทาเลต (Poly trimethylene terephthalate; PTT) ซึ่งเป็นโพลีเอสเตอร์ชนิดที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable) จึงนำไปใช้ในการผลิตเส้นใยสิ่งทอและสารเคลือบ ซึ่ง PTT เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ PDO มากที่สุดด้วยสัดส่วนมากถึงร้อยละ 68 ของปริมาณที่ผลิต คาดว่าตลาด PTT จะเติบโตอย่างต่อเนื่องอันเป็นผลจากความต้องการใช้ PTT ทดแทนโพลีเอสเตอร์ที่ผลิตจากปิโตรเลียม นอกจากการผลิต PTT แล้ว PDO ยังใช้เป็นวัตถุดิบผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพส่วนบุคคลและผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด (personal care and detergent) สีนํ้าอเล็กทริก และ Polyurethane ในปี 2557 ผลิตภัณฑ์ 1,3 PDO มีมูลค่าตลาด 621 ล้านดอลลาร์สหรัฐ และคาดว่าจะในระหว่างปี 2561-2565 ตลาดจะมีอัตราการเติบโตร้อยละ 10.80 ต่อปี

#### ข) การผลิต

ผู้ผลิต PDO รายใหญ่ ได้แก่ DuPont Tate & Lyle Bio Products Company (LLC) ประเทศสหรัฐอเมริกา, Metabolic Explorer S.A. ประเทศฝรั่งเศส และ Zhangjiagang Glory Biomaterial Co., Ltd. ประเทศจีน

1) DuPont Tate & Lyle Bio Products ผลิต PDO ในระดับอุตสาหกรรมเมื่อปี 2549 ณ เมืองลูตอน ประเทศสหรัฐอเมริกา ต่อมาในปี 2553 บริษัทขยายโรงงานผลิต PDO ด้วยเงินลงทุน 100 ล้านดอลลาร์ โรงงานดังกล่าวสร้างแล้วเสร็จในไตรมาส 2 ของปี 2554 ส่งผลให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 65,000 ตัน

2) Zhangjiagang Glory Biomaterial Co., Ltd. ตั้งอยู่บริเวณริมแม่น้ำแยงซี บริเวณเขตการค้าเสรีจางเจียงในมณฑลเจียงซู โรงงานแห่งนี้มีกำลังการผลิต 1,3-โพรเพนไดออล (PDO) และ 2,3 บิวเทนไดออล (BDO) รวมกันคิดเป็นปริมาณ 65,000 ตัน ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวพัฒนาจากความสำเร็จของโครงการ “863” ของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (แผนพัฒนาประเทศฉบับที่ 12) โดยการใช้จุลินทรีย์เปลี่ยนกลีเซอรอลเป็น PDO นอกจากกระบวนการผลิตแล้ว บริษัทยังได้พัฒนาเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการผลิต PDO ทั้งหมดภายในประเทศจีนอีกด้วย (<http://www.bio-haoyun.com/en/supplier-2607.aspx>)

ตารางที่ 2-2 : ปริมาณการผลิต 1,3-โพรเพนไดออลของผู้ผลิตสำคัญ

	ประเทศ	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2565
DuPont Tate & Lyle Bio Products	สหรัฐ	65,000	65,000	65,000	65,000	65,000	65,000	65,000	65,000
Zhangjiagang Glory Biomaterial	จีน	0	0	0	19,500	19,500	19,500	19,500	50,000
BiMETabolic Explorer S.A (METEX)	ฝรั่งเศส	0	0	0	0	0	0	0	15,000

ที่มา : Fraunhofer, 2018 และ <http://www.duponttateandlyle.com/DuPont-Tate-Lyle-Bio-Products-Expanding-Bio-based-Propanediol-Production-in-Tennessee>

## (2) สถานภาพประเทศไทย

### ก) การตลาด

ประเทศไทยไม่มีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ในกลุ่มโพรเพนไดออล

### ข) การผลิต

ประเทศไทยไม่มีการผลิต PDO ในเชิงพาณิชย์ แต่มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งการวิจัยประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1) การแยกเชื้อจุลินทรีย์จากแหล่งธรรมชาติ 2) การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่ผลิต 1,3 โพรเพนไดออลได้สูง 3) การทดสอบเพิ่มปริมาณการผลิต 1,3 โพรเพนไดออลในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

## 2.1.3 สถานภาพอุตสาหกรรม Xylene (para)

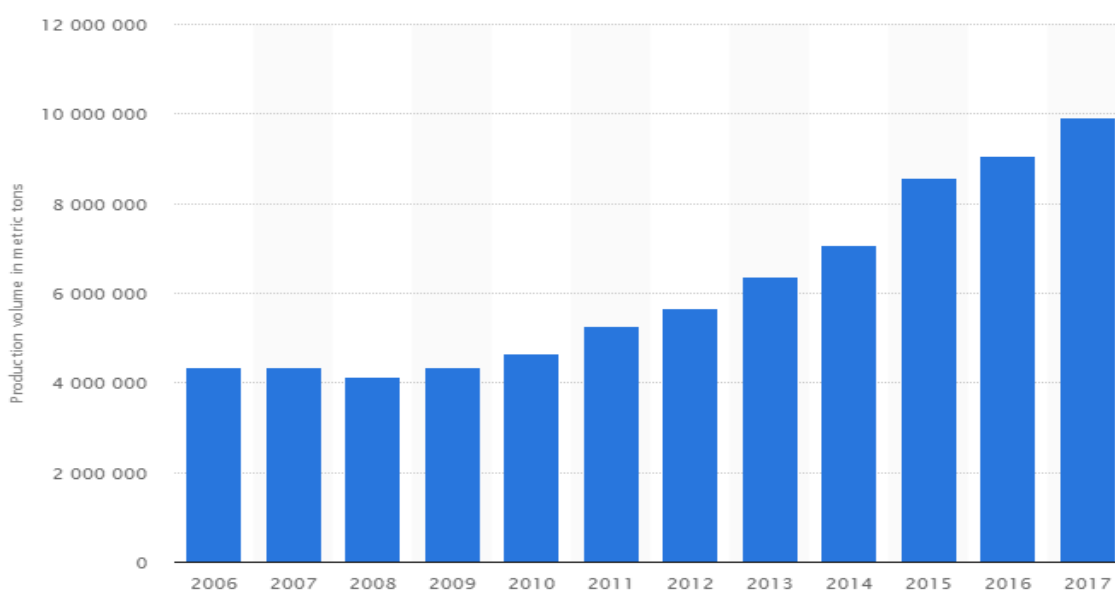
### (1) สถานภาพต่างประเทศ

#### ก) การตลาด

พาราไซลีน (Paraxylene; PX) เป็นวัตถุดิบในการผลิตเม็ดพลาสติก แผ่นฟิล์ม และเส้นใยไฟเบอร์ เป็นสารสำคัญพื้นฐานในการผลิต purified terephthalic acid (PTA) และ dimethyl terephthalate (DMT) ซึ่งเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตโพลีเอสเตอร์ ปี 2559 พาราไซลีนมีมูลค่าตลาด 36.1 พันล้านเหรียญสหรัฐ ตลอดช่วงปี 2555-2565 คาดว่าอัตราการเติบโตจะอยู่ที่ร้อยละ 10.5 ทั้งนี้ การขยายตัวของการผลิต PET และโพลีเอสเตอร์ในตลาดเอเชียแปซิฟิกเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ตลาดพาราไซลีนเติบโต ประเทศจีนเป็นผู้นำเข้าพาราไซลีนมากที่สุด ทั้งนี้ คาดว่าความต้องการใช้พาราไซลีนจะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 25 ต่อปี

#### ข) การผลิต

ประเทศเกาหลีเป็นแหล่งผลิตพาราไซลีนแหล่งสำคัญของโลก มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะหลังปี 2557 โดยปี 2560 ปริมาณการผลิตพาราไซลีนรวมกันมากถึง 9.91 ล้านตัน



รูปที่ 2-4 : กำลังการผลิตพาราไซลีนของประเทศเกาหลี

ที่มา : <https://www.statista.com/statistics/732209/south-korea-para-xylene-production-volume/>

1) บริษัท S-Oil เป็นบริษัทผู้ผลิตน้ำมันหล่อลื่น และรีไฟเนอริรายใหญ่ของประเทศเกาหลีใต้ บริษัทมีโรงงานผลิตพาราไลซีนจำนวน 2 แห่ง แห่งแรกมีกำลังการผลิต 0.7 ล้านตัน และโรงงานแห่งที่สองมีกำลังการผลิต 0.9 ล้านตัน กำลังการผลิตรวม 1.6 ล้านตัน บริษัทส่งออกพาราไซลีนคิดเป็นร้อยละ 60 ของปริมาณผลิตรวม (<https://www.worldofchemicals.com/media/s-oil-doubles-para-xylene-and-benzene-capacity-at-onsan/758.html>)

2) บริษัท Hanwha Total เป็นบริษัทผู้ผลิตอะโรมาติกส์ของประเทศเกาหลีใต้ บริษัทมีโรงงานจำนวน 2 แห่ง กำลังการผลิตประมาณ 1.7 ล้านตัน โดยเป็นของโรงงานแรก 0.7 ล้านตัน/ปี และแห่งที่ 2 ประมาณ 1.0 ล้านตัน ในปี 2560 บริษัท Hanwha Total ได้ร่วมทุนกับบริษัท Total SA ทำให้โรงงานแห่งที่สองผลิตได้เพิ่มขึ้นอีก 0.2 ล้านตัน ส่งผลให้กำลังการผลิตรวมเพิ่มขึ้นเป็น 1.9 ล้านตัน

3) บริษัท Sinopec Shanghai Petrochemical เป็นบริษัทชั้นนำด้านพลังงานและเคมีภัณฑ์ของประเทศจีน เป็นบริษัทลูกของ Inopec Corp มีกำลังการผลิตพาราไซลีนจากปิโตรเลียม 0.8 ล้านตัน/ปี และยังมีแผนลงทุน 3,270 ล้านดอลลาร์ เพื่อสร้างโรงงานผลิตพาราไลซีนกำลังการผลิต 1.0 ล้านตัน เมื่อโรงงานก่อสร้างแล้วเสร็จจะช่วยให้ประเทศจีนลดการพึ่งพิงการนำเข้าพาราไลซีนเพื่อการผลิตโพลีเอสเตอร์

4) Formosa Chemicals & Fibers Co (FCFC) มีโรงงานผลิตพาราไซลีนจำนวน 2 แห่ง ณ เมือง ไหมเหลียว (Mailiao) ไต้หวัน โรงงานแห่งแรกมีกำลังการผลิต 0.27 ล้านตัน และแห่งที่ 2 มีกำลังการผลิต 0.87 ล้านตัน

ตารางที่ 2-3 : ปริมาณการผลิตพาราไซลีนของผู้ผลิตสำคัญ

บริษัท	ที่ตั้ง	กำลังการผลิต (พันตัน/ปี)
Qingdao Lidong	Qingdao	800
HC Petrochemical	Daesan	380
S-Oil	Onsan	1,000
SK Global Chemical	Ulsan	400
Hanwha Total (Daesan)	Daesan	1,000
Idemitsu Kosan	Chiba	265
JX Nippon Oil & Energy	Mizushima	230
FCFC (No 1)	Mailiao	270
FCFC (No 3)	Mailiao	870
Aromatics Thailand	Map Ta Phut	770
Aromatics Oman	Sohar, Oman	815

ที่มา : Fraunhofer, 2018

## (2) สถานภาพประเทศไทย

### ก) การตลาด

ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกพาราไซลีน โดยปี 2560 มีการส่งออกพาราไซลีน 455,822 ตัน คิดเป็นมูลค่า 13,500 ล้านบาท โดยผลิตทั้งหมด (ร้อยละ 95) ส่งไปยังประเทศจีน ในเชิงเปรียบเทียบเห็นได้ว่าปริมาณการส่งออกของประเทศไทยลดลงจาก 708,100 ตันในปี 2556 หรือเฉลี่ยลดลงร้อยละ 7 ต่อปี ทั้งนี้เนื่องจากบริษัทสูญเสียความสามารถในการแข่งขันให้กับประเทศเกาหลีใต้ที่ส่งออกเพิ่มขึ้นจาก

2.17 ล้านตันในปี 2557 เพิ่มขึ้นเป็น 7.31 ล้านตันในปี 2560 หรือเพิ่มขึ้นกว่าปีละ 1 เท่าตัว ส่งผลให้ราคาส่งออกลดลงเฉลี่ยร้อยละ 8 ต่อปี

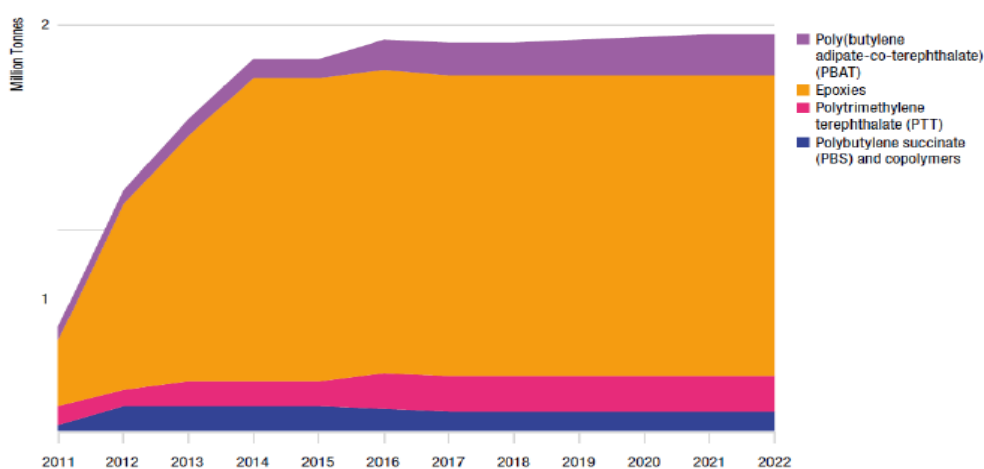
ในทางกลับกัน ประเทศไทยนำเข้าพาราไซลีนเพิ่มขึ้น ดังเห็นได้จากปี 2560 ประเทศไทยนำเข้าพาราไซลีนจำนวน 122,244 ตัน คิดเป็นมูลค่า 3,653 ล้านบาท โดยนำเข้าจากสิงคโปร์ อินเดีย (ซึ่งเป็นแหล่งผลิตใหม่) มาเลเซีย และซาอุดีอาระเบีย ปริมาณการนำเข้าเพิ่มขึ้นจากปี 2556 จำนวน 83,272 ตัน หรือร้อยละ 9 ต่อปี

### ข) การผลิต

ผู้ผลิตพาราไซลีนรายใหญ่ของประเทศไทย คือ บริษัทอะโรเมติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ก่อตั้งเมื่อปี 2535 โดยมีการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) เป็นผู้ถือหุ้นทั้งหมด ในเวลาต่อมา ปตท. ได้ลดสัดส่วนการถือครองหุ้นในบริษัทฯ และมีบริษัทที่เข้ามาถือหุ้นเพิ่มเติม ได้แก่ บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) บริษัท บ้านปู จำกัด (มหาชน) และสำนักงานทรัพย์สินส่วนพระมหากษัตริย์ ในปี 2554 บริษัท ปตท. อะโรมาติก และปตท. เคมีคอล ได้ควบรวมเป็นบริษัท PTTGC โรงงานตั้งอยู่ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด มีกำลังการผลิต 1.3 ล้านตัน/ปี นอกจากนี้ บริษัทไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) มีแผนขยายโรงงานผลิต อะโรเมติกส์แห่งใหม่ที่จังหวัดระยองด้วยการใช้เทคโนโลยีที่ล้ำสมัยของฮันนีเวลล์ ยูโอพี (Honeywell UOP) คาดว่าโรงงานจะก่อสร้างแล้วเสร็จในปี 2563 มีกำลังการผลิตพาราไซลีน 1.2 ล้านตัน/ปี (<https://www.ryt9.com/s/prg/2834705>)

## 2.2 Smart drop-in chemicals

Smart drop-in chemicals เป็นกลุ่มสารเคมีชีวภาพที่ทดแทนสารเคมีที่ผลิตจากปิโตรเลียม ด้วยการใช้กระบวนการทางชีวภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกระบวนการผลิต คุณสมบัติของสารเคมีชีวภาพมีลักษณะเช่นเดียวกับปิโตรเลียมแต่การใช้กระบวนการผลิตทางชีวภาพมีข้อดีว่าการผลิตจากกระบวนการเคมี แนวโน้มความต้องการสารเคมีชีวภาพกลุ่ม Smart drop-in เพิ่มขึ้นทั่วโลก เนื่องมาจากความแตกต่างของราคาระหว่างสารเคมีชีวภาพกับสารเคมีที่ผลิตจากปิโตรเลียมมีแนวโน้มใกล้เคียงกันมากขึ้น



รูปที่ 2-5 : แนวโน้มกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์ smart drop-in  
ที่มา : Fraunhofer, 2018

## ข้อดี

- การผลิตสารเคมีชีวภาพใช้ระยะเวลาในการผลิตและมีความซับซ้อนในกระบวนการผลิตน้อยกว่าสารเคมีจากฟอสซิล
- ตลาดมีความเสี่ยงต่ำเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทดแทนสารเคมีที่มีอยู่ในตลาดแล้ว
- ผู้ใช้ไม่ต้องเปลี่ยนเครื่องจักร
- ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากชีวมวล จากวัตถุดิบตั้งต้นไปจนถึงผลิตภัณฑ์สูงกว่าเมื่อเทียบกับสารเคมีกลุ่มอื่น
- ผลพลอยได้ระหว่างกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้นมีสารเคมีเป็นพิษน้อยกว่าเมื่อเทียบกับสารเคมีจากฟอสซิล

## ข้อเสีย

- ราคาค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคมีที่ผลิตจากปิโตรเลียม
- ปริมาณความต้องการสารเคมีชีวภาพเฉพาะ (smart-drop in) น้อยกว่าผลิตภัณฑ์สารเคมีแต่มากกว่าสารเคมีเฉพาะเจาะจง (specialty chemicals)

จากการศึกษาของ Fraunhofer (2018) ระบุว่าสารเคมีกลุ่ม smart drop-in chemicals ที่มีศักยภาพประกอบด้วยสารเคมี 5 ชนิดคือ

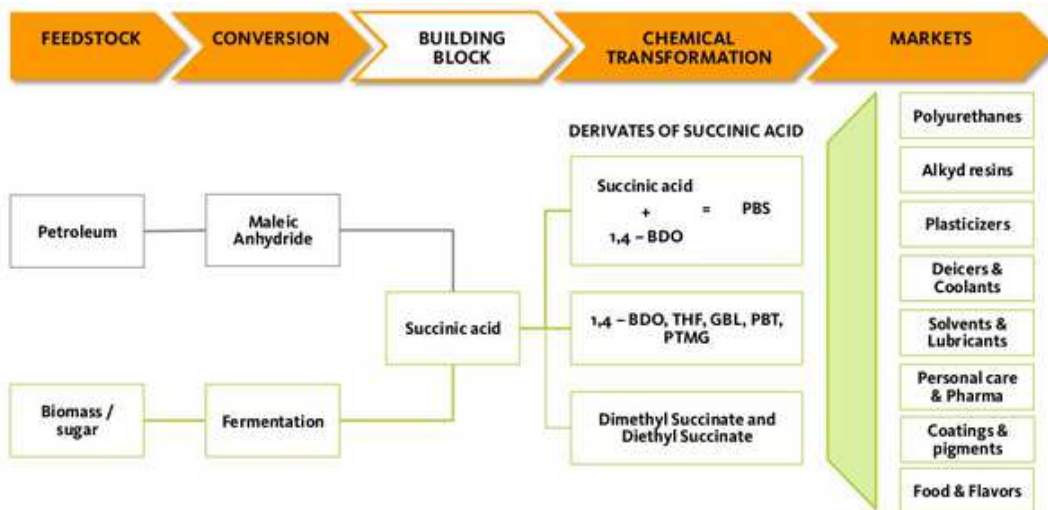
- Succinic acid
- Malic acid
- Polybutylene succinate
- Adipic acid
- Epoxy resins

## 2.2.1 สถานภาพอุตสาหกรรม Succinic acid

### (1) สถานภาพต่างประเทศ

#### ก) การตลาด

**Bio-based succinic acid** เป็นสารตัวกลาง (building block) ที่เป็น specialty chemical ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งโดยตรง หรือในรูปของสารอนุพันธ์ (derivatives) สามารถต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย เช่น พอลิยูรีเทน สีและสารเคลือบ กาว วัสดุยานยนต์ พอลิเมอร์และเรซิน เครื่องสำอาง ไบโอพลาสติก ไนลอน รวมถึงเป็นสารประกอบที่ใช้ในอุตสาหกรรมยา เนื่องจากกรดซัคซินิกใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันมีการผลิตในระดับต้นแบบจนถึงการขยายขนาดสู่การผลิตเชิงพาณิชย์



รูปที่ 2-6 : ห่วงโซ่มูลค่าของ bio-based succinic acid  
ที่มา : WEASTRA s.r.o., 2013

กรดซัคซินิกชีวภาพเป็นสารเคมีชีวภาพที่กระทรวงพลังงานสหรัฐอเมริการะบุว่าเป็นหนึ่งในห้าของ building block ที่ตลาดมีความต้องการสูง ในปี 2558 กรดซัคซินิกมีมูลค่าตลาด 157.2 ล้านเหรียญสหรัฐ และคาดการณ์ว่ามูลค่าตลาดระหว่างปี 2560-2569 จะมีอัตราการเติบโตสูงถึงร้อยละ 28 ต่อปี ตลาดที่มีความต้องการใช้ไบโอซัคซินิกมากประกอบด้วย BDO, Polyester Polyols, PBS Plasticizers และ Solvent and Lubricant เป็นต้น โดยตลาดที่มีความต้องการซื้อสูง คือ ตลาดในภูมิภาคเอเชียโดยเฉพาะอย่างยิ่งในตลาดของประเทศจีน ญี่ปุ่น และอินเดีย



รูปที่ 2-7 : แนวโน้มความต้องการใช้กรดซัคซินิกชีวภาพปี 2563  
ที่มา : <https://www.alliedmarketresearch.com/bio-succinic-acid-market>

## ข) การผลิต

1) บริษัท BioAmber ลงทุนก่อสร้างโรงงานระดับสาธิต (demonstration) ในเมือง Pomacle ประเทศฝรั่งเศส ในปี 2553 โดยใช้ถังหมักขนาด 350 ลิตร ผลิตกรดซัคซินิกจากข้าวสาลีด้วยแบคทีเรีย มีกำลังการผลิต 2,000 ตัน/ปี หลังจากนั้นบริษัทได้ตั้งโรงงานที่ Sarnia ประเทศแคนาดา เปิดดำเนินการเมื่อเดือนตุลาคม ในปี 2558 โดยเป็นการร่วมลงทุน (joint venture) กับบริษัท Mitsui & Co. มีกำลังการผลิต 30,000 ตัน/ปี ใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบและใช้เชื้อยีสต์ที่ซื้อสิทธิ (license in) จากบริษัท Cargill Inc. เพื่อใช้ในกระบวนการหมัก ปี 2560 บริษัทมีแผนสร้างโรงงานเพิ่มในอเมริกาเหนือและประเทศจีนและคาดว่าจะเปิด

ดำเนินการในปี 2565 ด้วยกำลังการผลิต 30,000 ตัน/ปี และ 36,000 ตัน/ปี ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในปี 2561 บริษัท BioAmber ประสบปัญหาขาดสภาพคล่องทางการเงิน ปัจจุบันบริษัท LCY Biotechnology ของไต้หวันเข้าซื้อกิจการผลิต Bio-based succinic acid ของบริษัท BioAmber ซึ่งคาดว่าจะส่งผลกระทบต่อแผนการลงทุนที่วางไว้

2) บริษัท Myriant เริ่มการผลิตกรดซัคซินิกขนาด 13,600 ตัน/ปี ในปี 2556 โดยใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบด้วยการใช้จุลินทรีย์ที่ซื้อสิทธิมาจาก University of Florida ร่วมกับการเทคโนโลยีการผลิตของ ThyssenKrupp Uhde GmbH เยอรมนี และ Johnson Matthey Davy Technologies Ltd. สหราชอาณาจักร นอกจากนี้ บริษัทได้พัฒนาเทคโนโลยีการผลิตกรดซัคซินิกจากเซลลูโลส และมีแผนสร้างโรงงานแห่งที่ 2 ที่เมือง Leuna เยอรมนีด้วยกำลังการผลิตเริ่มต้น 500 ตัน และขยายเพิ่มเป็น 5,000 ตัน รวมถึงสร้างโรงงานแห่งที่ 3 ที่นครหนานหนิง ประเทศจีนโดยมีความร่วมมือกับบริษัท China National Bluestar กำลังการผลิต 100,000 ตัน ทั้งนี้ซัคซินิกที่ผลิตมีเป้าหมายเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิต BDO บริษัท Myriant มีความพยายามพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการผลิตกรดชีวภาพประเภทอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น แลคติก อะคลิลิก มิวโคนิก และฟูมาริก ต่อมาในปี 2561 บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) ได้ซื้อกิจการทั้งหมดของบริษัท และเปลี่ยนชื่อเป็นบริษัท GC Innovation America

3) บริษัท Succinity GmbH เป็นบริษัทร่วมทุนระหว่างบริษัท Corbion Purac Biochem ประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งเป็นผู้นำด้านการผลิตกรดแลคติก ซึ่งมีประสบการณ์ของเทคโนโลยีการหมัก และ downstream process มายาวนาน และบริษัท BASF SE ประเทศเยอรมนี ซึ่งเป็นผู้นำด้านการผลิตสารเคมีตัวกลาง มีเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักกรดซัคซินิก และมีความเชี่ยวชาญด้านการตลาด บริษัท Succinity ได้ปรับปรุงโรงงานที่เดิมผลิตกรดแลคติกขนาด 10,000 ตัน/ปี ในประเทศสเปนเพื่อผลิตกรดซัคซินิก เริ่มดำเนินการผลิตเมื่อเดือนมีนาคม 2557 โดยใช้เชื้อแบคทีเรียของบริษัท BASF บริษัท Succinity มีแผนขยายการผลิตกรดซัคซินิกให้เพิ่มขึ้นเป็น 50,000 ตัน/ปี แต่ยังไม่มีความชัดเจนเกี่ยวกับระยะเวลาที่แน่นอน

4) บริษัท Reverdia VOF ประเทศเนเธอร์แลนด์ มีความร่วมมือแบบ joint venture ระหว่างบริษัท Roquette Freres Group ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตแป้งในประเทศฝรั่งเศส และบริษัท Royal DSM NV ประเทศเนเธอร์แลนด์ ลงทุนสร้างถังหมักระดับสาริตเพื่อผลิตกรดซัคซินิก ขนาด 500 ตัน/ปี และปี 2553 โรงงานผลิตกรดซัคซินิกขนาด 10,000 ตัน/ปี ในอิตาลีเริ่มเปิดดำเนินการ โดยจุดเด่นของเทคโนโลยีที่บริษัทใช้คือสามารถผลิตเอทานอลและซัคซินิกได้พร้อมกันทำให้เกิดการประหยัดของต้นทุน

5) บริษัท Mitsubishi และบริษัท Ajinomoto ประกาศความร่วมมือผลิตกรดซัคซินิกเพื่อใช้ในการผลิต PBS เริ่มการทดลองผลิตในปี 2549 โดยใช้โรงงานผลิตกรดอะมิโนของบริษัท Ajinomoto

ตารางที่ 2-4 : ผู้ผลิตไบโอซัคซินิกและกำลังการผลิตระหว่างปี 2554-2565

Company	Country	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2022
BioAmber Inc.	USA	0	0	0	0	0	0	0	30.000
BioAmber Inc.	China	0	0	0	0	0	0	0	36.000
BioAmber Inc.	France	3.000	3.000	3.000	500	500	500	0	0
BioAmber Inc.	Canada	0	0	0	0	30.000	30.000	30.000	30.000
MBI International	USA	6	6	6	6	0	0	0	0
Myriant Corporation	USA	0	0	13.600	13.600	13.600	13.600	13.600	13.600
Reverdia	Italy	0	0	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Reverdia	France	500	500	0	500	500	0	500	0
Succinity GmbH	Spain	0	0	0	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Thyssenkrupp Uhde GmbH	Germany	0	500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

ที่มา : Fraunhofer,2018

## (2) สถานภาพประเทศไทย

### ก) การตลาด

ปี 2561 ประเทศไทยมีการนำเข้าซัคซินิกประมาณ 2,000 ตัน มูลค่า 140 ล้านบาท โดยร้อยละ 89 นำเข้าจากแคนาดา และที่เหลือนำเข้าจากญี่ปุ่น และจีน คิดเป็นร้อยละ 6 และ 5 ตามลำดับ ปริมาณการนำเข้าอยู่ในระดับเดียวกับปีที่ผ่านมา

### ข) การผลิต

บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) ซึ่งกิจการของบริษัท Myriant และเปลี่ยนชื่อเป็นบริษัท GC Innovation America และบริษัทโกลบอลกรีนเคมิคอล จำกัด (มหาชน) มีแผนลงทุนผลิตซัคซินิกชีวภาพในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์เพื่อรองรับอุตสาหกรรมการผลิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต รวมถึงอุตสาหกรรมต่อเนื่อง (สถาบันพลาสติกไทย,2560)

## 2.2.2 สถานภาพอุตสาหกรรม Malic acid

### (1) สถานภาพต่างประเทศ

#### ก) การตลาด

กรดมาลิกผลิตจากกระบวนการหมักเชื้อรา *Aspergillus flavors* เป็น 1 ใน 12 สารเคมีชีวภาพที่กระทรวงพลังงานสหรัฐอเมริกาประเมินว่าเป็นสารเคมีชีวภาพที่ตลาดมีความต้องการสูง ปี 2558 ตลาดโลกมีความต้องการกรดมาลิก 70,000 ตัน ทั้งนี้คาดการณ์ว่าระหว่างปี 2558-2567 ตลาดจะมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 6 ต่อปี ส่งผลให้มูลค่าตลาดเพิ่มขึ้นเป็น 0.24 พันล้านเหรียญสหรัฐ

กรดมาลิก เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในหลายอุตสาหกรรม อาทิ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มที่มีสัดส่วนการใช้กรดมาลิกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 62 และยังคงมีความต้องการใช้กรดมาลิกชีวภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากตลาดมีความต้องการสารแต่งกลิ่นและรสที่สังเคราะห์จากธรรมชาติ รองลงมาคือผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคลและเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมยา สีและสบู่อุตสาหกรรมก่อสร้าง ในปี 2559 ประเทศจีนเป็นผู้ใช้หลักโดยมีสัดส่วนการใช้ประมาณร้อยละ 38 ของมูลค่าตลาด

#### ข) การผลิต

กรดมาลิกที่ผลิตและจำหน่ายในท้องตลาดส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากปิโตรเลียม ผู้ผลิตหลักประกอบด้วย Tate & Lyle, Corbion, Polynt S.p.A, Fuso Chemical Ltd, Thirumalai Chemicals Ltd, Changmao Biochemical Engineering Company Limited, Bartek Ingredienyts Inc, Isegen South Africa (Pty) Ltd, Anhui Sealong Biotechnology Co, Ltd ซึ่งผู้เล่นดังกล่าวให้ความสำคัญกับการลงทุนวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการขยายขอบเขตของการใช้กรดมาลิกให้กว้างขวางขึ้นเพื่อเพิ่มมูลค่า/ส่วนแบ่งตลาด

### (2) สถานภาพประเทศไทย

#### ก) การตลาด

ปี 2561 ประเทศไทยนำเข้ากรดมาลิกประมาณ 2,200 ตัน มูลค่า 145 ล้านบาท โดยร้อยละ 40 เป็นการนำเข้าจากประเทศญี่ปุ่น รองลงมาได้แก่ แอฟริกาใต้ แคนาดา จีน และอิตาลี คิดเป็นร้อยละ 17, 12, 11 และ 10 ตามลำดับ ปริมาณการนำเข้าอยู่ในระดับเดียวกับปีที่ผ่านมา

#### ข) การผลิต

ไม่มีการผลิตในประเทศไทย

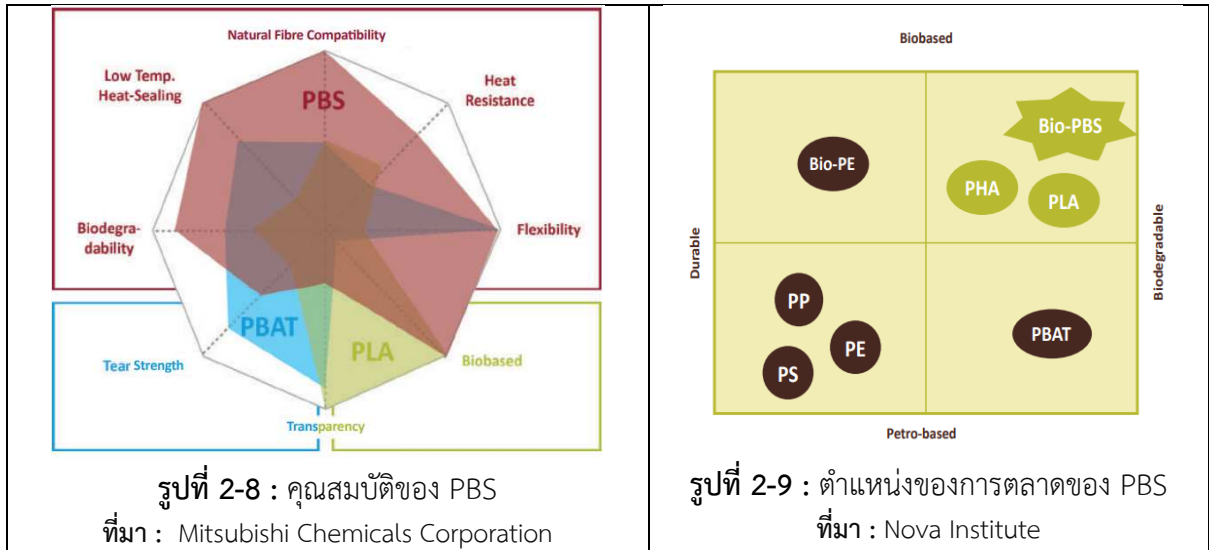
### 2.2.3 สถานภาพอุตสาหกรรม Polybutylene succinate (PBSX)

#### (1) สถานภาพต่างประเทศ

#### ก) การตลาด

พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate; PBSX) ผลิตจาก 1,4-บิวเทนไดออล และกรดซัคซินิก PBS เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอพลาสติก โดยมีจุดเด่น ได้แก่ ย่อยสลายได้ และมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ได้ระหว่างร้อยละ 50-80 เปรียบเทียบกับการใช้วัตถุดิบจากสารเคมี ปัจจุบันมีพลาสติก PBS หลายชนิดได้รับใบรับรองความสามารถการย่อยสลายได้ (EN 13432) นอกจากนี้ ยังมีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูงถึง 200 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิการหลอมเหลวสูง และมีความแข็งแรงกว่า PLA

กระทรวงพลังงานสหรัฐอเมริกาประเมินว่าปี 2559 ตลาดพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตของสหภาพยุโรปมีปริมาณ 1.19 ล้านตัน และมูลค่า 90 ล้านเหรียญสหรัฐ เพิ่มขึ้นเป็น 180 ล้านเหรียญสหรัฐในปี 2563 ด้วยอัตราการขยายตัวร้อยละ 15 ต่อปี (สถาบันพลาสติก, 2560)



**ข) การผลิต**

โรงงานผลิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ส่วนใหญ่อยู่ในเอเชีย เป็นต้นว่า บริษัท Kingfa Sci & Tec ก่อตั้งเมื่อปี 2536 บริษัทแม่อยู่ในประเทศจีน เป็นบริษัทวิจัยพัฒนา ผลิต และจำหน่ายเม็ดพลาสติกและผลิตภัณฑ์พลาสติก บริษัทมีการผลิต PBS เมื่อปี 2555 ด้วยกำลังการผลิต 30,000 ตัน/ปี บริษัท China New Materials Holding มีกำลังการผลิต 25,000 ตัน/ปี บริษัท Anqing Hexing Chemical ผลิต PBS ด้วยกำลังการผลิต 10,000 ตัน/ปี นอกจากนี้ยังมีบริษัท LOTTE Fine Chemical Co., Ltd. (เกาหลีใต้) Mitsubishi Chemical Corporation (MCC) และ Showa Denko K.K. ของประเทศญี่ปุ่น ที่สนใจผลิต PBS

ตารางที่ 2-5 : ผู้ผลิตพอลิবিวทีลีนซึกซิเนต (PBS) และกำลังการผลิตระหว่างปี 2554-2565

Company	Country	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2022
Anqing Hexing Chemical Co., Ltd.	China	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
China New Materials Holdings Ltd.	China	10	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
Kingfa Sci. & Tech. Co., Ltd.	China	0	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
LOTTE Fine Chemical Co., Ltd.	South-Korea	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0	0
Mitsubishi Chemical Corporation (MCC)	Japan	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	0	0	0
PTT MCC Biochem Co., Ltd.	Thailand	0	0	0	0	0	20.000	20.000	20.000
Shandong Fuwin New Material Co., Ltd.	China	0	25.000	25.000	25.000	25.000	0	0	0
Showa Denko K.K.	Japan	5.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	0	0
Xinjiang BlueRidge Tunhe Chemical Industry Co., Ltd.	China	0	0	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Zhejiang Hangzhou Xinfu Pharmaceutical Co., Ltd.	China	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000

ที่มา : Fraunhofer,2018

## (2) สถานภาพประเทศไทย

### ก) การตลาด

ปัจจุบันการใช้ PBS ค่อนข้างน้อย เนื่องจากราคาเม็ดพลาสติกสูงกว่าเม็ดพลาสติกจากปิโตรเลียมประมาณ 3 เท่าตัว

### ข) การผลิต

บริษัท PTTMCC Biochemical ซึ่งเป็นบริษัทร่วมทุนกับบริษัท Mitsubishi Chemical Corporation (MCC) ในปี 2559 ได้เริ่มดำเนินการผลิต PBS ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมจังหวัดระยอง โดยมีกำลังการผลิต 20,000 ตัน/ปี แม้ว่า PTTMCC จะเป็นผู้ผลิต Bio-PBS รายเดียวของโลกแต่เนื่องจากต้นทุนวัตถุดิบมีราคาสูงและราคาน้ำมันดิบที่ผันผวน (PTTGC,2560) ทำให้ตลาดค่อนข้างจำกัด

## 2.2.4 สถานภาพอุตสาหกรรม Adipic acid

### (1) สถานภาพต่างประเทศ

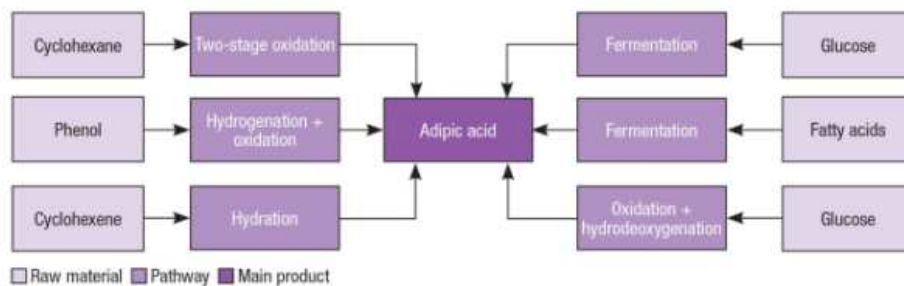
#### ก) การตลาด

กรดอะดิพิคใช้เป็นวัตถุดิบผลิตไนลอน โพลียูรีเทน เอสเทอร์ของกรดอะดิพิคนำไปใช้ในกระบวนการผลิตเม็ด PolyVinyl Chloride (PVC) อุตสาหกรรมอาหารใช้กรดอะดิพิคในการผลิตเครื่องปรุงรสและสารสร้างเนื้อเจล/เพิ่มความหนืด

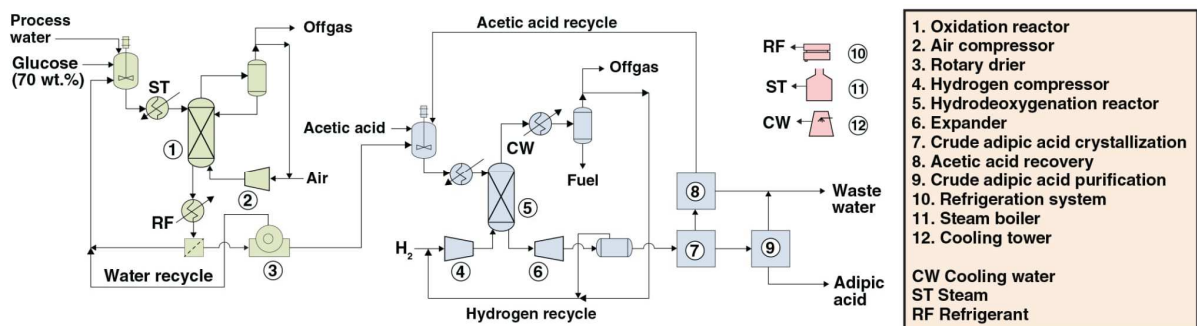
กรดอะดิพิคทั้งหมดที่จำหน่ายในปัจจุบันผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียม ในปี 2558 ตลาดของกรดอะดิพิคมีมูลค่า 4,500 ล้านดอลลาร์สหรัฐ มีอัตราการเติบโตร้อยละ 4.5 ต่อปี ทั้งนี้มีการคาดการณ์ว่ามูลค่าตลาดของกรดอะดิพิคจะเพิ่มขึ้นเป็น 8,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐในปี 2567 (Grand View Research,2018) อัตราการขยายตัวร้อยละ 4.7 ต่อปี ซึ่งเป็นผลจากการเติบโตของตลาดไนลอน และอิเล็กทรอนิกส์

#### ข) การผลิต

ปัจจุบันยังไม่มีการผลิตกรดอะดิพิคชีวภาพในเชิงพาณิชย์ แต่มีบริษัทสตาร์ทอัพจำนวนหนึ่งอยู่ระหว่างพัฒนาผลิตภัณฑ์ในระดับโรงงานต้นแบบ ได้แก่ บริษัท Rennovia and Verdezyne อย่างไรก็ตาม มีบริษัทขนาดใหญ่หลายรายที่ถือครองสิทธิบัตรการผลิตกรดอะดิพิคชีวภาพ เช่น DSM, INVISTA, Amyris, BioAmber เพื่อให้กรดอะดิพิคชีวภาพมีต้นทุนแข่งขันได้มากขึ้น จึงมีความพยายามพัฒนากรดอะดิพิคจากวัตถุดิบชีวภาพที่มีราคาต่ำ เช่น น้ำตาล หรือไขมัน



รูปที่ 2-10 : กระบวนการผลิตกรดอะดิพิค



รูปที่ 2-11 : กระบวนการผลิตกรดอะดิพิคจากกลูโคส

ที่มา : <https://www.polyestertime.com/biobased-adipic-acid-production-glucose/>

## (2) สถานภาพประเทศไทย

### ก) การตลาด

ปี 2561 ประเทศไทยนำเข้ากรดอะดิพิค 8,000 ตัน ซึ่งนำเข้าจากประเทศจีน เกาหลีใต้ และ ญี่ปุ่น ในสัดส่วนร้อยละ 70, 20 และ 5 ตามลำดับ

