

## รายงานการวิจัย

การเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร  
และวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการเกษตร

Value adding of agricultural waste and agricultural industrial waste

คณะผู้วิจัย

รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล

ดร. วีระชัย บัญชรเทวกุล

น.ส. ณัฐพร ตันทอง

น.ส. กาญจนา กิติดี

นายสุรัตน์ บัณฑิตลักษณะ

ภาควิชาวิศวกรรมนิเวศศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรกฎาคม 2556

## รายงานการวิจัย

การเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร  
และวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร

Value adding of agricultural waste and agricultural industrial waste

คณะผู้วิจัย

รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล

ดร. วีระชัย บัญชรเทวกุล

น.ส. ญัฐพร ตันทอง

น.ส. กาญจนา กิติดี

นายสุรัตน์ บัณฑิตลักษณะ

ภาควิชาวิศวกรรมนิเวศศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรกฎาคม 2556

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาล ประจำปีงบประมาณ 2555  
คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

เลขที่  
เลขทะเบียน 016170  
วัน, เดือน, ปี 301พ.ศ. 57

## บทคัดย่อ

รายงานนี้ได้รวบรวมข้อมูลทางวิชาการและการศึกษาวิจัยในอดีตถึงปัจจุบันเพื่อสรุปภาพรวมเกี่ยวกับการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตและการใช้ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากวัตถุดิบซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรหรือชีวมวลซึ่งเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่มีมูลค่าต่ำ และเป็นการช่วยลดผลกระทบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม (จากขยะ ของเสีย น้ำเสีย กลิ่นเหม็น แหล่งเพาะพันธุ์แมลงที่สร้างความรำคาญและเป็นพาหะของโรค) เมื่อกำจัดวัสดุเหล่านี้ไม่ทันและได้นำเสนอผลิตภัณฑ์ 14 ชนิดที่สังเคราะห์ได้ชีวมวลต่างๆ โดยแบ่งออกได้ 4 กลุ่มคือกลุ่มของแข็งประกอบด้วยไบโอชาร์ ถ่านกัมมันต์ อนุพันธ์ของเซลลูโลส เยื่อ เส้นใย ไมโครไฟบริลและนาโนไฟบริล น้ำตาล ไซลิตอล 2,3-บิวเทนไดออล) และปุ๋ย กลุ่มเชื้อเพลิงเหลวประกอบด้วยเอทานอล น้ำมันชีวภาพ (ก่อนปรับปรุงและกลั่นเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสะอาดสำหรับภาคการขนส่งแทนก๊าซโซลีน ดีเซล น้ำมันเครื่องบิน ฯลฯ) กลุ่มก๊าซชีวภาพประกอบด้วยมีเทน ไฮโดรเจนและก๊าซเชื้อเพลิงสังเคราะห์ และกลุ่มพลังงานประกอบด้วยความร้อน (ในรูปไอน้ำร้อนยิ่งยวด) และไฟฟ้า และพบว่าประเทศไทยในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ชีวมวลให้เป็นประโยชน์ในเชิงพาณิชย์เช่น การผลิตเอทานอลจากการหมักด้วยจุลินทรีย์ การผลิตความร้อนและไฟฟ้าจากการเผาสันดาปชีวมวลและก๊าซซิฟิเคชัน และการผลิตมีเทนจากการหมักด้วยจุลินทรีย์ ในขณะที่ยังไม่มีกรเริ่มการผลิตสารเคมีเฉพาะ น้ำมันชีวภาพ (จากฟาสท์โพรโกลซิสหรือไดเรคทีควแฟคชันหรือก๊าซซิฟิเคชัน) ไฮโดรเจนและก๊าซเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ข้อมูลนี้บ่งชี้ว่าประเทศไทยยังสามารถพัฒนาและบริหารจัดการเพื่อช่วยตัวเองได้อีกมากในการผลิตสารเคมีเฉพาะที่มีมูลค่าเพิ่ม และเชื้อเพลิงในรูปแบบต่างๆ เช่นเชื้อเพลิงชีวภาพ ไฮโดรเจน ก๊าซเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ฯลฯ จากชีวมวลซึ่งมีต้นทุนต่ำที่มีอยู่มากมายในประเทศ ซึ่งจะช่วยให้ประเทศไทยมีความมั่นคงทางพลังงานมากขึ้นในระยะยาวโดยลดการนำเข้าน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูป ในขณะที่ส่งออกน้ำมันดิบที่ผลิตได้บางส่วน (นอกเหนือจากการสำรวจเชื้อเพลิงอย่างที่เป็นอย่างในปัจจุบัน) เมื่อมีวิกฤติทางพลังงาน ทางอาหาร หรือการขนส่งเชื้อเพลิงทางทะเล เกิดขึ้นในอนาคต



## ABSTRACT

This report shows the overview of manufacturing technology and utilization of products from low value agricultural wastes and agricultural industrial wastes from research reports and articles in the past up to the present. 14 products synthesized from these biomass wastes were classified into 4 groups of solids, liquid fuels, biogas, and energy. Solids group includes bio-char, activated carbon, cellulose derivatives, pulp and fibers, micro-fibril and nano-fibril, sugar, xylitol, 2,3-butanediol, and fertilizers. Liquid fuels group includes ethanol, bio-oil (both before and after upgrading to refine to clean fuel for transportation sector). Bio-gas includes methane, hydrogen, and synthetic gases. Energy group includes heat (in the form of superheated steam) and electricity.

It was found that Thailand currently utilized the biomass for production of ethanol and methane (by microbial fermentation), heat and electricity (by biomass combustion and gasification) while production of bio-oil (by pyrolysis, direct liquefaction, and gasification), hydrogen, synthetic fuel gases, and specific chemicals had not been started yet. This results in a big room for Thailand to develop and manage on production of liquid bio-fuel, hydrogen, synthetic fuel gases, and specific chemicals to support national energy stability in the long run to withstand energy crisis, military conflict, and marine fuel transportation.

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ณ
คำศัพท์.....	ญ
บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร.....	3
เอทานอล.....	8
มีเทน.....	18
น้ำมันชีวภาพ.....	34
ไฮโดรเจน.....	44
พลังงานไฟฟ้า.....	52
ถ่านกัมมันต์.....	61
อนุพันธ์ของเซลลูโลส.....	66
เส้นใยไมโครไฟเบอร์และเส้นใยนาโนไฟเบอร์.....	72
ฟิลเลอร์สำหรับคอนกรีต.....	76
สารเพิ่มความแข็งแรงโพลีเมอร์.....	80
ไซลิทอล.....	86
น้ำตาล.....	91
ปุ๋ย.....	102
2,3-บิวเทนไดออล.....	114
บทสรุป.....	119
บรรณานุกรม.....	130

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ภาคผนวก ก มีเทนไฮเดรต .....	150
ภาคผนวก ข การผลิตน้ำมันชีวภาพที่ให้ผลผลิตสูงและให้ค่าความร้อนสูง.....	152
ภาคผนวก ค การผลิตไฮโดรเจนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร .....	156
ภาคผนวก ง การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์.....	159
ภาคผนวก จ ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตผสมวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรม การเกษตร.....	165
ประวัติคณะผู้วิจัย .....	167

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1.....	4
ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรปี 2553 และ 2554 ที่รวบรวมโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร	
ตารางที่ 2.....	6
ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรปี 2553 ที่รวบรวมโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	
ตารางที่ 3.....	9
กระบวนการผลิตเอทานอลเมื่อจำแนกตามประเภทวัตถุดิบ	
ตารางที่ 4.....	11
ปริมาณเอทานอลที่ผลิตจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ	
ตารางที่ 5.....	26
ปริมาณมีเทนที่ได้จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ	
ตารางที่ 6.....	34
ไพโรไลซิสแบบต่างๆ	
ตารางที่ 7.....	36
คุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพที่ผลิตจากไม้เทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิง	
ตารางที่ 8.....	37
องค์ประกอบของน้ำมันชีวภาพ	
ตารางที่ 9.....	42
ปริมาณผลผลิตและค่าการให้ความร้อนของน้ำมันชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ	
ตารางที่ 10.....	50
ปริมาณไฮโดรเจนที่ผลิตได้จากกระบวนการที่หมักด้วยถังปฏิกรณ์แบบไร้อากาศ	
ตารางที่ 11.....	53
ปริมาณผลผลิตและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของพืชในกลุ่มที่มีแนวโน้มที่สามารถนำวัสดุเหลือทิ้งไปแปรรูปเป็นพลังงานของประเทศไทย ประจำปีพ.ศ. 2540, 2548 และ 2553	
ตารางที่ 12.....	54
ปริมาณผลผลิตและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของพืชในกลุ่มที่มีแนวโน้มที่สามารถนำวัสดุเหลือทิ้งไปแปรรูปเป็นพลังงานของประเทศไทยมาเลเซีย ประจำปีพ.ศ. 2543, 2548 และ 2552	

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 13.....	56
วิธีการในการผลิตพลังงานจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและค่าพลังงานเฉลี่ยที่ได้	
ตารางที่ 14.....	58
ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เกิดขึ้นเมื่อเผาวัสดุที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศแตกต่างกัน	
ตารางที่ 15.....	59
ปริมาณไนโตรเจนมอนนอกไซด์ที่เกิดขึ้นเมื่อเผาวัสดุที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศแตกต่างกัน	
ตารางที่ 16.....	59
ประสิทธิภาพการเผาไหม้เมื่อเผาวัสดุที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศแตกต่างกัน	
ตารางที่ 17.....	60
ค่าพลังงานความร้อนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรที่ค่าความชื้นต่างๆ (น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหมาะกับการเผาโดยตรงเพื่อผลิตพลังงาน)	
ตารางที่ 18.....	63
คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการเกษตรประเภทต่างๆ	
ตารางที่ 19.....	67
ปริมาณการผลิตเซลล์โลสอะซิเตต เซลล์โลสไดอะซิเตต และเซลล์โลสไตรอะซิเตต จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ	
ตารางที่ 20.....	73
การสังเคราะห์เส้นใยไมโครไฟบิลจากวัสดุเหลือทิ้งประเภทต่างๆ	
ตารางที่ 21.....	78
ความแข็งแรงในการรับแรงกดของคอนกรีตที่ผสมและไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	
ตารางที่ 22.....	82
การเสริมความแข็งแรงโพลิเมอร์โดยเซลล์โลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ	
ตารางที่ 23.....	87
ปริมาณไซลิทอลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 24.....	94
ปริมาณน้ำตาลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรประเภท ต่างๆ	
ตารางที่ 25.....	104
มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548	
ตารางที่ 26.....	105
คุณสมบัติของปุ๋ยที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	
ตารางที่ 27.....	112
ตัวอย่างคุณลักษณะของปุ๋ยที่ผลิตได้เมื่อเทียบกับมาตรฐาน	
ตารางที่ 28.....	115
กระบวนการผลิตและปริมาณ 2,3-บิวเทนไดออล ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ประเภทต่างๆ	
ตารางที่ 29.....	121
ผลผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร (เมื่อผ่านกระบวนการ ต่างๆ) และการใช้ประโยชน์ของผลผลิตเหล่านี้	

## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
ภาพที่ 1.....	21
สัดส่วนปริมาณมีเทนจากกิจกรรมของมนุษย์	
ภาพที่ 2.....	35
กระบวนการฟอสที่ไฟโรไลซิส	
ภาพที่ 3.....	41
ปริมาณของออกซิเจน ไฮโดรเจน คาร์บอน และค่าความร้อนของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากลิควิด แพคชันทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดิบที่ได้จากทะเลเหนือ	
ภาพที่ 4.....	41
แนวโน้มของค่าอีลด์ของน้ำมันชีวภาพ (สีน้ำเงิน) และกากของแข็ง (สีแดง) เมื่อใช้อุณหภูมิ ในการทำลิควิดแพคชันสูงขึ้น	
ภาพที่ 5.....	57
องค์ประกอบของเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดรูปทรงโคน	
ภาพที่ 6.....	76
ขั้นตอนการผลิตคอนกรีต	

## สารบัญญภาคผนวก

ภาคผนวก	หน้า
ภาคผนวก ก.....	150
มีเทนไฮเดรต	
ภาคผนวก ข.....	152
การผลิตน้ำมันชีวภาพที่ให้ผลผลิตสูงและให้ค่าความร้อนสูง	
ภาคผนวก ค.....	156
การผลิตไฮโดรเจนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร	
ภาคผนวก ง.....	159
การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์	
ภาคผนวก จ.....	165
ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตผสมวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร	



## คำศัพท์

กังหันไอน้ำ	Steam turbine กังหันไอน้ำแบบ back pressure เป็นกังหันไอน้ำที่ควบคุมแรงดันไอน้ำขาออกได้
ก๊าซเรือนกระจก	Greenhouse gas (GHG)
ก๊าซซิฟิเคชัน	Gasification การแปรสภาพเป็นก๊าซ การเผาวัสดุภายใต้บรรยากาศที่ควบคุม เพื่อให้ได้ก๊าซเชื้อเพลิง หรือก๊าซสังเคราะห์เป็นผลผลิตหลัก
ก๊าซสังเคราะห์	synthetic gas/ synthesis gas/ syngas ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากการควบคุมการสันดาป โดยมีไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนนอกไซด์เป็นผลผลิตหลัก และมีก๊าซอื่นๆ ปนอยู่เล็กน้อย เริ่มมีการผลิตกว่าหนึ่งร้อยปีมาแล้วในประเทศอังกฤษ มีชื่อเรียกอื่นๆ เช่น producer gas/ coal gas/ town gas/ illumination gas
การเติมไฮโดรเจน	Hydrogenation กระบวนการเติมไฮโดรเจน (เพิ่มสัดส่วน H/C ของไฮโดรคาร์บอน
การเปลี่ยนรูป	Reforming การเปลี่ยนมีเทนให้เป็นก๊าซผสมของไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนนอกไซด์ โดยทำปฏิกิริยากับไอน้ำที่อุณหภูมิสูง
การเผาจนเหลือแต่เถ้า	Incineration การเผาเป็นเถ้า การเผาเชื้อเพลิง ขยะ หรือของเสียจากอุตสาหกรรม จนเหลือแต่เถ้า
การสันดาป	Combustion การเผาไหม้ ปฏิกิริยาคายความร้อนจากการที่เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยากับออกซิเจนหรืออากาศ
การสันดาปแบบสิ้น	Lean burn หรือ flameless oxidation การสันดาปที่สัดส่วนของเชื้อเพลิงต่ออากาศต่ำกว่าสัดส่วน stoichiometry ในที่นี้หมายถึงการสันดาปที่ความเข้มข้นของมีเทนในอากาศต่ำกว่า 5-15% โดยปริมาตร
การหมักร่วม	Co-digestion การหมักที่ใช้แหล่งจุลินทรีย์ตั้งแต่สองแหล่งขึ้นไปเพื่อให้ได้ผลผลิตจากการหมักมากขึ้น
ถ่าน (ชาร์)	กากของแข็งที่เหลือหรือเกิดจากไพโรไลซิส ลิกเนอแฟคชัน หรือก๊าซซิฟิเคชัน ถ้าวัตถุดิบเป็นถ่านหินจะเรียกถ่านจากถ่านหิน (charcoal) ถ้าวัตถุดิบเป็นชีวมวลจะเรียกถ่านชีวภาพ (bio-char)
ชีวมวล	Biomass สารอินทรีย์จากธรรมชาติที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ เช่นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ของเสีย และน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเกษตร

### คำศัพท์ (ต่อ)

ไดเรกต์ลิควิเดชัน	Direct liquefaction การเผาวัสดุที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆกันโดยมีการเติมตัวทำละลาย ภายใต้ความดันสูงในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน
ตัวเร่งปฏิกิริยา	Catalyst ธาตุหรือสารประกอบของธาตุนั้นๆ ซึ่งช่วยให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดได้ดีขึ้น แต่ตัวมันเองไม่ได้ถูกใช้ไปในปฏิกิริยานั้นๆ เช่น Ru/C หมายถึงตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีรูทีเนียม (Ru) เคลือบอยู่บนผิวของคาร์บอน (C)
น้ำมันชีวภาพ	Bio-oil ของเหลวที่ได้จากไพโรไลซิสหรือลิควิเดชันของชีวมวล
น้ำมันดิน	Tar ของเหลวผสมที่ได้จากไพโรไลซิสหรือลิควิเดชันของถ่านหิน
บอยเลอร์	Boiler หรือ Steam boiler เป็นบอยเลอร์หรือหม้อต้มที่ใช้ผลิตไอน้ำ
พีพีบี	Part per billion, ส่วนในพันล้านส่วน หรือ นาโนโมลต่อโมล
พื้นที่ถมขยะฝังกลบ	Landfills
เพตะ	peta (1 peta = $10^{15}$ ) ใช้สัญลักษณ์ P
เพอร์มาฟรอสต์	permafrost, บริเวณใกล้ขั้วโลกซึ่งดินมีอุณหภูมิเฉลี่ย $\leq 0$ องศาเซลเซียส นานกว่า 2 ปี
ไพโรไลซิส	Pyrolysis การแยกสลายด้วยความร้อน การเผาวัสดุที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆ กันภายใต้ความดันปกติในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน
ฟลูอิดไรซ์เบด	Fluidized bed
มีเทนไฮเดรต	Methane hydrate การที่มีเทนถูกกักเก็บด้วยโครงสร้างของน้ำแข็งภายใต้ความดันสูงและอุณหภูมิต่ำ ทำให้ปริมาตรของก๊าซมีเทนลดลง 160 เท่า
ลิควิเดชัน	การทำให้เป็นของเหลว การเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็งหรือก๊าซเป็นของเหลว
เส้นทางของปฏิกิริยา	Pathways วิธีของปฏิกิริยา การเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สภาวะเหมาะสมหนึ่งๆ
อัลเคน	Alkane, สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสูตรเคมี $C_nH_{2n+2}$

## บทนำ

ความเป็นอยู่ที่สะดวกสบายของมนุษย์ในปัจจุบันขึ้นกับพลังงานในรูปแบบต่างๆ เป็นสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับบ้านเรือนและอุตสาหกรรม ส่วนในอนาคตอันใกล้ จำเป็นต้องหาพลังงานไฟฟ้าไว้เพิ่มสำหรับยานยนต์อีกด้วย การที่จะคงความสบายเช่นนี้ให้ได้ อย่างยั่งยืนจำเป็นต้องมีพลังงานสำรองให้เพียงพอหรือสูงกว่าความต้องการในระดับหนึ่ง เป็นที่ทราบกันดีว่าแหล่งพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนับวันจะหมดไป การแสวงหาแหล่งพลังงานใหม่จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับมนุษย์ในยุคนี้และในอนาคต เนื่องจากประชากรส่วนใหญ่ของประเทศไทยประกอบอาชีพเกษตรกรรมทำการเพาะปลูกผลิตผลทางการเกษตร ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง ยางพารา ซึ่งผลผลิตจากการเพาะปลูกประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรงเช่น เมล็ดข้าว ลำต้นอ้อย หัวมันสำปะหลัง น้ำยางพารา และส่วนที่เหลือซึ่งมีการนำไปใช้ประโยชน์น้อยมาก (ประมาณ 2 ส่วน ใน 10 ส่วน) ส่วนนี้เรียกว่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ทลายปาล์ม ต้นมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง เป็นต้น

งานวิจัยนี้จะศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยตรง หรือผ่านกระบวนการเพื่อให้อยู่ในรูปของพลังงานที่เหมาะสม หรือใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตอาหาร เคมีภัณฑ์ วัสดุก่อสร้าง เป็นต้น โดยจะศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ทั้งจากบทความและงานวิจัย ทั้งภายในและภายนอกประเทศที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ เพื่อวิเคราะห์และนำเสนอแนวทางที่เหมาะสมสำหรับเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ซึ่งมีปริมาณมหาศาลให้กลายเป็นแหล่งพลังงาน เช่น เอทานอล มีเทน ไฮโดรเจน น้ำมันชีวภาพ หรือทำเป็นวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น อันจะนำมาซึ่งการสร้างอาชีพ และเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรที่เป็นคนส่วนใหญ่ของประเทศให้มีชีวิตความเป็นอยู่และฐานะที่ดีขึ้นจากการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรให้อยู่ในรูปที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้นเพื่อทำให้สามารถใช้ทรัพยากรที่ผลิตขึ้นเองได้อย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด

### วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาค้นคว้าข้อมูลการศึกษาวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร เพื่อวิเคราะห์ สรุป และนำเสนอความเป็นไปได้ ของแนวทางและวิธีในการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ในอนาคต

## ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษา รวบรวมข้อมูล แนวทาง และวิธีการในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด จากบทความวิชาการและการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องเนื่องจากแหล่งข้อมูลต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน
2. วิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้สูงสุด และนำเสนอการเพิ่มมูลค่าเพิ่มของวัสดุเหล่านี้ เพื่อประยุกต์ใช้ในประเทศเป็นหลัก

## วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

ชนิดและปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรของประเทศไทย ซึ่งสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรได้รวบรวมข้อมูลปี 2553 และปี 2554 เป็นบางส่วนแสดงอยู่ในตารางที่ 1 เนื่องจากปี 2554 เกิดอุทกภัยในหลายๆ จังหวัดของประเทศทำให้ไม่สามารถรวบรวมข้อมูลได้ทั้งหมดจึงมีข้อมูลเพียงบางส่วน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลผลผลิตทางการเกษตรของปี 2553 เป็นหลัก และใช้แฟคเตอร์คูณเพื่อประเมินปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของผลผลิตแต่ละชนิด

จากตารางที่ 1 พบว่าลำดับของปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร (จากมากไปน้อย)ของผลผลิต 8 ชนิดของไทยได้แก่ปาล์มน้ำมัน ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย ถั่วเหลือง ถั่วลิสง มะพร้าว ข้าวโพด ตามลำดับ ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นประมาณ 112 ล้านตันนี้แม้จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ แล้ว แต่ยังมีวัสดุเหลือใช้ที่ยังไม่ถูกใช้ประโยชน์อีกประมาณ 82 ล้านตัน การรวบรวมข้อมูลวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทั้ง 8 ชนิดจากทุกจังหวัดของประเทศไทยในปี 2553 ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานพบว่าปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรรวมถึง 99 ล้านตัน ดังตารางที่ 2

สำหรับงานวิจัยนี้ จะอ้างอิงข้อมูลในปี 2553 ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรเป็นหลัก

ตารางที่ 1 ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรปี 2553 และ 2554 ที่รวบรวมโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

ชนิด	ผลผลิตต่อปี (10 <sup>6</sup> กก.) <sup>(1)</sup>		วัสดุเหลือทิ้ง	อัตราส่วน วัสดุเหลือทิ้ง ต่อผลผลิต <sup>(2)</sup> [3], [4], [5], [6], [7]	วัสดุเหลือทิ้ง ที่เกิดขึ้น (10 <sup>6</sup> กก.)		แฟคเตอร์ ของการใช้ เป็นพลังงาน [3], [4], [5], [6], [7]	ปริมาณวัสดุเหลือ ทิ้งที่ใช้เป็น พลังงาน (10 <sup>6</sup> กก.)		แฟคเตอร์วัสดุ เหลือทิ้งที่ยัง ไม่มีการใช้ <sup>(3)</sup> [4], [5], [6], [7]	ปริมาณวัสดุ เหลือทิ้งที่ยังไม่มี การใช้ (10 <sup>6</sup> กก.)	
	2553	2554			2553	2554		2553	2554		2553	2554
ข้าว	34485	-	แกลบ	0.23	7931.6	-	0.507	4021.3	-	0.493	3910.3	-
			ฟาง (ส่วนบน)	0.447	15415	-	0	0	-	0.684	10544	-
มันสำปะหลัง	22006	21912	ลำต้น	0.088	1936.5	1928.3	0	0	0	0.407	788.17	784.8
อ้อย	68808	95950	ชานอ้อย	0.291	20023	27921	0.793	15878	22142	0.207	4144.8	5779.7
			ส่วนยอดและใบ	0.302	20780	28977	0	0	0	0.986	20489	28571
ถั่วเหลือง	152	-	ลำต้น ใบ เปลือก	2.663	404.78	-	0.007	2.8334	-	0.76	307.63	-
ถั่วลิสง	45509	-	เปลือก	0.323	14699	-	0	0	-	1	14699	-
มะพร้าว	1298	-	เปลือก	0.362	469.88	-	0.289	135.79	-	0.595	279.58	-
			กะลามะพร้าว	0.16	207.68	-	0.413	85.772	-	0.378	78.503	-
			ทะลายมะพร้าว	0.049	63.602	-	0.144	9.1587	-	0.843	53.616	-
			ทางมะพร้าว	0.225	292.05	-	0.159	46.436	-	0.809	236.27	-
ข้าวโพด	4683	-	ซังข้าวโพด	0.273	1278.5	-	0.193	246.74	-	0.67	856.57	-

ตารางที่ 1 ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรปี 2553 และ 2554 ที่รวบรวมโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (ต่อ)

ชนิด	ผลผลิตต่อปี (10 <sup>6</sup> กก.)		วัสดุเหลือทิ้ง	อัตราส่วน วัสดุเหลือทิ้ง ต่อผลผลิต	วัสดุเหลือทิ้ง ที่เกิดขึ้น (10 <sup>6</sup> กก.)		แฟคเตอร์ ของการใช้ เป็นพลังงาน	ปริมาณวัสดุเหลือ ทิ้งที่ใช้เป็น พลังงาน (10 <sup>6</sup> กก.)		แฟคเตอร์วัสดุ เหลือทิ้งที่ยัง ไม่มีการใช้	ปริมาณวัสดุ เหลือทิ้งที่ยังไม่มี การใช้ (10 <sup>6</sup> กก.)	
	2553	2554			2553	2554		2553	2554		2553	2554
ปาล์มน้ำมัน	8223	-	ทะลายปาล์มเปล่า	0.428	3519.4	-	0.03	105.58	-	0.584	2055.4	-
			เส้นใยปาล์ม	0.147	1208.8	-	0.858	1037.1	-	0.134	161.98	-
			กะลาปาล์ม	0.049	402.93	-	0.588	236.92	-	0.037	14.908	-
			ก้าน	2.604	21413	-	0	0	-	1	21413	-
รวม	185164				111962			21806			81948	

ตารางที่ 2 ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรปี 2553 ที่รวบรวมโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน<sup>[8]</sup>

ชนิด	วัสดุเหลือทิ้ง	ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (10 <sup>6</sup> กก./ปี)
ข้าว	แกลบ	7258.230
	ฟางข้าว	38218.115
มันสำปะหลัง	ลำต้น	2662.695
	เหง้า	2002.522
อ้อย	ยอดและใบ	14036.791
	กากอ้อย	20848.763
ถั่วเหลือง	ลำต้น ยอด ใบ เปลือก	208.590
ถั่วลิสง	เปลือก	15.759
มะพร้าว	กะลา	320.642
	เปลือก	733.453
	ก้าน ใบ จั่น ทะลาย	730.857
ปาล์มน้ำมัน	ทางใบ	2456.651
	ใยปาล์ม	1345.739
	กะลา	1165.103
	ทะลาย	1941.838
ข้าวโพด	ลำต้น ยอด ใบ	3973.365
	ซังข้าวโพด	841.890
รวม		98761.003



งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรม  
การเกษตรจัดเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1. เอทานอล
2. มีเทน
3. น้ำมันชีวภาพ
4. ไฮโดรเจน
5. พลังงานไฟฟ้า
6. ถ่านกัมมันต์
7. อนุพันธ์ของเซลลูโลส
8. เส้นใยไมโครไฟเบอร์และเส้นใยนาโนไฟเบอร์
9. ฟิลเลอร์สำหรับคอนกรีต
10. สารเพิ่มความแข็งแรงโพลิเมอร์
11. ไชลิทอล
12. น้ำตาล
13. ปู่ย
14. 2,3-บิวเทนไดออล

# เอทานอล



## เอทานอล

จากความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของโลกอุตสาหกรรมในขณะที่ฟอสซิลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ยังมีปริมาณจำกัด รวมถึงปัญหาการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ทำให้โลกเผชิญกับปัญหาสภาวะโลกร้อนและการขาดแคลนพลังงานรถยนต์ที่ใช้ก๊าซโซลีนเป็นเชื้อเพลิงจะปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่อยทั่วโลก และปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ 19 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยทั่วโลก ทำให้มีการแสวงหาแหล่งพลังงานใหม่ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดมาใช้ทดแทน

เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีศักยภาพสูงที่จะนำมาใช้ทดแทนก๊าซโซลีนบางส่วนสำหรับเครื่องยนต์ในยานยนต์ ประเทศไทยเริ่มจำหน่ายก๊าซโซฮอลล์ E10 สองชนิดเพื่อตอบสนองนโยบายของรัฐบาล (ตั้งแต่ปี 2544) ซึ่งเป็นการผสมระหว่างเอทานอลกับก๊าซโซลีนในอัตราส่วนหนึ่งต่อสิบ (สิบเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) เรียกว่าก๊าซโซฮอลล์ 91 (แทนก๊าซโซลีนออกเทน 91) และก๊าซโซฮอลล์ 95 (แทนก๊าซโซลีนออกเทน 95) ในปัจจุบันมีการใช้ E20 (ตั้งแต่ต้นปี 2551) และ E85 (ตั้งแต่ปี 2552) เพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงหมุนเวียนที่ผลิตได้เองในประเทศและเป็นการลดปริมาณก๊าซโซลีนที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศโดยตรง กระทรวงพลังงานประเมินว่าในปี 2556 นี้ความต้องการเอทานอลสำหรับผสมเป็นก๊าซโซฮอลล์จะอยู่ที่ 2.6 ล้านลิตรต่อวัน เนื่องจากเอทานอลมีค่าออกเทนสูง 108.6 (RON, Research Octane Number) ก๊าซโซฮอลล์จะมีค่าออกเทนสูงกว่าก๊าซโซลีนและยังช่วยลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกให้ลดลงอีกด้วย หลายประเทศในโลกได้ส่งเสริมให้มีการผลิตเอทานอลเพื่อนำมาใช้ในภาคการขนส่งเพื่อทดแทนก๊าซโซลีนซึ่งมีปริมาณมากถึง 60 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำมันที่ใช้กันทั่วโลก (ก๊าซโซลีน + ดีเซล + น้ำมันอากาศยาน + น้ำมันเตา) และมีการศึกษาวิจัยมากมายเพื่อหาวิธีผลิตเอทานอลให้เพียงพอต่อความต้องการ รวมถึงการหาแหล่งวัตถุดิบเพื่อนำมาใช้ผลิตเอทานอลด้วยแหล่งวัตถุดิบสำหรับนำมาผลิตเอทานอลมี 3 กลุ่มได้แก่

1. วัตถุดิบจำพวกแป้ง เช่น ข้าว มันสำปะหลัง
2. วัตถุดิบจำพวกน้ำตาล เช่น อ้อย น้ำตาลจากบีทรูท
3. วัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย เศษไม้

ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบสองกลุ่มแรกเป็นหลัก (แป้งและน้ำตาล) ในอนาคตวัตถุดิบทั้ง 2 ประเภทนี้จะไม่เพียงพอต่อความต้องการเนื่องจากทั้งประชากรและยานยนต์ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง วัตถุดิบกลุ่มที่สาม (ลิกโนเซลลูโลส) จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร (ประมาณ 82 ล้านตันต่อปี) ซึ่งยังไม่ได้ถูกใช้ประโยชน์ จะเป็นวัตถุดิบหลักที่มีต้นทุนต่ำสุดในการนำมาใช้ผลิตเอทานอลอย่างยั่งยืนในอนาคต

กระบวนการผลิตเอทานอลเมื่อจำแนกตามชนิดของวัตถุดิบแสดงในตารางที่ 3 การผลิตเอทานอลจากน้ำตาลหรือแป้งจะใช้วิธีการหมักด้วยยีสต์หรือเอนไซม์ ในขณะที่การผลิตเอทานอลจากวัสดุจำพวกลิกโนเซลลูโลส จะใช้วิธีไฮโดรไลซิสด้วยกรดหรือเอนไซม์เพื่อให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์ จากนั้นจึงนำน้ำตาลที่ได้มาทำการหมักด้วยยีสต์หรือเอนไซม์ให้กลายเป็นเอทานอล

งานวิจัยทางด้านการผลิตเอทานอลจากวัสดุ เหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร แยกตามประเภทวัสดุได้ดังนี้

1. วัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส ได้แก่ ฟางข้าว ฟางข้าวสาลี ชังข้าวโพด ผักตบชวา กากของแข็งเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง
2. วัสดุประเภทน้ำตาล ได้แก่ กากน้ำตาลจากอ้อย
3. วัสดุประเภทแป้ง ได้แก่ น้ำข้าวฟ่างหวาน

ตารางที่ 3 กระบวนการผลิตเอทานอลเมื่อจำแนกตามประเภทวัตถุดิบ<sup>[9]</sup>

วัตถุดิบ	กระบวนการ
ไม้	Acid hydrolysis+Fermentation
ไม้	Enzymatic hydrolysis+Fermentation
ฟาง	Acid hydrolysis+Fermentation
ฟาง	Enzymatic hydrolysis+Fermentation
ข้าวสาลี	Malting+Fermentation
อ้อย	Fermentation
บีทรูท	Fermentation
เมล็ดข้าวโพด	Fermentation
เปลือกข้าวโพด	Acid hydrolysis+Fermentation
ข้าวฟ่างหวาน	Fermentation

ผลการวิจัยการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้จะแปรตามตามวิธีการผลิตและชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ เอทานอลที่ผลิตจากชังข้าวโพดมีอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของเอทานอล (g/l) ต่อความเข้มข้นของน้ำตาลที่ถูกใช้ไป (g/l) สูงสุด คือ 0.796 (ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอล 79.6 เปอร์เซ็นต์) ในทางกลับกันเอทานอลจากชังข้าวโพดซึ่งผลิตด้วยวิธีการที่

ต่างกันจะให้ผลที่แตกต่างกันโดยมีอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของเอทานอลต่อความเข้มข้นของน้ำตาลที่ถูกใช้ไปเท่ากับ 0.48 (ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นเอทานอลเพียง 48 เปอร์เซ็นต์) เท่านั้น รองลงมาได้แก่เอทานอลที่ผลิตจากน้ำข้าวฟ่างหวาน กากน้ำตาลจากอ้อย ผักตบชวา และฟางข้าวสาลี โดยมีอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของเอทานอลต่อความเข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้ไปเท่ากับ 0.51, 0.44, 0.425 และ 0.41 ตามลำดับ (ประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลรีดิวซ์มีค่า 51, 44, 42.5 และ 41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

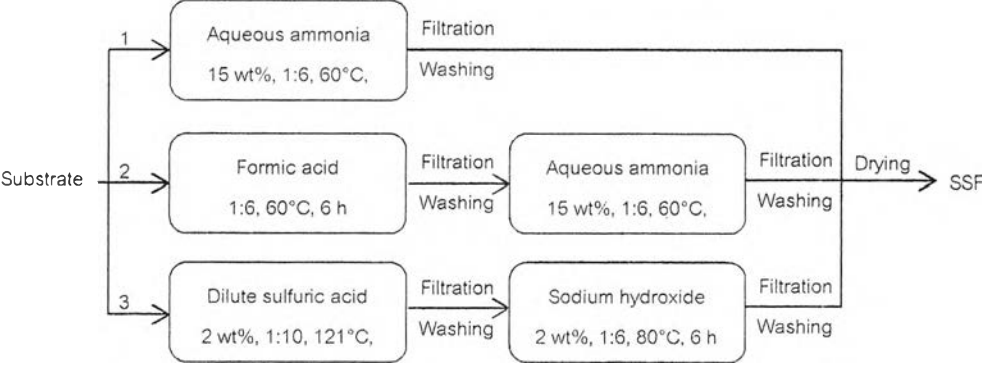
ตารางที่ 4 ปริมาณเอทานอลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งประเภทต่างๆ

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณเอทานอล
ผักตบชวา <sup>(10)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ผสม D-xylose กลูโคส ยีสต์สกัด มอลต์สกัด และเปปไทน์ ปริมาณ 50, 5, 3, 3 และ 5 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 5.0 จากนั้นนำ ส่วนผสมเข้า autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จะได้หัวเชื้อ</li> <li>- ล้างผักตบชวา ทำให้แห้งและบด จากนั้นผสมผักตบชวาที่บดแห้งกับกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ปริมาณ 10 มิลลิลิตร คนด้วยความเร็ว 250 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง นาน 7 ชั่วโมง ทำการกรองและล้างตะกอนที่ได้ด้วยน้ำอุ่น (60 องศาเซลเซียส) แล้วทำการผสมของเหลวที่ผ่านการกรองและน้ำอุ่นที่ใช้ล้างตะกอนเข้าด้วยกัน จะได้ Hydrolysate</li> <li>- ให้ความร้อน Hydrolysate ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่นร้อนเพื่อทดแทนของเหลวที่ระเหย แล้วเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมซัลไฟด์ 0.1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อปรับพีเอชเป็น 10.0 ทำการกรอง จากนั้นเติมกรดซัลฟูริก 1 นอร์มัลลงในของเหลวที่กรองได้เพื่อปรับพีเอชให้เป็น 6.0 นำของเหลวที่ได้ไประเหยภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น ซึ่งจะความเข้มข้นของไซโลส 5-6 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แล้วนำไปเก็บที่ -10 องศาเซลเซียส</li> <li>- ผสมยีสต์สกัด, แอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ((NH<sub>4</sub>)HPO<sub>4</sub>), แอมโมเนียมซัลเฟต ((NH<sub>4</sub>)SO<sub>4</sub>) และแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) ปริมาณ 1, 2, 1 และ 0.25 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ เข้ากับ Hydrolysate เข้มข้น 1 มิลลิลิตรต่อลิตร จะได้เชื้อหมัก</li> <li>- ผสมเชื้อหมักกับหัวเชื้อเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร และเก็บที่ 30 องศาเซลเซียส ในเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที จากนั้นเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 79 องศาเซลเซียส คำนวณปริมาณ เอทานอลด้วยเครื่องแคลอริมิเตอร์ โดยใช้ โฟแทสเทียมไดโครเมต (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)</li> </ul>	0.425 (g <sub>p</sub> /g <sub>s</sub> )
ฟางข้าวสาลี <sup>(11)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ตัดฟางข้าวสาลียาว 1-5 เซนติเมตร แล้วบดให้มีขนาด 1 มิลลิเมตร จากนั้นทำให้แห้งจนกระทั่ง DM content เท่ากับ 90-91% (WW)</li> <li>- ป้อนฟางข้าวสาลีบดด้วยอัตรา 120-150 kg-DM/h ผสมกับน้ำที่อัตราการไหล 400-600 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 6 นาที ให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จากนั้นให้ความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 190 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที ทำให้เย็นลงแล้วเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส</li> <li>- ผสมฟางข้าวสาลีแห้ง 8 กรัม กับบัฟเฟอร์ของอะซิเตต เข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาณ 60 มิลลิลิตร ที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมยีสต์สกัด 0.2 กรัม แล้วปิดฝา ปล่อยให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าในตู้อบที่ 32 องศาเซลเซียส นาน 6-8 ชั่วโมง ได้ไบโอเอทานอล</li> </ul>	0.41 (g <sub>p</sub> /g <sub>s</sub> )

ตารางที่ 4 ปริมาณเอทานอลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณเอทานอล
<p>น้ำข้าวฟ่างหวาน<sup>(12)</sup> กากน้ำตาลจากอ้อย</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ผสมยีสต์สกัด เปปไทน์ มอลต์สกัด และกลูโคส ปริมาณ 3, 5, 3 และ 10 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ เขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 15 ชั่วโมง แล้วทำให้ยีสต์เข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นผสมยีสต์ที่ได้ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร กับมอลต์สกัด 360 มิลลิลิตร ได้หัวเชื้อ</li> <li>- สกัดน้ำข้าวฟ่างหวานแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ปรับ Total soluble solids ให้ได้ 18<sup>0</sup>Bx ด้วยซูโครสหรือกากน้ำตาล จากนั้นเติม YEP (ยีสต์สกัด 3 กรัม และเปปไทน์ 5 กรัม) จำนวน 8 กรัมต่อลิตร หรือแอมโมเนียมซัลเฟต ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 1.3 g/L แล้วนำเข้าหม้อนิ่งไอน้ำที่ 110 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จะได้สารละลายที่ใช้ผลิตเอทานอล</li> <li>- เก็บกากน้ำตาลจากอ้อยที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส</li> <li>- ทำการบั่นเหวี่ยงของเหลวที่ได้จากการหมักด้วยความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที คำนวณความเข้มข้นของเอทานอลด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography)</li> </ul>	<p>0.51 (g<sub>p</sub>/g<sub>s</sub>) 0.45 (g<sub>p</sub>/g<sub>s</sub>)</p>
<p>ฟางข้าว<sup>(13)</sup></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ตัดฟางข้าวยาว 1.5 นิ้ว แล้วทำให้แห้ง จากนั้นบดจนมีขนาด 600 ไมโครเมตร</li> <li>- ละลายผงฟางข้าว 54 กรัม กับน้ำกลั่น 446 กรัม ได้ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร</li> <li>- เติมกรดซัลฟูริกเจือจาง 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ให้อุณหภูมิ 132 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นปรับพีเอชของ Hydrolysate เท่ากับ 5.2 ด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO<sub>3</sub>) ทำการบั่นเหวี่ยงที่ 2000×g นาน 10 นาที แล้วกรอง</li> <li>- ผสมสารละลายที่ได้ด้วยฟางข้าวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว (pre-treatment) 50 กรัม จนได้ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นเติมยีสต์สกัด 3 กรัมต่อลิตร เปปไทน์ 3 กรัมต่อลิตร และแอมโมเนียมซัลเฟต 3 กรัมต่อลิตร ให้ความร้อนจนถึง 80 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นใน P-II Biosafety cabinet ภายใต้แสงยูวี นาน 30 นาที</li> <li>- บ่ม C. Tropicalis ที่ 38 องศาเซลเซียส และเขย่าด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที คำนวณความเข้มข้นของเอทานอลด้วย Quaternary gradient HP-1100 HPLC system</li> </ul>	<p>0.36 (g<sub>p</sub>/g<sub>s</sub>)</p>

ตารางที่ 4 ปริมาณเอทานอลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณเอทานอล
<p>ชังข้าวโพด<sup>[14]</sup></p>	<p>- โมชังข้าวโพดและร่อนขนาด 80 เมช จากนั้นปรับปรุงคุณภาพ (pre-treatment) โดยผสมผงชังข้าวโพดกับกรดฟอร์มิก ในอัตราส่วน 1: 6 ให้ความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง กรองและล้างตะกอนด้วยน้ำจนมีพีเอชเป็นกลาง</p> <p>- เจือจางผงชังข้าวโพดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำ จากนั้นปรับพีเอชเท่ากับ 4.8 ด้วยโซเดียม ไฮดรอกไซด์ 3 โมลาร์ แล้วนำเข้า autoclave ที่ 121 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ได้ Fermentation medium</p> <p>- เติมสารละลายผสมของแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ((NH<sub>4</sub>)HPO<sub>4</sub>) แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (MgSO<sub>4</sub>•7H<sub>2</sub>O) และยีสต์สกัด ปริมาณ 0.5, 0.025 และ 1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ใน Fermentation medium และเติมเอนไซม์ GC220 30 FPU/g cellulose ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ต่อจากนั้นทำการลดอุณหภูมิเป็น 37 องศาเซลเซียส แล้วเติมยีสต์แห้ง 5 กรัมต่อลิตร ทำการเก็บตัวอย่าง ที่เวลา 0, 1, 2, 4, 8, 16, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณเอทานอล</p> 	<p>0.796 (g<sub>p</sub>/g<sub>s</sub>)</p>
<p>กากน้ำตาลจากอ้อย<sup>[15]</sup></p>	<p>- ผสมกลูโคส ยีสต์สกัด เปปไทน์ แอมโมเนียมซัลเฟต ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (MgSO<sub>4</sub>•7H<sub>2</sub>O) และเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO<sub>4</sub>) ปริมาณ 200, 10, 5, 1, 2, 0.5 และ 0.5 กรัม ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้ Culture medium</p> <p>- ผสมซูโครส 200 กรัมต่อลิตรกับ Culture medium ได้ Inoculum culture</p> <p>- ผลิตเอทานอลที่สภาวะ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 48 ชั่วโมง และน้ำตาลเข้มข้น 200 กรัมต่อลิตร</p>	<p>0.279 (g<sub>p</sub>/g<sub>s</sub>)</p>



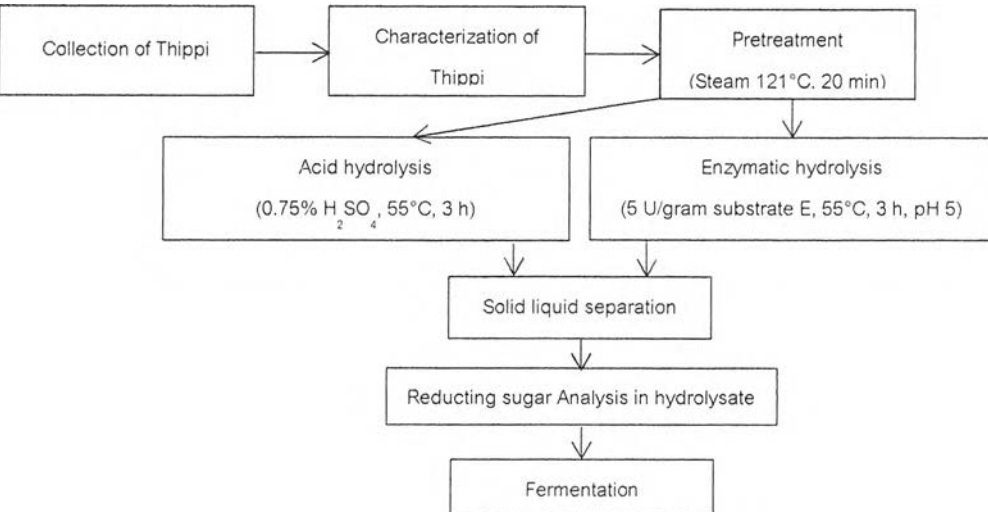
ตารางที่ 4 ปริมาณเอทานอลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณเอทานอล
ซังข้าวโพด <sup>[16]</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ตากซังข้าวโพดและโมให้ได้ขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นผสมผงซังข้าวโพดกับกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ด้วยอัตราส่วน 1:6 แล้วให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง กรองและล้างตะกอนด้วยน้ำจนมีพีเอช 4.8 แล้วทำให้แห้ง</li> <li>- เพาะสปอร์ของ <i>T. reesei</i> ZU-02 ใน Seed medium ที่หนา 5 เซนติเมตร บ่มที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะมีออกซิเจน จะได้เชลลูเลส</li> <li>- เพาะ Solid medium และสปอร์ของ <i>A. niger</i> ZU-07 ที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน จะได้ Cellobiase</li> <li>- ผสมเชลลูโลส 100 กรัมต่อลิตร เอนไซม์ 20 FPU/g และสารตั้งต้น 6.5 CBU/g แล้วเติมเชลลูโลสอีก 2 ครั้งทีละเวลา 6 และ 12 ชั่วโมง ซึ่งในขั้นตอนสุดท้ายจะได้ความเข้มข้น 200 กรัมต่อลิตร จากนั้นเติมเชลลูเลสและ Cellobiase (enzyme loadings of 10 FPU/g fed substrate และ 6.5 CBU/g fed substrate) เวลา Hydrolysis 60 ชั่วโมง เรียกว่า Fed-batch enzymatic hydrolysis</li> <li>- ผสม <i>S. cerevisiae</i> 316 และ Culture medium 50 มิลลิลิตร (สารละลายผสมของกลูโคส เปปโตน และยีสต์สกัด จำนวน 30, 5 และ 3 กรัมต่อลิตร) เก็บในตู้บ่มที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4800 รอบต่อนาที นาน 5 นาที</li> <li>- ใช้สารผสมจากขั้นตอน Fed-batch enzymatic hydrolysis ผสมกับยีสต์สกัด 3 กรัมต่อลิตร และแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) 0.25 กรัมต่อลิตร ได้ Fermentation medium</li> <li>- เพาะ Cells suspension 0.5 มิลลิลิตร ใน Fermentation medium 50 มิลลิลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะปราศจากออกซิเจน ได้เอทานอล</li> </ul>	0.48 (g <sub>p</sub> /g <sub>s</sub> )
ฟางข้าว <sup>[17]</sup> ซังข้าวโพด ชานอ้อย	<ul style="list-style-type: none"> <li>- หมักเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยใช้เอนไซม์จากเชื้อราย่อยสลายเชลลูโลสเป็นน้ำตาลกลูโคส และ หมักน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอล</li> </ul>	<p>0.145 (g<sub>p</sub>/g<sub>s</sub>)</p> <p>0.251 (g<sub>p</sub>/g<sub>s</sub>)</p> <p>0.172 (g<sub>p</sub>/g<sub>s</sub>)</p>

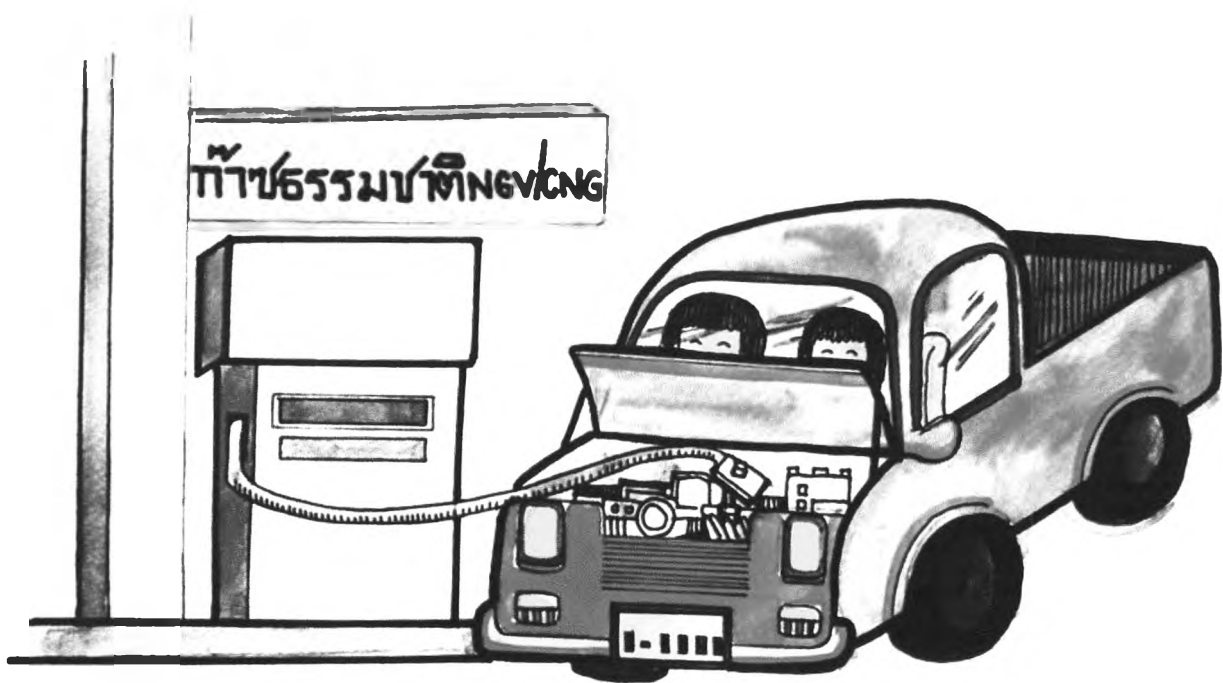
ตารางที่ 4 ปริมาณเอทานอลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณเอทานอล
กากน้ำตาลจากอ้อย <sup>(18)</sup>	<p>- ใช้ยีสต์ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> KF-7</p> <p>- ผสมกลูโคส ยีสต์สกัด และเปปไทน์ ปริมาณ 5, 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากนั้นเจือจางด้วยน้ำ ได้ Medium</p> <p>- เติมแอมโมเนียมซัลเฟต (<math>(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4</math>) ลงในกากน้ำตาลจากอ้อย ด้วยอัตราส่วนอะลูมิเนียมซัลเฟต : กากน้ำตาล คือ 0.01 : 1 กรัม</p> <p>- ทำ Pre-cultivation โดยนำ Medium เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 100 มิลลิลิตร มาเขย่าด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง จะได้หัวเชื้อ</p> <p>- เจือจางกากน้ำตาล 1.2, 1.5, 2 หรือ 3 เท่า ด้วยน้ำ จากนั้นหมักกากน้ำตาลเจือจางที่อุณหภูมิห้อง และคำนวณความเข้มข้นของเอทานอล ทุก 12 ชั่วโมง</p> <p>- ทำการผลิตเอทานอลโดยใช้ magnetic stirred tank reactor ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส คนด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.15 vvm และคำนวณความเข้มข้นเอทานอลทุกวัน</p>	0.44 (g <sub>p</sub> /g <sub>c</sub> )

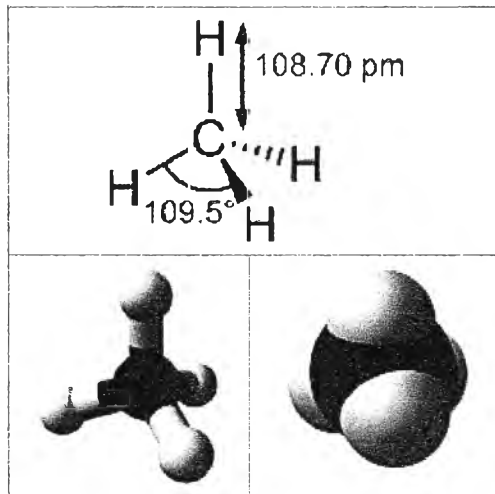
ตารางที่ 4 ปริมาณเอทานอลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณเอทานอล
<p>กากของแข็งจากอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง<sup>[19]</sup> (Thippi)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ผสมยีสต์สกัด กลูโคส โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (<math>KH_2PO_4</math>) แมกนีเซียมคลอไรด์ (<math>MgCl_2</math>) และแอมโมเนียมซัลเฟต (<math>(NH_4)_2SO_4</math>) ปริมาณ 1, 10, 0.1, 0.1 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส บันเหียงที่ความเร็ว 180 รอบต่อนาที และพีเอช 6.0 ได้ Culture medium</li> <li>- ใช้ <i>Z. mobilis</i> MTCC 92 เป็น Inoculum</li> <li>- ทำการบดเมล็ด Thippi แห้ง แล้วนึ่งด้วยไอน้ำ ต่อจากนั้นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.75 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร แล้วนำใส่ในตู้อบที่ 55 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง เพิ่มอุณหภูมิเป็น 150 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากนั้นทำการกรอง จะได้ตะกอน แล้วทำการเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.75 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ลงไปในตะกอนที่กรองได้ แล้วเก็บในตู้อบที่ 55 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ต่อจากนั้นให้ความร้อนที่ 150 องศาเซลเซียส นาน 5-7 นาที จากนั้นเติมปูนขาวเพื่อปรับพีเอชเป็น 6.0 แล้วกรอง จะได้ของเหลว แล้วนำของเหลวที่ได้เข้าสู่กระบวนการหมัก</li> <li>- ผลม Thippi กับเอนไซม์ในตู้อบที่ 55 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นทำ High-performance liquid chromatograph technique เพื่อวิเคราะห์ Hydrolysate และคำนวณปริมาณน้ำตาลทั้งหมด</li> <li>- ผลม Medium และ Inoculums ที่ 30 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างทุก 12 ชั่วโมง จนครบ 48 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณการผลิตเอทานอล</li> </ul>  <pre> graph TD     A[Collection of Thippi] --&gt; B[Characterization of Thippi]     B --&gt; C[Pretreatment (Steam 121°C, 20 min)]     C --&gt; D[Acid hydrolysis (0.75% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 55°C, 3 h)]     C --&gt; E[Enzymatic hydrolysis (5 U/gram substrate E, 55°C, 3 h, pH 5)]     D --&gt; F[Solid liquid separation]     E --&gt; F     F --&gt; G[Reducing sugar Analysis in hydrolysate]     G --&gt; H[Fermentation]     </pre>	<p>0.42 (g<sub>p</sub>/g<sub>s</sub>)</p>

# มีเทน



## มีเทน



มีเทนเป็นสารอินทรีย์แบบอัลเคน (Alkane,  $C_nH_{2n+2}$ ) ที่เล็กที่สุด มีสูตรเคมี  $CH_4$  มีเทนถูกค้นพบและแยกโดย Alessandro Volta ในขณะที่ศึกษาก๊าซจากหนองน้ำของทะเลสาบ Maggiore (ในช่วงปี 2319-2321) มีเทนมีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้องและความดันหนึ่งบรรยากาศ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีมวล 16.04 กรัมต่อโมล มีความหนาแน่น 655.6 ไมโครกรัมต่อโมล (เบากว่าอากาศ) มีจุดหลอมตัว  $-182$  องศาเซลเซียส มีจุดเดือด  $-161$  องศาเซลเซียส (ที่ความดันหนึ่งบรรยากาศ) มีจุดวาบไฟ  $-188$  องศาเซลเซียส ติดไฟได้เองที่อุณหภูมิ 537 องศาเซลเซียส ก๊าซมีเทนติดไฟในอากาศได้ดีในช่วงความเข้มข้น 5–15 เปอร์เซ็นต์ (ที่ความเข้มข้นต่ำกว่าหรือสูงกว่านี้จะไม่ติดไฟหรือจุดระเบิดไม่ได้) ให้ค่าความร้อนจากการสันดาป 891.1 กิโลจูลต่อโมล มีเทนเหลวไม่ติดไฟที่สภาวะปกติแต่จะติดไฟได้ที่ความดันสูง (4-5 เท่าของบรรยากาศ) มีเทนที่ปล่อยสู่บรรยากาศของโลกแม้จะมีปริมาณน้อยกว่าและมีช่วงอายุในอากาศสั้นกว่าคาร์บอนไดออกไซด์แต่เนื่องจากมีเทนดูดกลืนความร้อน/รังสีอินฟราเรดได้ดีจึงส่งผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนรุนแรงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทนจึงถูกพิจารณาเป็นอันดับต้นๆ ที่ทั่วโลกพยายามลดการปล่อยก๊าซนี้ ประมาณปี 2543 มีการค้นพบมีเทนในอีกรูปแบบหนึ่งมีลักษณะคล้ายน้ำแข็งสีขาว (สามารถจุดติดไฟและให้หยดน้ำ) ติดมากับปลาทูที่จับโดยใช้วนลากจากฉิวทะเลลึกประมาณ 800 เมตรของชายฝั่งตะวันตกของเมืองแวนคูเวอร์ประเทศแคนาดา จากการศึกษาพบว่าเกิดจากน้ำจับตัวกันเป็นโครงสร้างของน้ำแข็งหุ้มล้อมรอบโมเลกุลของมีเทนคล้ายกรงที่เก็บกักมีเทนไว้เรียกว่า "มีเทนไฮเดรต" ภายใต้ความดันสูงของทะเลลึกที่อุณหภูมิต่ำ มีเทนไฮเดรตเมื่อเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้องความดันหนึ่งบรรยากาศจะขยายตัวประมาณ 160 เท่าเปรียบเทียบกับมีเทนเหลวเมื่อเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้องความดันหนึ่งบรรยากาศจะขยายตัวประมาณ 600 เท่า ซึ่งมีเทนไฮเดรตนี้จะเป็นแหล่ง

ของมีเทนธรรมชาติที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศของโลกอย่างต่อเนื่องอีกแหล่งหนึ่ง (รายละเอียดของมีเทนไฮเดรตเพิ่มเติมอยู่ในภาคผนวก ก)