### ข) การผลิต

ยังไม่มีการผลิตในประเทศ

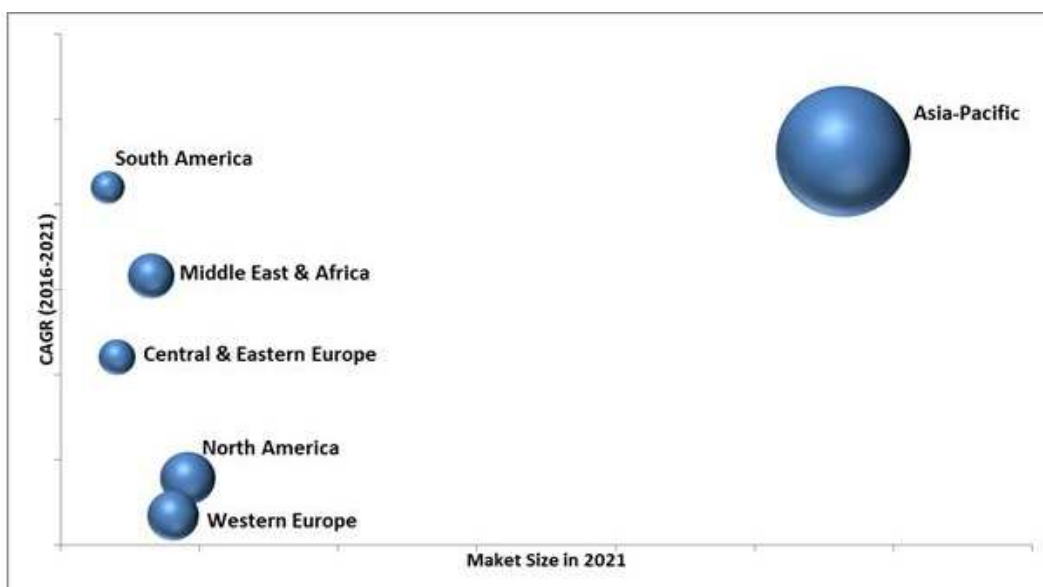
## 2.2.5 สถานภาพอุตสาหกรรม Epoxy resin

### (1) สถานภาพต่างประเทศ

#### ก) การตลาด

อีพ็อกซีเรซินเป็นเทอร์โมพลาสติกที่ตลาดมีความต้องการใช้มากที่สุด เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีกว่าในการผสมกับวัสดุคอมโพสิตอื่นๆ จากรายงานของ Chinthapalli et al. (2018) ระบุว่าร้อยละ 75 ของอีพ็อกซีเรซินเหลว (liquid epoxy resins: LER) ที่สำคัญคือ diglycidyl ethers of bisphenol A (DGEBA) ซึ่งผลิตจากสารบิสฟีนอลเอ (Bisphenol A;BPA) และอีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin;ECH) ทั้งนี้ปริมาณการผลิตอีพ็อกซีเรซินชีวภาพขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิต ECH แบบชีวภาพที่ผลิตจากสารกลีเซอรอลชีวภาพซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ปี 2558 ตลาดของอีพ็อกซีเรซินมีมูลค่า 7,990 ล้านดอลลาร์สหรัฐ (ปริมาณ 2.5 ล้านตัน) และคาดว่าในช่วงปี 2560-2565 ตลาดมีอัตราการเติบโตร้อยละ 6 ต่อปี คิดเป็นมูลค่า 9,800 ล้านดอลลาร์สหรัฐ โดยเอเชียแปซิฟิกเป็นตลาดหลักด้วยส่วนแบ่งตลาดร้อยละ 65



Source: Secondary Research, Expert Interviews, and MarketsandMarkets Analysis

รูปที่ 2-12 : ส่วนแบ่งตลาดและอัตราการขยายตัวของตลาดอีพ็อกซีเรซินจำแนกตามภูมิภาค

## ข) การผลิต

ผู้ผลิตสำคัญ ได้แก่ บริษัท Nan Ya Plastics Corporation (ไต้หวัน) กำลังการผลิต 461,000 ตัน Kukdo Chemical Co. Ltd. (เกาหลีใต้) กำลังการผลิต 480,000 ตัน, Olin Corporation (สหรัฐอเมริกา) กำลังการผลิต 85,000 ตัน, Huntsman Corporation (สหรัฐอเมริกา) กำลังการผลิต 11,000 ตัน, Hexion Inc. (สหรัฐอเมริกา) กำลังการผลิต 135,000 ตัน Chang Chung Plastics Co. Ltd. (ไต้หวัน), Aditya Birla Chemicals (ไทย) กำลังการผลิต 80,000 ตัน, the 3M Company (สหรัฐอเมริกา), BASF SE (เยอรมนี), และ Sinopec Corporation (China Olin Corporation (สหรัฐอเมริกา))



รูปที่ 2-13 : บริษัทผู้ผลิตอีพ็อกซีเรซินชั้นนำของโลก

ที่มา : <https://www.marketresearchreports.com/blog/2018/12/28/world%E2%80%99s-top-epoxy-resin-manufacturers>

## (2) สถานภาพประเทศไทย

### ก) การตลาด

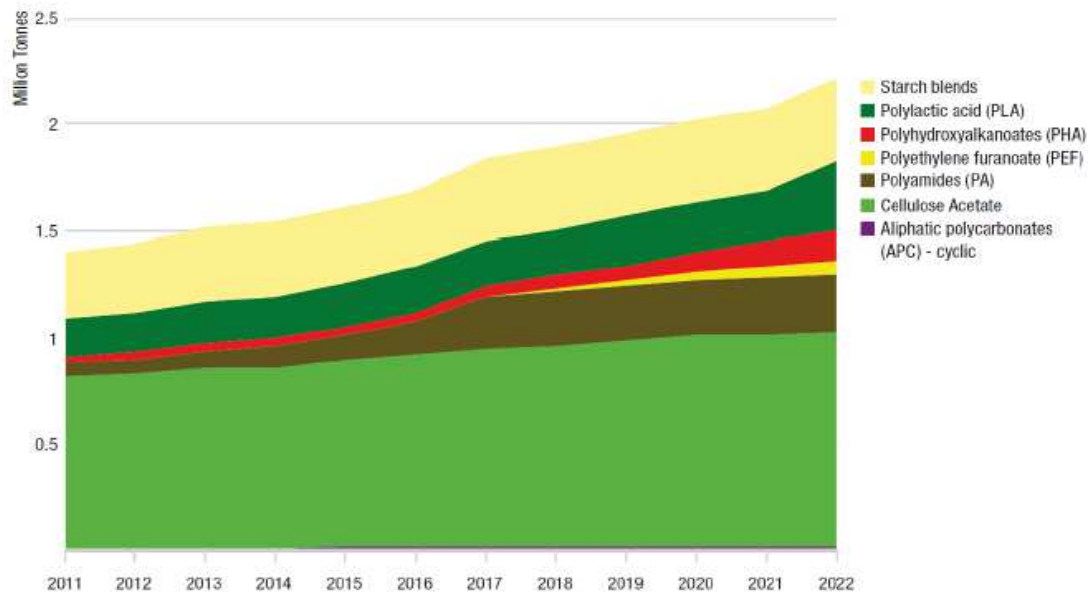
ประเทศไทยมีการนำอีพ็อกซีเรซินไปใช้ประโยชน์ในหลายอุตสาหกรรม เพื่อช่วยในการป้องกันรอยขีดข่วน ช่วยในการยึดเกาะ และทนความร้อน แต่ไม่มีข้อมูลตลาดที่ชัดเจน

### ข) การผลิต

บริษัท Aditya Birla Chemicals มีสำนักงานใหญ่อยู่ในประเทศอินเดีย สำหรับสาขาในประเทศไทย ตั้งอยู่ในนิคมมาบตาพุด จังหวัดระยอง กำลังการผลิตอีพ็อกซีเรซิน 80,000 ตัน/ปี ประเทศไทยมีความพร้อมในการผลิตอีพ็อกซีเรซินมากเนื่องจากมีอีพ็อกซีคลอโรไฮดริน (ECH) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตอีพ็อกซีเรซินจำนวนมาก ปัจจุบัน (ปี 2561) ประเทศไทยส่งออก ECH ประมาณ 80,000 ตัน โดยครึ่งหนึ่งส่งออกไปประเทศอินเดีย รองลงมาได้แก่ เกาหลีใต้ จีน และ สหรัฐอเมริกา ในสัดส่วนร้อยละ 20, 10 และ 9 ตามลำดับ

## 2.3 Dedicated bio-based chemicals

Dedicated bio-based chemicals เป็นกลุ่มสารเคมีที่ได้มาจากวัตถุดิบชีวภาพ และกระบวนการทางชีวภาพซึ่งไม่สามารถผลิตได้จากปิโตรเลียมด้วยกระบวนการทางเคมี ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีการจำหน่ายทางการตลาดแล้ว เช่น PLA และโพลีเอสเตอร์ชีวภาพใหม่ๆ อาทิ PHAs และ PEF แสดงดังรูปที่ 2-14



รูปที่ 2-14 : แนวโน้มกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์ Dedicated bio-based chemicals

ที่มา : Fraunhofer, 2018 อ้างถึง Chinthapalli et al, 2018

#### ข้อดี

- ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีความได้เปรียบในการแข่งขันเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ประเภท drop-in เนื่องจากเป็นสารเคมีชีวภาพชนิดใหม่ จึงไม่ต้องแข่งขันด้านราคา ทำให้มีกำไรต่อหน่วยที่สูงกว่า
- เมื่อเทียบกับสารเคมีชีวภาพ drop-in พบว่า สารเคมีชีวภาพชนิดใหม่มีประสิทธิภาพในการใช้ชีวมวลสูงกว่า เนื่องจากไม่ได้ใช้เพียงแค่ธาตุคาร์บอนในชีวมวลเท่านั้น แต่เพิ่มแร่ธาตุอื่นๆ ในวัตถุดิบ ทั้ง คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน

#### ข้อเสีย

- ความเสี่ยงด้านตลาดและเทคโนโลยีอยู่ในระดับสูง เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ อุตสาหกรรมจำเป็นต้องปรับกระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีใหม่ หรือเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่ เป็นต้น

จากการศึกษาของ Fraunhofer (2018) ระบุว่าสารเคมีในกลุ่มนี้ที่มีศักยภาพประกอบด้วยสารเคมี 6 ชนิด คือ

- Itaconic acid
- 3-Hydroxypropionic acid
- 2,5-Furandicarboxylic acid (FDCA)
- Poly(hydroxyalkanoate) – PHA
- Poly(lactic acid) – PLA
- Alkyl polypentosides (C5-surfactants)

### 2.3.1 สถานภาพอุตสาหกรรม Itaconic acid

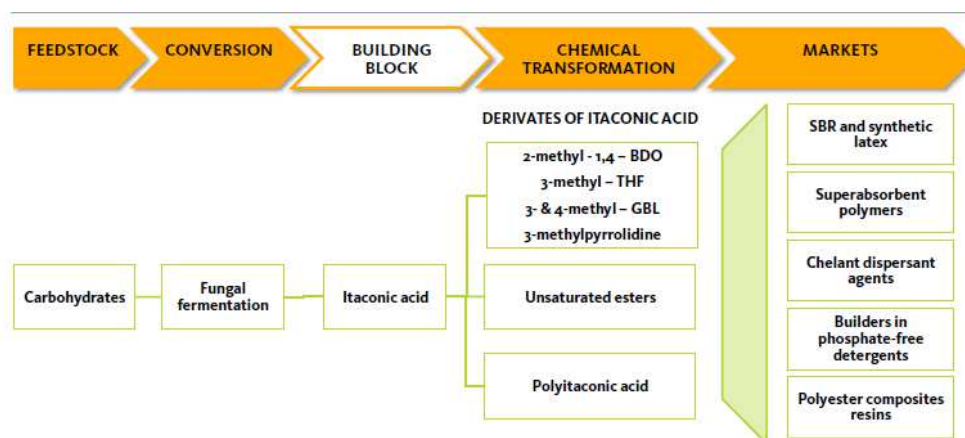
#### (1) สถานภาพต่างประเทศ

##### ก) การตลาด

กรดอิทาโคนิกเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีตลาดจำเพาะ มีคุณสมบัติพิเศษ เช่น ความสามารถในการยึดเกาะ ทนทาน ย่อยสลายได้และปลอดภัย อุตสาหกรรมที่ใช้กรดอิทาโคนิกมาก เช่น พรม โพลีเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว สี สิ่งทอ และพลาสติกชีวภาพ มีการคาดการณ์ว่ามูลค่าตลาดกรดอิทาโคนิกชีวภาพจะเติบโตจาก 83.8 ล้านดอลลาร์สหรัฐในปี 2560 เป็น 102.3 ล้านดอลลาร์สหรัฐในปี 2565 ด้วยอัตราการเติบโตร้อยละ 4 ต่อปี (Markets and Markets, 2018).

##### ข) การผลิต

การผลิตกรดอิทาโคนิกทางชีวภาพเริ่มต้นตั้งแต่ปี 2483 (Kuenz และคณะ 2012) โดยใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตโพลิเมอร์ (เช่น กรด poly-itaconic และเส้นใยทดแทนกรดอะคริลิก) สารเคมี (สไตรีนและ 2-methyl-1,4-butanediol) และเชื้อเพลิง (Zhao และคณะ, 2018) ปัจจุบันการผลิตกรดอิทาโคนิกทั่วโลกอยู่ที่ 40,000-80,000 ตัน (Brar et al., 2016) ผู้ผลิตหลักประกอบด้วย DSM (เนเธอร์แลนด์) Chengdu Lucky Biology Engineering Industry, Itaconix Lucite International Group, Nanjing Huajin Biologicals และ Qingdao Langyatai Group ทั้งนี้ คาดว่าปี 2565 ปริมาณการผลิตอิทาโคนิกทางชีวภาพจะเพิ่มเป็น 400,000 ตัน/ปี



รูปที่ 2-15 : ห่วงโซ่มูลค่าของ bio-based itaconic acid  
ที่มา : WEASTRA s.r.o., 2013

#### (2) สถานภาพประเทศไทย

##### ก) การตลาด

ไม่มีข้อมูลตลาดที่ชัดเจน

##### ข) การผลิต

ไม่มีการผลิตในประเทศไทย

## 2.3.2 สถานภาพอุตสาหกรรม 3-Hydroxypropionic acid

### (1) สถานภาพต่างประเทศ

#### ก) การตลาด

กรด 3-hydroxypropionic เป็นสารตั้งต้นในการผลิตกรดอะคริลิก (acrylic acid), 1,3-propanediol, methyl acrylate, ethyl 3-HP, malonic acid, propiolactone และ acrylonitrile คาดว่าตลาดจะมีมูลค่าเพิ่มเป็น 3.6 ล้านตัน/ปี

#### ข) การผลิต

บริษัท OPX ซึ่งเป็นบริษัทเทคโนโลยีชีวภาพของสหรัฐอเมริกาที่จดสิทธิบัตรการปรับปรุงพันธุกรรมเชื้อ *E. coli* เพื่อผลิต 3-HPA และพัฒนากระบวนการหมักที่ระดับ 250 ลิตร (TRL5) ต่อมาบริษัท Cargill ได้ควมรวมบริษัท OPX และพัฒนากระบวนการหมัก 3-HP ให้เป็นกรดอะคริลิกชีวภาพ (bio-based acrylic acid) นอกจากนี้ยังมีบริษัทเทคโนโลยีชีวภาพอื่นๆ เช่น Novozymes, Verdant Bioproduct พัฒนากระบวนการผลิต 3-HP เช่นกัน แต่ยังไม่มีการผลิต 3HP ในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากยังไม่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ

### (2) สถานภาพประเทศไทย

#### ก) การตลาด

ยังไม่มีจำหน่ายในตลาด

#### ข) การผลิต

ไม่มีการผลิตในประเทศไทย

## 2.3.3 สถานภาพอุตสาหกรรม 2,5-Furandicarboxylic acid (FDCA)

### (1) สถานภาพต่างประเทศ

#### ก) การตลาด

2,5-Furandicarboxylic acid (FDCA) เป็นวัตถุดิบในการผลิต PEF หรือ Polyethylenefuranoate ถ้าเปรียบเทียบกับพลาสติกทั่วไป PEF มีความแข็งแรงและทนทานมากกว่า นอกจากนี้ FDCA ยังใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายทั้งบรรจุภัณฑ์ สิ่งทอ พลาสติก เส้นใย เป็นต้น

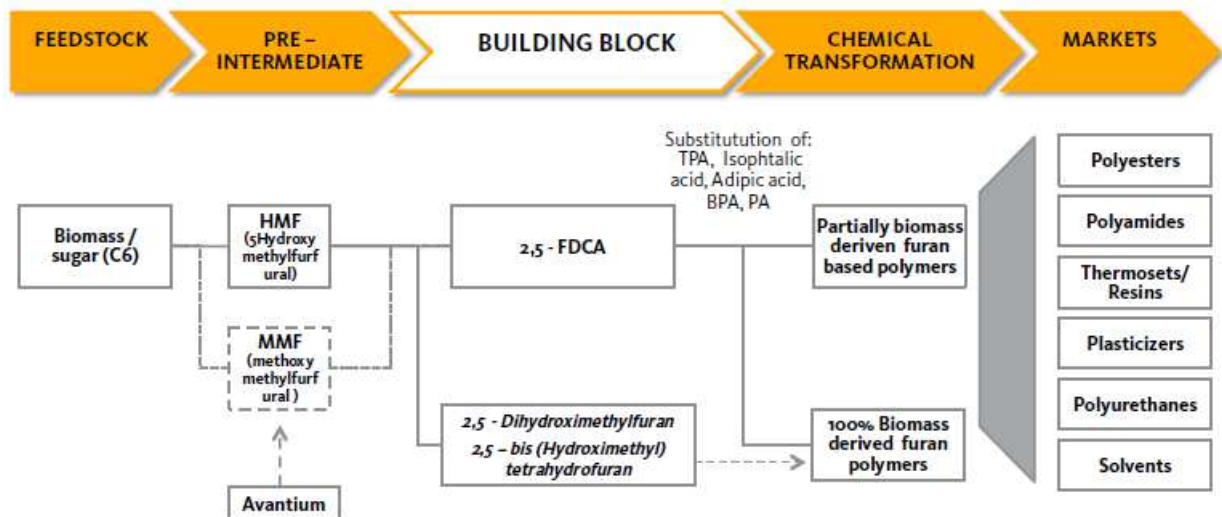
ในปี 2559 มูลค่าตลาดของ FDCA อยู่ที่ประมาณ 300 ล้านดอลลาร์สหรัฐ และคาดว่ามูลค่าตลาดจะเพิ่มเป็น 700 ล้านดอลลาร์สหรัฐในปี 2568 มีอัตราการเติบโตร้อยละ 8.2 ต่อปี ตลาดเอเชียแปซิฟิกโดยเฉพาะประเทศจีนเป็นตลาดที่มีอัตราการขยายตัวของความต้องการใช้ FDCA มากที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติในการย่อยสลายที่ดีเหมาะสมสำหรับเป็นบรรจุภัณฑ์

## ข) การผลิต

1) บริษัท Avantium และ BASF ได้ร่วมมือกันจัดตั้งบริษัท Synvina เมื่อปี 2559 มีเป้าหมายเพื่อการผลิต FDCA ในระดับอุตสาหกรรม ด้วยการใช้เทคโนโลยีที่พัฒนาจากบริษัท Avantium มาทดลองผลิตโดยใช้โรงงานของ BASF และมีแผนตั้งโรงงานผลิต FDCA อย่างไรก็ดี แผนการเปิดโรงงานจำเป็นต้องเลื่อนออกไปเนื่องจากทั้งสองฝ่ายมีความเห็นที่ไม่ตรงกัน และล่าสุด (ปี 2561) บริษัท Avantium ได้ซื้อหุ้นจากบริษัท BASF ทั้งหมด ทำให้ปัจจุบันบริษัท Synvina เป็นบริษัทลูกของ Avantium ซึ่งบริษัทยังคงยืนยันว่าจะผลักดันการผลิต FDCA ให้เป็นไปตามแผนเดิมที่กำหนดไว้ (Synvina,2019) โดย FDCA ที่ผลิตเน้นใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวัสดุทางการแพทย์

2) บริษัท AVA Biochem มีแผนการผลิต FDCA แบ่งเป็น 2 ระยะ ประกอบด้วยระยะที่ 1 มีเป้าหมายผลิต 30,000 ตัน/ปี และเพิ่มเป็น 120,000 ตัน/ปี ซึ่งเป็นระดับการผลิตแบบเต็มกำลัง โดยเริ่มต้นด้วยการผลิต 5-HMF ซึ่งบริษัทมีความพร้อมทางเทคโนโลยีในเชิงพาณิชย์แล้ว และคาดว่าจะผลิต FDCA ในปี 2563 เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิต FDCA ยังอยู่ในระดับสาธิต (TRL) 4-6

3) บริษัท Corbion มีเป้าหมายผลิต FDCA เช่นกัน โดยใช้ประสบการณ์/ความเชี่ยวชาญของเทคโนโลยีการหมัก และเทคโนโลยี Downstream processing ในกระบวนการผลิตแลกติกมายาวนานกว่า 80 ปี



รูปที่ 2-16 : ห่วงโซ่มูลค่าของ bio-based Furandicarboxylic acid

ที่มา : WEASTRA s.r.o., 2013

## (2) สถานภาพประเทศไทย

### ก) การตลาด

ไม่มีข้อมูลตลาดที่ชัดเจน

### ข) การผลิต

ไม่มีการผลิตในประเทศไทย แต่มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี

## 2.3.4 สถานภาพอุตสาหกรรม Polyhydroxyalkanoate (PHA)

### ก) การตลาด

Polyhydroxyalkanoates เป็นโพลีเอสเตอร์ชีวภาพที่สังเคราะห์ขึ้นภายในเซลล์สิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรีย จึงมีคุณสมบัติย่อยสลายได้ มีความแข็งแรง และยืดหยุ่นที่ดี PHA เป็นพลาสติกประเภทพอลีเอสเตอร์ (Polyester) ที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับพลาสติกสังเคราะห์จากปิโตรเลียม เช่น พอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีน นำมาประยุกต์ใช้กับวัสดุที่หลากหลายโดยเฉพาะการใช้งานด้านการแพทย์ และบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร

ในปี 2559 ตลาด PHA มีมูลค่า 73.6 ล้านดอลลาร์สหรัฐ และคาดว่าจะเพิ่มเป็น 93.5 ล้านดอลลาร์สหรัฐในปี 2564 โดยมีอัตราการขยายตัวร้อยละ 5 ต่อปี

### ข) การผลิต

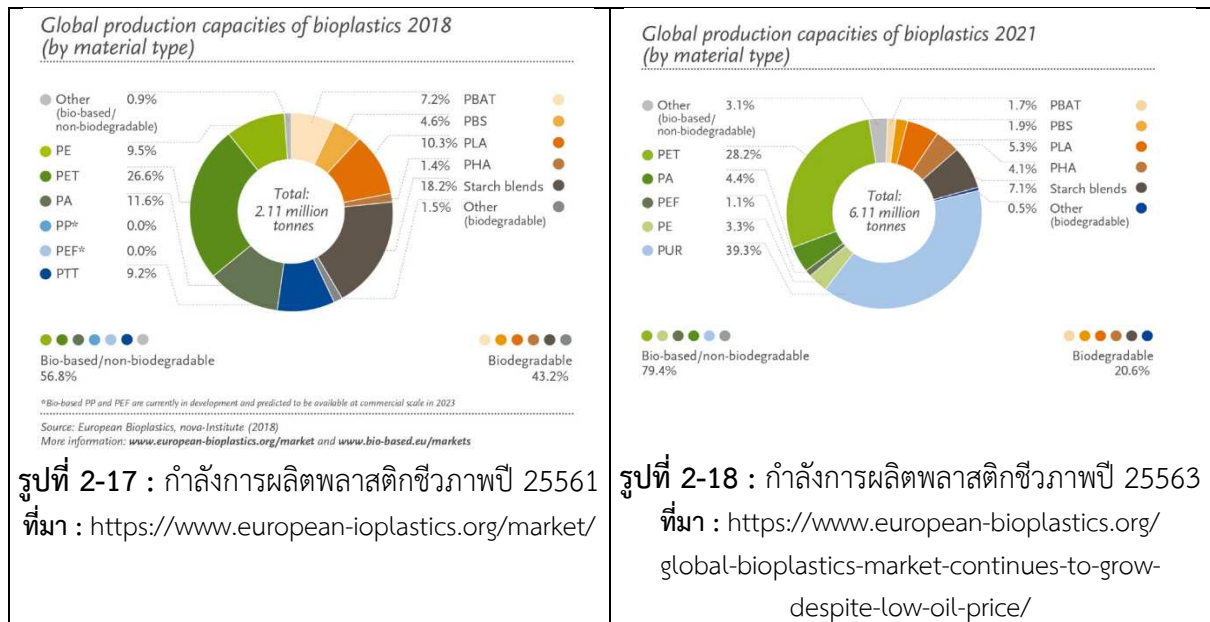
ปี 2560 ทั่วโลกมีการผลิต PHA ในปริมาณ 0.03 ล้านตัน มีบริษัทมากกว่า 40 แห่งพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต PHA ผู้ผลิตรายใหญ่ที่สุดคือ Newlight Technologies มีกำลังการผลิต 23,000 ตัน/ปี Danimer Scientific มีกำลังการผลิต 13,600 ตัน/ปี Bio-On และ Tianjin GreenBio Materials กำลังการผลิตแห่งละ 10,000 ตัน/ปี ทั้งนี้คาดว่าปี 2564 ปริมาณการผลิต PHA จะเพิ่มเป็น 0.25 ล้านตันหรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 5 ของมูลค่าการผลิตพลาสติกชีวภาพรวม

ตารางที่ 2-6 : ผู้ผลิต Polyhydroxyalkanoates (PHA) รายหลักของโลกปี 2060

Company	Country	Capacity (t/year)	Feedstock	Brand Name	PHA Type	Refs
Newlight Technologies	USA	23,000	Biogas and CO <sub>2</sub>	AirCarbon™	n.r.	[5,31]
Danimer Scientific (previously MHG)	USA	13,600	Canola oil	Nodax™	n.r.	[5,43]
Bio-On	Italy	10,000	Sugar beet and cane	Minerv®	PHB, PHBV	[47,52]
Tianjin GreenBio Materials	China	10,000	Sugars	SoGreen™	P(3HB-co-4HB)	[46]
Ecomann Biotechnology	China	3000	Sugars	AmBio®	n.r.	[47]
TianAn Biopolymers	China	2000	Corn Sugar	ENMAT™	P3HB, PHBV	[48]
Kaneka	Japan	1000	Vegetable oil	Aonilx®	PHH	[47]
PHB Industrial S. A.	Brazil	500	Sugar cane	Biocycle®	P3HB, PHBV	[52-54]
Biomer	Germany	500	Corn starch	Biomer®	P3HB	[52]
Tepha Inc.	USA	<10	Sugars, 4HB precursors	TephaFLEX®	P4HB, P(3HB-co-4HB)	[5,52]
PolyFerm Canada	Canada	<10	Vegetable oils, sugars	VersaMer™	PHOHHx, PHNHHIp	[5,52]
Terra Verdae Bioworks	Canada	n.r.	Methanol	-	n.r.	[55]
Yield10 Bioscience (previously, Metabolix <sup>1</sup> , Monsanto, Zeneca)	USA	n.r.	Corn sugar	Mirel™	P3HB	[5,10]
Mango Materials	USA	n.r.	Methane	-	PHB	[56]
SIRIM	Malaysia	n.r.	Palm Oil	-	n.r.	[57]

<sup>1</sup> in 2016, Metabolix sold its biopolymer IP and assets to CJ CheilJedang.

ที่มา : L. J. Vandi and et al, 2018



### 2.3.5 สถานภาพอุตสาหกรรม Polyactic acid (PLA)

#### (1) สถานภาพต่างประเทศ

Polyactic acid (PLA) เป็นโพลีเอสเทอร์เทอร์โมพลาสติกที่มีการใช้มากที่สุดในโลก PLA ผลิตจากกรดแลคติกซึ่งเป็นกรดไฮโดรไลต์อินทรีย์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิ วัสดุเครื่องสำอาง ยา เคมีภัณฑ์ อาหาร อุปกรณ์การแพทย์ คุณสมบัติสำคัญของ PLA ประกอบด้วย

- ความแข็งแรงเชิงกลสูง
- ระดับสารพิษต่ำ
- คุณสมบัติการเป็นฉนวนที่ดี (ความชื้น ความร้อน)
- ความทนทานเชิงกลสูง
- รูปลักษณ์ดี
- ทนทานสารเคมี
- ทนต่อรังสียูวี
- การติดไฟและควันต่ำ

#### ก) การตลาด

ในปี 2559 ตลาด PLA มีมูลค่า 1.29 พันล้านเหรียญสหรัฐ คาดว่าระหว่างปี 2560-2568 ตลาดจะมีอัตราการเติบโตร้อยละ 20 ปัจจัยสนับสนุนที่สำคัญ ได้แก่ นโยบายสนับสนุนจากรัฐบาล ข้อกังวลเกี่ยวกับสภาพแวดล้อม ราคาของปิโตรเลียมที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น เยอรมนีออกกฎหมายบรรจุภัณฑ์ฉบับใหม่มีผลบังคับใช้วันที่ 1 มกราคม 2562 ครอบคลุมการคิดค่าธรรมเนียมเพื่อจัดการบรรจุภัณฑ์ และมุ่งใจใช้วัสดุรีไซเคิลและหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ทั้งนี้เพื่อรองรับการส่งเสริมการใช้พลาสติกชีวภาพ กระทรวงอาหารและเกษตรของเยอรมันได้ศึกษาเกี่ยวกับการคัดแยกพลาสติก PLA ออกจากพลาสติกทั่วไป โดยใช้เทคโนโลยีคลื่นแสงอินฟราเรดใกล้ (near infrared spectroscopy) เพื่อให้การนำกลับมาใช้ใหม่มีความคุ้มค่ามากขึ้นเมื่อมีปริมาณการใช้พลาสติกชีวภาพเพิ่มมากขึ้น (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2560)

## ข) การผลิต

ความสามารถในการผลิตพลาสติกชีวภาพของโลกเพิ่มขึ้นจาก 2.05 ล้านตันในปี 2560 เป็น 2.44 ล้านตันในปี 2565 ในจำนวนนี้ PLA มีสัดส่วนประมาณ 0.2 ล้านตันหรือคิดเป็นร้อยละ 10 ของปริมาณพลาสติกชีวภาพ โดยมีผู้ผลิตหลัก ดังนี้



รูปที่ 2-19 : ปริมาณกำลังการผลิต PLA ของผู้ผลิตรายสำคัญของโลก

ที่มา : Global and china Lactic and Derivative Industry Report, Research in China

บริษัท NatureWorks เป็นบริษัทแรกที่ผลิต PLA ในเชิงพาณิชย์ โดยเริ่มในปี 2540 ด้วยผลงานวิจัยของบริษัทคาร์กิลล์ (Cargill) ต่อมาบริษัทคาร์กิลล์ได้ร่วมทุนกับบริษัทดาว เคมิคอล ภายใต้ชื่อ Cargill Dow Polymers applied จึงได้เริ่มการผลิต PLA ในปี 2544 โดยโรงงานตั้งอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้เครื่องหมายการค้าว่า “NatureWorks” ปี 2548 บริษัทดาวเคมิคอลขายหุ้นทั้งหมดให้คาร์กิลล์ และเปลี่ยนชื่อเป็นบริษัท NatureWorks หลังจากนั้น ปี 2550 บริษัทคาร์กิลล์ได้ร่วมทุนกับบริษัทญี่ปุ่นที่ชื่อว่า Teijin แต่ในเดือนกรกฎาคม 2552 บริษัท Teijin ได้ยุติความเป็นหุ้นส่วนโดยให้เหตุผลว่าบริษัทมีความจำเป็นต้องปรับโครงสร้างทางธุรกิจ หลังจากนั้นในเดือนตุลาคม ปี 2554 บริษัท พีทีทีเคมิคอลได้ร่วมลงทุนด้วยมูลค่า 150 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ โดยมีเป้าหมายสร้างโรงงานผลิต PLA แห่งที่ 2 ในประเทศไทย อย่างไรก็ตาม ด้วยสถานการณ์ทางการตลาดที่ไม่เป็นไปตามที่ประเมินไว้ จึงยังไม่มีโครงการก่อสร้างโรงงานผลิต PLA ในประเทศไทย ณ ขณะนี้

นอกจากนี้ ยังมีบริษัทผู้ผลิต PLA ได้แก่ บริษัท Pyramid Bioplastics เป็นบริษัทร่วมทุนระหว่าง Switzerland’s Pyramid Technologies Ltd. และ German Bioplastics GmbH โรงงานตั้งอยู่ในประเทศเยอรมนี มีกำลังการผลิต PLA ประมาณ 60,000 ตัน บริษัท Synbra ตั้งอยู่ในประเทศเนเธอร์แลนด์มีกำลังการผลิต 50,000 ตัน และบริษัท Zhejiang Hisun Biomaterials เป็นบริษัทร่วมทุนระหว่างบริษัท Zhejiang Hisun Group ซึ่งมีสภาวิทยาศาสตร์แห่งชาติจีน (Chinese Academy of Science, CAS) เป็นผู้ถือหุ้น และ Taizhou Jiaojiang ซึ่งเป็นบริษัทของรัฐบาล

## (2) สถานภาพประเทศไทย

### ก) การตลาด

การใช้ PLA ในประเทศไทยยังมีปริมาณจำกัดโดยปี 2561 ประเทศไทยนำเข้า PLA จำนวน 867 ตัน มูลค่า 64.20 ล้านบาท มากกว่าร้อยละ 80 เป็นการนำเข้าจากประเทศสหรัฐอเมริกา (บริษัท NatureWorks) ปริมาณการนำเข้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากปี 2560 ที่มีปริมาณการนำเข้าอยู่ที่ 550 ตัน

ประเทศไทยมีการส่งออก PLA โดยปี 2561 ประเทศไทยส่งออก PLA จำนวน 2,421 ตัน ร้อยละ 65 ส่งไปยังประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งคาดว่าจะเป็นการส่งออกไปจากบริษัท Total Corbion เพื่อนำไปจำหน่ายต่อยังสหภาพยุโรป

### ข) การผลิต

1) บริษัท Total Corbion เป็นบริษัทร่วมทุนระหว่างบริษัท Total บริษัทน้ำมันที่เป็นผู้ผลิต PLA รายใหญ่อันดับต้นๆ ของโลก และ Corbion ผู้ผลิตกรดแลคติกซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิต PLA รายใหญ่ของโลก โดยโรงงานตั้งอยู่ในจังหวัดระยอง มีกำลังการผลิต PLA จำนวน 75,000 ตัน

2) บริษัทโกลบอลกรีนเคมีคอล (GGC) ร่วมกับบริษัท เกษตรไทย อินเตอร์เนชั่นแนล ซูการ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) หรือ KTIS มีแผนผลิต PLA รวมถึงผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น กรดแลคติก ชักซินิก ชีวภาพ 1,4 -บิวเทนไดออล และเพอร์ฟลูรีนในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์

## 2.3.6 สถานภาพอุตสาหกรรม Bio-based Surfactants

สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ เป็นสารปรับสภาพของเหลวที่มีเสถียรภาพ ทำให้เกิดโฟม มีความเป็นพิษต่ำ และย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีการนำสารนี้ไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิ Methyl ether sulfonates (MES) คิดเป็นส่วนแบ่งร้อยละ 35 ตามมาด้วยการผลิต alkyl polyglucosides (APG) และ aucrose Esther เมื่อแบ่งประเภทการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ขั้นปลายได้แก่ การผลิตสารซักล้าง เครื่องใช้ส่วนบุคคล สิ่งทอ อุตสาหกรรมทำความสะอาด ผลิตภัณฑ์เคมี อาหารและเครื่องดื่ม สารกำจัดศัตรูพืช

## (1) สถานภาพต่างประเทศ

### ก) การตลาด

ปี 2559 ตลาดสารลดแรงตึงผิวชีวภาพมีมูลค่า 12.89 พันล้านเหรียญสหรัฐ มีอัตราการเติบโตร้อยละ 5.1 ต่อปี ภายในปี 2565 มูลค่าตลาดสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจะมีมูลค่า 17.27 พันล้านเหรียญสหรัฐ (Markets and Markets, 2018)

### ข) การผลิต

ผู้ผลิตสำคัญคือ AkzoNobel (เนเธอร์แลนด์), BASF (เยอรมนี), The Dow Chemical Company (สหรัฐอเมริกา), Croda International (สหราชอาณาจักร), Huntsman (สหรัฐอเมริกา), Clariant (สวิตเซอร์แลนด์), Stepan Company (สหรัฐอเมริกา) and Kao Corporation (ญี่ปุ่น)

## (2) สถานภาพประเทศไทย

### ก) การตลาด

ประเทศไทยมีการนำเข้าสารลดแรงตึงผิวประมาณ 3,500 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่าประมาณ 4 ล้านบาท โดยนำเข้าจากญี่ปุ่น เบลเยียม และ สวิสเซอร์แลนด์

### ข) การผลิต

ไม่มีการผลิตในประเทศไทย

## 2.4 สารประกอบที่ให้คุณสมบัติพิเศษ

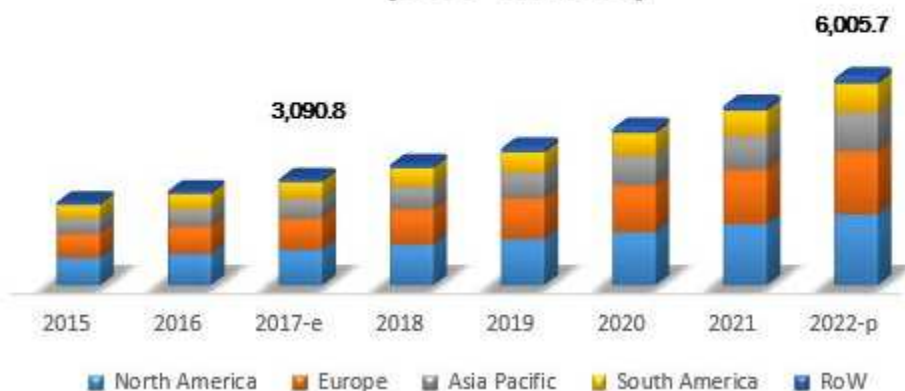
สารประกอบที่ให้คุณสมบัติพิเศษ (Functional Ingredients) เป็นสารสกัดจากพืช/สมุนไพร โปรตีน และเอนไซม์จากสัตว์ เซลล์จุลินทรีย์หรือเป็นผลิตภัณฑ์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น เช่น กรดไขมัน สารชีวภัณฑ์ รวมไปถึงสารและสูตรของสารที่ทำให้เหมาะสมต่อการบริโภค เช่น อาหารที่ง่ายต่อการบดเคี้ยวและการกลืน อาหารสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ อาหารสุขภาพสำหรับผู้บริโภคป่วยเฉพาะกลุ่ม สารทดแทนน้ำตาล สารทดแทนไขมัน สาร Hydrocolloids และพรีไบโอติกส์ (วรรณพ วิเศษสงวน และปัทมาพร ประชุมรัตน์, 2560)

### 2.4.1 จุลินทรีย์ที่ให้คุณสมบัติพิเศษ (Functional microbe)

ประโยชน์ของการใช้จุลินทรีย์มีทั้งการเพิ่มกลิ่น รสชาติ เพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหาร ยืดอายุผลิตภัณฑ์ ยับยั้งการเติบโตของเชื้อก่อโรค ใช้เป็นตัวเร่งชีวภาพ เป็นโรงงานผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ทำให้กระบวนการผลิตเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงลดการใช้ปัจจัยการผลิตทั้งสารเคมี น้ำ และพลังงาน ทั้งนี้ความต้องการใช้จุลินทรีย์ในตลาดโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมาก

**จุลินทรีย์ทางการเกษตร** มีการนำไปใช้เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน รวมทั้งเป็นผลิตภัณฑ์ในการดูแลสุขภาพพืช (crop protection) ตลาดจุลินทรีย์ทางการเกษตรคาดว่าจะมีมูลค่าเพิ่มจาก 3 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 2560 เพิ่มขึ้นเป็น 6 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 2565 โดยมีอัตราการขยายตัวร้อยละ 14.21 ต่อปี สาเหตุมาจากผู้บริโภคต้องการสินค้าเกษตรที่มีความปลอดภัย รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วยระบบเกษตรอินทรีย์ ทวีปอเมริกาเหนือเป็นกลุ่มประเทศที่มีการใช้จุลินทรีย์ทางการเกษตรมากที่สุดในโลก เนื่องจากสหรัฐอเมริกามีการลดความยุ่งยากในการขึ้นทะเบียน ขอข้อมูลเท่าที่จำเป็น พัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการสนับสนุนการทดสอบประสิทธิภาพทำให้ต้นทุนการขึ้นทะเบียนลดลงและใช้เวลาสั้นลง ผลของการปฏิรูปกระบวนการขึ้นทะเบียนส่งผลให้มีผลิตภัณฑ์จำหน่ายเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดประการสำคัญของการใช้จุลินทรีย์ทางการเกษตรคือการมีอายุการเก็บรักษาที่สั้น (6-24 เดือน) เมื่อเปรียบเทียบกับสารเคมีที่มีอายุการเก็บรักษา 2-4 เดือน ขณะที่สหภาพยุโรปจะเป็นตลาดที่มีอัตราการขยายตัวของตลาดสูงสุด อันเป็นผลจากการห้ามใช้สารเคมีทางการเกษตร และเกษตรให้ความสำคัญกับการปลูกพืชอินทรีย์เพิ่มขึ้น (Markets and Markets)

## Agricultural Microbials Market, By Region (USD Million)



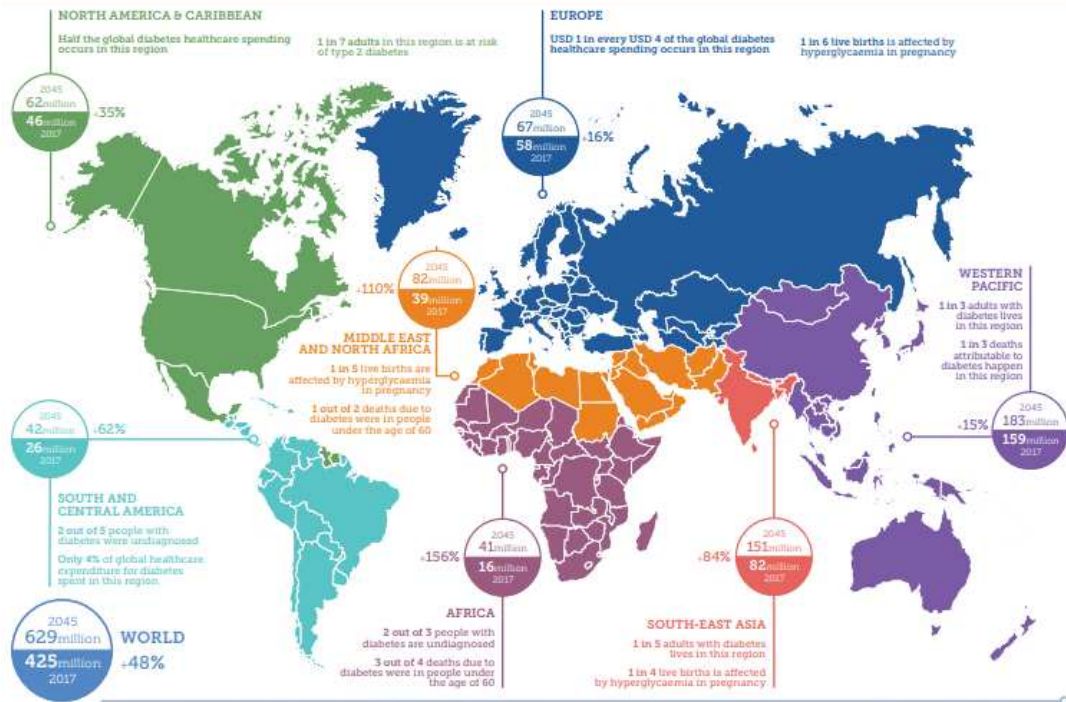
รูปที่ 2-20 : ตลาดจุลินทรีย์ทางการเกษตรปี 2560-2565 จำแนกตามภูมิภาค  
ที่มา : Markets and Markets

**จุลินทรีย์สำหรับอาหารสัตว์** หรือ โปรไบโอติก (probiotic) ซึ่งอาจอยู่ในรูปเชื้อชนิดเดียวหรือเชื้อผสม เพื่อประโยชน์ต่อการเติบโตของสัตว์ เพิ่มภูมิคุ้มกัน เพิ่มความสามารถในการย่อยและดูดซึมสารอาหาร เพิ่มอัตราแลกเนื้อ จึงช่วยลดต้นทุนการผลิต การใช้โปรไบโอติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากนโยบายห้ามใช้สารปฏิชีวนะในการเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากมีผลงานวิจัยชี้ว่าการใช้สารปฏิชีวนะติดต่อกันเป็นเวลานานอาจทำให้เชื้อดื้อยา เชื้อเกิดการแพร่กระจายไปสู่สัตว์หรือสู่คนผ่านทางโซ่อาหารหรืออาจรุนแรงถึงขั้นทำให้ผู้บริโภคเกิดการดื้อต่อยา รักษาโรค และการบริโภคเนื้อสัตว์หรือผลิตภัณฑ์สัตว์ที่มียาปฏิชีวนะตกค้างเป็นเวลานานอาจมีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งอีกด้วย

มูลค่าตลาดโปรไบโอติกคาดว่าจะเพิ่มเป็น 630 ล้านดอลลาร์สหรัฐในปี 2565 โดยโปรไบโอติกใช้เป็นสารผสมสำหรับอาหารสัตว์เพื่อให้สัตว์มีสุขภาพดี การขยายตัวของตลาดโปรไบโอติกมาจากความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์ที่เพิ่มขึ้น ความต้องการผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกษตรกรต้องการอาหารสัตว์ที่มีผลต่อการเร่งการเติบโตและดูแลสุขภาพของสัตว์ (Nordor intelligence,2018) ด้วยเหตุนี้ บริษัทชั้นนำในด้านนี้จึงต่างมีเป้าหมายขยายการผลิต เป็นต้นว่าบริษัท NutriAd มีการเปิดโรงงานแห่งใหม่ในประเทศจีน หรือบริษัท คูปองท์มีแผนขยายการผลิตในสหรัฐอเมริกา รวมถึงบริษัท Arm & Hammer Animal Nutrition ซึ่งบริษัท Agro Biosciences ซึ่งเป็นบริษัทที่มีความเชี่ยวชาญด้านจีโนมิกส์ซึ่งจะช่วยสร้างความได้เปรียบให้กับบริษัท