มีเทนติดไฟง่ายและให้พลังงานความร้อนสูงจึงถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับทั้งกังหันก๊าซหรือบอยเลอร์ผลิตไอน้ำเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้า โดยมีเทนจะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยความร้อนต่ำกว่าเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่น แม้มีเทนจะมีค่าความร้อนจากการสันดาป 891 กิโลจูลต่อโมล แต่เมื่อคิดเป็นปริมาณความร้อนต่อน้ำหนักแล้วจะให้ค่า 55.7 กิโลจูลต่อกรัมซึ่งสูงกว่าไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ในก๊าซธรรมชาติจะประกอบด้วยมีเทน ~90 เปอร์เซ็นต์เป็นองค์ประกอบหลัก ก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในครัวเรือนผ่านทางระบบท่อในเมืองเพื่อทำน้ำอุ่นและให้ความร้อนในการปรุงอาหารจะให้ความร้อนประมาณ 39 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรหรือ 1000 บีทียูต่อลูกบาศก์ฟุต ก๊าซธรรมชาติอัดที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์จะปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการใช้ก๊าซโซลีนหรือน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ทางองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (นาซา) ของสวอ.ยังมีการศึกษาศักยภาพของมีเทนเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงจรวดด้วย ในอุตสาหกรรมเคมีจะใช้มีเทนทำปฏิกิริยากับไอน้ำเพื่อผลิตก๊าซสังเคราะห์ (สารผสมระหว่างก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์กับก๊าซไฮโดรเจน) ดังปฏิกิริยา  $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3 \text{H}_2$  (เป็นปฏิกิริยาคูดความร้อนที่ช่วงอุณหภูมิ 700–1100 องศาเซลเซียส) เพื่อใช้ก๊าซสังเคราะห์นี้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวหรือแยกไฮโดรเจนบริสุทธิ์ออกมาเพื่อใช้งาน หรือใช้มีเทนรีดิวซ์อากาศ (ในอากาศมีก๊าซไนโตรเจนประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) เพื่อสังเคราะห์แอมโมเนีย (เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และแอมโมเนีย)

มีเทนเป็นก๊าซที่กลุ่มจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์มีเทนสร้างขึ้น จุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้รับพลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่มีอากาศ (ไม่ใช้ออกซิเจน) เจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส (กลุ่ม Mesophilic) หรือ 45-55 องศาเซลเซียส (กลุ่ม Thermophilic) ช่วงค่าพีเอช (pH) ในช่วง 6.8-7.2 และมีธาตุอาหารอื่นๆ (คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน) เหมาะสม จุลินทรีย์กลุ่มนี้มักอยู่ในชั้นตะกอนของดินในแม่น้ำ คลอง บึง หนองน้ำ สระ ทะเลสาบ โรงกำจัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนและในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีทั้งแกรมบวกและแกรมลบ ทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้น้อย มีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ การสร้างมีเทนจะเกิดขึ้นในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งจุลินทรีย์จะย่อยเซลลูโลสให้อยู่ในรูปที่สัตว์สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้และปล่อยมีเทนออกมา กับลมหายใจและการเรอ โดยเฉลี่ยวัวหนึ่งตัวจะปล่อยมีเทนออกมาประมาณ 250 ลิตรต่อวัน มีเทนสามารถตรวจพบในก๊าซจากลำไส้ของคนบางคนได้เช่นกัน แต่ค่าที่ตรวจพบมีค่าต่ำ (<10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)

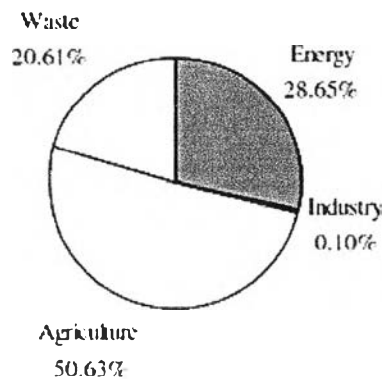
เส้นทางของปฏิกิริยา (Pathways) ที่จุลินทรีย์ใช้ในการสังเคราะห์มีเทนมี 2 เส้นทางหลัก คือ การสร้างมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน (Hydrogenotrophic) และการสร้างมีเทนจากกรดน้ำส้ม (Acetotrophic) ซึ่งแสดงได้ในรูปของสมการดังนี้



มีเทนเป็นส่วนประกอบหลักของก๊าซธรรมชาติที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมเคมีเพื่อผลิตโพลีเมอร์ต่างๆ ผลิตไฮโดรเจนหรือใช้เป็นเชื้อเพลิง การขนส่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งก๊าซนิยมใช้ท่อส่งก๊าซเป็นหลัก การขนส่งระยะทางไกลจากแหล่งก๊าซในปัจจุบันนิยมลดอุณหภูมิลงจนก๊าซเปลี่ยนรูปเป็นของเหลว (ปริมาตรจะลดลงประมาณหกหรือเจ็ดเท่า) เรียกว่าก๊าซธรรมชาติเหลวแล้วขนส่งทางเรือ การขนส่งก๊าซห่างจากแนวท่อก๊าซบนบกอาจใช้รถบรรทุกในการขนส่งแทน

ปัจจุบันสภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของโลก การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลักและการเผาไหม้ทำลายป่าที่เพิ่มขึ้นเป็นสาเหตุสำคัญในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยก๊าซเรือนกระจกที่รั่วสู่บรรยากาศจากขั้นตอนการสำรวจ การขุดเจาะ กระบวนการผลิต (การกลั่นแยก) การขนส่ง และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลจะส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในระยะยาว มีเทนเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญชนิดหนึ่ง ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศเป็นก๊าซมีเทน มีเทนในบรรยากาศของโลกในอดีต (~ปี 2293) มีปริมาณต่ำและค่อนข้างคงที่ ~700 พีพีบี (part per billion หรือส่วนในพันล้านส่วน หรือนาโนโมลต่อโมล) ในปัจจุบันพบว่ามีเทนในบรรยากาศเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จาก ~1745 พีพีบี (ในปี 2541) เป็น ~1800 พีพีบี (ในปี 2551) แม้ว่าปริมาณมีเทนที่เปลี่ยนแปลงจะน้อยกว่าคาร์บอนไดออกไซด์แต่ผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนโดยรวมจะสูงกว่าเนื่องจากมีเทนส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิของบรรยากาศคาร์บอนไดออกไซด์ ~21 เท่า (จากค่าเฉลี่ยในช่วงเวลานานกว่า 100 ปีที่ผ่านมา) สภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำทะเลสูงขึ้นเป็นผลให้มีเทนถูกปลดปล่อยจากพื้นทะเลลึกและจากบริเวณเพอร์มาฟรอสต์ (permafrost zone, บริเวณใกล้ขั้วโลกซึ่งดินมีอุณหภูมิเฉลี่ย  $\leq 0$  องศาเซลเซียสนานกว่า 2 ปี) มากขึ้นตามไปด้วย

มีเทน (จากการสลายตัวของสารอินทรีย์ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่มีออกซิเจน) ที่ปล่อยสู่บรรยากาศทั้งหมดมีสองแหล่งหลักคือ แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ (40 เปอร์เซ็นต์) และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (60 เปอร์เซ็นต์) แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติของมีเทนประกอบด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำ แหล่งถ่านหิน รอยแยกบนเปลือกโลก แหล่งน้ำพุร้อน ภูเขาไฟ และจากบริเวณเพอร์มาฟรอสต์ซึ่งยังไม่ค่อยมีการศึกษาในรายละเอียด ส่วนแหล่งกำเนิดมีเทนจากกิจกรรมของมนุษย์สามารถจำแนกได้ตามสัดส่วนการปลดปล่อยมีเทนจากมากไปน้อย (โดยประมาณ) ดังแสดงในภาพที่ 1 คือจากภาคการเกษตร 51 เปอร์เซ็นต์ จากภาคพลังงาน 29 เปอร์เซ็นต์ จากของเสีย/ขยะ 21 เปอร์เซ็นต์ และจากอุตสาหกรรม <1 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 1 สัดส่วนปริมาณมีเทนจากกิจกรรมของมนุษย์<sup>[20]</sup>

ประเทศที่ปล่อยมีเทนจากภาคการเกษตรมากที่สุดคือ จีน รองลงมาคือ อินเดีย บราซิล สหรัฐอเมริกา ฯลฯ มีเทนจากภาคการเกษตรนี้จะเกี่ยวเนื่องกับวงจรชีวิต ห่วงโซ่อุปทาน รวมถึงการขนส่งสัตว์เลี้ยงต่างๆในฟาร์มที่ให้เนื้อ นม ขนสัตว์ เขาสัตว์ และผลผลิตอื่นๆ โดยลำดับอันดับแรกของประเทศเหล่านี้มีการปล่อยมีเทนถึง ~54.6 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณมีเทนทั้งหมด

มีเทนจากภาคการเกษตรจะเกิดจากการหมักภายในลำไส้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง การหมักปุ๋ยธรรมชาติ การทำนาข้าว เป็นต้น มีเทนจากการหมักภายในลำไส้เป็นผลจากจุลินทรีย์ย่อยสลายอาหารในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (สัตว์ที่กินคู่เช่น วัว ควาย กวาง แอนทิโลป แกะ แพะ อูฐ และลา) โดยมีเทนจะออกมากับลมหายใจและการเรอของสัตว์เหล่านี้ มีเทนจากการหมักปุ๋ยธรรมชาติเป็นผลจากการที่แบคทีเรียย่อยสลายอาหาร สารอินทรีย์ในธรรมชาติและในพื้นที่ที่จัดเตรียมไว้ (บ่อหลุม พื้นที่ถมขยะ) ในน้ำ (แม่น้ำ ห้วย หนอง คลอง บึง สระ ฯลฯ) ในสภาวะที่ไม่มีอากาศและในแหล่งอาศัยของมนุษย์ มีเทนจากการทำนาเป็นผลจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ในนาข้าวซึ่งมีน้ำท่วมขังเป็นเวลานาน และจากแหล่งอื่นๆเช่นจากการเผาชีวมวลในระบบเปิด การเผาหญ้าในทุ่ง การเผาตอซังข้าวและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและการเผาป่า

การบริหารจัดการอย่างเป็นระบบในฟาร์มและพื้นที่ถมขยะฝังกลบทั้งบนบกและเกาะในทะเลเพื่อดักจับและกักเก็บมีเทนที่เกิดขึ้นด้วยระบบท่อดักและบ่อพักแล้วนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน ฟาร์ม เพื่อลดต้นทุนในการดำเนินการ การเผาเพื่อผลิตและป้อนไฟฟ้าสู่ระบบกริดไฟฟ้า การควบคุมให้พืชนาแห้งสลับกับน้ำท่วมโดยผันน้ำให้ท่วมพืชนาเป็นช่วงๆ จะสามารถลดการปล่อยมีเทนสู่บรรยากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน

ภาคพลังงานเป็นแหล่งที่ปล่อยก๊าซมีเทนอันดับสองของมีเทนจากกิจกรรมของมนุษย์ ประเทศที่ปล่อยมีเทนมากที่สุดคือสหพันธรัฐรัสเซีย รองลงมาคือสหรัฐอเมริกา จีน ยูเครน อินเดีย เม็กซิโก ฯลฯ ซึ่งทั้ง 6 ประเทศนี้มีสัดส่วนถึง 52.5 เปอร์เซ็นต์ของมีเทนที่ปล่อยจากภาคพลังงาน



สำหรับมีเทนส่วนนี้ ~95 เปอร์เซ็นต์มาจากกระบวนการก๊าซธรรมชาติและจากระบบน้ำมันรวมกัน ที่เหลือ ~5 เปอร์เซ็นต์มาจากการทำเหมืองถ่านหิน การสันดาปของวัสดุชีวมวลและฟอสซิลทั้งแบบอยู่เป็น ที่และแบบเคลื่อนย้ายได้ตามลำดับ มีเทนที่ปล่อยจากระบบของก๊าซธรรมชาติจะเกิดขึ้นในทุก ขั้นตอนตั้งแต่การสำรวจ/ขุดเจาะ/ผลิต/กระบวนการกลั่นแยก/การขนส่งและการจัดจำหน่าย ส่วน ระบบของน้ำมันจะมีการรั่วของมีเทนในขั้นตอนการสำรวจ/ขุดเจาะ/ผลิต การทำเหมืองใต้ดินจะมีการปลดปล่อยมีเทนออกมาระหว่างการขุดถ่านหินมากกว่าเหมืองบนดิน (เหมืองเปิด) การ สันดาปแบบไม่สมบูรณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อออกซิเจนที่ใช้ในการเผาเชื้อเพลิงไม่เพียงพอจะปล่อยมีเทนสู่ บรรยากาศในปริมาณที่แตกต่างกัน (ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง/การออกแบบเตาเผาและสภาวะ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท) ในขณะที่การสันดาปแบบสมบูรณ์ (เมื่อมีอากาศ หรือ ออกซิเจนเพียงพอ) จะให้พลังงานความร้อน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำออกมา การ สันดาปของชีวมวล (เศษไม้ ถ่านไม้ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร และ ชยะชุมชน) ทั้งแบบเปิดโล่งแจ้งหรือใช้เตาเผา ทั้งเตาเผาแบบอยู่กับที่และแบบเคลื่อนย้ายได้จะมี ทั้งการสันดาปแบบสมบูรณ์และแบบไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นโดยขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ที่กล่าวแล้ว

การปล่อยมีเทนจากระบบของก๊าซธรรมชาติและระบบของน้ำมันเริ่มเพิ่มขึ้นมากตั้งแต่ปี 2543 เป็นต้นมาซึ่งเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของราคาน้ำมันทำให้ประเทศต่างๆ ตัดสินใจเลือกใช้ก๊าซ ธรรมชาติซึ่งมีราคาถูกกว่าเป็นทางเลือกมากขึ้น นอกจากนี้วิกฤติการณ์น้ำมันของญี่ปุ่นเมื่อต้นปี 2554 ก็เป็นตัวเร่งที่ทำให้ทั้งญี่ปุ่นและประเทศอื่นๆ ตัดสินใจหยุดเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ บางส่วนโดยนำเข้าก๊าซธรรมชาติแทน และในบางประเทศเช่นเยอรมันมีแผนที่จะยกเลิกการใช้ พลังงานนิวเคลียร์ไปเลยในอนาคต ความต้องการก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน และถ่านหินที่เพิ่มขึ้นนี้ ทำให้อัตราการปล่อยมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศเพิ่มขึ้นด้วย ในช่วงปี 2533 ถึงปี 2553 มีเทนที่ปล่อยจากเหมืองถ่านหินใต้ดินในประเทศที่พัฒนาแล้วเริ่มมีปริมาณลดลงอย่าง ต่อเนื่องเนื่องจากสามารถควบคุมและลดความเข้มข้นของมีเทนในอากาศที่ถ่ายเทภายในเหมืองได้ ดินซึ่งเป็นระบบปิดได้ดีขึ้นและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยี lean burn/flameless oxidation มาใช้เพื่อกำจัดมีเทนในอากาศที่ถ่ายเทในเหมืองใต้ดิน (โดยควบคุม ความเข้มข้นของมีเทนให้ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์เพื่อป้องกันการระเบิด) และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยใน การสันดาปเพื่อผลิตไอน้ำร้อนยิ่งยวดออกมาผลิตไฟฟ้าก่อนป้อนสู่ระบบกริดไฟฟ้า ประเทศ ออสเตรเลียเป็นประเทศแรกในกลุ่มประเทศที่มีการพัฒนาเกี่ยวกับการทำเหมืองถ่านหินใต้ดิน (เช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย เยอรมันนี้ อังกฤษ และสาธารณรัฐเช็ก เป็นต้น) ที่ได้นำเทคโนโลยีนี้มา ใช้ในทางปฏิบัติ ในขณะที่มีเทนจากการสันดาปชีวมวลและจากการสันดาปในเตาเผาทั้งแบบที่อยู่ กับที่และแบบที่เคลื่อนย้ายได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น การกำจัดก๊าซมีเทนในระบบก๊าซธรรมชาติและ ระบบน้ำมันก่อนที่จะรั่วสู่บรรยากาศโดยการรวบรวมก๊าซที่รั่วออกมารวมกันแล้วทำให้ติดไฟเพื่อ เปลี่ยนให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะสามารถลดการปล่อยมีเทนได้ตั้งแต่ 4-100 เปอร์เซ็นต์<sup>[21]</sup>

ขยะและของเสียเป็นแหล่งที่ปล่อยก๊าซมีเทนอันดับสามของมีเทนจากกิจกรรมของมนุษย์ แหล่งหลักของของเสียเหล่านี้คือจากพื้นที่ถมขยะฝังกลบ (Landfills) ~59 เปอร์เซ็นต์ จากน้ำเสีย ~40.8 เปอร์เซ็นต์ และจากมนุษย์ ~20.6 เปอร์เซ็นต์ โดยสหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่ปล่อยมีเทนจากขยะ/ของเสียมากที่สุด (~13.8 เปอร์เซ็นต์) รองลงมา คือ จีน อินเดีย สหพันธรัฐรัสเซีย และเม็กซิโก ตามลำดับ ในช่วงปี 2533 ถึง 2553 ปริมาณมีเทนจากพื้นที่ถมขยะที่ปล่อยสู่บรรยากาศมีปริมาณลดลงเล็กน้อย ปริมาณมีเทนจากพื้นที่ถมขยะฝังกลบจะขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสารอินทรีย์ ช่วงเวลาในการสลายตัวด้วยจุลินทรีย์ในที่ไร้อากาศ ระบบท่อที่ใช้รวบรวมจัดเก็บก๊าซ การบริหารจัดการ และการใช้ประโยชน์มีเทนในพื้นที่นั้นๆ ในขณะที่น้ำเสียจากชุมชนและจากอุตสาหกรรมที่ปล่อยออกมาจะมีทั้งแบบที่บำบัดแล้วและแบบที่ปล่อยโดยไม่ได้บำบัด (จากอุบัติเหตุหรือภัยพิบัติ) ประเทศที่พัฒนาแล้วนิยมใช้วิธีรวมน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ เข้าสู่โรงงานบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง (ในส่วนของอุตสาหกรรม เทศบาลชุมชน ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ฯลฯ) แล้วบำบัดด้วยจุลินทรีย์ทั้งในสภาวะไม่มีออกซิเจนและสภาวะที่มีออกซิเจนเพื่อลดการปล่อยมีเทนสู่บรรยากาศ ส่วนมีเทนที่กักเก็บได้จากการบริหารจัดการขยะ/ของเสียเหล่านี้สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไฟฟ้าโดยตรงหรือรวบรวมเพื่อปรับปรุงคุณภาพ (เช่น กำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์) ก่อนอัดด้วยความดันสูงเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติหรือขนส่งด้วยรถบรรทุกเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

นอกเหนือจากการลดการปล่อยมีเทนสู่บรรยากาศโดยการบริหารจัดการที่เหมาะสมแล้ว ยังมีการวิจัยอย่างต่อเนื่องเพื่อผลิตมีเทนจากวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร (ซึ่งนับวันจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น) เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันและก๊าซธรรมชาติในอนาคต งานวิจัยเหล่านี้บ่งชี้ว่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรเช่น ต้น/เปลือกข้าวโพด ยอดอ้อย ใบ/ต้นมันสำปะหลัง ฟางข้าว เปลือกถั่ว กาบ/หาง/กะลามะพร้าว เส้นใย/กะลาปาล์ม ใบ/ต้นสับปะรด เปลือกกล้วย เปลือกมันสำปะหลัง ชังข้าวโพด ชานอ้อย เปลือกสับปะรด เปลือกมันฝรั่ง เปลือกผลไม้ต่างๆ กากน้ำตาล กากถั่วเหลือง น้ำเสีย/ตะกอนในน้ำเสีย ฯลฯ สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการหมักเพื่อผลิตมีเทนได้ โดยสามารถผลิตมีเทนได้ในช่วง 100-400 ml/g<sub>TS</sub> และ ml/g<sub>VS</sub> (TS, Total Solid และ VS, Volatile Solid) ดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งพบว่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรที่ให้ปริมาณมีเทนสูงสุดคือ เปลือกกล้วย รองลงมาคือมันฝรั่ง ฟางข้าวสาลี เปลือกมันฝรั่ง เปลือกสับปะรด ฯลฯ (400, 390, 381, 377, 357 ml/g<sub>VS</sub> ตามลำดับ)

เทคนิคการหมักร่วมหรือโคไดเจสชัน (co-digestion) เป็นการหมักวัสดุอย่างน้อยสองอย่างพร้อมกันโดยการเติมวัสดุซึ่งมีค่า C/N สูงและมีจุลินทรีย์สูง [เช่นขยะจากเศษอาหารซึ่งมีไขมัน/น้ำมัน/ไข (Fats/Oils/Grease) สูง สามารถผลิตมีเทนได้มากกว่าขยะทั่วไปประมาณสาม

เท่าตัว] ผสมกับวัสดุซึ่งมีค่า C/N ต่ำกว่าในอัตราส่วนที่เหมาะสม (เพื่อควบคุมให้ได้ค่า C/N ตามต้องการ) ก่อนหมักร่วมกัน เพื่อให้ผลติมีเทนได้มากขึ้นหรือมีประสิทธิภาพในการหมักสูงขึ้น ช่วยลดค่าใช้จ่ายโดยรวม และลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะเกิดขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่นการเติมขยะจากเศษอาหารผสมกับขยะทั่วไปหรือน้ำเสียหรือตะกอนจากน้ำเสีย และตัวอย่างอื่นๆในดังแสดงตารางที่ 5 การนำมูลสัตว์จากฟาร์มปศุสัตว์ (วัวหรือหมู) ผสมกับหญ้าเลี้ยงสัตว์หรือฟางข้าวหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร หรืออุตสาหกรรมการเกษตรหรือขยะชุมชน การเติมตะกอนน้ำเสียผสมกับขยะของแข็ง/ของเหลวจากในภาชนะบรรจุต่างๆ การเติมของเสียอินทรีย์จากชุมชน/เทศบาลผสมกับตะกอนจากโรงงานบำบัดน้ำเสีย การเติมปุ๋ยปศุสัตว์ผสมกับผลไม้/ผักและปุ๋ยมูลไก่ เป็นต้น เยอรมันนี้เป็นประเทศที่มีความรู้และความก้าวหน้าทางโคโคเจสชันมากที่สุด แต่การลอกแบบเทคโนโลยีนี้ไปใช้โดยตรง (adopt) ในประเทศอื่นๆ พบว่าไม่ประสบความสำเร็จเสมอไป เนื่องจากองค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ สายพันธุ์จุลินทรีย์ อุณหภูมิและสภาพแวดล้อมทางภูมิศาสตร์ในแต่ละประเทศจะแตกต่างกัน จำเป็นต้องศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเองในแต่ละกรณี ตัวอย่างเช่นโรงงานบำบัดน้ำเสียและของเสียในโอกแลนด์ รัฐคาลิฟอร์เนีย ได้เติมขยะจากเศษอาหาร ผสมกับน้ำเสียและของเสียก่อนการหมักแบบโคโคเจสชัน พบว่าค่าพลังงานที่ได้เพิ่มขึ้นจาก 560-940 kWh/t เป็น 730-1300 kWh/t ของขยะเทศบาลแห่ง<sup>[22,23]</sup>

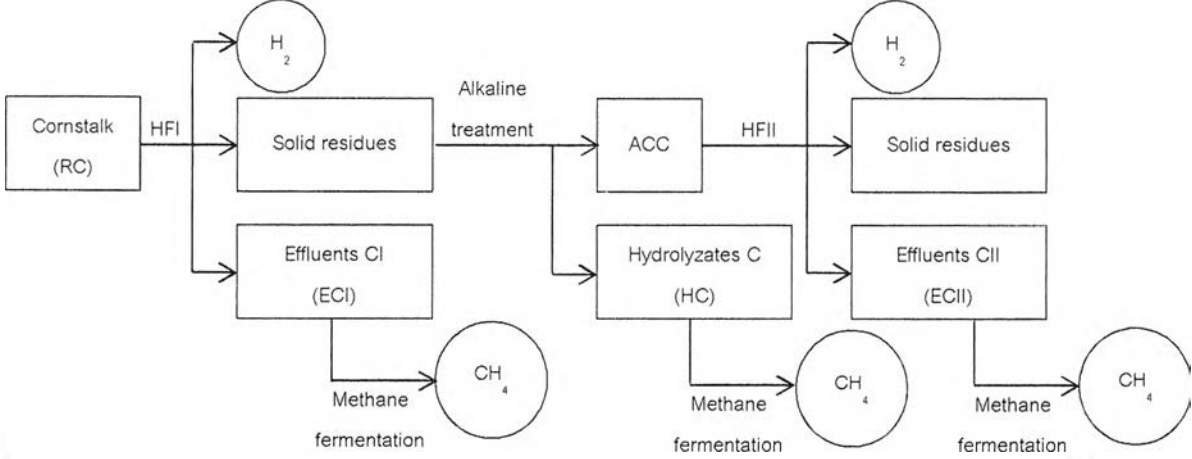
การผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ (มีเทน) เป็นพลังงานทดแทนในประเทศไทยได้รับการส่งเสริมจากการพลังงานแห่งชาติเมื่อเกิดวิกฤติน้ำมันแพงในช่วงปี 2516-2524 ในขณะที่กระทรวงสาธารณสุขส่งเสริมการสร้างบ่อก๊าซชีวภาพแก้ปัญหากลิ่น แมลงวันและน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ มีการจัดตั้งโครงการก๊าซชีวภาพไทย-เยอรมันเพื่อประยุกต์ใช้กับฟาร์มสัตว์เลี้ยงในปี 2531 และมีการออกแบบสร้างระบบก๊าซชีวภาพแบบลูกผสมในปี 2532 ที่ฟาร์มสุกรทดลองของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ต่อมามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้จัดตั้งหน่วยบริการก๊าซชีวภาพเพื่อส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพในปี 2534 ซึ่งเปลี่ยนเป็นสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ในปี 2551 ในปี 2538 มีการจัดตั้งโครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ระยะที่ 1 โดยได้รับการสนับสนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (ปัจจุบันคือสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน หรือ ส.น.พ. กระทรวงพลังงาน) การผลิตก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่ของไทยจะเป็นการหมักมูลสัตว์ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์เช่นโค สุกร ไก่ ฯลฯ ด้วยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยเฉพาะอย่างยิ่งฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาด

ใหญ่ ต่อมาเริ่มมีการนำการหมักแบบโคโคเดเจสชันโดยนำหมักมาผสมมูลสัตว์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและปริมาณการผลิตมีเทนให้สูงขึ้นและนำมีเทนไปใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์หรือกักเก็บก๊าซเพื่อผลิตไฟฟ้า ในเดือนกุมภาพันธ์ปี 2556 ในอำเภอแม่แตงจังหวัดเชียงใหม่มีการเปิดโครงการผลิตก๊าซชีวภาพอัดเชิงพาณิชย์แห่งแรกโดยอาศัยการหมักแบบโคโคเดเจสชันของมูลสุกรกับหญ้าเนเปียซึ่งอยู่ในกลุ่มหญ้าเลี้ยงช้างเพื่อผลิตก๊าซมีเทนอัดสำหรับยานยนต์

ตารางที่ 5 ปริมาณมีเทนที่ได้จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณมีเทนที่ได้ (ml CH <sub>4</sub> /g of TS/VS)
เปลือกข้าวโพด <sup>[24]</sup>	<p>- หั่นเปลือกข้าวโพด แล้วตากแห้ง จากนั้นอบที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นำไปโม่แล้วร่อนขนาด 15 มิลลิเมตร ได้ RC</p> <p><b>1. HFI (hydrogen fermentation I)</b></p> <p>- ผสม CM4 medium 50 มิลลิลิตร และ RC 0.5 กรัม จากนั้น Inoculate ด้วย C. thermocellum /CM4 medium (OD<sub>600</sub> value ของ inoculum เท่ากับ 1.0) เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ที่ 55 องศาเซลเซียส ทำการผสมหรือเขย่าขวด 2 ครั้งต่อวัน</p> <p>- ผลิตมีเทนโดยผสม Liquid effluents ที่ได้จากการผลิตก๊าซไฮโดรเจน 40 มิลลิลิตร กับตะกอนที่ได้จากการหมักแบบใช้อากาศ 35 มิลลิลิตร แล้วปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้านาน 5 นาที จากนั้นนำไป Incubate ที่ 35 องศาเซลเซียส ผสมหรือเขย่าขวด 2 ครั้งต่อวัน</p> <p><b>2. Alkaline treatment</b></p> <p>- ผสม RC 20 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 2 กรัม และน้ำกลั่น 240 มิลลิลิตร ที่ 120 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ทำการกรองและล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นจนพีเอชเป็นกลาง นำตะกอนออกจากกระดาษกรองแล้วทิ้งไว้ในอากาศปกติประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ได้ ACC</p> <p>- ผลิตมีเทนโดยผสม Hydrolyzate, Nutrient solution, น้ำกลั่น และตะกอนที่ได้จากการหมักแบบใช้อากาศ ปริมาณ 20, 5, 12.5 และ 35 มิลลิลิตร แล้วปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้านาน 5 นาที จากนั้นนำไป Incubate ที่ 35 องศาเซลเซียส ผสมหรือเขย่าขวด 2 ครั้งต่อวัน</p> <p><b>3. HFII (hydrogen fermentation II)</b></p> <p>- ผสม CM4 medium 50 มิลลิลิตร และ ACC 0.5 กรัม แล้ว Inoculate ด้วย C. thermocellum /CM4 medium (OD<sub>600</sub> value ของ inoculum เท่ากับ 1.0) เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ที่ 55 องศาเซลเซียส</p> <p>- ผลิตมีเทนโดยผสม ECI จากการผลิตก๊าซไฮโดรเจน 40 มิลลิลิตร และตะกอนที่ได้จากการหมักแบบใช้อากาศ 35 มิลลิลิตร แล้วปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้านาน 5 นาที จากนั้นนำไป Incubate ที่ 35 องศาเซลเซียส</p> <p>ดังรูป</p>	205.8 (ml/g <sub>TS</sub> )

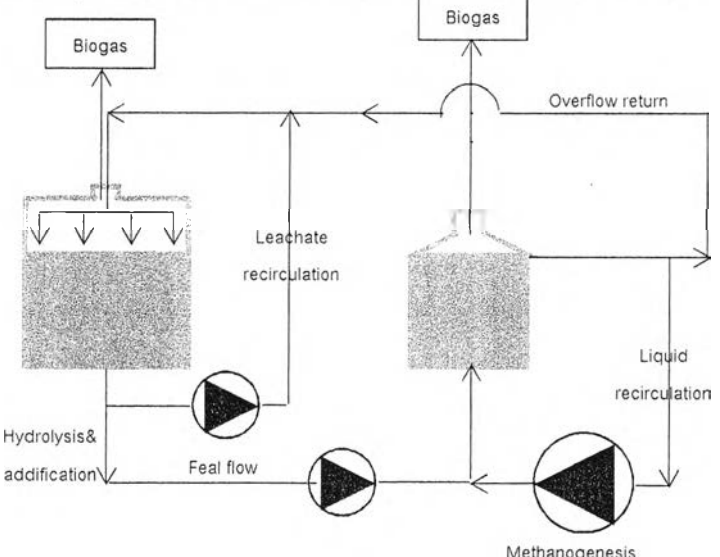
ตารางที่ 5 ปริมาณมีเทนที่ได้จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณมีเทนที่ได้ (ml CH <sub>4</sub> /g of TS/VS)
	 <p>The diagram illustrates a multi-stage process for cornstarch (RC). It begins with HFI (Hydrolysis/Fermentation I) of RC, which produces Solid residues and Effluents CI (ECI). The Solid residues undergo Alkaline treatment to produce ACC (Alkaline Cellulose) and Hydrolyzates C (HC). The ACC then undergoes HFII (Hydrolysis/Fermentation II), resulting in another set of Solid residues and Effluents CII (ECII). Finally, the ECI, HC, and ECII streams are each subjected to Methane fermentation, which produces H<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> gas.</p>	
<p>เปลือกกล้วย<sup>[25]</sup> ไม้ไผ่ กะหล่ำปลี ส้ม</p>	<p>- ชั่งน้ำหนักเปลือกกล้วย ไม้ไผ่ กะหล่ำปลี และส้ม จำนวน 200, 30, 200 และ 120 กรัม ตามลำดับ หั่นวัสดุเหลือทิ้งที่ซังไว้ให้ยาวประมาณ 10-25 มิลลิเมตร จากนั้นนำตัวอย่างที่หั่นไว้ใส่ถุงไนลอนตาข่ายขนาด 20-15 เซนติเมตร นำเข้าสู่ PFBR เพื่อทำ SRT values ที่วันที่ 0, 2, 4, 7, 10, 15, 22 และ 30 ทำให้ตัวอย่างแห้งที่ 90 องศาเซลเซียส แล้วบดละเอียด</p> <p>- ผลิต Inoculum โดยนำวัสดุที่ถูกย่อยออกจาก PFBR แล้วกรอง จะมีเฉพาะอนุภาคเล็กๆ จากนั้นเก็บไว้ใน Air-tight polythene can เติมน้ำเค็มอะซิเตด 1 กรัม ทุกวัน นาน 7 วัน และควบคุมพีเอช หลังจากวันที่ 7 เติมกรดอะซิติก 1 มิลลิลิตร วันเว้นวันจนครบ 20 วัน นำก๊าซจากกระบวนการ 135 มิลลิลิตร ใส่ใน Vial และ Monitor 3 วัน เมื่อการผลิตแก๊สลดลงน้อยกว่าระดับแบคทิว (&lt;1 มิลลิลิตร/50 มิลลิลิตร ใน 3 วัน) ได้ Inoculum</p> <p>- ผสมผงวัสดุ 1 กรัม กับ Inoculums 49.5 มิลลิลิตร แล้วเข้าหม้อหมักไอน้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส คำนวณปริมาณมีเทนด้วยวิธี Gas chromatograph method</p>	<p>400 (ml/g<sub>TS</sub>) 250 (ml/g<sub>TS</sub>) 150 (ml/g<sub>TS</sub>) 115 (ml/g<sub>TS</sub>)</p>

ตารางที่ 5 ปริมาณมีเทนที่ได้จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณมีเทนที่ได้ (ml CH <sub>4</sub> /g of TS/VS)
เปลือกมันฝรั่ง <sup>[26]</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ตัดเปลือกมันฝรั่งขนาด 0.3-1.0 เซนติเมตร จะได้ PPP และใช้ตะกอนจากโรงผลิตก๊าซชีววมวลทางการค้าเป็น Inoculums</li> <li>- Biochemical methane potential 1 ลิตร Eudiometer-batch digesters ที่อุณหภูมิ 37.5 องศาเซลเซียส และผสมวัสดุอบแห้งกับ Inoculums 350 กรัม อัตราส่วน 1:3 ทำการคนด้วยแท่งแม่เหล็กและให้ความร้อนผ่านน้ำ นาน 10 นาที ทุกๆ 30 นาที จากนั้นเก็บก๊าซและวัดปริมาณมีเทนด้วย NDIR analyzer ซึ่งถูกปรับเทียบกับก๊าซผสมมีเทน 60 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอนไดออกไซด์ 40 เปอร์เซ็นต์</li> </ul>	377 (ml <sub>N</sub> /g <sub>VS</sub> )
ข้าวโพด <sup>[27]</sup> ฟางข้าว เปลือกและเมล็ด มะเขือเทศ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ตัดวัสดุขนาด 50-100 มิลลิเมตร และใช้ Inoculum ที่ประกอบด้วยตะกอนจาก Co-digestion plant</li> <li>- ผสมวัสดุและ Inoculums ด้วยอัตราส่วน 1:2 ทำการคน 2 ครั้งต่อวัน ที่ 40 องศาเซลเซียส นาน 40 วัน คำนวณหา VS ที่ 550 องศาเซลเซียส หลังเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง</li> </ul>	<p>317 (ml<sub>N</sub>/g<sub>VS</sub>)</p> <p>195 (ml<sub>N</sub>/g<sub>VS</sub>)</p> <p>218 (ml<sub>N</sub>/g<sub>VS</sub>)</p>
เปลือกมันฝรั่ง <sup>[28]</sup>	<p>ผสมเปลือกมันฝรั่งกับปุ๋ยคอกด้วยอัตราส่วน 20:80 ต่อจากนั้นเติมตะกอนจากน้ำทิ้งเข้าไปในส่วนผสมแล้วคนด้วยอัตราเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เพื่อแยก digester ทำการเก็บตัวอย่างจากส่วนบนของส่วนผสม ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดแล้วปิดฝาต่อจากนั้นใส่ก๊าซไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในขวดเป็นเวลา 3 นาที แล้วเติมโซเดียมซัลไฟด์เฮปตะไฮเดรต (Na<sub>2</sub>S·7H<sub>2</sub>O) เข้มข้น 0.25 กรัมต่อลิตร ปริมาณ 0.5-1.0 มิลลิลิตร เพื่อให้เป็นสภาวะปราศจากอากาศอย่างแท้จริง</p>	330 (ml/g <sub>VS</sub> )
เปลือกสับปะรด <sup>[29]</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ทำตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส</li> <li>- ทำการทดลองที่สภาวะ Mesophilic 5 ลิตร Loading rate 2 กรัมของ VS ต่อลิตรต่อวัน และ HRT เท่ากับ 20 วัน สำหรับ Inoculums</li> <li>- ผสมตัวอย่าง 0.5 กรัม สารอาหาร 75 มิลลิลิตร และ Inoculums 20 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร จากนั้นปล่อยก๊าซไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปใน Incubator ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส</li> </ul>	357 (ml/g <sub>VS</sub> )

ตารางที่ 5 ปริมาณมีเทนที่ได้จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณมีเทนที่ได้ (ml CH <sub>4</sub> /g of TS/VS)
<p>มันฝรั่ง<sup>[30]</sup></p>	<p>การทดลองมี 2 ระบบ คือ ระบบที่ 1 = AR1+ UASB และระบบที่ 2 = AR2+ straw packed-bed ทั้งสองระบบทดลองที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้ Granular sludge ปริมาตร 0.2 ลิตร จากน้ำเสียของโรงงานกระดาษเป็น Inoculums ใน UASB และ Anaerobic sludge 0.2 ลิตร กับปริมาณของแข็งรวม (TS) 1.7 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณของแข็งระเหย (VS) 59 เปอร์เซ็นต์ ของ TS จากน้ำทิ้งเป็น Inoculums ใน Straw packed-bed</li> <li>- เติมน้ำมันฝรั่งที่เป็นวัสดุเหลือทิ้ง 1 กิโลกรัม ลงใน AR1 และ AR2 และเติมน้ำปริมาตร 0.8 ลิตร ลงไปในแต่ละคอลัมน์แล้ว ทำการ Recirculate the leachate AR1 และ AR2 ด้วยอัตรา 9 มิลลิลิตรต่อนาที หลังจากที่ทำการ Recirculation ไปแล้ว 24 ชั่วโมง ให้นำ Leachate เข้าสู่ Methanogenic reactor</li> <li>- เติมน้ำมันฝรั่งด้วยการป้อนสารอินทรีย์ด้วยอัตรา 1.4 ถึง 3.0 กรัม COD ต่อลิตรต่อวัน สำหรับ UASB และ 1.0 ถึง 3.0 กรัม COD ต่อลิตรต่อวัน สำหรับ The packed-bed reactor เติมน้ำมันฝรั่งทั้งหมดเป็นเวลา 50 วัน</li> </ul> 	<p>390 (ml/g<sub>VS</sub>)</p>



ตารางที่ 5 ปริมาณมีเทนที่ได้จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณมีเทนที่ได้ (ml CH <sub>4</sub> /g of TS/VS)
ฟางข้าวสาลี <sup>[31]</sup>	<p>- ตัดฟางข้าวสาลียาว 1-5 เซนติเมตร นำไปโมให้ได้ขนาด 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปทำให้แห้ง ป้อนฟางข้าวสาลีโมกับน้ำด้วยอัตราเร็ว 120–150 กิโลกรัม DM ต่อชั่วโมง และ 400–600 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และ Residence time ประมาณ 6 นาที จากนั้นให้ความร้อนจนถึง 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และให้ความร้อนที่ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส</p> <p>- ผสมฟางข้าวสาลีแห้ง 8 กรัม กับบัพเฟอร์อะซิเตตพีเอช 4.8 เข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้ว Inoculate ยีสต์ 0.2 กรัม ทำการปิดผนึกแล้วปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปใน Incubator ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส นาน 6–8 ชั่วโมง กระบวนการทั้งหมดนี้จะเป็นการผลิตไบโอเอทานอล</p> <p>- ผสม Medium และ Hydrolysate solution (ของเหลวจากขั้นตอนการเตรียมวัสดุ) 40 เปอร์เซ็นต์ ด้วยอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร โดยใช้ HRT 72 ชั่วโมง เติม Inoculums 140 มิลลิลิตร และ Hydrolysate 25 เปอร์เซ็นต์ ที่เจือจางด้วย Medium ปริมาตร 560 มิลลิลิตร ซึ่งปริมาณไฮโดรเจนในสถานะก๊าซจะสูงที่สุด ต่อจากนั้นให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ควบคุมอุณหภูมิโดยใช้น้ำร้อน กระบวนการทั้งหมดนี้จะเป็นการผลิตไบโอไฮโดรเจน</p> <p>- ผสม Inoculums ปริมาตร 30 มิลลิลิตร และ Material solution (เจือจางด้วยน้ำ ได้ความเข้มข้นต่างๆ คือ 5, 50 หรือ 100 เปอร์เซ็นต์) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ภายใต้ก๊าซไนโตรเจนนาน 3-5 นาที ต่อจากนั้นเติมไฮเดียมซัลไฟด์ 2-3 หยด ปิดผนึกขวดแล้วนำไปใส่ใน Incubator ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส วิเคราะห์หาปริมาณมีเทนด้วยวิธีก๊าซโครมาโทกราฟี</p>	381 (ml/g <sub>VS</sub> )

ตารางที่ 5 ปริมาณมีเทนที่ได้จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณมีเทนที่ได้ (ml CH <sub>4</sub> /g of TS/VS)
<p>เศษมันฝรั่งและตะกอนน้ำทิ้ง<sup>[32]</sup></p>	<p><b>Batch mode</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้ตะกอนจากการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพเป็นหัวเชื้อ ในส่วนของสารตั้งต้นจะใช้เศษมันฝรั่งจากโรงงานผลิตเอทานอลจากมันฝรั่งและตะกอนน้ำทิ้งจากโรงงานบำบัดน้ำเสีย เก็บสารตั้งต้นไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส</li> <li>- ใส่หัวเชื้อในขวดแก้วบอโรซิลิเกต 20 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด จากนั้นเติมส่วนผสมของเศษมันฝรั่งและตะกอนน้ำทิ้ง ซึ่งมีสัดส่วนปริมาณของแข็งระเหยของเศษมันฝรั่งและตะกอนน้ำทิ้งเป็น 4:0, 3:1, 1:1, 1:3 และ 0:4 ตามลำดับ โดยปริมาณของแข็งระเหยในขวดแก้วถูกควบคุมให้มีปริมาณรวม 30 กรัมต่อลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาณรวม 400 มิลลิลิตร ทำการปรับพีเอชให้มีค่า 6.0 ด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 นอร์มัล และกรดไฮโดรคลอริก 2 นอร์มัล</li> <li>- หลังก๊าซไฮโดรเจนถูกผลิตจนมีปริมาณ 300 มิลลิลิตร ส่วนผสมทั้งหมดจำนวน 300 มิลลิลิตรจะถูกถ่ายเทสู่ภาชนะใหม่เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน จากนั้นเติมหัวเชื้ออีก 100 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชเริ่มต้นให้เป็น 7.5 ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต</li> </ul> <p><b>Semi-continuous mode</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ใส่หัวเชื้อในขวดแก้วบอโรซิลิเกต 200 มิลลิลิตร จำนวน 10 ขวด จากนั้นเติมส่วนผสมของเศษมันฝรั่งและตะกอนน้ำทิ้ง ซึ่งมีสัดส่วนปริมาณของแข็งระเหยของเศษมันฝรั่งและตะกอนน้ำทิ้งเป็น 4:0, 3:1, 1:1, 1:3 และ 0:4 ตามลำดับ ในช่วงแรกของการผลิตก๊าซไฮโดรเจนมี HRT 5 วัน หลังจากกระบวนการหมักนาน 44 วัน HRT ของ 5 ขวดแรกจะถูกเปลี่ยนเป็น 3 วัน</li> <li>- นำสารผสมที่ผ่านกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนเข้าสู่กระบวนการผลิตก๊าซมีเทน โดยมี HRT สำหรับการผลิตก๊าซมีเทนที่ 12.5 วัน เขย่าและให้ความร้อนผ่านน้ำด้วยเครื่องเขย่า 120 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าสภาวะที่ได้ก๊าซมีเทนมากที่สุดมีสัดส่วนเศษมันฝรั่งต่อตะกอนน้ำทิ้ง 3:1 และปริมาณน้ำหนักของคาร์บอนต่อไนโตรเจน คือ 11.9</li> </ul>	<p>338.9</p>
<p>น้ำเสียจากโรงอ่งนและมูลหมู<sup>[33]</sup></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้มูลหมูจากฟาร์มเลี้ยงหมู น้ำเสียจากโรงอ่งน และหัวเชื้อเป็นตะกอนน้ำทิ้งจากโรงงานที่หมักน้ำทิ้งจากบ้านเรือนแบบไม่อากาศ</li> <li>- สารตั้งต้นและตะกอนน้ำทิ้งเป็นสารเนื้อเดียวที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส</li> <li>- สภาวะการผลิตมีเทนที่อุณหภูมิ 35±2 องศาเซลเซียส นาน 55 วัน ซึ่งสภาวะที่ดีที่สุด คือ มีปริมาณน้ำเสียจากโรงอ่งน 85.36 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มข้นของของแข็ง (น้ำหนักของซีไอดีต่อหัวเชื้อ) 0.7</li> </ul>	<p>348</p>

ตารางที่ 5 ปริมาณมีเทนที่ได้จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณมีเทนที่ได้ (ml CH <sub>4</sub> /g of TS/VS)
<p>ไม้ต้นหลิวและตะกอนน้ำเน่า<sup>[34]</sup></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ตัดไม้ต้นหลิวขนาด 2 เซนติเมตร ผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากนั้นเก็บไว้ในภาชนะพลาสติกที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และนำมูลวัวที่ได้จากฟาร์มในมหาวิทยาลัยมาเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส</li> <li>- ใช้ตะกอนน้ำทิ้งจากกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกาศที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 6-9 วัน เป็นหัวเชื้อ ซึ่งมีสารระเหย 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เป็นองค์ประกอบ</li> <li>- ผสมตะกอนน้ำทิ้ง 400 มิลลิลิตร และเปลือกเซลลูโลสมาตรฐาน 2 กรัม จากนั้นผสมไม้ต้นหลิวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วกับมูลวัวสดในสัดส่วนต่างๆ ปริมาณ 2 กรัม ทำการเปลี่ยนสารผสมจากมูลวัวสดเป็นมูลวัวที่ผ่านการหมัก</li> <li>- พบว่าสัดส่วนที่ให้ปริมาณมีเทนที่ดีที่สุด คือ มีส่วนผสมของไม้ต้นหลิว 30 เปอร์เซ็นต์ ต่อปริมาณสารตั้งต้นทั้งหมดซึ่งมีมูลวัวสดเป็นส่วนผสม และมีสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็น 35</li> </ul>	<p>227.5</p>
<p>ตะกอนจากโรงงานกระดาษและเยื่อและสารละลายโมโนไซเดียมกลูตาเมต<sup>[35]</sup></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- น้ำเสียถูกนำมาจากโรงงานกระดาษและเยื่อ ตะกอนน้ำทิ้งนำมาจากบ่อเก็บน้ำทิ้งใกล้มหาวิทยาลัยซึ่งถูกปรับคุณสมบัติจากโรงงานกระดาษและเยื่อในห้องทดลองนาน 3 เดือน และสารละลายโมโนไซเดียมกลูตาเมตถูกนำมาจากโรงงานผลิต โดยสารทั้งหมดถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส</li> <li>- ผสมน้ำเสีย สารละลายโมโนไซเดียมกลูตาเมต และหัวเชื้อ คือ ตะกอนที่ปรับคุณสมบัติแล้ว ปริมาณรวม 7000 กรัม สัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน 20 ปริมาณของแข็งรวม 8 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนหัวเชื้อ 10 เปอร์เซ็นต์ ในเครื่อง CSTR โดยถูกทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยการกวนที่ 50-100 รอบต่อนาที และรักษาอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส ก่อนการหมักจะทำการไหลผ่านก๊าซไนโตรเจนเพื่อกำจัดอากาศ ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซมีเทนเพื่อวิเคราะห์ 2 ครั้งต่อสัปดาห์</li> </ul>	<p>200</p>

\*CSTR = Continuously Stirred Tank Reactor

HRT = Hydraulic Retention Time

RC = Raw constalk

CM4 medium = Contains  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  1.5 g,  $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  3.8 g,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  1.3 g,  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  1.6 g,  $\text{CaCl}_2$  0.013 g, yeast extract 5.0 g,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  1.25 mg, resazurin 1.0 mg and L-cysteine 0.5 g in 1 litre

C. thermocellum = Clostridium thermocellum

ACC = Alkaline-treated cornstalk

ECl and ECII = Liquid effluents from hydrogen fermentation I and II

The nutrient solution = Contains  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  10 g,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  15 g,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  5 g,  $\text{MgCl}_2$  1 g,  $\text{NaHCO}_3$  20 g and yeast extracts 2 g

Anaerobic sludge = Anaerobic sludge from wastewater that contained 35,000 mg/L total solids as inoculums

TS = Total solids

VS = Volatile solids

PFBR = Plug-flow biogas reactors

SRT = Solids retention time

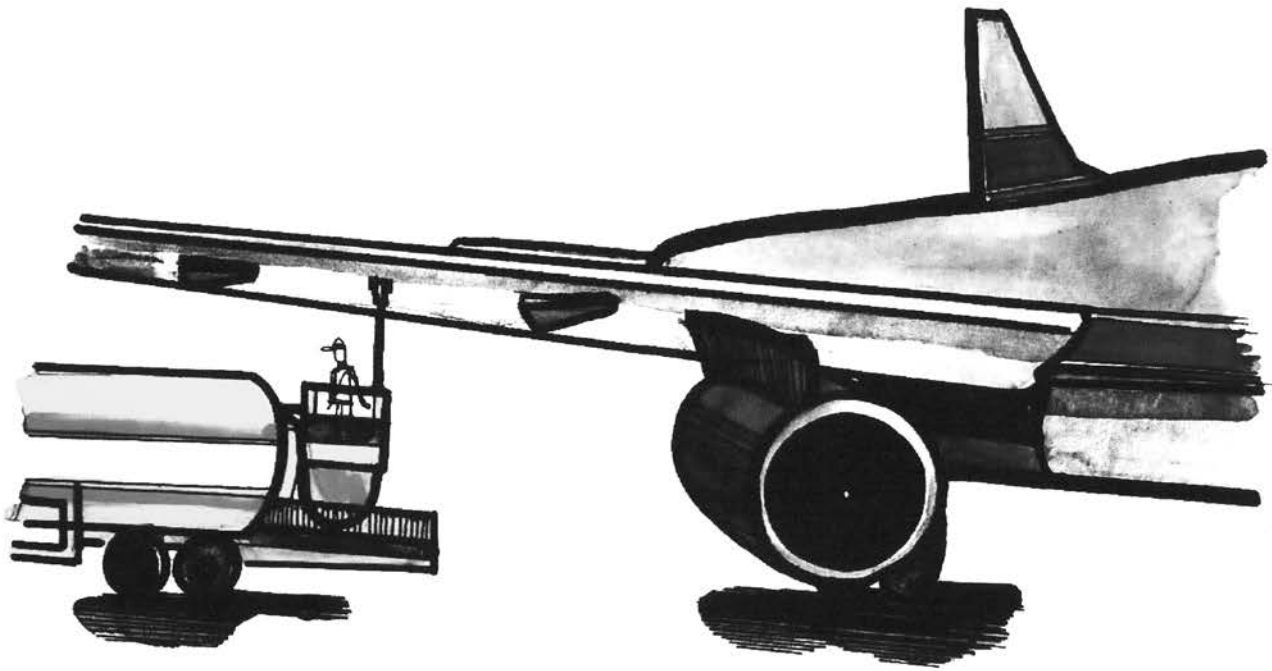
PPP = Potato peel pulp

$L_N$  = Normal litres; dry gas,  $T = 0^\circ\text{C}$ ,  $P = 1013 \text{ hPa}$

DW = Dry matter

BA medium = Basic anaerobic medium

# น้ำมันชีวภาพ



## น้ำมันชีวภาพ

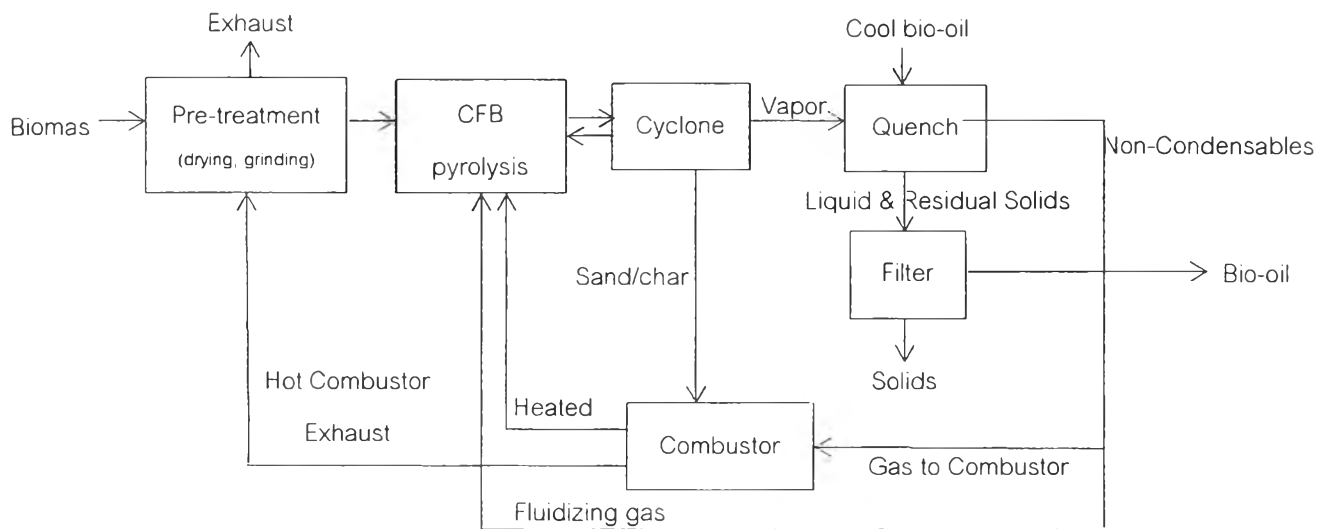
น้ำมันชีวภาพคือน้ำมันที่ผลิตได้จากส่วนต่างๆ ของพืชเช่นไม้ กระจาด ขี้มูลสัตว์ต่างๆ น้ำมันชีวภาพที่ผลิตจากขี้มูลสัตว์เหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร เช่นขานอ้อย ฟางข้าว ฟางข้าวสาลี เปลือกข้าว เปลือกข้าวโอ๊ต กำลังเป็นที่สนใจทั่วโลก เนื่องจากเป็นแหล่งวัตถุดิบที่จัดเป็นทรัพยากรหมุนเวียน มีปริมาณมาก ราคาถูก หาได้ง่าย และมีศักยภาพที่จะนำมาใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสะอาดเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ใช้กับยานยนต์ หรือใช้ผลิตสารสำคัญสำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรม จากการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเนื่องกับการผลิตน้ำมันชีวภาพพบว่าการผลิตน้ำมันชีวภาพมี 2 วิธีใหญ่ๆ คือ

1. **ไพโรไลซิส** เป็นกระบวนการให้ความร้อนวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเช่น ถ่านหิน พลาสติก ยาง ขี้มูล และลิกโนเซลลูโลส (จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร) ที่ช่วงอุณหภูมิ 300-600 องศาเซลเซียสในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน เพื่อเปลี่ยนองค์ประกอบซึ่งเป็นสารอินทรีย์ให้เป็นของเหลว(เป็นผลผลิตหลัก) ถ่าน และก๊าซที่ควบแน่นได้และไม่ควบแน่น ของเหลวที่ได้จะเรียกว่าน้ำมันชีวภาพเมื่อวัตถุดิบเป็นลิกโนเซลลูโลส หรือเรียกว่าน้ำมันดิน (tar) เมื่อวัตถุดิบเป็นฟอสซิล ถ่านที่ได้เรียกว่าถ่านชีวภาพ (ไบโอชาร์) เมื่อวัตถุดิบเป็นลิกโนเซลลูโลส หรือเรียกว่าถ่านจากถ่านหิน (ชาร์โคล) เมื่อวัตถุดิบเป็นฟอสซิล น้ำมันชีวภาพจะติดไฟได้คล้ายน้ำมันสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนการเผาขี้มูลโดยตรงแต่มีค่าความร้อนต่ำ อัตราส่วนของผลผลิตที่ได้จากไพโรไลซิสจะขึ้นอยู่กับชนิดของไพโรไลซิส (อัตราการให้ความร้อน) และชนิดของวัตถุดิบ ตัวแปรของไพโรไลซิสประกอบด้วยอุณหภูมิ ช่วงเวลาของการให้ความร้อน ความชื้นของวัตถุดิบ ฯลฯ

ตารางที่ 6 ไพโรไลซิสแบบต่างๆ<sup>[36]</sup>

Process	Residence time	Heating rate	Temperature, K	Products
Carbonation	Days	Very low	673	Charcoal
Conventional	5-30 min	Low	873	Oil, gas, char
Fast	0.5-5 sec	Very high	923	Bio-oil
Flash-liquid	<1 sec	High	<923	Bio-oil
Flash-gas	<1 sec	High	<923	Chemicals, gas
Ultra	<0.5	Very high	1,273	Chemicals, gas
Vacuum	2-30 sec	Medium	673	Bio-oil
Hydro-pyrolysis	<10 sec	High	<773	Bio-oil
Mathano-pyrolysis	<10 sec	High	>973	Chemicals

ไพโรไลซิสมีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับอัตราการให้ความร้อน (ดังแสดงในตารางที่ 6) อัตราส่วนของผลผลิตที่ได้จึงแตกต่างกันเช่น วิธีคาร์บอนชั้นซึ่งมีอัตราการให้ความร้อนต่ำสุดจะให้ถ่านชีวภาพเป็นหลัก ไพโรไลซิสแบบเก่าหรือแบบคอนเวนชันแนลจะให้น้ำมันชีวภาพ 20-50% ถ่านชาร์ 25-35% และก๊าซ 20-50% โดยน้ำหนัก ในขณะที่ฟาสท์ไพโรไลซิส<sup>[37,38]</sup> จะให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงสุด 60-70% ถ่านชาร์ 15-25% และก๊าซ 10-20% โดยน้ำหนัก โดยขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ



ภาพที่ 2 กระบวนการฟาสท์ไพโรไลซิส<sup>[39]</sup>

ภาพที่ 2 แสดงกระบวนการผลิตน้ำมันชีวภาพโดยฟาสท์ไพโรไลซิส ประกอบด้วย

- การเตรียมวัตถุดิบได้แก่การอบแห้งด้วยก๊าซเสีย (ก๊าซร้อนที่เหลือจากการใช้ประโยชน์หลักแล้ว) และการบดวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กเพื่อป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ได้ง่าย
- วัตถุดิบเมื่อได้รับความร้อนสูงภายในระยะเวลาสั้นๆจะเปลี่ยนรูปเป็นไอ/ก๊าซ และฝุ่นละออง ซึ่งจะถูกป้อนผ่านไซโคลนเพื่อแยกฝุ่นละอองออกจากไอ/ก๊าซ ฝุ่นของถ่านชีวภาพที่กรองได้จะถูกป้อนไปยังเตาเผาเพื่อผลิตความร้อนต่อไป (หรือนำไปเติมในดินเพื่อให้ได้เนื้อดินและเก็บคาร์บอนไว้ในดิน)
- ไอ/ก๊าซที่ผ่านไซโคลนแล้วจะถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วเพื่อกลั่นตัวให้ของแข็ง น้ำมันชีวภาพ น้ำ และก๊าซที่ไม่ควบแน่น ของแข็งที่กลั่นตัวจากไอ/ก๊าซจะถูกกรองเพื่อแยกออกจากน้ำมันชีวภาพและน้ำ ก๊าซที่ไม่กลั่นตัวบางส่วนจะถูกส่งไปยังถังปฏิกรณ์เพื่อสันดาปให้ความร้อนในขณะที่ก๊าซส่วนที่เหลือจะถูกป้อนสู่ถังปฏิกรณ์เพื่อให้ความร้อนแก่ชั้นทรายและชีว

มวล จากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันพบว่าถึงปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไรเซด (Fluidized bed) เป็นแบบที่เหมาะสมและนิยมใช้กันมากที่สุดในงานวิจัยต่างๆ

ตารางที่ 7 คุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพที่ผลิตจากไม้เทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิง<sup>[44]</sup>

Physical property	Bio-oil	Heavy fuel oil
Moisture content (%wt)	15-30	0.1
pH	2.5	
Specific gravity	1.2	0.94
Elemental composition (%wt)		
C	54-58	85
H	5.5-7.0	11
O	35-40	1
N	0-0.2	0.3
Ash	0-0.2	0.1
HHV (MJ/kg)	16-19	40
Viscosity, at 773 K (cP)	40-100	180
Solids (%wt)	0.2-1.0	1
Distillation residue (%wt)	Up to 50	1

ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพกับน้ำมันเตา เนื่องจากน้ำมันชีวภาพจากฟาสท์ไพโรไลซิสมีค่าความร้อนต่ำ มีน้ำและออกซิเจนปนอยู่มาก ผสมเข้ากับเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ยาก มีความหนาแน่นสูง<sup>[38]</sup> มีการกัดกร่อนสูง<sup>[40]</sup> ไม่เสถียรและมีความหนืดสูงขึ้นเมื่อเวลาเปลี่ยนไป ทำให้ไม่สามารถนำน้ำมันชีวภาพไปใช้โดยตรงกับยานยนต์ได้ จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพก่อน (โดยการเพิ่มคาร์บอนลดไฮโดรเจนสำหรับน้ำมันชีวภาพ หรือการลดคาร์บอนเพิ่มไฮโดรเจนสำหรับน้ำมันดิน) เพื่อให้ น้ำมันชีวภาพหรือน้ำมันดินมีเสถียรภาพดีขึ้นและสามารถใช้กับยานยนต์ได้หลังจากผ่านขั้นตอนการกลั่นแล้ว ตัวอย่างเช่นการเติมไฮโดรเจนที่อุณหภูมิต่ำร่วมกับการกรองแบบนาโนจะช่วยให้ น้ำมันชีวภาพมีเสถียรภาพดีขึ้น กระบวนการเติมไฮโดรเจนสองขั้นตอนจะเปลี่ยนน้ำมันชีวภาพเป็นแอลกอฮอล์ที่ใกล้เคียงกับก๊าซโซลีนและไดโอดที่มีคาร์บอน 2-6 อะตอม<sup>[41]</sup> ปฏิกริยาต่อเนื่องของกระบวนการเติมไฮโดรเจน ไฮโดรไลซิส ดีไฮเดรชัน และดีไฮโดรโอรมาโทเซชันจะเปลี่ยนพันธะ C-O และ C=O ใน n-hexane ของน้ำมันชีวภาพให้เป็นไฮโดรคาร์บอน (ก๊าซโซลีนที่มีคาร์บอน



5-9 อะตอม<sup>[42]</sup> และน้ำมันชีวภาพที่ผ่านกระบวนการไฮโดรทรีทเมนต์ที่ใช้ Ru/C เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่สภาวะอุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียสความดัน 200 บาร์ และที่สภาวะอุณหภูมิ 320-340 องศาเซลเซียสความดัน 200-250 บาร์ จะสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงขนาด 5kW ได้<sup>[43]</sup>)

ตารางที่ 8 องค์ประกอบของน้ำมันชีวภาพ<sup>[45]</sup>

Compound, wt%	Switch grass	Alfalfa stems full flower	Guayule bagasse	Chicken litter
Water	11.04	18.45	1.44	24.46
<b>Cellulose/hemicellulose-derived compounds</b>				
Acetic acid	2.94	3.49	1.29	0.7
Furfural	0.62	-	-	-
Hydroxyacetaldehyde	2.4	-	-	0.04
Acetol	2.75	2.35	0.73	0.05
Levoglucosan	6.38	0.37	1.37	0.27
<b>Lignin-derived compounds</b>				
Guaiacol	0.18	0.46	0.39	0.41
Isoeugenol	0.45	0.73	0.65	0.24
2, 6-Dimethoxyphenol	0.2	0.43	0.73	0.11
Phenol	0.66	0.95	0.65	0.51
<b>Protein-derived compounds</b>				
Pyrrole	-	-	-	0.07
Benzyl nitrile	Trace	0.06	Trace	0.06
Indole	-	0.01	-	0.13

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากฟาสที่ไพโรไลซิสของวัสดุสี่ชนิดดังแสดงในตารางที่ 8 จะพบว่าวัสดุแต่ละชนิดจะให้ทั้งสารที่เหมือนกันและสารที่แตกต่างกันในปริมาณที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการสกัดหรือการแยกสารเฉพาะออกจากน้ำมันชีวภาพเพื่อนำมาใช้งานหรือใช้ประโยชน์เฉพาะทางจะให้ประโยชน์ที่หลากหลายมากกว่า ตัวอย่างเช่นการแยกฟีนอลออกมาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเรซิน การแยก Levoglucosan หรือ Hydroxyacetaldehyde หรือ additive บางตัวออกมาเพื่อใช้ประโยชน์ในทางเภสัชกรรม อุตสาหกรรมผลิตปุ๋ย หรือการผลิตไฟเบอร์ เป็นต้น ซึ่ง

การผลิตสารเฉพาะจากน้ำมันชีวภาพที่ได้จากวิธีไพโรไลซิสน่าจะเป็นอีกแนวทางที่ควรได้รับการส่งเสริมอย่างจริงจังในอนาคต

2. **ไดเรคทีเคอแฟคชัน หรือไฮโดรเทอร์มอลดีเคอแฟคชัน** ในที่นี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากวัสดุ 2 กลุ่มคือกลุ่มถ่านหิน (coal) ซึ่งมีพัฒนาการมานานแล้ว ในขณะที่กลุ่มชีวมวล (biomass) มีพัฒนาการมาประมาณห้าสิบปี

ดีเคอแฟคชันของถ่านหินหรือโคลดีเคอแฟคชันมีพัฒนาการเริ่มจาก Berthellog สามารถผลิตน้ำมันไฮโดรคาร์บอนและแอสฟัลต์ได้ในปี 2352 ต่อมาในปี 2369 IG Farbenindustrie ได้ศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการเติมไฮโดรเจน ในปี 2456 Friedrich Bergius ได้จดลิขสิทธิ์กระบวนการเบอร์เจียสแต่เนื่องจากยังไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาค่ายี่สิบของน้ำมันที่ได้ (oil yield) จึงต่ำมาก ในช่วงปี 2470-2483 มีการสร้างโรงงานไฮโดรดีเคอแฟคชันขึ้น 12 แห่งในประเทศเยอรมันนีเพื่อผลิตเชื้อเพลิงเหลวและสารหล่อลื่นด้วยกำลังผลิตรวม 14 ล้านตันต่อปีซึ่งในช่วงเวลานั้น อังกฤษ ฝรั่งเศส อิตาลี เกาหลี และจีนก็มีโรงงานประเภทนี้เช่นกัน หลังสงครามโลกครั้งที่สองมีการพัฒนากระบวนการ Kohleol และมีสร้างโรงงานสาธิตขึ้นในประเทศเยอรมันนีและใช้งานในช่วงปี 2524-2530 โดยใช้ลิแกนด์ 200 ตัน/วัน [กระบวนการ Kohleol จะใช้ถ่านหินผสมกับตัวทำละลายซึ่งรีไซเคิลกลับมาใช้งานและใช้ Fe (เหล็กในรูปของสารประกอบ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้บรรยากาศของไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 470 องศาเซลเซียสและความดัน 300 บาร์] กระบวนการคล้ายกันนี้มีการพัฒนาโดยกลุ่มบริษัท SASOL ในประเทศอาฟริกาใต้และในประเทศญี่ปุ่นในช่วงปี 2513-2523 โดยกลุ่มบริษัท (NK & SMI & MHI) ตั้งแต่ปี 2523 เป็นต้นมามีการพัฒนาเพิ่มขึ้นเช่น กระบวนการไดเรคทีเคอแฟคชันแบบสองขั้นตอนซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยปรับปรุงจากกระบวนการ H-Coal กระบวนการ solvent extraction ของบริษัทบริติชโคล และกระบวนการดีเคอแฟคชันของ brown coal ของญี่ปุ่น ในปี 2545 กลุ่มเงินหัวซึ่งทำเหมืองถ่านหินของจีนได้ตัดสินใจสร้างโรงงานไดเรคทีเคอแฟคชันขึ้นที่มองโกเลียในโดยมีเป้าหมายที่กำลังการผลิตน้ำมันสองหมื่นบาร์เรลต่อวัน (มีการทดสอบระบบในปี 2551 และ 2552) Li<sup>[46]</sup> ได้ศึกษาและสรุปว่าถ่านหินที่เป็นบิทูมินัสใหม่หรือลิกไนท์เก่าจะเหมาะกับการทำดีเคอแฟคชันมากที่สุด ซึ่งเทคโนโลยีเพื่อผลิตเชื้อเพลิงเหลวแทนน้ำมันนี้จะได้รับผลกระทบด้านลบโดยตรง (ไม่คุ้มทุน) เมื่อน้ำมันดิบในตลาดโลกมีราคาต่ำ ยกเว้นในบางช่วงเวลาเช่นช่วงปี 2516-2524 ซึ่งกลุ่มผู้ผลิตน้ำมัน (OPEC) ปรับราคาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและเริ่มลดลงในช่วงปี 2524-2529 โดยมีราคาค่อนข้างคงที่ในช่วงปี 2529-2545 ก่อนที่จะเริ่มปรับตัวเพิ่มขึ้นอีกครั้งตั้งแต่ปี 2546 จนถึงปัจจุบันเนื่องจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วของกลุ่ม BRICs (บราซิล รัสเซีย อินเดีย จีน และสหภาพอาฟริกาใต้)

สำหรับการพัฒนาลิโคแพคชันของชีวมวลนั้น ในปี 2506 บริษัทไฮโดรคาร์บอนรีเสิร์ช ได้พัฒนากระบวนการเติมไฮโดรเจนขั้นตอนเดียวโดยรวมอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์และพบว่าน้ำมันชีวภาพที่ได้จะใช้ได้กับบอยเลอร์ (boiler) เท่านั้นเนื่องจากมีสิ่งเจือปนมาก ในช่วงปี 2503-2513 บริษัทกัลฟออยล์ได้สร้างโรงทดลองซึ่งใช้กระบวนการ SCR (solvent refined coal) ที่พัฒนาขึ้น ในปี 2519 บริษัทนิวเคลียร์ยูทิลิตี้เซอร์วิสได้จดลิขสิทธิ์การใช้โมลิบดีนัม (ในรูปของสารประกอบ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งสามารถสังเคราะห์ได้แก่แก๊ส ก๊าซที่มีคาร์บอน 3-4 อะตอมและของเหลวที่มีคาร์บอน 5-10 อะตอมซึ่งเหมาะที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวได้ นอกจากนี้ก็มีกระบวนการอื่นๆ เช่น กระบวนการ Exxon Donor Solvent กระบวนการ Imhausen High-pressure และกระบวนการ Conoco Zinc Chloride ซึ่งกระบวนการที่กล่าวข้างต้นทั้งหมดเป็นการเติมไฮโดรเจนแบบขั้นตอนเดียวเช่นกัน

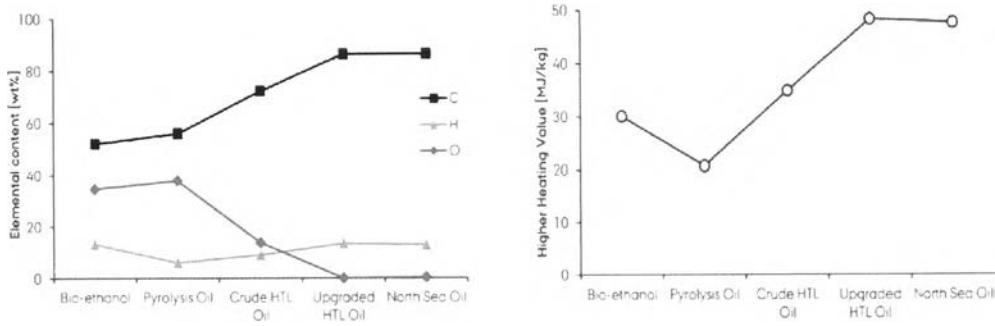
ไดเรคทีลโคแพคชันของชีวมวลหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรม การเกษตรซึ่งเป็นวัสดุหมุนเวียนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบจะคล้ายกับลิโคแพคชันของถ่านหิน โดยประกอบด้วยสองขั้นตอนหลักคือ การทำให้วัตถุดิบสลายตัวที่อุณหภูมิสูงในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน (เช่นในบรรยากาศของไฮโดรเจนภายใต้ความดันสูงเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำระเหยโดยมีตัวทำละลายและตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ด้วย ซึ่งวัสดุหลักในเซลลูโลส (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน) จะสลายตัวเป็นน้ำมันชีวภาพซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอโรเมติกและแก๊ส ส่วนขั้นตอนที่สองเป็นการแยกชนิดผลผลิตที่ได้และทำให้บริสุทธิ์ขึ้นเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเคมีต่อไป หรือนำผลผลิตที่ได้จากขั้นตอนแรกไปผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนและกำจัด heteroatom (เช่นออกซิเจน ไนโตรเจน กำมะถัน) ก่อนนำไปกลั่นเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงสะอาด

น้ำมันชีวภาพที่ได้จากวิธีไดเรคทีลโคแพคชันจะมีคุณสมบัติดีกว่าน้ำมันชีวภาพที่ได้จากวิธีไพโรไลซิสคือ มีความเสถียรมากกว่า (สามารถเก็บในสภาพของเหลวได้ในขณะที่น้ำมันชีวภาพจากวิธีไพโรไลซิสจะไม่เสถียรโดยหนืดขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น) และก่อก้อนน้อยกว่า มีออกซิเจนต่ำกว่า (12 เปอร์เซ็นต์เทียบกับ 36 เปอร์เซ็นต์) มีปริมาณน้ำต่ำกว่า (5 เปอร์เซ็นต์เทียบกับ 25 เปอร์เซ็นต์) มีสารประกอบออร์แกนิกแบบมีซัลเฟอร์ที่ไม่ต้องการน้อยกว่า และมีค่าความร้อนสูงกว่า (38 เทียบกับ 23 เมกะจูลต่อกิโลกรัมในสภาพแห้ง) อีกทั้งสามารถป้องกันวัตถุดิบที่มีความชื้นสูง (50-90 เปอร์เซ็นต์) โดยไม่ต้องทำให้แห้งก่อน (จึงลดต้นทุนการอบหรือไล่ความชื้นซึ่งเสียค่าใช้จ่ายมาก) และใช้พลังงานในการผลิตน้ำมันชีวภาพใช้เพียง 10-15 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานของชีวมวลที่เป็นวัตถุดิบ ทำให้มีความเป็นไปได้สูงที่น้ำมันชีวภาพจากวิธีลิโคแพคชันจะถูกใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสะอาดในภาคการขนส่งในอนาคต

Midgett<sup>[70]</sup> ได้ศึกษาเกี่ยวกับไฮโดรเทอมอลลิเคอแฟคชันของชีวมวลต่างๆ เช่นขยะจากฟาร์ม/ปศุสัตว์ tallowseed, switchgrass และซีเลื้อยไม้สนโดยใช้ถึงความดันขนาด 300 มิลลิลิตร และพบว่าเมื่ออัตราการให้ความร้อนคงที่ อุณหภูมิจะเป็นตัวแปรที่สำคัญมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา และค่าความร้อนของน้ำมันชีวภาพจากวัสดุเหล่านี้มีค่าประมาณ 34 MJ/kg และมีค่าyieldของน้ำมันที่ได้ 20-33% Elliott และคณะ<sup>[71]</sup> พบว่าน้ำมันชีวภาพที่ได้จากลิเคอแฟคชันของวัตถุดิบที่มีความชื้นสูง (77-94.9%) เช่นสาหร่ายเคลป์ สวะ กากข้าวบาร์เลย์ก่อนหมัก(spent grain) หญ้าเนเปีย และข้าวฟ่างให้ค่าyieldของน้ำมันที่ได้ 19.2-34.7% ซึ่งใกล้เคียงกับค่าyieldที่ได้จากไม้ทั่วไป แต่จะมีไนโตรเจนในน้ำมัน 0.4-3.8% (สูงกว่าน้ำมันชีวภาพจากไม้) จำเป็นต้องแยกออกก่อนนำไปใช้ประโยชน์ (สารประกอบไนโตรเจนบางตัวใช้เป็นสารที่ให้กลิ่นหรือรสชาติในสินค้าอุปโภค/บริโภคได้) หรือกำจัดออกก่อนใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อลดการปล่อย NO<sub>x</sub> สู่บรรยากาศ

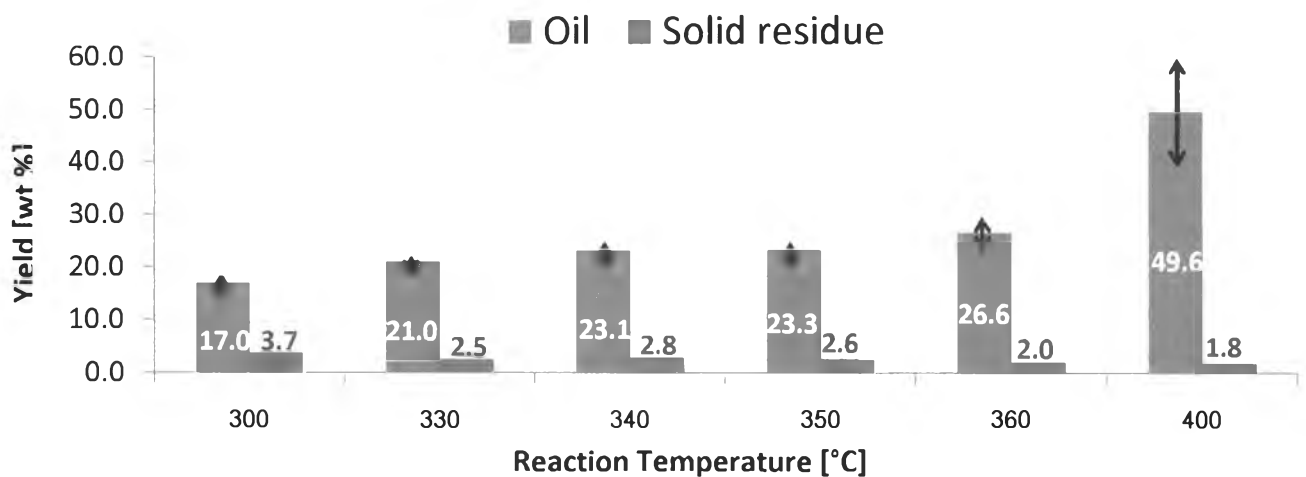
Yin และ Tan<sup>[72]</sup> พบว่าสภาวะกรด เป็นกลางหรือด่าง (pH) ของไฮโดรเทอมอลลิเคอแฟคชันของเซลลูโลสที่อุณหภูมิสูงจะมีผลต่อชนิดและปริมาณของน้ำมันชีวภาพที่เกิดขึ้น ในสภาวะกรดและเป็นกลางจะได้ 5-HMF (5-Hydroxymethylfurfural) เป็นหลัก ในสภาวะด่างจะได้กรดคาร์บอกซิลิกซึ่งมีคาร์บอน 2-5 อะตอมเป็นหลัก ทั้งนี้เนื่องจาก 5-HMF จะโพลีเมอไรซ์เป็นของแข็งในสภาวะกรด และเปลี่ยนเป็นของแข็งกับก๊าซในสภาวะเป็นกลาง และสลายตัวเป็นก๊าซของกรดที่มีห่วงโซ่สั้นและอัลดีไฮด์ในสภาวะด่าง<sup>[72]</sup>

Cheng และคณะ<sup>[73]</sup> พบว่าไดเรคทีเคอแฟคชันซีเลื้อยของสนขาวที่ใช้สารละลายแอลกอฮอล์ 50% (เอทานอลหรือเมทานอล) เป็นตัวทำละลาย จะให้ค่า oil yield ถึง 65% (โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสและลดลงเหลือเพียง 35% ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสโดยน้ำมันชีวภาพที่ได้จะประกอบด้วยเฟโนลิกและอนุพันธ์ของเฟโนลิก (เบนซีน) เป็นหลัก และมีแอลดีไฮด์ คีโตน เอสเตอร์ กรดอินทรีย์ และสารประกอบอีเทอร์อยู่ด้วย โครงสร้างของซีเลื้อยซึ่งเดิมเป็นผลึกจะคงรูปอยู่ได้จนถึงอุณหภูมิลิเคอแฟคชัน 240 องศาเซลเซียส และเริ่มสลายตัวเปลี่ยนเป็นคาร์บอนอสัณฐานเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ที่อุณหภูมิ  $\geq 300$  องศาเซลเซียส จะพบคาร์บอนอสัณฐานเพียงอย่างเดียวหลังจากผ่านลิเคอแฟคชันแล้ว Xu และคณะ<sup>[74]</sup> ได้เสนอวิธีการเตรียมอนุพันธ์ของเฟโนลิกกับอนุพันธ์ของน้ำตาล (ไบโอโพลีออล) จากน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการลิเคอไฟต์ลิกในเซลลูโลสด้วยเมทานอลโดยการเติมน้ำเพื่อให้เฟโนลิกและอนุพันธ์(ซึ่งไม่ชอบน้ำ)แยกตัวออกมาจากสารละลายได้ 2-methoxy-4-propyl-phenol และ 4-hydroxy-3-methoxy-benzoic acid methyl ester จากนั้นจึงระเหยสารละลายที่เหลือภายใต้สุญญากาศเพื่อดึงน้ำออกจะได้ไบโอโพลีออลซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลประกอบด้วย methyl  $\beta$ -D-mannofuranoside, methyl  $\alpha$ -D-galactopyranoside, methyl  $\alpha$ -D-glucopyranoside, and methyl  $\beta$ -D-glucopyranoside Zhang<sup>[75]</sup> ได้รวบรวมรายละเอียดของการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับกลไกและเส้นทางของปฏิกิริยาของการผลิตน้ำมันชีวภาพของชีวมวลจากแหล่งต่างๆ เช่น ขยะ เศษอาหาร ลิกโนเซลลูโลสจากส่วนต่างๆ ของพืชและสาหร่าย



ภาพที่ 3. ปริมาณของออกซิเจน ไฮโดรเจน คาร์บอน และค่าความร้อนของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากลิโคแพคชันทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดิบที่ได้จากทะเลเหนือ<sup>[47]</sup>

ภาพที่ 3<sup>[47]</sup> แสดงผลงานวิจัยระดับห้องทดลองในต้นปี 2556 ระหว่างมหาวิทยาลัย Aarhus และมหาวิทยาลัย Aalborg (ประเทศเดนมาร์ก) ร่วมกับบริษัท Steeper Energy ซึ่งสามารถปรับปรุงและควบคุมปริมาณของออกซิเจน ไฮโดรเจน คาร์บอน และค่าความร้อนของน้ำมันชีวภาพจากลิโคแพคชันจนได้ใกล้เคียงกับน้ำมันดิบจากทะเลเหนือแล้ว ในภาพที่ 4 Becker<sup>[48]</sup> ได้แสดงผลการทดลองของมหาวิทยาลัย Aarhus ที่แสดงว่าค่าyieldของน้ำมันที่ได้จะสูงขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำลิโคแพคชันสูงขึ้น ในขณะที่กากที่เหลือ (solid residue) จะลดลงเล็กน้อย



ภาพที่ 4. แนวโน้มของค่าyieldของน้ำมันชีวภาพ (สีน้ำเงิน) และกากของแข็ง (สีแดง) เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำลิโคแพคชันสูงขึ้น<sup>[48]</sup>

การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณและพลังงานความร้อนของน้ำมันชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรโดยวิธีไพโรไลซิสและวิธีไดเรคทีลโคแพคชันของชีวมวล

ต่างๆแสดงอยู่ในตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานความร้อนของน้ำมันชีวภาพจากวิธีไดเวคิเคอแพคชันส่วนใหญ่จะสูงกว่าน้ำมันชีวภาพจากวิธีไพโรไลซิส รายละเอียดของวิธีผลิตน้ำมันชีวภาพที่ให้ผลผลิตสูงและให้ค่าความร้อนสูงจะแสดงในภาคผนวก ข

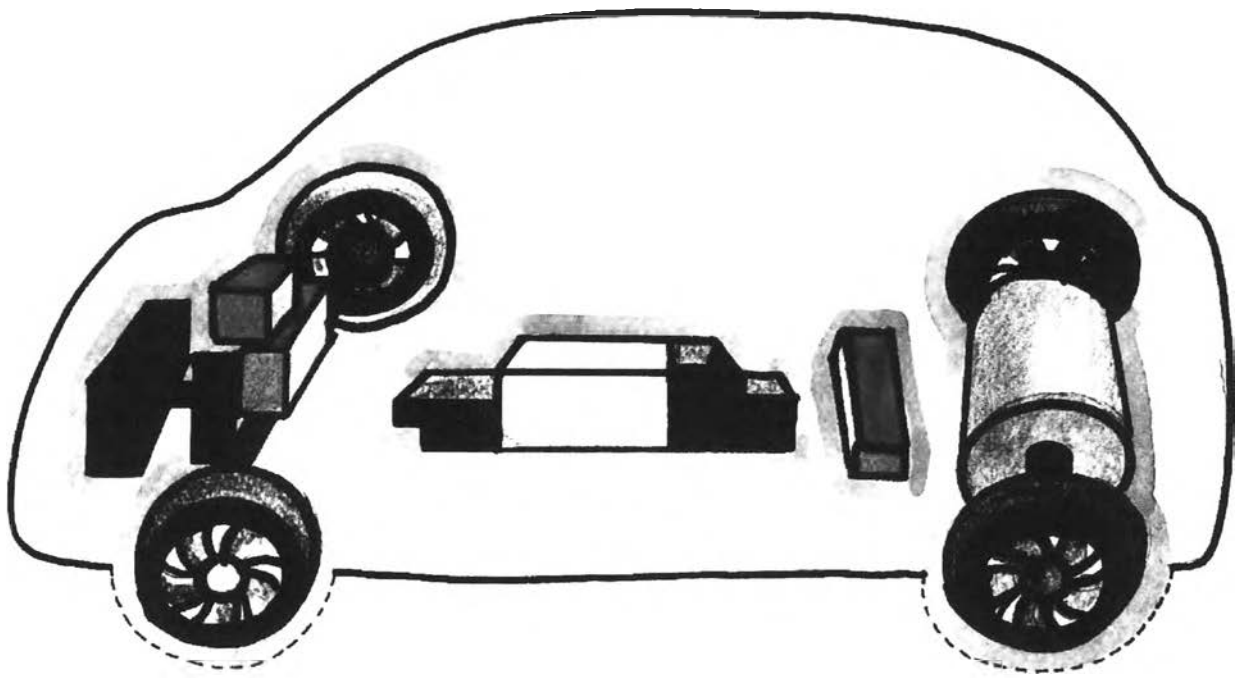
ตารางที่ 9 ปริมาณผลผลิตและค่าการให้ความร้อนของน้ำมันชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบต่างๆ

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณน้ำมันชีวภาพ (%)	พลังงานความร้อน (MJ/kg)
กากมันสำปะหลัง <sup>[49]</sup>	Fast pyrolysis	69.1	29.9
ลำต้นมันสำปะหลัง <sup>[49]</sup>		61.4	32.8
ซังข้าวโพด <sup>[50]</sup>	Direct liquefaction	75.8	17
ฟางข้าว <sup>[51]</sup>	Hydrothermal liquefaction	39.7	30.75
Switchgrass <sup>[52]</sup>	Pyrolysis	37	36.3
กากมันสำปะหลัง <sup>[53]</sup>	Fast pyrolysis	65	23.1
ลำต้นมันสำปะหลัง <sup>[53]</sup>		62	18.97
ต้นเบิร์ช (Silver birch) <sup>[54]</sup>	Direct liquefaction	53.3	30.1
ปาล์มน้ำมัน <sup>[55]</sup>	Solvolytic liquefaction	96.4	29.42
ฟางข้าว <sup>[56]</sup>	Hydrothermal liquefaction	21.62	-
ปุ๋ยคอก (ปุ๋ยมูลวัว) <sup>[57]</sup>	Hydrothermal liquefaction	67.6	34.7
ชานอ้อย <sup>[58]</sup>	Pyrolysis	56	23.5
Jatropha seedshell cake <sup>[59]</sup>	Pyrolysis	48	30.2
กะลาปาล์ม <sup>[60]</sup>	Pyrolysis	46.1	11.94
ซังข้าวโพด <sup>[61]</sup>	Pyrolysis	26.44	26.22
ลำต้นฝ้าย <sup>[62]</sup>	Fast pyrolysis	55	17.77
ลำต้นกระเทียม <sup>[63]</sup>	Fast pyrolysis	39.60	7.25
ลำต้นพริกไทย <sup>[63]</sup>		45.8	5.01
Miscanthus <sup>[64]</sup>	Fast pyrolysis	64 (2% ash)	19
ข้าวเปลือก <sup>[65]</sup>	Fast pyrolysis	60	-

ตารางที่ 9 ปริมาณผลผลิตและค่าการให้ความร้อนของน้ำมันชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณ น้ำมันชีวภาพ (%)	พลังงานความร้อน (MJ/kg)
ลำต้นออริกาโน (Oregano) <sup>[66]</sup>	Fast pyrolysis	39	-
ซังข้าวโพด <sup>[66]</sup>		41	-
ฟางข้าว <sup>[66]</sup>		35	-
ข้าวเปลือก <sup>[67]</sup>	Fast pyrolysis	56	17.42
สาหร่ายขนาดเล็ก <sup>[68]</sup>	Fast pyrolysis	25.8	30.74
ซังข้าวโพด <sup>[69]</sup>	Fast pyrolysis	43.64	-
ลำต้นข้าวโพด <sup>[69]</sup>		42.22	-
ทานตะวัน <sup>[69]</sup>		34.79	-
กิ่งต้นมะกอก <sup>[69]</sup>		37.95	-
แก่นต้นมะกอก <sup>[69]</sup>		48.23	-

# ไฮโดรเจน





## ไฮโดรเจน

ไฮโดรเจน (สัญลักษณ์ H) เป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้องความดันหนึ่งบรรยากาศ มีความหนาแน่นต่ำ (เบากว่าอากาศและก๊าซทุกชนิด) ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นพิษเมื่อหายใจเข้าสู่ร่างกายแต่ทำให้ปริมาณออกซิเจนเฉื่อยจางลง ไฮโดรเจนติดไฟง่าย (ติดไฟหรือจุดระเบิดในอากาศ ในช่วงความเข้มข้น 18.3-59 % โดยปริมาตร) แต่สีของเปลวไฟสังเกตเห็นได้ยากทำให้การควบคุมไฟที่ลุกลามทำได้ลำบาก สถานะของไฮโดรเจนที่รู้จักกันดีคือก๊าซและของเหลว (อุณหภูมิต่ำกว่า -253 องศาเซลเซียส) ไฮโดรเจนเป็นธาตุที่เบาที่สุดในตารางธาตุและมีมากที่สุดในจักรวาล ในธรรมชาติจะไม่พบไฮโดรเจนในรูปของโมเลกุลที่มีสองอะตอมแต่จะพบในรูปของสารประกอบของไฮโดรเจนจับกับคาร์บอน/ออกซิเจน/หรือธาตุอื่น ๆ มากกว่าเช่น น้ำ ไฮโดรคาร์บอน แอมโมเนีย น้ำตาล แป้ง ไขมัน ฯลฯ ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปให้กลับเป็นก๊าซไฮโดรเจนบริสุทธิ์ก่อนนำมาใช้งาน ด้วยกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน การเปลี่ยนรูป การแยกน้ำด้วยไฟฟ้า การสังเคราะห์แสง หรือการหมัก เป็นต้น การสันดาประหว่างไฮโดรเจนกับออกซิเจนจะเกิดไอน้ำซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและสภาวะโลกร้อนและให้พลังงานสูงถึง 142 MJ/kg (มีค่าพลังงานจำเพาะสูงที่สุดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนอื่นๆและสูงกว่าก๊าซโซลีนประมาณ 3.5 เท่า) นอกจากนี้ปฏิกิริยาไฟฟ้า-เคมีระหว่างไฮโดรเจนและออกซิเจนที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell, FC) ยังผลิตไฟฟ้าได้อีกด้วย ไฮโดรเจนจึงเป็นเป้าหมายที่ทั่วโลกจับตามองและพยายามพัฒนาให้เป็นแหล่งพลังงานหลักของโลกที่ยั่งยืนในอนาคตทั้งระยะใกล้และระยะไกลเนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาด (ลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกและก๊าซอื่นที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเทียบกับการใช้ก๊าซโซลีน) มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าสูง (เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงไม่มีอุปกรณ์ที่เคลื่อนไหวเหมือนเครื่องจักรกลทั่วไป) และมีความมั่นคงสูง (สามารถผลิตพลังงานได้อย่างต่อเนื่อง)

เซลล์เชื้อเพลิงเป็นเซลล์เคมี-ไฟฟ้าซึ่งเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยการป้อนไฮโดรเจนที่ขั้วบวกและป้อนออกซิเจนที่ขั้วลบโดยมีเซอร์โคเนียมไดออกไซด์เป็นตัวนำไฟฟ้าคั่นกลาง ที่ขั้วบวกไฮโดรเจนจะแตกตัวให้โปรตอนกับอิเล็กตรอน โปรตอนจะแพร่ผ่านตัวนำไฟฟ้าออกมาทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่ขั้วลบเกิดไอน้ำ ความร้อนและไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์ 0.7 โวลต์ต่อเซลล์ เมื่อนำเซลล์เชื้อเพลิงมาต่อแบบอนุกรม (เป็นชั้น/stack) จะได้ความต่างศักย์สูงขึ้นและเมื่อนำชั้นแบบอนุกรมมาต่อแบบขนานจะได้ศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟมากขึ้นตามต้องการเช่น 480V @ 60 Hz, 3 or 4-wire 3 phase ขนาด 100 kW, 200 kW, 400 kW หรือมากกว่านี้ ตัวนำไฟฟ้าที่คั่นระหว่างขั้วบวกและขั้วลบเช่นโพลีเมอร์ เซรามิก ฯลฯ จะเป็นตัวกำหนดชื่อของเซลล์เชื้อเพลิงเช่น เซลล์เชื้อเพลิงที่มีเมมเบรนโพลีเมอร์เป็นตัวนำไฟฟ้า (PEMFC), เซลล์เชื้อเพลิงที่มีเมมเบรนเป็นตัวแลกเปลี่ยนโปรตอน (AEMFC), เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (SOFC), เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้กรดฟอสฟอรัส (PAFC), เซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์ (AFC), เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์

บอเนทหลอมเหลว (MCFC), เซลล์เชื้อเพลิงแบบสังกะสี-อากาศ (ZAFC), และเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้  
จูลินทรีย์ (MFC) เป็นต้น การเปรียบเทียบคุณสมบัติและประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงแสดงอยู่  
ใน link [http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel\\_cell](http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell) ในสหรัฐอเมริกามีการผลิตเซลล์เชื้อเพลิง  
(เพื่อผลิตไฟฟ้าในทางการค้าหลายสิบปีมาแล้วเพื่อใช้ในโครงการอวกาศต่างๆ ตั้งแต่โครงการ  
อวกาศพอลโลเป็นต้นมา (ดู link <http://www.utcpower.com/products/space-defense> (ในต้น  
ปี 2556 UTC power ถูกควบกิจการเปลี่ยนเป็น ClearEdge Power) ในปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงส่วน  
ใหญ่ถูกใช้เป็นแหล่งไฟฟ้าหลักหรือใช้ร่วมกับกริดไฟฟ้าสำหรับอาคารสำนักงานสำหรับระบบ  
เทคโนโลยีสารสนเทศหรือระบบที่มีความสำคัญเพื่อป้องกันปัญหาไฟฟ้าดับในอุตสาหกรรม/  
สำนักงานใหญ่ของบริษัทข้ามชาติขนาดใหญ่/ตลาดหุ้น/อาคารตึกสูง (ดู link  
<http://www.bloomenergy.com/>) และใช้เป็นระบบไฟฟ้าหลักหรือสำรองสำหรับบ้านเรือน/เรือ  
ยนต์/เรือโดยสาร/เรือเดินทะเล/เรือดำน้ำ/เครื่องบิน เป็นต้น การพัฒนาโครงการรถไฟฟ้า  
(รถยนต์/รถโดยสาร/รถฟอร์คลิฟต์/รถจักรยานยนต์) ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานขับเคลื่อน  
นั้นมีมานานแล้ว ถึงปัจจุบันมีการผลิตรถยนต์และรถโดยสารเพื่อสาธิตและทดสอบแล้วกว่า 20  
แบบจากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ต่างๆ เช่น BMW, Mercedes Benz, Toyota, Hyundai, Nissan,  
Daimler AG เป็นต้น ซึ่งในช่วง 3-4 ปีมานี้ผู้ผลิตเหล่านี้ได้มีการประวิงโครงการออกไปหลายครั้ง  
จากปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับเซลล์เชื้อเพลิงโดยตรง (ต้นทุนที่สูง รูปแบบของการเก็บไฮโดรเจนที่  
จะใช้กับเซลล์เชื้อเพลิง ระยะทางเฉลี่ยที่เดินทางได้เมื่อเติมเชื้อเพลิงแต่ละครั้ง เวลาที่ใช้ในการเติม  
เชื้อเพลิงแต่ละครั้ง ความปลอดภัยในการเติมเชื้อเพลิง เป็นต้น) ซึ่งปัญหาเช่นนี้ทำให้กลุ่มผู้ผลิต  
รถยนต์หลายแห่งตัดสินใจเปลี่ยนไปผลิตรถไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นแหล่งพลังงาน  
ขับเคลื่อนออกมาจำหน่ายแทนในช่วงเวลา 2-3 ปีที่ผ่านมา แต่ในที่สุดในช่วงปลายปี พ.ศ. 2555  
บริษัทผลิตรถยนต์ขนาดใหญ่ 5-6 แห่งได้ตัดสินใจประกาศเดินหน้าพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้เซลล์  
เชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานขับเคลื่อนอีกครั้งโดยจะขยายจากระดับสาธิตและทดสอบเป็นระดับการ  
ผลิตเพื่อการค้าอย่างจริงจัง โดยมีเป้าหมายที่จะเริ่มจำหน่ายตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557-2559 เป็นต้นไป

ด้านการขนส่งและความปลอดภัยในสหรัฐอเมริกาแต่ละปีมีการขนส่งไฮโดรเจนทางท่อส่ง  
ยาว 700 ไมล์ และมีการขนส่งไฮโดรเจนเหลวกว่า 70 ล้านแกลลอนทางรถบรรทุก รวมถึงการเติม  
ไฮโดรเจนตามสถานีบริการทั่วโลกประมาณ 200 แห่ง(สำหรับรถโดยสาร รถบรรทุก รถยนต์ ฟอร์ค  
ลิฟต์ เรือประเภทต่างๆ) อย่างไรก็ตามไม่ค่อยมีรายงานอุบัติเหตุที่เกี่ยวข้องกับก๊าซไฮโดรเจนรั่ว  
และเกิดระเบิดขึ้นปรากฏบ่อยนักเนื่องจากไฮโดรเจนซึ่งเป็นธาตุที่เบาที่สุด (ในตารางธาตุ) จะ  
ลอยตัวขึ้นและกระจายตัวอย่างรวดเร็วทำให้โอกาสที่จะเกิดการระเบิดลดลง รายงานอุบัติเหตุที่  
เกี่ยวเนื่องกับไฮโดรเจนสามารถศึกษาได้จาก <http://www.h2incidents.org/>

[ข้อสังเกตหนึ่งที่น่าสนใจที่อุตสาหกรรมรถยนต์หยิบยกขึ้นมาพูดถึงคือ แม้เซลล์เชื้อเพลิงจะช่วยลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกให้เกือบเป็นศูนย์เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ก๊าซไฮโดรเจนก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาที่กระบวนการเปลี่ยนรูปซึ่งใช้ผลิตไฮโดรเจนจากไฮโดรคาร์บอน (มีเทน) เป็นหลักพบว่าผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาจะมีไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกิดขึ้นเป็นหลัก (และอาจมี เชม่า,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  และ  $\text{CO}_2$  ปนอยู่เล็กน้อย) ทำให้ก๊าซเรือนกระจกโดยรวมไม่ได้ลดลงเป็นศูนย์จริง (เนื่องจาก CO เป็นก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลน้อยแต่จะมีผลกระทบโดยอ้อมต่อโลกร้อนเนื่องจากจะไปทำลายอนุมูลไฮดรอกซิล (OH) ในอากาศซึ่งโดยปกติอนุมูลไฮดรอกซิลจะช่วยลดอายุของก๊าซเรือนกระจกอื่นๆให้สั้นลง) การลดก๊าซเรือนกระจกโดยรวมให้เป็นศูนย์จะต้องใช้กระบวนการผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีแยกน้ำด้วยไฟฟ้าโดยใช้ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานลมหรือจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานแทน หรือผลิตไฮโดรเจนโดยตรงจากการหมักวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และอุตสาหกรรมการเกษตรจากขยะ หรือน้ำเสียซึ่งจะไม่กระทบต่อการเพิ่มของก๊าซเรือนกระจกโดยรวม]

การผลิตไฮโดรเจน แหล่งวัสดุสำหรับผลิตไฮโดรเจนเพื่อใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงประกอบด้วยวัสดุที่มีไฮโดรเจนสูงเช่นไฮโดรคาร์บอนต่างๆ แอลกอฮอล์ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซชีวภาพ (จากแหล่งถ่านหิน จากการหมัก และจากการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ) ชีวมวล แอมโมเนียบอโรไฮไดรด์ เป็นต้น ไฮโดรเจนส่วนใหญ่ที่ผลิตในปัจจุบันได้จากการกระบวนการเปลี่ยนรูปมีเทน ซึ่งมีเทนจะทำปฏิกิริยากับไอน้ำที่อุณหภูมิสูงโดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาช่วย (เป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน) เกิดไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์เล็กน้อย การแยกน้ำด้วยไฟฟ้าเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการผลิตไฮโดรเจนโดยแหล่งไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้อาจได้จากกริดไฟฟ้า จากกังหันลม หรือจากเซลล์แสงอาทิตย์ก็ได้ การผลิตไฮโดรเจนโดยใช้จุลินทรีย์ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งเนื่องจากสาหร่ายบางชนิดและแบคทีเรียบางชนิดเช่น cyanobacteria ซึ่งเป็นสัตว์เซลล์เดียวสามารถผลิตไฮโดรเจนได้ในสภาวะที่เหมาะสม โซเดียมบอโรไฮไดรด์ ( $\text{NaBH}_4$ ) สามารถใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตไฮโดรเจนได้ด้วยเนื่องจากเมื่อละลายน้ำในสภาวะ pH เป็นกรดและมี  $\text{Co}^{2+}$  เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะสลายตัวให้ไฮโดรเจน (วิธีการนี้เหมาะกับการผลิตไฮโดรเจนเมื่อมีปัญหาเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายภาชนะบรรจุไฮโดรเจนซึ่งมีน้ำหนักมาก)

การผลิตไบโอไฮโดรเจน (จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรืออุตสาหกรรมการเกษตร ขยะ หรือน้ำเสีย) เป็นการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในวัสดุเหลือทิ้ง ขยะ หรือน้ำเสีย ให้เป็นไฮโดรเจนโดยตรงด้วยเอ็นไซม์ไฮโดรเจนเนส หรือเอ็นไซม์ไนโตรเจนเนส โดยการควบคุมสภาวะของการสังเคราะห์หรือการหมักด้วยจุลินทรีย์อย่างเหมาะสมจากจุลินทรีย์สี่กลุ่มคือ

1. ไบโอโฟโตไลซิสโดยตรง สาหร่ายเซลล์เดียวสีเขียวในช่วงแสงสีขาวเช่น *Chlamydomonas reinhardtii*, *Chlamydomonas moewusii*, *Scenedesmus obliquus* และ *Chlorella fusca* สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมีโดยการสังเคราะห์ไฮโดรเจน แต่ประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนจะต่ำเมื่อแสงสว่างมีความเข้มสูงเนื่องจากพลังงานส่วนเกินจะ

เปลี่ยนเป็นความร้อนและการเรืองแสง นอกจากนี้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นยังไปหน่วงการเกิดเอ็นไซม์ไฮโดรเจนเนสด้วย

2. ไบโอฟิลโตไลซิสทางอ้อมโดยไซยาโนแบคทีเรีย จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะทำงานเป็นสองขั้นตอนคือสังเคราะห์แสงเพื่อผลิตน้ำตาลในขั้นตอนแรก และในขั้นตอนที่สองใช้น้ำตาล น้ำ และแสงเพื่อผลิตไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น *Anabaena variabilis*, *Gloeocapsa alpicola*, *Rhodospirillum rubrum*, *Rubrivivax gelatinosus*

3. การหมักโดยแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนในที่สว่างเช่น *Rhodobacter sphaeroides* (purple non-sulfur bacteria, PNS), *Rhodopseudomonas palustris*, *Rhodopseudomonas capsulate*, *Rhodospirillum rubrum* เป็นต้น

4. การหมักโดยแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจนในที่มืดเช่น *Enterobacter aerogenes*, *Escherichia coli*, *Clostridium cellobioparum*, *Clostridium beijerinckii*, *Clostridium butyricum*, *Ruminococcus albus*, *Enterobacter cloacae* จุดเด่นของแบคทีเรียกลุ่มนี้คือสามารถผลิตไฮโดรเจนจากสารอินทรีย์ (น้ำตาลหรือลิกโนเซลลูโลส) ได้อย่างต่อเนื่องตลอดยี่สิบสี่ชั่วโมง เนื่องจากไม่ต้องการแสงในการหมัก Rittmann และ Herwig<sup>[76]</sup> ได้สรุปภาพรวมของการผลิตไฮโดรเจนโดยการหมักในที่มืดของจุลินทรีย์สามแฟมิลีคือ *Thermoanaerobacterales* (Family III), *Clostridiaceae* และ *Enterobacteriaceae*. Sen และคณะ<sup>[77]</sup> ได้สรุปภาพรวมของงานศึกษาวิจัยต่างๆในระดับห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฮโดรเจนซึ่งเริ่มตั้งแต่ปี 2519 ถึงปี 2551 โดยเปรียบเทียบยี่สิบห้าของการผลิตไฮโดรเจนของจุลินทรีย์ในสี่กลุ่มที่กล่าวข้างต้นเช่น *Chlamydomonas reinhardtii*, *Scenedesmus obliquus* และ *Chlorella fusca* จากการหมักขั้นตอนเดียวโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ (substrate) บริสุทธิ์สูงในการหมักเช่นน้ำตาลกลูโคส ซูโครส ไชโลส ฟรุกโตส เซลลูโลส แป้ง น้ำตาลรีดิคซ์ เป็นต้น ในช่วงเวลานี้มีเพียงไม่กี่บทความที่ใช้ของเสียหรือน้ำเสียเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ หรือใช้การหมักเป็นขั้นตอนด้วยจุลินทรีย์ต่างกลุ่มกันเช่นการใช้ *Chlamydomonas reinhardtii* ในขั้นตอนแรก และใช้ *Rhodospirillum rubrum* ในขั้นตอนที่สอง และในอีกบทความหนึ่งมีการใช้ *Chlamydomonas reinhardtii* กับ *Clostridium butyricum* ในขั้นตอนแรก (ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อต่างกันและแยกการหมักจากกัน) จากนั้นจึงหมักรวมกันด้วย *Rhodobacter sphaeroides* ในขั้นตอนสุดท้ายเป็นต้น ตัวแปรของการสังเคราะห์หรือการหมักเพื่อผลิตไฮโดรเจนของจุลินทรีย์ประกอบด้วยชนิดและจำนวนสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่ใช้ ลำดับของการหมัก ปริมาณของแบคทีเรีย pH ขณะที่เริ่มต้นหมัก อาหารที่ใช้เพาะเชื้อ อุณหภูมิที่ใช้หมัก สัดส่วนของ C/N เส้นทางการปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อสภาวะในการสังเคราะห์หรือการหมักแตกต่างกัน (เช่นมีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบอยู่ในอาหาร ปริมาณหรือความเข้มข้นของออกซิเจนในระบบ

แสงสว่างและช่วงความยาวคลื่นของแสงที่ใช้ในการสังเคราะห์หรือหมัก) และประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจน เป็นต้น สำหรับงานวิจัยตั้งแต่ปี 2552 เป็นต้นมาอาหารเลี้ยงจุลินทรีย์ก็เริ่มเปลี่ยนเป็นจากน้ำตาลบริสุทธิ์สูงเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือวัสดุหมุนเวียนที่หาได้ตามธรรมชาติทั้งนี้เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตในระยะยาวและเป็นการลดภาระในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ไปในตัวในขณะที่จุลินทรีย์หลักที่ใช้ในการหมักก็เริ่มเน้นที่จุลินทรีย์ในกลุ่มสามและกลุ่มสี่ซึ่งมีแนวโน้มที่เป็นไปได้มากที่สุดทางปฏิบัติ เช่นการใช้ *Enterobacter cloacae* ร่วมกับ *Rhodobacter sphaeroides* การใช้ *Rhodobacter sphaeroides* ร่วมกับ *Halobacterium salinarum* และการใช้ *Clostridium butyricum* ร่วมกับ *Citrobacter freundii* เป็นต้น สรุปได้ว่าการพัฒนาการผลิตไบโอไฮโดรเจนแบ่งออกได้สี่ขั้นตอนหลักซึ่งในปัจจุบันเป็นการพัฒนาอยู่ในขั้นตอนที่สามและสี่ ขั้นตอนเหล่านี้ประกอบด้วย

1. การศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อทำความเข้าใจกลไกในการสังเคราะห์ไฮโดรเจนเส้นทางของปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกิดขึ้น สภาวะเฉพาะที่ต้องควบคุมเพื่อให้ได้เส้นทางของปฏิกิริยาสังเคราะห์ไฮโดรเจนของจุลินทรีย์ต่างๆ ในสี่กลุ่มที่กล่าวข้างต้น เพื่อคัดเลือกสายพันธ์ที่ผลิตไฮโดรเจนได้มากที่สุดและมีประสิทธิภาพสูงสุด

2. การพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนโดยใช้เทคนิคการดัดแปลงยีนเข้าช่วยเพื่อควบคุมให้ได้เฉพาะเส้นทางของปฏิกิริยาที่ต้องการ และการศึกษาความเป็นไปได้ในการจับคู่จุลินทรีย์ และการจัดลำดับกระบวนการสังเคราะห์ไฮโดรเจนด้วยแสงสว่างและกระบวนการหมักเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ปริมาณและประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนสูงสุดในระดับห้องปฏิบัติการ

3. การเปลี่ยนแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตไฮโดรเจนในห้องปฏิบัติการ (จากน้ำตาลกลูโคส ซูโครส ฟรุคโตส ซึ่งมีความบริสุทธิ์สูง) เป็นน้ำตาลจากแหล่งอื่นๆ ที่หาได้ทั่วไป เช่นหางนมที่แยกเนยออกแล้ว ของเสียจากการผลิตเต้าเจี้ยว หรือจากแหล่งน้ำตาลที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น (ซึ่งต้องเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลรีดิซก่อน) เช่นกากน้ำตาล คาร์โบไฮเดรต แป้ง เซลลูโลส ชานอ้อย ลิกโนเซลลูโลสในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร ของเสียในรูปของแข็งและ น้ำเสีย ซึ่งสิ่งเหล่านี้จัดเป็นแหล่งทรัพยากรหมุนเวียนที่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายของวัตถุดิบในระยะยาว รวมถึงการใช้จุลินทรีย์ในธรรมชาติย่อยสลายแหล่งน้ำตาลที่มีโมเลกุลใหญ่เหล่านี้โดยตรงเพื่อผลิตไฮโดรเจน

4. การขยายระดับการผลิตจากระดับห้องปฏิบัติการสู่ระดับโรงทดลอง และระดับอุตสาหกรรมการผลิต

รายละเอียดของการศึกษาและพัฒนาการผลิตไฮโดรเจนในขั้นตอนที่สามซึ่งเน้นที่จุลินทรีย์กลุ่มที่หมักแบบไม่ใช้อากาศเป็นหลัก จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่างๆ แสดงอยู่ในตารางที่ 10

ซึ่งพบว่าการหมักทางนมที่แยกเนยออกแล้วจะให้ปริมาณของไฮโดรเจนสูงสุด โดยรายละเอียดของ  
ขั้นตอนการผลิตไฮโดรเจนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ให้ผลดีที่สุดจะแสดงอยู่ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 10 ปริมาณไฮโดรเจนที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักด้วยถังปฏิกรณ์แบบไร้อากาศ

วัตถุดิบ	การเตรียมวัตถุดิบก่อนหมัก	กระบวนการหมัก	ปริมาณไฮโดรเจนที่ได้ (มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมของวัตถุดิบ)
ฟางข้าวโพด <sup>[78, 79]</sup> (Corn straw)	แช่ตัวอย่างในไอน้ำที่ความดัน 1.5 เมกะปาสคาล นาน 10 นาที จากนั้นเปิดถังให้มีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศในทันที	ถังปฏิกรณ์แบบ Batch ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	68
ใบและขังข้าวโพด <sup>[78, 80]</sup> (Corn stover)	แช่ตัวอย่างในไอน้ำความดันสูงที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที	ถังปฏิกรณ์แบบ Batch ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	49
ใบและขังข้าวโพด <sup>[78, 80]</sup> (Corn stover)	แช่ตัวอย่างในกรดซัลฟริกเข้มข้น 1.2 เปอร์เซ็นต์ 200 องศาเซลเซียส 1 นาที	ถังปฏิกรณ์แบบ Batch ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	66
ลำต้น กิ่งก้านของต้นข้าวโพด <sup>[76, 81]</sup> (Corn stalk)	ผสมตัวอย่างกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ และต้ม นาน 30 นาที	ถังปฏิกรณ์แบบ Batch ที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส	57
ลำต้น กิ่งก้านของต้นข้าวโพด <sup>[76, 81]</sup> (Corn stalk)	ผสมตัวอย่างกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.2 และต้ม นาน 30 นาที	ถังปฏิกรณ์แบบ Batch ที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส	150
ใบข้าวโพด <sup>[76, 82]</sup> (Maize leave)	130 องศาเซลเซียส 30 นาที	ถังปฏิกรณ์แบบ Batch ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	42
ขานอ้อย <sup>[78, 82]</sup> (Bagasse)	130 องศาเซลเซียส 30 นาที	ถังปฏิกรณ์แบบ Batch ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	19.6
ฟางข้าวสาลี <sup>[78, 82]</sup> (Wheat straw)	130 องศาเซลเซียส 30 นาที	ถังปฏิกรณ์แบบ Batch ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	49
รำข้าว <sup>[78, 83]</sup> (Rice bran)	n.d.	ถังปฏิกรณ์แบบ Batch ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	61
ฟางข้าวสาลี <sup>[73, 84]</sup> (Wheat straw)	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ และคลื่นไมโครเวฟ	ถังปฏิกรณ์แบบ Batch ที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส	68

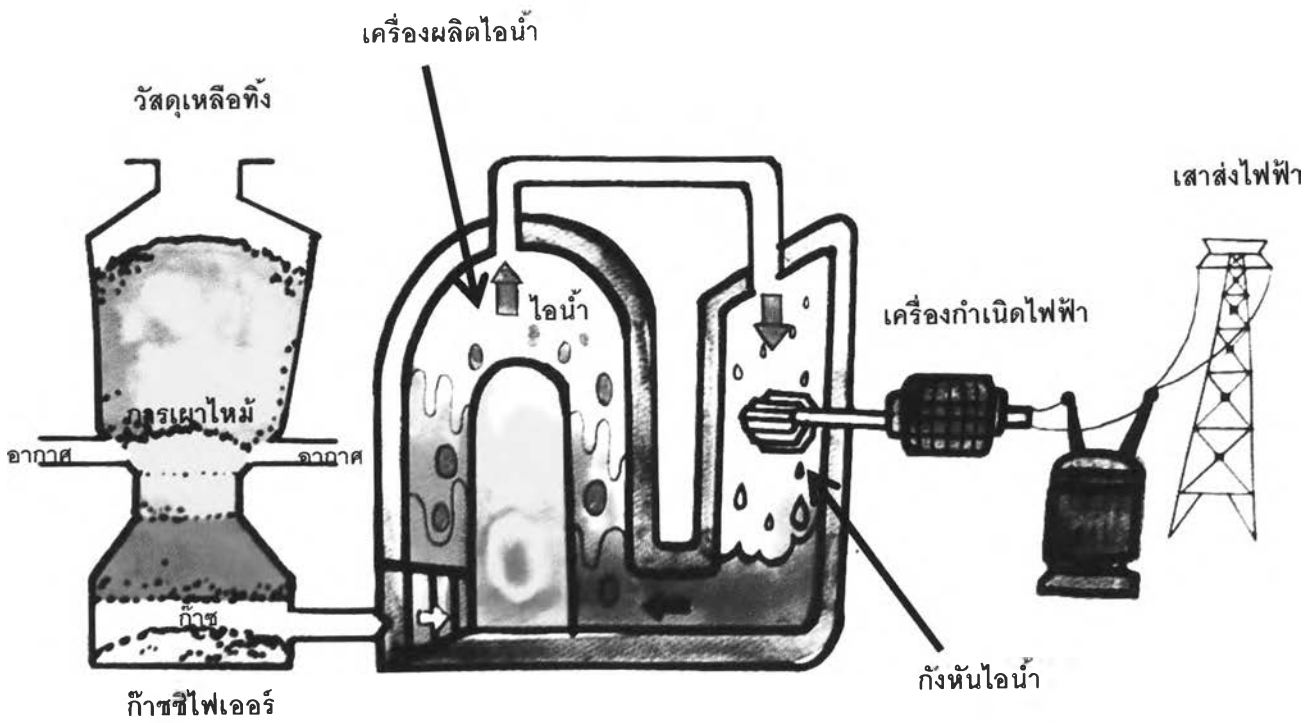
ตารางที่ 10 ปริมาณไฮโดรเจนที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักด้วยถังปฏิกรณ์แบบไร้อากาศ (ต่อ)