### 2.4.2 คาร์โบไฮเดรตให้คุณสมบัติพิเศษ (Functional carbohydrates)

ความต้องการสารที่ให้คุณสมบัติพิเศษทางด้านคาร์โบไฮเดรต ซึ่งครอบคลุมเส้นใยอาหาร functional polysaccharides, functional oligosaccharides, sugar alcohols, and other functional monosaccharides Grand View Research (2016) คาดการณ์ว่ามูลค่าตลาดจะเพิ่มเป็น 9.84 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี 2567 การเติบโตของตลาดในกลุ่มนี้มาจากจำนวนผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันมีผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวานทั่วโลกมากกว่า 425 ล้านคน และคาดว่าจำนวนผู้ป่วยเบาหวานจะเพิ่มเป็น 629 ล้านคนในปี 2588 (IDF Diabetes Atlas,2017) ส่งผลให้ผู้บริโภคต้องการอาหารที่ช่วยในการควบคุมน้ำหนักและมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (Glycemic Index;GI)



รูปที่ 2-21 : ประชากรที่ป่วยเป็นโรคเบาหวานจำแนกตามภูมิภาค  
ที่มา : IDF Diabetes Atlas,2017

ผลิตภัณฑ์อาหารที่ไร้กลูเตนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน ปัจจุบันมีผู้บริโภคที่แพ้กลูเตนทั่วโลกประมาณร้อยละ 1 โดยผู้บริโภคในทวีปอเมริกาและยุโรปมีปัญหาการแพ้กลูเตนมากกว่าผู้บริโภคในทวีปอื่นๆ นอกจากนี้ การก้าวสู่สังคมผู้สูงอายุทำให้มีความต้องการอาหารรูปแบบใหม่ที่เหมาะสมต่อการบริโภคทั้งการบดเคี้ยวและการกลืน เป็นต้น ส่งผลให้ความต้องการอาหารสำหรับผู้สูงอายุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน

### 2.4.3 ไขมันที่ให้คุณสมบัติพิเศษ (Functional lipid)

กรดไขมันที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากอยู่ในกลุ่มกรดไขมันไม่อิ่มตัว โอเมก้า 3 และ โอเมก้า 6 (w-3 and w-6 fatty acids) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่อยู่หลายพันธะ หรือที่เรียกว่า polyunsaturated fatty acid (PUFA) ปัจจุบันมีการนำ PUFA ไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมยา อาหารเสริมบำรุงสุขภาพ เครื่องสำอาง และอาหารสัตว์ ทั้งนี้แหล่งผลิต PUFA มาจากแหล่งธรรมชาติ เช่น ปลา จากพืช น้ำมัน รวมไปถึงจุลินทรีย์ที่ เช่น ราในกลุ่ม Mucorales มีการสร้างและสะสม w-6 PUFA ชนิดแกมมาลิโนเลนิก (-linolenic acid, GLA) ซึ่งกรดไขมัน GLA เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมน (hormone-like compound) ที่เรียกว่า eicosanoids ที่มีหน้าที่ในการควบคุมระบบการทำงานต่างๆ ภายในร่างกายให้เป็นไปอย่างปกติ เช่น ระบบไหลเวียนโลหิต ระบบสืบพันธุ์ ระบบภูมิคุ้มกัน และระบบประสาท เป็นต้น [Simpoulos, 2002] จากความรู้ดังกล่าวจึงได้มีการนำเอา GLA ไปประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ โดยใช้ในการบรรเทาอาการและรักษาโรคหลายชนิด รวมทั้งใช้เป็นอาหารเสริมบำรุงสุขภาพ

#### 2.4.4 โปรตีนให้คุณสมบัติพิเศษ (functional protein)

โปรตีนให้คุณสมบัติพิเศษที่เป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอาหาร คาดว่าปี 2560 ตลาดโปรตีนให้คุณสมบัติพิเศษมีมูลค่า 2,890 ล้านดอลลาร์สหรัฐ และคาดว่ามูลค่าตลาดจะเพิ่มเป็น 7,450 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี 2568 มีอัตราการขยายตัวร้อยละ 7.5 ต่อปี ตลาดเอเชียและแปซิฟิกมีสัดส่วนประมาณหนึ่งในสามของมูลค่าตลาด ประเทศจีนและอินเดียมีอัตราการขยายตัวของตลาดสูงสุด นอกจากนี้โปรตีนให้คุณสมบัติพิเศษสกัดได้จากพืชหรือสัตว์แล้ว ยังสามารถผลิตได้จากจุลินทรีย์ เช่น เอนไซม์

เอนไซม์เป็นโปรตีนที่สร้างโดยสิ่งมีชีวิต มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง เพื่อใช้ในการสังเคราะห์องค์ประกอบภายในเซลล์ ระบบการย่อยอาหารมี โดยเอนไซม์มีหน้าที่เป็นตัวเร่งในการย่อยอาหารให้สมบูรณ์ ทำให้ร่างกายได้รับสารอาหารที่มีคุณภาพแล้วนำไปใช้ได้ประโยชน์ได้เต็มประสิทธิภาพ นอกจากนี้เอนไซม์ยังมีหน้าที่ช่วยทำให้ระบบภูมิคุ้มกันแข็งแรง ช่วยสร้างโปรตีนในกล้ามเนื้อ เป็นต้น นอกจากนี้เอนไซม์ยังช่วยเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมีในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม รวมถึงทำให้กระบวนการผลิตที่ได้มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

#### 2.5 สรุป

จากข้อมูลสถานการณ์และแนวโน้มความต้องการของตลาดไบโอรีไฟเนอริซีชี้ให้เห็นว่าตลาดมีความต้องการผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม Smart Drop-in Dedicated chemicals เพิ่มขึ้น รวมถึงผลิตภัณฑ์ เนื่องจากทิศทางการพัฒนาของโลกมุ่งสู่การต้องการผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ตอบโจทย์ความต้องการของอนาคต เป็นโอกาสและทิศทางที่ประเทศไทยควรพิจารณาลงทุน

## บทที่ 3

### สถานภาพการพัฒนาเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรีของโลกและประเทศไทย

เนื้อหาในบทนี้เป็นการนำเสนอสถานภาพความก้าวหน้าและทิศทางการพัฒนาเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรีของโลกทั้งในส่วนของเทคโนโลยีต้นน้ำและปลายน้ำ เพื่อเป็นฐานในการกำหนดเป้าหมายการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีของประเทศไทย

#### 3.1 พัฒนาการของแนวคิดการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี

ไบโอรีไฟเนอรี (Biorefinery) คือการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการแปรรูป (Conversion Technology) แบบบูรณาการ โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการแปรรูปชีวมวลด้วยกระบวนการทางกายภาพ เคมี และ/หรือชีวภาพ ให้เป็นผลิตภัณฑ์ฐานชีวภาพ (Bio-based products) ได้แก่ เชื้อเพลิง/พลังงาน เคมีภัณฑ์ วัสดุชีวภาพ/พลาสติกย่อยสลายได้ อาหาร อาหารสัตว์ เครื่องสำอาง และยา โดยมุ่งเน้นให้เกิดความยั่งยืนของกระบวนการผลิต ซึ่งเกิดจากการนำวัตถุดิบที่เป็นทรัพยากรกลับมาใช้ใหม่ (Renewable Resources) และใช้กระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากปิโตรเลียม

พัฒนาการของแนวคิดการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีแบ่งได้เป็น 3 ระยะ ดังนี้

##### 1) อุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีระยะที่ 1 (Biorefinery Phase I)

อุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีระยะที่ 1 มุ่งเน้นการแปรรูปวัตถุดิบตั้งต้นชนิดเดียวด้วยเทคโนโลยีเดียว เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หลักเพียงหนึ่งชนิด (Single Feedstock, Single Process and Single Major Product) ตัวอย่างของโรงกลั่นชีวภาพระยะที่ 1 ได้แก่ การผลิตพลังงานจากชีวมวล เช่น การผลิตไบโอดีเซลจากปาล์ม น้ำมัน ด้วยกระบวนการ Trans-esterification ได้ผลิตภัณฑ์คือ ไบโอดีเซลและกลีเซอริน หรือการผลิตเอทานอลจากข้าวโพดหรือน้ำตาลด้วยเทคโนโลยีการหมัก (Fermentation) ด้วยรูปแบบที่ไม่ซับซ้อนของโรงกลั่นชีวภาพระยะที่ 1 จึงยกระดับสู่อุตสาหกรรมได้ง่าย แต่ข้อด้อย คือ ขาดความยืดหยุ่นในการต่อยอดไปสู่ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่าเพิ่ม

##### 2) อุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีระยะที่ 2 (Biorefinery Phase II)

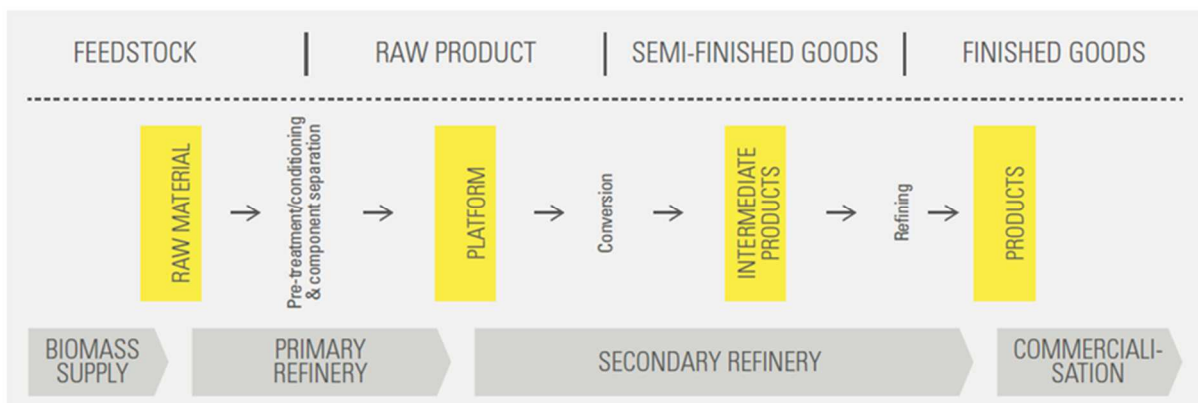
อุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีระยะที่ 2 ยังคงใช้วัตถุดิบชนิดเดียว แต่มีการใช้หลายเทคโนโลยีหรือหลายกระบวนการผลิตทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หลักมากกว่า 1 ชนิด (Single Feedstock, Multiple Processes and Multiple Major Products) ตัวอย่างเช่น การผลิตไบโอดีเซลซึ่งมีผลผลิตพลอยได้หลัก คือ กลีเซอรินซึ่งมีมูลค่าต่ำ เมื่อใช้กระบวนการไฮโดรจีโนไลซิส (Hydrogenolysis) สามารถเปลี่ยนกลีเซอรินไปเป็น Ethylene Glycol และ Propylene Glycol ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ และผลิตภัณฑ์เคมีอุตสาหกรรม เป็นต้น เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับอุตสาหกรรมมากขึ้น

### 3) อุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอริระยะที่ 3 (Biorefinery Phase III)

อุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอริระยะที่ 3 มุ่งเน้นการผลิตที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีหลากหลาย ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด โดยระบบการผลิตดังกล่าวสามารถรองรับวัตถุดิบที่มีโครงสร้างแตกต่างกันได้ (Multiple Feedstocks, Multiple Processes and Multiple Major Products) เช่น Lignocellulose แม้ว่าจะมีข้อดี คือ ลดความเสี่ยงของปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบเนื่องจากสามารถใช้วัตถุดิบที่หลากหลาย แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปชีวมวลยังอยู่ในระดับวิจัยและพัฒนา และยังไม่ถึงระดับที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ณ ปัจจุบัน

## 3.2 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอริ

เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรินั้น เริ่มจากการนำวัสดุชีวมวล (Biomass) ซึ่งอาจเป็นผลผลิตทางการเกษตร หรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตร มาผ่านกระบวนการผลิตที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ 1) กระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบ (Pretreatment) 2) กระบวนการแปรรูป (Conversion) และ 3) กระบวนการปลายน้ำ (Downstream process) เช่น การปั่นแยก ทำให้บริสุทธิ์ (Refinery/ Refining) โดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 3-1

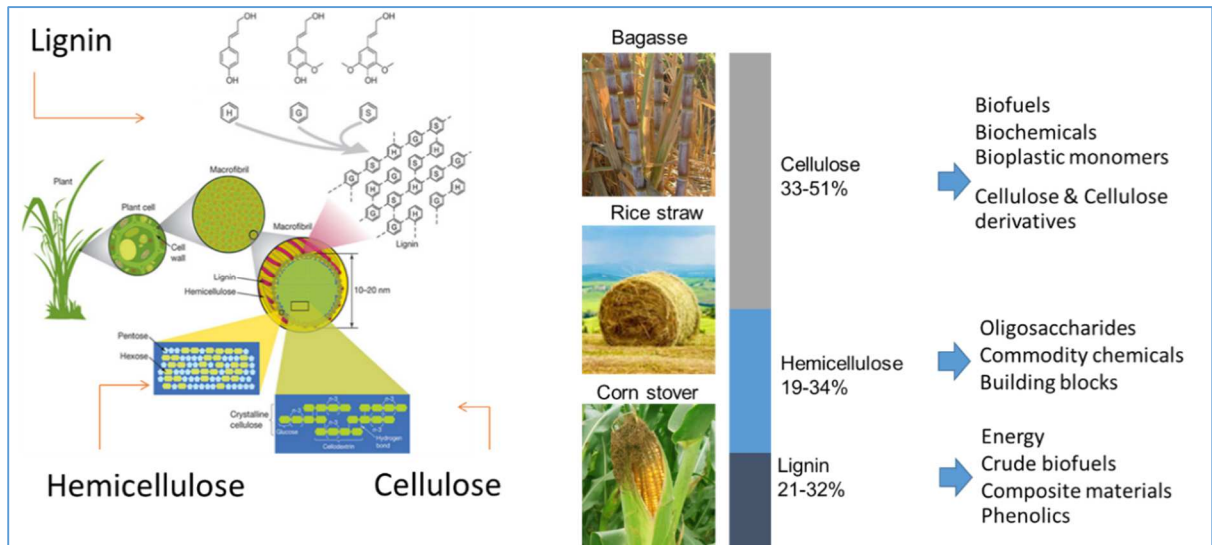


รูปที่ 3-1 : แสดงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากวัสดุชีวมวลในอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอริ

#### 1) กระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบ (Pretreatment)

โดยทั่วไปวัสดุชีวมวลที่ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอริ หากเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เช่น ฟางข้าว ทะลายปาล์ม และชานอ้อย มักจะต้องมีขั้นตอนปรับสภาพ (Pretreatment หรือ Component separation หรือ fractionation) ก่อนนำเข้ากระบวนการแปรรูป เพื่อให้มีโครงสร้างที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตในขั้นต่อไป ส่วนใหญ่วัสดุทางการเกษตรจะมีโครงสร้างทางเคมีในรูปของลิกโนเซลลูโลส ดังแสดงในรูปที่ 3-2 ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ (i) เซลลูโลส (35-50%) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส (ii) เฮมิเซลลูโลส (20-35%) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์แบบกิ่งที่ประกอบด้วยน้ำตาลเพนโตสและเฮกโซสหลากหลายชนิด รวมถึงอนุพันธ์ของน้ำตาลต่างๆ และ (iii) ลิกนิน (10-25%) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของสารในกลุ่มฟีนอลิกแอลกอฮอล์ โดยอยู่ในรูปแบบเชิงซ้อนกับส่วนเฮมิเซลลูโลส (lignin-hemicellulose complex) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารในกลุ่มโปรตีน ไขมันและเถ้าเป็นองค์ประกอบรอง (Feldman, 1985) โครงสร้างลิกโนเซลลูโลสมีความแข็งแรงต่อปัจจัยภายนอกทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ ดังนั้นในการพัฒนาเทคโนโลยีในการใช้ประโยชน์จากวัสดุลิกโนเซลลูโลสซึ่งมีความแข็งแรงนี้ต้องมี

การปรับสภาพวัตถุดิบด้วยเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อให้ง่ายต่อกระบวนการผลิตในขั้นต่อไป ขั้นตอนการปรับสภาพวัตถุดิบช่วยแยกองค์ประกอบสำคัญต่างๆ (Fractionation) ที่มีอยู่ในชีวมวลออกมา ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป



รูปที่ 3-2 : โครงสร้างของลิกนินเซลลูโลสและการนำไปใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรม  
ที่มา : ดัดแปลงจาก Rubin (2008)

## 2) กระบวนการแปรรูป (Conversion)

กระบวนการแปรรูปโดยส่วนใหญ่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ การแปรรูปด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Bioprocess) และกระบวนการทางเคมี (Chemical process) มีรายละเอียดดังนี้

(1) กระบวนการทางชีวภาพ (Bioprocess) เป็นกระบวนการต้นน้ำ (upstream process, UPS) ที่เปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์ เช่น การหมักด้วยจุลินทรีย์ และ/หรือการย่อยด้วยเอนไซม์ และ/หรือการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม)

เทคโนโลยีการสกัดสารเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบทางการเกษตร มุ่งเน้นเพิ่มประสิทธิภาพให้ตัวทำละลายไปละลายสารสำคัญ (bioactive compounds) ที่พบในวัตถุดิบธรรมชาติออกมาให้ได้มากที่สุด เพิ่มปริมาณสารสกัดและความบริสุทธิ์ของสารสกัด ใช้ตัวทำละลายปริมาณน้อย และระยะเวลาสั้น เพื่อให้สารสำคัญไม่สูญเสียหรือเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการสกัด เหมาะสมกับการนำไปใช้สกัดสารสำคัญที่มีความไม่เสถียรและไม่ทนต่อความร้อน ตัวอย่างเทคโนโลยีการสกัดขั้นสูงที่นิยมใช้เพื่อการสกัดสารสำคัญที่มีความเป็นขี้สูง เช่น แอลกอฮอล์ กรดคาร์บอกซิลิก และสารสำคัญที่มีความเป็นขี้ต่ำ เช่น ไขมัน น้ำมันหอมระเหยฯ ซึ่งทั้งสองเทคนิคนี้สามารถขยายไปสู่อุตสาหกรรม และใช้เสริมกัน (complementary technique) ด้วย ได้แก่

➔ Supercritical fluid extraction (SFE) เป็นเทคนิคการสกัดที่ใช้ก๊าซในรูปของของไหลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสารสำคัญ ใช้ได้กับสารทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลวมีการควบคุมทั้งอุณหภูมิและความดัน ก๊าซที่นิยมใช้กันมาก คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งใช้คุณสมบัติค่อนข้างต่ำในการสกัดแต่อาศัยการเพิ่มความดันทำให้ก๊าซเป็นของไหล (pressurized CO<sub>2</sub> gas) ข้อดีคือทำให้สารออกฤทธิ์ต่างๆ ที่ต้องการที่ได้จากการสกัดด้วยเทคนิคนี้มีแนวโน้มไม่ถูกทำลายไปโดยความร้อน มีความจำเพาะเจาะจงในการสกัดสูง

เหมาะสมกับการสกัดตัวอย่างที่จะให้ได้ผลผลิตที่มีขี้ไม่สูงมากหรืออาจจะมีการใช้ตัวทำละลายร่วมเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด

➤ Subcritical water extraction หรือ pressurized hot water extraction (SWE) เป็นเทคนิคการสกัดสารที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ใช้สกัดสารที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของน้ำภายในระบบควบคุมอุณหภูมิและความดัน ทำให้น้ำอยู่ในสภาวะกึ่งวิกฤติ เพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสารอย่างรวดเร็ว เหมาะสมกับการสกัดตัวอย่างที่จะให้ได้ผลผลิตที่มีขี้ที่ละลายได้ดีในน้ำและตัวทำละลายแอลกอฮอล์

(2) กระบวนการทางเคมี (Chemical process) เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสารตั้งต้น ให้เป็นผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) และสารเคมีในการทำให้เกิดปฏิกิริยา ภายใต้สภาวะที่มีการควบคุม เช่น อุณหภูมิ ความดัน ก๊าซ เป็นต้น โดยกระบวนการทางเคมีจะคล้ายคลึงกับกระบวนการทางชีวภาพ กล่าวคือ ประกอบด้วยกระบวนการต้นน้ำ (Upstream Process, UPS) ที่เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งในส่วนกระบวนการต้นน้ำในโรงงานต้นแบบไบโอรีไฟเนอรีนี้จะประกอบด้วยถึงปฏิกิริยาที่เป็นถังกวนผสมแบบกะ (Stirred tank reactor, STR) และแบบต่อเนื่อง (Continuous stirred-tank reactor, CSTR) โดยในการทำปฏิกิริยาสามารถปรับเปลี่ยนชนิดของสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี และสภาวะในการผลิตได้ เครื่องมือพื้นฐานที่สำคัญ ได้แก่

➤ ถังปฏิกรณ์กวนผสมแบบกะ (Stirred tank reactor, STR) เป็นเครื่องปฏิกรณ์พื้นฐานสำหรับใช้ผลิตสารเคมีภายใต้อุณหภูมิและความดัน ผลิตสารเคมีที่มีมูลค่าสูงทั้งภายใต้สภาวะที่มีกรด/ด่างรุนแรง หรือสภาวะทั่วไปได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำไปใช้ทดสอบในการทดลองตลาดหรือการแปรรูปในขั้นตอนต่อไปได้

➤ ถังปฏิกรณ์กวนผสมแบบต่อเนื่อง (Continuous stirred-tank reactor, CSTR) เป็นเครื่องปฏิกรณ์แบบกวนผสมที่ต่อกันเป็นชุด โดยชุดถังปฏิกรณ์ที่ติดตั้งแต่ละถังจะมีขนาด 50 ลิตร หรือ 500 ลิตร ใช้ในการศึกษาข้อมูลเพื่อใช้ทำการขยายขนาดในระดับอุตสาหกรรม (Scale - up) ต่อไป นอกจากนี้หากการทำงานในระดับอุตสาหกรรมต้องการศึกษาพัฒนาต่อยอด หรือต้องการปรับสภาวะการทำงานของถังปฏิกรณ์กวนผสมแบบต่อเนื่องขนาดใหญ่ที่มีอยู่แล้ว ก็สามารถใช้อุปกรณ์กวนผสมแบบต่อเนื่องในระดับจำลองนี้ ศึกษาข้อมูลต่างๆ ก่อนนำไปใช้ในโรงงานจริงได้เช่นกัน เป็นการลดความเสี่ยงและเพิ่มโอกาสในการปรับปรุงระบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ โดยไม่กระทบกับโรงงาน

➤ ถังปฏิกรณ์กวนผสมทั้งสองระบบสามารถรองรับการทำปฏิกิริยาภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อย ก๊าซออกซิเจน และก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งเป็นระบบที่สำคัญอย่างมากในการผลิตสารเคมีชีวภาพสำคัญหลายชนิด และประเทศไทยยังไม่มีระบบอุปกรณ์เหล่านี้ ทำให้ขาดโอกาสในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ

➤ ชุดปฏิกรณ์ผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาแบบผง ภายใต้อุณหภูมิและความดันที่ต้องการในปริมาณมาก มีชุดเผาให้ความร้อนขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตสารเคมีชีวภัณฑ์ นอกจากนี้ยังใช้ในการศึกษาการขยายขนาดกระบวนการผลิตที่พัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการจากสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัย หรือบริษัทเอกชน ได้

➤ ชุดขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเม็ด เพื่อให้การใช้งานตัวเร่งปฏิกิริยารวมถึงการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์สุดท้ายทำได้ง่าย โดยจะมีทั้งระบบแบบอัดเม็ด (pelletizing machine) และระบบฉีดขึ้นรูป (screw extrusion machine)

### 3) กระบวนการปลายน้ำ (Downstream process)

กระบวนการปลายน้ำ (Downstream Process, DSP) เป็นกระบวนการแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากจากถึงปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่จะออกสู่ตลาด กระบวนการปลายน้ำจะส่งผลต่อปริมาณ (Yield) คุณสมบัติ (Specification) คุณภาพ และความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งส่งผลต่อราคาของผลิตภัณฑ์และการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น อาหารสัตว์ อาหาร อาหารเสริมสุขภาพ เครื่องสำอาง และยา เป็นต้น นอกจากนี้สารสกัดที่ได้จากพืชด้วยเทคโนโลยีการสกัดขั้นสูงนี้อาจนำไปใช้เลยโดยตรงหรืออาจนำมาผ่านกระบวนการปลายน้ำเพื่อลดสิ่งเจือปน และเพิ่มความบริสุทธิ์ของสารสำคัญที่เป็นสารออกฤทธิ์หลักในสารสกัดได้ ตัวอย่างกระบวนการปลายน้ำที่สำคัญ ได้แก่

➤ การแยกของแข็งออกจากของเหลว (Separation) สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกรอง (filtration) การปั่นเหวี่ยง (centrifugation) การตกตะกอน (sedimentation) การจับตัวเป็น floc (flocculation) ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอาจอยู่ในส่วนที่ไม่ละลายน้ำ หรืออยู่ในส่วนที่เป็นของเหลว

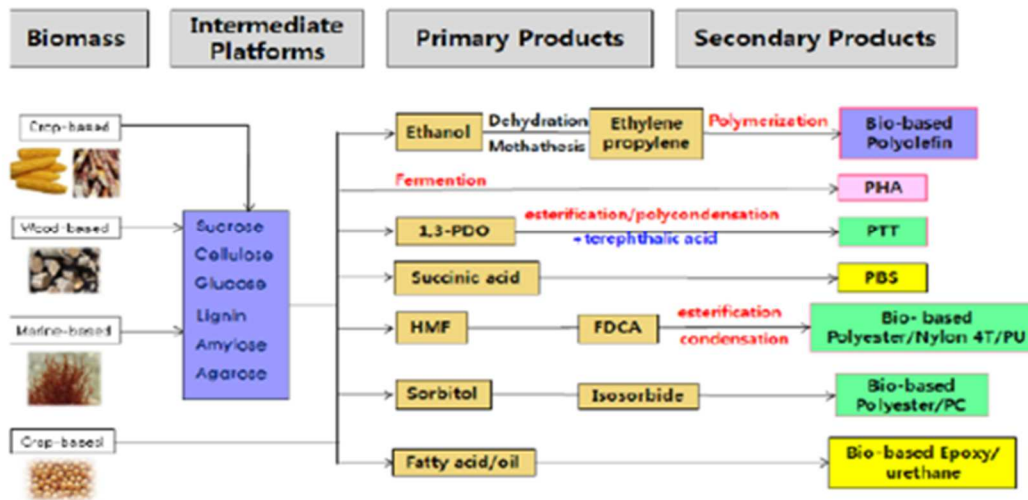
➤ การทำให้บริสุทธิ์ (Purification) เป็นการแยกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการออกจากสิ่งเจือปนที่อยู่ในถึงปฏิกิริยา ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้จะขึ้นอยู่กับสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ประเภทและปริมาณของสิ่งเจือปน เทคโนโลยีในการทำให้บริสุทธิ์มีหลายวิธี เช่น การกรอง (Nanofiltration) การตกผลึก โครมาโตกราฟี เป็นการแยกสาร โดยอาศัยหลักการการไหลผ่านชั้นตัวกลางที่ให้สารแต่ละชนิดไหลผ่านด้วยความเร็วแตกต่างกัน เหมาะสำหรับสารที่แยกออกกันได้ง่ายโดยอาศัยจุดเดือด หรือสารที่มีความคงตัวต่ำที่อุณหภูมิสูง และการกลั่น (Vacuum Distillation Unit) เป็นระบบเพิ่มความเข้มข้นของสารเหลว และคัดแยกสารโดยใช้หลักการของจุดเดือดที่แตกต่างกัน เหมาะกับสารที่มีความคงตัวสูงภายใต้อุณหภูมิเกินจุดเดือด นอกจากนี้ยังเป็นการนำสารละลายที่ใช้ในกระบวนการกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดต้นทุนในการผลิต

➤ การทำให้เข้มข้น (Concentration) และการทำแห้ง (Drying) สามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับสมบัติของสารและความเข้มข้นเริ่มต้นและสุดท้ายที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น การต้มระเหย (Falling-film evaporator หรือ Rotary evaporator) การทำแห้งด้วยสุญญากาศ (Vacuum drying) การทำแห้งแบบลมร้อน (Hot-air drying) การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) สำหรับผลิตภัณฑ์ของเหลว การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) การทำแห้งแบบฟลูอิดซ์เบด (Fluidized-bed drying) ด้วยวิธีลอยตัวในอากาศร้อน เป็นต้น

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าในแต่ละวัตถุประสงค์ของกระบวนการปลายน้ำ อาจมีเทคโนโลยีให้เลือกใช้ได้มากกว่าหนึ่งเทคโนโลยีเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติที่ต้องการ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ อาจเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย หรือผลิตภัณฑ์ตัวกลางที่จะนำไปเป็นวัตถุดิบตั้งต้น (Functional ingredient) ในผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถพัฒนาต่อยอดให้มีคุณสมบัติดีขึ้น หรือเป็น novel ingredient ได้ โดยการทำให้ encapsulation เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารสำคัญกับสภาวะแวดล้อม (น้ำ แสง และออกซิเจน) ลดการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวเพิ่มขึ้น เก็บรักษาได้นานขึ้น สามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยและช่วยให้ทำการขนส่งได้ง่ายขึ้น

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไบโอรีไฟเนอริมีทั้งสารตัวกลาง และผลิตภัณฑ์สุดท้าย เช่น นำชีวมวลมาผ่านกระบวนการแปรรูปได้ HMF และ FDCA สารตัวกลางนี้กลายเป็นวัตถุดิบตั้งต้นเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์สุดท้าย ได้แก่ โพลีเอสเทอร์ ไนลอน ทั้งนี้ชีวมวลสามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้โดยตรง เช่น PHA ดังแสดงในรูปที่

## ตัวอย่าง primary and secondary products ของผลิตภัณฑ์พลาสติก



ที่มา : รันทมย์ จงคำ ,2561

รูปที่ 3-3 : ตัวอย่าง primary และ secondary products ของผลิตภัณฑ์พลาสติก

## 3.3 ความพร้อมของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีของโลก

การศึกษานี้ประเมินระดับความพร้อมของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี” (TRL: Technology Readiness Level) พัฒนาขึ้นโดย NASA แบ่งระดับความพร้อมเป็น 9 ระดับ ดังนี้

- TRL 1 หลักการพื้นฐานที่ได้รับการพิจารณาและมีการรายงาน (basic principles observed)
- TRL 2 มีการสร้างแนวคิดด้านเทคโนโลยี และ/หรือ การประยุกต์ใช้ (technology concept formulated)
- TRL 3 แนวคิดได้รับการสาธิตด้วยการวิเคราะห์หรือด้วยการทดลอง (experimental proof of concept)
- TRL 4 องค์ประกอบสำคัญได้รับการสาธิตในระดับห้องปฏิบัติการ (technology validated in lab)
- TRL 5 องค์ประกอบสำคัญได้รับการสาธิตในสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง (technology validated in relevant environment)
- TRL 6 ผลงานที่จะส่งมอบได้รับการสาธิตในสภาวะที่เกี่ยวข้อง (technology demonstrated in relevant environment)
- TRL 7 ผลงานได้รับการทดสอบหรือสาธิตในสภาวะทำงานจริง (system prototype demonstration in operational environment)
- TRL 8 ผลงานได้ผ่านการทดสอบหรือสาธิต (system complete and qualified)
- TRL 9 ผลงานหรือเทคโนโลยีมีการนำไปใช้จริง (actual system proven in operational environment)

ทั้งนี้ มูลค่าการลงทุนที่ใช้มีความสัมพันธ์กับระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (TRL) โดยมูลค่าการลงทุนจะสูงขึ้นตามระดับความพร้อมของเทคโนโลยีที่สูงขึ้น และอาจใช้เงินลงทุนหลายพันล้านบาทเมื่อต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าวในเชิงพาณิชย์ (รูปที่ 3-4)

**TRL DEFINITION**

- TRL 1 basic principles observed
- TRL 2 technology concept formulated
- TRL 3 experimental proof of concept
- TRL 4 technology validated in lab
- TRL 5 technology validated in relevant environment
- TRL 6 technology demonstrated in relevant environment
- TRL 7 system prototype demonstration in operational environment
- TRL 8 system complete and qualified
- TRL 9 actual system proven in operational environment



Source: EU H2020 program ,Center for Biorenewable Chemicals (CBIRC) at IOWA state university

© Fraunhofer CBP



**รูปที่ 3-4 :** แสดงการประมาณการมูลค่าการลงทุนตามระดับความพร้อมของเทคโนโลยี  
ที่มา : Fraunhofer,2018

TRL 1 และ TRL 2 เป็นขั้นตอนการวางกรอบแนวคิดและแผนการทดลอง เมื่อแนวคิดเข้าสู่ขั้นตอนการทดลองทำให้มีความรู้ที่เพิ่มขึ้นก้าวสู่ TRL 3 และเมื่อพัฒนาเทคโนโลยีได้ตามแนวคิด (proof-of-concept technology) เทคโนโลยีจะก้าวไปสู่ TRL 4 ซึ่งเป็นการประเมินเทคโนโลยีในระดับห้องปฏิบัติการ (ขนาด 1-10 ลิตร) เกิดองค์ความรู้เพียงพอที่จะผสมรวมเทคโนโลยีเข้ากับระบบที่เรียกว่า “Testbed design” จากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพในระยะนำร่อง (Pilot phase) (TRL 5) และเข้าสู่ขั้นตอนการสาธิต (Demonstration phase) โดยการออกแบบกระบวนการผลิตภายใต้เงื่อนไขการผลิตในระดับอุตสาหกรรม (Industrial relevant conditions) (TRL 6) สำหรับ TRL 7 เป็นการพัฒนาด้านแบบ (prototype) และนำไปสาธิตในสภาวะทำงานจริง (operational environment) เพื่อนำไปสู่ระบบที่สมบูรณ์แบบ (completely qualified system) หรือ TRL 8 ในระดับโรงงาน และเมื่อระบบมีความสมบูรณ์และได้รับการพิสูจน์ว่าใช้ได้จริงในสภาพแวดล้อมจริงความพร้อมก็จะเพิ่มขึ้นเป็น TRL 9 ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่พร้อมนำใช้งานได้จริง

**3.3.1 ความพร้อมของเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรีจำแนกตามกลุ่มวัตถุดิบ**

การศึกษานี้ประเมินระดับความพร้อมของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีโดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ตามประเภทของวัตถุดิบที่ประเทศไทยมีมาก ได้แก่ กลุ่มเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับน้ำตาล (sugar biorefinery) และกลุ่มเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับน้ำมัน (vegetable oil biorefinery)

ตารางที่ 3-1 : สรุปกระบวนการแปรรูปชีวมวล (Biomass)

วัตถุดิบ (Raw material)	กระบวนการแปรรูป (Processing pathway)	ประเภทไบโอฟิเนอรี (Biorefinery Platform)
กากน้ำตาล (Sugarcane molasses)	กระบวนการหมัก (fermentation)	Sugar biorefinery
ชานอ้อย (Sugarcane bagasse)	การผลิตเยื่อ (Pulping) และการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ (enzymatical)/ การไฮโดรไลซิสด้วยสารเคมี (chemical hydrolysis) ตามด้วยกระบวนการหมัก	Sugar biorefinery
แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch)	การไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ตามด้วยกระบวนการหมัก	Sugar biorefinery
กากมันสำปะหลัง (Cassava pulp)	การผลิตเยื่อและการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์/ การไฮโดรไลซิสด้วยสารเคมีตามด้วยกระบวนการหมัก	Sugar biorefinery
ทะลายปาล์มเปล่า (Empty oil palm fruit bunches)	การผลิตเยื่อตามด้วยการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์/ การไฮโดรไลซิสด้วยสารเคมีและกระบวนการหมัก	Sugar biorefinery
ปาล์มน้ำมัน (Palm oil)	การไฮโดรไลซิส/ การซาฟอนนิฟิเคชัน (saponification) ตามด้วย การไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ หรือกระบวนการหมัก	Vegetable oil biorefinery

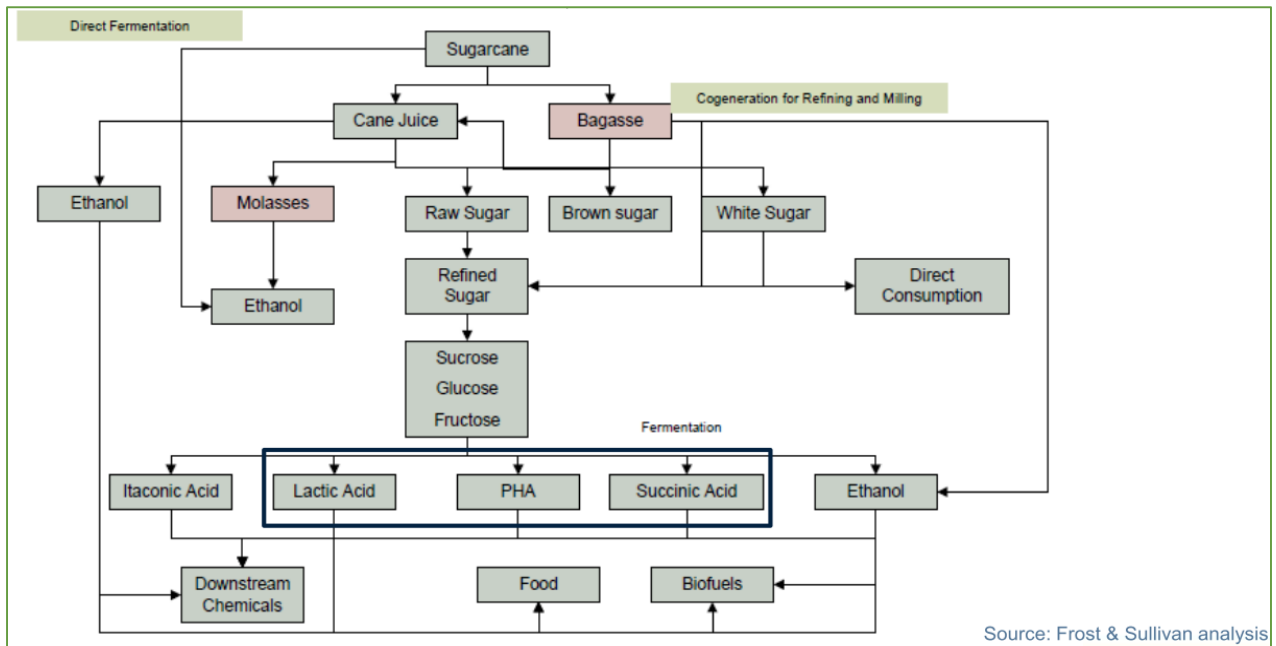
### 1. Sugar biorefinery

กลุ่มเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับน้ำตาล (sugar biorefinery) ประกอบด้วย น้ำตาล/กากน้ำตาล ชานอ้อย แป้งมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลัง มีรายละเอียดดังนี้

#### ก) น้ำตาล และกากน้ำตาล (molasses)

การผลิตผลิตภัณฑ์ฐานชีวภาพจากน้ำตาลเป็นการใช้กระบวนการหมักเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นสารเคมีชีวภาพ เช่น กรดแลคติก กรดอิทาโคนิก กรดซัคซินิก PHA หรือ เอทานอล ซึ่งสารเคมีชีวภาพเหล่านี้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เป็นต้น

กากน้ำตาลเป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำตาลทราย โดยอ้อยสด 1 ตัน จะได้กากน้ำตาลประมาณ 30-70 กิโลกรัม (สำหรับโรงงานในประเทศไทยอัตราส่วนนี้อยู่ที่ประมาณ 40 กิโลกรัม) ปริมาณกากน้ำตาลขึ้นอยู่กับพันธุ์อ้อย สภาพภูมิอากาศและกระบวนการผลิต กากน้ำตาลประกอบด้วยน้ำตาล และส่วนผสมอื่นๆ เช่น กรดอะมิโน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีการนำกากน้ำตาลไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อเนื่อง ได้แก่ การผลิตสุรา เอทานอล ผงชูรส และอาหารสัตว์ เป็นต้น

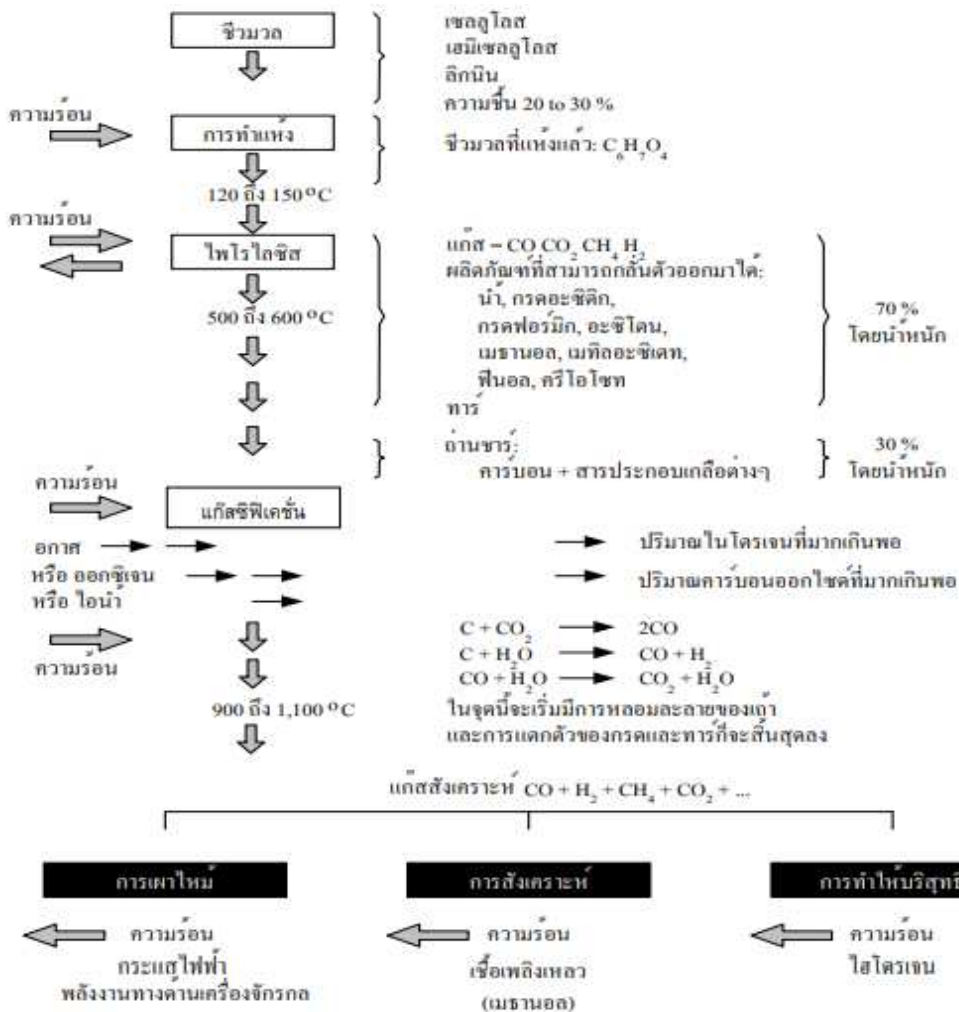


รูปที่ 3-5: ห่วงโซ่มูลค่าของผลิตภัณฑ์จากน้ำตาล/กากน้ำตาล

### ข) ชานอ้อย (Sugarcane bagasse)

ชานอ้อยเป็นกากของเสียในกระบวนการผลิตน้ำตาล ชานอ้อยมีส่วนประกอบของลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) ประกอบด้วย เซลลูโลส (cellulose) 32-44% เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) 27-32% และลิกนิน (lignin) 19-24% ทั้งนี้การจะนำชานอ้อยไปใช้เป็นวัตถุดิบผลิตสารเคมีชีวภาพ จำเป็นต้องมีกระบวนการปรับสภาพชานอ้อย ซึ่งมีหลายวิธีดังนี้

1) กระบวนการปรับเปลี่ยนด้วยเคมีและความร้อน (Thermo-chemical conversion) ชานอ้อยถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) และแก๊สซิฟิเคชัน (gasification) โดย “ไพโรไลซิส” เป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของชีวมวลจนได้เป็นน้ำมันที่เรียกว่า “ไบโอบอยล์ (bio oil)” พร้อมกับก๊าซและถ่าน ไบโอบอยล์ที่ได้ต้องนำไปกลั่นให้มีคุณภาพอีกครั้งเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ ส่วนแก๊สซิฟิเคชันเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของของแข็งให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสถานะแก๊สด้วยวิธีการทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบไม่สมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ เรียกว่า แก๊สสังเคราะห์ (synthesis gas หรือ syngas)



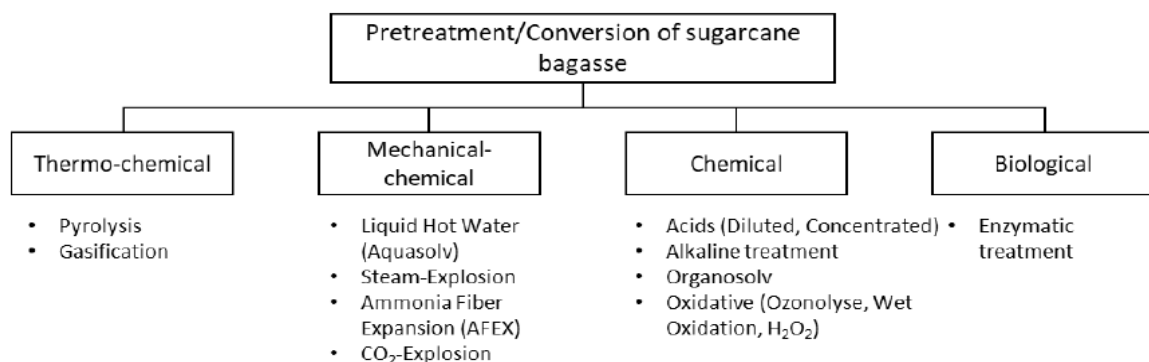
รูปที่ 3-6 : การใช้กระบวนการเคมี ความร้อน ในการเปลี่ยนของแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ

2) กระบวนการเชิงกลร่วมกับเคมี (mechanical-chemical process) เป็นวิธีการทำให้วัตถุดิบมีขนาดโมเลกุลเล็กลง ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ความร้อนชื้น (liquid hot water treatment) เป็นกระบวนการย่อยของแข็งโดยใช้น้ำที่อุณหภูมิสูง การระเบิดด้วยไอน้ำ (steam explosion technology) เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมในการปรับสภาพวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส โดยใช้อุณหภูมิในช่วง 160-260 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 0.69-4.82 เมกะปาสคาล วัตถุดิบจะถูกผสมกับน้ำจนอึดตัวที่ความดันสูง หลังจากนั้นทำการลดความดันลงอย่างรวดเร็ว (Kaar, Gutierrez และ Kinoshita, 1998; Laser และคณะ, 2002) การระเบิดด้วยแอมโมเนีย (Ammonia Fiber explosion, AFEX) เป็นการใช้แอมโมเนียเหลวที่อุณหภูมิระหว่าง 60-100 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันสูง ในระยะเวลาหนึ่งแล้วลดความดันลงทำให้วัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการนี้มีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น วิธีการนี้ไม่เหมาะกับพืชที่มีลิกนินมาก (รัชพล พะวงค์รัตน์, 2558)

3) กระบวนการทางเคมี (chemical) เป็นวิธีการแยกลิกนินด้วยการเติมกรด (acid) หรือด่าง (alkaline treatment) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวต้องใช้เทคโนโลยีที่สูงขึ้นสำหรับการทำ chemical recovery ทั้งนี้ พบว่าการแยกลิกนินในขบวนการย่อยเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยวิธีการปรับสภาพด้วยด่างในสภาวะไม่รุนแรง (mild condition) (Pandey และคณะ, 2000) และการปรับสภาพด้วยกรดเจือจาง (Neureiter, Danner, Thomasser, Saidi และ Braun, 2002) ส่วนเฮมิเซลลูโลสถูกไฮโดรไลซิสในระหว่างกระบวนการนี้เช่นกัน ทำให้มีศักยภาพการประยุกต์ใช้งานเพิ่ม การปรับสภาพ (pretreatment) ด้วย Organosolv เป็นวิธีที่

จะช่วยแยกส่วนลิกนินบริสุทธิ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ต้องพิจารณาการทำ solvent recovery (เช่น เอทานอล) เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย (Mesa และคณะ, 2010) หรือการใช้ปฏิกิริยาออกเซเดชัน (oxidation) เช่น การทำปฏิกิริยากับโอโซน (ozonolysis) โอโซนเป็นตัวออกซิแดนต์ที่มีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดการแตกตัวของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส และไม่มีสารพิษที่จะไปยับยั้งการทำปฏิกิริยาในขั้นต่อไป แต่ข้อเสียคือมีค่าใช้จ่ายสูง

4) กระบวนการทางชีวภาพ (biological) เป็นการใช้อินทรีย์มาปรับสภาพวัตถุดิบประเภทลิกนินเซลลูโลสและเพิ่มประสิทธิภาพในย่อยวัตถุดิบด้วยเอนไซม์ ซึ่งจุลินทรีย์ที่ใช้มีทั้งจากแหล่งธรรมชาติ และจากการใช้เทคโนโลยีดัดแปลงพันธุกรรมเพื่อให้จุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยให้สูงขึ้น



รูปที่ 3-7 : การปรับสภาพ (pretreatment) และการแปรรูปขานอ้อย

### ค) แป้งมันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta*) เป็นพืชที่อุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต แหล่งปลูกมันสำปะหลังสำคัญ ได้แก่ แอฟริกา ละตินอเมริกา และเอเชีย ปี 2559 ทั่วโลกมีปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังรวม 277 ล้านตัน ไนจีเรียเป็นผู้ผลิตมันสำปะหลังมากที่สุดในโลกด้วยปริมาณ 57 ล้านตัน รองลงมา ได้แก่ ประเทศไทยจำนวน 31 ล้านตัน บราซิลและอินโดนีเซียประมาณ 21 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560)

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการส่งเสริมการปลูกในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีคุณสมบัติที่ดี คือ มีความบริสุทธิ์สูง ไม่มีกลิ่น และสี ซึ่งเป็นสมบัติที่ดีในการนำไปใช้ผสมกับวัตถุดิบอื่นๆ ได้ง่าย รวมถึงมีความคงตัวในการละลายจากการแช่แข็งที่ดี ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้ความต้องการใช้แป้งมันสำปะหลังทั่วโลกเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมอาหาร กระดาษ สิ่งทอ ยา รวมไปถึงอุตสาหกรรมใหม่ๆ เป็นต้นว่า อุตสาหกรรมชีวภาพ เช่น พลาสติกชีวภาพ เป็นต้น (รูปที่ 3-8)



รูปที่ 3-8 : การใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลัง  
ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการกำกับและส่งเสริมการประกอบธุรกิจหลักทรัพย์, 2554

แป้งมันสำปะหลังส่วนใหญ่ประกอบด้วย ดี-กลูโคส (D-glucose) และอะไมโลส (amylose) การทำไฮโดรไลซิสแป้ง (starch)-อะมิโลส และอะมิโลเพคติน (amylpectin) ไปเป็นเดกซ์ทริน (dextrin) มอลโตส (maltose) และน้ำตาลกลูโคส (glucose) ใช้น้ำแป้งมาใช้ส่วนใหญ่จะผ่านการไฮโดรไลซิสด้วยกรดหรือเอนไซม์ ข้อดีของกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ คือ ใช้สภาวะที่ไม่รุนแรง ใช้พลังงานลดลง และในระหว่างกระบวนการหมักจะไม่ผลิตสาร 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์ ตัวอย่าง เอนไซม์ทางการค้าที่ใช้ย่อยแป้งมันสำปะหลังแบบ biocatalytic hydrolysis เช่น Liquozyme SC DS จาก *Aspergillus niger* (สภาวะปฏิกริยา: pH 4.8, 90 ° C) และ Spirizime Fuel จาก *Bacillus licheniformis* (สภาวะปฏิกริยา: pH 5, 60 ° C) (Mayer และคณะ, 2015)

ตัวอย่างการใช้เอนไซม์ในกลุ่ม Amylolytic ที่ผลิตโดย เชื้อรา *Aspergillus fumigatus* KIBGE-IB33 เมื่อนำมาย่อยแป้งมันสำปะหลัง พบการผลิตกลูโคส 40.0 กรัมต่อลิตร และน้ำตาลกลูโคสที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นเอทานอลโดยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ที่ 84.0% yield หลังจากนั้นทำการกลั่นเพื่อให้ได้ผลผลิตเอทานอล 53.0% yield (Pervez และคณะ, 2014) (TRL 6-8)

การสร้างผลกำไรในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังจำเป็นต้องพิจารณาประเด็นทางเศรษฐศาสตร์ในหลายประเด็น ได้แก่ ก) กระบวนการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ ข) อุปกรณ์กลั่นต้นทุนสูง และ ค) การอบแห้งและการเก็บรักษา (TRL 5-6) ซึ่งประเด็นดังกล่าวต้องใช้นวัตกรรมเป็นรากฐานในการเปลี่ยนมันสำปะหลังเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม (Nandiyanto และคณะ, 2018)

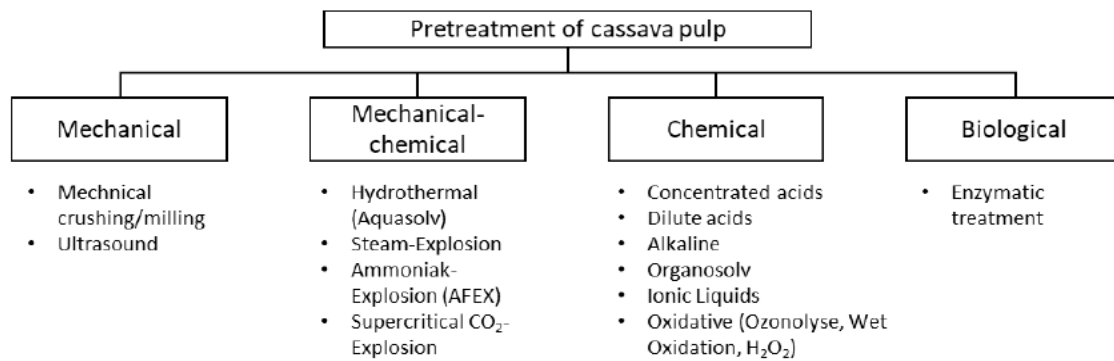
### ง) กากมันสำปะหลัง

(ก) ในกระบวนการแปรรูปมันสำปะหลังมีของเหลือทิ้งในส่วนเปลือกมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง 0.4 % (w/w) มีความชื้นประมาณร้อยละ 85 (Hermiati และคณะ, 2012) กากมันสำปะหลังมีแป้งประมาณ 45-50% เส้นใยประมาณ 30% (ส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส) และลิกนินประมาณ 1-4% เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีปริมาณโปรตีนต่ำ จึงไม่เหมาะนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ (Zhang, Xie, Yin, Khanal และ Zhou, 2016) ทำให้ที่ผ่านมากากมันสำปะหลังบางส่วนถูกทิ้ง เป็นสาเหตุให้เกิดก๊าซเรือนกระจก และกลิ่นเหม็น รวมถึงน้ำจากกากมันทำให้เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ (Souto และคณะ, 2017) เนื่องด้วยกากมันสำปะหลัง

มีองค์ประกอบอินทรีย์สูง จึงเหมาะในการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ สารเคมีชีวภาพ (biobased chemicals) และผลิตภัณฑ์ชีวภาพ (bioproducts) ซึ่งการใช้กากมันสำปะหลังจำเป็นต้องมีการปรับสภาพก่อนนำไปผลิตผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงช่วยสร้างความยั่งยืนทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมให้กับอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง และยังสร้างช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานให้กับโรงงานได้อีกด้วย (Pingmuanglek, Jakrawatana, & Gheewala, 2017)

### กระบวนการปรับสภาพ (pre-treatment) กากมันสำปะหลัง

รูปที่ 3-9 แสดงกระบวนการปรับสภาพกากมันสำปะหลังประเภทต่างๆ ที่แตกต่างกันก่อนนำไปผลิตผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม ซึ่งแต่ละกระบวนการส่งผลต่อการใช้พลังงานเวลา และการทำ chemical recovery ตัวอย่างเช่น กระบวนการ hydrothermal hydrolysis เพื่อปรับสภาพวัตถุดิบจำพวกแป้งและเซลลูโลส ต้องการพลังงานสูง ส่วนกระบวนการทางชีวภาพ เช่นการใช้เอนไซม์ จะใช้อุณหภูมิและพลังงานที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม วิธีการที่นิยมในปัจจุบัน คือการใช้หลายเทคโนโลยีเสริมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการปรับสภาพ



รูปที่ 3-9 : กระบวนการปรับสภาพกากมันสำปะหลัง

#### 1) การปรับสภาพทางกล (Mechanical treatment)

การปรับสภาพทางกล เป็นกระบวนการทางกายภาพ ใช้แรงและเครื่องมือในการทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ ใช้พลังงานสูง ตัวอย่างเทคโนโลยี ได้แก่

##### - Mechanical crushing

กระบวนการลดขนาดอนุภาคเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานมาก ดังนั้น ความคุ้มค่าจะเกิดขึ้นเมื่อกระบวนการปรับสภาพดังกล่าวเอื้อให้กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงดีขึ้น ตัวอย่างเช่น การทดลองใช้วิธี atomization approach กับกากมันสำปะหลัง (Star Burst System SPS) ในระดับห้องปฏิบัติการ (TRL 3) มีการใช้เครื่องฉีดน้ำแรงดันสูงที่ 245 MPa ช่วยปรับปรุงกระบวนการ enzymatic saccharification เพิ่มประสิทธิภาพจาก 1.2 เป็น 2.5 เท่า และได้ผลผลิต nanofibrillated cellulose ที่มีศักยภาพในการใช้งานเพิ่มขึ้น (Chaikaew, Maeno และคณะ 2012)

## - Ultrasonic Pretreatment

การปรับสภาพลิกโนเซลลูโลสด้วยอัลตราโซนิเคชัน (Ultrasonication) มีความพร้อมของเทคโนโลยีอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ (TRL 3-4) เมื่อมีการทำให้เป็นโมเลกุลเล็กๆ แล้ว พบว่าการย่อยด้วยเอนไซม์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ saccharification ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพผลผลิต (yield) ในระดับห้องปฏิบัติการได้ถึง 1.4 เท่า (Leaes และคณะ, 2013) นอกจากนี้ กล้าณรงค์ ศรีรอด และคณะ ยังพบว่า การแยก (สารหรือเซลล์ซึ่งเป็นตัวอย่างทางชีวภาพ) ด้วยการสั่นสะเทือนของคลื่นอัลตราโซนิค (sonication) เพื่อให้เซลล์หรือโมเลกุลของสารนั้นแยกออกจากกันนั้น เป็นส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดแป้งออกจากกากมันสำปะหลัง (Sriroth และคณะ, 2000) อีกด้วย

## 2) การปรับสภาพทางกลร่วมกับเคมี (Mechanical-chemical treatment)

### - Hydrothermal (Aquasolv)

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลเป็นการปรับสภาพด้วยการใช้อุณหภูมิและความดันสูง เป็นการเพิ่มความไวของเอนไซม์ในการย่อยวัตถุดิบ Divya และคณะ (TRL3) แนะนำสภาวะที่ดีที่สุดในระดับห้องปฏิบัติการคือ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (Divya Nair, Padmaja, & Moorthy, 2011) นอกจากนี้ ยังมีการใช้รังสีไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 160-230 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที (TRL3) และใช้ activated carbon ร่วมด้วยเพื่อเร่งประสิทธิภาพของกระบวนการ (Euis Hermiati และคณะ, 2012) นอกจากนี้ พบว่า ภายใต้อุณหภูมิ 135 °C ที่ความดัน 0.22 MPa, 0.5-3 ชั่วโมง สามารถผลิต oligosaccharides hemicellulosic จากกากมันสำปะหลังได้ (Kurdi & Hansawasdi, 2015)

### - Steam Explosion

การระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam Explosion) เป็นกระบวนการปรับสภาพที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรม (TRL 9) โดยการให้น้ำอิ่มตัวที่ความดันสูง (Saturated high pressure steam) ทำให้วัตถุดิบเกิดการบีบอัดจนระเบิด กระบวนการนี้มักใช้กรดเพิ่มเติมเพื่อเร่งปฏิกิริยา ข้อได้เปรียบหลักของวิธีนี้คือ ใช้พลังงานและสารเคมีต่ำ (Harmsen, 2010) อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันยังไม่มีการใช้เทคโนโลยีการระเบิดด้วยไอน้ำกับกากมันสำปะหลัง นอกจากนี้เทคนิคที่มีหลักการคล้ายคลึง ได้แก่ Ammonia fibre explosion และ CO<sub>2</sub> explosion เป็นวิธีที่มีศักยภาพ มีการเพิ่มขึ้นของ chemical recovery ทำให้มีการประหยัดมากขึ้น

## 3) การปรับสภาพทางเคมี (Chemical treatment)

### - กรดเข้มข้น (Concentrated acids)

ที่ผ่านมาในกระบวนการไฮโดรไลซิสวัตถุดิบที่เป็นลิกโนเซลลูโลส มักใช้กรดเข้มข้น เช่น H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> และ HCl (Bergius-process) (lignocellulosic-biorefinery) โดยมีความพร้อมในระดับสาธิต (TRL 6-7) ซึ่งอุปสรรคของการต่อยอดวิธีนี้ ได้แก่ การใช้เครื่องมือที่ทนทานต่อการกัดกร่อนสูง และต้องทำ Chemical recovery (Harmsen, 2010) แต่การปรับสภาพด้วยวิธีนี้ก็มีความจำเป็นสำหรับการปรับสภาพกากมันสำปะหลัง

#### - กรดเจือจาง (Dilute acids)

กระบวนการปรับสภาพด้วยกรดเจือจางช่วยลดอุณหภูมิในกระบวนการปรับสภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ hydrothermal water pretreatment โดยกรดช่วยกระตุ้นกระบวนการไฮโดรไลซิส อย่างไรก็ตาม กระบวนการ delignification ของลิกโนเซลลูโลสมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ แต่ด้วยวิธีการที่ไม่ยุ่งยากจึงน่าสนใจสำหรับการปรับสภาพกากมันสำปะหลัง

กระบวนการปรับสภาพด้วยกรดเจือจางรวมกับการย่อยด้วยเอนไซม์ ตัวอย่างเช่น ผลของการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการในสภาวะที่ใช้กรด HCl 0.5 M เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Elemike, Oseghale และ Okoye, 2015) และใช้กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid medium) 0.5 % ที่พัฒนาโดย Hermiati และคณะ (Hermiati, Mangunwidjaja, Sunarti, Suparno และ Prasetya, 2012) จะให้ผลผลิตน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการแยกปรับสภาพด้วยแต่ละกระบวนการ

กากมันสำปะหลังมีปริมาณลิกนินต่ำ ดังนั้น กระบวนการปรับสภาพทางเคมี เช่น organosolv, ต่าง, ของเหลวไอออนิก (ionic liquid) และกระบวนการออกซิเดชัน ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับการกำจัดลิกนิน และกระบวนการ recovery สารเคมี จึงไม่จำเป็นสำหรับวัตถุดิบนี้

#### 4) การปรับสภาพทางชีวภาพ (Biological treatment)

##### - Enzymatic treatment

ประโยชน์หลักของกระบวนการปรับสภาพด้วยเอนไซม์ คือ การใช้สภาวะอุณหภูมิและความดันปานกลาง แต่ใช้ระยะเวลานานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรับสภาพอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของการใช้เอนไซม์จะเพิ่มขึ้นได้โดยการผสมผสานกับกระบวนการที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้

ลักษณะเฉพาะของการแปรรูป (conversion) กากมันสำปะหลังคือต้องใช้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทั้งแป้งและเซลลูโลสควบคู่กัน เพราะองค์ประกอบทั้งสองส่วนดังกล่าวเชื่อมต่อกันอยู่ โดยปกติการย่อยสลายแป้งต้องใช้เอนไซม์กลุ่มไฮโดรเลส ได้แก่  $\alpha$ -amylases และ glucoamylase ในสภาวะ thermophilic หรือ hyperthermophilic (รายละเอียดอธิบายไว้ในส่วนแป้งมันสำปะหลัง) ส่วนเซลลูโลสใช้เอนไซม์ cellulose saccharification thermophilic enzyme ได้แก่ endoglucanase และ  $\beta$ -glucosidase ในช่วงอุณหภูมิ mesophil ดังนั้น เพื่อให้บรรลุเป้าหมายต้องใช้ส่วนผสมเอนไซม์ (enzyme cocktails) โดยปรับปรุงสภาวะให้เหมาะสมกับกระบวนการ saccharification ของกากมันสำปะหลังเพื่อให้ได้ผลผลิตในเวลาที่เหมาะสม

Escaramboni และคณะ ได้พัฒนากระบวนการไฮโดรไลซิสขั้นตอนเดียวในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้เวลา 10 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (TRL 3) (Escaramboni, FernándezNúñez, Carvalho และ Oliva Neto, 2018) Chaikaew และคณะ ได้พัฒนากระบวนการนำแป้งออกจากเส้นใยอย่างสมบูรณ์ด้วยเอนไซม์  $\alpha$ -amylase ทางการค้า ที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (TRL 3-4) (Chaikaew และคณะ, 2012) Siroth และคณะ ใช้เอนไซม์ผสมหลายตัว ได้แก่ เอนไซม์เซลลูเลสและเพคตินเนส (TRL 3-4) (Siroth และคณะ, 2000) Wang และคณะ ได้เพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตโดยใช้สายพันธุ์จุลินทรีย์ผสมสองสายพันธุ์ในการหมักแบบแข็ง (solid-state) (TRL 3-4) (X.-J. Wang, Bai และ Liang, 2006) Elemike และคณะ ได้พัฒนาวิธีการแบบสองขั้นตอนโดยใช้กรดเจือจางและเอนไซม์  $\alpha$ -amylase เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100°C HCl 0.5 M และใช้เอนไซม์ amyloglucosidase ที่ pH 4.6 อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง (TRL 3-4) (Elemike และคณะ 2015)

กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ เคมีชีวภาพและผลิตภัณฑ์ชีวภาพ (biofuels, biobased chemicals and bioproducts) ซึ่งต้องผ่านขั้นตอนการปรับสภาพเพื่อเปลี่ยนเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลโดยการปรับ conversion pathway ให้เหมาะสมกับวัตถุดิบและขยายขนาด (scale up) จากระดับห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ ยังพบว่า การปรับสภาพด้วยกรดเจือจางร่วมกับการใช้เอนไซม์เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งกระบวนการดังกล่าว Fraunhofer CBP มีศักยภาพในการพัฒนากระบวนการดังกล่าวได้

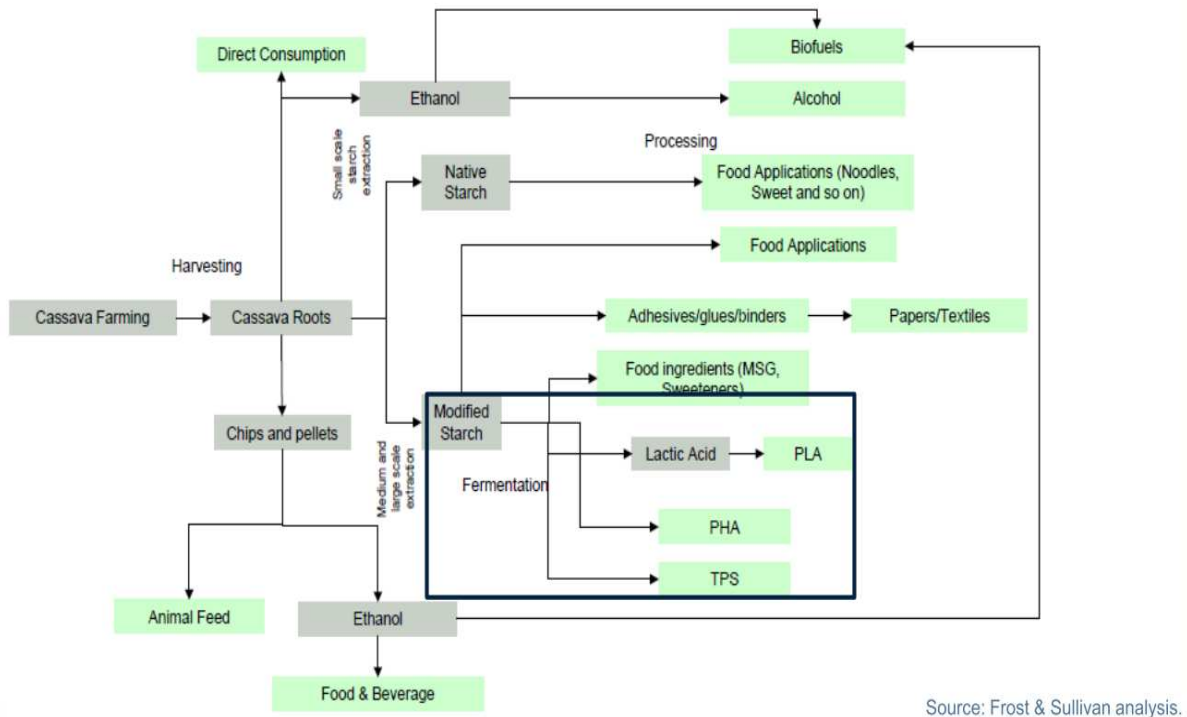
### (ข) กระบวนการแปรรูปกากมันสำปะหลัง (Processing cassava pulp)

กากมันสำปะหลังใช้ประโยชน์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas) อาหารสัตว์ ปุ๋ย เอทานอลและสารลดแรงตึงผิว (Ubalua, 2017) กากมันสำปะหลังยังสามารถเปลี่ยนเป็นไบโอมีเทนและไฮโดรเจนได้ด้วยการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic digestion) ซึ่งสองผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถแยกใช้หรือใช้เป็นส่วนผสมในรูปของเชื้อเพลิงหรือ chemical conversion แต่มูลค่าเพิ่มค่อนข้างต่ำ

กากมันสำปะหลังถูกเปลี่ยนเป็นเอทานอลโดยใช้ยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae* Kyokai no.7) ที่ผลิตเอนไซม์กลูโคสไมเลสบนผิวเซลล์ หลังจากทำ hydrothermal pretreatment กากมันสำปะหลังด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะเติมเอนไซม์เซลลูเลสจากเชื้อ *Trichoderma reesei* เพื่อให้เซลลูโลสเปลี่ยนเป็นแป้ง (starch) และน้ำตาลกลูโคสที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นเอทานอล 91% (Kosugi และคณะ, 2009) (TRL 5-6)

ประเทศไทยมีการจัดตั้งโรงงานต้นแบบผลิตเอทานอลจากกากมันสำปะหลังโดยความร่วมมือระหว่างบริษัทอุบลเอทานอลกับบริษัท ST1 ซึ่งเป็นบริษัทพัฒนาพลังงานจากประเทศฟินแลนด์ เจ้าของเทคโนโลยี Etanolix® ปัจจุบันบริษัท ST1 ได้จัดตั้งบริษัทย่อย คือ บริษัท St1 Renewable Energy (Thailand) Ltd เพื่อดำเนินการทำวิจัยและพัฒนาระบบการผลิตเอทานอลจากกากมันสำปะหลัง ด้วยเทคโนโลยี Etanolix® โดยมีเป้าหมายขยายการผลิตโรงงานเอทานอลด้วยเทคโนโลยีดังกล่าวในประเทศไทยจำนวน 20 แห่ง กำลังการผลิตเป้าหมาย 400 ล้านลิตรต่อปี (St1, 2018) (TRL 7-8) นอกจากนี้ บริษัท Sapporo Holdings Ltd. (SHL; Tokyo, Japan [www.sapporoholdings.jp](http://www.sapporoholdings.jp)) ได้พัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากกากมันเช่นกัน และมีข้อตกลงการใช้เทคโนโลยีกับบริษัทอินโนเทค กรีน เอ็นเนอจี ซึ่งเป็นบริษัทร่วมทุนระหว่างบริษัท พีทีจี เอ็นเนอจี จำกัด (มหาชน) และบริษัท เอี่ยมบูรพา จำกัด โดยนำร่องผลิตในระบบสาธิตที่กำลังการผลิต 80,000 ลิตรต่อปี (TRL 8)

ซัคซิเนต (Succinate) เป็น bio-based platform chemical ที่ใช้ในการสังเคราะห์โพลิเมอร์ สารลดแรงตึงผิว (surfactants) ตัวทำละลายที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Green solvent) ผงซักฟอก สารปรุงแต่งรสชาติและสารแต่งกลิ่น ได้จากการแปรรูปกากมันสำปะหลัง การดัดแปลงพันธุกรรมของ *Escherichia coli* KJ122 ช่วยให้สามารถผลิตซัคซิเนตได้อย่างมีประสิทธิภาพผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสและการหมักที่แยกกระบวนการกัน (separate hydrolysis and fermentation; SHF) โดยมีผลผลิต  $82.33 \pm 0.14$  กรัม/100 กรัม กากแห้ง) หรือใช้กระบวนการ saccharification และ fermentation ร่วมกัน (simultaneous saccharification and fermentation; SSF) มีความสามารถในการผลิต  $71.64 \pm 0.97$  กรัม/100 กรัม กากแห้ง) (Sawisit, 2015) อย่างไรก็ตาม ปัญหาหลักในการใช้กากมันสำปะหลัง คือ ปริมาณเส้นใยสูง (Chemengonline, 2018)

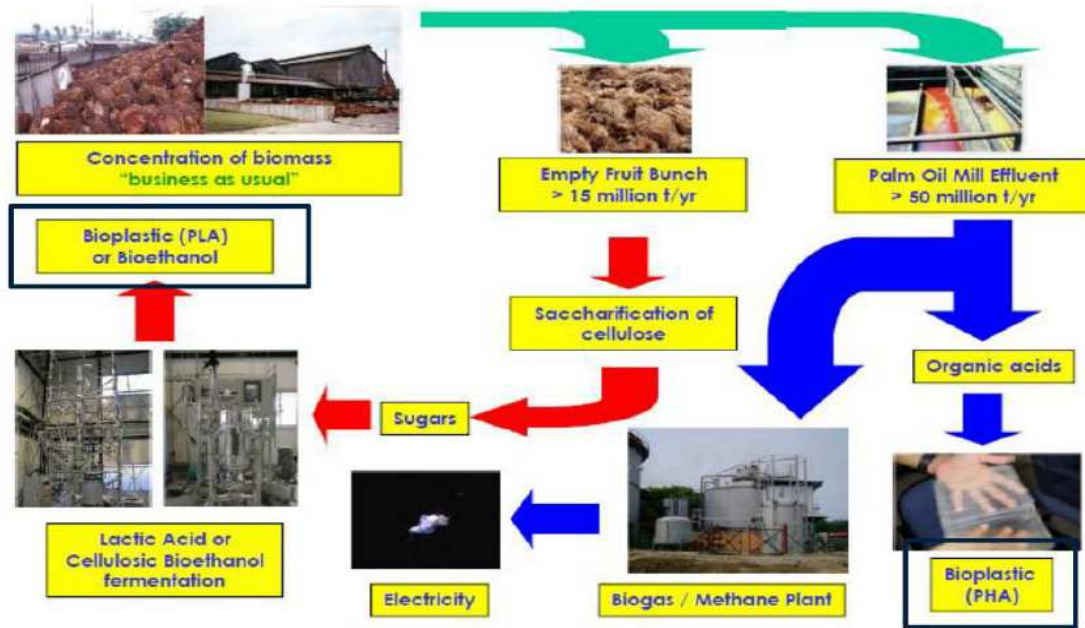


รูปที่ 3-10 : ห่วงโซ่คุณค่าผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพจากวัตถุดิบมันสำปะหลัง  
ที่มา : Frost และ Sullivan, 2012

## 2. Vegetable oil biorefinery

กระบวนการ Vegetable oil biorefinery เป็นกระบวนการแยกส่วนประกอบของน้ำมันที่อยู่ในพืช เมล็ด หรือผล เมล็ดพืชน้ำมันที่สำคัญ ได้แก่ เมล็ดเรพซิด (rape seed) เมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดทานตะวัน เมล็ดฝ้าย และถั่วลิสง ส่วนพืชน้ำมันที่สำคัญ ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว และมะกอก โดยน้ำมันดิบจะถูกทำให้บริสุทธิ์ก่อนการใช้ประโยชน์หรือการแปรรูป หรือใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมโอเลโอเคมีคอลด้วยกระบวนการทางเคมี หรือกระบวนการทางกายภาพซึ่งวิธีการนี้ใช้ต้นทุนต่ำ ใช้สารเคมีน้อย ไม่สูญเสียน้ำมันมากและไม่มีน้ำเสีย

ส่วนต่างๆ ของปาล์มน้ำมันสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เช่นกัน เป็นต้นว่า ทะลายปาล์มน้ำมัน (Empty Fruit Bunch (EFB)) ซึ่งเป็นผลพลอยได้ของการกลั่นน้ำมันปาล์ม ทะลายปาล์มเปล่าเป็นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลซิก เมื่อนำไปผ่านกระบวนการหมักจะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นกรดแลคติกซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิต Polylactic acid (PLA) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ หรือนำทิ้งจากกระบวนการผลิตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นสารตั้งต้นผลิตพลาสติกชีวภาพชนิด Polyhydroxyalkanoates (PHAs) ซึ่งเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ และน้ำเสียนำไปผลิตก๊าซชีวภาพและใช้ก๊าซชีวภาพไปผลิตไฟฟ้า ดังรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-11 : ห่วงโซ่มูลค่าผลิตภัณฑ์สำหรับปาล์มน้ำมัน  
ที่มา : Frost และ Sullivan, 2012

### 3.3.2 ความพร้อมของเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรีจำแนกตามผลิตภัณฑ์เป้าหมาย

#### 1) ผลิตภัณฑ์จากน้ำตาล (Sugar-based products)

##### ก) ไดออล (Diols)

กลุ่มผลิตภัณฑ์ไดออลประกอบด้วย 1,3-propanediol (1,3-PDO), 1,2 propanediol (1,2-PDO), 2,3-butanediol (2,3-BDO) และ 1,4-butanediol (1,4-BDO) ซึ่งสาร 1,3-PDO และ 1,4-BDO ใช้เป็น bio-monomers สำหรับการผลิต polyesters polypropylene terephthalate (PPT) และ polybutylene terephthalate (PBT) ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าวอยู่ในระดับ TRL 7-8

##### ข) การผลิตกรดแลคติก (Lactic acid / Polylactic acid (PLA))

การผลิตกรดแลคติก L-Lactic (2-hydroxypropionic acid) ด้วยกระบวนการหมักโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ถือว่าเทคโนโลยีอยู่ในระดับ TRL 8-9 เนื่องจากมีการผลิตในเชิงพาณิชย์แล้ว แต่สำหรับการผลิตกรดแลคติกด้วยเทคโนโลยีประเภทที่มีการใช้เครื่องมือใหม่ เช่น วิศวกรรมกระบวนการ (metabolic engineering) เป็นเทคโนโลยีเกี่ยวกับการดัดแปลงจุลินทรีย์ด้วยเทคนิครีคอมบิแนนต์ดีเอ็นเอให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และแก้ไขปัญหาได้ดีขึ้น เช่น การยับยั้งการสร้างผลิตภัณฑ์ที่ไม่เกี่ยวข้อง (product inhibition) ฯลฯ นอกจากนี้ ยังมี การหมักรูปแบบใหม่ด้วยเทคนิคการตรึง (immobilization) เพื่อการผลิตขนาดใหญ่ ระบบรีไซเคิลเซลล์ตลอดจนกระบวนการหมักแบบ simultaneous saccharification เพื่อช่วยเพิ่มผลผลิต (E<sub>s</sub> และคณะ, 2018) อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีการผลิตด้วยการใช้จุลินทรีย์ดัดแปลงพันธุกรรมส่วนใหญ่ยังอยู่ในระดับสาธิต (TRL 5-6)

##### ค) การผลิต Polyhydroxyalkanoates (PHAs)

การผลิต PHAs ทำได้โดยใช้แบคทีเรียที่มีการปรับปรุงสายพันธุ์ด้วยวิธีทางเทคโนโลยี และเพิ่มผลผลิตได้ด้วยกระบวนการหมักที่เหมาะสม การผลิต PHA ในระดับอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นสารตั้งต้นเนื่องจากให้ผลผลิต PHA ในอัตราที่สูงกว่า เทคโนโลยีการผลิต PHA ด้วยแบคทีเรียถือว่ามีความพร้อมใน

การผลิตระดับอุตสาหกรรมแล้ว (TRL 8-9) อย่างไรก็ตาม การผลิต PHA ยังมีต้นทุนสูง ดังนั้น จึงมีความพยายามลดต้นทุนการผลิตด้วยการเลือกใช้แหล่งคาร์บอนราคาถูกโดยเฉพาะจากวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม เช่น กลีเซอร์อล รวมไปถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ทะลายปาล์ม ชานอ้อย ฟางข้าว เป็นต้น แต่เทคโนโลยีการผลิต PHA จากวัสดุเซลลูโลสส่วนใหญ่ยังอยู่ในระดับสาธิต (TRL 4-6) เท่านั้น การผลิต PHA ที่ใช้กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายที่ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมความพร้อมของเทคโนโลยีอยู่ระดับสาธิต (TRL5-6) แต่การสกัดด้วยกระบวนการสกัดที่ใช้ตัวทำละลายที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมยังเป็นงานวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ (TRL 2-3) (Bugnicourt, 2014)

ตารางที่ 3-2 : สายพันธุ์แบคทีเรียที่นำมาใช้ผลิต PHA ระดับอุตสาหกรรม

แบคทีเรีย	ชนิดของ PHA	อัตราการผลิต (ร้อยละต่อน้ำหนักเซลล์แห้ง)	บริษัทผู้ผลิต
<i>Ralstonia eutropha</i>	PHB	>80%	Tianjin North Food, China
<i>Alcaligenes latus</i>	PHB	>75%	Chemic Linz, bT, Austria
<i>Escherichia coli</i> (recombinant)	PHB	>80%	Biomers, Germany
<i>Ralstonia eutropha</i>	PHBV	>75%	Jiang Su Nan Tian, China
<i>Ralstonia eutropha</i>	P3HB4HB	>75%	ICI, United Kingdom
<i>Escherichia coli</i> (recombinant)	P3HB4HB	>75%	Zhejiang Tian An, China
<i>Ralstonia eutropha</i>	PHBHHx	>80%	Metabolix, USA
<i>Aeromonas hydrophila</i>	PHBHHx	<50%	Tianjin Green Biosci, China
<i>Aeromonas hydrophila</i> (recombinant)	PHBHHx	>50%	P&G, Kaneka, Japan
<i>Pseudomonas putida</i> และ <i>P. oleovorans</i>	mcl-PHA	>60%	P&G, Jiangmen Biotech Ctr, China
<i>Bacillus spp.</i>	PHB	>50%	Shandong Lukang, China
			ETH, Switzerland
			Biocycles, Brazil

ที่มา : ประดิษฐ์ เอี่ยมสะอาด, 2560

### ง) Polybutylene succinate (PBS)

PBS ผลิตได้จากกรดซัคซินิก (succinic acid) และ 1,4 บิวเทนไดออล (1,4 Butanediol) ซึ่งการผลิต PBS โดยใช้ซัคซินิกจากการหมักน้ำตาลรวมกับการใช้บิวเทนไดออลจากปิโตรเลียมเป็นกระบวนการผลิตในเชิงพาณิชย์แล้ว (TRL8-9) ขณะที่การพัฒนาบิวเทนไดออลจากชีวมวลหรือบิวเทนไดออกซิเจนอยู่ในระดับสาธิต (TRL 7-8)

### จ) Xylonic acid

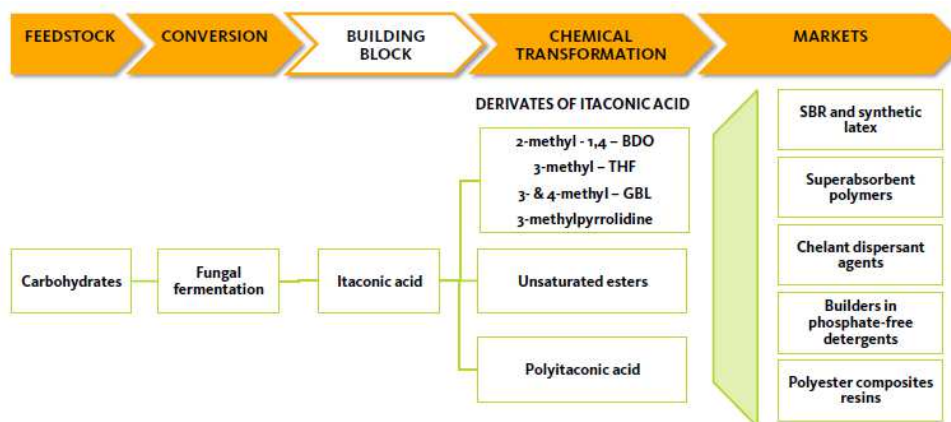
D-Xylonic acid หรือ D-xylonate เป็นกรดอินทรีย์คาร์บอน 5 อะตอม ที่ได้จากการออกซิเดชัน D-xylose โดย D-xylonate เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ 1,2,4-butanetriol ขณะนี้ความพร้อมของเทคโนโลยีการพัฒนา Xylonic acid จากชีวมวลยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ (TRL 3-4) (Lee และคณะ, 2017; Cao และคณะ, 2017; Toivari และคณะ, 2012) แม้ว่าอัตราการผลิต D-xylonate จากแบคทีเรียที่ไม่ได้ผ่านการตัดต่อพันธุกรรมจะมีประสิทธิภาพสูง แต่ปัจจุบันยังไม่มีการผลิตเชิงพาณิชย์ในระดับอุตสาหกรรม เพราะต้นทุนของกระบวนการแยก (separation) ในระดับใหญ่ยังค่อนข้างสูง ทั้งนี้ การพัฒนาสายพันธุ์จุลินทรีย์ด้วยการดัดแปลงพันธุกรรม (เช่น *E. coli*, *Saccharomyces cerevisiae* และ *Kluyveromyces lactis*) ร่วมกับการปรับปรุงกระบวนการผลิต smart down-stream protocol มีความก้าวหน้าในระดับห้องปฏิบัติการ (TRL 3-4) (Toivari และคณะ, 2012)

## ข) Succinic acid

กรดซัคซินิกเป็น building block สำหรับผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น tetrahydrofuran, butanediol, maleic anhydride และโพลิเมอร์ไนลอน ปัจจุบันการผลิตกรดซัคซินิกทางชีวภาพเชิงการค้าประสบความสำเร็จแล้วในหลายบริษัท ได้แก่ บริษัท BioAmber (แคนาดา), Myriant (สหรัฐอเมริกา), Succinity ซึ่งร่วมทุนระหว่างบริษัท BASF และ Corbion, Purac (เยอรมนี) และ Reverdia (เนเธอร์แลนด์) (Becker, 2015) ความพร้อมของเทคโนโลยีอยู่ในระดับ TRL 7-8 (Becker และ Wittmann, 2015) เริ่มมีการผลิตบิวเทนไดโอดอลจากน้ำตาล เช่น บริษัท Myriant และ Mitsubishi chemical

## ค) Itaconic acid

การผลิตกรด itaconic ทางชีวภาพเริ่มตั้งแต่ปี 1940 (Kuenz และคณะ 2012) เพื่อเป็นสารตั้งต้นสำคัญสำหรับการผลิตโพลิเมอร์ (เช่น กรด polyitaconic และเส้นใยทดแทนกรดอะคริลิก) สารเคมี (สไตรีน และ 2-methyl-1,4-butanediol) และเชื้อเพลิง (Zhao และคณะ, 2018) การผลิตกรด Itaconic ทำได้โดยใช้เชื้อราเช่น *Aspergillus terreus* และ *Ustilago maydis* มีรายงานว่าสามารถผลิตได้จากกลูโคสอยู่ที่เกือบ 90 กรัม/ลิตร (Zhao และคณะ, 2018) การเพิ่มปริมาณผลผลิตกรด itaconic ทางชีวภาพทำได้ด้วยการปรับปรุงสายพันธุ์จุลินทรีย์และใช้กระบวนการหมักแบบสองขั้นตอน ซึ่งงานวิจัยล่าสุดมีการปรับปรุงให้สายพันธุ์เจริญเติบโตได้รวดเร็วที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และเมื่อใช้กระบวนการหมักแบบสองขั้นตอนจะเพิ่มผลผลิตเป็น 47 กรัม/ลิตร จากเดิม 32 กรัม/ลิตร (Harder และคณะ, 2018) ปัจจุบันมีการผลิตกรด itaconic ด้วยกระบวนการหมักของ *A. terreus* ในระดับสาธิตขนาดใหญ่ (TRL 8-9) แล้ว (Zhao และคณะ, 2018)