วัตถุดิบ	การเตรียมวัตถุดิบก่อนหมัก	กระบวนการหมัก	ปริมาณไฮโดรเจนที่ได้ (มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมของวัตถุดิบ)
รำข้าวสาลี <sup>[78, 82]</sup> (Wheat bran)	n.d.	ถังปฏิกรณ์แบบ Batch ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	43
ของเสียจากการผลิตเต้าเจี้ยว <sup>[78, 83]</sup> (Bean curd manufacturing waste)	n.d.	CSTR*	21
หางนมที่แยกเนยออกแล้ว <sup>[78, 85]</sup> (Cheese whey)	เติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ในตัวอย่าง	CSTR ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	290
น้ำเสียจากโรงหีบน้ำมันปาล์ม <sup>[78, 86]</sup> (Palm oil mill effluent)	-	ถังปฏิกรณ์แบบ Batch ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	84.4
กากน้ำตาล <sup>[78, 97]</sup> (Molasses)	-	CSTR ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส	2.5 มิลไฮโดรเจนต่อโมลซูโครส
กากน้ำตาล <sup>[78, 88]</sup> (Molasses)	-	CSTR ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	2.1 มิลไฮโดรเจนต่อโมลซูโครส
เศษผัก <sup>[89]</sup> (Vegetable waste)	-	การย่อยสลายฟางข้าวและขยะแบบไม่ใช้อากาศ	21.95
หัวเชื้อจากฟางข้าวสาลีและมูลวัว <sup>[89, 90]</sup> (Wheat straw and cow dung compost seed)	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ และให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ	ถังปฏิกรณ์แบบ Batch ที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส	68
หัวเชื้อจากฟางข้าวและตะกอนน้ำเน่า <sup>[89], [91]</sup> (Rice straw and sewage sludge seed)	กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ และให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ	ถังปฏิกรณ์แบบ Batch ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส	0.74 มิลลิไฮโดรเจนต่อกรัมฟางข้าว
กลูโคส <sup>[92]</sup>	-	การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ	2 มิลไฮโดรเจนต่อโมลกลูโคส
กลูโคส <sup>[93]</sup>	-	ถังปฏิกรณ์แบบ Batch ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส	2 มิลไฮโดรเจนต่อโมลกลูโคส
กลูโคส <sup>[75]</sup>	-	การหมักแบบไม่ใช้แสง	4 มิลไฮโดรเจนต่อโมลกลูโคส

\*CSTR: Continuous Stirred-Tank Reactor



# พลังงานไฟฟ้า



## พลังงานไฟฟ้า

ภาคเกษตรกรรมเป็นกลุ่มงานที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยมีบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับภาคเกษตรกรรมถึง 65% ของประชากรของประเทศทำงานบนพื้นที่ขนาดใหญ่กว่า 122.2 ล้านไร่ และมีผลผลิตและวัสดุเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากที่เกิดขึ้น ซึ่งในสมัยก่อนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้ ไม่ได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์เท่าที่ควร จากข้อมูลที่รวบรวมได้ในปีพ.ศ. 2544 ประเทศไทยมีปริมาณวัสดุเหลือทิ้งในภาคเกษตรกรรมสูงถึง 66 ล้านตัน แต่มีเพียง 1 ใน 3 หรือประมาณ 22 ล้านตันที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงาน ส่วนอีก 44 ล้านตันถูกปล่อยทิ้งในธรรมชาติหรือกำจัดทิ้งโดยไม่ได้เกิดประโยชน์ ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2544 เป็นต้นมาประเทศไทยมีความต้องการไฟฟ้าสูงขึ้นประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ทุกปี ดังนั้นการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานซึ่งช่วยแก้ปัญหาภาวะการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งไปด้วยจึงช่วยแก้ปัญหาความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศได้เป็นอย่างดี

ผลผลิตของอ้อย ข้าว ข้าวโพด และปาล์มน้ำมัน ของประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปีตั้งแต่ปีพ.ศ. 2548 ถึงปีพ.ศ. 2553 ส่วนพืชชนิดอื่นๆ ค่อนข้างจะมีผลผลิตที่คงที่ ยกเว้นมันสำปะหลังที่มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในตารางที่ 11

อ้อยเป็นพืชที่มีผลผลิตสูงสุดซึ่งก่อให้เกิดเป็นวัสดุเหลือทิ้งสูงสุดเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่นๆ ในทุกปี ในปีพ.ศ. 2553 มีวัสดุเหลือทิ้งจากอ้อยมีปริมาณสูงถึง 37.57 เมกะตัน ซึ่งคิดเป็น 52.2 เปอร์เซ็นต์หรือกว่าครึ่งหนึ่งของวัสดุเหลือทิ้งทั้งหมด ซึ่งปริมาณวัสดุเหลือทิ้งในภาคอุตสาหกรรมทั้งหมดสามารถนำไปผลิตพลังงานทั้งหมดได้สูงถึง 619.80 เพตะจูล หรือ ~19.6 กิกะวัตต์ต่อปี หากเปรียบเทียบกับประเทศมาเลเซียซึ่งมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลัก 3 ชนิด คือ อ้อย ปาล์มน้ำมัน และมะพร้าว ดังตารางที่ 12 จะพบว่าประเทศมาเลเซียมีการผลิตปาล์มน้ำมันมากกว่าประเทศไทยมาก แต่มีการผลิตอ้อยน้อยกว่า และหากรวมพลังงานที่สามารถผลิตได้ของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทั้งไทยและมาเลเซียรวมกัน จะมีปริมาณสูงกว่า 1,000 เพตะจูล ซึ่งพลังงานเหล่านี้สามารถสร้างความมั่นคงทางพลังงานให้แก่ภูมิภาคอาเซียนได้อย่างแน่นอน

ตารางที่ 11 ปริมาณผลผลิตและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของพืชในกลุ่มที่มีแนวโน้มที่สามารถนำวัสดุเหลือทิ้งไปแปรรูปเป็นพลังงานของประเทศไทย ประจำปีพ.ศ. 2540, 2548 และ 2553<sup>[94, 95]</sup>

วัสดุเหลือทิ้ง	ปริมาณเหลือทิ้ง (เมกะตัน)			ส่วนเหลือทิ้ง	ปริมาณวัสดุที่ใช้ ผลิตพลังงาน (เมกะตัน)			ปริมาณไฟฟ้าที่ได้ (เพตะจูล)		
	2540	2548	2553		2540	2548	2553	2540	2548	2553
อ้อย	56.39	63.61	68.58	ชานอ้อย	14.1	15.9	17.15	90.65	102.15	110.14
				ส่วนอื่นๆ	16.79	18.9	20.42	114.52	129.18	139.27
ข้าว	22.33	23.73	24.66	แกลบ	5.14	5.46	5.67	66.01	70.15	72.86
				ฟางข้าว	6.83	7.26	7.54	60.29	64.08	66.56
ปาล์มน้ำมัน	2.69	4.03	5.2	ทะลายเปล่า	0.71	1.06	1.37	11.62	17.42	22.45
				เส้นใยรอบกะลา	0.39	0.59	0.76	6.35	9.52	12.27
				กะลา	0.08	0.12	0.16	1.4	2.1	2.71
				ทางปาล์ม	7	10.5	13.53	55.8	83.7	107.83
				ทะลายตัวผู้	0.63	0.94	1.21	9.31	13.96	18
มะพร้าว	1.42	1.42	1.42	เปลือก	0.45	0.45	0.45	6.7	6.7	6.7
				กะลา	0.18	0.18	0.18	2.96	2.96	2.96
				ทะลายเปล่า	0.07	0.07	0.07	0.96	0.96	0.96
				ทางมะพร้าว	0.31	0.31	0.31	4.49	4.49	4.49
มันสำปะหลัง	18.08	15.85	14.59	เปลือก	0.65	0.57	0.52	11	9.63	8.88
ข้าวโพด	4.53	5.43	6.07	ชังข้าวโพด	0.98	1.17	1.31	16.26	19.46	21.78
ถั่ว	0.15	0.16	0.17	เปลือก	0.05	0.05	0.05	0.53	0.53	0.53
ฝ้าย	0.08	0.08	0.08	stalk	0.24	0.24	0.24	3.17	3.17	3.17
ถั่วเหลือง	0.36	0.36	0.36	เปลือกและใบ	0.73	0.73	0.73	13.2	13.2	13.2
ข้าวฟ่าง	0.23	0.26	0.29	ใบและลำต้น	0.22	0.25	0.28	3.84	4.49	4.95
รวม	106.26	114.92	121.4		55.5	64.8	71.95	479.06	557.9	619.8

ตารางที่ 12 ปริมาณผลผลิตและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของพืชในกลุ่มที่มีแนวโน้มที่สามารถนำวัสดุเหลือทิ้งไปแปรรูปเป็นพลังงานของประเทศมาเลเซีย ประจำปีพ.ศ. 2543, 2548 และ 2552<sup>[96]</sup>

วัสดุเหลือทิ้ง	ปริมาณเหลือทิ้ง (เมกะตัน)			ส่วนเหลือทิ้ง	ปริมาณวัสดุที่ใช้ผลิตพลังงาน (เมกะตัน)			ปริมาณไฟฟ้าที่ได้ (เพตะจูล)		
	2543	2548	2552		2543	2548	2552	2543	2548	2552
อ้อย	1.6	0.95	0.7	ชานอ้อย	0.4656	0.2765	0.2937	3.352	3.352	1.467
				ส่วนอื่นๆ	0.4832	0.2869	0.2114	2.521	2.521	1.103
ปาล์ม น้ำมัน	48.05	60.66	90.07	ทลายเปล่า	20.57	25.96	38.55	127.59	127.59	239.17
				เส้นใยรอบ กะลา	7.06	8.92	1.32	51.97	51.97	97.42
				กะลา	2.35	2.97	4.41	37.13	37.13	69.59
มะพร้าว	0.734	0.571	0.459	เปลือก	0.266	0.207	0.166	4.315	4.315	2.701
				กะลา	0.118	0.0914	0.08735	2.107	2.107	1.319
				ทลายเปล่า	0.036	0.028	0.022	0.554	0.554	0.347
				ใบมะพร้าว	0.165	0.128	0.103	2.644	2.644	1.655
รวม	50.384	62.18 1	91.22 9	-	31.51	38.87	45.16	232.18	232.18	414.77

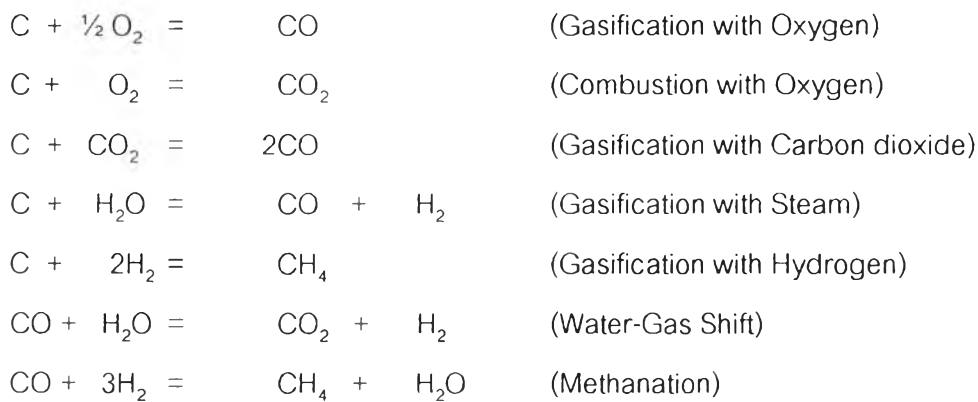
เทคโนโลยีที่นิยมใช้ในการเผาวัสดุหรือเชื้อเพลิงมี 3 แบบ คือไพโรไลซิส (Pyrolysis) ก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification) และการเผาแบบสันดาป (Combustion)<sup>[96]</sup>

ไพโรไลซิสเป็นการให้ความร้อนวัตถุดิบที่ช่วงอุณหภูมิ 300-600 องศาเซลเซียสในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจนซึ่งจะเปลี่ยนวัตถุดิบ (feedstock) เช่น ถ่านหิน ไม้ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร เป็นของเหลว (น้ำมันชีวภาพ หรือน้ำมันดิน) ก๊าซเชื้อเพลิง ทั้งที่ควบแน่นและไม่ควบแน่น และถ่านจากถ่านหินหรือถ่านชีวภาพ โดยไม่มีการสันดาปเกิดขึ้น ซึ่งน้ำมันชีวภาพนี้สามารถนำไปใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิลได้ ไพโรไลซิส มี 3 แบบ คือไพโรไลซิสแบบช้า แบบเร็ว และแบบแฟลช (ดูรายละเอียดในหัวข้อ "น้ำมันชีวภาพ")

ก๊าซซิฟิเคชันเป็นกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วย CO และ H<sub>2</sub> เป็นหลัก (เรียก producer gas/coal gas/town gas/illumination gas/synthesis gas/synthetic gas/syngas) เพื่อให้แสงสว่างถนนและให้ความร้อน/แสงสว่างบ้านเรือนและอุตสาหกรรมในเมือง (เริ่มใช้ในปี 2393) โดยการเผาเชื้อเพลิงแข็งเช่นถ่านหิน ไม้ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร ฯลฯ ให้กลายเป็นก๊าซ CO<sub>2</sub> ก่อนทำปฏิกิริยากับไอน้ำที่อุณหภูมิสูง

ก๊าซเชื้อเพลิงจากก๊าซซิฟิเคชันที่ใช้อากาศ (จะมีก๊าซไนโตรเจนปนอยู่) จะให้ค่าความร้อนต่ำซึ่งเหมาะกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ส่วนก๊าซเชื้อเพลิงจากก๊าซซิฟิเคชันที่ใช้ออกซิเจนหรือน้ำจะให้ค่าความร้อนสูงปานกลางซึ่งสามารถนำไปผลิตไอน้ำหรือผลิตความร้อนเพื่อใช้กับกระบวนการต่างๆ ในอุตสาหกรรมหรือส่งทางท่อเพื่อใช้งานตามความเหมาะสม

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในก๊าซซิฟิเคชันประกอบด้วย



โดยภาพรวมเกี่ยวกับก๊าซซิฟิเคชันศึกษาได้จากบทความของ Samy Sakada <sup>[97]</sup>

การเผาแบบสันดาป เป็นการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนจากอากาศโดยเกิดออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์ซึ่งจะให้ความร้อนที่ช่วงอุณหภูมิ 800-1000 องศาเซลเซียส ความร้อนที่ได้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ หรือนำไปผลิตไอน้ำสำหรับเดินเครื่องกังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าตามลำดับ วิธีนี้เหมาะกับเชื้อเพลิงแข็งที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีความชื้นน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ <sup>[98]</sup>

จากตารางที่ 13 จะเห็นได้ว่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงจะนิยมใช้การเผาแบบสันดาป การเผาแบบก๊าซซิฟิเคชันและการเผาแบบไพโรไลซิสตามลำดับ โดยมีกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 300 เมกะวัตต์ซึ่งไม่สูงนัก (เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ถ่านหินหรือน้ำมันเป็นเชื้อเพลิง)

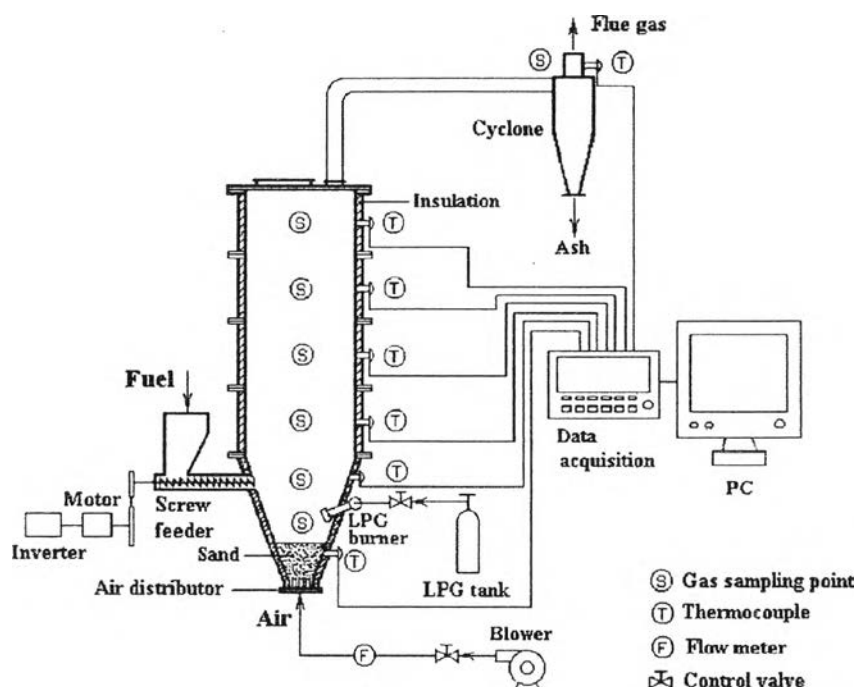
รายงานของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียเดือนตุลาคมในปี 2553 <sup>[99]</sup> ระบุว่าจากการสำรวจโรงงานที่มีการใช้ก๊าซซิฟิเคชัน 25 แห่งพบว่าเป็นของเอกชน 18 แห่งและเป็น R&D หรือโรงงานสาธิตของรัฐบาลหรือของมหาวิทยาลัย 7 แห่ง โดยเน้นการผลิตความร้อนสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต (ผลิตไฟฟ้าเป็นรอง) 20 แห่ง (มีกำลังผลิตสูงสุดที่ 4x500 MWth) และมีโรงงานที่เน้นการผลิตไฟฟ้า 5 แห่ง (มีกำลังการผลิตสูงสุดที่ 1.5 MWe) โดยใช้แกลบ ชังข้าวโพด ถ่าน เศษไม้ ชีวมวลอื่นๆ (รวมทั้งเศษพลาสติก และยางรถยนต์เก่าอย่างละหนึ่งแห่ง) เป็นเชื้อเพลิงโดยใช้เทคโนโลยีของเอเชียหรือเทคโนโลยีในประเทศเนื่องจากต้องการลดต้นทุนค่าเชื้อเพลิงและได้รับส่วนเพิ่มค่าไฟจากรัฐ (feed-in tariff) เมื่อขายไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้การไฟฟ้าฯ

ตารางที่ 13 วิธีการในการผลิตพลังงานจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและค่าพลังงานเฉลี่ยที่ได้<sup>[96]</sup>

วิธีการ	อุปกรณ์	ประเภทของพลังงาน ที่ได้	ลักษณะของวัสดุเหลือทิ้งที่นิยมใช้	ขนาดอนุภาคที่เหมาะสม (มิลลิเมตร)	ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	กระแสไฟฟ้าที่ได้ (เมกะวัตต์)
การเผาแบบ สันดาป	Stove/Furnace	ความร้อน	เศษไม้	ขึ้นกับขนาดของเตาเผา แต่ ขนาดที่เหมาะสมกับเตาแบบ เปิด คือ 6-50 มม	10-30	
	Pile burners	ความร้อน ไอน้ำ	เศษไม้และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	ขึ้นกับขนาดและลักษณะของ เตาเผา	<65	4 to 110
	Stoker grate boiler	ความร้อน ไอน้ำ	ชี้เลื่อย เปลือกไม้ที่ไม่เหนียว ไม้แผ่นบาง เศษไม้	6-50	10-50	20-300
	Suspension boiler	ความร้อน ไอน้ำ	ชี้เลื่อย เปลือกไม้ที่ไม่เหนียว ไม้แผ่นบาง เศษไม้ แปะ ฟูนทราย ฟูนผงไม้	1-6	<20	1.5-30
	Fluidized bed combustor	ความร้อน ไอน้ำ	เชื้อเพลิงที่มีสัณฐานประกอบ ของอัลคาไลน์ต่ำ ไม้ที่เหนียว	<50	<60	300
ก๊าซซิพีเคชั่น	Current fixed bed	ก๊าซที่ให้พลังงานต่ำ	เศษไม้ ข้าวเปลือก ตะกอนจากสิ่งปฏิกูล	6-100	<20	5-90
	Downdraft, moving bed		เศษไม้ เปลือกถั่ว	<50	15	25-100
	Circulating fluidized bed	ก๊าซที่ให้พลังงาน ปานกลาง	เศษไม้และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	6-50	15-50	5-10
ไพโรไลซิส	Reactors	น้ำมันจากการไพโรไลซิส ถ่านหิน	เศษไม้และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	1-6	<10	2.5

## วิธีการเผาด้วยวิธีก๊าซซิฟิเคชันแบบฟลูอิดไดซ์เบด

ในบรรดาวิธีการเผาโดยตรงด้วยเทคนิคต่างๆ งานวิจัยหลายแห่งยืนยันข้อมูลตรงกันว่า การเผาด้วยวิธีก๊าซซิฟิเคชันแบบฟลูอิดไดซ์เบดเป็นวิธีการเผาให้พลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และเหมาะสมกับวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรซึ่งส่วนใหญ่มีองค์ประกอบหลักเป็นเนื้อไม้หรือลิกโนเซลลูโลส เทคนิคการเผาโดยตรงนี้ยังเป็นที่ยอมรับว่ามีการปลดปล่อยมลพิษน้อยมากเพราะวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรมีส่วนประกอบของซัลเฟอร์ (S) และคลอรีน (Cl) ในปริมาณต่ำมาก การปลดปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) จึงมีปริมาณต่ำมากจนถือว่าไม่เกิดขึ้น มีแต่เพียงคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) ที่เป็นก๊าซมลพิษที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 5 องค์ประกอบของเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดรูปทรงโคน (Conical fluidized bed combustor: conical FBC)

จากภาพที่ 5 เตาเผารูปทรงโคนแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนกรวยทำมุมเอียงอยู่ด้านล่างมีความสูง 1 เมตร และส่วนทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.9 เมตรอยู่ด้านบนมีความสูง 2 เมตร โครงสร้างผิวนอกเป็นเหล็กหนา 4.5 มิลลิเมตรเคลือบผิวนอกด้วยสังกะสีหนา 1 มิลลิเมตร ผิวด้านในเป็นเซรามิกไฟเบอร์มีความหนา 50 มิลลิเมตร การทำงานเริ่มจากการเผาชั้นทรายที่อยู่ก้นเตาด้วยเชื้อเพลิงปิโตรเลียมเหลวให้มีอุณหภูมิสูงตามต้องการ จากนั้นป้อนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ผ่านการบดให้มีขนาดเล็กลงตามขนาดของชั้นทรายร้อนด้วยเครื่องบดแบบเกลียว จากนั้นเติมอากาศผ่านชั้นทรายเพื่อช่วยให้วัสดุที่อยู่บนชั้นทรายได้รับความร้อนและเกิดการสันดาป ภายในเตาเผาจะมีเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ พร้อมกับการตรวจวัดปริมาณก๊าซมลพิษที่เกิดขึ้นจากการสันดาป และการรวบรวมเถ้าลอยจากการสันดาปด้วยแอร์ไซโคลน ตัวแปรสำคัญในการทดลองนี้คือ อัตราการ

ป้อนเชื้อเพลิงและอากาศที่ใช้กับเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ตัวแปรอื่นที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการเผาประกอบด้วยอุณหภูมิ/ความดัน/ความหนาของชั้นทราย ความชื้นในเชื้อเพลิงและขนาดของเชื้อเพลิง เป็นต้น

ตารางที่ 14 ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เกิดขึ้นเมื่อเผาวัสดุที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง และปริมาณอากาศแตกต่างกัน<sup>[100]</sup>

เชื้อเพลิง ชีวมวล	อัตราการป้อน เชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อ ชั่วโมง)	ปริมาณ อากาศ (เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร)	ปริมาณ คาร์บอนมอนนอกไซด์ ที่ความสูง 2.75 เมตร (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	ปริมาณ คาร์บอนมอนนอกไซด์ ที่ทางออกของไซโคลน (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)	สัดส่วน การ ลด มลพิษ
ขี้เลื่อย	81.5	16.9	1.401	0.940	1.49
	81.5	61.1	0.116	0.076	1.53
	81.5	99.8	0.080	0.035	2.29
แกลบ	82.4	16.3	1.586	1.319	1.20
	82.4	59.6	0.596	0.116	5.14
	82.4	100.7	0.374	0.065	5.75
ชานอ้อย	70.0	17.3	1.529	1.001	1.53
	70.0	60.7	0.312	0.198	1.58
	70.0	101.1	0.101	0.083	1.22

จากตารางที่ 14 พบว่าก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จากการเผาแกลบที่ปริมาณอากาศ 100 เปอร์เซ็นต์ มีสัดส่วนการลดมลพิษสูงสุด เนื่องจากเนื้อที่ผิวของแกลบและถ้าปริมาณมากที่เกิดขึ้นทำหน้าที่ดูดซับคาร์บอนมอนนอกไซด์ได้ดี จากตารางที่ 15 พบว่าก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเผาแกลบจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณอากาศที่เพิ่มขึ้นแต่ถือว่ามีปริมาณน้อยมากและไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากในวัสดุมีปริมาณไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบน้อยมากเมื่อเทียบกับอากาศที่เติมเข้าไป และพบว่าประสิทธิภาพของการเผาจะมีค่าสูงกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ สำหรับขี้เลื่อยและชานอ้อย หากเติมปริมาณอากาศที่ 60-100 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 16



ตารางที่ 15 ปริมาณไนโตรเจนมอนนอกไซด์ที่เกิดขึ้นเมื่อเผาวัสดุที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง และ ปริมาณอากาศแตกต่างกัน<sup>[100]</sup>

เชื้อเพลิง ชีวมวล	อัตราการป้อน เชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อ ชั่วโมง)	ปริมาณ อากาศ (เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร)	ปริมาณไนโตรเจนมอน นอกไซด์ที่ความสูง 2.75 เมตร (ส่วนในล้านส่วน)	ปริมาณไนโตรเจนมอน นอกไซด์ที่ทางออกของ ไซโคลน (ส่วนในล้านส่วน)	สัดส่วน การ ลดมลพิษ
ชีเลื่อย	81.5	16.9	109	80	1.36
	81.5	61.1	123	112	1.10
	81.5	99.8	144	125	1.15
แกลบ	82.4	16.3	136	127	1.07
	82.4	59.6	191	157	1.22
	82.4	100.7	219	172	1.27
ชานอ้อย	70.0	17.3	91	77	1.18
	70.0	60.7	116	96	1.21
	70.0	101.1	131	121	1.09

ตารางที่ 16 ประสิทธิภาพการเผาไหม้เมื่อเผาวัสดุที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศ  
แตกต่างกัน<sup>[100]</sup>

เชื้อเพลิง ชีวมวล	อัตราการ ป้อนเชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อ ชั่วโมง)	ปริมาณ อากาศ (เปอร์เซ็นต์ โดย ปริมาตร)	ปริมาณไนโตรเจนมอน นอกไซด์ที่ความสูง 2.75 เมตร (ส่วนในล้านส่วน)	ปริมาณไนโตรเจนมอน นอกไซด์ที่ทางออกของ ไซโคลน (ส่วนในล้านส่วน)	สัดส่วน การ ลดมลพิษ
ชีเลื่อย	81.5	16.9	3.51	0.01	96.48
	81.5	61.1	0.39	0.02	99.59
	81.5	99.8	0.16	0.02	99.82
แกลบ	82.4	16.3	4.29	12.47	83.24
	82.4	59.6	0.53	13.15	86.32
	82.4	100.7	0.34	18.35	81.31
ชานอ้อย	70.0	17.3	3.72	0.02	96.26
	70.0	60.7	0.81	0.03	99.16
	70.0	101.1	0.53	0.06	99.41

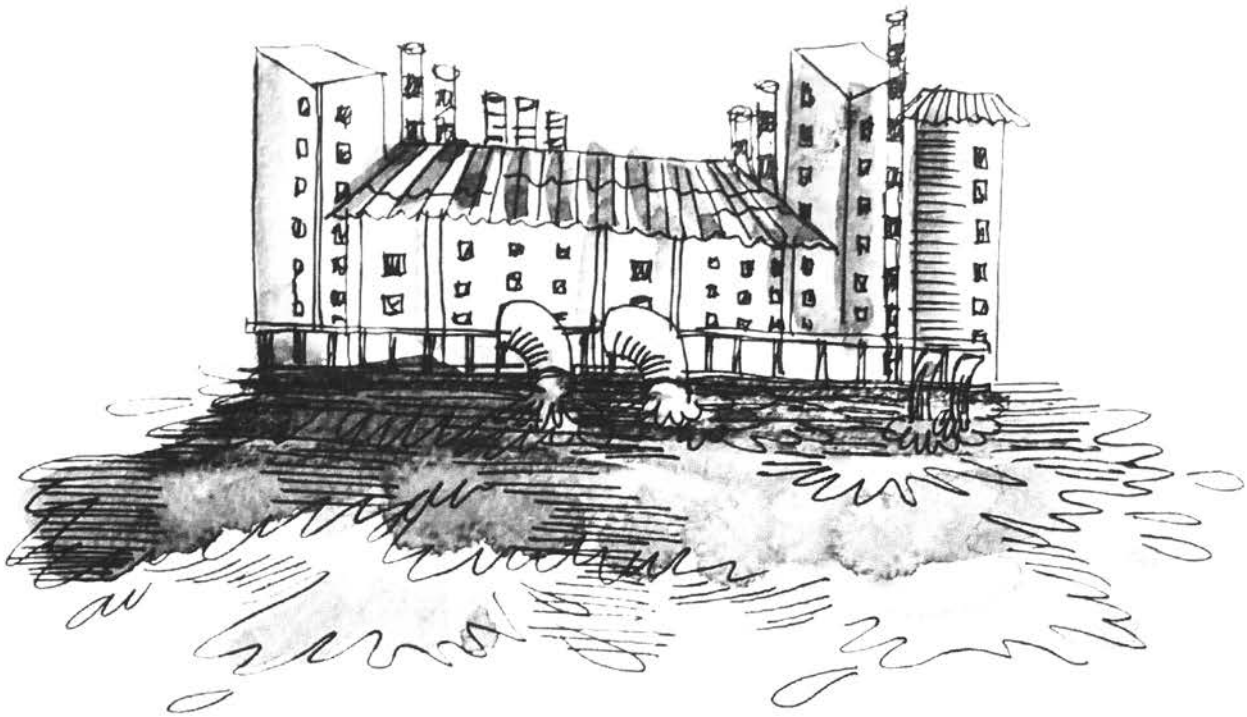
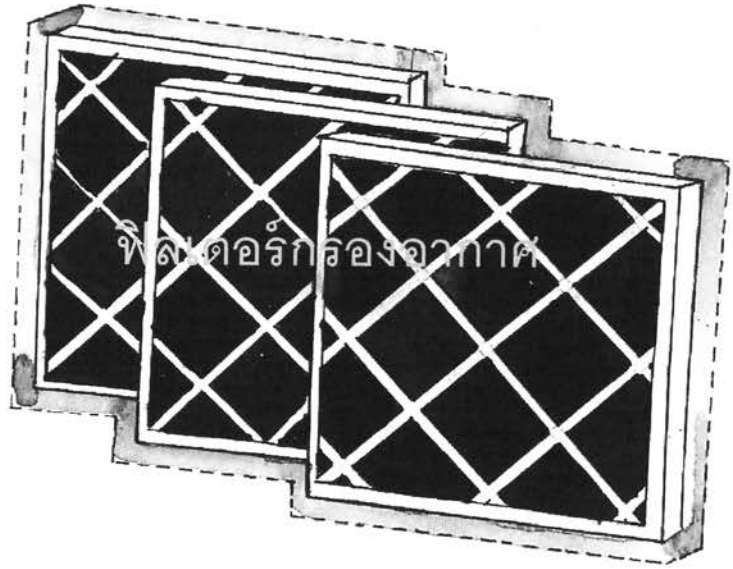
เมื่อพิจารณาพลังงานต่อน้ำหนักของวัสดุชีวมวลที่ได้จากกระบวนการเผาโดยตรง พบว่าซังข้าวโพดเป็นวัสดุที่ให้พลังงานต่อน้ำหนักมากที่สุด คือ 17.72 เมกะจูลต่อตัน รองลงมาคือเปลือกมันฝรั่ง ชานอ้อย ฟาง แกลบ และขี้เลื่อย ให้พลังงานต่อน้ำหนัก 17.72, 17.68, 17.33, 16.3, 16.29 และ 16.12 เมกะจูลต่อตัน ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ค่าพลังงานความร้อนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรที่ค่าความชื้นต่างๆ (น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหมาะกับวิธีการเผาโดยตรงเพื่อผลิตพลังงาน) <sup>[101, 102]</sup>

วัสดุเหลือทิ้ง	ปริมาณความชื้น	พลังงานที่ได้ต่อน้ำหนัก (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)
แกลบ	0.124	16.29
ฟาง	0.127	16.3
ชานอ้อย	0.490	17.33
ซังข้าวโพด	0.0753	17.72
เปลือกมันฝรั่ง	0.30	17.68
ขี้เลื่อย	0.20	16.12

สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาลจะมีการเผาชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง (หลังการหีบนำอ้อย) เป็นจำนวนมาก ในปี 2540 โรงสีข้าวเจียมั่งในจังหวัดนครราชสีมาได้สร้างโรงงานโคเจนเนอเรชันขนาดกำลังผลิต 2.5 MWe โดยใช้เทคโนโลยีจากยุโรปและใช้แกลบ 140 ตัน/วันเป็นเชื้อเพลิงซึ่งสามารถผลิตไอน้ำร้อนยิ่งยวด 17 ตัน/ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียสความดัน 35 บาร์ นอกจากนี้จะสามารถลดค่าใช้จ่ายของน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าไฟฟ้าและค่ากำจัดแกลบแล้วยังมีรายได้เพิ่มจากการขายเถ้า/แกลบดำ และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 70,000 ตัน/ปี ในปี 2547 กลุ่มบริษัทมิตรผลได้ทำโครงการพลังงานชีวภาพด้านข้างโดยใช้เทคโนโลยีโคเจนเนอเรชันขนาดกำลังผลิต 41 MWe จากยุโรปเพื่อผลิตไอน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตและผลิตไฟฟ้าจากไอน้ำที่เหลือโดยการเผาชานอ้อย (จากการหีบอ้อย) ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งและใช้เครื่องผลิตไอน้ำ 2 หน่วย แต่ละหน่วยสามารถผลิตไอน้ำ 120 ตัน/ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 510 องศาเซลเซียสความดัน 68 บาร์ สามารถขายไฟฟ้าส่วนเกิน (ขนาด 24 MWe) ให้กับระบบกริดไฟฟ้าของการไฟฟ้าภูมิภาค และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 278,610 ตัน/ปี

# ถ่านกัมมันต์



## ถ่านกัมมันต์

ปัจจุบันมีการใช้ถ่านกัมมันต์อย่างแพร่หลายสำหรับดูดซับสี และโลหะหนักในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมหนัง อุตสาหกรรมปุ๋ย อุตสาหกรรมสิ่งพิมพ์ เป็นต้น สีที่พบมากในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมคือเมทิลลีนบลู เจนเชียนไวโอเลต ส่วนโลหะหนักที่พบในน้ำเสียมีโครเมียม (II, III, VI) ตะกั่ว นิเกิล เป็นต้น

เมทิลลีนบลูเป็นสีที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ สีชนิดนี้มีผลต่อหัวใจ ทำให้หัวใจเต้นเร็ว ซีด อาเจียน ดีซ่าน ผิวหนังเป็นสีเขียวเพราะขาดออกซิเจน ส่วนเจนเชียนไวโอเลตเป็นสีที่ส่งผลกระทบต่อระบบหายใจ ระบบย่อยอาหาร และเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง จะเห็นได้ว่าสีเหล่านี้มีความเป็นพิษสูง ถ้ามีการปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม จะเป็นอันตรายมาก ดังนั้นงานวิจัยเรื่องการดูดซับสีส่วนมากจึงนิยมใช้เมทิลลีนบลูเป็นตัวแทนสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม

โครเมียม (VI) มีความเป็นพิษมากกว่าโครเมียม (III) 500 เท่า ซึ่ง US EPA ได้กำหนดให้มีปริมาณโครเมียม (VI) ในน้ำดื่ม และแหล่งน้ำผิวดินมีโครเมียม (VI) ได้ไม่เกิน 0.05 และ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โครเมียม (VI) เป็นสาเหตุของมะเร็งในระบบย่อยอาหารและปอด ทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสียอย่างแรง และเลือดไหลไม่หยุด ซึ่งมีความจำเป็นที่ต้องกำจัดก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม งานวิจัยส่วนใหญ่จึงเน้นไปที่การกำจัดโครเมียม (VI)

สีและโลหะหนักที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม ควรมีการบำบัดอย่างเหมาะสมก่อนที่จะปล่อยของเสียเหล่านี้เข้าสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก การกำจัดสีและโลหะหนักมีหลายวิธี การใช้ถ่านกัมมันต์เป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย

ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้นจากวัสดุที่มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูงโดยมีคุณสมบัติในการดูดซับสารเฉพาะ งานวิจัยหลายเรื่องได้ศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เนื่องจากมีราคาต้นทุนต่ำ ซึ่งถ่านกัมมันต์มีใช้งานทั้งในรูปแบบผง (PAC) และแบบเกล็ด (GAC) โดยขนาดของรูพรุนมี 3 ขนาด คือ

ไมโครพอร์ (Micropores) – เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนไม่เกิน 2 นาโนเมตร

เมโซพอร์ (Mesopores) – เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนระหว่าง 2-50 นาโนเมตร

มาโครพอร์ (Macropores) – เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนมากกว่า 50 นาโนเมตร

งานวิจัยทางด้านการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร จากตารางที่ 18 บ่งชี้ว่าถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยอาฟริกาได้สามารถดูดซับเมทิลลีนบลูได้ดีที่สุด คือ 5220 มิลลิกรัมต่อกรัม รองลงมาคือเปลือกมะพร้าว 916.26 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนเม็ดมะละกอ เปลือกลูกสนบราซิล ขานอ้อย ไม้ไผ่ รากหญ้าแฝก เปลือกมะพร้าว ทางปาล์มน้ำมันจะสามารถดูดซับเมทิลลีนบลูได้ในช่วง 400-478.5 มิลลิกรัมต่อกรัม การที่ถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยอาฟริกาได้สามารถดูดซับเมทิลลีนบลูได้สูงกว่าถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยหลายเท่าตัวนั้นอาจเป็นผลจาก

วิธีการเตรียมที่แตกต่างกันนั่นเอง อย่างไรก็ตามถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยสามารถดูดซับเงินเขียนไวโอเลตได้ดีที่สุดคือ 1273.16 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนการดูดซับโลหะหนักพบว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยสามารถดูดซับโครเมียม (VI) ได้สูงสุดคือ 131.56 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อยสามารถดูดซับนิเกิล (II) 140.85 มิลลิกรัมต่อกรัม และถ่านกัมมันต์จากมะม่วงสามารถดูดซับทั้งแคดเมียม (II) ได้ 68.92 มิลลิกรัมต่อกรัมและดูดซับตะกั่ว (II) ได้ 99.05 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

วิธีการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับสีและโลหะหนักได้ดี แสดงไว้ในภาคผนวก ค

ตารางที่ 18 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรประเภทต่างๆ

ตัวดูดซับ	พื้นที่ผิว BET (m <sup>2</sup> /g)	ผลผลิต (%)	ตัวถูกดูดซับ	ประสิทธิภาพการดูดซับ(mg/g)
ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะพร้าว <sup>[103]</sup>	1940	-	MB	434.78
ถ่านกัมมันต์แบบผงจากไม้ไผ่ <sup>[104]</sup>	-	-	MB	143.2
ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว <sup>[104]</sup>	-	-	MB	277.9
ถ่านกัมมันต์จากเปลือกถั่ว <sup>[104]</sup>	-	-	MB	164.9
ถ่านกัมมันต์จากใยปาล์มน้ำมัน <sup>[105]</sup>	1354	-	MB	277.78
ถ่านกัมมันต์จากใยปอกระเจา <sup>[106]</sup>	-	-	MB	225.64
ผงเมล็ดมะม่วง <sup>[107]</sup>	-	-	MB	142.86
ถ่านกัมมันต์จากบ๊วย (Apricot) <sup>[108]</sup>	-	-	MB	136.98
ถ่านจากแกนและกาบมะพร้าว <sup>[109]</sup>	-	-	MB	5.87
ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะกอก <sup>[110]</sup>	-	-	MB	263
ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว <sup>[111]</sup>	2825	18.8	MB	916.26
ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะพร้าว <sup>[112]</sup>	1356.25	80.75	MB	418.15
ถ่านกัมมันต์จากไม้ปาล์มน้ำมัน <sup>[113]</sup>	1084	13.7	MB	90.9
ถ่านกัมมันต์จากใยปาล์มน้ำมัน <sup>[114]</sup>	1223	32.09	MB	382.32
ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย <sup>[115]</sup>	570	-	MB	5220
ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย <sup>[116]</sup>	-	80.5	MB	478.5
เปลือกลูกสนบราซิล <sup>[117]</sup>	-	-	MB	529
ชา <sup>[118]</sup>	-	-	MB	85.16

ตารางที่ 18 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

ตัวดูดซับ	พื้นที่ผิว BET (m <sup>2</sup> /g)	ผลผลิต (%)	ตัวถูกดูดซับ	ประสิทธิภาพการดูดซับ(mg/g)
ต้นฝ้าย <sup>[119]</sup>	-	-	MB	346.4
ฟางข้าวสาลี <sup>[120]</sup>	-	-	MB	312.5
ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ <sup>[121]</sup>	-	-	MB	454.2
ถ่านกัมมันต์จากรากหญ้าแฝก <sup>[122]</sup>	1004	12.95	MB	423
ถ่านกัมมันต์จากใยปาล์มน้ำมัน <sup>[123]</sup>	-	16.5	MB	400
ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยหอย <sup>[124]</sup>	1083	-	MB	294.12
ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน <sup>[125]</sup>	991.82	-	MB	289.26
ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมัน <sup>[126]</sup>	596.2	-	MB	243.9
เมล็ดมะละกอ <sup>[127]</sup>	-	-	MB	555.55
เปลือกขุ่น <sup>[128]</sup>	-	-	MB	285.71
ลำต้นกล้วย <sup>[129]</sup>	-	-	MB	243.9
แกนปาล์ม <sup>[130]</sup>	-	-	MB	217.95
เปลือกเมล็ดละหุ่ง <sup>[131]</sup>	-	-	MB	158.73
เปลือกเมล็ดพิททอง <sup>[132]</sup>	-	-	MB	141.92
แกนสับปะรด <sup>[133]</sup>	-	-	MB	119.05
เปลือกกาแฟ <sup>[134]</sup>	-	-	MB	90.1
เปลือกกระเทียม <sup>[135]</sup>	-	-	MB	82.64
ถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย <sup>[115]</sup>	-	80.5	GV	1273.16

ตารางที่ 18 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

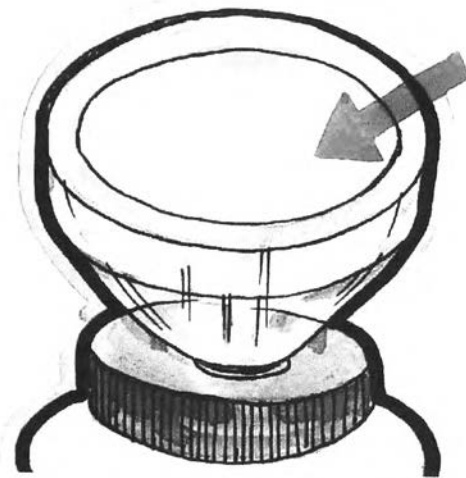
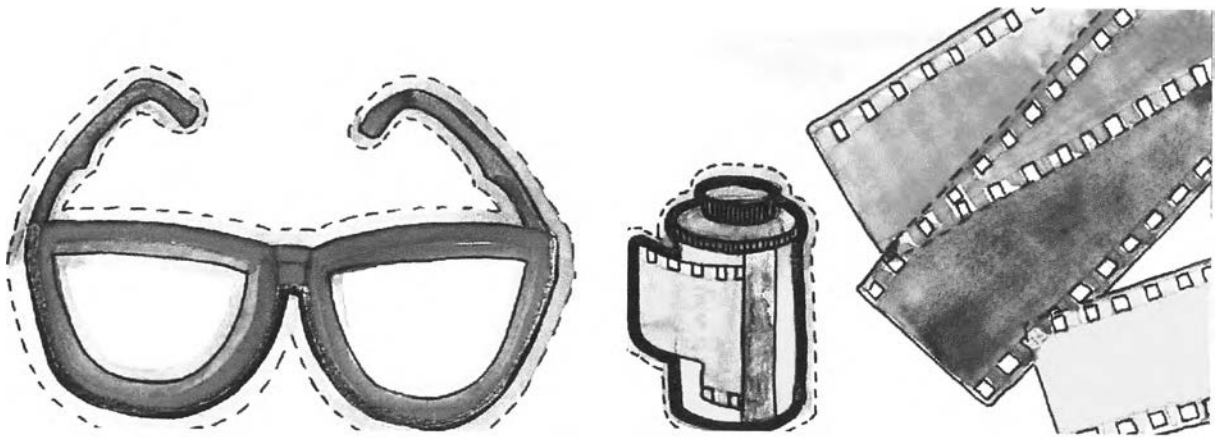
ตัวดูดซับ	พื้นที่ผิว BET (m <sup>2</sup> /g)	ผลผลิต (%)	ตัวถูกดูดซับ	ประสิทธิภาพการดูดซับ(mg/g)
ฟางข้าวสาลี <sup>[120]</sup>	-	-	GV	227.27
ซีเลียมไม้ <sup>[136]</sup>	-	-	GV	341
เปลือกเมล็ดทานตะวัน <sup>[137]</sup>	-	-	GV	92.59
ถ่านกัมมันต์จากข้าวเปลือก <sup>[138]</sup>	-	-	GV	64.875
รำข้าว <sup>[139]</sup>	-	-	Ni(II)	102
เปลือกกล้วย <sup>[140]</sup>	-	-	Cd(II)	35.52
เปลือกกล้วย <sup>[141]</sup>	-	-	Cr(VI)	131.56
เปลือกมะม่วง <sup>[142]</sup>	-	-	Cd(II), Pb(II)	68.92, 99.05
กะลามะพร้าว <sup>[143]</sup>	1053	-	Pb(II)	40.12
ดอกปาล์ม <sup>[144]</sup>	-	-	Cr(VI)	7.138
ชานอ้อย <sup>[145]</sup>	536.5	-	Ni(II)	140.85
ใยปืหน้ำตาล <sup>[146]</sup>	-	-	Cd(II), Pb(II)	46.1, 43.5

\*\*MB = เมททิลีนบลู (Methylene blue)

GV = เจนเชียนไวโอเลต (Gentian violet)



# อนุพันธ์ของเซลลูโลส



กระดาศกรอง

เซลลูโลสอะซิเตต

## อนุพันธ์ของเซลลูโลส

เซลลูโลสอะซิเตตเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์หลายชนิด มีความใสและขึ้นรูปได้ง่าย จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้านโดยนำไปผลิตเป็นเส้นใยสังเคราะห์ พลาสติก และสารเคลือบผิว ในทางอุตสาหกรรมนิยมนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์และฟิล์มถ่ายภาพ พลาสติกใช้สำหรับออกแบบ ตกแต่ง ใ้กรอบบุหรี กรอบแว่นตา เป็นต้น นอกจากนี้เซลลูโลสอะซิเตตยังเป็นวัสดุที่ดีสำหรับทำเป็นเมมเบรนกึ่งซึมผ่านได้สำหรับการกรองแบบไมโคร และการกรองแบบรีเวิร์สออสโมซิส เป็นต้น

เซลลูโลสอะซิเตตผลิตจากเซลลูโลสในขณะที่พืชเป็นแหล่งของลิกโนเซลลูโลส ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมากมายจากชานอ้อย ฟางข้าว ชังข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ดีในการผลิตเซลลูโลสและเซลลูโลสอะซิเตต และเป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรกรรมได้ ในปัจจุบันมีงานวิจัยหลากหลายในการนำเซลลูโลสที่สกัดได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเซลลูโลสอะซิเตตเพื่อเป็นการลดต้นทุนและเพิ่มคุณค่าแก่ผลผลิตที่เหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรม สรุปได้ดังตารางที่ 19

จากงานวิจัย พบว่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของประเทศไทยสามารถนำมาผลิตเซลลูโลสอะซิเตต เซลลูโลสไดอะซิเตต และเซลลูโลสไตรอะซิเตต และมีเปอร์เซ็นต์การผลิตค่อนข้างสูงโดยสามารถผลิตเซลลูโลสอะซิเตตจากใยฝ้ายได้สูงถึง 37 เปอร์เซ็นต์ เซลลูโลสไดอะซิเตตจากชังข้าวโพดและชานอ้อย 44 เปอร์เซ็นต์ และเซลลูโลสไตรอะซิเตตจากฝ้าย 62.5 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 19 ปริมาณการผลิตเซลลูโลสอะซิเตต เซลลูโลสไดอะซิเตต และเซลลูโลสไตรอะซิเตต จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีสังเคราะห์	เซลลูโลสอะซิเตต (%)	เซลลูโลสไดอะซิเตต (%)	เซลลูโลสไตรอะซิเตต (%)	Degree of substitution
กิ่งไม้ <sup>(147)</sup>	- หั่นวัสดุเหลือทิ้งเป็นชิ้นเล็กๆ		41.20	52.00	
เส้นใยผลไม้	- ทำให้แห้งและบด		17.85	51.00	
ปาล์ม (Raphia)	- ต้มวัสดุเหลือทิ้งที่หั่นแล้ว 10 กรัม ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์		23.13	43.10	
ปาล์ม (Piassava)	เข้มข้น 18 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นาน 1 ชั่วโมง		20.80	46.60	
เยื่อไม้	- กรองและล้างด้วยน้ำกลั่น		20.23	49.00	
เปลือกไม้	- ฟอกเยื่อที่ได้ด้วยด่าง แล้วอบที่อุณหภูมิ 80±5 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง จะได้เยื่อเซลลูโลส		20.00	35.00	
ลำต้นพืช	- ละลายเยื่อเซลลูโลส 2 กรัม ในกรดอะซิติกปริมาตร 35 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส และคนนาน 1 ชั่วโมง จากนั้นเติม		39.00	40.60	
ขังข้าวโพด	กรดซัลฟูริกเข้มข้นจำนวน 0.4 มิลลิลิตร และอะซิติกแอนไฮไดรด์		44.00	40.60	
ปาล์มมะพร้าว	จำนวน 10 มิลลิลิตร แล้วคนที่อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส อีก 1 ชั่วโมง จะได้สารละลายที่มีตะกอน		18.80	54.00	
ซีล้อย			20.75	57.50	
ฝ้าย			20.03	62.50	
ชานอ้อย			44.00	52.00	
ลำต้นกล้วย	- กรองและล้างตะกอนจนเป็นกลาง ส่วนสารละลาย คือ เซลลูโลสไตรอะซิเตตและส่วนตะกอน คือ เซลลูโลสไดอะซิเตต		39.00	38.70	

ตารางที่ 19 ปริมาณการผลิตเซลลูโลสอะซิเตต เซลลูโลสไดอะซิเตต และเซลลูโลสไตรอะซิเตต จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีสังเคราะห์	เซลลูโลสอะซิเตต (%)	เซลลูโลสไดอะซิเตต (%)	เซลลูโลสไตรอะซิเตต (%)	Degree of substitution
<p>ใยข้าวโพด<sup>[148]</sup></p> <p>เปลือกข้าว</p> <p>ฟางข้าว</p>	<p>- เตรียมใยข้าวโพดโดยการบดแล้วล้างด้วยเฮกเซนร้อนเพื่อกำจัดน้ำมัน จากนั้นแช่ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร อบที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เติมนิโตรเจนไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 โมลาร์เพื่อปรับพีเอชให้เท่ากับ 5.0 กรองแล้วล้างด้วยน้ำ ได้เซลลูโลส ส่วนของเปลือกข้าวและฟางข้าว หลังจากบด จะแช่ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เติมนิโตรเจนไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 โมลาร์เพื่อปรับพีเอชให้เท่ากับ 5.0 กรองแล้วล้างด้วยน้ำ ได้เซลลูโลส</p> <p>- ผสมเซลลูโลส 2 กรัม ในสารละลายผสมกรดอะซิติก 0.5 กรัม อะซิติกแอนไฮไดรด์ 5.0 กรัม เมททิลีนคลอไรด์ 30 มิลลิลิตร และซัลฟูริก 0.04 กรัม ที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นแล้วกรอง ได้สารละลายที่ผ่านการกรองและตะกอน</p> <p>- ผสมและคนตะกอนที่ได้กับคลอโรฟอร์ม 60 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที แล้วกรอง ได้สารละลายจากการกรองครั้งที่ 2 และตะกอน จากนั้นผสมสารละลายที่ผ่านการกรองครั้งที่ 1 และ 2 และกรองด้วยกระดาษกรอง ได้เซลลูโลสอะซิเตตเป็นตะกอนติดบนแผ่น</p> <p>- ให้เอทิลแอลกอฮอล์ในการนำกระดาษกรองออกจากภาชนะ จากนั้นกรองแยกตะกอนด้วยกระดาษกรองอีกครั้ง อบเซลลูโลสอะซิเตตบนกระดาษกรองที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 1 คืน</p>	<p>23.9</p> <p>26.6</p> <p>25.8</p>			

ตารางที่ 19 ปริมาณการผลิตเซลลูโลสอะซิเตต เซลลูโลสไดอะซิเตต และเซลลูโลสไตรอะซิเตต จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีสังเคราะห์	เซลลูโลสอะซิเตต (%)	เซลลูโลสไดอะซิเตต (%)	เซลลูโลสไตรอะซิเตต (%)	Degree of substitution
ขาน้อย <sup>[149]</sup>	- ผลิต cellulose จากขาน้อยด้วยวิธี Steam explosion process				-
	- ผสมเซลลูโลส 20 กรัม ในกรดอะซิติก 350 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายผสมของอะซิติกแอนไฮไดรด์ 135 มิลลิลิตร โซเดียมไบซัลเฟต 0.75 กรัม และกรดซัลฟูริก 0.5 มิลลิลิตร คนที่ 0-5 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง				(2 ชั่วโมง) 2.6 (4 ชั่วโมง)
	- นำมาตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 2, 4, 6, 8, 10 และ 18 ชั่วโมง โดยก่อนครบกําหนดเวลา 1 ชั่วโมง ทำการเติมสารละลายผสมของโซเดียมอะซิเตต 0.5 กรัม และกรดอะซิติก 10 มิลลิลิตร และคนจนครบเวลา				3.0 (6 ชั่วโมง) 2.8 (8 ชั่วโมง)
	- เทสารละลายที่ได้ลงในน้ำ 3 ลิตร จะเกิดตะกอน จากนั้นกรองแล้วล้างด้วยน้ำและอะซิโตน				2.8 (10 ชั่วโมง)
	- อบตะกอนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง ได้เซลลูโลสอะซิเตต				2.9 (18 ชั่วโมง)

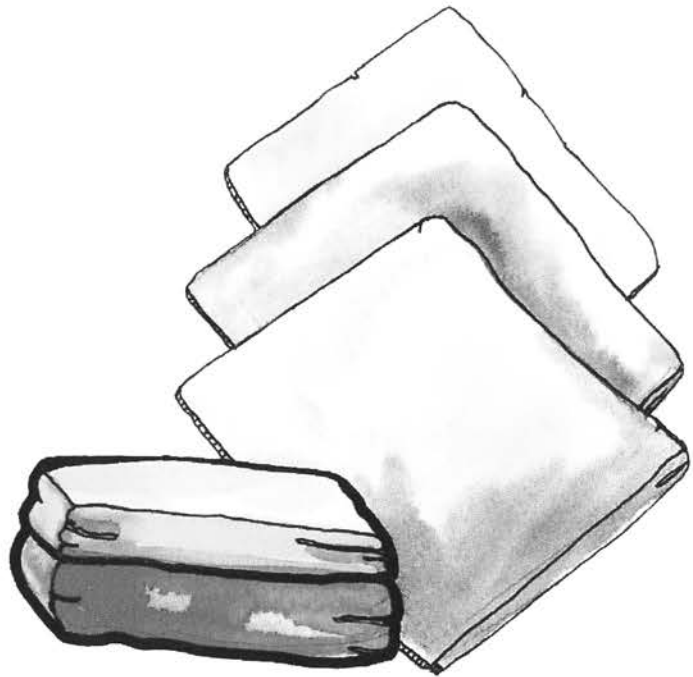
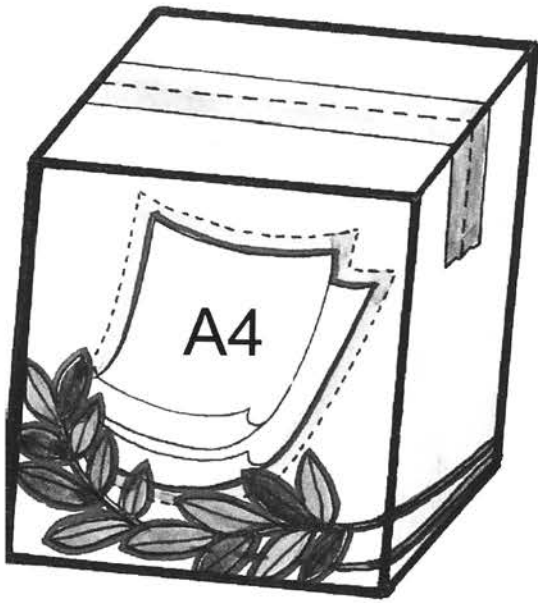
ตารางที่ 19 ปริมาณการผลิตเซลลูโลสอะซิเตต เซลลูโลสไดอะซิเตต และเซลลูโลสไตรอะซิเตต จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีสังเคราะห์	เซลลูโลสอะซิเตต (%)	เซลลูโลสไดอะซิเตต (%)	เซลลูโลสไตรอะซิเตต (%)	Degree of substitution
<p>ใยฝ้าย<sup>[150]</sup> (Cotton burr) เปลือกเมล็ดฝ้าย (Cotton seed hull)</p>	<p><u>Acetylation reaction</u></p> <p>- ผสม Cotton burr และ Cotton seed hull ที่บดแล้วกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 เปอร์เซ็นต์ ให้ความร้อนผ่านน้ำนาน 35 นาที ทำการกรองและล้างด้วยน้ำร้อน 95 องศาเซลเซียส</p> <p>- ละลายตะกอนในสารละลายผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์พีเอช 12.0 และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ 95 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วกรอง นำตะกอนที่ได้ละลายกับน้ำ แล้วพีเอชด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจางให้เท่ากับ 7.0 ทำการกรองและอบที่ 40 องศาเซลเซียส นาน 1 คืน ได้เซลลูโลส</p> <p>- ผสมเซลลูโลส 2 กรัม กับสารละลายผลของกรดอะซิติก 0.5 กรัม อะซิติกแอนไฮไดรด์ 5 กรัม เมทิลลีนคลอไรด์ 30 มิลลิลิตร และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.04 กรัม ที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น แล้วกรอง จากนั้นผสมตะกอนกับคลอโรฟอร์ม 60 มิลลิลิตร และคน นาน 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ทำการกรอง</p> <p>- ผสมสารละลายที่ได้จากการกรองทั้ง 2 ครั้ง ทำการระเหยจะได้ฟิล์มเซลลูโลสอะซิเตต นำฟิล์มออกจากภาชนะบรรจุโดยเติมเอทานอล แล้วกรองด้วยกระดาษกรองจะได้เซลลูโลสอะซิเตต</p>	น้อยกว่า 2	-	-	-