## ง) Malic acid

การผลิตกรดมาลิกทำได้โดยใช้เชื้อรากลุ่ม *Ustilago trichophora*, *Aspergillus flavus*, *A. oryzae*, *A. niger* และ *Penicillium sp.* ที่เป็นสายพันธุ์ธรรมชาติ (Dai และคณะ, 2018) ให้ผลผลิตกรดมาลิกสูงถึงเกือบ 200 กรัม/ลิตร (Zambanini และคณะ, 2016) ด้วยการใช้น้ำตาลชนิดต่างๆ เป็นแหล่งคาร์บอน ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตมีความพร้อมในเชิงพาณิชย์ แต่ยังมีปัญหาการสูญเสียคาร์บอนผ่านทางคาร์บอนไดออกไซด์และการสร้างผลิตภัณฑ์ (Dai และคณะ, 2018) ทำให้มีงานวิจัยเพิ่มเติมเพื่อดัดแปลงพันธุกรรมของจุลินทรีย์ เช่น บริษัท Novozymes ได้พัฒนา *A. oryzae* ดัดแปลงพันธุกรรมที่มีความสามารถผลิตกรดมาลิกจากกลูโคสที่ระดับ 154 กรัม/ลิตร ในระดับห้องปฏิบัติการ (TRL 3-4) (Brown และคณะ, 2013)

## ญ) hydroxypropionic acid (3-HP)

การผลิต 3-HP ทำได้ด้วยการใช้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติและการใช้จุลินทรีย์ดัดแปลงพันธุกรรม ซึ่งการทำ metabolic engineering นำไปสู่การพัฒนาสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีลักษณะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการควบคุม heterologous pathway แหล่งคาร์บอน พารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต (De Fouchécour และคณะ, 2018)

มีรายงานว่าสายพันธุ์ *Klebsiella pneumonia* ให้ค่า titer ของ 3-HP สูงที่สุดที่ 83.8 กรัม/ลิตร จากกลีเซอรอล (Li และคณะ, 2016) แต่ติดปัญหาในการควบคุม metabolic pathways จึงยังไม่มี การนำมาใช้ในเชิงอุตสาหกรรม เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว เช่น บริษัท OPX biotechnologies ของสหรัฐอเมริกา ได้ยื่นจดสิทธิบัตรรีคอมบิแนนท์ *E. coli* ที่ผลิต 3-HP และพัฒนากระบวนการหมักได้ถึง 250 ลิตร (TRL5) (Lynch and Warnecke-Lipscomb, 2011) ซึ่งสภาวะดังกล่าวให้ผลผลิต 3-HP สูงถึง 20 กรัม/ลิตร โดยใช้ วิธี malonyl-CoA และเมื่อเร็วๆ นี้ บริษัท Cargill Inc. ได้รับถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิต 3-HP จากบริษัท OPX biotechnologies (De Jong, 2012) ส่วนบริษัท Verdant Bioproducts Limited เป็นบริษัทแรก ที่สร้างโรงงานผลิต 3-HP จาก CO<sub>2</sub> (Cargill, 2015) ทั้งนี้ งานวิจัยที่กำลังดำเนินอยู่มุ่งเน้นการกำจัดข้อบกพร่อง เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียผลิต 3-HP สำหรับการผลิต 3-HP เชิงพาณิชย์ด้วยวิธีการทาง ชีวภาพ

## ก) Furandicarboxylic acid

2,5-Furandicarboxylic acid (FDCA) เป็นสารตัวกลางเพื่อใช้ในการสังเคราะห์สารโพลีเอสเตอร์ (De Jong, 2012) บริษัท AVA Biochem ได้พัฒนาและจดสิทธิบัตรเทคโนโลยี Water-based Hydrothermal Process (HTP) ที่แปลงน้ำตาล C6 ให้เป็นน้ำตาล 5-Hydroxymethylfurfural (5-HMF) (TRL 7) และถูก ออกซิไดซ์ต่อทางเคมีให้เป็น FDCA (TRL 5) ขณะที่การผลิต FDCA มีความพร้อมอยู่ในระดับการสาธิตในระดับ ห้องปฏิบัติการ (TRL4-6)

## 2) ผลิตภัณฑ์จากไขมัน (oil-based products)

### ก) Long-chain dicarboxylic acids

สาร  $\alpha,\omega$ -Dicarboxylic acids (DCAs) ผลิตได้จากชีวมวล เช่น น้ำมันพืช หรือ กรดไขมัน (FAs) เป็น วัตถุดิบที่ใช้กันได้หลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง long-chain DCAs มีศักยภาพในการเพิ่มฟังก์ชันใหม่ๆ ให้กับผลิตภัณฑ์ (Huf และคณะ, 2011) ตัวอย่าง เช่น บริษัท Cathay Industrial Biotech Ltd ผลิตไนลอน 6,14 จากสาร C14-DCA ที่มีคุณสมบัติในการไม่ดูดนํ้า (hydrophobicity) ให้กับผลิตภัณฑ์ (Kroha, 2004) ซึ่งเป็นประโยชน์ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ ที่ผ่านมา Fraunhofer (Zibek และคณะ, 2009) ได้ศึกษาการผลิตกรด 1,18-octadecanedioic acid (C18-DCA) จากกรดโอเลอิกด้วยกระบวนการหมักโดยยีสต์ *Candida* สายพันธุ์ที่ออกซิไดซ์ long-chain, unsaturated alkanes หรือกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว และเปลี่ยน ให้เป็นสาร DCAs ผ่านทางวิธี  $\omega$ -oxidation ที่จำเพาะ นอกจากนี้ มีการศึกษาการหมัก DCAs แบบโซยาว ด้วยสายพันธุ์  $\beta$ -oxidation-blocked *Candida* ที่ใช้สารตั้งต้นหลายชนิด ได้แก่ alkanes (C11-C17), alkenes, alkanols และ alkenols, กรดไขมัน และเอสเทอร์ของ FA (C14-C22) ซึ่งกรดไขมันจากน้ำมันพืช เป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและย่อยสลายได้ และยังสามารถใช้ non-edible vegetable oils ทดแทน edible food crops ได้อีกด้วย

Fraunhofer เปลี่ยนกรดไขมันด้วยกระบวนการทางชีวภาพและ Fatty acid methyl esters (FAMES) จาก non-edible crops ให้เป็นสาร DCAs ในระดับห้องปฏิบัติการ (shake flask) ด้วยเชื้อ *Candida sp.* และจำลองสภาพการหมักแบบแบตช์ (batch) จากนั้นวิเคราะห์ด้วย Thin layer chromatography (TLC) และ Liquid chromatography–mass spectrometry (LC-MS) รวมถึง ศึกษาการเปลี่ยนแปลงกรดโอเลอิก และการหมักแบบให้ผลผลิตของสาร C18: 1-DCA (1,18-octadecanedioic acid) สูง จากการใช้สายพันธุ์  $\beta$ -oxidation-blocked *Candida sp.* (Zibek และคณะ, 2009) และศึกษาการเปลี่ยนแปลง C18-FAs อื่นๆ ที่มีพันธะคู่ เช่น กรด linoleic (C18:2) linolenic (C18: 3) และกรด erucic acid ที่เป็น mono-unsaturated FA สายยาว (C22: 1) ไปเป็น DCAs ในระดับห้องปฏิบัติการโดยการหมักแบบแยกกระยะการเจริญเติบโตและการผลิต

กระบวนการหมักเพื่อผลิตกรด 1,18-octadecanedioic จากกรดโอเลอิกถูกปรับปรุงให้เหมาะสมกับถังหมักขนาด 30 ลิตร (TRL 4) โดยในระยะเวลาการผลิต (production phase) ความเข้มข้นของชีวมวลสูงจะช่วยให้ประสิทธิภาพการผลิตได้ (Zibek และคณะ, 2009) ด้วยการปรับปรุงขั้นตอนผนวกกับการใส่สารอาหารในอาหารเลี้ยงเชื้อทำให้สามารถผลิต C18: 1-DCA ได้ที่ความเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร ตามรายงานของ Zibek และคณะ (2009)

#### ข) Adipic acid

การผลิตกรด adipic เชิงพาณิชย์ ใช้กระบวนการออกซิเดชัน cyclohexane เพื่อผลิต cyclohexanone และ cyclohexanol และขั้นตอนสุดท้ายใช้กรดไนตริกเพื่อการออกซิเดชัน ในขั้นตอนสุดท้ายนี้เกิดผลพลอยได้ ไนตรัสออกไซด์ ( $N_2O$ ) ที่เป็นสาเหตุของการเกิดก๊าซเรือนกระจกที่มีผลต่อภาวะโลกร้อน ประมาณ 300 เท่า ของคาร์บอนไดออกไซด์ และมีส่วนทำให้ carbon footprint (kg  $CO_2$  equivalent per kg product) ต่อกระบวนการผลิตโดยรวมสูง ดังนั้น ในกระบวนการผลิตจึงเลือกใช้กระบวนการออกซิโดซ์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาอนินทรีย์กับวัตถุดิบที่เป็นกลูโคสจากสารชีวมวลและการ hydrodeoxygenation กรด glucaric (Diamond และคณะ, 2014) หรือการใช้ whole cell-catalyst ในการ re-couples degradation กับวัตถุดิบอีกหลายชนิดในการผลิตกรด adipic กรด suberic และ didodecanoic acid (Beardtslee and Picataggio, 2012)

Fraunhofer มีประสบการณ์เกี่ยวกับการขยายขนาดและการทำให้บริสุทธิ์ long-chain dicarboxylic acids (Huf และคณะ, 2011; Werner และคณะ, 2017) นอกจากนี้ ยังศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันสายสั้น (short chain FA), กรดเป็ลาร์โกนิก (pelargonic acid, C9-FA) ไปเป็น DCA

#### ค) Biobased epoxides จากพืชน้ำมัน

การผลิตอนุพันธ์ของ epoxides จากน้ำมันพืชเป็นที่รู้จักกันในชื่อว่า “chemo-enzymatic epoxidation” โดยสามารถผลิต epoxides ด้วยการใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาที่ใช้ไลเปสนี้ประกอบด้วยขั้นตอนการทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน คือ การเร่งปฏิกิริยาด้วยไลเปสเพื่อสร้าง peroxy acids โดยตรงจากอนุพันธ์กรดคาร์บอกซิลิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตามด้วยกระบวนการ epoxidation ของ unsaturated substrates peracid (Björkling และคณะ, 1990; Warwel และคณะ, 1995 ) ข้อได้เปรียบหลักของการใช้เอนไซม์คือ สภาพะการทำงานที่ไม่รุนแรง และความสามารถในการแปรรูปแบบ high selectivity ด้วยการใช้ enzymatic epoxidation เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดผลพลอยได้ที่ไม่ต้องการและเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ง่ายขึ้น

ความคงตัว (stability) ของเอนไซม์ในระหว่างการใช้งานในอุตสาหกรรมเป็นเกณฑ์สำคัญในแง่ economically feasibility (Törnvall และคณะ, 2009) ดังนั้น ต้องให้ความสำคัญกับความเสถียรของไลเปส ในสถานะที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เป็นของเหลวในกระบวนการ chemo-enzymatic epoxidation

### ง) สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (Biosurfactants)

สารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผลิตจากจุลินทรีย์เป็นสารประกอบที่ช่วยลดแรงตึงผิวและมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เป็นประโยชน์ เช่น ความเป็นพิษต่ำ สลายตัวทางชีวภาพได้ ความสามารถในการเกิดฟองและกิจกรรม (activity) ที่มีความเสถียรที่สภาวะ extreme pH และอุณหภูมิสูง (Desai and Banat, 1997) สารชนิดนี้ผลิตได้จากจุลินทรีย์หลายชนิด เช่น เชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรีย โดยกระบวนการหมัก ข้อได้เปรียบที่สำคัญอย่างหนึ่งของการผลิตโดยจุลินทรีย์ คือ ความสามารถในการผลิตโมเลกุลชนิด amphiphilic ที่ออกแบบ ได้ทั้งโครงสร้างและหน้าที่ตามต้องการ สารลดแรงตึงผิวชีวภาพนี้ยังมีศักยภาพในการทดแทนสารลดแรงตึงผิวจากแหล่งปิโตรเคมีได้อย่างยั่งยืน (Günther, 2014) สารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผลิตจากจุลินทรีย์ที่โดดเด่นที่สุดคือ สาร sophorolipids (SL) ที่ได้จากยีสต์ *Starmerella bombicola* และสาร rhamnolipids (RLs) ที่ผลิตโดยแบคทีเรีย เช่น *Pseudomonas sp.* ส่วนสาร Cellobiose lipids (CLs) และ mannosylerythritol lipids (MELs) เป็นตัวอย่างเพิ่มเติมสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากจุลินทรีย์

Fraunhofer มุ่งเน้นไปที่การผลิต Mannosylerythritol lipids (MELs) และ Cellobiose lipids (CLs) พร้อมกับการเพิ่มประสิทธิภาพการหมักเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพเหล่านี้ การใช้ *Pseudozyma sp.* ในกระบวนการผลิตแบบ fed-batch ที่เพิ่มความเข้มข้นของ MEL จาก 70 กรัมต่อลิตรในระดับขวดทดลอง 140 กรัมต่อลิตรในระดับถังปฏิกรณ์ ส่วนการสังเคราะห์ CL มีวิธีการเพาะเลี้ยงที่แตกต่างกัน ซึ่งอยู่ระหว่างการศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชต่อการผลิตสาร (Günther และคณะ, 2010; Günther และคณะ 2014)

## บทที่ 4

### ระบบนิเวศนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี

ในบทนี้เป็นการประมวลแบบอย่างความสำเร็จ (Business Model) ของการจัดเตรียมและการบริหารจัดการระบบนิเวศนวัตกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานต้นแบบระดับขยายขนาดเพื่อการสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีของต่างประเทศ เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ประกอบการออกแบบระบบนิเวศนวัตกรรมที่ส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีของประเทศไทย

#### 4.1 สถานภาพการดำเนินงานของโรงงานต้นแบบของโลก

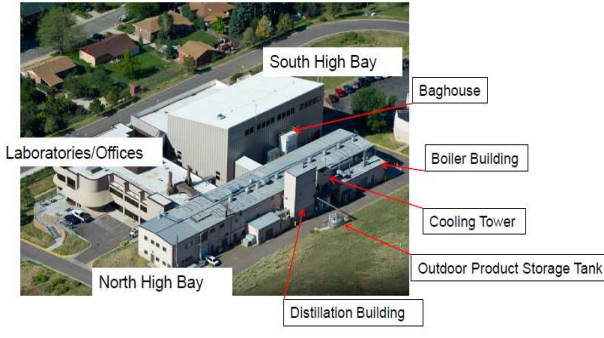
โรงงานต้นแบบระดับขยายขนาดเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีในการศึกษานี้ใช้ประเทศสหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป ออสเตรเลีย และมาเลเซีย เป็นกรณีศึกษา

##### 4.1.1 สหรัฐอเมริกา

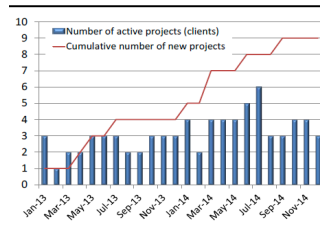
สหรัฐอเมริกามีการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีโดยการต่อยอดผลิตภัณฑ์จากฐานงานวิจัยสาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพที่ประเทศมีความเข้มแข็งร่วมกับวัตถุดิบและของเสียในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีที่สำคัญ ได้แก่ อุตสาหกรรมเอทานอลซึ่งมีโรงงานกว่า 200 แห่ง อุตสาหกรรมผลิตเคมีและพลาสติกชีวภาพ เช่น Polylactic Acid (PLA), Polybutylene Succinate (PBS), Polyhydroxyalkanoate (PHA), Polytrimethylene Terephthalate (PTT), Polyurethane (PU), Thermoplastic Starch (TPS), Polyethylene Terephthalate (PET) เป็นต้น (สถาบันพลาสติกไทย,2561)

เบื้องหลังความสำเร็จของการพัฒนาอุตสาหกรรม ได้แก่ การจัดเตรียมระบบนิเวศนวัตกรรม โดยเฉพาะโรงงานต้นแบบเพื่อประเมินความเป็นไปได้ทั้งทางเทคโนโลยีและด้านเศรษฐศาสตร์ (techno economic feasibility) ตัวอย่างเช่น กระทรวงพลังงานของสหรัฐอเมริกาจัดตั้ง “Biochemical Pilot Plant” ที่เป็นแหล่งรวมเครื่องมือทันสมัยระดับโลกเพื่อเป็นโครงสร้างพื้นฐานกลางให้ผู้ประกอบการมาใช้ประโยชน์ มีงานให้บริการครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการปรับสภาพวัตถุดิบ (pretreatment) ทั้งด้วยกระบวนการความร้อน ความดัน เคมี และกระบวนการทางชีวภาพ ไปจนถึงการผลิตผลิตภัณฑ์โรงงานต้นแบบประกอบแบ่งเป็น 2 โซน North High Bay เปิดให้บริการปี 2537 และตามมาด้วย South High Bay ในปี 2553

การให้บริการของโรงงานต้นแบบมี 2 รูปแบบ ได้แก่ 1) ให้บริการตามความต้องการของลูกค้าซึ่งค่าใช้จ่ายทั้งหมดเป็นความรับผิดชอบของผู้ว่าจ้าง ลูกค้ากลุ่มนี้มีสัดส่วนในการใช้บริการโรงงานต้นแบบประมาณ 2 ใน 3 ของเวลาใช้งานโรงงานต้นแบบ และ 2) ให้บริการสำหรับโครงการวิจัยระหว่างภาคเอกชนและกระทรวงพลังงาน โดยกลุ่มนี้ใช้บริการของโรงงานต้นแบบประมาณ 1 ใน 3 ของเวลาในการใช้งานของโรงงานต้นแบบ ทั้งนี้ในแต่ละเดือน (ในช่วงปี 2556-2557) โรงงานต้นแบบนี้ให้บริการเฉลี่ย 3 โครงการ โครงการมีมูลค่าเฉลี่ย 2.00-2.50 ล้านดอลลาร์สหรัฐ และมีโครงการใหม่ 4-5 โครงการ/ปี แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการมีโรงงานต้นแบบที่ชัดเจน

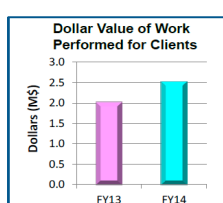


### Pilot Plant Usage



- Average of three client-based projects use the pilot plant every month
- Four to five new projects added every year

**Pilot plant is highly used by industry to generate materials and process-relevant performance information.**



---

### North High Bay Equipment

**Pretreatment**

- 1.0 ton/d vertical reactor
- 0.2 ton/d horizontal screw reactor
- 160-L batch reactor
- 1-L and 4-L batch reactors

**Fermentation**

- 30-L seed vessel
- Two 160-L vessels
- Two 1500-L vessels
- Four 9000-L vessels

**Separations**

- Distillation column (19-sieve trays)
- Perforated 100-L basket centrifuge
- Forced recirculation evaporator

### South High Bay Equipment

**Feed Handling**

- Two knife mills
- Continuous conveyance systems
- Multiple hoppers and weigh belts

**Pretreatment**

- 1.0 ton/d vertical reactor
- 0.5 ton/d horizontal screw reactor

**Enzymatic Hydrolysis**

- 1900-L paddle reactor
- Four 4000-L paddle reactors

**Separations**

- Screw presses
- Perforated 450-L basket centrifuge
- Rotary vacuum drum filter

นอกเหนือจากการตั้งโรงงานต้นแบบเพื่อให้บริการในลักษณะของโครงสร้างพื้นฐานกลางแล้ว รัฐบาลยังสนับสนุนเงินลงทุนเพื่อการสร้างโรงงานต้นแบบในระดับต่างๆให้กับภาคเอกชน เช่น กระทรวงพลังงานร่วมทุนกับบริษัท DSM ในสัดส่วนร้อยละ 50 จัดตั้งโรงงานต้นแบบระดับขยายขนาดเพื่อผลิตเอทานอลจากวัสดุเซลลูโลสีกขนาดกำลังการผลิตเอทานอล 25 ล้านแกลลอนต่อปี โดยโรงงานต้นแบบนี้ก่อสร้างในปี 2553 และเปิดดำเนินการในปี 2557 หรือการสนับสนุนงบประมาณในการก่อสร้าง DuPont Cellulosic Ethanol Facility สำหรับการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสีกขนาด 30 ล้านแกลลอนซึ่งถือเป็นขนาดใหญ่ที่สุดในโลก ขณะนั้น โดยรัฐบาลสนับสนุนเงินลงทุน 17.5 ล้านเหรียญสหรัฐจากมูลค่าโครงการรวม 225 ล้านเหรียญสหรัฐ ด้วยความสำเร็จของการดำเนินการดังกล่าว ทำให้มีโรงงานต้นแบบขนาดต่างๆ กระจายอยู่ทั่วประเทศเพิ่มขึ้น

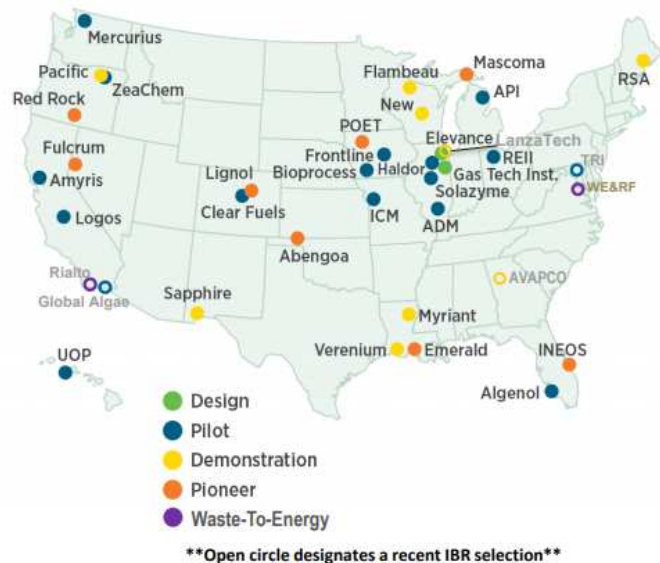
## Integrated Biorefinery Geographic Distribution

Since 2006, U.S. DOE Bioenergy Technologies Office (BETO) has supported a total of 42 pilot, demonstration, and pioneer-scale facilities

- Recently selected eight new projects for IBR optimization
- Recently selected six new pilot and demo scale projects

BETO investments have allowed industry partners to:

- Enable the development of first-of-a-kind IBRs
- Prove conversion technologies at scale
- Validate techno-economic assessments
- Gain investor confidence



ที่มา : Borislava Kostova,2017.

### 4.1.2 สหภาพยุโรป

อุปสรรคของการขับเคลื่อนอุตสาหกรรม biorefinery คือการก้าวข้ามจากการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการสู่การผลิตในระดับขยายขนาด เนื่องจากโครงสร้างพื้นฐานเพื่อการทดสอบผลิตในระดับขยายขนาดต้องการเงินลงทุนสูง ความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ซึ่งผู้ประกอบการส่วนใหญ่ทั้งกลุ่มบริษัทขนาดใหญ่ และ SMEs ไม่พร้อมดำเนินการดังกล่าวด้วยตนเอง ด้วยเหตุผลดังกล่าวสหภาพยุโรปจึงใช้กลไกลงทุนโรงงานต้นแบบ (pilot plant) ที่ให้บริการแบบเปิดและโรงงานสาธิตเอนกประสงค์ (Open access pilot/multipurpose demo-infrastructure) โดยรัฐเป็นผู้ลงทุน แต่บริหารจัดการในรูปแบบเอกชน ตัวอย่างรูปแบบของการจัดเตรียมโครงสร้างพื้นฐานและแบบอย่างความสำเร็จในการบริหารจัดการสรุปได้ดังนี้

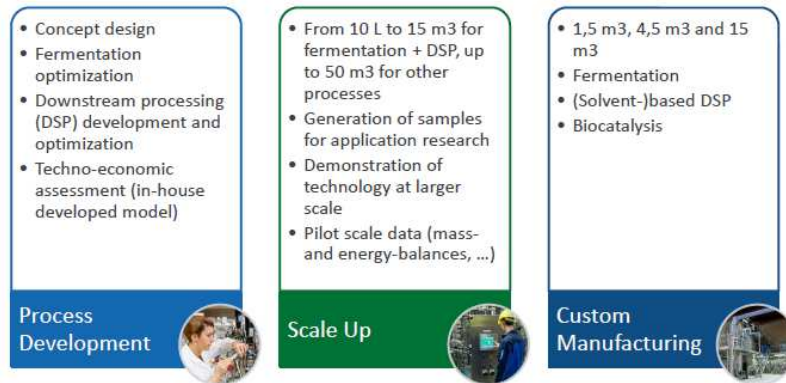
#### ก) เบลเยียม

Bio Base Europe Pilot Plant (BBEPP) เป็นโครงสร้างพื้นฐาน pilot plant เพื่อการผลิตในระดับขยายขนาดที่มีเป้าหมายหลักเพื่อให้บริการแก่ภาคเอกชน ยกกระตือรือร้นการผลิตจาก TRL 4 สู่ TRL 7 ครอบคลุมตั้งแต่การพัฒนากระบวนการผลิต (Process Development) Concept design, Fermentation optimization, Downstream procession, Techno-economic assessment การผลิตในระดับขยายขนาด (Scale Up) สามารถให้บริการหมักในระดับขนาด 10 ลิตร จนถึง 15 ลบ.ม. และมีถึงปฏิบัติการขยายขนาด 50 ลบ.ม. รวมถึงการให้บริการรับจ้างผลิตตามความต้องการ (Custom Manufacturing)

แม้ว่า BBEPP มีเป้าหมายเพื่อให้บริการแก่ภาคเอกชน แต่งบลงทุนของ BBEPP มาจากรัฐทั้งหมด (งบประมาณมาจากรัฐบาลเนเธอร์แลนด์กับเบลเยียม-INTERREG Flanders) ไม่มีกลุ่มเอกชนถือหุ้น รายได้ของ BBEPP มีสัดส่วนระหว่างรัฐกับเอกชน (public and private contracts) อยู่ที่ 50:50 ในส่วนของภาคเอกชน รายได้ 2 ใน 3 มาจากบริษัทขนาดใหญ่ และ 1 ใน 3 มาจาก SMEs (wordpress,2016) การดำเนินงานของ

BBEPP คຸ້ມທຸນໃນຮອຍະເວລາ 5 ປີນັບຈາກການເລີ່ມດຳເນີນງານໃນປີ 2556 ວ່າງໄກ້ດີ BBEPP ດຳເນີນການຮາຍໄດ້ non-profit regulations ທີ່ໄມ່ແສງທາກຳໄກຈາກການດຳເນີນງານ ທີ່ຜ່ານມາ BBEPP ຈຶ່ງໄມ່ມຸ່ງເນັ້ນລຸ່ງທຸນເຮືອງມື້/ ອຸປະກຣ໌ທີ່ຕອບໂຈທຳຍ໌ເລືອກຜາກຸ່ມ

## Services



ທີ່ມາ : Frederik De Bruyn, 2018. Bio Base Europe Pilot Plant; Turning Grams into Tonnes, Company presentation for National Science and Technology Development Agency in Thailand.

BBEPP ໃຫ້ບຣິກາກັບຮາກເອກຂນໃນຮູບແບບ Open Innovation projects ໃນ 2 ຮູບແບບ ໄດ້ແກ້

- 1) Bilateral Collaboration ເປັນການທຳສັຍຮາກຜ່າງກ່ວາ BBEPP ກັບຮາກເອກຂນ ແຫ່ງທຸນມາຈາກຮາກເອກຂນ ແລະທຣັຍສິນທາງປັຍຮາກທີ່ເກີດຂຶ້ນເປັນຂອງເອກຂນ ຕອບໂຈທຳຍ໌ຄວາມຕ້ອງການເຂັງຜາຄຶນຮັຍແລະອຸດສາກຮຣມ
- 2) Consortia-based Collaboration ແຫ່ງທຸນມາຈາກການຮະຕມທຸນຂອງກຸ່ມ Consortium ດ້ຍທີ່ BBEPP ສນັບສນຸນທຸນບາງສ່ວນ ອງຄ໌ຄວາມຮູ້ທີ່ໄດ້ເປັນຮູບແບບຂອງ Open Innovation ຕອບໂຈທຳຍ໌ Inclusive Growth ຍຣະຕັບຄວາມສາມາດທາງເຕກໂນໂລຢີແລະນວັຕຣມການຜລິຕຂອງກຸ່ມ Consortium ໃຫ້ສູງຂຶ້ນ

## Business Model Open Innovation Projects



- Independence
- Flexibility
- Confidentiality

### Bilateral projects with industry

#### Confidential

- Bilateral, privately funded
- Intellectual Property remains with customer
- Over 200 projects for over 100 companies

### Consortia-based projects

- Partly subsidized, partly privately funded
- Building expertise
- Generates publicity and communication

ທີ່ມາ : Frederik De Bruyn, 2018. Bio Base Europe Pilot Plant; Turning Grams into Tonnes, Company presentation for National Science and Technology Development Agency in Thailand.

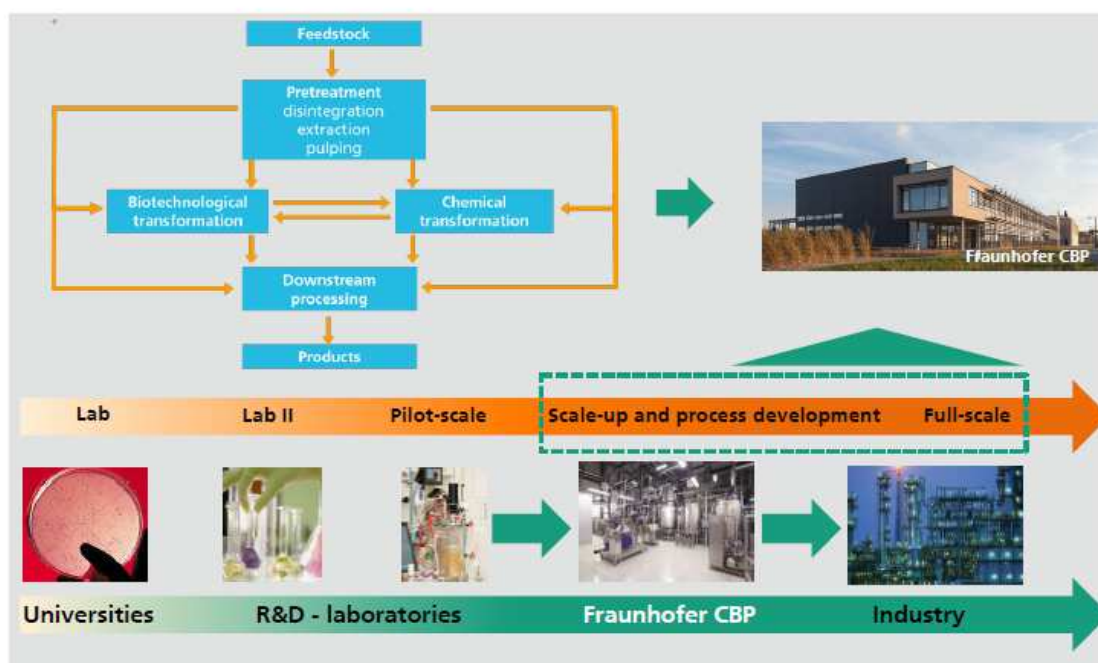
## ข) เยอรมนี

Fraunhofer Center for Chemical-Biotechnological Processes หรือ CBP เป็น Open access pilot plant ที่ให้บริการ plants/miniplants เพื่อปิดช่องว่างระหว่างการวิจัยพัฒนาในระดับห้องปฏิบัติการกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม โรงงานต้นแบบของ Fraunhofer มีเป้าหมายเพื่อให้บริการภาคเอกชนควบคู่กับรองรับงานวิจัยภายในสถาบัน Fraunhofer เอง

การให้บริการของ Fraunhofer CBP ครอบคลุมตั้งแต่ bio-process center ที่ให้บริการเทคโนโลยีฐาน (modular technology platform) เช่น fermentation ในระดับขยายขนาดจนถึงระดับ 10 ลูกบาศก์เมตร ระบบ pretreatment/precondition นอกจากนี้โรงงานต้นแบบของ Fraunhofer CBP ยังเป็น “Flexible biorefinery” ที่รองรับการผลิตเคมีภัณฑ์ (Chemical product) จากวัตถุดิบหลากหลายทั้งวัสดุเซลลูโลส ลิกโนเซลลูโลส น้ำตาล และน้ำมันจากพืช รวมถึงมีห้องปฏิบัติการที่ครอบคลุมทั้งด้าน biotechnology, chemistry และห้องปฏิบัติการเพื่อการวิเคราะห์ (analytical lab) เป็นต้น (Fraunhofer CBP)

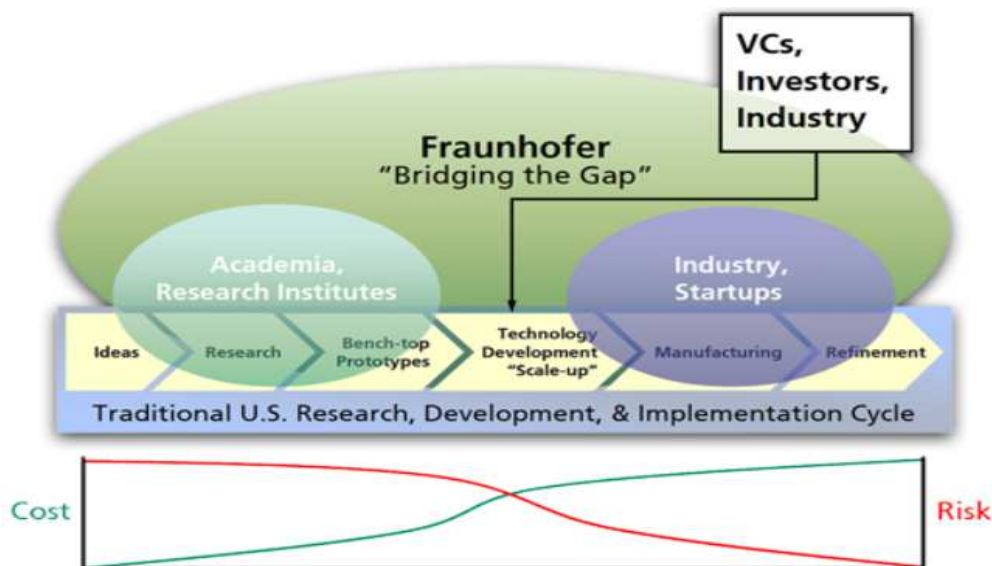
งบลงทุนของ Fraunhofer CBP โดยหลักมาจากภาครัฐ ได้แก่ German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) German Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL) Land of Sachsen-Anhalt การบริหารจัดการ Fraunhofer อยู่ในรูปแบบของกึ่งเอกชน งบดำเนินการร้อยละ 70 มาจากภาคเอกชนที่มาใช้บริการ (contracts with industry) และโครงการวิจัยร่วม (publicly financed research projects) และอีกร้อยละ 30 มาจากภาครัฐ

## Fraunhofer CBP: From laboratory to industrial scale



ที่มา : Henrik Beermann, Gerd Unkelbach, 2018.  
Industry Roadmap Biorefinery Technology Thailand

Fraunhofer CBP ให้บริการใน 2 รูปแบบหลักคือ 1) Contract research ทำสัญญาจ้างกับภาคเอกชน/ภาครัฐโดยตรง และ 2) project cooperation ในรูปแบบของ joint projects โดย Fraunhofer ยื่นขอรับงบประมาณสนับสนุนจากรัฐ เช่น EU, German Federal Ministries ดำเนินการในรูปแบบโครงการความร่วมมือระหว่าง Fraunhofer บริษัทขนาดกลาง/เล็ก/กลาง มหาวิทยาลัย/หน่วยงานวิจัยที่เป็น non-university ([https://www.cbp.fraunhofer.de/en/research/Range\\_of\\_services.html](https://www.cbp.fraunhofer.de/en/research/Range_of_services.html))



ที่มา : <https://www.bu.edu/fhcmi/About/model.html>

### ค) ฝรั่งเศส

Agro-industrie Recherches et Développements (ARD) เป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่อุตสาหกรรม Industries & Agro-Resources (IAR) Cluster ประเทศฝรั่งเศส ซึ่งเป็น production hub ของอุตสาหกรรมชีวภาพ ที่มีสมาชิกมากกว่า 400 แห่ง ซึ่งประกอบด้วยบริษัทอุตสาหกรรมขนาดใหญ่, บริษัท startups, SMEs, R&D centers มหาวิทยาลัย ฯลฯ

ARD ตั้งขึ้นเมื่อปี 2532 เพื่อค้นคว้าวิจัยในการเพิ่มมูลค่าสินค้าประเภทน้ำตาลและหญ้าอัลฟาฟา ต่อมามีการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานเพื่อการผลิตในระดับขยายขนาด (Industrial scaling-up) ที่ให้บริการเครื่องมือและโรงงานต้นแบบเพื่อขยายขนาดการผลิตจากระดับห้องปฏิบัติการสู่ระดับการค้า รวมถึงให้บริการห้องปฏิบัติการเพื่อทดสอบ/ค้นหากระบวนการผลิตที่เหมาะสม การให้บริการโรงงานต้นแบบที่ครบวงจรของ ARD ไม่ได้ตอบโจทย์ผู้ประกอบการเฉพาะในด้านเทคโนโลยี/เทคนิค แต่ช่วยลดความเสี่ยงของผู้ประกอบการในเรื่องกฎระเบียบและเงินลงทุนสำหรับการทดสอบการผลิต สาขาความเชี่ยวชาญของ ARD ได้แก่ Plant fractionation/ Downstream processing, Industrial biotechnology, Green Chemistry, Analytics

งบลงทุนของ ARD มาจากกลุ่มสมาชิกของ IAR Cluster ซึ่งเป็นผู้ประกอบการอุตสาหกรรมครอบคลุมตั้งแต่ผู้ผลิตอุตสาหกรรมต้นน้ำ เช่น ผู้ผลิตน้ำตาลจากหัวชูการ์บีท (Cristal Union) ผู้ผลิตแป้งข้าวสาลี (Chamtor) ผู้ผลิตเอทานอล (จากผลผลิตพลอยได้จากการผลิตน้ำตาล (Cristal Union) และวัสดุเซลลูโลส (CIMV)) และผู้ผลิตกลูโคสไซรัปจากแป้งข้าวสาลี (Chamtor) สำหรับผู้ผลิตกลางน้ำได้แก่ ผู้ผลิตเซลลูโลส ลิกนิน ไซโลส (จากฟางข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลี (CIMV)) ผู้ผลิตเคมีภัณฑ์ เช่น กรดซัคซินิก (BioAmber) เป็นต้น ดังนั้น การให้บริการจึงมุ่งเน้นสมาชิกของกลุ่ม IAR Cluster

## AREAS OF EXPERTISE

- Plant fractionation  
Down Stream Processing
- Industrial Biotechnology
- Green Chemistry
- Environment
- Analytics

## EXAMPLE OF PRODUCTS

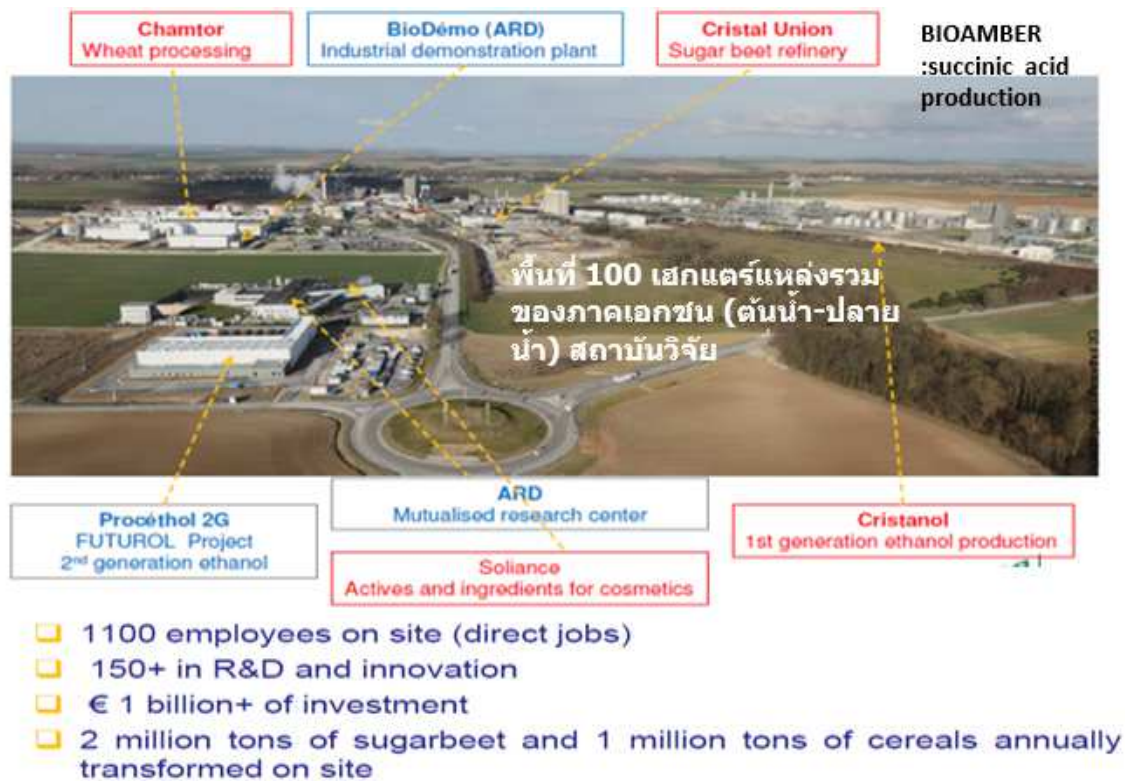
- Extraction of pentoses out from wheat bran
- Food prototypes
- Rare sugars
- Lignocellulosic ethanol
- Alfalfa proteins
- Biopolymers
- 1<sup>st</sup> generation ethanol
- Succinic acid
- Chemical intermediates
- Food grade strain production
- Fermented food products
- Polyesters and agromaterials
- Green surfactants
- Specialty chemicals for cosmetics, detergent, civil construction, agroindustry, aeronautic, plasturgy

## FROM LAB TO DEMO SCALE

- Fermentors from 2L to 180 m<sup>3</sup>
- Cross flow filtration
- Frontal filtration
- Ion exchange
- Chromatography
- Evaporation
- Crystallization
- Electrodialysis
- Decantation
- Centrifuge separation
- Glass lined reactors from 1m<sup>3</sup> to 9m<sup>3</sup>

ที่มา: <https://www.a-r-d.fr/sites/default/files/Depliant%20ARD-Biodemo-MajMAI2015-2-3-4.pdf>

ความสำเร็จของการจัดตั้งโรงงานต้นแบบนำไปสู่การจัดตั้งบริษัทไบโอรีไฟเนอรีเพิ่มเติม ดังกรณีของการจัดตั้งโรงงานต้นแบบระดับขยายขนาดสำหรับการผลิต Bio-Based Succinic Acid ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม เมือง Pomacle เมื่อปี 2551 ถือเป็นโรงงานต้นแบบระดับขยายขนาดสำหรับการผลิตซัคซินิกชีวภาพแห่งแรก มีกำลังการผลิต 2,000 ตันต่อปี ด้วยมูลค่าการลงทุน 21 ล้านยูโร โดยเทคโนโลยีที่นำมาทดสอบขยายขนาดเป็นผลงานวิจัยร่วมระหว่าง DNP Green Technology และ ARD หลังจากนั้นทั้งสองหน่วยงานได้ร่วมกันจัดตั้งกิจการร่วมค้าที่ชื่อว่า BioAmber ในปี 2550 เพื่อจัดจำหน่ายซัคซินิกชีวภาพในเชิงพาณิชย์ ต่อมาปี 2553 บริษัท DNP ได้ซื้อหุ้นทั้งหมดจาก ARD และเปลี่ยนชื่อเป็นบริษัท BioAmber โดยมี ARD เป็นผู้ผลิตกรดซัคซินิกชีวภาพให้กับ BioAmber โดย BioAmber ได้รับอนุญาตในการเป็นเจ้าของเทคโนโลยีนี้เพียงผู้เดียว (exclusive license) เป็นระยะเวลา 5 ปี



ที่มา : Agro-industrie Recherches et Développements

#### 4.1.3 ออสเตรเลีย

ออสเตรเลียมีเป้าหมายส่งเสริมการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงจากน้ำตาล หนึ่งในกลยุทธ์ คือ การจัดตั้ง Mackay Renewable Biocommodities Pilot Plant ในพื้นที่ของโรงงานน้ำตาลที่ชื่อว่า Mackay โดยเงินลงทุนเริ่มต้นในการก่อสร้างโรงงานต้นแบบมาจาก 3 แหล่ง คือ 1) รัฐบาลกลางของประเทศออสเตรเลีย ภายใต้โครงการความร่วมมือเพื่อการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการวิจัยระดับชาติ (National Collaborative Research Infrastructure Strategy: NCRIS) สำหรับโครงการเทคโนโลยีชีวภาพและกองทุนเพื่อการลงทุนทางการศึกษาแห่งอนาคต 2) กองทุนเพื่อการจัดเตรียมระบบโครงสร้างพื้นฐานเพื่อการวิจัยของรัฐควีนแลนด์ และ 3) มหาวิทยาลัย QUT โดยโรงงานต้นแบบแห่งนี้มีเครื่องมือที่ทันสมัย พร้อมผู้เชี่ยวชาญในด้านการปรับสภาพวัตถุดิบ (pretreatment) และกระบวนการปลายน้ำ (downstream process) ขนาดของถังหมักมีหลากหลายโดยขนาดใหญ่ที่สุดคือ 10,000 ลิตร รองรับจุลินทรีย์ทั้งในกลุ่มยีสต์ รา และแบคทีเรีย

โรงงานต้นแบบแห่งนี้เปิดให้บริการแก่นักวิจัยของมหาวิทยาลัย QUT และนักวิจัยที่อยู่ภายใต้เครือข่ายของ NCRIS เพื่อทดลองขยายขนาดสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรีส่วนใหญ่จากวัตถุดิบประเภทน้ำตาล ผลพลอยได้จากน้ำตาล และวัสดุประเภทเซลลูโลสที่ประเทศมีมาก ในปี 2560 มีโครงการจากมหาวิทยาลัย QUT จำนวน 6 โครงการไปใช้บริการจากโรงงานต้นแบบ ตัวอย่างเช่น โครงการที่เกี่ยวกับการปรับสภาพวัตถุดิบประเภทชานอ้อย และใบอ้อย การพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่สร้างมูลค่าเพิ่ม เช่น อาหาร อาหารสัตว์ เส้นใย เคมีภัณฑ์ และเชื้อเพลิงชีวภาพ ([https://cms.qut.edu.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0011/716663/QUT-Institute-for-Future-Environments-2017-Annual-Report.pdf](https://cms.qut.edu.au/__data/assets/pdf_file/0011/716663/QUT-Institute-for-Future-Environments-2017-Annual-Report.pdf))

#### 4.1.4 มาเลเซีย

ประเทศมาเลเซียมีเป้าหมายสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลัก เพื่อผลักดันให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมดังกล่าว จึงนำไปสู่การจัดตั้ง “SIRIM Bioplastics Pilot Plant” บริหารโดยบริษัท SIRIM (บริษัทของรัฐบาล) โรงงานต้นแบบแห่งนี้ตั้งอยู่ในรัฐเซอลาโงร์ (Selangor) เปิดให้บริการเมื่อปี 2554 เพื่อรองรับการผลิต PHAs จากน้ำมันปาล์ม ด้วยกำลังการผลิต 2,000 ลิตร ซึ่งเป็นการต่อยอดจากความสำเร็จของการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต PHA จากน้ำมันปาล์ม หลังจากงานวิจัยดังกล่าวประสบความสำเร็จในระดับสาธิต โดยความร่วมมือระหว่างนักวิจัยของ SIRIM และ MIT

การก่อสร้างโรงงานต้นแบบแห่งนี้ได้รับงบประมาณจากกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และ นวัตกรรมภายใต้โปรแกรม “Technofound” ด้วยจำนวนเงิน 21 ล้านริงกิต หรือประมาณ 210 ล้านบาท โดยโรงงานต้นแบบแห่งนี้ถือเป็นระดับกึ่งอุตสาหกรรมโดยมีกำลังการผลิตสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 10 ของกำลังการผลิตจริงในระดับอุตสาหกรรม ถังหมักมีขนาดใหญ่ที่สุดคือ 2,000 ลิตร โรงงานต้นแบบออกแบบให้มีความยืดหยุ่นในการดำเนินงาน รองรับผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด และใช้ระบบการควบคุมการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อการประหยัดงบประมาณ

## 4.2 บทวิเคราะห์รูปแบบการบริหารจัดการโรงงานต้นแบบของต่างประเทศ

รูปแบบการดำเนินงานของโรงงานต้นแบบ และโรงงานสาธิตของประเทศต่างๆ มีรูปแบบการดำเนินการสรุปได้ ดังนี้

1) แหล่งที่มาของเงินทุนในการก่อสร้างโรงงานต้นแบบ จากการศึกษาพบว่าแหล่งที่มาของเงินทุนมีด้วยกัน 3 รูปแบบ

(1) รัฐเป็นผู้ลงทุนทั้งหมดในฐานะเป็นโครงสร้างพื้นฐานกลางสำหรับภาคเอกชน สถาบันการวิจัย และสถาบันการศึกษาเพื่อการพัฒนาต่อยอดสู่การผลิตก่อนเข้าสู่ในระดับอุตสาหกรรม เป็นรูปแบบที่พบมากที่สุด ทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป รวมถึงเอเชีย อย่างไรก็ตาม แม้เงินลงทุนจะมาจากรัฐบาลแต่การบริหารจัดการของโรงงานต้นแบบทุกแห่งเลือกใช้รูปแบบการบริหารแบบเอกชน เพื่อให้เกิดความคล่องตัวในการทำงาน **ข้อดี** ของการลงทุนในรูปแบบ คือ ทุกภาคส่วนสามารถเข้าใช้ประโยชน์ได้ และมีความเชื่อมั่นในความโปร่งใส เนื่องจากไม่มีภาคเอกชนเป็นหุ้นส่วน **ข้อจำกัด** การลงทุนก่อสร้างและการจัดหาเครื่องมือและครุภัณฑ์อาจมีความล่าช้าเนื่องจากต้องผ่านความเห็นชอบหลายขั้นตอน

(2) แหล่งเงินทุนมาจากการร่วมลงทุนระหว่างภาครัฐ และเอกชน (Joint Investment) รูปแบบการลงทุนนี้ คือ Mackay Renewable Biocommodities Pilot Plant ซึ่งเงินทุนมาจาก 3 ส่วน 1) รัฐบาลกลางของประเทศออสเตรเลีย 2) กองทุนเพื่อการจัดเตรียมระบบโครงสร้างพื้นฐานเพื่อการวิจัย และ 3) มหาวิทยาลัย QUT โดยโรงงานต้นแบบแห่งนี้ตั้งอยู่ในพื้นที่ของโรงงานน้ำตาลซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิต **ข้อดี** ของการลงทุนรูปแบบนี้ คือ โอกาสของการจัดตั้งเกิดขึ้นได้ง่ายเนื่องจากไม่ต้องพึ่งพางบประมาณของรัฐทั้งหมด ที่ตั้งของโรงงานต้นแบบอยู่ในพื้นที่ที่เป็นแหล่งผลิต ทำให้นักวิจัยมีความเข้าใจและเกิดการเรียนรู้ร่วมกับผู้ประกอบการในอุตสาหกรรม **ข้อจำกัด** ภาคเอกชนที่อยู่ในอุตสาหกรรมเดียวกันอาจมีความกังวลเกี่ยวกับการรักษาความลับของโครงการวิจัยที่มาใช้บริการโรงงานต้นแบบ

(3) แหล่งเงินทุนมาจากสมาชิก (consortium) รูปแบบการลงทุนนี้พบในการดำเนินงานของ Agro-industrie Recherches et Développements โดยงบลงทุนของ ARD มาจากกลุ่มสมาชิกของ IAR Cluster ซึ่งเป็นผู้ประกอบการอุตสาหกรรมครอบคลุมตั้งแต่ผู้ผลิตอุตสาหกรรมต้นน้ำ เช่น ผู้ผลิตน้ำตาลจากหัวชูการ์บีท (Cristal Union) ผู้ผลิตแป้งข้าวสาลี (Chamtor) ผู้ผลิตเอทานอล **ข้อดี** รูปแบบการดำเนินงานมีความคล่องตัวสูง ผลงานวิจัยที่นำมาทดสอบขยายขนาดมีโอกาสขยายผลไปสู่การผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้มากเนื่องจากโจทย์วิจัยมาจากภาคเอกชน **ข้อจำกัด** ภาคเอกชนที่สามารถใช้ประโยชน์ต้องเป็นสมาชิกเท่านั้น

ตารางที่ 4-1 : รูปแบบการบริหารจัดการโรงงานต้นแบบของต่างประเทศ

	แหล่งเงินทุน	รูปแบบการให้บริการ		แหล่งของรายได้	
		ให้บริการเฉพาะเครือข่าย	ให้บริการในฐานะเป็นโครงสร้างพื้นฐานกลาง (Open access)	รับจ้าง	ร่วมวิจัย
Biochemical Pilot Plant	งบประมาณจากรัฐบาลสหรัฐอเมริกา		✓	✓	✓
Bio Base Europe Pilot Plant	งบประมาณจากรัฐบาลเนเธอร์แลนด์และเบลเยียม		✓	✓	✓
Fraunhofer CBP	งบประมาณสนับสนุนจากรัฐ เช่น EU, German Federal Ministries		✓	✓	✓
Agro-industrie Recherches et Développements	สมาชิกของ IAR Cluster	✓		✓	✓
Mackay Renewable Biocommodities Pilot Plant	งบประมาณจากรัฐบาลกลาง รัฐบาลท้องถิ่นของออสเตรเลีย และมหาวิทยาลัย QUT	✓		✓	✓
SIRIM Bioplastics Pilot Plant	งบประมาณจากกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม		✓	✓	✓

นอกจากนี้ ยังมีการสร้างเครือข่ายความร่วมมือในการใช้ประโยชน์จากโรงงานต้นแบบเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและมีความคุ้มค่าในการลงทุน ดังเห็นได้จากตัวอย่างเครือข่าย SmartPilots ของประเทศสมาชิกในสหภาพยุโรป

**Partnership**

Other pilots in network

**Shared Pilot Facilities :**

- Bio Base Europe Pilot Plant (Flanders, Belgium)
- Centre for Process Innovation (Tees Valley, United Kingdom)
- VTT (Helsinki Uusimaa, Finland),
- Bioprocess Pilot Facility (Zuid-Holland, The Netherlands)
- ARD (France)
- Fraunhofer CBP (Germany)

SmartPilots Interreg Europe  
European Union European Regional Development Fund

This project has received funding from the Bio Based Industries Joint Undertaking under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 745667 | Topic: BB-2016-502

ที่มา: [https://www.biopilots4u.eu/sites/default/files/Pilots4U\\_Lodz\\_Presentation\\_0.pdf](https://www.biopilots4u.eu/sites/default/files/Pilots4U_Lodz_Presentation_0.pdf)

## 2) แหล่งรายได้ของโรงงานต้นแบบ ในภาพรวมการให้บริการของโรงงานต้นแบบประกอบด้วยกิจกรรม 4 ส่วนที่สำคัญ

- (1) รายได้จากการรับจ้างและร่วมวิจัยถือเป็นกิจกรรมหลักของโรงงานต้นแบบ จากการสัมภาษณ์หน่วยงานผู้ให้บริการโรงงานต้นแบบในสหภาพยุโรปทั้ง BBEPP และ Fraunhofer-CBP ทั้งสองหน่วยงานดำเนินงานในรูปแบบขององค์กรไม่แสวงหาผลกำไร ค่าบริการคิดเฉพาะในส่วน of ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (operation cost) เช่น ค่าสารเคมี ค่าสาธารณูปโภค และค่าตอบแทนบุคลากร เป็นต้น โดยไม่คิดค่าเช่าใช้เครื่องมือ เพื่อส่งเสริมให้เกิดการใช้ประโยชน์จากโรงงานต้นแบบ ในเชิงการใช้งานโรงงานต้นแบบจากประสบการณ์ของ Biochemical Pilot Plant ของประเทศสหรัฐอเมริกา หรือ BBEPP พบว่ามีความสอดคล้องกันคือ การให้บริการรับจ้างมีการใช้งานโรงงานต้นแบบประมาณ 2 ใน 3 ของเวลาการใช้งานโรงงานต้นแบบ และที่เหลือเป็นการใช้งานสำหรับการให้บริการร่วมวิจัย อย่างไรก็ตาม เป็นที่สังเกตว่าแม้ว่าสัดส่วนของการใช้งานสำหรับโครงการร่วมวิจัยมีจำนวนไม่มาก แต่สร้างรายได้ที่สูงเนื่องจากโครงการร่วมวิจัยมีมูลค่าสูง และความต้องการใช้งานในลักษณะดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากตัวอย่างความสำเร็จหรือความพึงพอใจในการใช้บริการ นอกจากนี้ โรงงานต้นแบบดังกล่าวยังมีความร่วมมืออย่างใกล้ชิดกับสถาบันวิจัยหรือโรงงานต้นแบบในต่างประเทศเพื่อเป็นช่องทางในการเข้าถึงเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อให้สามารถรักษาลูกค้าและตอบโจทย์ ที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว
- (2) รายได้จากการให้สิทธิการใช้เทคโนโลยี รายได้ส่วนนี้เป็นผลสืบเนื่องจากการร่วมวิจัยหรือการรับจ้างวิจัย ซึ่งในกระบวนการทำงานดังกล่าว นักวิจัยได้ค้นพบเทคนิค/เทคโนโลยีใหม่ที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพหรือลดต้นทุนซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับผลิตภัณฑ์ดังกล่าวทำให้บริษัทที่ร่วมวิจัยต้องการขอใช้สิทธิของเทคโนโลยี

ดังกล่าว ในส่วนนี้ถือเป็นรายได้ที่สำคัญรองลงมาจากรายได้จากส่วนแรกเนื่องจากมูลค่าของการให้สิทธิการใช้เทคโนโลยีมีค่าค่อนข้างสูง (ระดับสิบล้านบาทขึ้นไป)

- (3) **รายได้จากการจัดอบรม** การจัดอบรมมีทั้งประเภท intensive เพื่อพัฒนาความเชี่ยวชาญให้กับบุคลากร และหลักสูตรที่เน้นให้ผู้เข้ารับการอบรมได้ทดลองปฏิบัติงานจริงในโรงงานต้นแบบ (on the job training) ซึ่งหลักสูตรนี้เป็นที่ต้องการมากสำหรับอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี
- (4) **การให้บริการด้านอื่นๆ** นอกจากการให้บริการการผลิตในระดับขยายขนาดแล้วนั้น โรงงานต้นแบบยังให้บริการด้านอื่นๆ เพื่อตอบโจทย์ความต้องการของภาคเอกชน/รัฐ ดังตัวอย่างของ BioPilotUK ที่นอกจากให้บริการโรงงานต้นแบบเพื่อการผลิตในระดับขยายขนาดแล้ว ยังดำเนินงานในรูปแบบของ One-stop service ให้บริการจัดหาแหล่งทุนเพื่อการดำเนินงาน (Access to funding) ให้คำปรึกษาและจัดการเรื่องทรัพย์สินทางปัญญา (Scoping IP Landscape and Due Diligence) ให้บริการทดสอบเครื่องมือต้นแบบ (Testing prototype equipment) การให้บริการพัฒนา Modelling technology รวมถึงการให้คำปรึกษาสร้างห่วงโซ่ของการผลิต (Building value chains) ตั้งแต่การจัดการวัตถุดิบจนถึงการสร้างตลาด เป็นต้น

**Pilots4U** BIOECONOMY INNOVATION

**BioPilotsUK**

TRL 3 - 7

**BioPilotsUK partners and their facilities**

**Biorefinery Centre**

A one-stop shop for biomass evaluation and valorisation up to pilot scale level

**Pre-treatment equipment:** steam explosion (30 L), maceration and shredding, particle separation (1000 L)

**Chemical (30 L) and enzymatic (2000 L hydrolysis)**

**Bioreactors (up to 2000 L)**

**Services beyond scale-up equipment**

- Developing bio-based skills
- Modelling technology
- Building value chains
- Testing prototype equipment
- BioPilotsUK
- Scoping IP Landscape and Due Diligence
- Providing access to funding

This project has received funding from the Bio Based Industries Joint Undertaking under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 745567 | Topic: **BB1-2016-S02**

ที่มา : [https://www.biopilots4u.eu/sites/default/files/Pilots4U\\_Lodz\\_Presentation\\_0.pdf](https://www.biopilots4u.eu/sites/default/files/Pilots4U_Lodz_Presentation_0.pdf)

ในภาพรวม โรงงานต้นแบบที่ประสบความสำเร็จนั้น สามารถสร้างรายได้ให้เพียงพอต่อค่าใช้จ่ายในส่วนของการดำเนินการ (operating cost) หรือมีความมั่นคงเชิงการเงินได้ แต่รายได้จากการดำเนินงานไม่เพียงพอต่อการนำไปลงทุนโครงสร้างพื้นฐาน หรือครุภัณฑ์ทางด้านวิทยาศาสตร์ที่มีความทันสมัยได้ด้วยตนเองทั้งหมด ดังนั้น รัฐบาลจึงยังมีความจำเป็นต้องเป็นผู้ลงทุนในการจัดหาเครื่องมืออุปกรณ์ที่มีความทันสมัยในระยะเวลาที่เหมาะสม

## บทที่ 5

### แผนที่นำทางเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี

แผนที่นำทางเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี (Bio-refinery) ครอบคลุมการกำหนดผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีเป้าหมาย การวิเคราะห์ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีของประเทศ การจัดเตรียมโครงสร้างพื้นฐาน การลงทุนวิจัยและพัฒนาทางเทคโนโลยี การพัฒนากำลังคนเชี่ยวชาญ รวมถึง นโยบาย กลไก และรูปแบบการบริหารจัดการในการสร้างความสามารถด้านนวัตกรรมที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีของประเทศไทยให้เข้มแข็ง

#### 5.1 ผลิตภัณฑ์เป้าหมายของอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีของประเทศไทย

การจัดทำแผนที่นำทางเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีฉบับนี้ ให้ความสำคัญกับการจัดเตรียมระบบนิเวศนวัตกรรมเพื่อเร่งรัดพัฒนาความสามารถทางเทคโนโลยีสำหรับอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี โดยมุ่งเน้นสนับสนุนการพัฒนาผลิตภัณฑ์เป้าหมายที่ตลาดต้องการและประเทศไทยมีความได้เปรียบในการแข่งขัน โดยเกณฑ์ในการคัดเลือกผลิตภัณฑ์เป้าหมาย ดังรูปที่ 5-1



รูปที่ 5-1 : เกณฑ์คัดเลือกผลิตภัณฑ์เป้าหมายของอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี

#### 5.2 ศักยภาพทางการตลาด

อุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีเป็นอุตสาหกรรมที่ได้รับการประเมินว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีอัตราการเติบโตสูงกว่าร้อยละ 10 ต่อปี โดยมูลค่าตลาดคาดว่าจะเพิ่มขึ้นจาก 466.6 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 2559 เพิ่มขึ้นเป็น 714.6 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 2564 (prnewswire,2018) ในภาพรวมผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรีแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ซึ่งแต่ละกลุ่มมีศักยภาพทางการตลาดและโอกาสสำหรับผู้ประกอบการที่แตกต่างกันสรุปได้ดังนี้

1) **Bio-based drop-in** เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชีวภาพแต่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากปิโตรเลียม ในกลุ่มนี้ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าตลาดสูง ประกอบด้วย BDO, 1-3 Propanediol และ p-Xylene ตลาดมีขนาดใหญ่ ผู้ผลิตหลักส่วนใหญ่มีฐานการผลิตผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมอยู่ก่อนแล้ว จึงมีความได้เปรียบกว่าผู้ประกอบการรายใหม่เนื่องจากไม่ต้องปรับเปลี่ยนเครื่องจักร/กระบวนการผลิต การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชีวภาพเข้าสู่ตลาด บริษัทกลุ่มนี้เลือกใช้กลยุทธ์การซื้อเทคโนโลยีจากบริษัทที่เป็นเจ้าของเทคโนโลยี อย่างไรก็ตาม ตลาดนี้มีการแข่งขันสูง มีผู้เล่นรายใหญ่ครองตลาด และผลิตภัณฑ์เน้นการแข่งขันด้วยราคา ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้ไม่เหมาะที่จะเป็นเป้าหมายสำหรับผู้ประกอบการไทยโดยเฉพาะผู้ประกอบการขนาดกลางและเล็กเนื่องจากมีความเสียเปรียบด้านเงินลงทุนและช่องทางการจัดจำหน่าย

2) **Smart Drop-in** เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชีวภาพที่มีโครงสร้างทางเคมีเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากปิโตรเลียม มีกระบวนการผลิตบางขั้นตอนด้วยวิธีการทางชีวภาพทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติในการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันตลาดมีขนาดเล็กกว่ากลุ่มแรก แต่ตลาดมีแนวโน้มการเติบโตที่ดี ในเชิงเปรียบเทียบผู้ผลิตมีจำนวนมากกว่าในกลุ่มแรก ผลิตภัณฑ์อยู่ในสถานะของการเริ่มเข้าสู่ตลาดหรือบางผลิตภัณฑ์ เช่น กรดอะดีปิกชีวภาพยังไม่มีการผลิตในเชิงพาณิชย์ การพัฒนาผลิตภัณฑ์เข้าสู่ตลาดมีทั้งการซื้อบริษัทที่เป็นเจ้าของเทคโนโลยีเพื่อเข้าบริหารแบบเบ็ดเสร็จ หรือการร่วมลงทุนโดยใช้จุดแข็งที่แต่ละบริษัทมีในการสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน ดังเช่นกรณีของบริษัท Succinity GmbH ที่เกิดจากการร่วมทุนระหว่างบริษัท Corbion Purac Biochem ประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งเป็นผู้นำด้านการผลิตกรดแลคติก มีความเชี่ยวชาญเทคโนโลยีการหมัก และ downstream process มายาวนาน และบริษัท BASF SE ประเทศเยอรมนี ซึ่งเป็นผู้นำด้านการผลิตสารเคมีตัวกลาง มีเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักกรดซัคซินิก เป็นต้น นอกจากนี้มีข้อสังเกตว่าบริษัทในเอเชียโดยเฉพาะประเทศจีน เกาหลีใต้ และญี่ปุ่นมีแนวโน้มขยายธุรกิจสู่การผลิตผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้โดยอาศัยฐานการวิจัยและพัฒนาของตนเองเป็นหลัก อาจเนื่องจากเทคโนโลยีในการพัฒนาของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวส่วนใหญ่ยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการหรือเริ่มเข้าสู่ขั้นการทดสอบขยายขนาดหรือการสาธิตเท่านั้น สำหรับผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้บริษัทไทยที่เป็นผู้นำ คือ บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) ที่ใช้การซื้อกิจการหรือร่วมลงทุนกับผู้ผลิตชั้นนำของโลกเพื่อเร่งรัดให้เกิดการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ดังกล่าวในตลาดโลก ดังนั้น ในเชิงเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ประเทศไทยมีโอกาสในการแข่งขัน

### 3) ผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม Dedicated

**Dedicated chemical** เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชีวภาพ ผ่านกระบวนการทางชีวภาพ เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่กระบวนการปิโตรเลียมไม่สามารถผลิตได้ ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้ในตลาดน้อยมาก เนื่องจากยังไม่สามารถแข่งขันกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากปิโตรเลียมได้ แต่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพทางการตลาดในอนาคต และไม่ต้องอิงกับราคาน้ำมัน ซึ่งผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้เป็นโอกาสสำหรับประเทศไทยด้วยเช่นกัน เนื่องจากยังไม่มีผู้ผลิตรายใดที่ครองตลาด และการพัฒนาเทคโนโลยีส่วนหนึ่งอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการหรือการทดสอบในโรงงานต้นแบบ (TRL3-6) ผลิตภัณฑ์ที่ประเทศไทยมีศักยภาพในการแข่งขันอย่างมาก โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ในกลุ่มสารประกอบที่ให้คุณสมบัติพิเศษต่างๆ (Functional ingredient) และผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของเครื่องสำอาง ซึ่งต้องการเงินลงทุนไม่สูงและผู้ประกอบการไทยมีความเชี่ยวชาญทางการตลาด

ตารางที่ 5-1 : มูลค่าตลาดและผู้ผลิตหลักของผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรี

ผลิตภัณฑ์	มูลค่าตลาด	ผู้ผลิตหลัก
<b>1. Bio-based Drop-in chemicals</b>		
Butanediol (BDO)	USD 6.19 billion (2015) Growth 7 % (2016-2025)	BioAmber, Novamontand, BASF
1-3 Propanediol	USD 310 million (2015) Growth 10 % (2014-2021)	DuPont Tate & Lyle Bio-product, Glory Biomaterial Co., Ltd, Metabolic Explorer, TCI Chemicals, Zhangjiagang Glory Biomaterial
p-Xylene	USD 36.1 billion (2016) Growth 10 %	Virent, Inc., Renmatix Inc. Anellotech Inc., Origin Materials, GEVO, Avantium, BASF SE, Toray Industries, Inc.
<b>2. Bio-based Smart drop-in chemical</b>		
Succinic acid	USD 0.15 billion (2015)/ Growth 28 % (2017-2026)	LCY Biotechnology (ชื่อ BloAmber) , พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) (ชื่อ myriant) Succinity (ร่วมทุนระหว่าง Corbion และ BASF) , Revedia (ร่วมทุนระหว่าง Roquette Freres Group และ Royal DSM NV) Mitsubishi และบริษัท Ajinomoto
Malic acid	USD 180 Million (2017) Growth 6 % (2015-2024)	Tate & Lyle, Corbion, Polynt S.p.A, Fuso Chemical Ltd, Thirumalai Chemicals Ltd, Changmao Biochemical Engineering Company Limited, Bartek Ingredienyts Inc, Isegen South Africa (Pty) Ltd, Anhui Sealong Biotechnology Co, Ltd
Polybutylene succinate (PBS)	USD 2 million (2016) Growth > 10 % (2014-2019)	China New Materials Holding, Anqing Hexing Chemical ,LOTTE Fine Chemical Co., Ltd. ,Mitsubishi Chemical Corporation (MCC) และ Showa Denko K.K.
Adipic acid	USD 4.5 billion (2015) Growth 5 % (2016-2023)	ไม่มีผู้ผลิตในเชิงพาณิชย์ Rennovia, Verdezyne (Pilot scale)
Epoxy resins	USD 7.99 billion (2015) Growth 6 % (2015-2024)	Nan Ya Plastics Corporation, Kukdo Chemical Co. Ltd. ,Olin Corporation, Huntsman Corporation, Chang Chung Plastics Co. Ltd., Aditya Birla Chemicals, 3M, BASF SE, Sinopec

ผลิตภัณฑ์	มูลค่าตลาด	ผู้ผลิตหลัก
		Corporation
<b>3. Dedicated bio-based</b>		
Itaconic acid	USD 0.12 billion (2016) Growth 4 % (2017-2022)	DSM ,Chengdu Lucky Biology Engineering Industry, Itaconix Lucite International Group, Nanjing Huajin Biologicals ,Qingdao Langyatai Group
Hydroxypropionic acid	ยังไม่มีมูลค่าในการผลิตเชิงพาณิชย์ แต่คาดว่าจะมีความต้องการของตลาดไม่น้อยกว่า 3.6 ล้านตัน/ปี	Verdant Bioproducts ,Cargill, Novozymes
Furandicarboxylic acid (2,5-) (FDCA)	USD 300 million (2016) Growth 8 % (2017-2025)	Synvina,AVA Biochem, Corbion
Polyhydroxyalkanoate (PHA)	USD 73 million (2016) Growth 5 % (2017-2021)	Newlight Technologies,Danimer Scientific,Bio-On, Tianjin GreenBio Materials
Lactic acid/Poly(lactic acid) (PLA)	USD 1.29 billion (2016) Growth 20 % (2017-2025)	Pyramid Biplastics, Synbra, Zhejiang Hisun Biomaterials, Total Corbion
Functional carbohydrate	USD 1.42 billion (2014) Growth 84 % (2015-2024) -Functional food -Functional beverage -Dietary Supplements -Animal Nutrition -Personal Care	Tate & Lyle Plc, ADM, Cargill Incorporated. Du Pont, DSM, Ingredion Incorporated, Roquette Freres, Südzucker AG Company
Functional protein/ peptide	USD 4.17 billion (2017) Growth 7 % (2018-2022) -Dietary Supplements -Functional Foods -Functional Beverages -Animal Nutrition	Fonterra Co-Operative Group, Arla Foods AMBA, Kerry Group, Glanbia PLC, APC Inc., Saputo Ingredients, and Friesland Campina.

### 5.3 ความพร้อมของเอกชนในการลงทุน

อุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีของประเทศไทยในปี 2560 มีมูลค่าประมาณ 152,000 ล้านบาท โดยสาขาที่มีมูลค่าสูงปัจจุบันอยู่ในกลุ่มของเชื้อเพลิงชีวภาพ รองลงมาได้แก่ อาหารเพื่อสุขภาพ และกลุ่มเคมีชีวภาพ ทั้งนี้ หากประเทศไทยมีการลงทุนและพัฒนาอุตสาหกรรมนี้อย่างต่อเนื่องและสามารถเติบโตได้ในระดับเดียวกับอัตราการขยายตัวของตลาดโลก มูลค่าของอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีของประเทศไทยมีศักยภาพเพิ่มขึ้นเป็น 400,000 ล้านบาทในปี 2571

ตารางที่ 5-2 : สถานภาพอุตสาหกรรมไบโอดีฟเฟอริลของประเทศไทย

อุตสาหกรรม	จำนวนบริษัท	กำลังการผลิต	มูลค่า (ล้านบาท)
<b>1. เชื้อเพลิงชีวภาพ</b>			
1.1 ไบโอดีฟเฟอริล	26	2,113 ล้านลิตร	36,200
1.2 ไบโอดีเซล	14	2,642 ล้านลิตร	41,300
<b>2. พลาสติกชีวภาพ</b>			
2.1 กรดแลคติก/แลคโตน	1	100,000 ตัน/ 75,000 ตัน	4,000
<b>3. เคมีชีวภาพ</b>			
3.1 แพคต์แอลกอฮอล์	1	100,000 ตัน	5,600
3.2 ซอร์บิทอล	4	45,000 ตัน	1,000
3.3 อีพิกลอร์ไฮดรินจากกลีเซอริน*	2	>100,000 ตัน	1,700
3.4 อีทอกซิเลท*	1	124,000 ตัน	2,000
3.5 กลีเซอรินบริสุทธิ์*	6	>50,000 ตัน	2,200
<b>4. อาหารสัตว์ (ไลซีน)</b>	1	50,000 ตัน	2,000
<b>5. อาหารเสริมสุขภาพ**</b>	na	na	56,000
<b>6. เครื่องสำอาง***</b>	na	na	10,000
<b>รวม</b>			<b>152,000</b>

ที่มา : รวบรวมโดยคณะนักวิจัย

\* ศูนย์วิจัยเศรษฐศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2560

\*\* สถาบันอาหาร, 2561. ประเมินโดยใช้สัดส่วนที่ร้อยละ 30 ของมูลค่ารวม

\*\*\* ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย, 2561 ประเมินโดยใช้สัดส่วนมูลค่าตลาดของเครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของสมุนไพรต่อมูลค่าเครื่องสำอางรวมของโลก

ประเทศไทยมีบริษัทที่อยู่ในธุรกิจไบโอดีฟเฟอริลประมาณ 12,000 ราย ซึ่งในจำนวนนี้ประมาณ 30 รายที่มีการประกาศแผนการลงทุนในธุรกิจนี้ในระยะเวลา 10 ปีข้างหน้า (จากเอกสารมาตรการพัฒนาอุตสาหกรรมชีวภาพของไทยปี พ.ศ. 2561-2570) ทั้งนี้ หากประเมินจากสินทรัพย์และมูลค่าการลงทุนในแต่ละประเภทผลิตภัณฑ์ คาดว่าเอกชนที่มีศักยภาพในการลงทุนเพิ่มเติมในอุตสาหกรรมนี้มีจำนวนไม่น้อยกว่า 2,278 ราย ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ประกอบด้วย

- **กลุ่มแรกคือ ผู้ประกอบการรายใหญ่** เป็นกลุ่มที่มีความพร้อมในการลงทุน จากข้อมูลผู้จดทะเบียนกับกรมพัฒนาธุรกิจมีจำนวนรวม 658 ราย บริษัทที่มีแผนการลงทุนที่ชัดเจนในกลุ่มผลิตภัณฑ์ไบโอดีฟเฟอริล ได้แก่ บริษัท ปตท. มิตรผล เบทาโกร คริสตอลลา เกษตรไทยอินเตอร์เนชั่นแนล ชูการ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด เป็นต้น ซึ่งบริษัทเหล่านี้มีฐานด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีซึ่งมีศักยภาพในการดูดซับและพัฒนาต่อยอดเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาไปสู่การผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ รวมทั้งบางบริษัทมีประสบการณ์ในอุตสาหกรรมไบโอดีฟเฟอริลมายาวนานจึงมีศักยภาพที่จะเป็นผู้นำในการสร้างให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในอุตสาหกรรมนี้ได้

- **กลุ่มที่สอง คือ ผู้ประกอบการขนาดกลาง** กลุ่มนี้ยังไม่เชื่อมั่นในการขยายผลิตภัณฑ์ใหม่เนื่องจากไม่มีประสบการณ์ในธุรกิจดังกล่าวมาก่อน ในกลุ่มนี้ต้องได้รับการบ่มเพาะ เห็นแบบอย่างความสำเร็จและโอกาสทางการตลาด จึงจะเกิดความเชื่อมั่นและความพร้อมลงทุนเพิ่มเติม ในกลุ่มนี้จะเป็นผู้ลงทุนในระยะถัดไป จากข้อมูลผู้จดทะเบียนกับกรมพัฒนาธุรกิจมีจำนวนรวม 1,620 ราย

ตารางที่ 5-3 : ภาคเอกชนที่มีศักยภาพในการลงเพิ่มเติมในอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี

ประเภทอุตสาหกรรม	จำนวนบริษัทในปัจจุบัน	โครงสร้างผู้ประกอบการปัจจุบัน (จำนวน)			สินทรัพย์เฉลี่ยต่อบริษัท (ล้านบาท)		
		L	M	S	L	M	S
1. เชื้อเพลิงชีวภาพ	40	30	10	0	2,000	500	0
2. น้ำตาล	54	40	7	7	6,800	530	30
3. แป้งมันสำปะหลัง	129	56	24	49	1,200	400	50
4. ปาล์มน้ำมัน	160	46	23	96	1,200	200	20
5. เคมีภัณฑ์	400	15	45	360	5,000	500	50
6. พลาสติก	3,000	100	200	2,700	1,200	300	20
7. อาหารสัตว์	244	32	27	185	1,400	500	20
8. สมุนไพร-เครื่องสำอาง	1,750	24	24	1,702	2,200	900	7
9. อาหารเสริมสุขภาพ	6,300	315	1,260	4,725	1,500	220	10
<b>รวม</b>	<b>12,077</b>	<b>658</b>	<b>1,620</b>	<b>9,824</b>			

ที่มา : กรมพัฒนาธุรกิจ

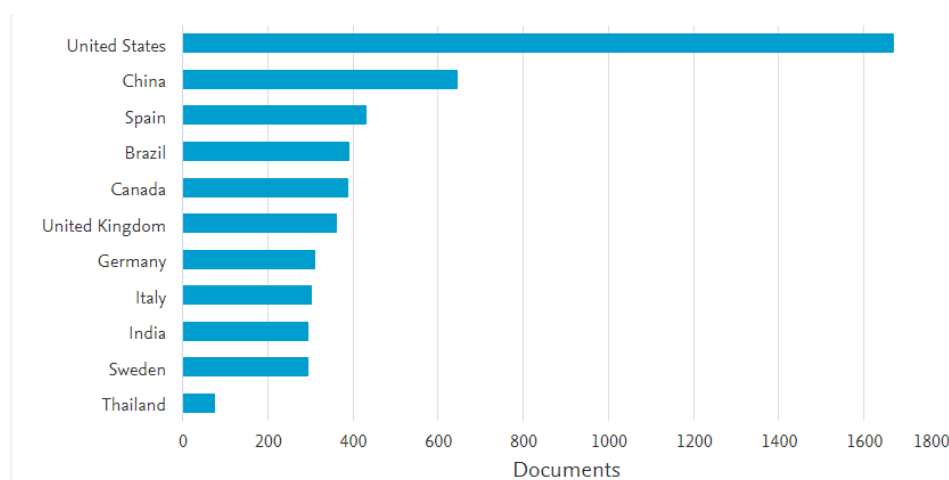
หมายเหตุ : L = ขนาดใหญ่ , M = ขนาดกลาง และ S = เล็ก

## 5.4 ความพร้อมของเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรีของประเทศไทย

ระดับความพร้อมของเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรีของประเทศไทยพิจารณาจาก 3 ส่วนที่สำคัญ คือ ความพร้อมด้านเทคโนโลยี ความพร้อมด้านบุคลากรวิจัย และความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐาน

### 5.4.1 ความพร้อมทางเทคโนโลยี

จากการสืบค้นผลงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์เกี่ยวกับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับไบโอรีไฟเนอรีตั้งแต่ปี 2530 ถึงปี 2561 จากฐานข้อมูลของ scopus พบว่าในช่วงเวลาดังกล่าวประเทศไทยมีผลงานตีพิมพ์จำนวน 78 เรื่อง ขณะที่สหรัฐอเมริกาตีพิมพ์ 1,669 เรื่อง รองลงมาคือประเทศจีนมีผลงานตีพิมพ์ 644 เรื่อง

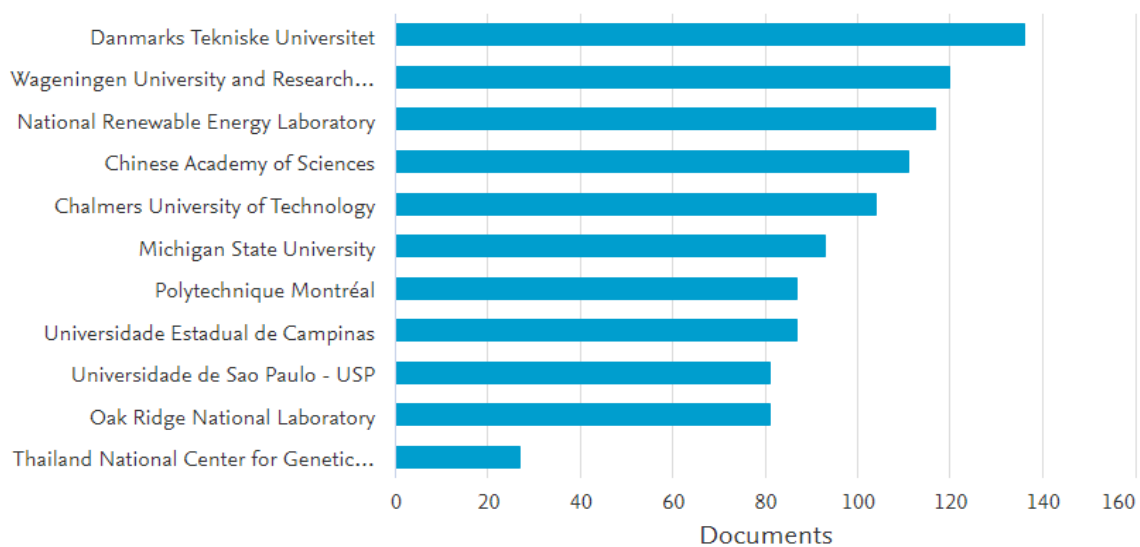


รูปที่ 5-2 : จำนวนผลงานตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรี

ที่มา : Scopus,2019

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) มีผลงานตีพิมพ์มากที่สุด จำนวน 31 เรื่อง หรือคิดเป็นร้อยละ 40 ของจำนวนผลงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์ทั้งหมด รองลงมาได้แก่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยมหิดล บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) เป็นต้น ด้วยจำนวนผลงานตีพิมพ์ 26, 14, 10, 7 และ 6 เรื่อง ตามลำดับ

หน่วยงานที่มีการตีพิมพ์ผลงานวิจัยด้านนี้มากที่สุด 5 หน่วยงาน ประกอบด้วย มหาวิทยาลัยเทคนิคแห่งประเทศเดนมาร์กที่มีความเชี่ยวชาญวิศวกรรม รองลงมาคือ มหาวิทยาลัยวาเกนิงเก้น ประเทศเนเธอร์แลนด์ ห้องปฏิบัติการพลังงานหมุนเวียนแห่งชาติ (National Renewable Energy Laboratory) ของสหรัฐอเมริกา สภาวิทยาศาสตร์แห่งชาติจีน (Chinese Academy of Sciences) และมหาวิทยาลัยชาร์ลสเมอร์ (Chalmers University of Technology) ของประเทศสวีเดน



รูปที่ 5-3 : จำนวนผลงานตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรีจำแนกตามหน่วยงาน ที่มา : Scopus,2019

ในเชิงเปรียบเทียบประเทศไทยถือว่าความพร้อมของเทคโนโลยีการปรับสภาพวัตถุดิบที่ดีสำหรับแป้งและน้ำตาล แต่สำหรับกลุ่มของเซลล์โลสิงานวิจัยที่ก้าวหน้าที่สุดคือการผลิตเอทานอลจากกากมันสำปะหลัง แต่สำหรับการปรับสภาพวัตถุดิบอื่นๆ ยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งในส่วนนี้ความเชี่ยวชาญของ Fraunhofer CBP มีศักยภาพในการร่วมมือกับประเทศไทยเนื่องจากมีความเชี่ยวชาญการใช้เทคโนโลยีเอนไซม์ปรับสภาพวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการแปรรูป

ตารางที่ 5-4 : สรุประดับความพร้อมของเทคโนโลยีการปรับสภาพวัตถุดิบ (pretreatment) ของโลกและประเทศไทย

ชีวมวล	กระบวนการ	ระดับความพร้อมของเทคโนโลยีการปรับสภาพของโลก	ระดับความพร้อมของเทคโนโลยีการปรับสภาพของไทย
กากน้ำตาล	Fermentation	TRL 8-9	TRL 8-9
แป้งมันสำปะหลัง	Enzymatically hydrolysis and fermentation	TRL 8-9	TRL 8-9
กากมันสำปะหลัง	Pulping & enzymatic/chemical hydrolysis and fermentation	- Mechanical treatment - TRL3 - Mechanical-chemical treatment- TRL3 - Chemical treatment- TRL 6-7 - Enzymatic treatment (hydrolyze both, starch and cellulose content in parallel)- TRL3-4	TRL 3-5
ทะลายปาล์ม	Pulping followed by hydrolysis and fermentation	TRL 3-6	TRL 3-5

ที่มา : Franuhofer, 2018

เทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรีในส่วนของการแปรรูปและเทคโนโลยีปลายน้ำของประเทศไทยส่วนใหญ่ตามหลังต่างประเทศ ยกเว้นกรณีของการผลิตซัคซินิก และ PLA ที่ประเทศไทยมีการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าวในเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย โดยใช้เทคโนโลยีของบริษัทต่างประเทศ สำหรับผลิตภัณฑ์อื่นๆ ความก้าวหน้าของการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีส่วนใหญ่ยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ อย่างไรก็ตาม ในระยะหลังมีการจัดสรรงบประมาณเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรีเพิ่มขึ้น เช่น สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) จัดสรรทุนวิจัยแก่อุตสาหกรรมเป้าหมายซึ่งไบโอรีไฟเนอรีไปแล้วประมาณ 30 โครงการ รวมถึงโครงการบูรณาการนวัตกรรมการวิจัยและนวัตกรรม (spearhead) ซึ่งมุ่งเน้นให้ทุนสนับสนุนแก่อุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีที่มีความเข้าใจระดับการผลิตในเชิงพาณิชย์ ดังนั้น จึงคาดว่าจะส่งผลให้ในระยะ 3-5 ปีจากนี้ไปจะมีผลงานวิจัยด้านนี้เพิ่มขึ้นมากโดยเฉพาะงานวิจัยที่จะเข้าสู่การทดสอบในระดับขยายขนาด

ตารางที่ 5-5 : สรุประดับความพร้อมของเทคโนโลยีการแปรรูป (conversion) และเทคโนโลยีปลายน้ำ (downstream processing) ของโลกและประเทศไทย