ตารางที่ 19 ปริมาณการผลิตเซลลูโลสอะซิเตต เซลลูโลสไดอะซิเตต และเซลลูโลสไตรอะซิเตต จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีสังเคราะห์	เซลลูโลสอะซิเตต (%)	เซลลูโลสไดอะซิเตต (%)	เซลลูโลสไตรอะซิเตต (%)	Degree of substitution
ใยฝ้าย <sup>[150]</sup> (Cotton burr) เปลือกเมล็ดฝ้าย (Cotton seed hul)	Iodinecatalyzed acetylation reaction - ผสมวัสดุเหลือทิ้งกับอะซิติกแอนไฮไดรด์ 0.95-15.2 กรัม และ ไอโอดีน 0.04-0.64 กรัม ที่ 80-100 องศาเซลเซียส นาน 20-24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น เติมน้ำโซเดียมไทโอซัลเฟต 2 มิลลิลิตรและคน	37			
	- ผสมสารละลายกับเอทานอล 50 มิลลิลิตร คนนาน 30 นาที กรอง และล้างตะกอนด้วยน้ำ จากนั้นอบตะกอนให้แห้งที่ 60 องศาเซลเซียส - ละลายตะกอนด้วยเมทิลีนคลอไรด์ ทำการกรองและทิ้งให้แห้งที่ อุณหภูมิห้อง ได้ฟิล์มเซลลูโลสอะซิเตต	34			

# เส้นใยไมโครไฟบริล และเส้นใยนาโนไฟบริล





## เส้นใยไมโครไฟบริล และเส้นใยนาโนไฟบริล

ไมโครไฟบริลเป็นเส้นใยที่มีความหนาแน่นต่ำ ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เป็นวัสดุหมุนเวียนสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ใช้พลังงานในการผลิตน้อย และที่สำคัญวัสดุตั้งต้นที่จะนำมาผลิตสามารถหาได้ง่ายและราคาถูก เช่น วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรม การเกษตร ซึ่งคุณสมบัติพิเศษเหล่านี้ทำให้มีการพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ไมโครไฟบริลที่มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวัสดุต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นใน อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องสำอางค์ ผลิตภัณฑ์ยา สี และผลิตภัณฑ์กระดาษ

ไมโครไฟบริลสามารถผลิตได้จากกระบวนการทางเคมีและเชิงกลโดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดเพื่อกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการออก สารต้นต้นที่ใช้คือพืชเนื่องจากเส้นใยไมโครไฟบริลเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช ซึ่งเป็นส่วนที่ให้ความแข็งแรงกับผนังเซลล์ของพืช ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นส่วนที่สร้างภาระให้กับผู้ประกอบการและเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นหากสามารถนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาผลิตไมโครไฟบริลและนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรม หรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้จะก่อให้เกิดประโยชน์มากขึ้นและเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมด้วย นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรอีกด้วย การเตรียมไมโครไฟบริลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแสดงในตารางที่ 20

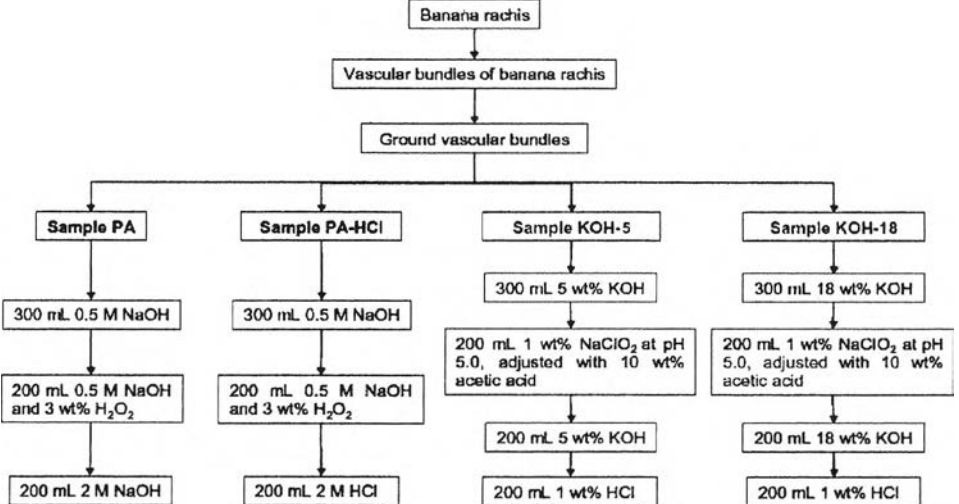
ตารางที่ 20 การสังเคราะห์ไมโครไฟบริลจากวัสดุเหลือทิ้งประเภทต่างๆ

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ขนาดตามขวางของไมโครไฟบริล	การประยุกต์ใช้
<p>ชานอ้อย<sup>[151]</sup></p>	<p><b>การเตรียมเซลลูโลส</b></p> <p>- อบและบดชานอ้อย ทำการร่อนผ่านตะแกรง 40 เมช จากนั้นผสมชานอ้อยที่บดแล้วกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ ย่อยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ทำการฟอกและล้างด้วยโซเดียมคลอไรด์เพื่อกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออก จากนั้นล้างต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ และนำปราศจากไอออนเพื่อปรับพีเอชให้เป็นกลาง</p> <p><b>การเตรียมไมโครไฟบริล</b></p> <p>- นำเส้นใยเซลลูโลสผสมกับน้ำในสัดส่วน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส แล้วปั่นด้วยเครื่อง Cuisinart Vari-Speed blender นาน 10 นาที จากนั้นทำส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันและทำให้ตัวอย่างมีขนาดอนุภาคเล็กลงโดยใช้บีบความดันสูงแบบ Two-stage homogenization ที่ความดัน 550 เท่าของความดันบรรยากาศ จะได้เส้นใยไมโครไฟบริล</p> <p>- นำตัวอย่างที่ได้ไปไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 2.5 ชั่วโมง เพื่อกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการออก ทำการหยุดปฏิกิริยาโดยเติมน้ำแข็ง แล้วล้างเส้นใยไมโครไฟบริลด้วยน้ำ จากนั้นกระจายเส้นใยไมโครไฟบริลด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงนาน 5 นาที ถ่ายเทเส้นใยไมโครไฟบริลในเทอร์เชียรีบิวทานอล แล้วนำไปแช่แข็ง</p>	<p>200 นาโนเมตรถึงระดับไมโครเมตร</p>	<p>นำไปเป็นวัสดุเสริมสำหรับการผลิตเทอร์โมพลาสติกเพื่อปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มความแข็งแรง</p>

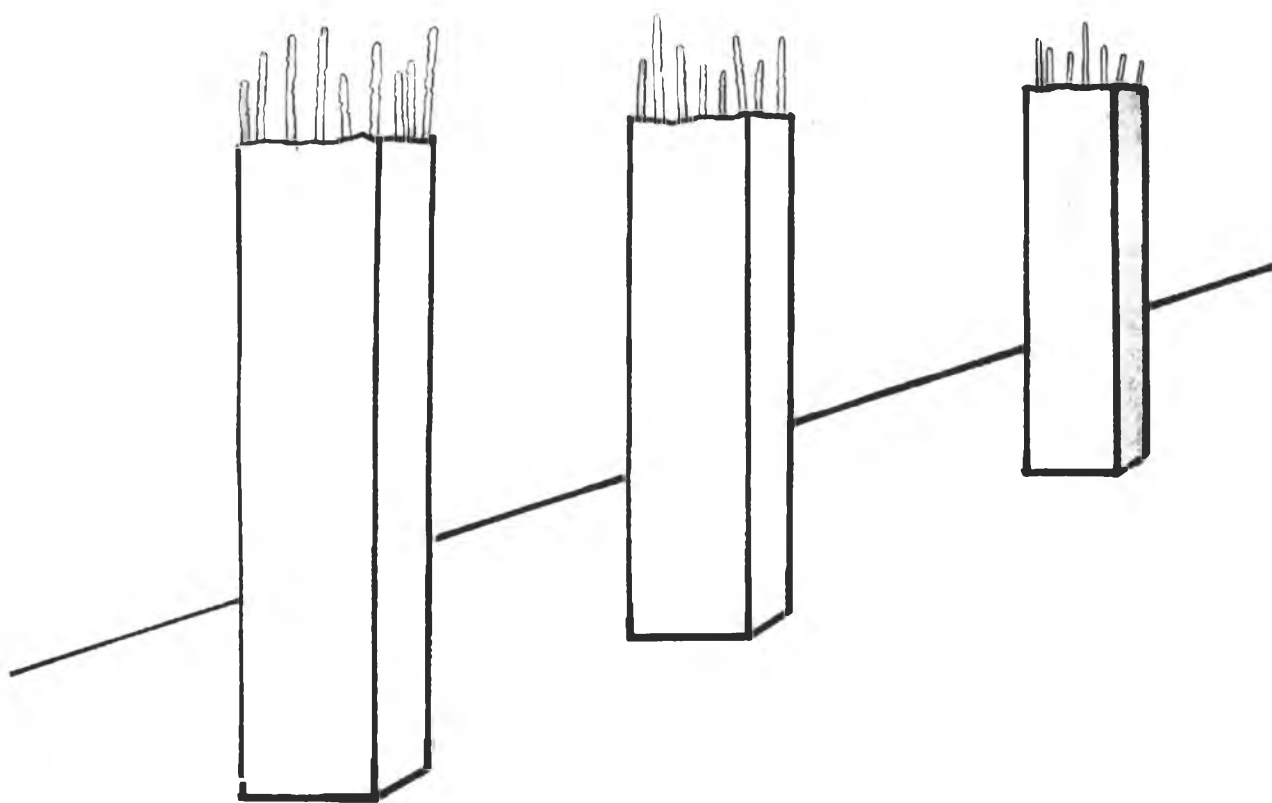
ตารางที่ 20 การสังเคราะห์ไมโครไฟบริลจากวัสดุเหลือทิ้งประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ขนาดตามขวางของไมโครไฟบริล	การประยุกต์ใช้
เปลือกพริกกีแพร์ (Peel of prickly pear fruits) <sup>[152]</sup>	<p><b>การเตรียมเซลลูโลส</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ปอกเปลือกหนา 3-4 มิลลิเมตร แล้วตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นบดด้วยเครื่องบดกาแฟแล้วร่อนผ่านเครื่องร่อน</li> <li>- ผสมผงตัวอย่างเข้ากับสารละลายผสมของโกลูอินและเอทานอลอัตราส่วน 38:62 โดยปริมาตร แล้วนำเข้าสู่เครื่องสกัดแบบชอกท์เลตนาน 24 ชั่วโมง จากนั้นล้างตัวอย่างด้วยสารต่างๆ คือ น้ำปราศจากไอออน (2 ครั้ง ที่อุณหภูมิห้อง นาน 2 ชั่วโมง) น้ำร้อน (2 ครั้ง ที่ 60 องศาเซลเซียส นานครั้งละ 2 ชั่วโมง) อลูมิเนียมออกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (2 ครั้ง ที่ 60 องศาเซลเซียส นานครั้งละ 2 ชั่วโมง) กรดไฮโดรคลอริก 0.05 นอร์มัล (ที่ 80 องศาเซลเซียส 2 ครั้ง นานครั้งละ 1 ชั่วโมง) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์ (ที่ 80 องศาเซลเซียส 2 ครั้ง นานครั้งละ 2 ชั่วโมง) ตามลำดับ</li> </ul> <p><b>การเตรียมไมโครไฟบริล</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- กระจายเซลลูโลสที่ได้ในน้ำที่ความเข้มข้น 1 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ กวนนาน 5 นาที ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำเข้าสู่เครื่อง Manton-Gaulin homogenizer ความดัน 500 บาร์ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 95 องศาเซลเซียส จะได้สารแขวนลอย แล้วนำเข้าแช่แข็ง</li> </ul>	20-30 นาโนเมตร	<p>เหมาะสำหรับการเพิ่มความเข้มข้นของสาร (Thickening) การทำให้สารแขวนลอย (Suspending) การเพิ่มความแข็งแรงในการยึดเหนี่ยวของอนุภาคของวัสดุ (Binding) และการเคลือบผิว (Coating)</p>
เส้นใยกล้วย <sup>[153]</sup>	<p><b>การปรับปรุงคุณภาพ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ผสมเส้นใยกล้วยที่บดจนมีขนาด 500 ไมโครเมตร กับโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน โซเดียมไฮโปคลอไรด์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง และน้ำปราศจากไอออนอีกครั้งจนมีพีเอชเป็นกลาง ทำให้แห้งแล้วร่อนผ่านเครื่องร่อนจนได้ขนาดอนุภาค 355, 250, 150 และ 38 ไมโครเมตร</li> </ul> <p><b>การเตรียมไมโครไฟบริล</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ไฮโดรไลซ์เส้นใยกล้วยขนาดต่างๆ ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 76, 70 และ 64 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก นาน 4, 6 และ 8 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับพีเอชด้วยสารละลายอัลคาไลน์ ทำการปั่นเหวี่ยงแล้วนำสารแขวนลอยที่ได้แช่ในน้ำแล้วนำเข้าเครื่องล้างทำความสะอาดคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic bath) นาน 30 นาที แล้วแช่แข็ง ทำการวิเคราะห์</li> </ul>	-	<p>ประยุกต์ใช้กับด้านชีวการแพทย์</p>

ตารางที่ 20 การสังเคราะห์เส้นใยไฟบริลจากวัสดุเหลือทิ้งประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ขนาดตามขวางของเส้นใยไมโครไฟบริล	การประยุกต์ใช้
<p>ก้านกล้วย<sup>[154]</sup></p>	<p><b>การเตรียมตัวอย่าง</b></p> <p>- ล้างก้านกล้วยด้วยน้ำกลั่น 10 นาที แล้วทำการสกัดแยกเนื้อเยื่อท่อลำเลียงด้วยกระบวนการทางชีววิทยาหรือกระบวนการทางกล จากนั้นล้างเนื้อเยื่อท่อลำเลียงด้วยน้ำ แล้วทำให้แห้งที่ 90 องศาเซลเซียส ตลอดคืน ทำการตัดให้ได้ขนาด 100–300 มิลลิเมตร บดและร่อนผ่านเครื่องร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร</p> <p><b>การเตรียมเส้นใยไมโครไฟบริล</b></p>  <pre> graph TD     A[Banana rachis] --&gt; B[Vascular bundles of banana rachis]     B --&gt; C[Ground vascular bundles]     C --&gt; D[Sample PA]     C --&gt; E[Sample PA-HCl]     C --&gt; F[Sample KOH-5]     C --&gt; G[Sample KOH-18]     D --&gt; D1[300 mL 0.5 M NaOH]     D1 --&gt; D2[200 mL 0.5 M NaOH and 3 wt% H2O2]     D2 --&gt; D3[200 mL 2 M NaOH]     E --&gt; E1[300 mL 0.5 M NaOH]     E1 --&gt; E2[200 mL 0.5 M NaOH and 3 wt% H2O2]     E2 --&gt; E3[200 mL 2 M HCl]     F --&gt; F1[300 mL 5 wt% KOH]     F1 --&gt; F2[200 mL 1 wt% NaClO2 at pH 5.0, adjusted with 10 wt% acetic acid]     F2 --&gt; F3[200 mL 5 wt% KOH]     F3 --&gt; F4[200 mL 1 wt% HCl]     G --&gt; G1[300 mL 18 wt% KOH]     G1 --&gt; G2[200 mL 1 wt% NaClO2 at pH 5.0, adjusted with 10 wt% acetic acid]     G2 --&gt; G3[200 mL 18 wt% KOH]     G3 --&gt; G4[200 mL 1 wt% HCl]     </pre> <p>- ใช้สัญลักษณ์แทนตัวอย่างที่ผ่านการร่อนแล้ว คือ PA เมื่อนำ PA ผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาณ 300 มิลลิลิตร คนที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง จากนั้นผสมส่วนที่ไม่ละลายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ และไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ที่ 45 องศาเซลเซียส นาน 14 ชั่วโมง สำหรับตัวอย่าง PA ขั้นตอนสุดท้ายจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ที่ 55 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง แต่ PA-HCl ขั้นตอนสุดท้ายจะใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง</p>	<p>3-5 นาโนเมตร</p>	

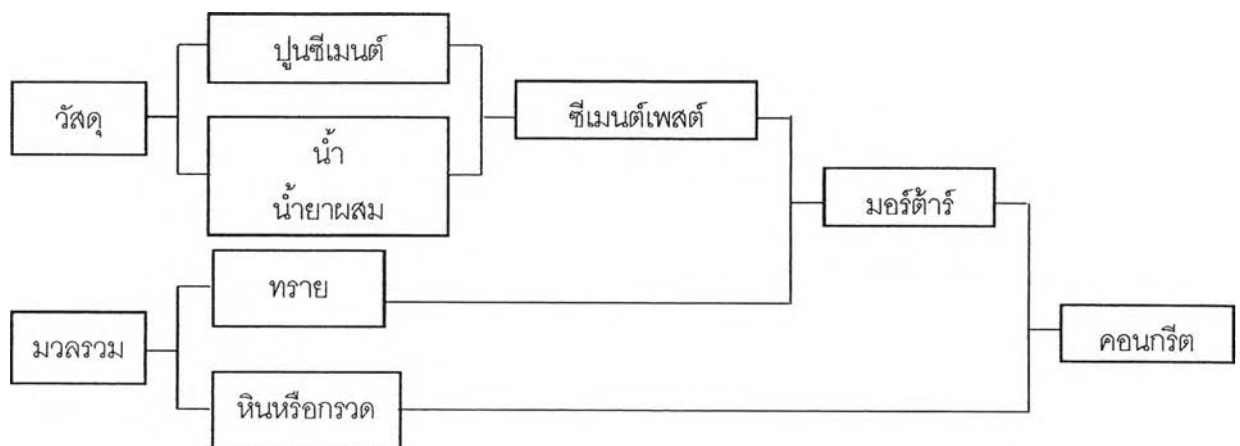
# ฟิลเลอร์สำหรับคอนกรีต



## ฟิลเลอร์สำหรับคอนกรีต

ในปัจจุบันการก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณการใช้คอนกรีตเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ส่วนประกอบหลักในการผลิตคอนกรีต คือ ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเทา เกิดจากการรวมตัวกันทางเคมีของวัตถุดิบหลักประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ซึ่งประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกา (SiO<sub>2</sub>) อลูมินา (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ส่วนที่เหลือประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์เป็นแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) และออกไซด์ของอัลคาไล (K<sub>2</sub>O และ Na<sub>2</sub>O) การผลิตปูนซีเมนต์จะเผาวัตถุดิบเหล่านี้ที่อุณหภูมิสูง (ไล่ผลิกล้ำออกจนหมด) และบดเป็นผงละเอียดก่อนผสมกับยิปซัม ขณะที่ผสมคอนกรีตเพื่อใช้งาน ปูนซีเมนต์จะรวมกับน้ำและทำหน้าที่เป็นตัวประสานเม็ดทราย กรวดหรือหินให้เป็นเนื้อเดียวกันและคงรูปร่างตามรูปทรงของแบบหล่อโดยมีโครงเหล็กภายในแบบทำหน้าที่เพิ่มความยืดหยุ่นให้กับชิ้นงานหล่อ

องค์ประกอบของคอนกรีตแสดงในภาพที่ 6 การผสมคอนกรีตโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมกับ น้ำ ทราย หินหรือกรวด (อาจเติมสาร additive บางชนิดเช่นสารน้ำยาไล์ฟองอากาศในคอนกรีตเหลวเพิ่มเติม) จะได้คอนกรีตเหลวลักษณะเหนียวหลังจากการผสมซึ่งจะค่อยๆ เซ็ตตัวเปลี่ยนเป็นของแข็งเมื่อเวลาผ่านไป คุณสมบัติในการรับแรงขณะใช้งานของคอนกรีตส่วนหนึ่งมาจากการควบคุมการบ่มให้เหมาะสม การบ่มคอนกรีตเป็นการควบคุมสภาวะของอุณหภูมิและความชื้นของคอนกรีต เพื่อให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ การบ่มจะเริ่มขึ้นหลังจากเทคอนกรีตลงแบบแล้ว 24 ชั่วโมงซึ่งช่วงเวลานี้เป็นระยะเวลาที่คอนกรีตแข็งตัวพอจนสามารถถอดแบบหล่อออกได้ การปล่อยคอนกรีตให้แข็งตัวในอากาศโดยไม่ควบคุมความชื้นจะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างน้ำกับซีเมนต์หยุดชะงักส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงกดของคอนกรีตลดลง



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการผลิตคอนกรีต<sup>[155]</sup>

มีงานวิจัยหลายชิ้นทำการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นส่วนผสมในคอนกรีต เพื่อลดค่าใช้จ่ายและเสริมสร้างคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น ความแข็งแรงในการรับแรงกด (Compressive strength) ความแข็งแรงยืดหยุ่น (Flexible strength) ความหนาแน่น (Density) โมดูลัสของความยืดหยุ่น (Elastic modulus) เป็นต้น อีกทั้งยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตคอนกรีต ทำให้ได้คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบา เป็นฉนวนกันความร้อน ดูดซับเสียง ต้านทานการซึมผ่านน้ำ และทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงในการรับแรงกดของคอนกรีตคืออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ชนิดของปูนซีเมนต์ คุณภาพของหินและทราย อัตราส่วนของหินและทราย น้ำยาผสมคอนกรีต การเทคอนกรีตลงแบบและการไล่อากาศหรือโพรงอากาศหลังการเทคอนกรีตลงแบบ การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตนิยมกระทำหลังการบ่มคอนกรีตนาน 28 วันเนื่องจากความแข็งแรงในการรับแรงกดจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงแรก เมื่อเวลาผ่านไปครบ 28 วันหลังการผสมคอนกรีต อัตราเพิ่มของความแข็งแรงในการรับแรงกดจะเริ่มลดลง

ตารางที่ 21 เป็นการสรุปผลงานวิจัยในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรมาเป็นส่วนประกอบเสริม (additive) ในคอนกรีตและคอนกรีตเบา (Lightweight concrete) โดยพิจารณาค่าความแข็งแรงในการรับแรงกด ความยืดหยุ่น ความหนาแน่น และโมดูลัสของความยืดหยุ่น ของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของชานอ้อย แอ้วกลบ เปลือกแก่น และแอ้วของปาล์มน้ำมัน เปลือกมะพร้าว เศษไม้จากโรงไฟฟ้า และแอ้วข้าวโพด ที่มีอายุการบ่ม 28 วัน พบว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมของแอ้วกลบมีความแข็งแรงในการรับแรงกดสูงถึง 180, 94.1 และ 66 เมกะปาสคาล ในขณะที่คอนกรีตผสมชานอ้อย เปลือกปาล์มน้ำมัน แก่นปาล์มน้ำมัน เปลือกมะพร้าว และแอ้วข้าวโพด มีค่าความแข็งแรงในการรับแรงกด 41.2, 53.05, 37.8, 26.7 และ 34.67 เมกะปาสคาล ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 1 และขั้นตอนการเตรียมคอนกรีตผสมวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีความแข็งแรงในการรับแรงกดสูงสุด 3 อันดับแรกแสดงอยู่ในภาคผนวก ง

ตารางที่ 21 ความแข็งแรงในการรับแรงกดของคอนกรีตที่ผสมและไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้งทาง

การเกษตร

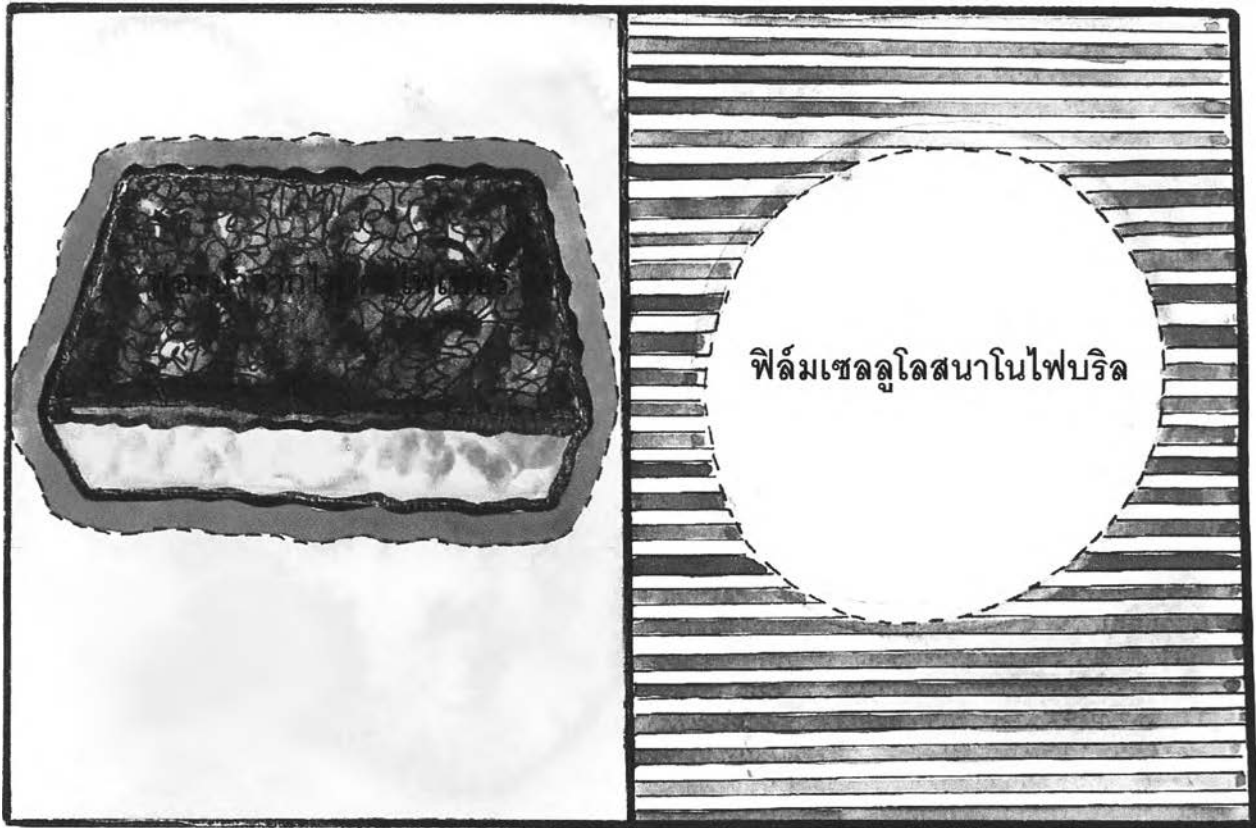
คอนกรีตที่ผสมและไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้ง	ความแข็งแรงในการรับแรงกด (MPa)	ความแข็งแรงยึดหยุ่น (MPa)	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	โมดูลัสของความยึดหยุ่น (MPa)
เถ้าขาน้อย	41.2	-	-	-
ไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้ง <sup>[156]</sup>	30.4	-	-	-
เถ้าแกลบ	21.10	-	-	-
ไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้ง <sup>[157]</sup>	21.34	-	-	-
กะลาปาล์มน้ำมันบด	53.05	7.17	1976	-
ไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้ง <sup>[158]</sup>	84.45	11.58	2367	-
กะลาปาล์มน้ำมัน <sup>[159]</sup>	44.95	7.09	2000	-
กะลาปาล์มน้ำมัน <sup>[160]</sup>	48.33	-	1903	-
กะลามะพร้าว <sup>[161]</sup>	26.7	4.68	1970	-
แกนปาล์ม <sup>[162]</sup>	37.8	-	1869	10900
กะลาปาล์มน้ำมัน <sup>[163]</sup>	23.2	2.01	1683	6200
กะลาปาล์มน้ำมัน	24.5	-	-	-
ไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้ง <sup>[164]</sup>	31.9	-	-	-
เถ้าปาล์มน้ำมัน <sup>[165]</sup>	39	-	-	-
เถ้าแกลบ	180	-	-	-
ไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้ง <sup>[166]</sup>	170	-	-	-
เถ้าเศษไม้	24.61	-	-	-
ไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้ง <sup>[167]</sup>	28.35	-	-	-
เถ้าแกลบ	94.1	-	-	-
ไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้ง <sup>[168]</sup>	≈52	-	-	-
เถ้าของขาน้อย แกลบ และเศษไม้จากโรงไฟฟ้า	39.5	-	-	-
ไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้ง <sup>[169]</sup>	38.5	-	-	-
เถ้ามันฝรั่ง	82	-	-	-
เถ้าลอยมันฝรั่ง	71	-	-	-
ไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้ง <sup>[170]</sup>	78	-	-	-
เถ้าลอย	43.31	4.96	2520	-
ไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้ง <sup>[171]</sup>	41.48	6.98	2190	-



ตารางที่ 21 ความแข็งแรงในการรับแรงกดของคอนกรีตที่ผสมและไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร  
(ต่อ)

คอนกรีตที่ผสมและไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้ง	ความแข็งแรงในการรับแรงกด (MPa)	ความแข็งแรงยึดหยุ่น (MPa)	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	โมดูลัสของความยึดหยุ่น (MPa)
เถ้าแกลบ	58.5	-	-	-
เถ้าปาล์มน้ำมัน	57.5	-	-	-
เถ้าลอย	59.5	-	-	-
ไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้ง <sup>[172]</sup>	57.0	-	-	-
เถ้าขังข้าวโพด	34.67	-	-	-
ไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้ง <sup>[173]</sup>	43.27	-	-	-
แกลบ	66	-	-	-
ไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้ง <sup>[174]</sup>	56	-	-	-

# สารเพิ่มความแข็งแรงโพลีเมอร์



## สารเพิ่มความแข็งแรงโพลิเมอร์

ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมถือเป็นปัญหาสำคัญในปัจจุบัน กิจกรรมที่ช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจึงได้รับความสนใจมากขึ้น การใช้วัสดุที่สามารถย่อยสลายได้โดยธรรมชาติเป็นกิจกรรมสำคัญอย่างหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมได้ เช่น ใช้พลาสติกที่ผลิตจากโพลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติแทนโพลิเมอร์สังเคราะห์ แต่พลาสติกที่ผลิตจากโพลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติยังคงมีคุณสมบัติบางอย่างที่ด้อยกว่าโพลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น เปราะบาง ความทนทานต่ออุณหภูมิต่ำ การซึมผ่านของแก๊สสูง และจุดหลอมเหลวต่ำ เป็นต้น ดังนั้นเทคโนโลยีที่จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเหล่านี้จึงมีความสำคัญ ซึ่งได้มีการศึกษาวิจัยต่างๆ โดยการผสมไฟเบอร์ธรรมชาติเข้าไปในส่วนผสมที่จะผลิตเป็นโพลิเมอร์ เป็นต้น

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีวัสดุเหลือทิ้งทั้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรม การเกษตรอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งสร้างภาระให้กับผู้ประกอบการและเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์นอกจากจะเป็นการลดปัญหาที่เกิดขึ้นได้แล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งอีกด้วย วัสดุเหลือทิ้งทั้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรม การเกษตร ส่วนใหญ่มาจากพืช ส่วนประกอบของผนังเซลล์ในพืช คือ เซลลูโลส ซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อยคือกลูโคส โมเลกุลของเซลลูโลสจะเกาะกันเป็นคู่ตามยาวและเรียงขนานกันเป็นกลุ่ม 40 คู่ เรียกว่า ไมโครไฟบริล (Microfibril) เซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์จากธรรมชาติที่มีความแข็งแรง ราคาถูก และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถผลิตให้มีขนาดเล็กลงในระดับไมโครไฟเบอร์ และนาโนไฟเบอร์ ได้โดยใช้พลังงานในการผลิตเพียงเล็กน้อย แต่สามารถเพิ่มคุณสมบัติที่ดีบางอย่างให้กับเซลลูโลสได้ เช่น เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส น้ำหนักเบา แข็งแรง และคุณสมบัติเชิงกลสูงขึ้น จึงมีการศึกษาวิจัยการสกัดเซลลูโลสไมโครไฟเบอร์และเซลลูโลสนาโนไฟเบอร์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อนำมาเสริมโครงสร้างเพิ่มความแข็งแรงให้กับโพลิเมอร์ และเพิ่มคุณสมบัติในการย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติอีกด้วย

มีการวิจัยคุณสมบัติต่างๆ ของพลาสติกที่เสริมแรงด้วยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น การดูดซึมน้ำ ความแข็งแรงในการรับแรงดึง โมดูลัสของความยืดหยุ่น การยึดตัวที่จุดแตกหัก เป็นต้น พบว่าการผลิตเทอร์โมพลาสติกจากแป้ง โดยใช้เซลลูโลสนาโนไฟบริลจากฟางข้าวเป็นวัสดุเสริมแรง (เทอร์โมพลาสติกจากแป้ง/เซลลูโลสนาโนไฟบริลจากฟางข้าว) มีความเค้นแรงดึงสูงกว่าเรซิน/ไฟเบอร์จากกล้วย แป้ง/เปลือกเซลลูโลสจากต้นไผ่ โพลีเอทิลีน/วัสดุเหลือทิ้งจากกล้วย และเทอร์โมพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลัง/เซลลูโลสนาโนไฟบริลจากกากมันสำปะหลัง โดยมีค่าความเค้นแรงดึงเท่ากับ 224, 33.8, 12.8, 6.5 และ 4.8 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 22

การผลิตเทอร์โมพลาสติกจากแป้ง/เซลลูโลสนาโนไฟบริลจากฟางข้าวและแป้ง/ผลึกเซลลูโลสจากต้นไผ่ เป็นงานวิจัยที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในประเทศไทยเนื่องจากฟางข้าวและไม้ไผ่เป็นวัสดุที่หาได้ง่าย อีกทั้งยังเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร กระบวนการสกัดเซลลูโลสและการผลิตโพลิเมอร์ไม่ซับซ้อน และยังสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของโพลิเมอร์ได้ชัดเจนหลายด้านอีกด้วย

ตารางที่ 22 การเสริมความแข็งแรงโพลิเมอร์โดยเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	การดูดซึมน้ำ (%)	ความเค้นแรงดึง (MPa)	โมดูลัสของความยืดหยุ่น (MPa)	ระยะยืดสูงสุด (%)	
เซลลูโลสนาโนไฟบริลจากกากมันสำปะหลัง <sup>[175]</sup>	- สกัดเซลลูโลสนาโนไฟบริลโดยทำการผสมกากมันสำปะหลังในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 6.5 โมลาร์ จำนวน 200 มิลลิลิตร ที่ 60 องศาเซลเซียส คนนาน 40 นาที จากนั้นปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 8000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที นำกากที่ได้ไปปรับพีเอชให้อยู่ระหว่าง 6-7 แล้วเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยอัลตราโซนิค นาน 5 นาที เก็บไว้ในตู้เย็น ได้เซลลูโลสนาโนไฟบริล 27.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก	11.24±0.11 (TPSG)				
	- ผสมเซลลูโลสนาโนไฟบริล 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ในส่วนผสมที่ผลิตเทอร์โมพลาสติก คือ แป้งมันสำปะหลัง กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และน้ำ ในสัดส่วนต่างๆ ดังตาราง	7.11±0.10 (TPSG5) 7.30±0.08 (TPSG10) 7.63±0.06 (TPSG20) 9.30±0.14 (TPSGS) 7.65±0.11 (TPSGS5)	1.8 (TPSG) 2.5 (TPSG5) 2.8 (TPSG10) 2.6 (TPSG20) 4.1 (TPSGS) 4.8 (TPSGS5) 3.8 (TPSGS10) 4.2 (TPSGS20)	10.8 (TPSG) 23.7 (TPSG5) 25.8 (TPSG10) 27.3 (TPSG20) 44.5 (TPSGS) 84.3 (TPSGS5) 51.5 (TPSGS10) 49.1 (TPSGS20)	29.8 (TPSG) 76.7 (TPSG5) 76.5 (TPSG10) 55.0 (TPSG20) 83.3 (TPSGS) 71.0 (TPSGS5) 79.0 (TPSGS10) 92.4 (TPSGS20)	
	ตัวอย่าง	แป้งมันสำปะหลัง (%)	กลีเซอรอล (%)	ซอร์บิทอล (%)	น้ำ (%)	เซลลูโลสนาโนไฟบริล (%)
	TPSG	50	30	0	20	0
	TPSG5	50	30	0	15	5
	TPSG10	50	30	0	10	10
	TPSG20	50	30	0	0	20
	TPSGS	50	15	15	20	0
	TPSGS5	50	15	15	15	5
	TPSGS10	50	15	15	10	10
TPSGS20	50	15	15	0	20	

ตารางที่ 22 การเสริมความแข็งแรงโพลิเมอร์โดยเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	การดูดซึมน้ำ (%)	ความเค้นแรงดึง (MPa)	โมดูลัสของความยืดหยุ่น (MPa)	ระยะยืดสูงสุด (%)
ไฟเบอร์จากกล้วย <sup>[176]</sup>	- สกัด Banana fiber (BF) โดยละลายวัสดุเหลือทิ้งจากกล้วยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุเหลือทิ้งจากกล้วย 10:1 ที่ 170 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ได้ใยกล้วย (Banana fiber, BF)				
	- สกัดไมโครไฟบริลด้วยวิธี Steam explosion โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากกล้วย (Banana plant waste: BPW) 1 กิโลกรัม ใส่ลงใน 25-l batch reactor ที่อุณหภูมิ 220 °C เป็นเวลา 240 วินาที จะได้ lignocellulosic microfibrils (BMF)		≈4.6 (BF)	≈210 (BF)	≈1.35 (BF)
	- เตรียมลิกโนเซลลูโลส โดยให้ความร้อนกับโซลีน 250 มิลลิลิตร ที่ 100 องศาเซลเซียส แล้วเติมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ 67-70 กรัม โซเดียมไฮโปฟอสเฟตโมโนไฮเดรต 1 กรัม และใยกล้วย (BF หรือ BMF) 3 กรัม คนนาน 2 ชั่วโมง ทำการกรองแล้วสกัดแบบซอกซ์เลต (Soxhlet extraction) ด้วยโซลีน นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นทำให้แห้ง ได้ Maleated Banana Fiber (M-BF) และ Maleated Banana Microfibrils (M-BMF)		≈6.5 (BMF)	≈210 (BMF)	≈1.85 (BMF)
	- ละลายโพลีเอทิลีน (PE) ในโซลีนที่ 10% (w/v) ให้ความร้อนและคนจนโพลีเอทิลีนละลายและเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับโซลีน ต่อจากนั้นเติม BF, BMF, M-BF และ M-BMF ในสัดส่วน 20, 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ คนให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน แล้วเทส่วนผสมที่ได้ใส่พิมพ์		≈5.5 (M-BF)	≈220 (M-BF)	≈2.3 (M-BF)
		≈6.3 (M-BMF)	≈225 (M-BMF)	≈3.2 (M-BMF)	
เซลลูโลสคริสตัลจากต้นไผ่ <sup>[177]</sup>	- ตัดไม้ไผ่แห้งกว้างประมาณ 2 เซนติเมตร และแช่ในกรดไนตริกเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเติมโพแทสเซียมคลอเรต (KClO <sub>3</sub> ) 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของกรดไนตริก แช่ไม้ไผ่ในสารละลายที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ได้ไฟเบอร์ (BF)	ลดลงอย่างรวดเร็วที่ 0-8% จากนั้นจึงลดลงอย่างช้าๆ	2.5 (0%)	20.4 (0%)	-
- ผสมไฟเบอร์ 40 กรัม กับกรดซัลฟูริก 392 กรัม เข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ และคนนาน 48 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำนาน 72 ชั่วโมง ได้ Cellulosic crystals (BCCs)	12.8 (8%)		210.3 (8%)		
	- ผสมแป้งข้าว, กลีเซอรอล และน้ำ ปริมาณ 6, 2.4 และ 91.6 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก คน				

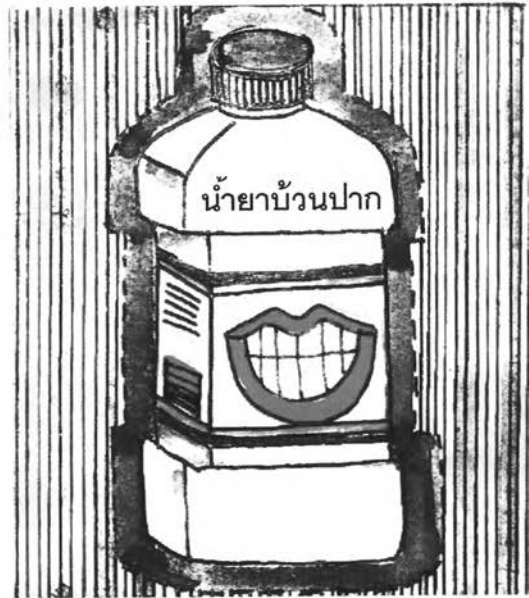
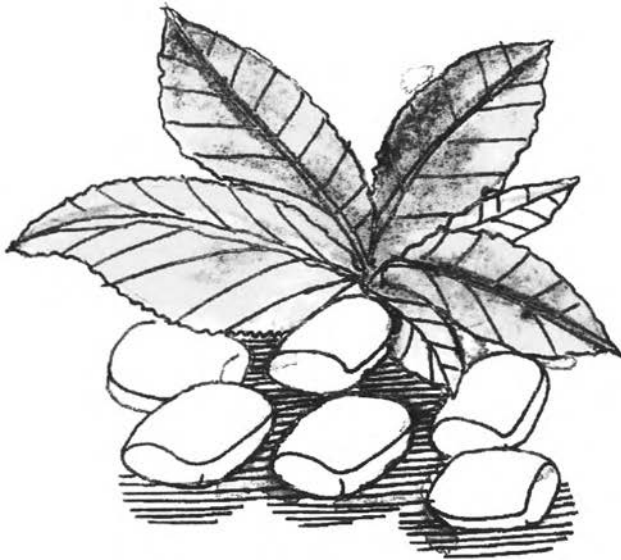
ตารางที่ 22 การเสริมความแข็งแรงโพลิเมอร์โดยเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	การดูดซึมน้ำ (%)	ความเค้นแรงดึง (MPa)	โมดูลัสของความยืดหยุ่น (MPa)	ระยะยืดสูงสุด (%)
	ส่วนผสมนาน 30 นาที ที่ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นเติม Cellulosic crystals ในสัดส่วน 0, 1, 2, 3, 5, 8, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก คนนาน 20 นาที ที่ 80 องศาเซลเซียส แล้วขึ้นรูปได้ด้วยอย่างแผ่นหนา 4 มิลลิเมตร				
เซลลูโลสนาโนไฟบริลจากฟางข้าว <sup>[178]</sup>	<p>- แห่ฟางข้าวในไฮเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ นาน 1 คืน จากนั้นใส่ไฮเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10-12 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนของเหลวต่อฟางข้าว 10:1 แล้วนำเข้าตู้อบ นาน 4 ชั่วโมง ได้โดยฟางข้าว</p> <p>- แห่ฟางข้าวในไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร นาน 1 คืน แล้วล้างด้วยน้ำและแห่ฟางข้าวในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ อีกครั้ง ทำการผสมให้เข้ากันที่ 60±1 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง จากนั้นล้างและคนไฟเบอร์ที่ได้เพื่อตัดไฟเบอร์ที่รวมกลุ่มกัน ได้นาโนไฟบริล</p> <p>- ละลายนาโนไฟบริลที่ได้ในน้ำโดยทำการกระจายนาโนไฟบริลด้วยคลื่นเสียงเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และขณะเดียวกันผสมแป้งข้าวโพดเข้ากับกลีเซอรอล 30 เปอร์เซ็นต์ คนเป็นเวลา 10 นาที แล้วผสมส่วนผสมทั้งสองเข้าด้วยกัน สัดส่วนของนาโนไฟบริลคิดเป็น 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ทำการคนที 75 องศาเซลเซียส จนได้ส่วนผสมที่เหนียว จากนั้นเทส่วนผสมทั้งหมดเพื่อขึ้นรูป และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 2 วัน</p>	-	76±4.5 (0%) 107±5.3 (5%) 175±8.7 (10%) 224±15.4 (15%)	-	-
ใยกล้วย <sup>[179]</sup>	<p>ทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดขึ้นรูปสองขั้นตอน</p> <p>- ขั้นตอนที่ 1 ผสมและขึ้นรูปส่วนผสมของ Nylon-6 และ High density polyethylene (HDPE) กับ Maleic anhydride grafted styrene/ethylene-butylene และ Styrene triblock polymer (SEBS-g-MA) ที่ 200-235 องศาเซลเซียส ความเร็ว 30 รอบต่อนาที โดยเติม SEBS-g-MA ปริมาณ 6 ส่วนในร้อยละของส่วนผสมHDPE/Nylon-6 ที่มีอัตราส่วน 80:20</p>	-	25.5±0.6 (29.3%) 34.5±0.5 (38.8%) 33.8±0.4	1290±0.05 (29.3%) 2310±0.03 (38.8%) 2550±0.13	

วัสดุ เหลือทิ้ง	วิธีการ	การดูดซึมน้ำ (%)	ความเค้น แรงดึง (MPa)	โมดูลัสของความ ยืดหยุ่น (MPa)	ระยะยืดสูงสุด (%)
	- ขั้นตอนที่ 2 ทำการเติมโยกัลวยและ Maleic anhydride grafted polyethylene (PE-g-MA) ลงไป ในส่วนผสมจากขั้นตอนที่ 1 ที่ 160-175 องศาเซลเซียส ความเร็ว 40 รอบต่อนาที โดยเติม BaF ปริมาณ 29.3, 38.8 และ 48.2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก		(48.2%)	(48.2%)	



# ไซลิทอล



## ไซลิทอล

ไซลิทอลเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลไซโลสซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนห้าอะตอม มีความหวานใกล้เคียงกับน้ำตาลทั่วไปแต่ให้พลังงานต่ำกว่า เนื่องจากกระบวนการสลายไซลิทอลไม่ต้องใช้อินซูลิน ไซลิทอลจึงถูกนำมาใช้เป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน นอกจากนี้ไซลิทอลยังเป็นสารที่ให้ความรู้สึกเย็นและมีคุณสมบัติป้องกันฟันผุ ลดปริมาณของจุลินทรีย์ในช่องปาก เนื่องจากจุลินทรีย์ในช่องปากไม่สามารถใช้ไซลิทอลเป็นแหล่งอาหารได้ อุตสาหกรรมผลิตลูกอม หมากฝรั่ง และผลิตภัณฑ์ในช่องปาก เช่น ยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก ฯลฯ จึงนิยมใช้ไซลิทอลอย่างแพร่หลาย

ในผักและผลไม้มีไซลิทอลอยู่น้อยทำให้การสกัดไซลิทอลจากผักและผลไม้ไม่คุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ แต่เนื่องจากไซลิทอลสามารถผลิตได้ทั้งจากกระบวนการทางชีวภาพและจากกระบวนการทางเคมีโดยใช้น้ำตาลไซโลสเป็นสารตั้งต้น การผลิตด้วยกระบวนการทางเคมีจะใช้ปฏิกิริยาไฮโดรเจเนชันร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งได้ไซลิทอลที่ไม่บริสุทธิ์ และต้องผ่านกระบวนการที่ซับซ้อนเพื่อทำให้ไซลิทอลบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น ส่วนกระบวนการผลิตทางชีวภาพเป็นการใช้จุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา เปลี่ยนน้ำตาลไซโลสให้เป็นไซลิทอลโดยมีอัตราการผลิตไซลิทอลแตกต่างกันไป เนื่องจากน้ำตาลไซโลสสามารถผลิตได้จากวัสดุปลูกในเซลล์ไซโลสโดยกระบวนการไฮโดรไลซิส จึงมีการพัฒนาการผลิตไซลิทอลโดยนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเป็นวัสดุตั้งต้นของการผลิตน้ำตาลไซโลส และนำน้ำตาลไซโลสไปผลิตเป็นไซลิทอลต่อไป เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มคุณค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วย

การวิจัยการผลิตไซลิทอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลายชนิดเช่น ชังข้าวโพด ฟางข้าว ชานอ้อย เปลือกสับปะรด เศษกิ่งไม้ ใบไม้ พบว่าการผลิตไซลิทอลจากเศษกิ่งไม้ ใบไม้ จะได้ปริมาณไซลิทอลมากที่สุด คิดเป็น 0.81 กรัมของไซลิทอลต่อกรัมของไซโลส ในขณะที่ชังข้าวโพด ฟางข้าว ชานอ้อย และเปลือกสับปะรด สามารถนำมาผลิตไซลิทอลได้ 0.71, 0.71, 0.51 และ 0.41 กรัมของไซลิทอลต่อกรัมของไซโลสตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ปริมาณไซลิทอลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณไซลิทอล (g <sub>Xyitol</sub> /g <sub>Xylose</sub> )	อัตราการผลิต ไซลิทอล (g/l·h)
ขังข้าวโพด <sup>[180]</sup>	<p><b>การเตรียมไฮโดรไลเสท</b></p> <p>- ตากขังข้าวโพดให้แห้ง แล้วบดละเอียดขนาด 10 เมช จากนั้นแช่ขังข้าวโพด 100 กรัม ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร จำนวน 500 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง เพื่อปรับปรุงคุณภาพ ทำการปั่นเหวี่ยง แล้วล้างกากที่ได้ด้วยน้ำกลั่น จนของเหลวจากการล้างมีพีเอชเท่ากับ 5.5-6.0</p> <p>- นำขังข้าวโพดที่ได้ไปผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยน้ำปราศจากไอออนที่ 160 องศาเซลเซียส นาน 120 นาที ทิ้งให้เย็นแล้วกรอง จากนั้นปรับพีเอชเท่ากับ 7.0 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์</p> <p><b>การเตรียมกล้าเชื้อและการเพาะเลี้ยงเชื้อ</b></p> <p>- นำเชื้อยีสต์ <i>C. tropicalis</i> เจริญบน Agar slant (พีเอช 6.0) ซึ่งประกอบด้วยยีสต์สกัด กลูโคส ไชโลส และ Agar จำนวน 8, 4, 10 และ 20 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทำการบ่มที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส นำเชื้อที่ได้ไปเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งประกอบด้วยไชโลส กลูโคส ยีสต์สกัด โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) และแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) จำนวน 140, 10, 12, 3, 2 และ 0.1 กรัมต่อลิตร และส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ไฮโดรไลเสท ทำการหมักที่สภาวะพีเอชเริ่มต้น 6.0 ความเข้มข้นเริ่มต้นของเซลล์ 1.2 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิในการหมัก 30 องศาเซลเซียส ได้ Medium ทั้งหมดปริมาตร 50 มิลลิลิตรทำการเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที นาน 24–26 ชั่วโมง จากนั้นเขย่าอีกครั้งด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที นาน 48 ชั่วโมง คำนวณหาปริมาณไซลิทอล</p>	0.71	2.12

ตารางที่ 23 ปริมาณไซลิทอลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณไซลิทอล (g <sub>Xylitol</sub> /g <sub>Xylose</sub> )	อัตราการผลิต ไซลิทอล (g/l·h)
ฟางข้าว <sup>[181]</sup> ชานอ้อย Silvergrass Napiergrass เปลือกสับปะรด	<b>การเตรียมไฮโดรไลเซท</b>		
	- หั่นฟางข้าวแห้งเป็นชิ้นขนาดเล็กลงกว่า 0.5 เซนติเมตร แล้วแช่ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1-3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก คิดเป็นอัตราส่วนของแข็ง 50 เปอร์เซ็นต์ ทำการปั่นด้วยความเร็ว 40 รอบต่อนาที ที่ 145 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จากนั้นนำส่วนผสมเข้าสู่ High-pressure hydrolysis reactor แล้วเพิ่มอุณหภูมิถึง 160 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาต่อไปอีก 10 นาที แล้วกรอง เป็นการเตรียมไฮโดรไลเซทจากฟางข้าวด้วย High-pressure hydrolysis reactor		
	- แช่ฟางข้าวแห้งในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้อง นาน 1 คืน แล้วนำส่วนผสมเข้าสู่ Steam explosion reactor แล้วเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 200 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที จากนั้นลดความดันลง แล้วกรอง เป็นการเตรียมไฮโดรไลเซทจากฟางข้าวด้วย Steam explosion reactor		
	- แช่ชานอ้อย, Silvergrass และ Napiergrass อย่างละ 10 กรัม ในกรดเจือจาง จากนั้นผสมกับกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1-4 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก จำนวน 60 มิลลิลิตร นำเข้าตูอบที่ 130 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ทิ้งให้เย็นแล้วกรอง	0.71	
		0.51	
		0.37	
		0.36	
		0.41	
	<b>การเตรียมหัวเชื้อและอาหารเลี้ยงเชื้อ</b>		
	- เลี้ยงยีสต์ในอาหารเลี้ยงเชื้อ 20 มิลลิลิตร ซึ่งประกอบด้วยไดโซเดียมฟอสเฟต (Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ) โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH <sub>4</sub> Cl) เปปโตน และไซโลส จำนวน 6.8, 3.0, 0.5, 1, 1 และ 20 กรัมต่อลิตร แล้วบ่มที่ 30 องศาเซลเซียส กวนด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำยีสต์ที่โตแล้วใส่ใน YPX- agar plate ซึ่งมีอาหารสำหรับยีสต์ แล้วบ่มที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 2 วัน		
<b>การหมักเพื่อผลิตไซลิทอล</b>			
- ปรับพีเอชของไฮโดรไลเซทเท่ากับ 6.0 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 นอร์มัล แล้วกรอง เลี้ยง Inoculation cultures ด้วยสารผสมของยีสต์สกัด เปปโตน และกลูโคส จำนวน 10, 20 และ 20 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่ 30 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นแยกเชื้อด้วยการปั่นเหวี่ยง หมักเชื้อที่ได้ด้วยความเข้มข้นเซลล์เริ่มต้น 1-1.5 กรัมต่อลิตร และ Medium 60 มิลลิลิตร ที่ 30 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยความเร็ว 100-150 รอบต่อนาที			

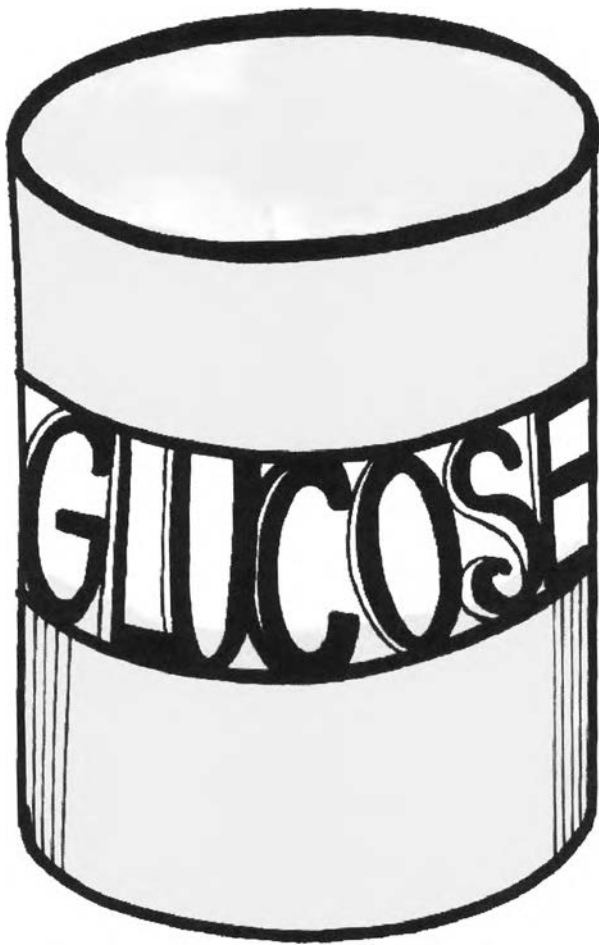
ตารางที่ 23 ปริมาณไซลิทอลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณไซลิทอล (g <sub>Xylytal</sub> /g <sub>Xylose</sub> )	อัตราการผลิต ไซลิทอล (g/l·h)
ขี้ข้าวโพด <sup>[182]</sup>	<p><b>การเตรียมไฮโดรไลเสท</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ผสมขี้ข้าวโพดบดละเอียดขนาด 0.45-0.9 มิลลิลิตร ปริมาณ 40 g กับกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนัก นำเข้าตู้อบที่ 120 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองและล้างตะกอนด้วยน้ำอุ่น 60 องศาเซลเซียส ปริมาตร 40 มิลลิลิตร นำของเหลวที่ผ่านการกรองและน้ำอุ่นที่ใช้ล้างตะกอนรวมกัน</li> <li>- ให้ความร้อนกับของเหลวที่ได้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ทำการปรับพีเอชให้เป็น 10.0 ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)<sub>2</sub>) แล้วกรอง จากนั้นปรับพีเอชอีกครั้งให้เท่ากับ 7 ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 3 โมลาร์ และสกัดด้วยเอทิลอะซิเตต (Ethyl acetate) แล้วทำให้ของเหลวเข้มข้นภายใต้สูญญากาศ ที่ 50-75 องศาเซลเซียส</li> </ul> <p><b>การเตรียมหัวเชื้อและการหมัก</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- เลี้ยง <i>Candida tropicalis</i> W103 ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วยโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) แอมโมเนียมซัลเฟต ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ยีสต์สกัด แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) และไซโลส จำนวน 2, 5, 4, 0.5 และ 20 กรัมต่อลิตร</li> <li>- ผสมไฮโดรไลเสทกับสารผสมที่มีส่วนผสมของโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต แอมโมเนียมซัลเฟต ยีสต์สกัด แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต และเปปโตน จำนวน 2, 5, 5, 0.5 และ 1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ได้ Medium</li> <li>- ใส่ <i>Candida tropicalis</i> W103 ที่โตบนอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาณ 100 มิลลิลิตร แล้วบ่มที่ 35 องศาเซลเซียส จากนั้นเขย่าด้วยความเร็ว 250 รอบต่อนาที นาน 14 ชั่วโมง นำไปใส่ใน Bioreactor ความเข้มข้น 5 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของชีวมวลใน Bioreactor คือ 0.29 - 0.31 กรัมต่อลิตร หมักกับ Medium จำนวน 750 มิลลิลิตร ที่ 35 องศาเซลเซียส แล้วกวนด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที เก็บวิเคราะห์ไซลิทอลทุกๆ 6-12 ชั่วโมง</li> </ul>	0.7	0.95