	TRL (โลก)	ผู้นำทางเทคโนโลยี	TRL (ประเทศไทย)
<b>1. Bio-based drop-in</b>			
- 1,4-Butanediol (BDO)	8-9	Bioamber, Novamont, BASF, Genomatica /North America & EU	3 (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, MTEC วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในระดับห้องปฏิบัติการประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1) การแยกเชื้อจุลินทรีย์จากแหล่งธรรมชาติ 2) การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่ผลิต 1,3 โพรเพนไดออลได้สูง 3) การทดสอบเพิ่มปริมาณการผลิต 1,3 โพรเพนไดออลในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ)
- 1,3 Propanediol (PDO)	8-9 low yield- (1,2-PDO)	DuPont Tate & Lyle Bio-product –USA, Glory Biomaterial Co., LTD-China	4 (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ดำเนินการทดสอบขยายขนาดในถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 300 ลิตร)
- Paraxylene;PX	8-9 good-WT bact 3-Gen Eng	Virent, Inc., Renmatix, Inc. Anellotech Inc., Origin Materials, GEVO, others	8-9 (บริษัทอะโรเมติกส์ มีการผลิตในเชิงพาณิชย์แล้ว แต่เป็นการใช้กระบวนการทางเคมี)
<b>2. Smart drop-in chemicals</b>			
- Succinic acid	7-8 3 (eng. strain)	BioAmber, ayraint,Reveda, Succinuty ,Corbion Purac,Reverdia	7-8 (บริษัท PTTGC เป็นเจ้าของเทคโนโลยีจากการซื้อกิจการของบริษัท Myriant) 3 (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการหมักเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง)
- Malic acid	5-6 WT Fungi 3-4 Eng. Fungi	BioAmber Inc, Myriant, Reverdia, Succunuty GmbH, Novozymes, Etc.	3 (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 1) คัดแยกเชื้อราเอนโดไฟต์ผลิตกรดมาลิก 2) ศึกษาสภาวะระดับขวดเขย่าผลิตกรดมาลิกได้สูงสุด 24 g/L ,(ปี 2540)

	TRL (โลก)	ผู้นำทางเทคโนโลยี	TRL (ประเทศไทย)
- Polybutylene succinate	7-8 (from biosuccinic)	Joint BASF-Purac, Reverdia, BioAmber & Myriant	7-8 PTTMCC
- Adipic acid	3-5	<u>Pilot scale</u> : Rennovia and Verdezyne <u>IP on bio-adipic acid production</u> : DSM, INVISTA, Amyris, Genomatica, BioAmber, Celexion, ZymoChem, LEAF Technologies & Aemetis	ไม่พบงานวิจัย
- Epoxy resins	4-5	No company of region-wide information on bio-based epoxy resins available	ไม่พบงานวิจัย
<b>3. Dedicated bio-based chemicals</b>			
- Itaconic acid	8-fungi 4- <i>E.coli</i>	DSM, Itaconix LLC, Nanjin, Huajin Biologicals Co, Ltd. Etc.	3 (คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หาดภาวะที่เหมาะสมในการหมักกรดอิทาโคนิกในขวดเขย่าโดยเชื้อ <i>Aspergillus terreus</i> ได้ yield 21.98 g/L แต่การขยายส่วนในระดับ 5 ลิตร ยังไม่ประสบความสำเร็จ ,2014)
- Hydroxypropionic acid (3-)	3-4 (Gen.Eng.) 5 (250 l)-US	Cargill, Novozymes & Cargill & BASF, Nottingham, Verdant Bioproducts Limited	2-3 (มหาวิทยาลัยศิลปากร) คัดเลือกและจำแนกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงต่อการผลิต กรด 3-hydroxypropionic acid จากดิน (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 1) คัดแยก <i>Lactobacillus sp.</i> ผลิต 3-hydroxypropionic acid จากลีเซอร์อล 2) ทดลองผลิตสารในสภาวะเขย่าได้ yield 11.42 กรัมต่อลิตร)
- Furandicarboxylic acid (2,5-) (FDCA)	4-7 (5-HMF intermediate for process)	Cargill, Novozymes & Cargill & BASF, Nottingham, Verdant Bioproducts Limited	ไม่พบงานวิจัย

	TRL (โลก)	ผู้นำทางเทคโนโลยี	TRL (ประเทศไทย)
- Poly(hydroxyalkanoate) – PHA	9 (Green process=2)	Danimer Scientific- USA, Tianjin-China etc.	3-4 (มหาวิทยาลัยขอนแก่น ผลิต PHA จากน้ำตาล, ข้าวฟ่างหวาน รวมถึงการพัฒนา เชื้อจุลินทรีย์ดัดแปลง เพื่อการผลิต PHA) (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์) 1) คัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์เดี่ยวที่มีความสามารถในการผลิต PHA 2) ศึกษากระบวนการเมตาบอลิซึม การผลิตเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายมวลชีวภาพ และคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถโดดเด่นในการผลิต) (ม.เกษตรศาสตร์ คัดเลือกเชื้อ <i>Bacillus thuringiensis</i> ผลิต PHA ได้ yield ที่ 1.86 กรัมต่อลิตร)
- Poly(lactic acid) – PLA	8-9	NatureWork, Pyramid Biplastics , Synbra, Zhejiang Hisun Biomaterials	8-9 Total Corbion
- Alkyl polyentoses (C5-surfactants)	4 <i>Pseudozyma</i> 2-3 <i>Ustilago</i>	BASF (Germany) The Dow Chemical Company (US) Croda International (UK)	ไม่พบงานวิจัย

#### 5.4.2 บุคลากรที่ทำงานด้านไบโอรีไฟเนอรี

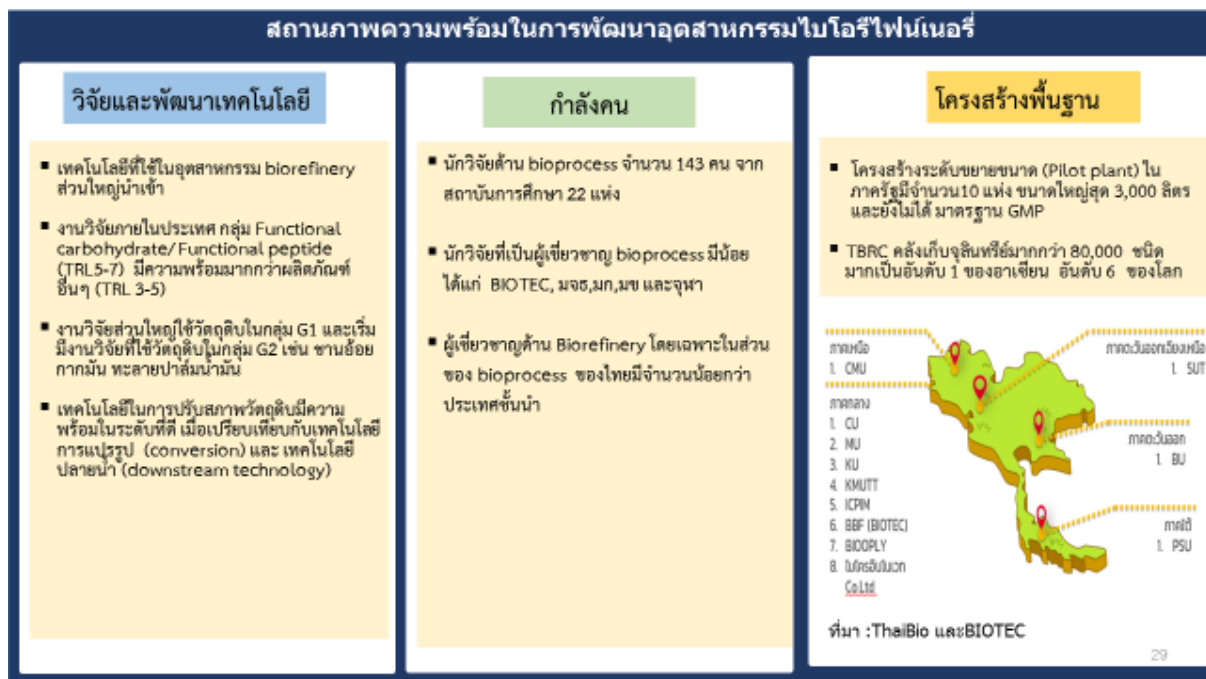
ประเทศไทยมีสถาบันการศึกษาที่มีการวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีชีวภาพ 24 แห่ง มีนักวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานด้าน bioprocess จำนวน 143 คน สถาบันการศึกษาที่มีจำนวนบุคลากรมากที่สุด คือ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์จำนวน 15 คน รองลงมา ได้แก่ มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยศิลปากร และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มีบุคลากรวิจัย 14 คน และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีบุคลากรจำนวน 12 คน (สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีขั้นสูง (THAIST) สำนักงานคณะกรรมการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2559)

ในจำนวนนักวิจัยทั้งหมด เป็นบุคลากรที่ทำงานในโรงงานต้นแบบที่เปิดให้บริการแก่หน่วยงานภายในและภายนอกจำนวน 66 คน แบ่งเป็นนักวิจัย/ผู้เชี่ยวชาญและผู้ช่วยนักวิจัย/นักวิทยาศาสตร์จำนวน 17 คน และ 13 คน ตามลำดับ บุคลากรทั้งสองกลุ่มมีจำนวนรวมกันประมาณครึ่งหนึ่งของบุคลากรทั้งหมด ทั้งนี้โดยเฉลี่ยโรงงานต้นแบบมีวิศวกรและช่างเทคนิคประมาณ 2 คน/แห่ง และผู้จัดการประมาณ 1 คน/แห่ง (สมาคมอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพไทย และหน่วยศึกษานโยบายและความปลอดภัยทางชีวภาพ, 2562)

### 5.4.3 โครงสร้างพื้นฐาน

โครงสร้างพื้นฐานระดับขยายขนาด (Pilot Plant) ถือเป็นระบบนิเวศนวัตกรรมที่สำคัญในการส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาต่อยอดจากงานวิจัยไปสู่การใช้ประโยชน์และก้าวข้ามสิ่งทีเรียกว่าหุบเหวรณะ (valley of death) ไปสู่การผลิตผลิตภัณฑ์ฐานชีวภาพ (biobased) โดยโรงงานต้นแบบมีความสำคัญอย่างน้อย 3 ประการ ดังนี้ 1) การลงทุนในอุตสาหกรรมฐานชีวภาพมีความเสี่ยงทั้งในเชิงเทคโนโลยี และเชิงเศรษฐศาสตร์ การประเมิน Techno-economic feasibility จากข้อมูลในระดับห้องปฏิบัติการไม่เพียงพอที่จะได้ข้อมูลที่แม่นยำ 2) การพัฒนานวัตกรรมด้านเทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์ฐานชีวภาพ ซึ่งในหลายกรณีไม่สามารถทำได้ด้วยการทดลองในห้องปฏิบัติการจึงทำให้ไม่สามารถคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมได้ หรือไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบได้ ส่งผลต่อการสร้างตลาด และประเมินต้นทุนการผลิต และ 3) กระบวนการพัฒนาจนได้เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ต้องมีกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน ดังนั้น การขาดหน่วยผลิตระดับขยายขนาดในขั้นตอนกระบวนการผลิตต้นทาง จะทำให้ไม่สามารถผลิตสารในปริมาณที่มากพอ สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในขั้นต่อไป จึงทำให้ขาดโอกาสในการพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มและสูงได้

จากการสำรวจความพร้อมของโรงงานต้นแบบของสมาคมอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพไทย ร่วมกับหน่วยศึกษานโยบายและความปลอดภัยทางชีวภาพ (2562) พบว่าปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานต้นแบบ Microbial bioprocess pilot plant ที่เปิดให้บริการจำนวน 10 แห่ง มีจำนวนถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (bioreactor) รวมกัน 38 ถัง โดยถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาดต่ำกว่า 100 ลิตร มีสัดส่วนประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนทั้งหมด รองลงมาเป็นถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาดต่ำกว่า 1,000 ลิตร ในสัดส่วนประมาณร้อยละ 39 และปฏิกรณ์ชีวภาพขนาดใหญ่สุด คือขนาด 3,000 ลิตร



รูปที่ 5-4: สถานภาพความพร้อมทางเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรีของประเทศไทย

## 5.5 ความพร้อมวัตถุดิบ

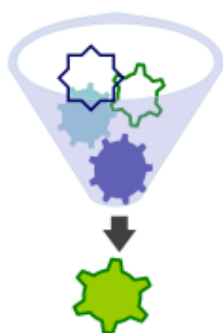
วัตถุดิบคิดเป็นต้นทุนหลักของผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรี ดังนั้น ความพร้อมของวัตถุดิบจึงเป็นประเด็นที่อุตสาหกรรมต้องให้ความสำคัญ ซึ่งผลการประเมินความพร้อมของวัตถุดิบโดยพิจารณาจากความพร้อมในเชิงปริมาณวัตถุดิบ ราคาของวัตถุดิบ ความสามารถในการเข้าถึงวัตถุดิบ และระดับความพร้อมของเทคโนโลยีที่ใช้แปรรูปวัตถุดิบแต่ละประเภท



รูปที่ 5-5 : สัดส่วนค่าใช้จ่ายในการลงทุนในอุตสาหกรรมฐานชีวภาพ

ที่มา : Dr. Ajit Sapre, 2015, Bio-chemicals/Bio-fuels-Opportunities & Challenges: One Perspective, Reliance Technology Group, 4<sup>th</sup> Biobased World Asia 2015

ประเทศไทยมีแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรีหลายแหล่ง ทั้งที่เป็นวัตถุดิบทางการเกษตร วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร รวมทั้งของเสียจากอุตสาหกรรมต่างๆ การคัดเลือกวัตถุดิบเป้าหมายในการศึกษานี้พิจารณาจาก 4 เกณฑ์ คือ 1) ความพร้อมของวัตถุดิบ 2) ราคาของวัตถุดิบ 3) ความสามารถในการเข้าถึงวัตถุดิบ และ 4) ระดับความพร้อมของเทคโนโลยีในการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ (รูปที่ 5-6)



- 1) ความพร้อมของวัตถุดิบ (availability, accessibility)
- 2) ราคาของวัตถุดิบ (affordability/stability)
- 3) ความสามารถในการเข้าถึง (accessibility, cost)
- 4) ระดับความพร้อมของเทคโนโลยี (TRL)

### วัตถุดิบเป้าหมาย

1. Sugarcane เช่น น้ำตาล น้ำอ้อย กากน้ำตาล /starch เช่น หัวมันสด มันเส้น
2. Oil based เช่น น้ำมัน/กลีเซอรอล
3. Biomass เช่น ชานอ้อย กากมัน ทะลายปาล์ม

รูปที่ 5-6 : เกณฑ์การคัดเลือกวัตถุดิบเป้าหมาย

### 5.5.1 ความพร้อมของวัตถุดิบ

แหล่งผลิตวัตถุดิบแบ่งได้เป็น 2 แหล่งสำคัญ คือ ชีวมวลที่ประเภทวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในแปลงเกษตรกร เช่น ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ใบและทางปาล์มน้ำมัน เป็นต้น และชีวมวลที่เกิดขึ้น ณ โรงงานแปรรูป ได้แก่ น้ำตาล แป้ง หรือน้ำมัน รวมไปถึงของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต เช่น กากน้ำตาล กากมันสำปะหลัง ทะลายปาล์มเปล่า เป็นต้น

ตารางที่ 5-6: แหล่งของชีวมวลสำหรับอุตสาหกรรมไบโอดีเซล

	ชีวมวลในแปลงเกษตรกร	ชีวมวลที่เกิดขึ้น ณ โรงงานแปรรูป ผลผลิตทางการเกษตร
1. ข้าว	ข้าวเปลือก ฟางข้าว	แกลบ
2. อ้อย	ใบและยอดอ้อย	น้ำตาล กากน้ำตาล ชานอ้อย
3. มันสำปะหลัง	ใบมันสำปะหลัง เหง้ามันสำปะหลัง	มันเส้น แป้งมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง
4. ปาล์มน้ำมัน	ใบและทางปาล์ม	น้ำมันปาล์ม กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม
5. ข้าวโพด	เปลือกข้าวโพด ชังข้าวโพด	ข้าวโพด
6. ยางพารา	กิ่งไม้ยางพารา	ปีกไม้ยางพารา เศษไม้ยางพารา

ความพร้อมของวัตถุดิบในการศึกษานี้ประกอบด้วยปริมาณวัตถุดิบที่มีอยู่ และที่มีเหลือจากการใช้ประโยชน์จากอุตสาหกรรมเดิม มีรายละเอียดดังนี้

- **ข้าว** ประเทศไทยผลิตข้าวเปลือกปีละ 30-32 ล้านตัน เมื่อนำไปสีได้ข้าวสารจำนวน 22 ล้านตัน ครึ่งหนึ่งบริโภคภายในประเทศและส่วนที่เหลือส่งออก สำหรับชีวมวลซึ่งประกอบด้วยฟางข้าว และแกลบที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์มีปริมาณ 19 และ 1 ล้านตัน ตามลำดับ
- **อ้อย** ประเทศไทยมีผลผลิตอ้อยประมาณ 100 ล้านตัน/ปี ผลิตน้ำตาลได้ประมาณ 13 ล้านตัน ผลผลิตที่บริโภคประมาณ 1 ใน 4 และที่เหลือส่งออก ในกระบวนการผลิตน้ำตาลมีกากน้ำตาลเป็นผลพลอยได้ 4.5-5.0 ล้านตัน ในจำนวนนี้ร้อยละ 70 นำไปผลิตเอทานอล และที่เหลือมีการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผงชูรส และมีการส่งออกไปจำหน่ายเพียงเล็กน้อย สำหรับชีวมวลประเภทใบอ้อยยังไม่ใช้ประโยชน์มีมากถึง 7 ล้านตัน
- **มันสำปะหลัง** ประเทศไทยมีผลผลิตประมาณ 25-30 ล้านตัน และนำเข้าอีกประมาณปีละ 10 ล้านตัน รวมมีผลผลิตประมาณ 40 ล้านตัน ในจำนวนนี้ประมาณร้อยละ 60 นำไปผลิตเป็นมันเส้นประมาณ 8 ล้านตัน ผลิตเอทานอล 3.3 ล้านตัน และแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลัง 5.6 ล้านตันซึ่งใช้ในประเทศ 1.4 ล้านตัน และเหลือส่งออก สำหรับชีวมวลซึ่งประกอบด้วยใบและเหง้ามันสำปะหลังยังไม่ใช้ประโยชน์จำนวน 8 และ 15 ล้านตัน ตามลำดับ
- **ปาล์มน้ำมัน** ประเทศไทยมีผลผลิตปาล์มน้ำมันประมาณ 13 ล้านตัน สกัดเป็นน้ำมันปาล์มดิบได้ 2.3 ล้านตัน น้ำมันปาล์มดิบจำนวน 1 ล้านตันใช้บริโภคและอุตสาหกรรมต่อเนื่องในประเทศประมาณ 1 ล้านตันนำไปผลิตไบโอดีเซล และส่งออกประมาณ 0.3 ล้านตัน สำหรับชีวมวลซึ่งประกอบด้วยทะลายปาล์มและใบปาล์มน้ำมันเกือบทั้งหมดยังไม่มีการใช้ประโยชน์

- ๑ ข้าวโพด ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดประมาณ 7 ล้านไร่ ในจำนวนนี้มีเศษวัสดุเหลือทิ้งในแปลงเกษตร คือ เปลือกข้าวโพดจำนวน 3.3 ล้านตัน และซังข้าวโพดประมาณ 0.2 ล้านตันที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์
- ๑ ยางพารา แต่ละปีจะมีการโค่นยางประมาณ 4 แสนไร่ ทำให้มีเศษไม้เหลือประมาณ 11.6 ล้านตัน ปัจจุบันมีการนำไปใช้ประโยชน์เพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณเศษไม้ทั้งหมด

### 5.5.2 ราคาของวัตถุดิบ

ราคาของเศษวัสดุ หรือของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตมีราคาต่ำกว่าผลิตภัณฑ์แปรรูปขั้นต้น แต่ถ้ารวมต้นทุนของการขนส่ง ต้นทุนของวัสดุจะสูงขึ้น

### 5.5.3 ความสามารถในการเข้าถึงวัตถุดิบ

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ใบและทางปาล์ม น้ำมัน ใบมันสำปะหลัง เหง้ามันสำปะหลัง เปลือกข้าวโพด ซังข้าวโพด กิ่งไม้ยางพารา มีปัญหาในการเข้าถึงวัตถุดิบในปริมาณมาก เนื่องจากไม่มีระบบการรวบรวมและแปลงของเกษตรกรส่วนใหญ่เป็นรายเล็ก

### 5.5.4 ระดับความพร้อมของเทคโนโลยีในการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

ในเชิงเปรียบเทียบเทคโนโลยีสำหรับการใช้วัตถุดิบประเภทน้ำตาล แป้ง และน้ำมันมีระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีที่สูงกว่าวัตถุดิบประเภทเซลลูโลซิก

ตารางที่ 5-7 : ปริมาณชีวมวล การใช้ประโยชน์ วัตถุดิบคงเหลือ และราคาวัตถุดิบ

	ปริมาณ ผลผลิต (ล้านตัน)	จำนวน ผู้เกี่ยวข้อง (คน/ โรงงาน)	การใช้ ประโยชน์ ใช้ใน ประเทศ (ล้านตัน)	ส่งออก (ล้านตัน)	วัตถุดิบ คงเหลือ (ล้านตัน)	ราคา วัตถุดิบ (บาท/ตัน)	TRL (การแปร สภาพ วัตถุดิบ)
<b>1. ข้าว</b>							
1.1 ข้าวสาร	22.0	1,400	11	11	0	11,000 -12,000	6-9
1.2 ฟางข้าว	38.0	3,700,000	19	0	19	1,000	3-5
1.3 แกลบ	4.8	1,400	3.6	0	1.2	5,000- 6,000	3-5
<b>2. อ้อย</b>							
2.1 น้ำตาล	13.5	54	2.5	8.3	2.7	10,000	8-9
2.2 กากน้ำตาล	5.2	54	5.0	0.2	0	3,500	8-9
2.3 ชานอ้อย	30	54	30	0	0	1,000	3-5
2.4 ใบและ ยอดอ้อย	7.8	380,000	0.8	0	7.0	na	3-5
<b>3. มันสำปะหลัง</b>							
3.1 มันเส้น	10	50	3.5	6.5	0	5,600- 6,000	3-5

	ปริมาณ ผลผลิต (ล้านตัน)	จำนวน ผู้เกี่ยวข้อง (คน/ โรงงาน)	การใช้ ประโยชน์ ใช้ใน ประเทศ (ล้านตัน)	ส่งออก (ล้านตัน)	วัตถุดิบ คงเหลือ (ล้านตัน)	ราคา วัตถุดิบ (บาท/ตัน)	TRL (การแปร สภาพ วัตถุดิบ)
3.2 แป้งมัน สำปะหลัง	5.6	100	1.4	4.2	0	15,000	8-9
3.3 กากมัน	6-8	100	3-4		3-4	3,400	3-5
3.4 ใบมัน สำปะหลัง	8	560,000	0	0	8	na	3-5
3.5 เหง้ามัน สำปะหลัง	15	560,000	0	0	15	na	3-5
<b>4. ปาล์มน้ำมัน</b>							
4.1 น้ำมันปาล์ม	2.3	160	2.0	0.3	0	30,000	6-9
4.2 กะลาปาล์ม	0.3	160	0.3	0	0	2,000- 2,500	3-5
4.3 ทะลาย ปาล์ม	2.4	160	1.4	0	1	50	3-5
4.4 ใบและ ทางปาล์ม	10.5	220,000	0.3	0	10.2	na	3-5
<b>5. ข้าวโพด</b>							
5.1 เปลือก ข้าวโพด	3.3	380,000	0.3	0	3.1	na	3-5
5.2 ชังข้าวโพด	1.0	380,000	0.8	0	0.2	500-600	3-5
<b>6. ยางพารา</b>							
6.1 เศษไม้/ ปีกไม้ ยางพารา	11.6	1,500,000	5.8	0	5.8	300-500	3-5

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทน สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงพาณิชย์

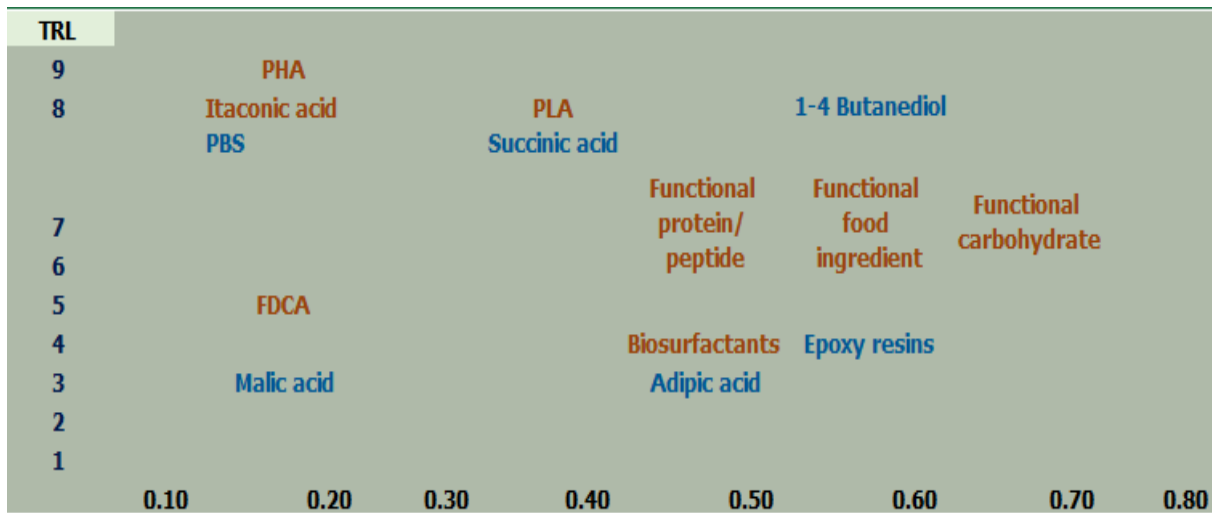
<https://www.palangkaset.com>

จากเกณฑ์ทั้ง 4 ข้างต้น กลุ่มที่มีศักยภาพในการนำมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรีแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่

- ๑ กลุ่มพืชแป้งและน้ำตาล ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง
- ๑ กลุ่มพืชน้ำมัน ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน
- ๑ กลุ่มวัสดุทางการเกษตร และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด กากมัน ชานอ้อย เป็นต้น

โดยกลุ่มที่มีความพร้อมมากเป็นอันดับแรกคือ วัตถุดิบในกลุ่มผลผลิตทางการเกษตร (1<sup>st</sup> generation) โดยเฉพาะกลุ่มน้ำตาล (จากอ้อยและกากน้ำตาล) แป้ง (แป้งมันสำปะหลังและมันเส้น) และกลุ่มพืชน้ำมัน โดยเฉพาะน้ำมันปาล์ม และผลพลอยได้ ซึ่งประเทศไทยมีผลผลิตทางการเกษตรมากกว่าความต้องการใช้ในประเทศ จึงไม่สร้างปัญหาการแย่งชิงวัตถุดิบระหว่างการนำไปผลิตเป็นอาหารหรือผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้เป็นอาหารเหมือนดังกรณีในต่างประเทศ รวมถึงมีเทคโนโลยีในการแปรรูปวัตถุดิบแล้ว สำหรับกลุ่มที่มีศักยภาพอันดับรองลงมาคือ วัตถุดิบในกลุ่มที่เป็น 2<sup>nd</sup> generation หรือกลุ่มวัสดุทางการเกษตร และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด กากมัน ชานอ้อย เป็นต้น ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีปริมาณมากแต่ปัจจุบันมีปัญหาในการรวบรวมและเทคโนโลยีการแปรรูปวัตถุดิบส่วนใหญ่อยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ

ผลิตภัณฑ์กลุ่มเป้าหมายเมื่อพิจารณาจากระดับความพร้อมของเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน ร่วมกับศักยภาพทางการตลาดซึ่งพิจารณาจากมูลค่าตลาดและอัตราการขยายตัวแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม smart drop-in และผลิตภัณฑ์ Dedicated bio-based ดังรูปที่ 5-7



ศักยภาพของตลาดพิจารณาจากมูลค่าตลาดและอัตราการขยายตัวของตลาด (market attractiveness)

รูปที่ 5-7 : ผลิตภัณฑ์เป้าหมาย

หมายเหตุ : สีน้ำเงิน หมายถึงผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม smart drop-in และสีน้ำตาล หมายถึงผลิตภัณฑ์ Dedicated bio-based

ผลิตภัณฑ์เป้าหมายข้างต้นเมื่อนำมาจัดกลุ่มตามระดับความพร้อมของเทคโนโลยีแบ่งได้เป็น 3 ระยะ โดยระยะแรกเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีเทคโนโลยีพร้อมในการผลิต (TRL8-9) ระยะปานกลางเป็นกลุ่มที่มีเทคโนโลยีพร้อมในระดับสาธิตแล้ว (TRL5-7) และระยะยาว คือ ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในห้องปฏิบัติการรวมถึงผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ (TRL ≤ 4)

ตารางที่ 5-8 : ผลผลิตภัณฑ์เป้าหมายจำแนกตามระดับความพร้อมของเทคโนโลยี

	Short Term (TRL 8-9)	Medium Term (TRL 5-7)	Long Term (TRL < 4)
Bio-based smart drop-in	1-4 Butanediol Succinic acid PBS	Epoxy resins	Adipic acid Malic acid
Dedicated bio-based	Lactic acid Polylactic acid (PLA) Itaconic acid	Furandicarboxylic acid (FDCA) Polyhydroxyalkanoate (PHA) Biosurfactants Functional carbohydrate Functional proteins/peptides xylonic acid	Functional carbohydrate Functional proteins/peptides Hydroxypropionic acid

## 5.6 แผนที่น่าทางการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี

การจัดทำแผนที่นำทางเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี (Bio-refinery Industrial Technology Roadmap) ครอบคลุมทั้งภาพรวมของประเทศ และรองรับการพัฒนาพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออกในระยะ 10 ปีข้างหน้า ทั้งนี้การจัดทำแผนที่นำทางเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมจัดทำบนพื้นฐานของการปิดช่องว่างด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมเป็นหลัก

### 5.6.1 บทวิเคราะห์ช่องว่างของวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมด้านไบโอรีไฟเนอรีของประเทศไทย

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบความพร้อมด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีของประเทศไทยพบว่ายังมีช่องว่างและประเด็นที่ต้องพัฒนาเพิ่มเติมที่สำคัญ ดังนี้

(1) ด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเมื่อแบ่งตามกระบวนการผลิตตั้งแต่การจัดการแปรสภาพวัตถุดิบ การแปรรูป และเทคโนโลยีปลายน้ำ ดังนี้

เทคโนโลยีการแปรสภาพวัตถุดิบ (pretreatment) ของประเทศไทยมีความก้าวหน้าค่อนข้างมากเมื่อวัตถุดิบอยู่ในกลุ่มของผลผลิตทางการเกษตร (1<sup>st</sup> generation) แต่สำหรับชีวมวลที่เป็นประเภทเซลลูโลซิก (2<sup>nd</sup> generation) นั้น ความก้าวหน้ายังถือว่าไม่มากและส่วนใหญ่เป็นการวิจัยและพัฒนาในระดับห้องปฏิบัติการ ถึงแม้ว่าองค์ประกอบหลักของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจะมีโครงสร้างพื้นฐานในรูปลิกโนเซลลูโลส แต่มีความแตกต่างกันในรายละเอียดของโครงสร้างทางเคมี รวมถึงสัดส่วนขององค์ประกอบแต่ละชนิด ซึ่งทั้งหมดนี้ทำให้ชีวมวลชนิดต่างๆ มีความแตกต่างกันในเชิงกายภาพและเคมี ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องมีการศึกษาเทคโนโลยีการปรับสภาพวัตถุดิบเพิ่มเติมเพื่อให้วัตถุดิบอยู่ในสภาพที่ง่ายต่อกระบวนการผลิตในขั้นต่อไปและส่งผลดีต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในขั้นต่อไป (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2561)

**เทคโนโลยีการแปรรูป (conversion)** แบ่งได้เป็น 2 กระบวนการใหญ่ คือ 1) กระบวนการทางชีวภาพ (Biological conversion) เป็นกระบวนการที่อาศัยจุลินทรีย์ หรือ biocatalyst เช่น เอนไซม์ เป็นต้น ในการทำให้เกิดการเปลี่ยนสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์สารตัวกลาง หรือผลิตภัณฑ์สุดท้าย ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ จุลินทรีย์ที่ใช้เชื้อธรรมชาติอาจมีข้อจำกัดจึงจำเป็นต้องมุ่งเน้นเพิ่มศักยภาพในการพัฒนาด้านเทคโนโลยีในการ ปรับปรุงสายพันธุ์ และการพัฒนาเทคโนโลยีด้าน Bioprocess เพิ่มเติม 2) กระบวนการทางเคมี ซึ่งปฏิกิริยา ส่วนใหญ่ต้องใช้สารเร่งปฏิกิริยา (catalyst) และดำเนินการภายใต้สภาวะที่เหมาะสม (เช่น ตัวทำละลาย อุณหภูมิ ความดัน pH และเวลา เป็นต้น) นอกจากสภาวะในการทำปฏิกิริยาแล้ว คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา มีผลต่อประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา เช่น การใช้นาโน (Nano Catalyst) และเมมเบรน (Membrane) ที่มี โครงสร้างระดับนาโน มีผลต่อการเพิ่มคุณภาพสารเคมีชีวภาพ จะทำให้ได้กระบวนการและตัวเร่งปฏิกิริยา ต่างๆ ที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2561) ดังนั้น ทิศทางการพัฒนาจึงต้องมุ่งเน้นทั้งการคัดเลือกสายพันธุ์และการปรับปรุงพันธุ์ จุลินทรีย์ให้มีลักษณะที่ดีขึ้น รวมถึงการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมี การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้ ได้ผลผลิตสูง เป็นต้น

**เทคโนโลยีสำหรับกระบวนการปลายน้ำ (downstream)** ในอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี นอกจาก ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนวัตถุดิบ/สารตั้งต้น ให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ หรือ เคมีแล้ว ขั้นตอนในการเก็บเกี่ยว (Recovery) และทำให้บริสุทธิ์ (Refinery) รวมทั้งการใช้ประโยชน์ของเหลือ หลังจากเก็บเกี่ยวผลิตภัณฑ์มีความสำคัญมากเช่นกัน ดังนั้น ทิศทางจึงต้องมุ่งสู่การเพิ่มประสิทธิภาพและการ ลดต้นทุนในกระบวนการผลิตปลายน้ำเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้ผลผลิตสูงและมีความสามารถในการแข่งขัน ในตลาดได้

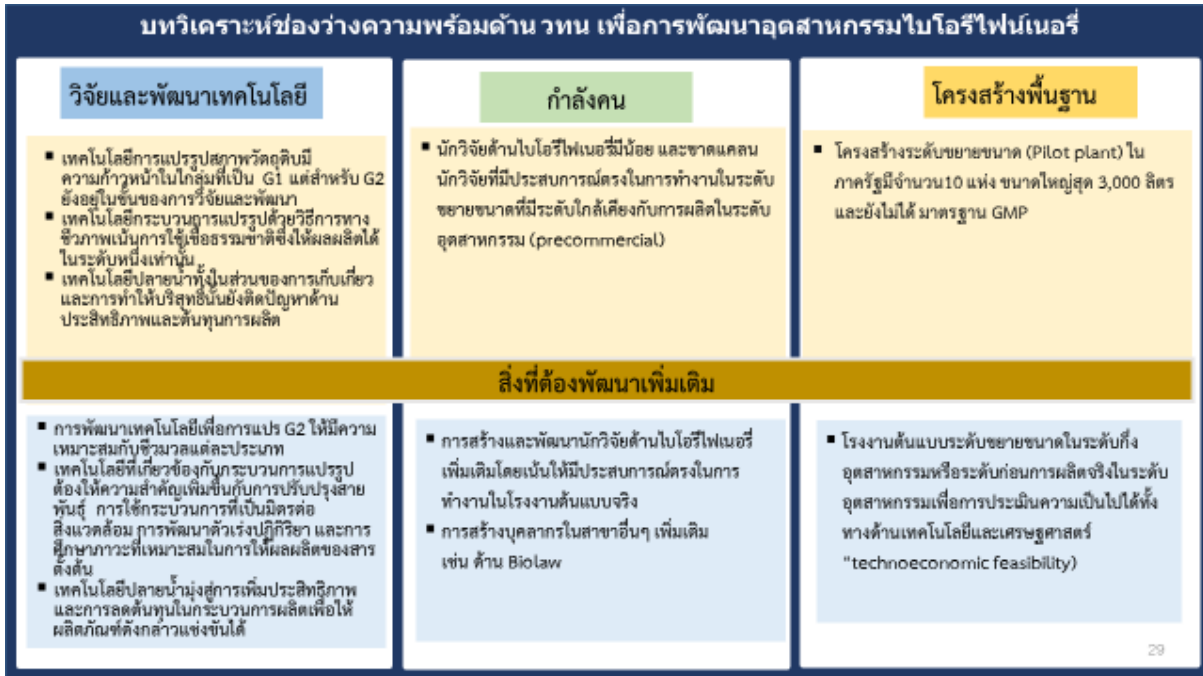
## (2) กำลังคนด้านเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรี

จากรายงานการศึกษาสถานภาพของอุตสาหกรรมที่ใช้ผลิตภัณฑ์ทางชีวภาพ เพื่อการวางแผนทาง และแผนการพัฒนากำลังคนด้านวิศวกรรมกระบวนการทางชีวภาพ จัดทำโดย สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีขั้นสูง (THAIST) สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ (สวทน.) ประเมินว่ามีความต้องการกำลังคนเพื่อรองรับอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีในสาขาวิศวกรรม กระบวนการผลิต วิศวกรรมวิจัยและพัฒนา รวม 500 คนใน 5 ปีข้างหน้า จากจำนวนที่มีอยู่ปัจจุบันประมาณ 143 คน นอกจากจำนวนบุคลากรวิจัยที่มีน้อย ประเทศไทยยังประสบปัญหาขาดแคลนนักวิจัยที่มีประสบการณ์ การทำงานในระดับขยายขนาดที่มีระดับใกล้เคียงกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม (precommercial) ซึ่ง จำเป็นต้องมีการสร้างบุคลากรที่มีทักษะนี้เพิ่มเติม รวมไปถึงการสร้างบุคลากรสนับสนุนในด้านอื่นๆ โดยเฉพาะ ด้านทรัพย์สินทางปัญญาเนื่องจากมีความจำเป็นต้องใช้ประโยชน์จาก open innovation ซึ่งความรู้เหล่านี้ ส่วนหนึ่งได้รับการจดสิทธิบัตรไว้แล้ว มีความจำเป็นที่จะต้องมีการเตรียมความพร้อมส่วนนี้ไว้ล่วงหน้าเช่นกัน

## (3) โครงสร้างพื้นฐานด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม

โรงงานต้นแบบที่เปิดให้บริการรองรับได้บางผลิตภัณฑ์ และขนาดถังหมักปฏิกรณ์ชีวภาพที่ใหญ่สุด มีขนาดเพียง 3,000 ลิตร แต่จากผลการสำรวจที่ดำเนินการโดยสมาคมอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพไทย และศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (2561) ชี้ว่าภาคเอกชนมีความต้องการใช้บริการ โรงงานต้นแบบโดยเฉพาะในระดับใกล้อุตสาหกรรม โดยถังหมักปฏิกรณ์ชีวภาพควรมีขนาด 5,000-10,000 ลิตร และจำเป็นต้องเป็นระบบที่มีการออกแบบให้รองรับระบบมาตรฐานการผลิตผลิตภัณฑ์ (Good Manufacturing

Practice;GMP) เป็นไปตามมาตรฐาน GMP สำหรับรองรับผลิตภัณฑ์ในกลุ่มอาหาร อาหารเสริมสุขภาพ ที่เป็นผลิตภัณฑ์เป้าหมายของประเทศ ดังนั้น จึงเห็นได้ว่าโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นช่องว่างสำคัญสำหรับการรองรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชีวภาพ คือ โรงงานต้นแบบที่มีขนาดหมักปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 5,000-10,000 ลิตร และรองรับมาตรฐาน GMP



รูปที่ 5-8 : บทวิเคราะห์ช่องว่างความพร้อมด้าน วทน. เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี

### 5.6.2 แผนที่นำทางการเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี

ความต้องการผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรีในตลาดโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงกว่าร้อยละ 10 ต่อปี ซึ่งประเทศไทยมีโอกาสเข้าถึงตลาดจากความได้เปรียบที่มีอยู่ ได้แก่ ความได้เปรียบด้านวัตถุดิบ มีฐานการผลิตและอุตสาหกรรมต่อเนื่องรองรับภายในประเทศในระดับหนึ่ง ผู้ประกอบการซึ่งเป็นบริษัทขนาดใหญ่มีแผนลงทุนและบางรายเริ่มลงทุนไปบ้างแล้ว ทั้งนี้หากได้รับการสนับสนุนจากทุกภาคส่วนตามกลยุทธ์ในรูปที่ 5-9 มีความเป็นไปได้ที่มูลค่าอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีจะเพิ่มจาก 152,000 ในปี 2560 เป็น 400,000 ล้านบาทในปี 2571 โดยผลิตภัณฑ์เป้าหมายคือ ผลิตภัณฑ์ที่เป็น smart drop-in และ dedicated bio-based



**รูปที่ 5-9: กลยุทธ์การพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟน์เนอรี**

ตารางที่ 5-9 แสดงปัญหาและกลยุทธ์ในการแก้ไขปัญหา/อุปสรรคของอุตสาหกรรมไบโอรีไฟน์เนอรีของประเทศไทยโดยผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่สำคัญ 3 กลุ่ม ได้แก่ รัฐบาล สถาบันวิจัย/สถาบันการศึกษา และภาคเอกชน ซึ่งผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียทั้งหมดจำเป็นต้องทำงานเชื่อมประสานกันอย่างใกล้ชิด

**ตารางที่ 5-9 : กลยุทธ์การพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟน์เนอรีจำแนกตามความรับผิดชอบของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย**

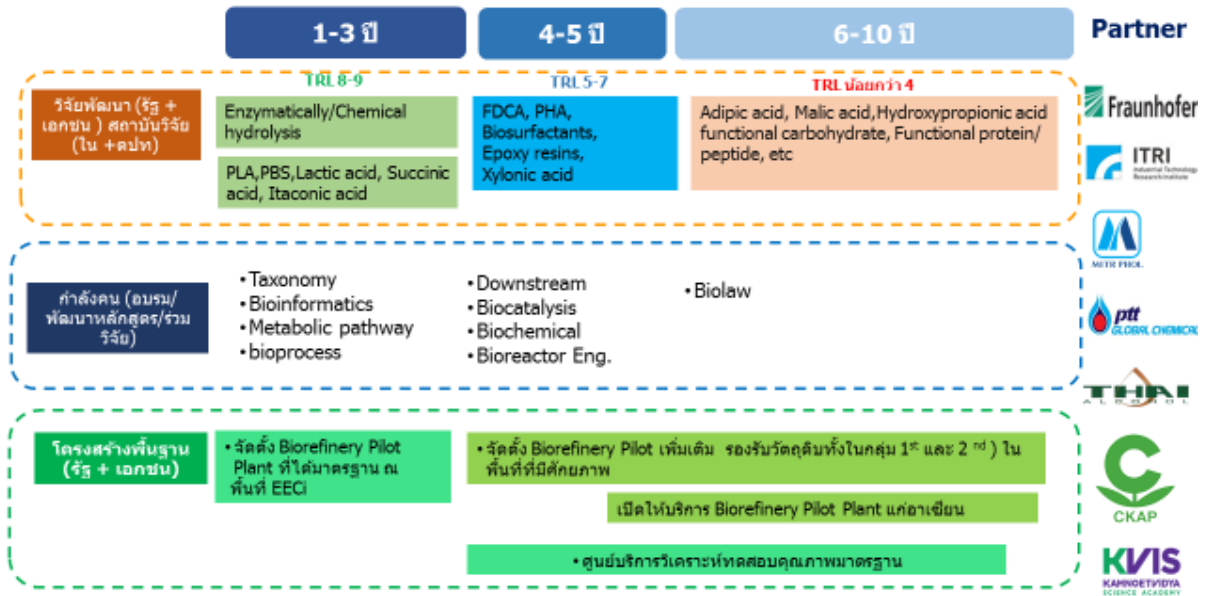
	รัฐบาล	สถาบันวิจัย/ สถาบันการศึกษา	ภาคเอกชน
<p><b>1. การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟน์เนอรี</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีส่วนใหญ่ยังไม่พร้อมนำไปใช้ประโยชน์</li> <li>• ขาดโครงสร้างพื้นฐานระดับขยายขนาดที่ใกล้เคียงกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม (precommercial)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• การสนับสนุนทุนวิจัยตามระดับความพร้อมของเทคโนโลยี (TRL) (TRL ต่ำรัฐลงทุนเป็นหลัก TRL สูงเอกชนเป็นผู้ลงทุนหลัก)</li> <li>• การสนับสนุนการจัดตั้งโรงงานต้นแบบเพื่อการปิดช่องว่างนวัตกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานต้นแบบระดับขยายขนาด</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ปรับเปลี่ยนรูปแบบของการวิจัยโดยมุ่งเน้นการทำงานเชื่อมโยงกับสถาบันวิจัย/สถาบันการศึกษาและภาคเอกชนอย่างใกล้ชิด</li> <li>• “clustering approach”</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ปรับเปลี่ยนแนวคิดจากการซื้อเทคโนโลยีเป็นการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพิ่มขึ้น</li> <li>• “buy to build strategy”</li> </ul>

	รัฐบาล	สถาบันวิจัย/ สถาบันการศึกษา	ภาคเอกชน
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• การให้สิทธิประโยชน์แก่ภาคเอกชนตามระดับความเสี่ยงของเทคโนโลยี (high risk, privilege plus)</li> </ul>		
2. กฎระเบียบ และมาตรการที่เกี่ยวข้อง	<ul style="list-style-type: none"> <li>• การขึ้นทะเบียนผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม</li> <li>• นโยบายการจัดเก็บภาษีสิ่งแวดล้อม “Green Tax”</li> <li>• การปรับปรุงเงื่อนไขของการให้/ต่อวีซ่าสำหรับผู้เชี่ยวชาญต่างประเทศ</li> </ul>	-	-
3. การผลิตและการตลาด <ul style="list-style-type: none"> <li>• ตลาดภายในประเทศมีจำกัด เช่น พลาสติกชีวภาพ</li> <li>• อุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีในประเทศไทยยังอยู่ในระยะเริ่มต้น</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• นโยบายสร้างตลาดภายในประเทศโดยให้สิทธิประโยชน์ทางภาษีสำหรับผู้ประกอบการ/ผู้บริโภคในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการขึ้นทะเบียนบัญชีนวัตกรรม “Market push strategy”</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ภาคเอกชนกำหนดเป้าหมายเพิ่มสัดส่วนการซื้อผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรีแทนผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมให้สูงขึ้น “B2B strategy”</li> </ul>
4. บุคลากร <ul style="list-style-type: none"> <li>• กำลังคนมีทักษะมีจำนวนจำกัด</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ให้ทุนการศึกษา/ทุนฝึกอบรม</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• จัดหลักสูตรที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้มีโอกาสปฏิบัติงานจริง “Work Integrated Learning :WIL”</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• มีส่วนร่วมในการออกแบบหลักสูตร</li> </ul>
5. ปัจจัยสนับสนุน	<ul style="list-style-type: none"> <li>• สนับสนุนให้มีการจัดตั้งห้องปฏิบัติการกลางเพื่อการกำหนดมาตรฐานและการทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์ภายในประเทศที่เพียงพอ</li> </ul>		

### 5.6.3 แผนที้นำทางการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี

แผนที่นำทางการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีแบ่งประเด็นของการจัดเตรียมความพร้อมด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมออกเป็น 3 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ 1) การวิจัยและพัฒนาเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เป้าหมาย 2) การพัฒนากำลังคนเพื่อรองรับความต้องการของอุตสาหกรรม

ไบโอรีไฟเนอรีในอนาคต และ 3) การจัดเตรียมโครงสร้างพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี 4) การบริหารจัดการทรัพย์สินทางปัญญา โดยเป้าหมายของแผนที่นำทางแบ่งเป็น 3 ระยะ คือ 1) เป้าหมายระยะสั้น (1-3 ปี) 2) เป้าหมายระยะกลาง (4-5 ปี) และ 3) เป้าหมายระยะยาว (6-10 ปี) รูปที่ 5-10



รูปที่ 5-10 : แผนที่นำทางการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี

### (1) การวิจัยและพัฒนาเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เป้าหมาย

การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์เป้าหมายของอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีควรเริ่มต้นจากสิ่งที่มีประเทศไทยมีความพร้อม คือการใช้วัตถุดิบประเภทผลผลิตทางการเกษตร (1<sup>st</sup> generation) เช่น น้ำตาล กากน้ำตาล แป้ง หรือน้ำมันปาล์ม ในส่วนนี้การพัฒนาเทคโนโลยีควรมุ่งเน้นการยกระดับผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตอยู่แล้ว (existing industry) โดยการนำกระบวนการทางชีวภาพมาปรับใช้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น ในระยะแรกจึงควรมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาเอนไซม์รวมถึงการปรับปรุงสายพันธุ์จุลินทรีย์ การพัฒนากระบวนการทางเคมีให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น รวมถึงการพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์ใหม่ให้มีความหลากหลายเพิ่มขึ้น เช่น และการพัฒนาต่อยอดการผลิต PHAs จากน้ำมันปาล์ม เป็นต้น

ในระยะถัดไปควรให้ความสำคัญกับการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (2<sup>nd</sup> generation) เช่น กากมันสำปะหลัง ชานอ้อย โดยในส่วนของ การปรับสภาพวัตถุดิบมุ่งเน้นที่กระบวนการแยกเส้นใยออกจากกันด้วยกระบวนการทางชีวภาพและกระบวนการทางเคมี เพื่อให้วัตถุดิบพร้อมเข้าสู่กระบวนการผลิตในขั้นต่อไป ในกระบวนการแปรรูปให้ความสำคัญกับการคัดเลือกสายพันธุ์และการปรับปรุงพันธุ์จุลินทรีย์ให้มีลักษณะที่ดีขึ้น รวมถึงการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมี การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ผลผลิตสูง และในส่วนปลายน้ำมุ่งเน้นเทคโนโลยีที่เพิ่มประสิทธิภาพของการเก็บเกี่ยว การทำให้มีความบริสุทธิ์ซึ่งมีผลต่อต้นทุนผลิตภัณฑ์

เทคโนโลยีที่มีความพร้อมนำมาผลิตในระดับอุตสาหกรรม (TRL8-9) ควรส่งเสริมให้มีการซื้อสิทธิเทคโนโลยีเพื่อให้มีการผลิตสินค้าเข้าสู่ตลาดได้ในระยะเวลารวดเร็ว ทั้งนี้ รัฐควรกระตุ้นให้ผู้ประกอบการรายใหญ่ของประเทศตัดสินใจลงทุนหรือขยายการผลิตโดยเฉพะนโยบายที่มีผลต่อการสร้างตลาดภายในประเทศ

สำหรับเทคโนโลยีที่มีความพร้อมในระดับ TRL5-7 ในส่วนนี้ควรส่งเสริมให้เกิดการลงทุนร่วมระหว่างภาครัฐและเอกชนเพื่อการพิสูจน์ความเป็นไปได้ทางเทคโนโลยีและเศรษฐศาสตร์ซึ่งรูปแบบของโครงการวิจัยควรใช้รูปแบบของโครงการบูรณาการนวัตกรรมการวิจัยและนวัตกรรม หรือ spearhead โดยมีการกำหนดสัดส่วนเงินลงทุนขั้นต่ำจากภาคเอกชน ทั้งนี้เมื่อสิ้นสุดโครงการจะเกิดผลิตภัณฑ์ใหม่หรือกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพที่นำไปใช้ประโยชน์ได้จริง เนื่องจากงานวิจัยดังกล่าวเป็นความต้องการของภาคเอกชนตั้งแต่เริ่มแรก รวมถึงเป็นการลดภาระงบประมาณของภาครัฐ เทคโนโลยีที่อยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ (TRL ต่ำกว่า 4) ซึ่งยังมีความเสี่ยงอยู่มากในส่วนนี้ควรเป็นบทบาทของภาครัฐในการเป็นผู้ลงทุนด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีโดยการให้กลุ่มเป้าหมายซึ่งเป็นผู้ใช้ประโยชน์มีบทบาทในการกำหนดโจทย์วิจัย ทั้งนี้อาจให้สิทธิประโยชน์เพิ่มเติม เช่น การหักลดหย่อนภาษีได้ในอัตราที่สูงขึ้น หรือให้การสนับสนุนเงินร่วมลงทุนเพื่อจูงใจให้เอกชนที่มีความพร้อมเร่งลงทุนวิจัยพื้นฐานซึ่งเป็นการวางรากฐานเพื่อการก้าวไปสู่อุตสาหกรรมฐานนวัตกรรมในอนาคต

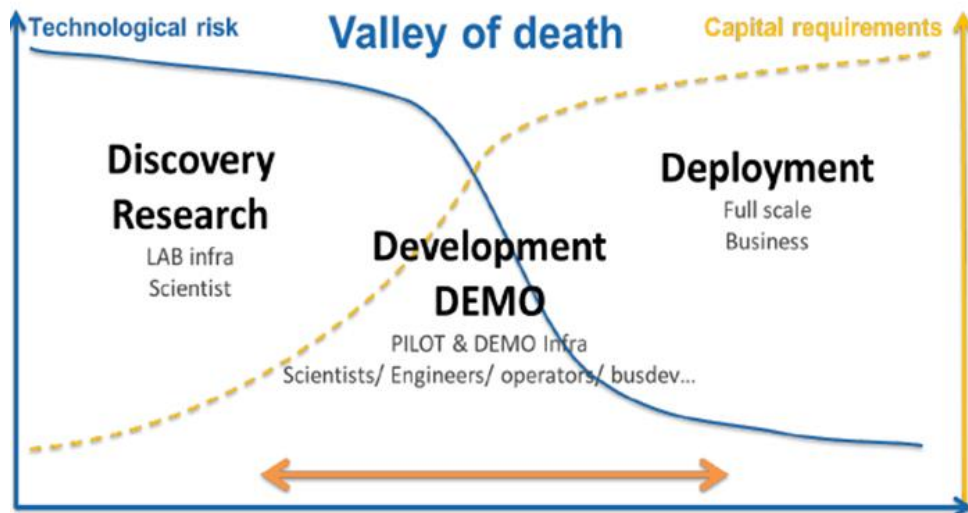
## (2) การพัฒนากำลังคนเพื่อรองรับการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี

การพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีต้องการบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญที่เป็นสหสาขา ทั้งในส่วนของเก็บรวบรวมสายพันธุ์จุลินทรีย์จากแหล่งต่างๆ และนำมาจัดหมวดหมู่ ซึ่งเป็นหน้าที่ของนักอนุกรมวิธาน (taxonomy) นักชีวสารสนเทศ (bioinformatics) ซึ่งมีความเชี่ยวชาญด้านการประยุกต์ใช้งานด้านคอมพิวเตอร์กับงานวิจัยทางด้านชีววิทยา นักวิจัยที่ทำหน้าที่ศึกษากลไกการทำงานสิ่งมีชีวิตในการสร้างสารประเภทต่างๆ (metabolic pathway) นักวิจัยที่มีความเชี่ยวชาญด้านชีวกระบวนการ (bioprocess) เทคโนโลยีปลายน้ำ (downstream) ชีวเคมี (biochemical) วิศวกรรมการออกแบบระบบการผลิตประเภทต่างๆ รวมถึงนักวิจัยที่มีความเชี่ยวชาญด้านทรัพย์สินทางปัญญา (Biolaw)

กลไกการพัฒนาความสามารถบุคลากรในระยะสั้น อาศัยกลไกความร่วมมือกับสถาบันวิจัยชั้นนำในต่างประเทศ ได้แก่ Fraunhofer Center for Chemical-Biotechnological Processes และ Industrial Technology Research Institute of Taiwan เป็นต้น หรือการดึงดูดหรือนำอาจารย์/นักวิจัยชั้นนำจากสถาบันที่มีชื่อเสียงต่างประเทศ และ Visiting Professors มาร่วมวิจัยและทำงานกับภาคอุตสาหกรรมโดยจัดให้มีสิ่งอำนวยความสะดวก สิทธิประโยชน์ และมาตรการจูงใจต่างๆ ในรูปแบบแพ็คเกจเพื่อดึงดูดให้ผู้เชี่ยวชาญมีที่ว่ไทยและต่างประเทศสนใจเข้ามาทำงานในประเทศไทยหรือพื้นที่ EECi และหลังจากโรงงานต้นแบบไบโอรีไฟเนอรีเปิดให้บริการ ควรใช้โรงงานต้นแบบเป็นแหล่งในการพัฒนาบุคลากรเพื่อเข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมหรือภาควิจัยต่อไป

## (3) การจัดเตรียมโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี

โรงงานต้นแบบไบโอรีไฟเนอรี (Biorefinery) ระดับขยายขนาด เป็นโครงสร้างพื้นฐานที่รัฐต้องลงทุนเพิ่มเติมเพื่อการปิดช่องว่างของนวัตกรรม (valley of death) ที่เป็นการนำเทคโนโลยีแบบพลิกโฉมฉับพลัน (disruptive technology) มาผลักดันให้ผลงานวิจัยได้รับการต่อยอดสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์อย่างก้าวกระโดด และเพิ่มความสามารถในการแข่งขันให้กับผู้ประกอบการไทยทั้งผู้ประกอบการรายเดิมและรายใหม่ ให้ก้าวข้ามจากการรับจ้างการผลิตแบบเดิมไปสู่การผลิตสินค้าและบริการที่สร้างมูลค่าเพิ่ม สร้างมูลค่าเพิ่มของสินค้าเกษตร อันเป็นฐานสำคัญของการผลักดันให้ประเทศไทยก้าวพ้นจากการติดกับดักรายได้ปานกลางไปสู่การเป็นประเทศที่มีรายได้สูง



รูปที่ 5-11 : หุบเหวระยะของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรี

การจัดตั้งโรงงานต้นแบบระดับก่อนการผลิตในเชิงพาณิชย์เต็มรูปแบบ (pre-commercial) ขนาด 5,000-10,000 ลิตร เพื่อรองรับผลิตภัณฑ์ทั้งที่เป็น Non GMP product และเป็น GMP ควรนำร่องในพื้นที่ EECi ซึ่งเป็นแหล่งรวมของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีเดิม และมีผู้ประกอบการมีแผนลงทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ไบโอรีไฟเนอรี และหลังจากนั้นให้พิจารณาจัดตั้งโรงงานต้นแบบเพิ่มเติมตามความเหมาะสม ดังเช่น กรณีของประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีจำนวนโรงงานต้นแบบจำนวนมาก หลากหลายระดับและกระจายอยู่ทั่วประเทศ

เงินลงทุนโรงงานต้นแบบระดับก่อนการผลิตในเชิงพาณิชย์เต็มรูปแบบนี้ ในระยะแรกรัฐควรเป็นผู้ลงทุนทั้งหมดเนื่องจากอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีถือเป็นอุตสาหกรรมเริ่มต้นของประเทศไทย จึงยังมีความเสี่ยงอยู่มากทั้งทางด้านการตลาดและเทคโนโลยี แต่หลังจากอุตสาหกรรมมีการพัฒนาไประยะหนึ่งแล้ว การขยายโรงงานต้นแบบเพิ่มเติมหรือการจัดตั้งใหม่ควรเน้นรูปแบบการร่วมลงทุนระหว่างภาครัฐ และเอกชน/จากสมาชิก (consortium) ให้มากขึ้น แม้ว่าใช้เงินลงทุนจากภาครัฐแต่ควรใช้รูปแบบการบริหารแบบเอกชนที่มีความคล่องตัวสูง รวมถึงการสร้างเครือข่ายความร่วมมือทั้งในและต่างประเทศเพื่อให้เกิดการพัฒนาความสามารถทางเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง และจำเป็นที่รัฐบาลต้องลงทุนเครื่องมือและครุภัณฑ์ที่มีความทันสมัยเพิ่มเติมในระยะเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากผลการศึกษาประสบการณ์ของการบริหารโรงงานต้นแบบในต่างประเทศพบว่าโรงงานต้นแบบไม่สามารถสร้างผลกำไรมาเพียงพอในการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานใหม่ได้ด้วยตนเองทั้งหมด

การสร้างรายได้สำหรับการดำเนินงานโรงงานต้นแบบเพื่อให้เพียงพอต่อการดำเนินการในส่วนของต้นทุนผันแปรนั้นเกิดขึ้นได้จากการดำเนิน 4 กิจกรรม คือ 1) รายได้จากการรับจ้างและร่วมวิจัย 2) รายได้จากการให้สิทธิการใช้เทคโนโลยีกระบวนการผลิตและหรือผลิตภัณฑ์ใหม่ 3) รายได้จากการจัดอบรมทั้งประเภท intensive เพื่อพัฒนาความเชี่ยวชาญให้กับบุคลากร และหลักสูตรที่เน้นให้ผู้เข้ารับการอบรมได้ทดลองปฏิบัติงานจริงในโรงงานต้นแบบ (on the job training) ซึ่งเป็นที่ต้องการมากสำหรับอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี และ 4) การให้บริการด้านอื่นๆ เช่น ให้คำปรึกษาและจัดการเรื่องทรัพย์สินทางปัญญาซึ่งจะมีความสำคัญเพิ่มขึ้น รวมถึงการให้บริการทดสอบเครื่องมือต้นแบบ (Testing prototype equipment) เป็นต้น

ทั้งนี้ เพื่อส่งเสริมให้เกิดการใช้ประโยชน์โรงงานต้นแบบในประเทศ และนำไปสู่การพัฒนาความสามารถในการให้บริการแก่ภาคอุตสาหกรรมและสถาบันวิจัยในประเทศได้ดียิ่งขึ้น รวมถึงขยายฐานการวิจัยไปสู่ประเทศสมาชิกอาเซียน ทั้งนี้เนื่องจากโรงงานต้นแบบที่ให้บริการของประเทศมาเลเซียเน้นพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปาล์มเท่านั้น ดังนั้น จึงเป็นโอกาสของประเทศไทยที่จะให้บริการโรงงานต้นแบบเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อยอดจากวัตถุดิบประเภทอื่นๆ โดยมาตรการที่ต้องผลักดัน ได้แก่ (1) การนำค่าใช้จ่ายดังกล่าวไปหักภาษีได้ การสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการใช้โรงงานต้นแบบในลักษณะคุ้มครอง รวมถึงการเชื่อมโยงกับกลไกที่มีอยู่เดิม เช่น บัญชีสิ่งประดิษฐ์ หรือการใช้ประโยชน์จากโปรแกรม spearhead ด้านเศรษฐกิจ (2) การปรับปรุงระเบียบและขั้นตอนการใช้ประโยชน์จากโรงงานต้นแบบให้มีความคล่องตัว มีระบบรักษาความลับ และการปกป้องทรัพย์สินทางปัญญาที่ทำให้ผู้ใช้บริการเชื่อมั่น และมีความโปร่งใส เป็นต้น (3) การศึกษาความต้องการใช้บริการโรงงานต้นแบบของลูกค้าเป้าหมาย โดยอาศัยกลไก consortia และการสำรวจความต้องการใช้ของลูกค้ากลุ่มเดิมและลูกค้ากลุ่มใหม่เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ประกอบการวางแผนการดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (4) การประชาสัมพันธ์กิจกรรมของโรงงานต้นแบบในต่างประเทศ (road shows)

การเร่งรัดพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีในประเทศไทยให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จำเป็นต้องมีการกำหนดกลยุทธ์แบ่งตามระดับความพร้อมของเทคโนโลยีในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เป้าหมายเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

**กลุ่มที่ 1 : ผลิตภัณฑ์มีความพร้อมทางเทคโนโลยีในระดับอุตสาหกรรม (TRL 8-9)** เน้นการส่งเสริมให้เกิดการลงทุนจัดตั้งโรงงานไบโอรีไฟเนอรีเพิ่มเติมโดยผู้ประกอบการไทยที่มีความพร้อมและนักลงทุนต่างประเทศโดยการปรับเปลี่ยนมาใช้วัตถุดิบที่ประเทศไทยมีมาก เป้าหมายเพื่อเร่งรัดให้เกิดการขยายฐานของอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีอย่างรวดเร็ว รวมถึงเป็นช่องทางในการดูดซับเทคโนโลยีจากต่างประเทศ

**กลุ่มที่ 2 : ผลิตภัณฑ์มีความพร้อมทางเทคโนโลยีในระดับสาธิต (TRL 5-7)** เทคโนโลยีการจัดการแปรสภาพวัตถุดิบต้องมีการพัฒนาเพิ่มเติม ตลาดปัจจุบันยังมีขนาดเล็กแต่อัตราการขยายตัวสูง การพัฒนาความสามารถควรใช้กลไกความร่วมมือกับหน่วยงานวิจัยที่มีความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีของต่างประเทศ และใช้ประโยชน์จากโครงสร้างพื้นฐานในพื้นที่ EECi ในการเร่งรัดพัฒนาความสามารถทางเทคโนโลยีเพื่อให้ก้าวสู่ระดับความพร้อมอุตสาหกรรมเร็วขึ้น

**กลุ่มที่ 3 : ผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในขั้นการวิจัยในห้องปฏิบัติการ (TRLน้อยกว่า 4)** ต้องเร่งรัดการพัฒนาเทคโนโลยีในประเทศเพื่อเข้าสู่ระดับความพร้อมของเทคโนโลยีที่สูงขึ้นโดยผ่านการลงทุนผ่านโปรแกรมขนาดใหญ่ เพื่อเป็นการเพิ่มจำนวนผลงานวิจัยที่จะเข้าสู่การใช้ประโยชน์จากโรงงานต้นแบบในพื้นที่ EECi ในระยะต่อไป

#### (4) การบริหารจัดการทรัพย์สินทางปัญญา

การบริหารจัดการทรัพย์สินทางปัญญามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในกรณีที่ประเทศไทยต้องการใช้ประโยชน์จากนวัตกรรมเปิด (open innovation) ในการเร่งรัดพัฒนาความสามารถทางเทคโนโลยีของประเทศ ด้วยการเปิดรับและแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ เทคโนโลยีจากหน่วยงานภายนอก หรืออาศัยความร่วมมือเชิงพันธมิตรหรือหน่วยงานที่มีความเชี่ยวชาญในเรื่องต่าง ๆ นำมาปรับใช้ในการสร้างเทคโนโลยี และนวัตกรรมที่มีคุณภาพดีขึ้น

แม้ว่าองค์ความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรมมีแนวโน้มเปิดกว้างมากขึ้น แต่การเข้าถึงและใช้ประโยชน์จากทรัพย์สินทางปัญญาจะเกิดขึ้นได้สำหรับหน่วยงานที่มีความพร้อมทางด้านการเงินและมีผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการทรัพย์สินทางปัญญาซึ่งหน่วยงานที่มีความพร้อมในด้านดังกล่าวถือได้ว่ามีส่วนที่น้อยสำหรับประเทศไทย ดังนั้น ประเทศไทย จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดให้มีผู้รับผิดชอบในฐานะเป็นหน่วยงานกลางในการ

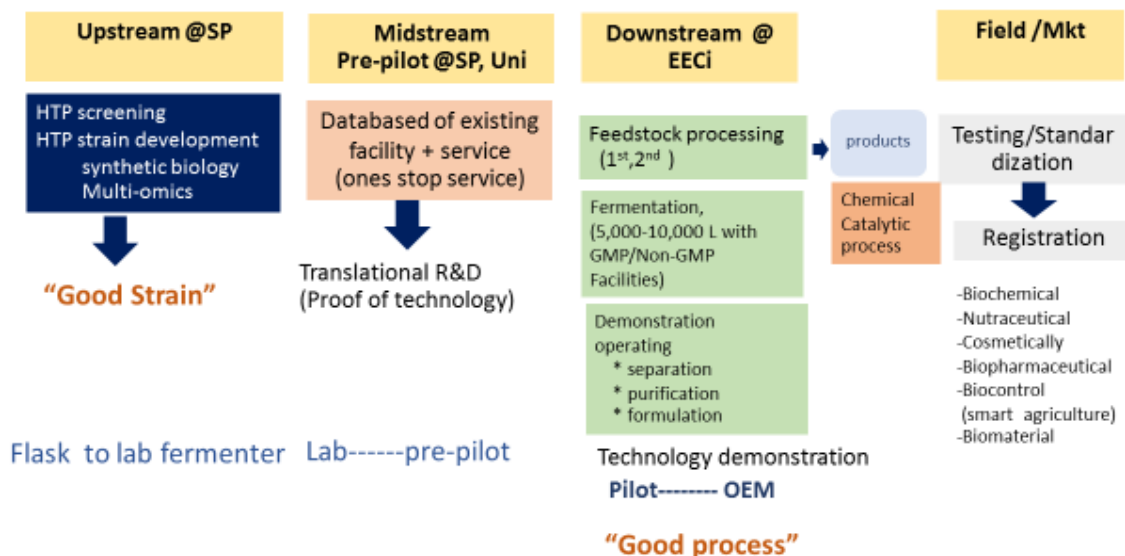
รวบรวม/เจรจาเพื่อขอใช้สิทธิจากผู้เป็นเจ้าของ และนำทรัพย์สินทางปัญญาดังกล่าวมาบริหารจัดการเพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์โดยการเปิดโอกาสให้ภาคเอกชน สถาบันวิจัยและสถาบันการศึกษาเข้าถึงนวัตกรรมได้ด้วยค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม นอกจากนี้ ยังต้องมีการศึกษา ติดตามความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและการคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาของหน่วยงานต่างๆ เพื่อการจัดเตรียมมาตรการในการรับมือได้อย่างเหมาะสม

#### 5.6.4 แผนที่น่าทางการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรี : EECi

พื้นที่ระเปียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออกด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรม (EECi) มุ่งเน้นการวิจัยต่อยอดเพื่อนำผลงานวิจัยไปสู่การใช้งานจริง (Translational research) ทั้งนี้ จำเป็นต้องมีการจัดเตรียมระบบนิเวศนวัตกรรมที่สำคัญ ดังนี้

(1) โรงงานต้นแบบไบโอรีไฟเนอรี (Biorefinery) ระดับขยายขนาดที่ใกล้เคียงกับระดับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม (10,000 ลิตร) รองรับวัตถุดิบและการผลิตผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย (multi-feedstock multi-products) โดยโรงงานต้นแบบไบโอรีไฟเนอรีต้องออกแบบให้รองรับมาตรฐาน GMP (Good Manufacturing Practice) เพื่อรองรับการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ประเภทอาหาร ได้แก่ สารที่ให้ประโยชน์เชิงหน้าที่ (Functional Ingredient) อาหารเสริมสุขภาพ (Nutraceutical & Functional Food) สารชีวภาพที่ให้คุณสมบัติพิเศษที่เป็นส่วนประกอบอาหาร (Biospecialty) และโรงงานต้นแบบไบโอรีไฟเนอรีมาตรฐาน Non- GMP (Non Good Manufacturing Practice) เพื่อรองรับการจัดเตรียมชีวมวลที่หลากหลายให้มีความเหมาะสมในการนำเข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ สารชีวเคมีภัณฑ์ และพลาสติกชีวภาพ การพัฒนากระบวนการหมัก (upstream fermentation process) ที่ได้มาตรฐานรองรับการใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์ธรรมชาติรวมถึงสายพันธุ์ที่ผ่านการดัดแปรพันธุกรรมด้วยเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่ที่มีความปลอดภัย รวมถึงการแยกและเพิ่มความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ในส่วนปลายน้ำ (Downstream separation process) ให้ตรงตามความต้องการของภาคอุตสาหกรรม

#### EECi Biopolis Infrastructure



รูปที่ 5-12 : โครงสร้างพื้นฐานในพื้นที่ EECi

## (2) การบริหารจัดการโรงงานต้นแบบ (Business Model)

การบริหารจัดการโรงงานต้นแบบแบบใช้รูปแบบการบริหารแบบเอกชนโดยผู้บริหารมืออาชีพ และบุคลากรเชี่ยวชาญแบบเต็มเวลา เป็นหน่วยงานที่มีความคล่องตัวและความสามารถในการปรับตัวสูง โดยมีพันธกิจหลักของและ BIOPOLIS และโรงงานต้นแบบ คือการทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีในประเทศโดยใช้กลยุทธ์ในการทำงานที่เรียกว่า “PEAK” ประกอบด้วย

P - Public and Private Partnership เน้นการทำงานเชื่อมโยงระหว่างภาครัฐและเอกชนในลักษณะคลัสเตอร์อย่างใกล้ชิดเพื่อส่งเสริมให้เกิดการใช้ประโยชน์โรงงานต้นแบบอย่างเต็มประสิทธิภาพ

E - Excellence Service Provider เน้นการให้บริการที่เป็นเลิศด้วยทีมงานมืออาชีพ ส่งมอบผลงานที่มีคุณภาพในเวลาที่รวดเร็ว จัดให้มีบริการแบบเบ็ดเสร็จทั้งการบริการรับจ้างวิจัย ร่วมวิจัย ฝึกอบรม การให้บริการจัดการทรัพย์สินทางปัญญาทั้งการเจรจาการใช้สิทธิและการให้สิทธิ (licensed in/ licensed out) เป็นต้น

A - Accelerator เป็นแกนกลางในการจัดให้เกิดกิจกรรมต่างๆ เพื่อเร่งรัดให้เกิดการใช้งานโรงงานต้นแบบไบโอรีไฟเนอรี ทั้งการจัดให้มีการประชาสัมพันธ์ (road show) การเชื่อมโยงกับภาครัฐในการจัดทำโปรแกรมสนับสนุนการใช้งานโรงงานต้นแบบในรูปแบบต่างๆ เช่น คุ้มครองสำหรับการใช้บริการ การให้เอกชนนำค่าใช้จ่ายในการใช้บริการโรงงานต้นแบบไปหักภาษีได้ตามระดับความพร้อมของเทคโนโลยี (TRL) เป็นต้น

K - Knowledge based activity เน้นสร้างและเชื่อมโยงกับแหล่งความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรม ทั้งในและนอกเพื่อนำไปสู่การยกระดับคุณภาพการให้บริการ และความหลากหลายของบริการของโรงงานต้นแบบ

### กลุ่มลูกค้า (Customer Segments)

กลุ่มเป้าหมายผู้ใช้บริการโรงงานต้นแบบโดยหลักจะเป็นภาคเอกชนที่มีแผนลงทุนในอุตสาหกรรมไบโอไฟเนอรีแล้ว ได้แก่ ปตท. มิตรผล เบทาโกร คริสตอลลา เกษตรไทยอินเตอร์เนชั่นแนล ชูการ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด เป็นอันดับแรก ผู้ประกอบการขนาดกลาง และนักวิจัยในสถาบันการศึกษาและสถาบันวิจัย รวมถึงบริษัทจากต่างประเทศโดยเฉพาะในประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน

### พันธมิตรร่วมดำเนินการ (Key Partnerships)

การขับเคลื่อนการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอรีไฟเนอรีช่วงแรกเน้นทำงานร่วมกับหน่วยงานพันธมิตรที่ลงนามในบันทึกข้อตกลงความร่วมมือ (MOU) ไปแล้ว ประกอบด้วยภาคเอกชน ได้แก่ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน) บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) บริษัท เบทาโกร จำกัด (มหาชน) บริษัท ไทวา จำกัด (มหาชน) บริษัท โกลบอลกรีนเคมิคอล จำกัด (มหาชน) บริษัท เกษตรไทย อินเตอร์เนชั่นแนล ชูการ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) บริษัท เอเชีย สตาร์ เทรด จำกัด บริษัท สยามไบโอไซเอนซ์ จำกัด หน่วยงานสถาบันการศึกษา ได้แก่ สถาบันวิทยสิริเมธี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยนเรศวร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยมหิดล สถาบันไทย-เยอรมัน และ โรงเรียนกำเนิดวิทย์ รวมถึงสถาบันวิจัยในต่างประเทศ ได้แก่

Chinese Academy of Sciences(CAS), Korea Advanced Institute of Science & Technology (KAIST), Japan-ASEAN Science, Technology, and Innovation Platform (JASTIP), Kyoto University, Tokyo Tech และ Fraunhofer-Gesellschaft เป็นต้น และในระยะต่อไปให้ความสำคัญกับการขยายพันธมิตรเพิ่มเติมทั้งในส่วนของภาคเอกชน สถาบันการศึกษาและสถาบันวิจัยในและต่างประเทศ

## เอกสารอ้างอิง

- ประดิดันท์ เอี่ยมสะอาด. 2560. การคัดเลือกและจัดจำแนกเชื้อแบคทีเรียที่สามารถผลิตโพลีไฮดรอกซีอัลคาโนเอตจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมอาหารด้วยเทคนิคการย้อมด้วยสารเรืองแสง. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 27(4) ต.ค.-ธ.ค.2560.
- พุทธพร แสงเทียน ไท แสงเทียน วรรณญา จันทร์สุข และ อภิชา ชินศิริ. การย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรดเจือจางและเอนไซม์เพื่อการผลิตเบโอเอทานอล. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 15.11-13 พฤษภาคม 2559 โรงแรมเดอะ ทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพฯ
- รชฎ เสียงจันทร์. 2560. อุตสาหกรรมปิโตรเคมี. วิจัยกรุงศรี. เมษายน 2560.
- รัชพล พะวงศ์รัตน์. 2558. กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส. Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University. ปีที่ 2 (1) มกราคม-มิถุนายน 2558.
- รวราวุฒิ ศุภมิตรมงคล และคณะ. 2561. โครงการ “การศึกษาและสังเคราะห์สถานภาพและทิศทางการวิจัยภายใต้นโยบายเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ. เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
- สถาบันพลาสติกไทย. 2560. โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาศูนย์กลางอุตสาหกรรมชีวภาพ (Bio Hub) จากอ้อยและน้ำตาลทราย เสนอต่อสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. สถิติการเกษตรของประเทศไทย. <http://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/yearbook60.pdf>.
- สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. ครม. เห็นชอบมาตรการพัฒนาอุตสาหกรรมชีวภาพของไทย ปี พ.ศ. 2561-2570 กระทรวงอุตสาหกรรมเร่งเครื่อง ปรับปรุงทบทวนกฎหมาย กฎระเบียบ เตรียมผลักดันไทยเป็น Bio Hub of ASEAN ภายในปี 2570. [http://www.oie.go.th/sites/default/files/attachments/news\\_oiepr/news-oiepr-10-2561.pdf](http://www.oie.go.th/sites/default/files/attachments/news_oiepr/news-oiepr-10-2561.pdf)
- ศูนย์วิจัยเศรษฐศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2560. โครงการศึกษาแนวทางการพัฒนาและส่งเสริมอุตสาหกรรมโอเลโอเคมีจากปาล์มน้ำมัน เสนอต่อสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- ThaiPR.net. ไออาร์พีซี เตรียมสร้างโรงงานอะโรเมติกส์ขนาดใหญ่ พร้อมใช้เทคโนโลยีของฮันนิเวลล์ โรงงานนี้จะช่วยเพิ่มกำลังการผลิตเบนซินของไออาร์พีซีจาก 114,000 ตันเป็น 495,000 ตันต่อปี. <https://www.ryt9.com/s/prg/2834705>.
- A. Pattanasupong, S. Tungsatipron, S Meeplay and R. Wangdeetham. 2012. Bioplastic Sheet Production from 1,3-Propanediol Production by Raw Glycerol Fermentation. KKU Res.J. 2012. 17(6) : 958-964.
- Allied Market Research. 2014. Bio Succinic Acid Market by Application (1-Butanediol, 4-Butanediol (BDO), Polyester Polyols, PBS, Plasticizers, Solvents & lubricants, Alkyd Resins, Resins, coatings, pigments, De-icer solutions) - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2013 – 2020. <https://www.alliedmarketresearch.com/bio-succinic-acid-market>.

ARD. Core Competencies :BIODÉMO, and Open Platform for Process scale up. <https://www.a-r-d.fr/sites/default/files/Depliant%20ARD-Biodemo-MaJMAI2015-2-3-4.pdf>.

B Kostova.2017. Task42 Biorefining in a Future BioEconomy: United States Country Report. [http://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/10/DOE\\_Spaeth.pdf](http://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/10/DOE_Spaeth.pdf)

Bugnicourt, E., et al., Polyhydroxyalkanoate (PHA): Review of synthesis, characteristics, processing and potential applications in packaging. *Express Polymer Letters*. 2014. 8: p. 791-808.

Chaikaew, S., Maeno, Y., Visessanguan, W., Ogura, K., Sugino, G., Lee, S.-H., & Ishikawa, K. 2012. Application of thermophilic enzymes and water jet system to cassava pulp. *Bioresource Technology*, 126, 87-91.<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.09.020>

Cargill, Cargill acquires OPX Biotechnologies' fermentation technology.2015. <https://www.cargill.com/news/releases/2015/NA31794255.jsp>.

Deloitte Access Economics.2014.Economic impact of a future tropical biorefinery industry in Queensland.

De Fouchécour F., Sánchez-Castañeda A.K., Saulou-Bérion C. and H.E. Spinnler.2018.Process engineering for microbial production of 3-hydroxypropionic acid. *Biotechnol Adv.* (4), pp. 1207-1222.

Davis, S.E., et al., Oxidation of 5-hydroxymethylfurfural over supported Pt, Pd and Au catalysts. *Catalysis Today*.2011. 160(1): p. 55-60.

D. Schell.2015.DOE Bioenergy Technologies Office (BETO) 2015 Project Peer Review Pilot Scale Integration Project. [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/04/f21/biochemical\\_conversion\\_schell\\_0345.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/04/f21/biochemical_conversion_schell_0345.pdf)

DuPont Tate & Lyle Bio Products Company. Susterra® Propanediol.<http://www.Duponttateandlyle.com/DuPont-Tate-Lyle-Bio-Products-Expanding-Bio-based-Propanediol-Production-in-Tennessee>

Elemike, E. E., Oseghale, O. C., & Okoye, A. C.2015. Utilization of cellulosic cassava waste for bio-ethanol production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(4, Part A), 2797-2800.<https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.10.021>

F.D.Bruyn.2018. Bio Base Europe Pilot Plant; Turning Grams into Tonnes ,Company presentation for National Science and Technology Development Agency in Thailand.

Fraunhofer Center for Chemical-Biotechnological Processes CBP. Pilot Plants and focal Points. [https://www.cbp.fraunhofer.de/en/research/Range\\_of\\_services.html](https://www.cbp.fraunhofer.de/en/research/Range_of_services.html).

Fraunhofer Center for Manufacturing Innovation. Business Model : Transforming research into functional technology. <https://www.bu.edu/fhcmi/About/model.html>

G. Bell.2018. Task42 Biorefining in a Future BioEconomy : Australia Country Report.

Grand View Research.2017.1,4 Butanediol (BDO) Market Worth \$12.6 Billion By 2025. <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-1-4-butanediol-market>.

- H. Beermann and G. Unkelbach.2018.Thai Biorefinery Industry Roadmap. Submitted to National Center for Genetic Engineering.
- Hermiati, E., Azuma, J.-i., Tsubaki, S., Mangunwidjaja, D., Sunarti, T. C., Suparno, O., & Prasetya, B. 2012. Improvement of microwave-assisted hydrolysis of cassava pulp and tapioca flour by addition of activated carbon. *Carbohydrate Polymers*, 87(1), 939-942. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.08.033>.
- Harmsen, P. 2010. Literature Review of Physical and Chemical Pretreatment Processes for Lignocellulosic Biomass: Wageningen UR, Food & Biobased Research
- IDF Diabetes Atlas.2017. <https://www.idf.org/aboutdiabetes/what-is-diabetes/facts-figures.html>
- Kaar, W. E., Gutierrez, C. V., & Kinoshita, C. M..1998. Steam explosion of sugarcane bagasse as a pretreatment for conversion to ethanol. *Biomass and Bioenergy*, 14 (3), 277-287. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10038-1](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10038-1).
- Kurdi, P., & Hansawasdi, C. (2015). Assessment of the prebiotic potential of oligosaccharide mixtures from rice bran and cassava pulp. *LWT - Food Science and Technology*, 63(2), 1288-1293.<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.031>.
- Laser, M., Schulman, D., Allen, S. G., Lichwa, J., Antal, M. J., & Lynd, L. R. 2002. A comparison of liquid hot water and steam pretreatments of sugar cane bagasse for bioconversion to ethanol. *Bioresource Technology*, 81(1), 33-44. :[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00103-1](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00103-1)
- Market Research Reports.2017.world's Top Epoxy Resin Manufacturers.
- Markets and Markets.Agricultural Microbials Market. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/agricultural-microbial-market-15455593.html>.
- Nandiyanto, A.B.D., et al..Economic Evaluation of the Production Ethanol from Cassava Roots. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.2018. 288(1): p.012023.
- Neureiter, M., Danner, H., Thomasser, C., Saidi, B., & Braun, R. .2002. Dilute-acid hydrolysis of sugarcane bagasse at varying conditions. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 98(1-9), 49-58.
- Nordor intelligence.2018. Feed Probiotics Market-Segmented by Type, Animal Type,and Geography (2019-2024). <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-probiotics-market-industry>.
- OECD/IEA, 2017. Technology Roadmap Delivering Sustainable Bioenergy.
- Pnewswire.2017.Global Biorefinery Products Market Report 2017: Market to Reach \$714.6 Billion by 2021 From \$466.6 Billion in 2016 - Research and Markets. <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-biorefinery-products-market-report-2017-market-to-reach-7146-billion-by-2021-from-4666-billion-in-2016---research-and-markets-300428484.html>

- Polyestertime.2017. Technology Profile: Bio-based Adipic Acid Production from Glucose – Biobased Adipic Acid Production Glucose – Arhive. <https://www.polyestertime.com/biobased-adipic-acid-production-glucose/>
- Pervez, S., et al., Saccharification and liquefaction of cassava starch: an alternative source for the production of bioethanol using amyolytic enzymes by double fermentation process. *BMC Biotechnology*.2014. 14(1): p. 49.
- Pingmuanglek, P., Jakrawatana, N., & Gheewala, S. H. 2017. Supply chain analysis for cassava starch production: Cleaner production opportunities and benefits. *Journal of Cleaner Production*, 162, 1075-1084.<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.148>
- Paixão, M. A., Tavares, C. R. G., Bergamasco, R., Bonifácio, A. L. E., & Costa, R. T. 2000. Anaerobic Digestion from Residue of Industrial Cassava Industrialization with Acidogenic and Methanogenic Physical Separation Phases. In M. Finkelstein & B. H. Davison (Eds.), *Twenty-First Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals: Proceedings of the Twenty-First Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals Held May 2–6, 1999, in Fort Collins, Colorado* (pp. 809-819).
- QUT.2018. QUT annual report 2017.[https://cms.qut.edu.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0006/713094/2017-annual-report.pdf](https://cms.qut.edu.au/__data/assets/pdf_file/0006/713094/2017-annual-report.pdf)
- Research in China.2014. Global and China Lactic Acid and Derivative Industry Report, 2014-2016. <http://researchinchina.com/UpLoads/ArticleFreePartPath/20141016095242.pdf>
- S. Diegi, Cal and L.Tenn.2013.Genomatica and DuPont Tate & Lyle Bio Products Successfully Produce 1,4-Butanediol (BDO) on Commercial Scale.
- Sawisit, A., et al., Efficient utilization of cassava pulp for succinate production by Metabolically engineered *Escherichia coli* KJ122. *Bioprocess and Biosystems Engineering*.2015. 38(1): p. 175-187.
- Sriroth, K., Chollakup, R., Chotineerant, S., Piyachomkwan, K., & Oates, C. G. 2000. Processing of cassava waste for improved biomass utilization. *Bioresource Technology*,71(1), 63-69. :[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00051-6](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00051-6)
- SIRIM.2015. Malaysia’s Bioplastics Transformation.<http://www.sirim.my/document/Case%20Study/SIRIM%20Bioplastic%20White%20Paper-v6-highres.pdf>
- Statista.Production volume of para xylene in South Korea from 2006 to 2017 (in metric tons) <https://www.statista.com/statistics/732209/south-korea-para-xylene-production-volum>.
- U.S. Department of Energy. Modeling Tomorrow’s Biorefinery-the NREL Biochemical Pilot Plant.
- Worldchemical.2011. S-OIL doubles para xylene and benzene capacity at Onsan. <https://www.worldofchemicals.com/media/s-oil-doubles-para-xylene-and-benzene-capacity-at-onsan/758.html>
- WHO.2018.Diabetes. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>.

- WEASTRA S.R.O.2013 .Determination of market potential for selected platform chemicals  
Itaconic acid, Succinic acid, 2,5-Furandicarboxylic acid. [https://www.igb.fraunhofer.de/  
content/dam/igb/en/documents/publications/BioConSepT\\_Market-potential-for-  
selected-platform-chemicals\\_ppt1.pdf](https://www.igb.fraunhofer.de/content/dam/igb/en/documents/publications/BioConSepT_Market-potential-for-selected-platform-chemicals_ppt1.pdf)
- Zhangjiagang Glory Biomaterial Co., Ltd.1,3-Propanediol. [http://www.bio-haoyun.com  
/en/supplier-2607.aspx](http://www.bio-haoyun.com/en/supplier-2607.aspx).
- Zhang, M., Xie, L., Yin, Z., Khanal, S. K., & Zhou, Q. 2016. Biorefinery approach for cassava-  
based industrial wastes: Current status and opportunities. *Bioresource Technology*,  
215, 50-62. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.026>.