ตารางที่ 23 ปริมาณไซลิทอลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณไซลิทอล (g <sub>Xyfitol</sub> /g <sub>Xylose</sub> )	อัตราการผลิต ไซลิทอล (g/l·h)
<p>กิ่งไม้ ต้นไม้ ใบไม้ จากการตัดแต่งต้นไม้ [183] (Horticultural waste, HW)</p>	<p><b>การเตรียมไฮโดรไลเสท</b> - ล้าง HW แล้วทำให้แห้งที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 1 คืน จากนั้นบดแล้วร่อนให้ได้ขนาด 200–500 ไมโครเมตร แช่ผง HW ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง นาน 1 คืน แล้วเติมเอทานอลเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ และกรดซัลฟูริก 1 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:8 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ 65 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง ทำซ้ำของเหลวที่ได้เข้มข้นขึ้น โดยระเหยในสูญญากาศ ปรับพีเอชเท่ากับ 10.0 ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 8000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที จากนั้นปรับพีเอชอีกครั้งให้ได้ 5.5 ด้วยกรดฟอสฟอริก ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วปั่นเหวี่ยง ผสมสารละลายจากการปั่นเหวี่ยงกับผงถ่านกัมมันต์ที่ 30 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที นาน 1 ชั่วโมง แล้วกรองแบบสูญญากาศได้ไฮโดรไลเสท</p> <p><b>การเตรียมหัวเชื้อและอาหารเลี้ยงเชื้อ</b> - เลี้ยง <i>C. athensensis</i> SB18 ในสารผสมของยีสต์สกัด เปปไทน์ ไชโลส และ Agar slants จำนวน 10, 20, 20 และ 20 กรัมต่อลิตร ที่ 4 องศาเซลเซียส</p> <p>- ใช้ Yeast nitrogen base–Yeast extract (YNB–YE) medium เป็น Seed culture ซึ่งประกอบด้วย yeast nitrogen base (YNB), Yeast extract (YE) และ Xylose จำนวน 6.76, 1.0 และ 20 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ Yeast nitrogen base–Yeast extract–Urea (YNB–YE–urea) medium ประกอบด้วย Yeast nitrogen base (YNB), Yeast extract และ Urea จำนวน 6.76, 1.0 และ 2.0 กรัมต่อลิตร</p> <p><b>สำหรับการผลิตไซลิทอล</b> - เติมสารผสมของ Yeast nitrogen base ยีสต์สกัด ยูเรีย ไดโซเดียมฟอสเฟต และ โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต จำนวน 6.76, 1.0, 2.0, 0.25 และ 2.05 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในไฮโดรไลเสท จากนั้นหมักโดยเลี้ยง <i>C. athensensis</i> SB18 ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เตรียมไว้ปริมาตร 1.5 ลิตร ควบคุมพีเอชที่ 7.0 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 โมลาร์ ที่ 30 องศาเซลเซียส อากาศไหลผ่านด้วยอัตรา 2.0 ลิตรต่อนาที เขย่าด้วยความเร็ว 250 รอบต่อนาที นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที อากาศไหลผ่านด้วยอัตรา 0.7 ลิตรต่อนาที แล้วคำนวณปริมาณไซลิทอล</p>	0.81	0.98

# น้ำตาล



## น้ำตาล

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าวและชานอ้อย เป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลสิก มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ และสภาวะที่เจริญเติบโต การเปลี่ยนเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อให้ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทำได้หลายวิธี เช่น การย่อยสลายด้วยเอนไซม์ การไฮโดรไลซ์ด้วยกรดหรือการใช้รังสีร่วมกับกรด

การไฮโดรไลซ์ด้วยกรด (Acid Hydrolysis) เป็นการย่อยสลายเพื่อทำลายพันธะไกลโคสิติก ระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 กับออกซิเจนด้วยสารละลายกรด เนื่องจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลเมื่อนำมาทำการย่อยจะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ถ้าเซลลูโลสถูกย่อยอย่างสมบูรณ์จะให้น้ำตาลกลูโคสเพียงอย่างเดียว ถ้าการย่อยไม่สมบูรณ์จะได้ทั้งกลูโคส เซลโลบิโอส และโอลิโกแซคคาไรด์ปนกัน ส่วนเฮมิเซลลูโลสเมื่ถูกย่อยจะให้น้ำตาลเพนโตสหลายชนิดปนกันขึ้นกับโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส การไฮโดรไลซ์วัสดุลิกโนเซลลูโลสด้วยกรดมี 2 แบบ คือ การไฮโดรไลซ์ด้วยกรดเจือจางและการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดเข้มข้น ตัวแปรในการไฮโดรไลซ์ประกอบด้วย ชนิดของกรด ความเข้มข้นกรด อุณหภูมิ ความดัน เวลา ฯลฯ

การไฮโดรไลซ์ด้วยกรดเจือจางสามารถไฮโดรไลซ์เฉพาะเฮมิเซลลูโลส เนื่องจากพันธะของเฮมิเซลลูโลสอ่อนแอกว่าพันธะของเซลลูโลส การใช้กรดที่อุณหภูมิและความดันสูงทำให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงและใช้เวลาน้อย จึงเหมาะกับกระบวนการผลิตต่อเนื่อง การไฮโดรไลซ์ด้วยกรดเจือจางมีข้อเสีย คือ ต้องบดย่อยให้วัสดุที่จะถูกไฮโดรไลซ์มีขนาดเล็กประมาณ 2-3 มิลลิเมตร และมีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเกิดขึ้นหลายชนิด การไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิและความดันสูงกว่าหนึ่งบรรยากาศส่งผลให้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เกิดขึ้นเปลี่ยนเป็นสารอื่น และวัสดุที่ใช้ทำภาชนะสำหรับไฮโดรไลซ์มีราคาแพง เนื่องจากต้องมีคุณสมบัติสามารถทนกรดที่อุณหภูมิและความดันสูงได้ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เกิดขึ้นมีไซโลสเป็นหลัก และมีอราบินอส แมนโนส กาแลกโตส กลูโคส และกรดยูโรนิกปนอยู่เล็กน้อย

การไฮโดรไลซ์ด้วยกรดเข้มข้นประกอบด้วยกรดเข้มข้นลงในตัวอย่าง กรดจะตัดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ของเซลลูโลสส่งผลให้โครงสร้างที่เป็นผลึกของเซลลูโลสเปลี่ยนเป็นอะมอร์ฟัส จากนั้นเติมน้ำลงไปเพื่อเจือจางกรดให้มีความเข้มข้นประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิปานกลางจะได้กลูโคสเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ การไฮโดรไลซ์ด้วยกรดเข้มข้นจะไฮโดรไลซ์ทั้งเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสไปพร้อมกัน เมื่อเซลลูโลสถูกย่อยสมบูรณ์ด้วยกรดเข้มข้นจะให้กลูโคสเพียงอย่างเดียว ในขณะที่เฮมิเซลลูโลสเมื่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรดเข้มข้น จะให้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด การใช้กรดเข้มข้นที่อุณหภูมิต่ำและความดันปกติ จะทำให้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เกิดขึ้นไม่เปลี่ยนเป็นสารอื่น ได้ปริมาณน้ำตาลสูง วัสดุที่ใช้ทำ



ภาวะสำหรับการไฮโดรไลซ์หาได้ง่ายและราคาถูก ข้อเสียของการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดเข้มข้น คือ ต้องใช้กรดที่มีความเข้มข้นซึ่งมีราคาแพง มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาช้า ใช้เวลานาน และต้องทำการแยกกรดและน้ำตาลที่ไฮโดรไลซ์ได้ออกจากกัน เพื่อนำกรดที่เหลือมาทำให้เข้มข้นและใช้ซ้ำเพื่อลดค่าใช้จ่าย

การย่อยสลายโมเลกุลของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยรังสี ผลของการย่อยสลายโมเลกุลด้วยรังสี คือ ทำให้เกิดการลดขนาดของโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง การฉายรังสีเป็นการถ่ายเทพลังงานของรังสีไปสู่โครงสร้างโมเลกุลของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยมากประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ เมื่อฉายรังสีปริมาณที่สูงมากพอ จะทำให้เกิดการย่อยสลายโมเลกุลจากโพลีแซคคาไรด์เป็นโมโนแซคคาไรด์

กลไกการเกิดปฏิกิริยาการฉายรังสีในเซลลูโลส รังสีจะถ่ายเทพลังงานให้แก่โมเลกุลของเซลลูโลส ทำให้สายโซ่ของเซลลูโลสขาดออกจากกัน ค่าที่ใช้แสดงความสามารถของรังสีที่จะเหนี่ยวนำให้เกิดการเสื่อมสลายในโพลีเมอร์ (Degradation) คือ G(S) ซึ่งสามารถหาได้จากการวัดมวลโมเลกุลของโพลีเมอร์ก่อนและหลังการฉายรังสี แล้วใช้สมการหาค่า

$$G(S) = \frac{9.65 \times 10^3}{D} \left( \frac{1}{M_n} - \frac{1}{M_{n,0}} \right)$$

เมื่อ  $M_{n,0}$  คือ จำนวนมวลโมเลกุลเฉลี่ยของโพลีเมอร์ก่อนการฉายรังสี

$M_n$  คือ จำนวนมวลโมเลกุลเฉลี่ยของโพลีเมอร์หลังการฉายรังสี

D คือ ปริมาณรังสีดูดกลืน หน่วย MGy

ตัวแปรที่มีผลต่อค่า G(S) ได้แก่ องศาของความเป็นผลึก อุณหภูมิ-ความดันระหว่างการฉายรังสี และจำนวนพลังงานที่สูญเสียไปต่อระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ได้ (LET) ค่า G(s) ของเซลลูโลสที่ถูกรังสีเหนี่ยวนำให้เกิดการเสื่อมสลายที่อุณหภูมิห้องสภาวะไร้ออกซิเจน มีค่าเท่ากับ 7.0 ปฏิกิริยาการรวมตัวกับออกซิเจนจะเกิดระหว่างการฉายรังสีหรือหลังการฉายรังสี ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำโพลีเมอร์ที่ฉายรังสีแล้วด้วยความร้อนทำให้เกิดเปอร์ออกซี แรดิคอล ( $RO_2^{\cdot}$ ) ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ( $RO_2H$ ) และเปอร์ออกไซด์ ( $ROOR$ ) ซึ่งผลของออกซิเจนมีผลต่อการเกิดการเสื่อมสลายในโพลีเมอร์ต่างกัน เช่น ในโพลีเอทิลีนจะเกิดการเสื่อมสลายได้ง่าย แต่ในโพลีเมทิลเมตาคริเลต (Polymethyl methacrylate) จะเกิดการเสื่อมสลายได้ช้าลง และในเซลลูโลสจะให้ผลการเกิดการเสื่อมสลายเหมือนกันทั้งที่มีและไม่มีออกซิเจน ซึ่งเห็นได้ว่าผลของออกซิเจนมีกฎไม่แน่นอนขึ้นกับธรรมชาติของโพลีเมอร์แต่ละชนิด

จำนวนพลังงานที่สูญเสียไปต่อระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ได้ ซึ่งพบว่า LET มีผลต่อการสร้างพันธะและเสื่อมสลายในโพลีเมอร์ จึงแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ LET ไม่มีผลกระทบ และ LET มีผลกระทบ ซึ่งเซลลูโลสเป็นวัสดุที่ถือว่า LET ไม่ส่งผลกระทบ

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการผลิตน้ำตาลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรม  
การเกษตรด้วยวิธีต่างๆ แสดงในตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ปริมาณน้ำตาลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรประเภทต่างๆ

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณน้ำตาล (%)
ผักตบชวา <sup>[184]</sup>	ฉายรังสีแกมมา 300, 500 และ 900 กิโลเกรย์ ตัวอย่างผักตบชวาจากนั้นไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟูริกที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ใช้กรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที และใช้กรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 60 นาที	42 (300 กิโลเกรย์) 41.5 (500 กิโลเกรย์) 45.6 (900 กิโลเกรย์)
ฐานดอกทานตะวัน <sup>[185]</sup> ต้นทานตะวัน	ตากแห้งฐานและต้นดอกทานตะวัน จากนั้นบดให้มีขนาด 710-300 ไมโครเมตร อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง ฉายรังสีตัวอย่าง 100-700 กิโลเกรย์ จากนั้นไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 3, 5 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15, 20, 25 และ 30 นาทีตามลำดับ กรองและวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล	22.48 (700 กิโลเกรย์) 57.17 (700 กิโลเกรย์)
ลูกมะกอก <sup>[186]</sup>	- เตรียมวัตถุดิบโดยตากแห้งลูกมะกอกและบดให้มีขนาดไม่เกิน 10 มิลลิเมตร ต้มด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 170-230 องศาเซลเซียส นาน 10-60 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นและกรอง	57.5

ตารางที่ 24 ปริมาณน้ำตาลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณน้ำตาล (%)
<p>น้ำหวานต้นเมเปิล<sup>[187]</sup> (Maple syrup)</p>	<p>- ใช้น้ำหวานจากต้นเมเปิลที่มีส่วนผสมของน้ำหวานเกรด D (Brix degree 66) ซึ่งเมื่อแปลงเป็นน้ำตาลจะได้น้ำตาล 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์</p> <p>- ใส่น้ำหวานจากต้นเมเปิลลงในเครื่องระเหย ทำการระเหยโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส ในสภาวะสุญญากาศ ที่ความดัน <math>0.14 \times 10^5</math>, <math>0.18 \times 10^5</math> และ <math>0.22 \times 10^5</math> ปาสคาล ทำการร่อนน้ำหวานด้วยอัตราการร่อนผสม 15, 30 และ 45 รอบต่อนาที จากนั้นใส่กลีเซอรอลโมโนสเตอเรท 0.1 กรัม ทำการระเหยจนน้ำหวานมีค่า Brix degree 82 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการลดอุณหภูมิลงเป็น <math>76 \pm 2</math> องศาเซลเซียส ซึ่งที่อุณหภูมินี้จะไม่ส่งผลต่อสีและรสชาติของน้ำตาล ซึ่งในขั้นตอนนี้จะทำให้ให้น้ำหวานอยู่ในสภาวะอิมิตัวยั้งยวดและเกิดการตกผลึกเป็นน้ำตาลขึ้น เมื่อเริ่มเกิดการตกผลึกทำการเติมน้ำปริมาณ 30 กรัม ทุกๆ 10 นาที เพื่อรักษาสภาวะอิมิตัวยั้งยวดให้คงที่ จนกระทั่งเกิดการตกผลึกอย่างสมบูรณ์ จากนั้นทำการกรองแยกผลึกที่ได้ออกจากของเหลว ด้วยระบบกรองที่สภาวะสุญญากาศและอุณหภูมิสูง ต่อจากนั้นทำการอบผลึกที่ได้เพื่อกำจัดความชื้นจนกระทั่งผลึกเหลือค่าความชื้นไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะได้ผลึกน้ำตาลที่มีขนาดผลึกไม่เกิน 10 ไมโครเมตร</p>	<p>71.12 (<math>0.14 \times 10^5</math> ปาสคาล, อัตราการร่อนผสม 45 รอบต่อนาที และเวลาตกผลึก 90 นาที)</p>
<p>หญ้า Switchgrass<sup>[188]</sup> หญ้า Switchgrass ที่ ดัดแปลงพันธุกรรม (10/9-40 และ 11/5-47)</p>	<p>- อบหญ้าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 72 ชั่วโมง แล้วทำการบดให้มีขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วเก็บในถุงพลาสติกปิดผนึกเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง</p> <p>- ทำการปรับปรุงคุณภาพ โดยผสมหญ้าบดแห้งเข้ากับกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.75, 1 และ 1.25 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ด้วยอัตราส่วนกรดซัลฟูริกเข้มข้นต่อหญ้า 10:1 (กรด 30 มิลลิลิตร หญ้า 3 กรัม) นำส่วนผสมใส่ในท่อที่ทำจากสแตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.75 นิ้ว สูง 4 นิ้ว แล้วปิดฝา ต่อจากนั้นนำท่อเข้าสู่ Fisher Scientific High-Temp Bath เพื่อเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงคุณภาพ ให้ความร้อนที่</p>	<p>75.9 (หญ้า Switchgrass)  82.6 (10/9-40)</p>

ตารางที่ 24 ปริมาณน้ำตาลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณน้ำตาล (%)
	<p>อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 5, 10, 20 และ 30 นาที จากนั้นนำที่อสแตนเลสที่บรรจุหญ้าออกจาก Fisher Scientific High-Temp Bath แล้วแช่ลงในน้ำประปาเพื่อทำการลดอุณหภูมิ แล้วนำส่วนผสมที่ได้ไปกรอง โดยใช้น้ำปราศจากไอออนปริมาณ 60 มิลลิลิตร ล้างตะกอนหญ้าที่ติดอยู่ที่ที่อสแตนเลสออก และทำการล้างกรดซัลฟริกที่เหลืออยู่ในตะกอนที่กรองได้ด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาณ 140 มิลลิลิตร และเก็บส่วนของเหลวที่กรองได้ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล และเก็บส่วนของตะกอนหญ้าไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปเข้ากระบวนการไฮโดรไลซิสต่อไป</p> <p>- ทำการไฮโดรไลซิสโดยผสมตะกอนหญ้าแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว ปริมาณ 0.50 กรัม เข้ากับบัฟเฟอร์ของโซเดียมซิเตรต (พีเอช 4.8) 0.05 มิลลาร์ กระตุ้นด้วยเอนไซม์ Cellic CTec2 ปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ (กรัมของเอนไซม์ต่อกรัมของตะกอนหญ้า) จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาณ ซึ่งส่วนผสมทั้งหมดจะมีปริมาตร 15 มิลลิลิตร (ปรับปริมาตรส่วนผสมโดยใช้บัฟเฟอร์ของโซเดียมซิเตรต) ใส่ส่วนผสมลงในหลอดปริมาตร 50 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นหลอดที่ใช้สำหรับเครื่องปั่นเหวี่ยง ทำการเขย่าส่วนผสมด้วยเครื่องเขย่าอัตโนมัติพร้อมกับการให้ความร้อนผ่านน้ำ ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เขย่าเป็นเวลานาน 72 ชั่วโมง แล้วทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล</p>	<p>82.2 (11/5-47)</p>

ตารางที่ 24 ปริมาณน้ำตาลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณน้ำตาล (%)
เศษไม้ยูคาลิปตัส <sup>[189]</sup>	<p>- ตากและบดเศษไม้ยูคาลิปตัสให้มีขนาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง</p> <p>- ทำการปรับปรุงคุณภาพ โดยผสมเศษไม้ยูคาลิปตัส 25 กรัม เข้ากับกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ในสัดส่วนเศษไม้ต่อกรด 1:20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรด้วย นำส่วนผสมที่ได้เข้า autoclave ขนาด 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 140, 150, 160 และ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5, 10, 15 และ 20 นาที และเขย่าด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที หลังจากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ออกจาก autoclave ทำการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วด้วยน้ำเย็น และกรองส่วนผสมที่ได้เพื่อแยกของเหลวและของแข็ง นำส่วนของเหลวไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล ส่วนของแข็งแช่แข็งเก็บไว้สำหรับกระบวนการต่อไป</p> <p>- ทำการไฮโดรไลซิสโดยผสมตะกอนไม้แห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว ปริมาณ 2 กรัม เข้ากับบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตต 50 มิลลิโมลาร์ (พีเอช 4.8) ทำการเติมเอนไซม์เซลลูเลสปริมาณ 20 FPU/g dry matter ซึ่งส่วนผสมทั้งหมดที่ได้จะมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร (ปรับปริมาตรส่วนผสมโดยใช้บัฟเฟอร์ของโซเดียมอะซิเตต) ใส่ส่วนผสมลงในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส และทำการเขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 60 ชั่วโมง แล้วทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลด้วยวิธีไอออนโครมาโทกราฟี</p>	82
หญ้าแพรง <sup>[190]</sup>	<p>- อบหญ้าแพรงให้แห้ง บดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บในถุงพลาสติกปิดผนึกเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง</p> <p>- ทำการปรับปรุงคุณภาพ โดยผสมหญ้าแพรงบด 5 กรัม เข้ากับโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5, 0.75, 1.0, 2.0 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยอัตราส่วนหญ้าแพรงบดต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์</p>	

ตารางที่ 24 ปริมาณน้ำตาลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณน้ำตาล (%)
	<p>เท่ากับ 1:10 ใส่ส่วนผสมในขวดปิดสนิทแล้วนำเข้าสู่ autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15, 30, 60 และ 90 นาที ต่อจากนั้นทำการกรองและล้างตะกอนด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 400 มิลลิลิตร จนมีพีเอชเป็นกลาง จากนั้นเก็บตะกอนไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้สำหรับกระบวนการต่อไป</p> <p>- ผสมตะกอนหญ้าแพรกที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว 1 กรัม dry biomass เข้ากับบัฟเฟอร์โซเดียมซिटเรต (พีเอช 4.8) 0.05 โมลาร์ เติมโซเดียมเอไซด์ความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เติมเอนไซม์เซลลูเลส 40 FPU/g dry biomass และเอนไซม์เซลโลไบแอส 70 CBU/g dry biomass ซึ่งส่วนผสมทั้งหมดที่ได้จะมีปริมาตร 30 มิลลิลิตร ใส่ส่วนผสมลงในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร ควบคุมอุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส ทำการเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ต่อจากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปทำการปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที แล้วเก็บส่วนของเหลวที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลต่อไป</p>	71
<p>ชานอ้อย<sup>(191)</sup> ฟางข้าว เปลือกทุเรียน</p>	<p>- อบแห้งตัวอย่าง บดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร จากนั้นฉายรังสีแกมมาตัวอย่าง ที่ปริมาณรังสี 25, 50, 75 และ 100 กิโลเกรย์</p> <p>นำตัวอย่างที่ฉายรังสี ในแต่ละปริมาณรังสีมาไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟูริก 3 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ตัวอย่างต่อกรดเท่ากับ 1 ต่อ 10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที กรองสารละลายที่ได้จากการไฮโดรไลซ์และ วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล</p>	<p>55.32 (100 kGy) 48.75 (100 kGy) 48.64 (100 kGy)</p>

ตารางที่ 24 ปริมาณน้ำตาลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณน้ำตาล (%)
<p>ชานอ้อย<sup>[192]</sup></p>	<p>- ชานอ้อยที่ใช้ในการทดลอง นำมาจากโรงงานกระดาษ</p> <p>- ทำการปรับปรุงคุณภาพชานอ้อย โดยผสมชานอ้อยแห้ง 500 กรัม เข้ากับสารละลายเอทานอลเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร โดยให้มีสัดส่วนของชานอ้อยต่อเอทานอลเท่ากับ 1:5 ในปฏิกรณ์ขนาด 5 ลิตร ต่อจากนั้น จากนั้นเติมกรดซัลฟูริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.25 หรือ 1.50 เปอร์เซ็นต์ แล้วให้ความร้อนผ่านไอน้ำที่ส่งมาจากโรงงานที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 หรือ 90 นาที แล้วทำการกรองและล้างตะกอน จากนั้นเก็บตะกอนที่กรองได้ไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้สำหรับกระบวนการไฮโดรไลซิสต่อไป</p> <p>- ทำการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ โดยผสมตะกอนชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วกับบัพเฟอร์โซเดียมซิเตรต (พีเอช 4.8) ให้ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในพลาสติกขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเอนไซม์เซลลูเลส 15 FPU/g substrate และเอนไซม์เบต้ากลูโคไซด์ 15 IU/g substrate ทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที และควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล</p>	<p>20.87</p>



ตารางที่ 24 ปริมาณน้ำตาลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณน้ำตาล (%)
กากถั่ว <sup>[193]</sup> จากโรงอาหาร	<p>- ทำการเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง โดยอบกากถั่วให้แห้งแล้วบด หลังจากนั้นร่อนกากถั่วที่บดแล้วผ่านตะแกรง 140 เมช ทำการผสมกากถั่ว 1 กรัม เข้ากับน้ำปราศจากไอออน 30 มิลลิลิตร จะได้ส่วนผสมที่มีความเข้มข้น 3.3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร</p> <p>- ทำการไฮโดรไลซิส โดยใช้ปฏิกรณ์ขนาด 200 มิลลิลิตร ทำการเติมน้ำปราศจากไอออน 170 มิลลิลิตร เข้าสู่ปฏิกรณ์ เพิ่มความดันในปฏิกรณ์โดยเปิดวาล์วให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไหลเข้าสู่ปฏิกรณ์ จนได้ความดัน 5.4-9.4 เมกะปาสคาล ปิดวาล์วและให้ความร้อนถึงอุณหภูมิ 220-300 องศาเซลเซียส แล้วจึงฉีดสารผสมของกากถั่วและน้ำปราศจากไอออนที่เตรียมไว้ปริมาณ 30 มิลลิลิตร เข้าไปในปฏิกรณ์ ซึ่งในระหว่างการฉีดต้องควบคุมอุณหภูมิภายในปฏิกรณ์ให้คงที่โดยคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาในปฏิกรณ์นาน 120-600 วินาที แล้วทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโดยใช้ dinitrosalicylic (DNS) colorimetric method</p>	65.7
ลำต้นข้าวโพด <sup>[194]</sup>	<p><b>เตรียมตัวอย่าง</b></p> <p>- ตัดลำต้นข้าวโพดสดเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด 1 เซนติเมตร แล้วทำการหมักโดยทำการผสมลำต้นข้าวโพดสดกับกรดอะซิติกเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ด้วยอัตราส่วนกรดอะซิติก 1 กรัม ต่อลำต้นข้าวโพดสด 1 กิโลกรัม หมักไว้ใน</p>	57.8

ตารางที่ 24 ปริมาณน้ำตาลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณน้ำตาล (%)
	<p>ถังพลาสติกขนาด 25 กิโลกรัม เป็นเวลา 2 เดือน ที่อุณหภูมิระหว่าง 15-25 องศาเซลเซียส จากนั้นนำต้นข้าวโพดที่หมักไว้มาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10-20 เมช</p> <p><b>ปรับปรุงคุณภาพครั้งที่ 1</b></p> <p>- ผสมตัวอย่างลำต้นข้าวโพดบดที่เตรียมไว้กับน้ำปราศจากไอออน ในสัดส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:9 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วทำการกรองเพื่อแยกตะกอนและของเหลวออกจากกัน เก็บของเหลวไว้วิเคราะห์หาน้ำตาล และทำการล้างตะกอนที่ได้แล้วทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อใช้สำหรับการปรับปรุงคุณภาพครั้งที่ 2 ต่อไป</p> <p><b>ปรับปรุงคุณภาพครั้งที่ 2</b></p> <p>- ทำการปรับปรุงคุณภาพครั้งที่ 2 โดยผสมตัวอย่างลำต้นข้าวโพดบดที่เตรียมไว้/ตะกอนของลำต้นข้าวโพดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพครั้งที่ 1 จำนวน 7 กรัม เข้ากับสารละลายเพอร์ริกไนเตรตเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาณ 63 กรัม ในปฏิกรณ์ไททาเนียมขนาด 200 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 9.6 เมกะปาสคาล และกวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5, 10, 20, 30 และ 40 นาที จากนั้นทำให้เย็นลงในถังน้ำแข็ง จนมีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส แล้วทำการกรองด้วยระบบสุญญากาศ เพื่อแยกส่วนที่เป็นตะกอนและของเหลวออกจากกัน และทำวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล</p>	

# ปุย



## ปุ๋ย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ในแต่ละปีประเทศไทยมีผลิตผลทางการเกษตรเป็นจำนวนมากเช่น ข้าว อ้อย ข้าวโพด มันสำปะหลัง ฯลฯ นอกจากการเพาะปลูกพืชผลทางการเกษตรเพื่อใช้บริโภคภายในประเทศแล้ว ประเทศไทยยังส่งออกผลผลิตทางการเกษตรสู่ประเทศต่างๆ ทั่วทุกภูมิภาคของโลกด้วย ส่งผลให้มีเศษวัสดุเหลือทิ้งในพื้นที่เพาะปลูกเป็นจำนวนมาก เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย เหน้่ามันสำปะหลัง ชังข้าวโพด เป็นต้น เกษตรกรมักจะกำจัดวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้โดยการไถกลบเพื่อให้เป็นสารอาหารบำรุงดิน หรือเผาทำลายซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศส่งผลกระทบต่อสุขภาพและความเป็นอยู่ของประชาชนใกล้เคียง

นอกจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแล้วยังมีวัสดุเหลือทิ้งหรือของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร ซึ่งเกิดจากส่วนของวัตถุดิบที่ผู้ดำเนินการหรือเจ้าของกิจการเห็นว่าเมื่อนำวัสดุนั้นมาทำผลิตภัณฑ์จะไม่คุ้มค่ากับการลงทุน หรือเป็นกากวัสดุที่ผ่านกระบวนการผลิตแล้วเช่น ทลายปาล์มและกากปาล์มจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม แกลบจากโรงสีข้าว ชานอ้อยจากโรงงานผลิตน้ำตาล และกากมันสำปะหลังจากโรงงานผลิตแป้ง ซึ่งการกำจัดโดยวิธีที่ไม่สร้างปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมนั้นต้องลงทุนสูงซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น หากสามารถนำวัสดุเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ก็จะสามารถช่วยลดภาระให้กับเกษตรกรและเจ้าของกิจการอุตสาหกรรมการเกษตรได้ และยังเป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย

การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรมาผลิตปุ๋ยโดยตรงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นได้ เนื่องจากการลดต้นทุนการผลิตทางการเกษตร ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยเคมีและเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมยังเป็นการช่วยลดต้นทุนในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งและของเสีย และใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด นอกจากนี้การผลิตปุ๋ยหมักภายใต้การควบคุมที่เหมาะสมยังเป็นการส่งเสริมสิ่งแวดล้อมอีกด้วยเนื่องจากปุ๋ยหมักจะช่วยรักษาคุณภาพของดิน ลดสารพิษตกค้างในดิน เพิ่มธาตุอาหารต่างๆ สู่ดินและไม่ก่อความเป็นพิษกับดิน

การทำปุ๋ยหมัก คือ การนำเอาเศษวัสดุ หรือวัสดุจากสิ่งมีชีวิต เช่น เศษหญ้า ใบไม้ ฟางข้าว ผักตบชวา รวมถึงขยะมูลฝอยมากองรวมกัน รดน้ำให้มีความชื้นพอเหมาะ และหมักไว้จนกระทั่ง

เศษพืช หรือวัสดุเหล่านั้นย่อยสลายและแปรสภาพไปเป็นปุ๋ยโดยจุลินทรีย์และเชื้อราซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติ

วิธีการหมักวัสดุต่างๆ ให้เป็นปุ๋ยหมัก อาจทำได้หลายวิธีเช่น การหมักเศษพืชแต่เพียงอย่างเดียว การเติมมูลสัตว์หรือปุ๋ยเคมีลงไปในการหมักด้วย เพื่อเร่งให้เศษวัสดุแปรสภาพได้เร็วขึ้น การใส่เชื้อจุลินทรีย์เพิ่มเติมลงไปเพื่อเสริมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติ และการกองปุ๋ยในรูปแบบแตกต่างกัน ซึ่งแต่ละวิธีอาจใช้ระยะเวลาในการหมักไม่เท่ากันและได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพแตกต่างกันไป กระบวนการหมักปุ๋ยสามารถทำได้ 2 แบบ คือ

1. การทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ (Aerobic compost) จะอาศัยจุลินทรีย์ EM (Effective Microorganisms) ที่ใช้ออกซิเจนช่วยในการย่อยวัตถุดิบที่สภาวะที่เหมาะสม วัตถุดิบจะต้องมีอัตราส่วนของไนโตรเจน 1 ส่วนต่อคาร์บอน 30 - 70 ส่วน และมีน้ำอยู่ประมาณ 40 - 60 เปอร์เซ็นต์ และมีออกซิเจนให้จุลินทรีย์ใช้เพียงพอ ผลพลอยได้จากการทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศคือ ไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์

2. การทำปุ๋ยหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic compost) จะอาศัยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนย่อยวัตถุ จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะสามารถย่อยวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนของไนโตรเจนและคาร์บอนสูงกว่าการทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศและการย่อยสลายสามารถเกิดขึ้นได้ที่มีความชื้นสูงกว่า ผลพลอยได้ของการย่อยสลายวัตถุดิบคือ ก๊าซมีเทน

ปุ๋ยที่หมักเสร็จแล้วจะต้องมีค่าของธาตุต่างๆ เป็นไปได้ตามมาตรฐานของปุ๋ยหมัก ถ้าปุ๋ยหมักไม่ได้มาตรฐานอาจจะเป็นพิษต่อต้นไม้และสิ่งแวดล้อมได้ สำหรับมาตรฐานของปุ๋ยหมักในประเทศไทยเป็นไปตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ดังแสดงในตารางที่ 25

การผลิตปุ๋ยสามารถผลิตได้หลายวิธี การเลือกใช้วัสดุตั้งต้นที่แตกต่างกันจะทำให้ได้ปุ๋ยที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน คุณสมบัติและคุณภาพของปุ๋ยเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงซึ่งปัจจัยหลักที่จะส่งผลต่อคุณภาพของปุ๋ย คือ ส่วนผสมของวัสดุตั้งต้นต่างๆ ที่ใช้ทำปุ๋ย ต้องผสมให้เข้ากันในอัตราส่วนที่เหมาะสม นอกจากวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยแล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกมากมายที่ส่งผลต่อคุณภาพของปุ๋ย ซึ่งจะต้องคำนึงถึงเช่น เวลาที่ใช้ในการหมัก อุณหภูมิ เป็นต้น ตัวอย่างการศึกษาวิจัย

วิธีการผลิตปุ๋ยจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร เพื่อให้ได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพดีตามมาตรฐานและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แสดงในตารางที่ 26

ตารางที่ 25 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 มิลลิเมตร
2	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ย่อยได้	ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
3	ปริมาณหินและกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
4	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ต้องไม่มี
5	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
6	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5-8.5
7	อัตราค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N)	ไม่เกิน 20:1
8	ค่าการนำไฟฟ้า (EC:Electrical Conductivity)	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก	-ไนโตรเจน (total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก -ฟอสฟอรัส(total P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก -โพแทสเซียม (total K <sub>2</sub> O) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
10	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์
11	สารหนู(Arsenic) แคดเมียม(Cadmium) โครเมียม(Chromium) ทองแดง(Copper) ตะกั่ว(Lead) ปรอท(Mercury)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เกิน 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ตารางที่ 26 คุณสมบัติของปุ๋ยที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	คุณสมบัติปุ๋ย																																																																				
<p>กากผลมะกอกจาก การสกัดน้ำมัน มะกอก<sup>(195)</sup> (Olive oil husk)</p>	<p>ผสมปุ๋ยหมักโดยใช้กากผลมะกอกที่ผ่านการสกัดน้ำมัน มะกอกออกแล้ว ซึ่งมาจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก ตามอัตราส่วนต่าง ดังนี้</p> <p>- ส่วนผสม A: ประกอบด้วย TrH 80 เปอร์เซ็นต์ และผล มะกอกแห้ง (Olive tree pruning) 20 เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก</p> <p>- ส่วนผสม B: ประกอบด้วย ExH 70 เปอร์เซ็นต์ ผล มะกอกแห้ง 22 เปอร์เซ็นต์ และกากธัญพืช 8 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก</p> <p>*หมายเหตุ ExH หมายถึง กากผลมะกอกที่มีความชื้น 78.1 เปอร์เซ็นต์</p> <p>TrH หมายถึง กากผลมะกอกที่มีความชื้น 47.1 เปอร์เซ็นต์</p> <p>แต่ละส่วนผสม (ส่วนผสม A และ B) จะมีปริมาตร ทั้งหมด 200 ลิตร นำแต่ละส่วนผสม (ส่วนผสม A และ B) ใส่ลงในถังเหล็กทรงกระบอกขนาด 240 ลิตร ช่วง เทอร์โมฟิลิกของการหมักจะใส่อากาศโดยทำการปั๊ม อากาศจากกันถัง ที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.35 ลิตรต่อชั่วโมงต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง</p>	<p>- การหมักปุ๋ยจากส่วนผสม A และ B เป็นเวลา 126 วัน เป็นระยะเวลาการหมักที่เหมาะสม เมื่อ ทำการศึกษาคูณสมบัติของปุ๋ย ได้คุณสมบัติต่างๆ ดังตาราง</p> <table border="1" data-bbox="1120 302 1971 876"> <thead> <tr> <th></th> <th>Compost A</th> <th>Compost B</th> <th>Italian law limits</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Moisture (%)</td> <td>28.3 (1.6)</td> <td>38.4 (0.8)</td> <td>&lt;50</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td>7.4 (0.02)</td> <td>8.1 (0.07)</td> <td>6.0–8.5</td> </tr> <tr> <td>EC (dS m<sup>-1</sup>)</td> <td>1.55 (0.01)</td> <td>3.29 (0.24)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>TOC (g kg<sup>-1</sup>)</td> <td>461 (3.4)</td> <td>473 (1.3)</td> <td>&gt;200</td> </tr> <tr> <td>TKN (g kg<sup>-1</sup>)</td> <td>18 (0.4)</td> <td>29 (0.5)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total organic N (g kg<sup>-1</sup>)</td> <td>17</td> <td>27</td> <td>&gt;80% of TKN</td> </tr> <tr> <td>C/N</td> <td>26.2</td> <td>16.6</td> <td>&lt;25</td> </tr> <tr> <td>Humic acid + Fulvic acid C (g kg<sup>-1</sup>)</td> <td>292 (11.8)</td> <td>142 (3.9)</td> <td>&gt;70</td> </tr> <tr> <td>Total P (g kg<sup>-1</sup>)</td> <td>2.7 (0.2)</td> <td>5.1 (0.5)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total K (g kg<sup>-1</sup>)</td> <td>7.6 (0.1)</td> <td>33.3 (0.2)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total Cd (mg kg<sup>-1</sup>)</td> <td>0.8 (0.03)</td> <td>0.3 (0.06)</td> <td>&lt;1.5</td> </tr> <tr> <td>Total Cu (mg kg<sup>-1</sup>)</td> <td>28.3 (0.5)</td> <td>57.1 (0.5)</td> <td>&lt;150</td> </tr> <tr> <td>Total Hg (mg kg<sup>-1</sup>)</td> <td>0.22 (0.01)</td> <td>&lt;0.05<sup>b</sup></td> <td>&lt;1.5</td> </tr> <tr> <td>Total Ni (mg kg<sup>-1</sup>)</td> <td>&lt;0.05<sup>b</sup></td> <td>2.6 (1.1)</td> <td>&lt;50</td> </tr> <tr> <td>Total Pb (mg kg<sup>-1</sup>)</td> <td>14.4 (0.2)</td> <td>&lt;0.5<sup>b</sup></td> <td>&lt;140</td> </tr> <tr> <td>Total Zn (mg kg<sup>-1</sup>)</td> <td>27.8 (0.4)</td> <td>41.2 (1.0)</td> <td>&lt;500</td> </tr> </tbody> </table> <p>EC, Electrical conductivity; TOC, Total organic carbon; TKN, Total Kjeldahl nitrogen.  <sup>a</sup> Except for moisture, all data are expressed on a dry weight basis; Values  represent the mean with standard error in brackets.  <sup>b</sup> Limit of sensitivity of the method used.</p> <p>ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดจากกฎหมายของประเทศอิตาลี พบว่าปุ๋ยหมักที่ได้จากทั้ง ส่วนผสม A และ B มีคุณสมบัติทุกอย่างตามที่กฎหมายกำหนด นอกจากนี้ยังพบว่าปุ๋ยที่ผลิต ได้นั้นมีโลหะหนักผสมอยู่เป็นจำนวนน้อยมาก ดังนั้นทั้งปุ๋ยจากทั้งสองส่วนผสมจึงเป็นปุ๋ยหมัก ที่มีคุณสมบัติเหมาะสม และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย</p>		Compost A	Compost B	Italian law limits	Moisture (%)	28.3 (1.6)	38.4 (0.8)	<50	pH	7.4 (0.02)	8.1 (0.07)	6.0–8.5	EC (dS m <sup>-1</sup> )	1.55 (0.01)	3.29 (0.24)		TOC (g kg <sup>-1</sup> )	461 (3.4)	473 (1.3)	>200	TKN (g kg <sup>-1</sup> )	18 (0.4)	29 (0.5)		Total organic N (g kg <sup>-1</sup> )	17	27	>80% of TKN	C/N	26.2	16.6	<25	Humic acid + Fulvic acid C (g kg <sup>-1</sup> )	292 (11.8)	142 (3.9)	>70	Total P (g kg <sup>-1</sup> )	2.7 (0.2)	5.1 (0.5)		Total K (g kg <sup>-1</sup> )	7.6 (0.1)	33.3 (0.2)		Total Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	0.8 (0.03)	0.3 (0.06)	<1.5	Total Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	28.3 (0.5)	57.1 (0.5)	<150	Total Hg (mg kg <sup>-1</sup> )	0.22 (0.01)	<0.05 <sup>b</sup>	<1.5	Total Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	<0.05 <sup>b</sup>	2.6 (1.1)	<50	Total Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	14.4 (0.2)	<0.5 <sup>b</sup>	<140	Total Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	27.8 (0.4)	41.2 (1.0)	<500
	Compost A	Compost B	Italian law limits																																																																			
Moisture (%)	28.3 (1.6)	38.4 (0.8)	<50																																																																			
pH	7.4 (0.02)	8.1 (0.07)	6.0–8.5																																																																			
EC (dS m <sup>-1</sup> )	1.55 (0.01)	3.29 (0.24)																																																																				
TOC (g kg <sup>-1</sup> )	461 (3.4)	473 (1.3)	>200																																																																			
TKN (g kg <sup>-1</sup> )	18 (0.4)	29 (0.5)																																																																				
Total organic N (g kg <sup>-1</sup> )	17	27	>80% of TKN																																																																			
C/N	26.2	16.6	<25																																																																			
Humic acid + Fulvic acid C (g kg <sup>-1</sup> )	292 (11.8)	142 (3.9)	>70																																																																			
Total P (g kg <sup>-1</sup> )	2.7 (0.2)	5.1 (0.5)																																																																				
Total K (g kg <sup>-1</sup> )	7.6 (0.1)	33.3 (0.2)																																																																				
Total Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	0.8 (0.03)	0.3 (0.06)	<1.5																																																																			
Total Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	28.3 (0.5)	57.1 (0.5)	<150																																																																			
Total Hg (mg kg <sup>-1</sup> )	0.22 (0.01)	<0.05 <sup>b</sup>	<1.5																																																																			
Total Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	<0.05 <sup>b</sup>	2.6 (1.1)	<50																																																																			
Total Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	14.4 (0.2)	<0.5 <sup>b</sup>	<140																																																																			
Total Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	27.8 (0.4)	41.2 (1.0)	<500																																																																			

ตารางที่ 26 คุณสมบัติของปุ๋ยที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	คุณสมบัติปุ๋ย
	<p>ทำการควบคุมอุณหภูมิในถังไม่ให้เกิน 55 องศาเซลเซียส และเติมน้ำลงในถังสัปดาห์ละ 2 ครั้ง เพื่อควบคุมความชื้นให้อยู่ระหว่าง 50-60 เปอร์เซ็นต์ ทำการหมักจนอุณหภูมิในถังคงที่ที่ 45 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการสิ้นสุดช่วงเทอร์โมฟิลิก จากนั้นย้ายส่วนผสมใส่ลงในถังที่เป็นระบบเปิด (ไม่มีการอัดอากาศ) เพื่อทำการหมักต่อในช่วงเคียวริง ทำการหมักจนสิ้นสุดช่วงเคียวริง ซึ่งใช้เวลาหมักทั้ง 2 ช่วง เป็นเวลา 126 วัน</p>	
<p>ฟางข้าวและกากตะกอนน้ำทิ้ง<sup>[177]</sup> (Rice straw and sewage sludge)</p>	<p><b>การผสมปุ๋ยหมัก</b> ทำการผสมปุ๋ยหมักสองแบบ โดยแบบที่ 1 เรียกส่วนผสมว่า P1 ใช้ฟางข้าวที่ผ่านการตัดและฉีกให้เป็นฝอย และแบบที่ 2 เรียกส่วนผสมว่า P2 ใช้ฟางข้าวที่ไม่ได้ผ่านการตัดและฉีกให้เป็นฝอย จากนั้นผสมกากตะกอนจากน้ำเสียเข้ากับ P1 และ P2 ในอัตราส่วน 2.6:1 โดยน้ำหนักสด และเติมน้ำปริมาตร 10 ลิตร เมื่อผสมส่วนผสมเรียบร้อยแล้วจะได้กองปุ๋ยหมักที่มีขนาด 1.0x0.8x0.75 เมตร ทำการหมักเป็นเวลา 90 วัน</p>	<p>- การหมักปุ๋ยจากส่วนผสม P1 และ P2 เป็นเวลา 90 วัน เมื่อทำการศึกษาคุณสมบัติของปุ๋ย ได้คุณสมบัติต่างๆ ดังตาราง พบว่าปุ๋ยหมัก P1 เมื่อหมักเป็นระยะเวลา 90 วัน เป็นระยะการหมักที่เหมาะสม จะได้ปุ๋ยที่มีคุณสมบัติทุกอย่างอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ทั้งคุณภาพและไม่มีความเป็นพิษต่อพืช ส่วนปุ๋ยหมัก P2 มีคุณสมบัติส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ยกเว้นค่า <math>NH_4-N</math> เท่ากับ 540 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งค่ามาตรฐานต้องน้อยกว่า 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่า CHA/CFA เท่ากับ 0.48 ซึ่งค่ามาตรฐานต้องมากกว่า 1 ซึ่งหมายถึงว่าปุ๋ยหมัก P2 ต้องหมักให้นานกว่า 90 วัน เนื่องจากหมักจากฟางข้าวที่ไม่ได้ตัดและฉีกเป็นฝอยทำให้การผสมกันของส่วนผสมไม่ทั่วถึง</p>



ตารางที่ 26 คุณสมบัติของปุ๋ยที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	คุณสมบัติปุ๋ย																																																																		
	<p><b>การนำปุ๋ยไปทดลองใช้กับดิน</b></p> <p>นำปุ๋ยที่ผลิตได้จากส่วนผสม P1 ไปทดลองใช้กับดินเหนียวและดินทราย โดยปลูกข้าวบาร์เลย์ในกระถาง ใช้ดินปริมาณ 250 กรัมต่อกระถาง ผสมกับปุ๋ยที่ปริมาณต่างๆ ได้แก่</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ดินเหนียว : แต่ละกระถางทำการผสมปุ๋ยด้วยปริมาณ 0.0, 0.2, 0.8, 1.5, 3.0, 6.0 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก</li> <li>- ดินทราย : แต่ละกระถางทำการผสมปุ๋ยด้วยปริมาณ 0, 1, 2, 4, 6, 10, 20 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก</li> </ul> <p>หลังจากปลูก 10 วัน นำข้าวบาร์เลย์และดินมาวิเคราะห์</p>	<table border="1" data-bbox="1153 196 1960 1035"> <thead> <tr> <th>พารามิเตอร์</th> <th>ตะกอนน้ำทิ้ง</th> <th>ฟางข้าว</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Colour</td> <td>7.5Y 2/1</td> <td>2.5Y 7/6</td> </tr> <tr> <td>Density (g/cm<sup>3</sup>)</td> <td>1.01 (0.01)</td> <td>0.05 (0.00)</td> </tr> <tr> <td>Moisture content (%)</td> <td>79.0 (2.0)</td> <td>10.0 (0.3)</td> </tr> <tr> <td>pH (H<sub>2</sub>O)<sup>a</sup></td> <td>7.5-7.7</td> <td>8.4-8.6</td> </tr> <tr> <td>EC (dSm<sup>-1</sup>)</td> <td>3.10 (0.60)</td> <td>6.95 (0.61)</td> </tr> <tr> <td>Oxidizable organic carbon</td> <td>20.0 (0.6)</td> <td>34.0 (1.0)</td> </tr> <tr> <td>Total organic matter (%)</td> <td>60 (2)</td> <td>78 (1)</td> </tr> <tr> <td>Total Kjeldahl nitrogen (%)</td> <td>3.0 (0.1)</td> <td>0.7 (0.1)</td> </tr> <tr> <td>C/N ratio</td> <td>7.0 (0.5)</td> <td>48.0 (2.0)</td> </tr> <tr> <td>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (%)</td> <td>3.6 (0.3)</td> <td>0.2 (0.1)</td> </tr> <tr> <td>K<sub>2</sub>O (%)</td> <td>0.30 (0.02)</td> <td>1.90 (0.01)</td> </tr> <tr> <td>CaO (%)</td> <td>11.00 (1.00)</td> <td>0.85 (0.03)</td> </tr> <tr> <td>MgO (%)</td> <td>1.0 (0.2)</td> <td>0.6 (0.0)</td> </tr> <tr> <td>Fe (mg/kg<sup>-1</sup>)</td> <td>31200 (2700)</td> <td>310 (3)</td> </tr> <tr> <td>Mn (mg/kg<sup>-1</sup>)</td> <td>165 (9)</td> <td>92 (2)</td> </tr> <tr> <td>Zn (mg/kg<sup>-1</sup>)</td> <td>1100 (80)</td> <td>29 (1)</td> </tr> <tr> <td>Cu (mg/kg<sup>-1</sup>)</td> <td>230 (20)</td> <td>9 (1)</td> </tr> <tr> <td>Ni (mg/kg<sup>-1</sup>)</td> <td>53 (3)</td> <td>6 (0)</td> </tr> <tr> <td>Pb (mg/kg<sup>-1</sup>)</td> <td>50 (20)</td> <td>2 (0)</td> </tr> <tr> <td>Cd (mg/kg<sup>-1</sup>)</td> <td>2.55 (0.05)</td> <td>n.d.</td> </tr> <tr> <td>Cr (mg/kg<sup>-1</sup>)</td> <td>210 (20)</td> <td>n.d.</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>ผลการนำปุ๋ยไปทดลองใช้กับดิน</b></p> <p>ปุ๋ยหมักจากส่วนผสม P1 ทำให้ดินมีพีเอชลดลง และมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของปุ๋ย แต่มีข้อจำกัดที่อาจทำให้ดินมีความเค็มมากขึ้น ซึ่งปริมาณที่เหมาะสมสำหรับดินทรายและดินเหนียว คือ 34 และ 11 มิลลิกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ</p>	พารามิเตอร์	ตะกอนน้ำทิ้ง	ฟางข้าว	Colour	7.5Y 2/1	2.5Y 7/6	Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.01 (0.01)	0.05 (0.00)	Moisture content (%)	79.0 (2.0)	10.0 (0.3)	pH (H <sub>2</sub> O) <sup>a</sup>	7.5-7.7	8.4-8.6	EC (dSm <sup>-1</sup> )	3.10 (0.60)	6.95 (0.61)	Oxidizable organic carbon	20.0 (0.6)	34.0 (1.0)	Total organic matter (%)	60 (2)	78 (1)	Total Kjeldahl nitrogen (%)	3.0 (0.1)	0.7 (0.1)	C/N ratio	7.0 (0.5)	48.0 (2.0)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	3.6 (0.3)	0.2 (0.1)	K <sub>2</sub> O (%)	0.30 (0.02)	1.90 (0.01)	CaO (%)	11.00 (1.00)	0.85 (0.03)	MgO (%)	1.0 (0.2)	0.6 (0.0)	Fe (mg/kg <sup>-1</sup> )	31200 (2700)	310 (3)	Mn (mg/kg <sup>-1</sup> )	165 (9)	92 (2)	Zn (mg/kg <sup>-1</sup> )	1100 (80)	29 (1)	Cu (mg/kg <sup>-1</sup> )	230 (20)	9 (1)	Ni (mg/kg <sup>-1</sup> )	53 (3)	6 (0)	Pb (mg/kg <sup>-1</sup> )	50 (20)	2 (0)	Cd (mg/kg <sup>-1</sup> )	2.55 (0.05)	n.d.	Cr (mg/kg <sup>-1</sup> )	210 (20)	n.d.
พารามิเตอร์	ตะกอนน้ำทิ้ง	ฟางข้าว																																																																		
Colour	7.5Y 2/1	2.5Y 7/6																																																																		
Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.01 (0.01)	0.05 (0.00)																																																																		
Moisture content (%)	79.0 (2.0)	10.0 (0.3)																																																																		
pH (H <sub>2</sub> O) <sup>a</sup>	7.5-7.7	8.4-8.6																																																																		
EC (dSm <sup>-1</sup> )	3.10 (0.60)	6.95 (0.61)																																																																		
Oxidizable organic carbon	20.0 (0.6)	34.0 (1.0)																																																																		
Total organic matter (%)	60 (2)	78 (1)																																																																		
Total Kjeldahl nitrogen (%)	3.0 (0.1)	0.7 (0.1)																																																																		
C/N ratio	7.0 (0.5)	48.0 (2.0)																																																																		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	3.6 (0.3)	0.2 (0.1)																																																																		
K <sub>2</sub> O (%)	0.30 (0.02)	1.90 (0.01)																																																																		
CaO (%)	11.00 (1.00)	0.85 (0.03)																																																																		
MgO (%)	1.0 (0.2)	0.6 (0.0)																																																																		
Fe (mg/kg <sup>-1</sup> )	31200 (2700)	310 (3)																																																																		
Mn (mg/kg <sup>-1</sup> )	165 (9)	92 (2)																																																																		
Zn (mg/kg <sup>-1</sup> )	1100 (80)	29 (1)																																																																		
Cu (mg/kg <sup>-1</sup> )	230 (20)	9 (1)																																																																		
Ni (mg/kg <sup>-1</sup> )	53 (3)	6 (0)																																																																		
Pb (mg/kg <sup>-1</sup> )	50 (20)	2 (0)																																																																		
Cd (mg/kg <sup>-1</sup> )	2.55 (0.05)	n.d.																																																																		
Cr (mg/kg <sup>-1</sup> )	210 (20)	n.d.																																																																		

ตารางที่ 26 คุณสมบัติของปุ๋ยที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	คุณสมบัติปุ๋ย
<p>วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร<sup>(178)</sup></p>	<p><b>การผลิตปุ๋ยหมัก</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- เตรียมวัสดุเหลือทิ้งจากฟาร์ม (MFW) โดยผสมส่วนผสมดังต่อไปนี้ ส่วนที่เหลือของต้นมันฝรั่ง ดอกข้าวฟ่าง ฟางข้าว และมูลวัว ในอัตราส่วน 4:1:1:2 (น้ำหนักแห้ง)</li> <li>- เตรียม C1 โดยเอาส่วนผสม MFW มา 5 กิโลกรัม</li> <li>- เตรียม C2, C3, C4 และ C5 โดยนำ MFW ที่เหลือผสมกับผงฟอสเฟต (RP: ขนาด 100 เมช ประกอบด้วยฟอสฟอรัส 9.4 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณ 1 กิโลกรัม และเติมยูเรีย ซึ่งจะทำให้ส่วนผสมมีอัตราส่วนคาร์บอน : ไนโตรเจน เท่ากับ 30:1 ต่อจากนั้นทำการแบ่งส่วนผสมออกเป็นส่วนๆ ส่วนละ 5 กิโลกรัม แล้วผสมทุกส่วนผสมด้วย กากน้ำตาลปริมาตร 150 มิลลิลิตร จากนั้นผสมส่วนผสมที่ได้ด้วยสารละลายของตะกอนน้ำทิ้ง (SS) 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร จะได้ส่วนผสมปุ๋ย C2, ผสมของเสียจากโรงกลั่นสุรา (DE) 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร จะได้ส่วนผสมปุ๋ย C3, ผสมตะกอนที่ได้จากกระบวนการแยกน้ำอ้อยในกระบวนการทำใส 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร จะได้</li> </ul>	<p>จากตารางคุณสมบัติปุ๋ยจากส่วนผสมต่างๆ พบว่า ปุ๋ยที่ผสมจากส่วนผสมของตะกอนน้ำทิ้ง ตะกอนจากระบวนการแยกน้ำอ้อย และของเสียจากสัตว์ปีก จะใช้เวลาหมักจนปุ๋ยมีคุณภาพเหมาะสมที่จะเอาไปใช้งานเร็วกว่าปุ๋ยที่ผสมจากส่วนผสมของของเสียจากโรงกลั่นสุราและไม่ได้ผสมเลย (C1) จากการศึกษาได้ปัจจัยที่ใช้ในการหาคุณภาพที่เหมาะสมของปุ๋ยที่หมักได้แล้วพร้อมที่จะเอาไปใช้งานกับค่าที่เหมาะสม ได้แก่</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Organic matter loss &gt;42%</li> <li>- C:N ratio &lt;15</li> <li>- Water soluble organic carbon (Cw):organic N (Norg) ratio &lt;0.55</li> <li>- Humic acid (HA):fulvic acid (FA) ratio &gt;1.9</li> <li>- Humification index (HI) &gt;30%</li> <li>- Cation exchange capacity (CEC): total organic carbon (TOC) ratio &gt;1.7</li> <li>- Germination index (GI) &gt;70%</li> </ul>

ตารางที่ 26 คุณสมบัติของปุ๋ยที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	คุณสมบัติปุ๋ย																																																													
	<p>ส่วนผสมปุ๋ย C4 และผลของเสียจากสัตว์ปีก 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร จะได้ส่วนผสมปุ๋ย C5 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปส่วนผสมต่างๆ ได้ดังตาราง แล้วทำการบ่มแต่ละส่วนผสมในบ่อซีเมนต์ขนาด (ยาว x กว้าง x สูง: 6x2x1 ) ปิดบ่อด้วยแผ่นโพลีเอทิลีนและปิดด้วยดินหนา 5 เซนติเมตร อีกชั้น บ่มเป็นเวลานาน 150 วัน และทำการเก็บตัวอย่างที่เวลาต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์</p>	<table border="1" data-bbox="1077 258 2045 1038"> <thead> <tr> <th data-bbox="1077 258 1267 359">ส่วนผสม ปัจจัย</th> <th data-bbox="1267 258 1395 359">C1 MFW</th> <th data-bbox="1395 258 1523 359">C2 MFW+N+ RP+SS</th> <th data-bbox="1523 258 1650 359">C3 MFW+N+ RP+DE</th> <th data-bbox="1650 258 1778 359">C4 MFW+N+ RP+PM</th> <th data-bbox="1778 258 1906 359">C5 MFW+N+ RP+PW</th> <th data-bbox="1906 258 2045 359">ค่าที่ดีที่สุด (optimal values)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1077 359 1267 394">organic matter loss</td> <td data-bbox="1267 359 1395 394">27.08%</td> <td data-bbox="1395 359 1523 394">44.8%</td> <td data-bbox="1523 359 1650 394">40.8%</td> <td data-bbox="1650 359 1778 394">43.8%</td> <td data-bbox="1778 359 1906 394">42.5%</td> <td data-bbox="1906 359 2045 394">&gt;42%</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1077 394 1267 429">C:N ratio</td> <td data-bbox="1267 394 1395 429">36.7</td> <td data-bbox="1395 394 1523 429">11.7</td> <td data-bbox="1523 394 1650 429">17.6</td> <td data-bbox="1650 394 1778 429">14.1</td> <td data-bbox="1778 394 1906 429">14.4</td> <td data-bbox="1906 394 2045 429">&lt;15</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1077 429 1267 568">water soluble organic carbon(Cw):organic N (Norg) ratio</td> <td data-bbox="1267 429 1395 568">หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด</td> <td data-bbox="1395 429 1523 568">&lt;0.55 เมื่อ หนัก 120 วัน</td> <td data-bbox="1523 429 1650 568">หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด</td> <td data-bbox="1650 429 1778 568">&lt;0.55 เมื่อ หนัก 120 วัน</td> <td data-bbox="1778 429 1906 568">&lt;0.55 เมื่อ หนัก 150 วัน</td> <td data-bbox="1906 429 2045 568">&lt;0.55</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1077 568 1267 681">humic acid (HA):fulvic acid (FA) ratio</td> <td data-bbox="1267 568 1395 681">หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด</td> <td data-bbox="1395 568 1523 681">&gt;1.9 เมื่อ หนัก 120 วัน</td> <td data-bbox="1523 568 1650 681">หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด</td> <td data-bbox="1650 568 1778 681">&gt;1.9 เมื่อ หนัก 120 วัน</td> <td data-bbox="1778 568 1906 681">&gt;1.9 เมื่อ หนัก 150 วัน</td> <td data-bbox="1906 568 2045 681">&gt;1.9</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1077 681 1267 795">humification index (HI)</td> <td data-bbox="1267 681 1395 795">หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด</td> <td data-bbox="1395 681 1523 795">&gt;30% เมื่อ หนัก 120 วัน</td> <td data-bbox="1523 681 1650 795">หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด</td> <td data-bbox="1650 681 1778 795">&gt;30% เมื่อ หนัก 120 วัน</td> <td data-bbox="1778 681 1906 795">&gt;30% เมื่อ หนัก 150 วัน</td> <td data-bbox="1906 681 2045 795">&gt;30%</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1077 795 1267 934">cation exchange capacity (CEC):total organic carbon (TOC) ratio</td> <td data-bbox="1267 795 1395 934">หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด</td> <td data-bbox="1395 795 1523 934">&gt;1.7 เมื่อ หนัก 120 วัน</td> <td data-bbox="1523 795 1650 934">&gt;1.7 เมื่อ หนัก 150 วัน</td> <td data-bbox="1650 795 1778 934">&gt;1.7 เมื่อ หนัก 120 วัน</td> <td data-bbox="1778 795 1906 934">&gt;1.7 เมื่อ หนัก 120 วัน</td> <td data-bbox="1906 795 2045 934">&gt;1.7</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1077 934 1267 1038">germination index (GI)</td> <td data-bbox="1267 934 1395 1038">-</td> <td data-bbox="1395 934 1523 1038">-</td> <td data-bbox="1523 934 1650 1038">&gt;70% เมื่อ หนัก 150 วัน</td> <td data-bbox="1650 934 1778 1038">&gt;70% เมื่อ หนัก 120 วัน</td> <td data-bbox="1778 934 1906 1038">&gt;70% เมื่อ หนัก 120 วัน</td> <td data-bbox="1906 934 2045 1038">&gt;70%</td> </tr> </tbody> </table>						ส่วนผสม ปัจจัย	C1 MFW	C2 MFW+N+ RP+SS	C3 MFW+N+ RP+DE	C4 MFW+N+ RP+PM	C5 MFW+N+ RP+PW	ค่าที่ดีที่สุด (optimal values)	organic matter loss	27.08%	44.8%	40.8%	43.8%	42.5%	>42%	C:N ratio	36.7	11.7	17.6	14.1	14.4	<15	water soluble organic carbon(Cw):organic N (Norg) ratio	หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด	<0.55 เมื่อ หนัก 120 วัน	หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด	<0.55 เมื่อ หนัก 120 วัน	<0.55 เมื่อ หนัก 150 วัน	<0.55	humic acid (HA):fulvic acid (FA) ratio	หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด	>1.9 เมื่อ หนัก 120 วัน	หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด	>1.9 เมื่อ หนัก 120 วัน	>1.9 เมื่อ หนัก 150 วัน	>1.9	humification index (HI)	หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด	>30% เมื่อ หนัก 120 วัน	หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด	>30% เมื่อ หนัก 120 วัน	>30% เมื่อ หนัก 150 วัน	>30%	cation exchange capacity (CEC):total organic carbon (TOC) ratio	หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด	>1.7 เมื่อ หนัก 120 วัน	>1.7 เมื่อ หนัก 150 วัน	>1.7 เมื่อ หนัก 120 วัน	>1.7 เมื่อ หนัก 120 วัน	>1.7	germination index (GI)	-	-	>70% เมื่อ หนัก 150 วัน	>70% เมื่อ หนัก 120 วัน	>70% เมื่อ หนัก 120 วัน	>70%
	ส่วนผสม ปัจจัย	C1 MFW	C2 MFW+N+ RP+SS	C3 MFW+N+ RP+DE	C4 MFW+N+ RP+PM	C5 MFW+N+ RP+PW	ค่าที่ดีที่สุด (optimal values)																																																								
	organic matter loss	27.08%	44.8%	40.8%	43.8%	42.5%	>42%																																																								
	C:N ratio	36.7	11.7	17.6	14.1	14.4	<15																																																								
	water soluble organic carbon(Cw):organic N (Norg) ratio	หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด	<0.55 เมื่อ หนัก 120 วัน	หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด	<0.55 เมื่อ หนัก 120 วัน	<0.55 เมื่อ หนัก 150 วัน	<0.55																																																								
	humic acid (HA):fulvic acid (FA) ratio	หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด	>1.9 เมื่อ หนัก 120 วัน	หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด	>1.9 เมื่อ หนัก 120 วัน	>1.9 เมื่อ หนัก 150 วัน	>1.9																																																								
	humification index (HI)	หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด	>30% เมื่อ หนัก 120 วัน	หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด	>30% เมื่อ หนัก 120 วัน	>30% เมื่อ หนัก 150 วัน	>30%																																																								
	cation exchange capacity (CEC):total organic carbon (TOC) ratio	หนัก 150 วัน แต่ยังไม่ได้ ค่าที่ดีที่สุด	>1.7 เมื่อ หนัก 120 วัน	>1.7 เมื่อ หนัก 150 วัน	>1.7 เมื่อ หนัก 120 วัน	>1.7 เมื่อ หนัก 120 วัน	>1.7																																																								
	germination index (GI)	-	-	>70% เมื่อ หนัก 150 วัน	>70% เมื่อ หนัก 120 วัน	>70% เมื่อ หนัก 120 วัน	>70%																																																								
	Composting mixture																																																														
C1-MFW (farm waste compost)																																																															
C2-MFW+N+RP+SS (sawage sludge compost)																																																															
C3-MFW+N+RP+DE (distillery effluent compost)																																																															
C4-MFW+N+RP+PM (pressmud compost)																																																															
C5-MFW+N+RP+PW (poultry waste compost)																																																															

ตารางที่ 26 คุณสมบัติของปุ๋ยที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	คุณสมบัติปุ๋ย
<p>เถ้าไม้และของเสียอินทรีย์<sup>(179)</sup></p>	<p><b>การผลิตปุ๋ยหมัก</b></p> <p>ผสมของเสียอินทรีย์กับเศษต้นไม้ ใบไม้จากการตัดแต่งกิ่ง ในอัตราส่วน 53:47 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะเป็นแหล่งของสารอินทรีย์ในการทำปุ๋ยหมัก ต่อจากนั้นทำการเติมเถ้าไม้ 0, 8 และ 16 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ซึ่งจะเรียกตัวอย่างที่เติมเถ้าไม้ปริมาณต่างๆ ว่า K0, K8 และ K16 ตามลำดับ จะได้กองปุ๋ยหมักสามกองที่มีปริมาณเถ้าไม้แตกต่างกัน ซึ่งเถ้าไม้จากการเผาไหม้เปลือกและเศษต้นไม้ และขี้เลื่อย ทำการหมักเป็นเวลา 4 สัปดาห์ กลับและคลุกเคล้ากองปุ๋ยสัปดาห์ละสองครั้ง เมื่อครบ 1 เดือน นำปุ๋ยที่ได้มาร้อนผ่านเครื่องร่อนขนาด 1 เซนติเมตร ส่วนที่เหลือหมักต่ออีก 21 สัปดาห์ และทำการเก็บตัวอย่างที่เวลาต่างๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์</p> <p><b>การนำปุ๋ยที่ผลิตได้ทดลองใช้กับพืช</b></p> <p>ทำการทดลองนำปุ๋ยที่เติมเถ้าไม้ปริมาณต่างๆ เปรียบเทียบกับการหมักที่ผสมแร่และการหมักที่ผสมสารอินทรีย์ ดังนี้</p>	<p><b>คุณสมบัติปุ๋ย</b></p> <p>- ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากส่วนผสมต่างๆ มีคุณสมบัติดังตาราง ซึ่งค่า <math>C_{org}</math> และค่า N มีค่าลดลงเมื่อปริมาณเถ้าไม้มากขึ้น ค่า C/N มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนปริมาณ K และ Mg มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณ P มีค่าลดลง เมื่อเติมเถ้าไม้มากขึ้น พีเอชลดลงจาก 6.9 ถึง 7.7 และค่าการนำฟอสฟอรัสลดลงจาก 1.6 ถึง 1.1 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เมื่อเติมเถ้าไม้มากขึ้น นอกจากนี้พบว่าปุ๋ยหมักมีโลหะหนักปะปนอยู่ในปริมาณไม่เกินที่กฎหมายกำหนดอีกด้วย โดยอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำปุ๋ยนี้ไปใช้กับพืชอินทรีย์ได้</p> <p><b>การนำปุ๋ยที่ผลิตได้ทดลองใช้กับพืช</b></p> <p>เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชเมื่อใช้ปุ๋ยที่ผลิตได้กับการหมักที่ผสมแร่และการหมักที่ผสมสารอินทรีย์ พบว่าปุ๋ยที่ผลิตได้นั้นทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีกว่าการหมักที่ผสมแร่และการหมักที่ผสมสารอินทรีย์</p> <p>จากการศึกษานี้สรุปได้ว่าเถ้าไม้สามารถใช้เติมลงไปของเสียอินทรีย์ได้จนถึง 16 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทำปุ๋ยหมัก</p>

ตารางที่ 26 คุณสมบัติของปุ๋ยที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	คุณสมบัติปุ๋ย					
	<p>- AB: organic fertilizer (AgroBiosol1, a product containing fungal mycelium, N content 7%, P 1%, K 1%) (1143 kg d.m. ha<sup>-1</sup>)</p> <p>- MD: mineral fertilizer (Nitrophoska spezial, 12% N, 12% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 17% K<sub>2</sub>O) (333 kg d.m. ha<sup>-1</sup>)</p> <p>- K0: (23.7 t d.m. ha<sup>-1</sup>)</p> <p>- K8: 8% wood ash (25.6 t d.m. ha<sup>-1</sup>)</p> <p>- K16: 16% wood ash (29.3 t d.m. ha<sup>-1</sup>)</p>	คุณสมบัติปุ๋ยหมักจากส่วนผสมต่างๆ					
		C <sub>org</sub> (% d.m.) (n-3)	N (% d.m.) (n-3)	C/N (n-3)	P (% d.m.) (n-3)	K (% d.m.) (n-3)	Mg (% d.m.) (n-3)
		K0	21.7 (±4.6) a	1.69 (±0.45) a	13.1 (±1.1) a	0.42 (±0.00) a	1.18 (±0.02) a
		K8	19.2 (±1.0) a	1.56 (±0.1) a	12.4 (±1.2) a	0.39 (±0.00) b	1.33 (±0.01) b
		K16	16.9 (±0.2) a	1.37 (±0.02) a	12.3 (±0.1) a	0.36 (±0.00) c	1.28 (±0.01) b
		a, b และ c เป็นการจับกลุ่มความแตกต่างทางสถิติของข้อมูล					

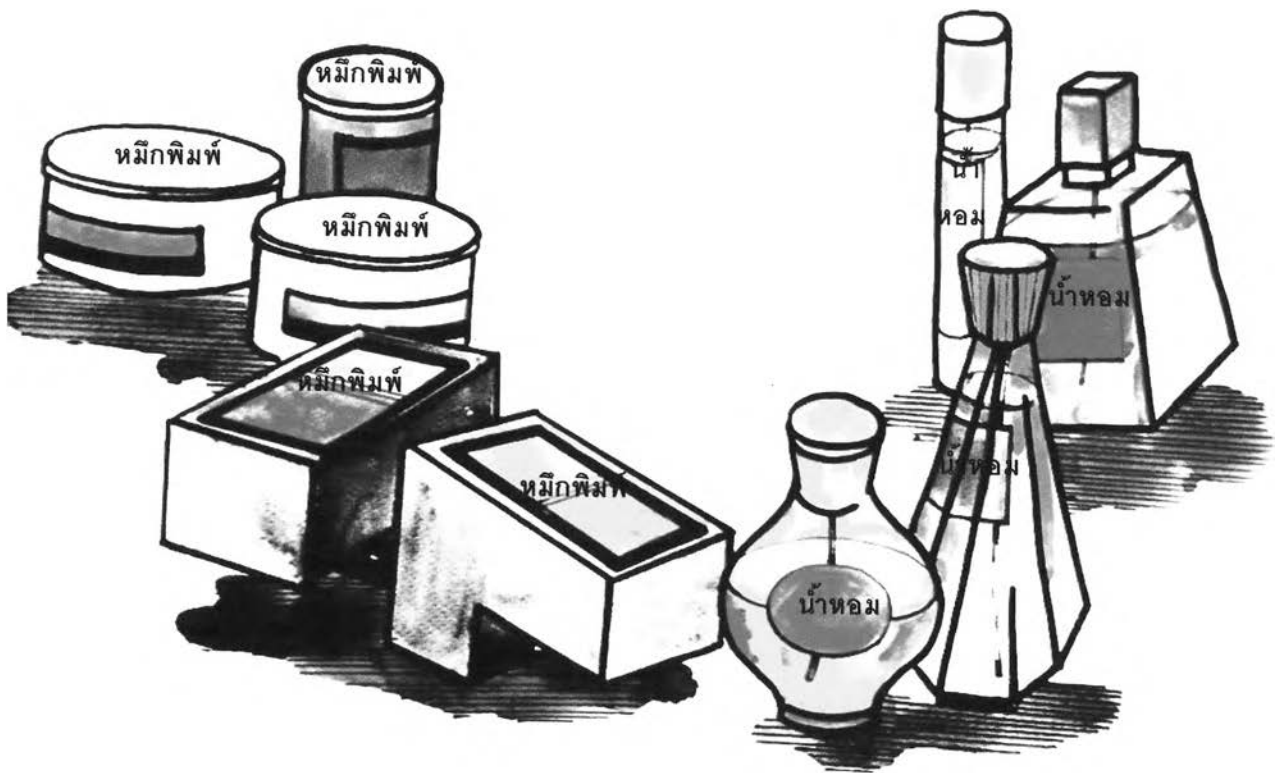
การศึกษาวิจัย<sup>[177]</sup> พบว่าการใช้ฟางข้าวและตะกอนจากน้ำเสียในการผลิตปุ๋ยหมักมีแนวโน้มที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับประเทศไทยได้ดี เนื่องจากฟางข้าวเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรที่เกิดขึ้นมากในประเทศไทย (ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการส่งออกข้าวสูงอันดับต้นๆของโลก) และเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของปุ๋ยที่ผลิตได้กับมาตรฐานปุ๋ยหมักไทยดังตารางที่ 27 พบว่าการหมักปุ๋ยโดยใช้ฟางข้าวทั้งที่ผ่านการตัดและฉีกเป็นฝอย (P1) และที่ไม่ผ่านการตัดและฉีกเป็นฝอย (P2) จะได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณสมบัติส่วนใหญ่ผ่านมาตรฐานปุ๋ยหมักไทยหมด ยกเว้นมีปริมาณความชื้นเกินค่ามาตรฐานไทยเล็กน้อย

ตารางที่ 27 ตัวอย่างคุณสมบัติของปุ๋ยที่ผลิตได้เมื่อเทียบกับมาตรฐาน

ลำดับ	คุณลักษณะ	มาตรฐานไทย	ปุ๋ยที่ผลิตได้	
			P1	P2
1	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่จะเหยได้	ไม่เกิน 35 %โดยน้ำหนัก	39.9 %	42 %
2	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30 %โดยน้ำหนัก	53%	48%
3	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5-8.5	6.83-7.21	7.03-7.12
4	อัตราค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20:1	9.8	10.6
5	ค่าการนำไฟฟ้า (EC: Electrical Conductivity)	ไม่เกิน 6 dSm <sup>-1</sup>	3.67 dSm <sup>-1</sup>	3.8 dSm <sup>-1</sup>
6	ไนโตรเจน(total N)	ไม่น้อยกว่า 1.0 %โดยน้ำหนัก	2.3%	1.9%
7	ฟอสฟอรัส (total P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	ไม่น้อยกว่า 0.5 %โดยน้ำหนัก	2.5%	2.7%
8	โพแทสเซียม (total K <sub>2</sub> O)	ไม่น้อยกว่า 0.5 % โดยน้ำหนัก	1.2%	1.1%
9	แคดเมียม(Cadmium)	ไม่เกิน 5 mg/kg	1.2 mg/kg	2.5 mg/kg
10	โครเมียม(Chromium)	ไม่เกิน 300 mg/kg	150 mg/kg	152 mg/kg
11	ทองแดง(Copper)	ไม่เกิน 500 mg/kg	170 mg/kg	170 mg/kg
12	ตะกั่ว(Lead)	ไม่เกิน 500 mg/kg	94 mg/kg	99 mg/kg

นอกเหนือจากการหมักปุ๋ยโดยตรงดังกล่าวข้างต้นแล้วยังสามารถนำถ่านชีวภาพ (ไบโอชาร์) ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ ไพรโอไลซ์และก๊าซซิไฟรฟ์วัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรมาใช้ผสมกับปุ๋ยเพื่อเพิ่มเนื้อดินและเป็นการเพิ่มสารโปตัสเซียมให้กับปุ๋ยอีกด้วย ถ่านชีวภาพมีลักษณะเป็นผงพรุนที่มีพื้นที่ผิวคล้ายถ่านกัมมันต์ทำให้สามารถจับแร่ธาตุต่างๆซึ่งเป็นอาหารพืช ยาฆ่าแมลง โลหะหนัก ไม่ให้ถูกชะสู่แหล่งน้ำได้ง่าย นอกจากนี้ยังจับก๊าซต่างๆในดินเช่น เช่นก๊าซ  $N_2O$ ,  $CH_4$  ไม่ให้ถูกปล่อยสู่บรรยากาศ ถ่านชีวภาพเป็นคาร์บอนที่เสถียรมากกว่าคาร์บอนก่อนการเผาไหม้จึงถูกย่อยสลายตามธรรมชาติช้ามาก นอกจากนี้ถ้าซึ่งมีโปแตสเซียมปนอยู่กับถ่านชีวภาพ สามารถนำมาเป็นปุ๋ยและเพิ่มเนื้อดินสำหรับใช้ในทางเกษตรกรรมได้ ดังเช่นกรณีศึกษาต่างๆ เช่นการใช้ถ่านชีวภาพจากการไพโรไลซ์ชีวมวลเช่นไม้กระถินและ/หรือของเสียจากโรงงานทำเยื่อกระดาษในประเทศอินโดนีเซียเพื่อลดการปล่อย  $CO_2$  ให้ปรับปรุงดินในป่าและเกษตรกรรมและเป็นการเก็บคาร์บอนสะสมไว้ในดิน การใช้ถ่านชีวภาพจากชีเลื่อยผสมกับขยะจากปศุสัตว์ในเกษตรกรรมขนาดเล็กของญี่ปุ่น และการใช้ถ่านชีวภาพ (บางส่วน) ที่ได้จากต้นและใบข้าวโพดเพื่อใช้ปรับปรุงดินเป็นต้น<sup>[195]</sup> ในประเทศที่มีประชากรมากเช่นอินเดียมีการออกแบบผลิต และใช้เตาก๊าซซิไฟเออร์ในระดับครัวเรือนด้วย เพื่อลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และใช้ถ่านชีวภาพที่ได้ช่วยเพิ่มเนื้อดินสำหรับเพาะปลูกทางเกษตรกรรมในครัวเรือนและช่วยจับคาร์บอนจากแหล่งอื่นและธาตุต่างๆให้อยู่ในเนื้อดิน มีการคาดการณ์ว่าถ่านชีวภาพจะใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนานกว่าหนึ่งพันปี ซึ่งการกักเก็บคาร์บอนในรูปของถ่านชีวภาพในดินได้นานนับร้อยถึงพันปีนี้อาจเป็นจุดเด่นที่น่าสนใจในการเก็บคาร์บอนในอนาคต<sup>[196]</sup> นอกจากนี้ตะกอนดินที่เหลือจากการหมักเพื่อผลิตมีเทน ทั้งจากวัสดุเชิงเดี่ยวหรือการหมักแบบโคโคเจสชัน (ใช้วัสดุตั้งต้นตั้งแต่สองชนิดหรือสองแหล่งขึ้นไป) และตะกอนที่เหลือจากการหมักเพื่อผลิตไฮโดรเจนก็สามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยหรือเติมเพื่อเพิ่มเนื้อดินและจุลินทรีย์ในดินให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นได้ด้วย

# 2,3-บิวเทนไดออล





## การผลิต 2,3-บิวเทนไดออล

2,3-บิวเทนไดออล (2,3-butanediol) เป็นสารประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ใช้เป็นส่วนผสมที่สำคัญในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้แก่ อาหาร เครื่องสำอางค์ ยา พลาสติก และพลังงาน เช่น หมึกพิมพ์ น้ำหอม สารที่ทำให้ความชุ่มชื้นและอ่อนนุ่ม และใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิต 1,3-บิวตะไดอิน, ไดอะซีทิล, เมทิลเอทิลคีโตน และโพลียูรีเทนได้อีกด้วย ซึ่งสารเหล่านี้จะใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ยาง สารปรุงรสและเครื่องสำอางต่อไป นอกจากนี้ 2,3-บิวตะไดออลยังถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลว พลาสติก หรือยาปฏิชีวนะโดยตรงได้อีกด้วย

2,3-บิวเทนไดออลผลิตได้จากการหมักโดยใช้น้ำตาลเป็นสารตั้งต้น ซึ่งพบว่าต้นทุนการผลิตมากกว่าครึ่ง เกิดจากสารตั้งต้นที่ใช้ผลิต ดังนั้นถ้าสามารถผลิต 2,3-บิวเทนไดออลจากสารตั้งต้นที่มีราคาถูกก็จะสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้มาก จึงมีการศึกษาเพื่อพัฒนาการผลิต 2,3-บิวเทนไดออล จากการหมักโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นสารตั้งต้น เช่น ฟางข้าวและซังข้าวโพด เป็นต้น และนอกจากนี้ยังมีศึกษาการใช้วัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นสารตั้งต้นในการผลิต 2,3-บิวเทนไดออล เช่น อุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซล อุตสาหกรรมการผลิตแป้ง เป็นต้น

จะเห็นได้ว่า 2,3-บิวเทนไดออลมีประโยชน์ทั้งในด้านพลังงานและอุตสาหกรรมอย่างมาก ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีผลผลิตทางการเกษตรมากมาย ไม่ว่าจะเป็น ข้าว ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง และอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งถ้าสามารถใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรที่เรามี นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต 2,3-บิวเทนไดออลได้ ก็จะเป็นการลดต้นทุนในการผลิตได้มากและเป็นการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมไทยได้อีกด้วย จากงานวิจัยพบว่า 2,3-บิวเทนไดออลที่ผลิตได้จากฟางข้าวและเปลือกเมล็ดสับดำจะมีปริมาณสูงที่สุด

ตารางที่ 28 แสดงวิธีการเตรียม 2,3-บิวเทนไดออลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ

ตารางที่ 28 กระบวนการผลิตและปริมาณ 2,3-บิวเทนไดออล ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณการผลิต
ฟางข้าว <sup>[201]</sup>	<p><b>การเตรียมไฮโดรไลเสท</b></p> <p>เตรียมวัตถุดิบโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.375 โมลาร์ ผสมกับฟางข้าว และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ต่อจากนั้นนำไปไฮโดรไลซ์ต่อด้วยเอนไซม์แอกเซลเลเลส (Accellerase) 1500 ที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก โดยใช้ฟางข้าวหรือขาน้อยที่ผ่านการเตรียมแล้ว 200 กรัมต่อลิตร กับเอนไซม์แอกเซลเลเลส 1500 ทั้งหมด 150 เอฟพียู (FPU) ต่อมิลลิลิตร ทำการไฮโดรไลซ์นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และเขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที จะได้ไฮโดรไลเสท</p> <p><b>การเตรียมหัวเชื้อและการหมัก</b></p> <p>นำ Klebsiella sp. Zmd 30 มาเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ประกอบด้วยกลูโคส แบคโตเปปโตน (Difco) และยีสต์สกัด จำนวน 20, 4 และ 4 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ นาน 24 ชั่วโมง ต่อจากนั้นถ่ายเทเชื้อที่เจริญไว้ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในตัวกลางที่ใช้หมักปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่ประกอบด้วยไฮโดรไลเสทจากฟางข้าว 150 กรัมต่อลิตร โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) 0.75 กรัมต่อลิตร โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไดไฮเดรต (<math>\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}</math>) 1.38 กรัมต่อลิตร ยูเรีย 2.28 กรัมต่อลิตร โซเดียมซัลเฟต (<math>\text{Na}_2\text{SO}_4</math>) 0.28 กรัมต่อลิตร แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (<math>\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}</math>) 0.26 กรัมต่อลิตร กรดซิตริก 0.42 กรัมต่อลิตร ยีสต์สกัด 2 กรัมต่อลิตร ซิงค์คลอไรด์ <math>5.13 \times 10^{-4}</math> กรัมต่อลิตร เพอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต (<math>\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}</math>) <math>4.05 \times 10^{-4}</math> กรัมต่อลิตร แมงกานีสคลอไรด์เตตระไฮเดรต (<math>\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}</math>) <math>6.90 \times 10^{-4}</math> กรัมต่อลิตร คอปเปอร์ไดไฮเดรต (<math>\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}</math>) <math>1.3 \times 10^{-5}</math> กรัมต่อลิตร กรดบอริก (<math>\text{H}_3\text{BO}_3</math>) <math>1.5 \times 10^{-5}</math> กรัมต่อลิตร และโคบอลต์คลอไรด์เฮกซะไฮเดรต (<math>\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}</math>) <math>5.71 \times 10^{-3}</math> กรัมต่อลิตร ทำการหมักนาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที วิเคราะห์หาปริมาณ 2,3-บิวเทนไดออลโดยใช้โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography, HPLC)</p>	<p>อัตราการผลิต 2.08 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง</p> <p>ปริมาณที่ได้ต่อวัตถุดิบ 62 เปอร์เซ็นต์</p>

ตารางที่ 28 กระบวนการผลิตและปริมาณ 2,3-บิวเทนไดออล ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณการผลิต
ซังข้าวโพด <sup>[181]</sup>	<p><b>การเตรียมไฮโดรไลเซส</b></p> <p>- ใส่ตัวอย่างซังข้าวโพดบดละเอียดขนาด 0.45-0.9 มิลลิเมตร (20–40 เมช) ในภาชนะแก้วขนาด 1000 มิลลิลิตร ปริมาณ 40 กรัม ผสมกับกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ทำให้ส่วนผสมมีความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก แล้วนำเข้าหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ต่อกจากนั้นกรองแยกของแข็งและของเหลวออกจากกัน ล้างของแข็งที่กรองได้ด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปริมาตร 40 มิลลิลิตร แล้วนำของเหลวที่ผ่านการกรองและน้ำอุ่นที่ใช้ล้างของแข็งรวมกัน</p> <p>- ให้ความร้อนกับของเหลวที่ได้จากข้างต้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เพื่อลดสารประกอบที่ไม่ต้องการออกด้วยการระเหย จากนั้นเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์จนมีพีเอชเท่ากับ 10.0 แล้วกรอง และปรับพีเอชอีกครั้งให้เท่ากับ 6 ด้วยกรดซัลฟูริก 3 โมลาร์ แล้วทำให้ของเหลวเข้มข้นขึ้นภายใต้สุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 50–75 องศาเซลเซียส จะได้สารละลายที่มีไซโลสเข้มข้น 11–12 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นนำไฮโดรไลเซสที่ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในภาชนะขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วเติมถ่านไม้ 1 กรัม ซึ่งจะได้อัตราส่วนระหว่างไฮโดรไลเซสต่อถ่านไม้เท่ากับ 100:1 โดยน้ำหนัก แล้วนำภาชนะไปใส่ในเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ต่อกจากนั้นแยกถ่านไม้ออกด้วยการปั่นเหวี่ยงที่ 2000xg นาน 20 นาที</p> <p><b>การเตรียมกลูต้าเชื้อและการหมัก</b></p> <p>เจริญ K. oxytoca ACCC 10370 ในอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่ประกอบด้วยไดโพแทสเซียมฟอสเฟต (<math>K_2HPO_4</math>) 4.4 กรัมต่อลิตร โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (<math>KH_2PO_4</math>) 1.3 กรัมต่อลิตร แอมโมเนียมซัลเฟต (<math>(NH_4)_2SO_4</math>) 2 กรัมต่อลิตร แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (<math>MgSO_4 \cdot 7H_2O</math>) 0.2 กรัมต่อลิตร ยีสต์สกัด 1 กรัมต่อลิตร ไซโลส 20 กรัมต่อลิตร Trace element solution 1 มิลลิลิตรต่อลิตร และสารละลายไอออน 2 มิลลิลิตรต่อลิตร ในภาชนะขนาด 500 มิลลิลิตร ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 14 ชั่วโมง ต่อกจากนั้นถ่ายเทเชื้อที่ได้ลงในถังหมักแบบกวน</p>	<p>อัตราการผลิต 0.59 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง</p> <p>ปริมาณที่ได้ต่อวัตถุดิบ 50 เปอร์เซ็นต์</p>

ตารางที่ 28 กระบวนการผลิตและปริมาณ 2,3-บิวเทนไดออล ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณการผลิต
	<p>(Stirred-vessel bioreactors) ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ซึ่งภายในบรรจุตัวกลางสำหรับหมักปริมาตร 750 มิลลิลิตร ประกอบด้วยไฮโดรไลสที่เติมด้วยโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.5 กรัมต่อลิตร แอมโมเนียมซัลเฟต 2 กรัมต่อลิตร แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต 0.2 กรัมต่อลิตร ยีสต์สกัด 1.5 กรัมต่อลิตร Trace element solution 1 มิลลิลิตรต่อลิตร และสารละลายไอออน 1 มิลลิลิตรต่อลิตร ทำการหมักภายใต้การผ่านของอากาศ 0.3 vvm, อุณหภูมิ 37 °C, 300 rpm และควบคุม pH ให้เท่ากับ 6.3 โดยใช้ 3 M NaOH หรือ 2 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> หมักเป็นเวลา 60 ชั่วโมง</p>	
<p>เปลือกเมล็ดสบูดำ [182]</p>	<p>- ตากเปลือกเมล็ดสบูดำให้แห้ง บดแล้วร่อนผ่านเครื่องร่อนขนาด 20 เมช จากนั้นนำผงเปลือกเมล็ดสบูดำผสมกับสารประกอบของโซเดียมลอร์ริลซัลเฟต (C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>SO<sub>4</sub>Na) 30 กรัมต่อลิตร เอธิลีนไดอะมีนอะซิติกไดโซเดียม (Na<sub>2</sub>EDTA) 18.61 กรัมต่อลิตร โซเดียมบอโรเตตระไฮเดรต (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O) 10.81 กรัมต่อลิตร ไดโซเดียมฟอสเฟต (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) 4.56 กรัมต่อลิตร และ 2-เมทอกซีเอทานอล (2-methoxyethanol) 10 มิลลิลิตรต่อลิตร โดยใช้อัตราส่วน 0.1 กรัมต่อมิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทำการกรองแล้วล้างกากที่ได้ด้วยน้ำปราศจากไอออนแล้วทำให้แห้ง</p> <p><b>การไฮโดรไลซ์</b></p> <p>ครั้งที่ 1: ผสมผงเปลือกสบูดำที่ผ่านการเตรียมข้างต้นจำนวน 20 กรัม กับกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ปริมาตร 200 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าหม้อไอน้ำแรงดันสูงอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 0.5 ชั่วโมง จากนั้นกรองแล้วล้างกากที่ได้ด้วยน้ำกลั่น แล้วทำให้แห้ง</p> <p>ครั้งที่ 2: ผสมกากที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 1 ปริมาณ 25.0 กรัม กับกรดซัลฟูริกเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ปริมาตร 200 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าหม้อไอน้ำแรงดันสูงที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วกรอง</p> <p>ปรับพีเอชของของเหลวที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ทั้งสองครั้งเท่ากับ 7 ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์แล้วกรอง จากนั้นทำให้เข้มข้นภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 60–70 องศาเซลเซียส จะได้ของเหลวที่มีน้ำตาลเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร</p>	<p><b>การหมักในพลาสติก</b></p> <p>- ไฮโดรไลสจากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 1</p> <p>อัตราการผลิต 0.42 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ปริมาณที่ได้ต่อวัตต์ดิบ 71.2 เปอร์เซ็นต์</p> <p>- ไฮโดรไลสจากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2</p> <p>อัตราการผลิต 0.53 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ปริมาณที่ได้ต่อวัตต์ดิบ 82.8 เปอร์เซ็นต์</p>

ตารางที่ 28 กระบวนการผลิตและปริมาณ 2,3-บิวเทนไดออล ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ (ต่อ)

วัสดุเหลือทิ้ง	วิธีการ	ปริมาณการผลิต
	<p>- นำของเหลวที่ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในภาชนะขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งภายในบรรจุถ่านกัมมันต์ 2 กรัม แล้วนำเข้าเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทำการกรอง จะได้ไฮโดรไลเซท</p> <p><b>การเตรียมหัวเชื้อ</b></p> <p>- เพาะเชื้อ <i>Klebsiella oxytoca</i> (CICC 22912) ใน Luria-Bertani (LB) agar slant ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แล้วนำเชื้อที่เพาะไว้ไปบ่มในภาชนะขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาตร 50 มิลลิลิตร ประกอบด้วยเปปโตน 5 กรัมต่อลิตร ยีสต์สกัด 3 กรัมต่อลิตร โซเดียมคลอไรด์ 5 กรัมต่อลิตร ที่พีเอช 6.8-7.0 เขย่าด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที นาน 12 ชั่วโมง</p> <p><b>การหมัก</b></p> <p>การหมักในฟลาสก์: ใช้ฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร ใส่ไฮโดรไลเซทปริมาตร 50 มิลลิลิตร และเชื้อที่เพาะในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร เขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 60 ชั่วโมง</p> <p>การหมักในเครื่องปฏิกรณ์: ใช้เครื่องปฏิกรณ์ขนาด 3 ลิตร บรรจุไฮโดรไลเซทปริมาตร 1.5 ลิตร และเชื้อที่เพาะในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร เขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส อัตราการไหลผ่านของอากาศ 1.5 ลิตรต่อนาที ที่พีเอช 6.5 ปรับพีเอชโดยใช้กรดฟอสฟอริก 3 โมลาร์ หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลาร์ หมักนาน 40 ชั่วโมง จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างที่เวลาต่างๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ 2,3-บิวเทนไดออลที่เกิดขึ้น</p>	<p><b>การหมักในเครื่องปฏิกรณ์</b></p> <p>- ไฮโดรไลเซทจากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 1</p> <p>อัตราการผลิต 0.66 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ปริมาณที่ได้ต่อวัตต์ดิบ 73.4 เปอร์เซ็นต์</p> <p>- ไฮโดรไลเซทจากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2</p> <p>อัตราการผลิต 0.79 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ปริมาณที่ได้ต่อวัตต์ดิบ 80.4 เปอร์เซ็นต์</p>

## บทสรุป

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรหรือชีวมวลจัดเป็นวัสดุликโนเซลลูโลสซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในสัดส่วนที่แตกต่างกันในแต่ละส่วน (ราก ต้น ดอก ใบ ผล แก่น กระพี้ เปลือก) ของพืชแต่ละชนิด (สาหร่าย หญ้า ไม้ล้มลุก ไม้พุ่ม ไม้ยืนต้น ไม้เศรษฐกิจ) วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรเหล่านี้จะมีมากตามฤดูกาลของพืชผลแต่ละชนิด (เกิดขึ้นในขณะที่เก็บเกี่ยวหรือเกิดขึ้นจากกระบวนการแปรรูปพืชผลเหล่านี้) จากการขาดความรู้ถึงประโยชน์หลากหลายที่จะได้รับจากการบริหารจัดการและการแปรรูปอย่างเหมาะสม วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรเหล่านี้จึงถูก ละเลย ปล่อยทิ้งให้เน่าเสีย หรือแอบนำไปทิ้ง ฯลฯ กลายเป็นภาระต่อผู้ประกอบการ เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมและต่อชุมชนทั้งใกล้เคียงและห่างไกล เช่นปัญหาควันไฟจากการเผาตอซังข้าวและหญ้า น้ำเสีย กลิ่นเหม็น แหล่งของยุง/แมลงวัน ฯลฯ ในทางกลับกันเมื่อผู้เกี่ยวข้องทั้งปวงทราบถึงประโยชน์ที่จะได้รับการแปรรูปชีวมวลเหล่านี้ด้วยเทคโนโลยีและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มสูงในรูปแบบต่างๆ เช่นน้ำตาล ไชลิทอล เอทานอล เชื้อเพลิงเหลว ก๊าซเชื้อเพลิง ฯลฯ แล้วจะช่วยให้สามารถเลือกวิธีการบริหารจัดการและการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรที่มีอยู่ในแต่ละท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม

จุดเด่นของการใช้ชีวมวลเป็นวัตถุดิบก็คือเป็นทรัพยากรหมุนเวียนที่เกิดขึ้นตามฤดูกาล ไม่มีมูลค่าหรือมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงราคาต่ำในระยะยาว ต่างกับวัตถุดิบจากฟอสซิล (ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ) และพืชอาหาร (ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย ปาล์มน้ำมัน ฯลฯ) ซึ่งแนวโน้มของราคามีแต่เพิ่มขึ้น เช่นกากน้ำตาลโมลาสซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเอทานอล เดิมมีปริมาณมากและราคาถูก เริ่มมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจากความต้องการก๊าซไฮโดรเจนที่สูงขึ้น นอกจากนี้การใช้พืชอาหารอื่นๆ เช่นมันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่างหวาน ปาล์มน้ำมัน ฯลฯ ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตพลังงานด้วย (โดยคาดหวังว่าการใช้วัตถุดิบเหล่านี้เป็นทางเลือกจะช่วยแก้ปัญหาราคาพืชผลตกต่ำได้ในระยะยาว) ต่างก็ประสบปัญหาแบบเดียวกันทั่วโลกคือการแย่งวัตถุดิบระหว่างอุตสาหกรรมผลิตเชื้อเพลิงกับอุตสาหกรรมผลิตอาหาร ส่งผลให้ราคาของพืชอาหารนั้นๆ สูงขึ้นและเกิดขาดตลาดขึ้นเมื่อมีการควบคุมราคาตั้งเช่นปัญหาน้ำมันปาล์มสำหรับปรุงอาหารในปี 2553 (และไม่มีแนวโน้มที่จะมีราคาเท่าเดิมเมื่อปริมาณผลผลิตกลับสู่สภาวะปกติ) ทางออกระยะยาวของปัญหานี้ซึ่งทุกประเทศที่ประสบปัญหานี้ยอมรับก็คือการใช้พืชที่ไม่ใช่พืช

อาหาร (เช่น ใช้สบู่ดำแทนปาล์มน้ำมัน) หรือใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรม การเกษตรเป็นวัตถุดิบ ฯลฯ แทนพืชอาหาร และให้การสนับสนุนเทคโนโลยีทางการเกษตรเพื่อการ ผลิตพืชผลเหล่านี้ และพัฒนากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจากพืชผลเหล่านี้ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

รายงานฉบับนี้ได้ศึกษาภาพรวมของผลผลิต 14 ชนิดที่สังเคราะห์ได้จากวัสดุเหลือทิ้งทาง การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรเมื่อผ่านกระบวนการผลิตที่เหมาะสม และการใช้ประโยชน์ ของผลผลิตเหล่านี้ดังแสดงในตารางที่ 29 ผลผลิตจากทรัพยากรหมุนเวียนเหล่านี้แบ่งออกได้ เป็น 4 กลุ่มใหญ่คือกลุ่มของแข็ง กลุ่มเชื้อเพลิงเหลวหรือน้ำมันชีวภาพ กลุ่มก๊าซชีวภาพ และกลุ่ม พลังงาน กลุ่มของแข็งประกอบด้วยถ่านชีวภาพ ถ่านกัมมันต์ อนุพันธ์ของเซลลูโลส เยื่อ เส้นใย ไมโครไฟברิล นาโนไฟברิล น้ำตาล ซิลิโกล สารเคมีเฉพาะหรือสารสำคัญที่ต้องการ (เช่น 2,3-บิว เทนไดออล) และปุ๋ย ฯลฯ กลุ่มเชื้อเพลิงเหลวประกอบด้วยเอทานอล น้ำมันชีวภาพ (ก่อน ปรับปรุงและกลั่นเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสะอาดสำหรับภาคการขนส่งแทนก๊าซโซลีน ดีเซล น้ำมันก๊าด หรือน้ำมันเครื่องบิน ฯลฯ) กลุ่มก๊าซชีวภาพประกอบด้วยมีเทน ไฮโดรเจน และก๊าซสังเคราะห์ และกลุ่มพลังงานประกอบด้วยความร้อน (ในรูปของไอน้ำร้อนยิ่งยวด) และไฟฟ้า นอกจากนี้ ผลผลิตหนึ่งอาจนำไปผ่านกระบวนการต่อไปเพื่อเปลี่ยนเป็นอีกผลผลิตหนึ่งก็ได้ เช่น ก๊าซเชื้อเพลิง จากก๊าซซิฟิเคชันสามารถปรับปรุงให้เป็นก๊าซสังเคราะห์ก่อนสังเคราะห์เป็นเชื้อเพลิงเหลว หรือการ เปลี่ยนมีเทนให้เป็นไฮโดรเจนโดยใช้กระบวนการเปลี่ยนรูป

ตารางที่ 29. ผลผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร (เมื่อผ่านกระบวนการต่างๆ) และการใช้ประโยชน์ของผลผลิตเหล่านี้

วัสดุตั้งต้น	กระบวนการแรก	ผลผลิตหลัก	กระบวนการถัดไป	ผลผลิตหลัก	การใช้ประโยชน์
วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร (ข้าว อ้อย ปาล์ม มะพร้าว ข้าวโพด ไม้ ฝ้าย ฯลฯ)	หมักด้วยจุลินทรีย์ <sup>(1)</sup>	มีเทน	-	-	เชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ ใช้ป้อนเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า
	หมักด้วยจุลินทรีย์ <sup>(1)</sup>	มีเทน	การเปลี่ยนรูป	ก๊าซสังเคราะห์ (CO + H <sub>2</sub> )	ให้ความร้อนในครัวเรือนหรือสังเคราะห์เป็นเชื้อเพลิงเหลว
	หมักด้วยจุลินทรีย์ <sup>(1)</sup>	มีเทน	กักเก็บก๊าซ	ไฟฟ้า	ผลิตไฟฟ้า
	หมักด้วยจุลินทรีย์ <sup>(1)</sup>	ไฮโดรเจน	-	-	ก๊าซเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์
	หมักด้วยจุลินทรีย์ <sup>(1)</sup>	ไฮโดรเจน	เซลล์เชื้อเพลิง	ไฟฟ้า	ผลิตไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ บ้านเรือน อุตสาหกรรม กริดไฟฟ้า
	เผาโดยตรง	ไอน้ำ, ความร้อน	-	-	ใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม (Process heat)
	เผาโดยตรง	ไอน้ำ, ความร้อน	กักเก็บไอน้ำ	ไฟฟ้า	ผลิตไฟฟ้า
	ฟาสทไพโรไลซิส <sup>(2)</sup>	น้ำมันชีวภาพ	-	-	เชื้อเพลิงค่าความร้อนต่ำสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล
	ฟาสทไพโรไลซิส <sup>(2)</sup>	น้ำมันชีวภาพ	ปรับปรุงโครงสร้าง <sup>(3)</sup>	เชื้อเพลิงเหลว	เชื้อเพลิงสะอาดสำหรับเครื่องยนต์ ยานยนต์ อากาศยาน
	ไดเรคทีเคอแฟคชัน <sup>(2)</sup>	น้ำมันชีวภาพ	-	-	เชื้อเพลิงความร้อนปานกลางสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล
	ไดเรคทีเคอแฟคชัน <sup>(2)</sup>	น้ำมันชีวภาพ	ปรับปรุงโครงสร้าง <sup>(3)</sup>	เชื้อเพลิงเหลว	เชื้อเพลิงสะอาดสำหรับเครื่องยนต์ ยานยนต์ อากาศยาน
	ก๊าซซิฟิเคชัน <sup>(2)</sup>	ก๊าซสังเคราะห์	กักเก็บก๊าซ	ไฟฟ้า	ผลิตไฟฟ้า
	ก๊าซซิฟิเคชัน <sup>(2)</sup>	ก๊าซสังเคราะห์	Methanation หรืออื่นๆ	มีเทน, ไฮโดรเจน	เชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ ใช้ป้อนเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า
	ก๊าซซิฟิเคชัน <sup>(2)</sup>	ก๊าซสังเคราะห์	ปรับปรุงโครงสร้าง <sup>(3)</sup>	เชื้อเพลิงเหลว	เชื้อเพลิงสะอาดสำหรับเครื่องยนต์ ยานยนต์ อากาศยาน
	ไฮโดรไลซิส	น้ำตาลรีดิวซ์	-	-	น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลชนิดอื่นๆ
	ไฮโดรไลซิส	น้ำตาลรีดิวซ์	หมักด้วยจุลินทรีย์ <sup>(1)</sup>	น้ำตาลไซลิตอล	น้ำตาลสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน ใช้ในยาอม-ยาสีฟัน
	ไฮโดรไลซิส	น้ำตาลรีดิวซ์	หมักด้วยจุลินทรีย์ <sup>(1)</sup>	เอทานอล	ผสมก๊าซโซลีนเป็นก๊าซโซฮอล (E10 E20 E85) สำหรับยานยนต์
	ไฮโดรไลซิส	น้ำตาลรีดิวซ์	หมักด้วยจุลินทรีย์ <sup>(1)</sup>	2,3 บิวเทนไดออล	ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ยา ยาง พลังงาน
	เคมี	อนุพันธ์เซลลูลอส	-	-	เส้นใย พลาสติก สารเคลือบผิว บรรจุก๊าซ แผ่นฟิล์ม
	เชิงกลและ/หรือเคมี	เยื่อ + เส้นใย	โซโมจีไนซ์	ไมโครไฟบริล	เพิ่มความแข็งแรงในโพลีเมอร์&กระดาษ เพิ่มคุณสมบัติในการแขวนลอย
เชิงกลและ/หรือเคมี	เยื่อ + เส้นใย	เคมี	นาโนไฟบริล อนุพันธ์ของเซลลูลอส	เสริมความแข็งแรงให้กับโพลีเมอร์	
เคมีและ/หรือความร้อน	ถ่านกัมมันต์	-	-	วัสดุกรอง ดูดกลิ่นและรับสารพิษ	
ความร้อน	ถ่าน <sup>(4)</sup>	-	-	ใส่คอนกรีตเพื่อเสริมคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล	
หมักด้วยจุลินทรีย์	ปุ๋ย	-	-	ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	

หมายเหตุ

1. กากที่เหลือจากการหมักด้วยจุลินทรีย์สามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืช
2. ฟาสทไพโรไลซิส ไดเรคทีเคอแฟคชันและก๊าซซิฟิเคชันจะให้ผลผลิตเป็นของแข็ง (ถ่านชีวภาพ) ของเหลว (น้ำมันชีวภาพ) ก๊าซ (สังดาปได้และไม่ได้) ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน
3. การปรับปรุงโครงสร้าง (upgrading) ของน้ำมันชีวภาพด้วยกระบวนการต่างๆ เช่น Fisher-Tropsch การเติมไฮโดรเจน ไฮโดรแครกกิง ฯลฯ เพื่อให้ได้เมทานอล ก๊าซโซลีน ดีเซล น้ำมันอากาศยาน และไฮโดรคาร์บอน
4. ถ่านที่เหลือจากการเผาโดยตรง ฟาสทไพโรไลซิส ไดเรคทีเคอแฟคชันและก๊าซซิฟิเคชันเมื่อเติมใส่คอนกรีตเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล



## ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

ถ่านกัมมันต์ ถ่านชีวภาพ อนุพันธ์เซลลูโลส ไมโครไฟบริลและนาโนไฟบริล น้ำตาล ซิลิ ทอล สารเคมีเฉพาะหรือสารที่ต้องการ 2,3-บิวเทนไดออล และปุ๋ย ฯลฯ เป็นผลผลิตจากการใช้ กระบวนการผลิตที่แตกต่างกันเช่นเคมี เคมี-ไฟฟ้า ชีวเคมี ไฮโดรไลซิส ฟาสท์ไพโรไลซิส ไดเรคทีเคอ แพลชัน การหมักด้วยจุลินทรีย์ หรือการเลือกใช้กระบวนการเหล่านี้ตามลำดับความเหมาะสม จากนั้นจึงแยกผลผลิตเหล่านี้เพื่อทำให้บริสุทธิ์ขึ้นตามความต้องการ เช่นการแยกน้ำตาลออกจาก สารละลายที่ผ่านการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดแล้วและทำให้บริสุทธิ์เพื่อผลิตน้ำตาล การแยกซิลิทอล จากสารละลายหลังการหมัก และทำให้บริสุทธิ์เพื่อผลิตซิลิทอล การแยกเส้นใยไมโครไฟบริลและ นาโนไฟบริล ออกจากสารละลายที่ผ่านกระบวนการแล้วและทำให้แห้งเพื่อผลิตเส้นใยไมโครไฟบริล และนาโนไฟบริล การแยก 2,3-บิวเทนไดออล ออกจากสารละลายที่ผ่านกระบวนการแล้วและทำ ให้แห้งเพื่อผลิต 2,3-บิวเทนไดออล การแยกถ่านชีวภาพออกจากน้ำมันชีวภาพและก๊าซ (จาก กระบวนการไพโรไลซิส หรือลิเคอแฟคชัน หรือแกสซิฟิเคชัน) และป้อนถ่านชีวภาพนี้ กลับไปยัง กระบวนการเดิมเพื่อใช้เป็นแหล่งความร้อน หรือเก็บไว้สำหรับเติมใส่ดินเพื่อการเก็บคาร์บอนใน ระยะยาว การนำกากที่เหลือจากการหมักด้วยจุลินทรีย์ทั้งแบบไม่ใช้อากาศและแบบที่ใช้อากาศ ไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ทางเกษตรกรรม เป็นต้น

## เชื้อเพลิงเหลว

เอทานอลผลิตได้จากการหมักน้ำตาลด้วยยีสต์หรือแบคทีเรีย ซึ่งน้ำตาลที่ใช้อาจเป็น กากน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาล หรือเป็นน้ำตาลจากการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ (หรือไฮโดรไลซ์แป้ง ด้วยกรด) หรือเป็นน้ำตาลรีเวิร์ซจากการไฮโดรไลซ์ชีวมวลด้วยกรดก็ได้ ในขณะที่น้ำมันชีวภาพจะ ผลิตได้จากกระบวนการไพโรไลซิส หรือลิเคอแฟคชัน หรือแกสซิฟิเคชัน เนื่องจาก กระบวนการฟาสท์ไพโรไลซิสใช้ความดันปกติ ความชื้นในวัสดุจะระเหยเป็นไอน้ำและกลั่นตัวกลับ เป็นน้ำทำให้น้ำมันชีวภาพจากฟาสท์ไพโรไลซิสมีค่าความร้อนต่ำ มีความเป็นกรดสูงและไม่เสถียร (มีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บไว้นาน) จำเป็นต้องรับนำไปผ่านกระบวนการปรับปรุงเพื่อให้ได้น้ำมัน ชีวภาพซึ่งมีค่าความร้อนสูงขึ้นและมีเสถียรภาพสูงขึ้น ต่างกับกระบวนการไดเรคทีเคอแฟคชันซึ่ง จะมีการเติมตัวทำละลาย (ที่ได้จากกระบวนการและนำกลับมาใช้ซ้ำ) และใช้ความดันสูงประมาณ 300 บาร์กดดันไม่ให้ความชื้นในวัสดุระเหยเป็นไอน้ำทำให้น้ำมันชีวภาพที่ได้มีน้ำปนน้อย มีค่า ความร้อนสูงกว่า มีเสถียรภาพดี สามารถเก็บในรูปเชื้อเพลิงเหลวได้ในระยะยาว (ก่อนนำไปผ่าน

กระบวนการปรับปรุง) น้ำมันชีวภาพ (จากไพโรไลซิสหรือลิกเนอแฟคชัน) ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงแล้ว (เติมไฮโดรเจน ลดคาร์บอน) เมื่อนำไปกลั่นจะได้น้ำมันเชื้อเพลิงสะอาดที่สร้างมลภาวะต่ำ (เกิด  $\text{NO}_x$  และ  $\text{SO}_x$  ต่ำ) เช่นเมทานอล เอทานอล ไดเมทิลอีเทอร์ แอลกอฮอล์ผสม ฯลฯ ซึ่งสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ ยานยนต์ และเครื่องบิน ฯลฯ เมื่อทำให้บริสุทธิ์ขึ้นแล้ว

แม้ว่าเทคโนโลยีไพโรไลซิสและลิกเนอแฟคชันของถ่านหินมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในต่างประเทศมานานกว่าหนึ่งร้อยปีแล้ว แต่การผลิตน้ำมันชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรสำหรับประเทศไทยนั้นอาจถือได้ว่าไม่มีการนำเข้ามาใช้ในเชิงพาณิชย์เลย (ไม่รวมถึงการขนส่งและนำเข้าก๊าซธรรมชาติเหลวทางทะเลซึ่งใช้ลิกเนอแฟคชันเพื่อลดปริมาณของก๊าซธรรมชาติ (ลดได้ประมาณ 600 เท่า) ซึ่งประเทศไทยเริ่มใช้เมื่อ 2-3 ปีมานี้) โดยการใช้ประโยชน์ถ่านลิกไนท์ของไทยจะอยู่ในรูปของการเผาสันดาปลึกในทันทีโดยตรงเท่านั้น ส่วนเทคโนโลยีไพโรไลซิสหรือลิกเนอแฟคชันของชีวมวล(ที่ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร) ในต่างประเทศ ก็ยังอยู่ในขั้นตอนพัฒนาเช่นกันแต่ยังไม่ครบวงจร จุดที่เป็นคอขวดของเทคโนโลยีทั้งสองก็คือยังไม่สามารถผลิตน้ำมันชีวภาพ (ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว) ให้มีคุณสมบัติเหมือนหรือใกล้เคียงน้ำมันดิบที่นำเข้ามาอยู่ และสามารถป้อนสู่โรงกลั่นน้ำมันที่กำลังใช้งานอยู่โดยตรง (โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการกลั่น) อย่างไรก็ตาม ในช่วงต้นปี 2556 มีการตีพิมพ์ผลงานวิจัยร่วมระหว่างมหาวิทยาลัย 2 แห่งกับบริษัทเอกชนของประเทศเดนมาร์ก ซึ่งระบุว่าสามารถปรับปรุงน้ำมันชีวภาพที่ได้จากลิกเนอแฟคชันให้มีปริมาณของออกซิเจน ไฮโดรเจน คาร์บอน และค่าความร้อนได้เทียบเท่ากับน้ำมันดิบจากทะเลเหนือได้แล้ว ผลงานวิจัยนี้บ่งชี้ว่าเทคโนโลยีของยุโรปสามารถก้าวข้ามอุปสรรคใหญ่ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสะอาดจากน้ำมันชีวภาพได้แล้ว ดังนั้นการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสะอาดจากชีวมวล (ซึ่งก่อมลพิษต่อสภาวะแวดล้อมน้อย) ในเชิงพาณิชย์ทั้งในภาคระยะใกล้และระยะยาวจะมีแนวโน้มสูงที่จะเป็นจริงได้ในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า สำหรับประเทศไทยซึ่งนำเข้าน้ำมันดิบจากประเทศในแถบตะวันออกกลางประมาณ 81% แถบตะวันออกไกล 13% และอื่นๆ 6% (ข้อมูลจากสำนักการค้าและการสำรองน้ำมันเชื้อเพลิง) ข้อมูลนี้บ่งชี้ว่า ถ้าประเทศไทยต้องการนำเทคโนโลยีไพโรไลซิสหรือลิกเนอแฟคชันของชีวมวลมาใช้ผลิตเชื้อเพลิงเหลวสำหรับเครื่องยนต์และยานยนต์ในอนาคต น้ำมันชีวภาพจากชีวมวลที่ผลิตได้จากทุกพื้นที่ของประเทศจะต้องผ่านการปรับปรุงและควบคุมให้ มีองค์ประกอบและค่าความร้อนเหมือนหรือใกล้เคียงกับน้ำมันดิบที่กำลังนำเข้ามาในปัจจุบัน (สำหรับ

ป้อนโรงกลั่นน้ำมัน) เพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการกลั่นให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

### ก๊าซเชื้อเพลิง

ก๊าซเชื้อเพลิงหรือก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากชีวมวลประกอบด้วย มีเทน ไฮโดรเจน และก๊าซสังเคราะห์ ก๊าซเชื้อเพลิงจากกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันของชีวมวลจะประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และไฮโดรเจนเป็นหลัก โดยมี มีเทน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นส่วนน้อย เมื่อแยกถ่านชีวภาพ (ไบโอชาร์) ผุนละอองและไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกแล้วก๊าซนี้สามารถนำไปใช้ผลิตแอมโมเนีย หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความอบอุ่นและความร้อนในครัวเรือน หรือเปลี่ยนรูปเป็นมีเทน หรือเปลี่ยนรูปเป็นไฮโดรเจน (เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิง) หรือปรับปรุงเป็นก๊าซสังเคราะห์(ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และไฮโดรเจน)เพื่อสังเคราะห์เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่สะอาดด้วยกระบวนการ Fischer-Tropsch (มีโรงงานอยู่ในประเทศอาฟริกาใต้) หรือกระบวนการ MTG ของบริษัทโมบิล (มีโรงงานอยู่ในประเทศมาเลเซีย) ก๊าซเชื้อเพลิง (จากก๊าซซิฟิเคชันของชีวมวล) หรือมีเทน (จากการหมักชีวมวลด้วยจุลินทรีย์) จะมีค่าความร้อนสูงกว่าน้ำมันชีวภาพจึงเหมาะกับการผลิตไฟฟ้าโดยตรงด้วยกังหันก๊าซไฮโดรเจน (จากการเปลี่ยนรูปของมีเทน หรือจากการหมักด้วยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ) จะเหมาะกับการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิง หรือใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันชีวภาพ นอกจากนี้ไฮโดรเจนยังใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงของยานยนต์ได้ (ใช้สันดาปโดยตรงเช่นเดียวกับมีเทนหรือก๊าซปิโตรเลียมเหลว) แต่อุตสาหกรรมยานยนต์ไม่ได้ให้ความสนใจในทางเลือนนี้ เนื่องจากเลือกเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าสำหรับใช้ในการขับเคลื่อนแทน

การใช้ประโยชน์ก๊าซซิฟิเคชันจากชีวมวลของประเทศไทยในปัจจุบันเน้นที่พลังงานความร้อนเพื่อใช้อบแห้งวัสดุ หรือผลิตไอน้ำร้อนยิ่งยวดสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต และ/หรือ ผลิตไฟฟ้าเป็นหลัก ยังไม่มีการพัฒนาสู่การผลิตก๊าซสังเคราะห์ (เพื่อใช้แทนก๊าซธรรมชาติ) ในการสังเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงสะอาดหรือสารเคมีเฉพาะที่มีมูลค่าสูง อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์ก๊าซซิฟิเคชันดังกล่าวก็เป็นการกำจัดและช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือทิ้งได้ในระดับหนึ่งและในขณะเดียวกันพลังงานความร้อนและไฟฟ้าที่ผลิตได้นี้ นอกจากจะช่วยลดต้นทุนการผลิตแล้วยังช่วยเพิ่มรายได้ (จากการขายไฟฟ้าส่วนเกินและขายผลพลอยได้) ให้กับอุตสาหกรรมนั้นๆ อีกด้วย

## พลังงาน

ความร้อน ในรูปของไอน้ำร้อนยิ่งยวด และพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวล จะมีทางเลือกในการผลิตสองแนวทางหลักคือ เน้นที่เป้าหมายหลักเพียงอย่างเดียวเช่นการผลิตไฟฟ้า หรือมีเป้าหมายทั้งความร้อน/ไอน้ำ และไฟฟ้าร่วมกัน ความร้อน/ไอน้ำร้อนยิ่งยวดซึ่งใช้ในกระบวนการผลิต (อบแห้ง นึ่ง ให้ความร้อน ฯลฯ) ผลิตได้จากบอยเลอร์ (หม้อต้ม) ซึ่งได้รับความร้อนจาก 1. การสันดาปชีวมวลโดยตรง (เผาขาน้อย แกลบ ฯลฯ จนเหลือแต่เถ้า) หรือ 2. การสันดาบน้ำมันชีวภาพที่ได้จากฟาสท์ไพโรไลซิส หรือไดเรคทีควแพคชัน หรือ 3. การสันดาปก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากก๊าซซิฟิเคชัน หรือ 4. ก๊าซเสียที่ได้จากกังหันก๊าซซึ่งยังมีอุณหภูมิสูงมาก ส่วนพลังงานไฟฟ้าผลิตได้จาก 1. การนำไอน้ำร้อนยิ่งยวดไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำแบบเก่า (ไอน้ำกลั่นตัวเนื่องจากแรงดันลดลงมาก) เพื่อนำพลังงานกลไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2. การเดินเครื่องยนต์ดีเซล (ด้วยน้ำมันชีวภาพที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว) และนำพลังงานกลไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือ 3. การเดินเครื่องกังหันก๊าซด้วยการสันดาปก๊าซเชื้อเพลิง (จากก๊าซซิฟิเคชันของชีวมวล) หรือสันดาปมีเทน (จากการหมักชีวมวลด้วยจุลินทรีย์) และนำพลังงานกลไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือ 4. คล้ายกับข้อ 3 แต่นำก๊าซเสียจากกังหันก๊าซที่ยังมีอุณหภูมิสูงมากไปผลิตไอน้ำร้อนยิ่งยวดเพื่อขับเคลื่อนกังหันไอน้ำและนำพลังงานกลไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น หรือ 5. การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิงโดยใช้มีเทน (จากการหมักชีวมวลด้วยจุลินทรีย์) โดยอาศัยความร้อนที่เกิดขึ้นขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงกำลังทำงานทำให้มีเทนเปลี่ยนรูปเป็นไฮโดรเจน หรือ 6. การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิงโดยใช้ไฮโดรเจนบริสุทธิ์ (จากการเปลี่ยนรูปของมีเทนหรือจากการหมักชีวมวลด้วยจุลินทรีย์) สำหรับเทคโนโลยีโคเจเนอเรชันจะหมายถึงการผลิตไฟฟ้าอย่างเดียวเป็นเป้าหมายหรือผลิตทั้งไอน้ำร้อนยิ่งยวดและไฟฟ้าเป็นเป้าหมายก็ได้ เช่นโคเจเนอเรชันในการผลิตไฟฟ้าเป็นเป้าหมายดังกล่าวแล้วในข้อ 4 ตัวอย่างเช่นโรงจักรไฟฟ้าที่บางปะกงเมื่อประมาณ 20-30 ปีที่แล้วซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง) หรือการผลิตไอน้ำร้อนยิ่งยวดด้วยการสันดาปชีวมวล (ขาน้อย หรือแกลบ ฯลฯ) ในบอยเลอร์ และป้อนไอน้ำร้อนยิ่งยวดทั้งหมดไปยังกังหันไอน้ำแบบ back pressure (สามารถควบคุมความดันของไอน้ำขาออกได้) เพื่อนำพลังงานกลที่ได้ไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้า และนำไอน้ำส่วนที่เหลือซึ่งยังมีแรงดันสูงอยู่ไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป

เศรษฐกิจของประเทศไทยมีการเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ความต้องการปริมาณเชื้อเพลิงสำหรับภาคอุตสาหกรรมและภาคการขนส่งเพิ่มขึ้นตลอดเวลา ทรัพยากรในประเทศ (แหล่ง ชนิดและปริมาณสำรองของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิง) จึงเป็นปัจจัยสำคัญอันดับต้นต่อการพึ่งพาตนเองในระยะยาว แต่เนื่องจากทรัพยากรที่มีอยู่และผลิตได้ในประเทศมีขีดจำกัดและไม่พอเพียงกับความต้องการที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงต้องมีการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศเพื่อชดเชยในส่วนที่ขาดทั้งในรูปวัตถุดิบเช่น ถ่านหิน น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติเหลว และเชื้อเพลิงสำเร็จรูปเช่น ก๊าซโซลีน ดีเซล น้ำมันก๊าด น้ำมันเครื่องบิน น้ำมันเตา ก๊าซปิโตรเลียมเหลว รวมถึงพลังงานไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้านและจากต่างประเทศ ปัจจุบันเชื้อเพลิงเหลวเป็นรูปแบบของเชื้อเพลิงที่มีความสำคัญที่สุดเนื่องจากอุตสาหกรรมน้ำมันมีพัฒนาการมายาวนานกว่าหนึ่งร้อยปี ทั้งในการสำรวจ การผลิต การกลั่น การขนส่งและมีรูปแบบการใช้งานกว้างขวางมากที่สุดทั้งในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและภาคการขนส่ง (ทั้งทางบก ทางเรือ และทางอากาศ) ซึ่งจากข้อมูลสถิติพลังงานพบว่า ในปี 2555 ประเทศไทยมีการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวและน้ำมันสำเร็จรูปถึง 44,198 ล้านลิตร และมีการใช้พลังงานทดแทนรวมทั้งสิ้น 9.9% (ในรูปของไฟฟ้า ความร้อน เชื้อเพลิงชีวภาพ) จากชีวมวล ชยะ ก๊าซชีวภาพ เอทานอล และไบโอดีเซล รวมถึงแสงอาทิตย์ ลม น้ำ และก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ ข้อมูลนี้บ่งชี้ว่าประเทศไทยยังสามารถพัฒนาและบริหารจัดการเพื่อช่วยตัวเองได้อีกมากในการผลิตพลังงานในรูปแบบต่างๆ ทั้งเชื้อเพลิงเหลว ก๊าซ เชื้อเพลิง ฯลฯ จากชีวมวลซึ่งมีต้นทุนต่ำที่มีอยู่มากมายในประเทศ เพื่อช่วยลดปริมาณเชื้อเพลิงเหลว ก๊าซเชื้อเพลิงและพลังงานในรูปแบบอื่นๆ ที่จะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งจะช่วยให้ประเทศมีความมั่นคงทางพลังงานมากขึ้น (นอกเหนือจากการสำรองเชื้อเพลิงอย่างที่เป็นอย่างในปัจจุบัน) เมื่อมีวิกฤติทางพลังงาน ทางทหาร หรือการขนส่งเชื้อเพลิงทางทะเล เกิดขึ้นในอนาคต

พัฒนาการของการใช้ประโยชน์ชีวมวลหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรม การเกษตรของประเทศไทยในอดีตจนถึงปี 2555 ประกอบด้วย

- การผลิตเอทานอลจากการหมักกากน้ำตาลโมลาส น้ำตาลจากมันสำปะหลัง หรือน้ำอ้อย เพื่อผสมกับก๊าซโซลีนในการผลิตก๊าซโซฮอลล์ E10 E20 และ E85 เพื่อใช้ในประเทศ และส่งออกเอทานอลในส่วนที่เกินความต้องการ (ช่วงต้นปี 2554 มีโรงงาน 19 แห่งรวมกำลังการผลิต 2.9 ล้านลิตรต่อวัน)

- การผลิตก๊าซชีวภาพ (มีเทน) โดยการหมักมูลสัตว์ด้วยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ เช่นฟาร์มเลี้ยงสุกร โค ไก่ ฯลฯ เพื่อแก้ปัญหาเรื่องกลิ่นแมลงวัน และน้ำเสียจากฟาร์ม (เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและผู้อยู่อาศัยใกล้เคียง) และใช้มีเทนที่ผลิตได้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงในครัวเรือน และผลิตไฟฟ้าใช้เอง หรือป้อนสู่ระบบกริดไฟฟ้าของประเทศเพื่อเพิ่มรายได้
- การริเริ่มโครงการผลิตก๊าซชีวภาพมีเทนโดยการหมักแบบโคโคโดเจสชันโดยใช้มูลสุกรผสมกับเศษอาหารและ/หรือหน้าเนเปียปากช่อง 1 (หญ้าเลี้ยงช้าง) เพื่อผลิตก๊าซมีเทนอัดและป้อนสู่ระบบก๊าซสำหรับยานยนต์แทนการใช้ก๊าซธรรมชาติ ในช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์ 2556
- การผลิตไฟฟ้าจากขยะ (จากข้อมูลของกรมพลังงานทดแทน เดือนมิถุนายน 2555) มีโรงงานผลิตไฟฟ้าจากขยะ 15 แห่ง (ใช้เตาเผาแบบสันดาป 2 แห่ง ใช้ก๊าซชีวภาพ/มีเทน (จากการหมัก โดยไม่ใช้ออกซิเจน 4 แห่ง จากวิธีฝังกลบ 7 แห่ง และแบบ covered lagoon 1 แห่ง) และใช้ก๊าซเชื้อเพลิงจากก๊าซซิฟิเคชัน 1 แห่ง โดยมีกำลังผลิตไฟฟ้าที่จำหน่ายแล้วรวม 27.5 MWe
- การใช้เทคโนโลยีโคเจเนอเรชันในการผลิตไอน้ำร้อนยิ่งยวดสำหรับกระบวนการผลิตต่างๆ และการผลิตไฟฟ้า ความร้อนจากการเผาไหม้ของโรงงานน้ำตาล จากการเผาแกลบของโรงสีข้าว จากการเผาเปลือก/ทะลายปาล์มของโรงสกัดปาล์มน้ำมัน และจากการเผาเศษไม้ที่ย่อยแล้วหรือขี้เลื่อยของโรงเลื่อยไม้/โรงงานเฟอร์นิเจอร์ จะถูกเปลี่ยนรูปเป็นไอน้ำร้อนยิ่งยวดโดยใช้บอยเลอร์ และป้อนสู่กังหันไอน้ำแบบ back pressure เพื่อนำพลังงานกลที่ได้ไปผลิตไฟฟ้าสำหรับใช้ภายในโรงงานเพื่อลดค่าใช้จ่ายและขายไฟฟ้าส่วนเกินสู่ระบบกริดไฟฟ้าเพื่อเพิ่มรายได้) ส่วนไอน้ำจากกังหันไอน้ำซึ่งยังมีแรงดันสูงอยู่จะถูกใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ ของโรงงาน
- มีการออกแบบและผลิตเตาหุงต้มขนาดเล็กแบบก๊าซซิฟิเคชันเพื่อใช้ในครัวเรือนในชนบท การใช้เทคโนโลยีโคเจเนอเรชันในการผลิตไอน้ำสำหรับการอบแห้ง นึ่ง และใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ และการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากก๊าซซิฟิเคชันของชีวมวลเช่นแกลบ ชังข้าวโพด ถ่านเศษไม้ ฯลฯ (เป็นโรงงานขนาดเล็ก 25 แห่ง สักรวจในปี 2553) โดยใช้เทคโนโลยีในประเทศ หรือเทคโนโลยีของประเทศในเอเชีย

จากข้อมูลทั้งหมดที่กล่าวแล้วข้างต้น คณะผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการเกษตรของประเทศไทยดังนี้

1. การผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคการขนส่งเนื่องจากเอทานอลที่ผลิตได้ในประเทศในอนาคตอาจไม่เพียงพอเนื่องจากรถยนต์รุ่นใหม่จะใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอลสูงขึ้นเช่น E20 E85 ส่งผลให้การผลิตเอทานอลแบบเดิมซึ่งใช้วัตถุดิบจำพวกน้ำตาล แป้ง ไม่สามารถตอบสนองความต้องการวัตถุดิบจำนวนมากได้อีกต่อไป ส่งผลให้เกิดการขาดแคลนวัตถุดิบ ดังนั้นทางเลือกที่เป็นไปได้ก็คือการเปลี่ยนวัตถุดิบที่ผลิตเอทานอลจากน้ำตาล แป้ง มาเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งมีปริมาณมหาศาล และเป็นวัสดุหมุนเวียนมีให้ใช้ได้ตลอด วิธีการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรแสดงไว้ในตารางที่ 4
2. การผลิตมีเทนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อใช้เป็นก๊าซหุงต้ม เพื่อผลิตมีเทนอัดสำหรับระบบก๊าซสำหรับยานยนต์แทนการใช้ก๊าซธรรมชาติ หรือใช้มีเทนผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันก๊าซ
3. ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตไฟฟ้าจากการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรเช่น ชานอ้อย แกลบ ทะลาย/เปลือกปาล์ม ควรมีการศึกษาวิจัยและส่งเสริมให้ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรอื่นๆ นอกเหนือจากที่กล่าวแล้วที่สามารถนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าได้ นอกจากการใช้วัสดุที่หลากหลายแล้วกระบวนการผลิตไฟฟ้าน่าจะเปลี่ยนมาใช้วิธีที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเช่นก๊าซซิฟิเคชันแบบพลูอิโดซ์เบดแทนการผลิตแบบเดิม
4. การส่งเสริมการผลิตน้ำมันชีวภาพพร้อมกับสนับสนุนทุนวิจัยเพื่อปรับปรุงน้ำมันชีวภาพให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสะอาดแทนการซื้อโนว์ฮาวหรือเทคโนโลยีจากต่างประเทศ เพื่อนำน้ำมันเชื้อเพลิงสะอาดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ ยานยนต์ และเครื่องบิน จะสามารถลดต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้มาก
5. การผลิตไฮโดรเจนเพื่อใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้าใช้เองแทนระบบกริดไฟฟ้าหรือผลิตไฟฟ้าสำหรับระบบขับเคลื่อนของยานยนต์ในอนาคต
6. ส่งเสริมให้มีการผลิตซิลิคอน เนื่องจากให้พลังงานเพียง 33% ของน้ำตาลซูโครส จึงเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับช่องปาก เช่นยาสีฟัน น้ำยาล้างปาก หมากฝรั่ง ยากอมเพื่อป้องกันฟันผุ และใช้เป็นน้ำตาลบริโภคสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน
7. ส่งเสริมให้ผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อนำไปใช้ผลิตแผ่นกรองหรือไส้กรองสำหรับกรองน้ำ กรองอากาศ หรือนำไปใช้ดูดซับสี กลิ่น ไขมันและจับโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม

8. ส่งเสริมให้ผลิตปุ๋ยที่มีคุณภาพตามมาตรฐานสากลซึ่งเป็นที่ต้องการในประเทศจะได้ไม่ต้องนำเข้าปุ๋ยจากต่างประเทศหรือส่งออกถ้าผลิตได้มากกว่าความต้องการใช้ภายในประเทศ
9. ส่งเสริมให้ผลิตไมโครไฟบริลและนาโนไฟบริลเพื่อนำไปเพิ่มความแข็งแรงในโพลีเมอร์และกระดาษหรือใช้เพิ่มคุณสมบัติในการแขวนลอยหรือใช้เสริมความแข็งแรงให้โพลีเมอร์เช่นการผลิตฟิล์มเซลลูโลสอะซิเตต นาโนไฟบริล ซึ่งใช้สำหรับกรองสารเฉพาะ
10. ส่งเสริมให้ผลิตอนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่นเซลลูโลสอะซิเตตเพื่อนำไปใช้ผลิตเส้นใยพลาสติก สารเคลือบผิว บรรจุภัณฑ์ ฟิล์มพลาสติก ใช้ทำเมมเบรนกึ่งซึมผ่านได้สำหรับใช้ในไมโครฟิลเตอร์ และรีเวิร์สออสโมซิส
11. ส่งเสริมให้ผลิต 2,3 บิวเทนไดออล เพื่อใช้เป็นตัวทำละลาย เชื้อเพลิงเหลว และเป็นสารตั้งต้นสำหรับโพลีเมอร์และเรซินสังเคราะห์ ในอุตสาหกรรมอาหาร ยา ยาง และพลังงาน
12. การผลิตน้ำตาลกลูโคสสำหรับใช้บริโภค หรือผลิตเป็นกลูโคสไซรัปสำหรับอุตสาหกรรมยา และอาหาร

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ใดนั้น ผู้ลงทุนหรือผู้ประกอบการจะต้องเลือกผลผลิตเป้าหมายให้เหมาะสมกับความต้องการ ทุนทรัพย์ ขนาดของแหล่งทรัพยากรหมุนเวียนในพื้นที่ ผลกระทบจากผลพลอยได้ กากหรือของเสีย (เช่นเขม่าควัน กลิ่น ความร้อน น้ำเสีย ฯลฯ) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและผู้อาศัยใกล้กับโรงงาน และความเป็นไปได้ในการกำจัดหรือเปลี่ยนผลพลอยได้หรือกากของเสียเหล่านี้ให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น



## บรรณานุกรม

1. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2554. ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรเขต 1-11, 2555.
2. Bhattacharya, S.C. Shrestha, R.M. and Suchitra, Ng. Potential of Biomass Residue Availability: The Case of Thailand. Energy Sources, Vol.11, 1989
3. "อัตราส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อผลผลิต"สำหรับไบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด วัสดุเหลือใช้จากถั่วเหลืองและข้าวฟ่าง, "แฟคเตอร์ของการใช้เป็นพลังงาน" และ "แฟคเตอร์วัสดุเหลือใช้ที่ยังไม่มีการนำไปใช้" สำหรับไบและยอดอ้อย ฟางข้าว ต้นมันสำปะหลัง ชังข้าวโพด และวัสดุเหลือใช้จากถั่วเหลืองและข้าวฟ่าง : กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน การศึกษาพฤติกรรมและรูปแบบการใช้พลังงานในการเพาะปลูก พ.ศ. 2535
4. "อัตราส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อผลผลิต"สำหรับแกลบ, "แฟคเตอร์ของการใช้เป็นพลังงาน" และ"แฟคเตอร์วัสดุเหลือใช้ที่ยังไม่มีการนำไปใช้" สำหรับขานอ้อย : Black & Veatch (Thailand), Thailand Biomass-Based Power Generation and Cogeneration within Small Rural Industries (Progress report),1999
5. "อัตราส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อผลผลิต", "แฟคเตอร์ของการใช้เป็นพลังงาน" และ "แฟคเตอร์วัสดุเหลือใช้ที่ยังไม่มีการนำไปใช้" สำหรับปาล์มน้ำมัน:กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, รายงานผลการสำรวจวัสดุเหลือใช้จากปาล์มน้ำมัน พ.ศ. 2538
6. "อัตราส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อผลผลิต", "แฟคเตอร์ของการใช้เป็นพลังงาน" และ"แฟคเตอร์วัสดุเหลือใช้ที่ยังไม่มีการนำไปใช้" สำหรับมะพร้าว:กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, รายงานผลการสำรวจวัสดุเหลือใช้จากมะพร้าว พ.ศ. 2537
7. "แฟคเตอร์ของการใช้เป็นพลังงาน" สำหรับแกลบ : กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, รายงานพลังงานของประเทศไทย พ.ศ. 2543, 2544
8. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. รายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทย 2553. กระทรวงพลังงาน, 2553.
9. Mustafa, B. Havva, B. Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel. Applied Energy. 86 (2009): 2273–2282.
10. Ashish, K. Singh, L.K. and Sanjoy, G. Bioconversion of lignocellulosic fraction of water-hyacinth (*Eichhornia crassipes*) hemicellulose acid hydrolysate to ethanol by *Pichia stipites*. Bioresource Technology. 100 (2009): 3293–3297.

11. Prasad, K. Maria, S. Anne Belinda, T. Prawit, K. and Irini, A. Bioethanol, biohydrogen and biogas production from wheat straw in a biorefinery concept. Bioresource Technology. 100 (2009): 2562–2568.
12. Lakkana, L. Sunan, N. Penjit, S. Preekamol, K. and Pattana, L. Ethanol production from sweet sorghum juice using very high gravity technology: Effects of carbon and nitrogen supplementations. Bioresource Technology. 100 (2009): 4176–4182.
13. Harinder Singh, O. Praveen, V. Khushal, B. Vinod Kumar, B. Ramabhau Tumadu, P. Enhanced ethanol production via fermentation of rice straw with hydrolysate-adapted *Candida tropicalis* ATCC 13803. Process Biochemistry. 45 (2010): 1299–1306.
14. Mingjia, Z. Fang, W. Rongxin, S. Wei, Q. Zhimin, H. Ethanol production from high dry matter corncob using fed-batch simultaneous saccharification and fermentation after combined pretreatment. Bioresource Technology. 101 (2010): 4959–4964.
15. Cazetta, M.L. Celligoi, M.A.P.C. Buzato, J.B. Scarmino, I.S. Fermentation of molasses by *Zymomonas mobilis*: Effects of temperature and sugar concentration on ethanol production. Bioresource Technology. 98 (2007): 2824–2828.
16. Ming, C. Liming, X. Peijian, X. Enzymatic hydrolysis of corncob and ethanol production from cellulosic hydrolysate. International Biodeterioration & Biodegradation. 59 (2007): 85–89.
17. อำนวย ขวัญเมือง. การหมักแอลกอฮอล์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยใช้เซลล์และ *Saccharomyces cerevisiae*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538
18. Yue-Qin, T. Ming-Zhe, A. Ya-Ling, Z. Morimura, S. Xiao-Lei, W. and Kenji, K. Continuous ethanol fermentation from non-sulfuric acid-washed molasses using traditional stirred tank reactors and the flocculating yeast strain KF-7. Journal of Bioscience and Bioengineering. 109 (2010): 41-46
19. Sonali, P. Banwari, L. Investigation of the potential of agro-industrial material as low cost substrate for ethanol production by using *Candida tropicalis* and *Zymomonas mobilis*. Biomass and Bioenergy. 32 (2008): 596–602.
20. Izzet, K. Gokhan, A. Kerim, A. Sources and mitigation of methane emissions by sectors: A critical review. Renewable Energy. 39 (2012): 40-48.
21. link: <http://www.worldcoal.org/>
22. link: <http://www.epa.gov/region9/organics/ad/EBMUDFinalReport.pdf>

23. link: <http://www.epa.gov/region9/organics/ad/index.html>
24. Xi-Yu, C. Chun-Zhao, L. Enhanced coproduction of hydrogen and methane from cornstalks by a three-stage anaerobic fermentation process integrated with alkaline hydrolysis. *Bioresource Technology*. 104 (2012): 373–379.
25. Chanakya, H.N. Isha, S. Ramachandra, T.V. Micro-scale anaerobic digestion of point source components of organic fraction of municipal solid waste. *Waste Management*. 29 (2009): 1306–1312.
26. Vitaliy, K. Andrea, M. Vitomir, B. Barbara, A. and Thomas, A. Anaerobic digestion of by-products of sugar beet and starch potato processing. *Biomass and Bioenergy*. 33 (2009): 620–627.
27. Dinuccio, E. Balsari, P. Gioelli, F. and Menardo, S. Evaluation of the biogas productivity potential of some Italian agro-industrial biomasses. *Bioresource Technology*. 101 (2010): 3780–3783.
28. Prasad, K. Jukka, R. Anaerobic co-digestion of potato tuber and its industrial by-products with pig manure. *Resources, Conservation and Recycling*. 43 (2005): 175–188.
29. Nallathambi Gunaseelan, V. Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks. *Biomass and Bioenergy*. 26 (2004): 389–399.
30. Parawira, W. Murto, M. Read, J.S. Mattiasson, B. Profile of hydrolases and biogas production during two-stage mesophilic anaerobic digestion of solid potato waste. *Process Biochemistry*. 40 (2005): 2945–2952.
31. Prasad, K. Mara, S. Anne Belinda, T. Prawit, K. Irini, A. Bioethanol, biohydrogen and biogas production from wheat straw in a biorefinery concept. *Bioresource Technology*. 100 (2009): 2562–2568.
32. Wen Wang, Li Xie, Jinrong Chen, Gang Luo, Qi Zhou. Biohydrogen and methane production by co-digestion of cassava stillage and excess sludge under thermophilic condition. *Bioresource Technology*. 102 (2011): 3833–3839.
33. B. Riano, B. Molinuevo, M.C. Garcia-Gonzalez. Potential for methane production from anaerobic co-digestion of swine manure with winery wastewater. *Bioresource Technology*. 102 (2011): 4131–4136.
34. Maria M. Estevez, Roar Linjordet, John Morken. Effects of steam explosion and co-digestion in the methane production from *Salix* by mesophilic batch assays. *Bioresource Technology*. 104 (2012): 749–756.

35. Yunqin Lin, Dehan Wang, Qing Li, Minquan Xiao. Mesophilic batch anaerobic co-digestion of pulp and paper sludge and monosodium glutamate waste liquor for methane production in a bench-scale digester. Bioresource Technology. 102 (2011): 3673–3678.
36. Prakash, N., and Karunanithi, T., Advances in modeling and simulation of biomass pyrolysis. Asian Journal of Scientific Research. 2 (2009): 1-27.
37. Pütün, A. E., Biomass to bio-oil via fast pyrolysis of cotton straw and stalk. Energy Conversion and Management. 49 (2008): 1724–1730.
38. Mohan, D., Pittman, C. U., and Steele, P. H., Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review. Energy Fuels. 20 (2006): 848–889.
39. Jones, S. B., Valkenburg, C., Walton, C., Elliott, D. C., Holladay, J. E., Stevens, D. J., Kinchin, C., and Czernik, S., Production of gasoline and diesel from biomass via fast pyrolysis, hydrotreating and hydrocracking:A design case.  
[http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical\\_reports/pnnl-18284.pdf](http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical_reports/pnnl-18284.pdf).
40. Bridgwater, A. V., Biomass fast pyrolysis. Thermal Science. 8 (2004): 21-50.
41. Vispute Tushar, "Pyrolysis Oils: Characterization, Stability Analysis, and Catalytic Upgrading to Fuels and Chemicals" (2011). *Open Access Dissertations*. 349 pp. See link: [http://scholarworks.umass.edu/open\\_access\\_dissertations](http://scholarworks.umass.edu/open_access_dissertations)
42. Chen Zhao and Johannes A. Lercher. Upgrading Pyrolysis Oil over Ni/HZSM-5 by Cascade Reactions, *Angew. Chem. Int. Ed.*, v.51, Issue 24, pages 5935-5940, June 11, 2012.
43. Pyrolysis Oil Upgrading to Transportation Fuels by Catalytic Hydrotreatment. Jelle Wildschut. 190 pp. December 2009. See link: <http://irs.ub.rug.nl/ppn/322501776>
44. Zhang, Q., Chang, J., Wang, T., and Xu, Y., Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. Energy Conversion and Management. 48 (2007): 87–92.
45. Mullen, C. A., and Boateng, A. A., Fast pyrolysis and bio-oil production from agricultural residues and energy crops.  
<http://afrsweb.usda.gov/SP2UserFiles/Place/36200000/ERRC-P2.pdf>.
46. Li Tingchen. Coal, Oil, Shale, Natural Butumen, Heavyoil, and Peat-Vol.1-Liquefaction of Coal. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) link: <http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C08/E3-04-03-05.pdf>
47. See link: <http://www.siliconinvestor.com/readmsg.aspx?msgid=28712971>

- 48: Jacob Becker (Aarhus University). Hydrothermal liquefaction - the most promising path to a sustainable bio-oil production. Feb.06, 2013. See link: [http://www.eurekalert.org/pub\\_releases/2013-02/au-hl020613.php](http://www.eurekalert.org/pub_releases/2013-02/au-hl020613.php)
49. Adisak Pattiya, Suntorn Suttibak, Production of bio-oil via fast pyrolysis of agricultural residues from cassava plantations in a fluidised-bed reactor with a hot vapour filtration unit. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 95 (2012): 227–235.
50. A. Demirbas, Effect of lignin content on aqueous liquefaction products of biomass. Energy Conversion & Management. 41 (2000): 1601-1607.
51. X.Z. Yuan, H. Li, G.M. Zeng, J.Y. Tong, W. Xie, Sub- and supercritical liquefaction of rice straw in the presence of ethanol–water and 2-propanol–water mixture. Energy. 32 (2007): 2081–2088.
52. Tahmina Imam, Sergio Capareda, Characterization of bio-oil, syn-gas and bio-char from switchgrass pyrolysis at various temperatures. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 93 (2012): 170–177.
53. Adisak Pattiya, Bio-oil production via fast pyrolysis of biomass residues from cassava plants in a fluidised-bed reactor. Bioresource Technology. 102 (2011): 1959–1967.
54. Yejian Qian, Chengji Zuo, Jian Tan, Jianhui He, Structural analysis of bio-oils from sub-and supercritical water liquefaction of woody biomass. Energy. 32 (2007): 196–202.
55. Suet-Pin Fan, Sarani Zakaria, Chin-Hua Chia, Fatin Jamaluddin, Sharifah Nabihah, Tze-Khong Liew, Fei-Ling Pua, Comparative studies of products obtained from solvolysis liquefaction of oil palm empty fruit bunch fibres using different solvents. Bioresource Technology. 102 (2011): 3521–3526.
56. Gao Ying, Chen Han-ping, Wang Jun, Shi Tao, Yang Hai-Ping, Wang Xian-Hua, Characterization of products from hydrothermal liquefaction and carbonation of biomass model compounds and real biomass. Journal of fuel chemistry and technology. 39 (2011): 893-900.
57. Chandra S. Theegala, Jason S. Midgett, Hydrothermal liquefaction of separated dairy manure for production of bio-oils with simultaneous waste treatment. Bioresource Technology. 107 (2012): 456–463.

58. Mohammad Rofiqul Islam, Momtaz Parveen, Hiroyuki Haniu, Properties of sugarcane waste-derived bio-oils obtained by fixed-bed fire-tube heating pyrolysis. Bioresource Technology. 101 (2010): 4162–4168.
59. Sung Won Kim, Bon Seok Koo, Jae Wook Ryu, Joon Sik Lee, Cheol Joong Kim, Dong Hyun Lee, Gyung Rok Kim, Sun Choi, Bio-oil from the pyrolysis of palm and Jatropha wastes in a fluidized bed. Fuel Processing Technology. xxx (2012): xxx-xxx.
60. Faisal Abnisa, W.M.A. Wan Daud, J.N. Sahu, Optimization and characterization studies on bio-oil production from palm shell by pyrolysis using response surface methodology. Biomass and Bioenergy. 35 (2011) 3604-3616.
61. Ilknur Demiral, Alper Eryazıcı, Sevgi Sensoz, Bio-oil production from pyrolysis of corncob (*Zea mays* L.). Biomass and Bioenergy. 36 (2012): 43-49.
62. Zheng Ji-lu, Yi Wei-ming, Wang Na-na, Bio-oil production from cotton stalk. Energy Conversion and Management. 49 (2008): 1724–1730.
63. Young-Kwon Park, Myung Lang Yoo, Hyung Won Lee, Sung Hoon Park, Sang-Chul Jung, Sang-Sook Park, Sang-Chai Kim, Effects of operation conditions on pyrolysis characteristics of agricultural residues. Renewable Energy. 42 (2012): 125-130.
64. J.G. Rogers, J.G. Brammer, Estimation of the production cost of fast pyrolysis bio-oil. Biomass and Bioenergy. 36 (2012): 208-217.
65. Hyeon Su Heo, Hyun Ju Park, Jong-In Dong, Sung Hoon Park, Seungdo Kim, Dong Jin Suh, Young-Woong Suh, Seung-Soo Kim, Young-Kwon Park, Fast pyrolysis of rice husk under different reaction conditions. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 16 (2010): 27–31.
66. Jale Yanik, Christoph Kornmayer, Mehmet Saglam, Mithat Yüksel, Fast pyrolysis of agricultural wastes: Characterization of pyrolysis products. Fuel Processing Technology. 88 (2007): 942–947.
67. Zheng Ji-lu, Bio-oil from fast pyrolysis of rice husk: Yields and related properties and improvement of the pyrolysis system. J. Anal. Appl. Pyrolysis. 80 (2007): 30–35.
68. Zou Shuping, Wu Yulong, Yang Mingde, Imdad Kaleem, Li Chun, Junmao Tong, Production and characterization of bio-oil from hydrothermal liquefaction of microalgae *Dunaliella tertiolecta* cake. Energy. 35 (2010): 5406-5411.
69. A. Zabaniotou, O. Ioannidou, E. Antonakou, A. Lappas, Experimental study of pyrolysis for potential energy, hydrogen and carbon material production from

lignocellulosic biomass. *International Journal of Hydrogen Energy*. 33 ( 2008 ): 2433–2444.

70. Jason S Midgett. Assessing a Hydrothermal Liquefaction Process using Biomass Feedstocks. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทปี 2551 ภาควิชาชีววิทยาและวิศวกรรมเกษตร คณะชีววิทยาและวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยรัฐหลุยเซียนา ดู link: <http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-01162008-150910/unrestricted/jasonmidgettthesis.pdf>

71. Douglas C. Elliott, L. John Sealock, Jr. and R. Scott Butner. Product Analysis from Direct Liquefaction of Several High-moisture Biomass Feedstocks. Pacific Northwest Laboratory\*, P.O. Box 999, Richland, WA 99352 See link: [http://web.anl.gov/PCS/acsfuel/preprint%20archive/Files/32\\_2\\_DENVER\\_04-87\\_0186.pdf](http://web.anl.gov/PCS/acsfuel/preprint%20archive/Files/32_2_DENVER_04-87_0186.pdf)

72. Sudong Yin และ Zhongchao Tan. Hydrothermal liquefaction of cellulose to bio-oil under acidic, neutral and alkaline conditions. *Applied Energy*, 2012, vol. 92, issue C, pages 234-239. See link: <http://ideas.repec.org/a/eee/appene/v92y2012icp234-239.html>

73. Shuna Cheng, Ian D'cruz, Mingcun Wang, Mathew Leitch, and Chunbao (Charles) Xu. Highly Efficient Liquefaction of Woody Biomass in Hot-Compressed Alcohol-Water Co-solvents. *Energy Fuel* 2010, 24, 4659-4667. See link: <http://www.eng.uwo.ca/fbg/Publications/>

74. Junming Xu , Jianchun Jiang , Chungyun Hse and Todd F. Shupe. Renewable chemical feedstocks from integrated liquefaction processing of lignocellulosic materials using microwave energy. *Green Chem.*, 2012, 14, 2821-2830. ดู link: <http://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleLanding/2012/GC/C2GC35805K>)

75. Yuanhui Zhang. Hydrothermal Liquefaction to Convert Biomass into Crude Oil. Published Online: 6 Jul 2010. John Wiley & Sons, Inc. See link: [web.age.uiuc.edu/bee/research/IntroHTL.pdf](http://web.age.uiuc.edu/bee/research/IntroHTL.pdf)

76. Simon Rittmann and Christoph Herwig. Thermoanaerobacterales (Family III), Clostridiaceae and Enterobacteriaceae. *Microbial Cell Factories* 2012, 11:115. See link: <http://www.microbialcellfactories.com/content/11/1/115>

77. Uttam Sen, Manish Shaktwipiee and Rangan Banerjee. Status of Biological hydrogen production. *Journal of Scientific & Industrial Research*. Vol.67, November 2008, pp.980-993. See link:

<http://www.researchgate.net/publication/228357313> Status of Biological hydrogen production

78. Xin Mei Guo, Eric Trably, Eric Ladrille, Helene Carrere, Jean-Philippe Steyer. Hydrogen production from agricultural waste by dark fermentation: A review. International Journal of Hydrogen Energy. 35 (2010): 10660-10673.
79. Li D, Chen H. Biological hydrogen production from steam-exploded straw by simultaneous saccharification and fermentation. International Journal of Hydrogen Energy. 32 (2007): 1742 – 1748.
80. Datar R, Huang J, Maness PC, Mohagheghi A, Czernik S, Chornet E. Hydrogen production from the fermentation of corn stover biomass pretreated with a steam-explosion process. International Journal of Hydrogen Energy. 32 (2007): 932 – 939.
81. Zhang ML, Fan Y, Xing Y, Pan C, Zhang G, Lay J. Enhanced biohydrogen production from cornstalk wastes with acidification pretreatment by mixed anaerobic cultures. Biomass and Bioenergy. 31 (2007): 250–254.
82. Ivanova G, Ra'khely G, Kova'cs KL. Thermophilic biohydrogen production from energy plants by *Caldicellulosiruptor saccharolyticus* and comparison with related studies. International Journal of Hydrogen Energy. 34 (2009): 3659–3670.
83. Noike T, Mizuno O. Hydrogen fermentation of organic municipal wastes. Water Science & Technology. 42 (2000): 155–162.
84. Fan Y, Zhang Y, Zhang S, Hou H, Ren B. Efficient conversion of wheat straw wastes into biohydrogen gas by cow dung compost. Bioresource Technology. 97 (2006): 500–505.
85. Venetsaneas N, Antonopoulou G, Stamatelatos K, Kornaros M, Lyberatos G. Using cheese whey for hydrogen and methane generation in a two-stage continuous process with alternative pH controlling approaches. Bioresource Technology. 100 (2009): 3713–3717.
86. O-Thong S, Prasertsan P, Intrasungkha N, Dhamwichukorn S, Birkeland N. Optimization of simultaneous thermophilic fermentative hydrogen production and COD reduction from palm oil mill effluent by thermoanaerobacterium-rich sludge. International Journal of Hydrogen Energy. 33 (2008): 1221–1231.



87. Aceves-Lara C, Latrille E, Bernet N, Buffie`re P, Steyer J. A pseudo-stoichiometric dynamic model of anaerobic hydrogen production from molasses. WATER RESEARCH. 42 (2008): 2539–2550.
88. Chang JJ, Wu JH, Wen FS, Hung KY, Chen YT, Hsiao CL, et al. Molecular monitoring of microbes in a continuous hydrogen-producing system with different hydraulic retention time. International Journal of Hydrogen Energy. 33 (2008): 1579–1585.
89. Antonella Marone, Giulia Massini, Chiara Patriarca, Antonella Signorini, Cristiano Varrone, Giulio Izzo. Hydrogen production from vegetable waste by bioaugmentation of indigenous fermentative communities. International Journal of Hydrogen Energy. 37 (2012): 5612-5622.
90. Fan YT, Zhang YH, Zhang SF, Hou HW, Ren Z. Efficient conversion of wheat straw wastes into biohydrogen gas by cow dung compost. Bioresource Technology. 97 (2006): 500–505.
91. Mijung Kim, Yingnan Yang, Marino S. Morikawa-Sakura, Qinghong Wang, Michael V. Lee, Dong-Yeol Lee, Chuanping Feng, Yulin Zhou, Zhenya Zhang. Hydrogen production by anaerobic co-digestion of rice straw and sewage sludge. International Journal of Hydrogen Energy. 37 (2012): 3142-3149.
92. Ariane Bisailon, Jonathan Turcot, Patrick C. Hallenbeck. The effect of nutrient limitation on hydrogen production by batch cultures of *Escherichia coli*. International Journal of Hydrogen Energy. 31 (2006): 1504–1508.
93. Jonathan Turcot, Ariane Bisailon, Patrick C. Hallenbeck. Hydrogen production by continuous cultures of *Escherichia coli* under different nutrient regimes. International Journal of Hydrogen Energy. 33 (2008): 1465–1470.
94. C. Visvanathan and Chart Chiemchaisri. Management of Agricultural Wastes and Residues in Thailand: Wastes to Energy Approach.  
<http://www.swlf.ait.ac.th/UpdData/International/MAWA.pdf>.
95. Sujitra Chanthunyagarn, Savitri Garivait and Shabbir H. Gheewala. Bioenergy Atlas of Agricultural Residues in Thailand.  
<http://www.thaiscience.info/Article%20for%20ThaiScience/Article/3/Ts-3%20bioenergy%20atlas%20of%20agricultural%20residues%20in%20thailand.pdf>.

96. S.M. Shafie, T.M.I. Mahlia, H.H. Masjuki, A. Ahmad-Yazid. A review on electricity generation based on biomass residue in Malaysia. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 16 (2012). 5879–5889.
97. Samy Sakada. Gasification. See link:  
<http://bioweb.sungrant.org/NR/rdonlyres/F4AE220B-0D98-442C-899F-177CFD725ADD/0/Gasification.pdf>
98. McKendry P. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. Bioresource Technology. 83 (2002): 47-54.
99. PA Salam, S Kumar and M Siriwardhana. Report on the Status of Biomass Gasification in Thailand and Cambodia. Prepared for Energy Environment Partnership (EEP), Mekong Region. Asian Institute of Technology. October 2010. See link:  
[www.eepmekong.org/ .../Biomass Gasification report \]](http://www.eepmekong.org/.../Biomass_Gasification_report)
100. W. Permchart, V.I. Kouprianov. Emission performance and combustion efficiency of a conical fluidized-bed combustor firing various biomass fuels. Bioresource Technology. 92 (2004): 83–91.
101. Shin-ya Yokoyamaa, Tomoko Ogiya, Anan Nalampoonb. Biomass energy potential in Thailand. Biomass and Bioenergy. 18 (2000): 405-410.
102. Biomass and Biofuels Calorific Value. See link:  
[http://www.biofuelsb2b.com/useful\\_info.php?page=Typic\)](http://www.biofuelsb2b.com/useful_info.php?page=Typic)
103. I.A.W. Tan, A.L. Ahmad and B.H. Hameed. Adsorption of basic dye on high-surface-area activated carbon prepared from coconut husk: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. Journal of Hazardous Materials. 154 (2008): 337–346.
104. Nagarethinam Kannan, Mariappan Meenakshi Sundaram. Kinetics and mechanism of removal of methylene blue by adsorption on various carbons-a comparative study. Dyes and Pigments. 51 (2001): 25–40.
105. I.A.W. Tan, B.H. Hameed and A.L. Ahmad. Equilibrium and kinetic studies on basic dye adsorption by oil palm fibre activated carbon. Chemical Engineering Journal. 127 (2007): 111–119.

106. S. Senthilkumar, P.R. Varadarajan, K. Porkodi and C.V. Subbhuraam. Adsorption of methylene blue onto jute fiber carbon: kinetics and equilibrium studies. Journal of Colloid and Interface Science. 284 (2005): 78–82.
107. Dipa Ghosh, Krishna G. Bhattacharyya. Adsorption of methylene blue on kaolinite. Applied Clay Science. 20 (2002): 295–300.
108. Canan Akmil Basar. Applicability of the various adsorption models of three dyes adsorption onto activated carbon prepared waste apricot. Journal of Hazardous Materials. B135 (2006): 232–241.
109. D. Kavitha, C. Namasivayam. Experimental and kinetic studies on methylene blue adsorption by coir pith carbon. Bioresource Technology. 98 (2007): 14–21.
110. G.G. Stavropoulos, A.A. Zabaniotou. Production and characterization of activated carbons from olive-seed waste residue. Microporous and Mesoporous Materials. 82 (2005): 79–85.
111. Andre L. Cazetta, Alexandro M.M. Vargas, Eurica M. Nogami, Marcos H. Kunita, Marcos R. Guilherme, Alessandro C. Martins, Tais L. Silva, Juliana C.G. Moraes and Vitor C. Almeida. NaOH-activated carbon of high surface area produced from coconut shell: Kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption. Chemical Engineering Journal. 174 (2011): 117–125.
112. K.Y. Foo, B.H. Hameed. Coconut husk derived activated carbon via microwave induced activation: Effects of activation agents, preparation parameters and adsorption performance. Chemical Engineering Journal. 184 (2012): 57–65.
113. A.L. Ahmad, M.M. Loh and J.A. Aziz. Preparation and characterization of activated carbon from oil palm wood and its evaluation on Methylene blue adsorption. Dyes and Pigments. 75 (2007): 263-272.
114. K.Y. Foo, B.H. Hameed. Adsorption characteristics of industrial solid waste derived activated carbon prepared by microwave heating for methylene blue. Fuel Processing Technology. 99 (2012): 103–109.
115. Marion Carrier, Ailsa G. Hardie, Ümit Uras, Johann Görgens and Johannes (Hansie) Knoetze. Production of char from vacuum pyrolysis of South-African sugar cane bagasse and its characterization as activated carbon and biochar. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 96 (2012): 24–32.

116. Karla Aparecida Guimarães Gusmão, Leandro Vinícius Alves Gurgel, Tânia Márcia Sacramento Melo and Laurent Frédéric Gil. Application of succinylated sugarcane bagasse as adsorbent to remove methylene blue and gentian violet from aqueous solutions e Kinetic and equilibrium studies. Dyes and Pigments. 92 (2012): 967-974.
117. Betina Royer, Natali F. Cardoso, Eder C. Lima, Julio C.P. Vagheti, Nathalia M. Simon, Tatiana Calvete and Renato Cataluna Veses. Applications of Brazilian pine-fruit shell in natural and carbonized forms as adsorbents to removal of methylene blue from aqueous solutions e kinetic and equilibrium study. Journal of Hazardous Materials. 164 (2009): 1213–1222.
118. Md. Tamez Uddin, Md. Akhtarul Islam, Shaheen Mahmud and Md. Rukanuzzaman. Adsorptive removal of methylene blue by tea waste. Journal of Hazardous Materials. 164 (2009): 53–60.
119. Hui Deng, Jianjiang Lu, Guoxue Li, Genlin Zhang, Xugen Wang. Adsorption of methylene blue on adsorbent materials produced from cotton stalk. Chemical Engineering Journal. 172 (2011): 326–334.
120. Renmin Gong, Shengxue Zhu, Demin Zhang, Jian Chen, Shoujun Ni and Rui Guan. Adsorption behavior of cationic dyes on citric acid esterifying wheat straw: kinetic and thermodynamic profile. Desalination. 230 (2008): 220–228.
121. B.H. Hameed, A.T.M. Din and A.L. Ahmad. Adsorption of methylene blue onto bamboo-based activated carbon: kinetics and equilibrium studies. Journal of Hazardous Materials. 141 (2007): 819–825.
122. Sandro Altendor, Betty Carene, Evens Emmanuel, Jacques Lambert, Jean-Jacques Ehrhardt and Sarra Gaspard. Adsorption studies of methylene blue and phenol onto vetiver roots activated carbon prepared by chemical activation. Journal of Hazardous Materials. 165 (2009): 1029–1039.
123. B.H. Hameed, I.A.W. Tan and A.L. Ahmad. Optimization of basic dye removal by oil palm fibre-based activated carbon using response surface methodology. Journal of Hazardous Materials. 158 (2008): 324–332.
124. B.H. Hameed, A.L. Ahmad and K.N.A. Latiff, Adsorption of basic dye (methylene blue) onto activated carbon prepared from rattan sawdust. Dyes and Pigments. 75 (2007): 143-149.

125. Thio Christine Chandra, M.M. Mirna, Y. Sudaryanto, and S. Ismadji. Adsorption of basic dye onto activated carbon prepared from durian shell: studies of adsorption equilibrium and kinetics. Chemical Engineering Journal. 127 (2007): 121–129.
126. I.A.W. Tan, A.L. Ahmad and B.H. Hameed. Adsorption of basic dye using activated carbon prepared from oil palm shell: batch and fixed bed studies. Desalination. 225 (2008): 13–28.
127. B.H. Hameed. Evaluation of papaya seeds as a novel non-conventional low cost adsorbent for removal of methylene blue. Journal of Hazardous Materials. 162 (2009): 939–944.
128. B.H. Hameed. Removal of cationic dye from aqueous solution using jackfruit peel as non-conventional low-cost adsorbent. Journal of Hazardous Materials. 162 (2009): 344–350.
129. B.H. Hameed, D.K. Mahmoud and A.L. Ahmad. Sorption equilibrium and kinetics of basic dye from aqueous solution using banana stalk waste. Journal of Hazardous Materials. 158 (2008): 499–506.
130. Augustine E. Ofomaja. Sorption dynamics and isotherm studies of methylene blue uptake on to palm kernel fibre. Chemical Engineering Journal. 126 (2007): 35–43.
131. N.A. Oladoja, C.O. Aboluwoye, Y.B. Oladimeji, A.O. Ashogbon and I.O. Otemuyiwa. Studies on castor seed shell as a sorbent in basic dye contaminated wastewater remediation. Desalination. 227 (2008): 190–203.
132. B.H. Hameed, M.I. El-Khaiary. Removal of basic dye from aqueous medium using a novel agricultural waste material: pumpkin seed hull. Journal of Hazardous Materials. 155 (2008): 601–609.
133. B.H. Hameed, R.R. Krishni and S.A. Sata. A novel agricultural waste adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solutions. Journal of Hazardous Materials. 162 (2009): 305–311.
134. Leandro S. Oliveira, Adriana S. Franca, Thiago M. Alves and Sonia D.F. Rocha. Evaluation of untreated coffee husks as potential biosorbents for treatment of dye contaminated waters. Journal of Hazardous Materials. 155 (2008): 507–512.
135. B.H. Hameed, A.A. Ahmad. Batch adsorption of methylene blue from aqueous solution by garlic peel, an agricultural waste biomass. Journal of Hazardous Materials. 164 (2009): 870–875.

136. Sourja Chakraborty, Sirshendu De, Sunando DasGupta and Jayanta K. Basu. Adsorption study for the removal of a basic dye: experimental and modeling. Chemosphere. 58 (2005): 1079–1086.
137. B.H. Hameed. Equilibrium and kinetic studies of methyl violet sorption by agricultural waste. Journal of Hazardous Materials. 154 (2008): 204–212.
138. Kaustubha Mohanty, J. Thammunaidu, B. C. Meikap and M. N. Biswas. Removal of crystal violet from wastewater by activated carbons prepared from rice husk. IND ENG CHEM RES. 45 (2006): 5165-5171.
139. Muhammad Nadeem Zafar, Raziya Nadeem and Muhammad Asif Hanif. Biosorption of nickel from protonated rice bran. Journal of Hazardous Materials. 143 (2007): 478–485.
140. Jamil R. Memon, Saima Q. Memon, M.I. Bhangar, G. Zuhra Memon, A. El-Turki and Geoffrey C. Allen. Characterization of banana peel by scanning electron microscopy and FT-IR spectroscopy and its use for cadmium removal. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 66 (2008): 260–265.
141. Jamil R. Memon, Saima Q. Memon, Muhammad I. Bhangar, Adel El-Turki, Keith R. Hallam and Geoffrey C. Allen. Banana peel: a green and economical sorbent for the selective removal of Cr(VI) from industrial wastewater. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 70 (2009): 232–237.
142. Muhammad Iqbal, Asma Saeeda and Saeed Iqbal Zafar. FTIR spectrophotometry, kinetics and adsorption isotherms modeling, ion exchange and EDX analysis for understanding the mechanism of Cd<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> removal by mango peel waste. Journal of Hazardous Materials. 164 (2009): 161–171.
143. Xiaolan Song, Hongyan Liu, Lei Cheng and Yixin Qu. Surface modification of coconut-based activated carbon by liquid-phase oxidation and its effects on lead ion adsorption. Desalination. 255 (2010): 78–83.
144. R. Elangovan, Ligy Philip and K. Chandraraj. Biosorption of hexavalent and trivalent chromium by palm flower (*Borassus aethiopicum*). Chemical Engineering Journal. 141 (2008): 99–111.
145. K. Anoop Krishnan, K.G. Sreejalekshmi and R.S. Baiju. Nickel(II) adsorption onto biomass based activated carbon obtained from sugarcane bagasse pith. Bioresource Technology. 102 (2011): 10239–10247.

146. E. Pehlivan, B.H. Yanik, G. Ahmetli and M. Pehlivan. Equilibrium isotherm studies for the uptake of cadmium and lead ions onto sugar beet pulp. Bioresource Technology. 99 (2008): 3520–3527.
147. A.U. Israel, I.B. Obot, S. A. Umoren, V. Mkpennie, J.E. Asuquo. Production of Cellulosic Polymers from Agricultural Wastes. E-Journal of Chemistry. 5(2008): 81-85.
148. Atanu Biswas, Badal C. Saha, John W. Lawton, R.L. Shogren, J.L. Willett. Process for obtaining cellulose acetate from agricultural by-products. Carbohydrate Polymers. 64 (2006): 134–137.
149. Hamid M. Shaikh, Kiran V. Pandare, Greeshma Nair, Anjani J. Varma. Utilization of sugarcane bagasse cellulose for producing cellulose acetates: Novel use of residual hemicellulose as plasticizer. Carbohydrate Polymers. 76 (2009): 23–29.
150. H.N. Cheng, Michael K. Dowd, G.W. Selling, Atanu Biswas. Synthesis of cellulose acetate from cotton byproducts. Carbohydrate Polymers. 80 (2010): 449–452.
151. Deepanjan B., Louis T. G., William T. W., Isolation, preparation and characterization of cellulose microfibrils obtained from bagasse. Carbohydrate Polymers. 73 (2008): 371–377.
152. Youssef H., Mostafa M., Michel R. V., Microfibrillated cellulose from the peel of prickly pear fruits. Food Chemistry. 115 (2009): 423–429.
153. Silviya E., Unnikrishnan G., Soney V., James T G., Cellulose microfibrils produced from banana plant wastes: Isolation and characterization. Carbohydrate Polymers. 80 (2010): 852–859.
154. R. Zuluaga et al., Cellulose microfibrils from banana rachis: Effect of alkaline treatments on structural and morphological features. Carbohydrate Polymers. 76 (2009): 51–59.
155. บริษัท ทีพีโอ คอนกรีต จำกัด. คอนกรีตเทคโนโลยี.  
<http://www.tpipolene.co.th/document/concrete/manual.pdf>.
156. Rattapon Somna, Chai Jaturapitakkul, Amde M. Made, Effect of ground fly ash and ground bagasse ash on the durability of recycled aggregate concrete. Cement & Concrete Composites. 34 (2012): 848–854.
157. Rawaid Khan, Abdul Jabbar, Irshad Ahmad, Wajid Khan, Akhtar Naeem Khan, Jahangir Mirza, Reduction in environmental problems using rice-husk ash in concrete. Construction and Building Materials. 30 (2012): 360–365.

158. Payam Shafigh, Mohd Zamin Jumaat, Hilmi Bin Mahmud, Norjidah Anjang Abd Hamid, Lightweight concrete made from crushed oil palm shell: Tensile strength and effect of initial curing on compressive strength. Construction and Building Materials. 27 (2012): 252–258.
159. Payam Shafigh, Hilmi Mahmud, Mohd Zamin Jumaat, Effect of steel fiber on the mechanical properties of oil palm shell lightweight concrete. Materials and Design. 32 (2011): 3926–3932.
160. Payam Shafigh, Mohd Zamin Jumaat, Hilmi Mahmud, Oil palm shell as a lightweight aggregate for production high strength lightweight concrete. Construction and Building Materials. 25 (2011): 1848–1853.
161. K. Gunasekaran, P.S. Kumar, M. Lakshmiathy, Mechanical and bond properties of coconut shell concrete. Construction and Building Materials. 25 (2011): 92–98.
162. U. Johnson Alengaram, Hilmi Mahmud, Mohd Zamin Jumaat, Enhancement and prediction of modulus of elasticity of palm kernel shell concrete. Materials and Design. 32 (2011): 2143–2148.
163. Mohd Zamin Jumaat, U. Johnson Alengaram, Hilmi Mahmud, Shear strength of oil palm shell foamed concrete beams. Materials and Design. 30 (2009): 2227–2236.
164. M.A. Mannan, J. Alexander, C. Ganapathy, D.C.L. Teo, Quality improvement of oil palm shell (OPS) as coarse aggregate in lightweight concrete. Building and Environment. 41 (2006): 1239–1242
165. Weerachart Tangchirapat, Tirasit Saeting, Chai Jaturapitakkul, Kraiwood Kiattikomol, Anek Siripanichgorn, Use of waste ash from palm oil industry in concrete. Waste Management. 27 (2007): 81–88.
166. Nguyen Van Tuan, Guang Ye, Klaas van Breugel, Alex L.A. Fraaij, Bui Danh Dai, The study of using rice husk ash to produce ultra high performance concrete. Construction and Building Materials. 25 (2011): 2030–2035.
167. Udoeyo FF, Inyang H, Young DT, Oparadu EE, Potential of wood waste ash as an additive in concrete. Journal of Materials in Civil Engineering. 18(4)(2006): 605-611.
168. Md. Safiuddin, J.S. West, K.A. Soudki, Hardened properties of self-consolidating high performance concrete including rice husk ash. Cement & Concrete Composites. 32 (2010): 708–717.



169. Veera Horsakulthai, Santi Phiuvanna, Watcharase Kaenbud, Investigation on the corrosion resistance of bagasse-rice husk-wood ash blended cement concrete by impressed voltage. Construction and Building Materials. 25 (2011): 54–60.
170. Stefano Maschio, Gabriele Tonello, Luciano Piani, Erika Furlani, Fly and bottom ashes from biomass combustion as cement replacing components in mortars production: Rheological behaviour of the pastes and materials compression strength. Chemosphere. 85 (2011): 666–671.
171. Rejini Rajamma, Richard J. Ball, Luis A.C. Tarelho, Geoff C. Allen, Joao A. Labrincha, Victor M. Ferreira, Characterisation and use of biomass fly ash in cement-based materials. Journal of Hazardous Materials. 172 (2009): 1049–1060.
172. P. Chindapasirt, S. Rukzon, V. Sirivivatnanon, Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash. Construction and Building Materials. 22 (2008): 932–938.
173. D.A. Adesanya, A.A. Raheem, A study of the workability and compressive strength characteristics of corn cob ash blended cement concrete. Construction and Building Materials. 23 (2009): 311–317.
174. Hwang Chao-Lung, Bui Le Anh-Tuan, Chen Chun-Tsun, Effect of rice husk ash on the strength and durability characteristics of concrete. Construction and Building Materials. 25 (2011): 3768–3772.
175. Eliangela de M. Teixeira, Daniel Pasquini, Ant0nio A.S. Curvelo, Elisangela Corradini, Mohamed N. Belgacem, Alain Dufresne. Cassava bagasse cellulose nanofibrils reinforced thermoplastic cassava starch. Carbohydrate Polymers. 78 (2009): 422–431.
176. Maha M. Ibrahim, Alain Dufresne, Waleed K. El-Zawawy, Foster A. Agblevor. Banana fibers and microfibrils as lignocellulosic reinforcements in polymer composites. Carbohydrate Polymers. 81 (2010): 811–819.
177. Dagang Liu, Tuhua Zhong, Peter R. Chang, Kaifu Li, Qinglin Wu. Starch composites reinforced by bamboo cellulosic crystals. Bioresource Technology. 101 (2010): 2529–2536.
178. Anupama Kaushik, Mandeep Singh, Gaurav Verma. Green nanocomposites based on thermoplastic starch and steam exploded cellulose nanofibrils from wheat straw. Carbohydrate Polymers. 82 (2010): 337–345.

179. H. Liu, Q. Wu, Q. Zhang. Preparation and properties of banana fiber-reinforced composites based on high density polyethylene (HDPE)/Nylon-6 blends. Bioresource Technology. 100 (2009): 6088–6097.
180. Le Wang, Ming Yang, Xiaoguang Fan, Xintao Zhu, Tao Xu, Qipeng Yuan. An environmentally friendly and efficient method for xylitol bioconversion with high-temperature-steaming corncob hydrolysate by adapted *Candida tropicalis*. Process Biochemistry. 46 (2011): 1619–1626.
181. Chiung-Fang Huang, Yi-Feng Jiang, Gia-Luen Guo, Wen-Song Hwang. Development of a yeast strain for xylitol production without hydrolysate detoxification as part of the integration of co-product generation within the lignocellulosic ethanol process. Bioresource Technology. 102 (2011): 3322–3329.
182. Ke-Ke Cheng, Jian-An Zhang, Hong-Zhi Ling, Wen-Xiang Ping, Wei Huang, Jing-Ping Ge, Jing-Ming Xu. Optimization of pH and acetic acid concentration for bioconversion of hemicellulose from corncobs to xylitol by *Candida tropicalis*. Biochemical Engineering Journal. 43 (2009): 203–207.
183. Zhang J, Geng A, Yao C, Lu Y, Li Q. Xylitol production from D-xylose and horticultural waste hemicellulosic hydrolysate by a new isolate of *Candida athensensis* SB18. Bioresource Technology. 105 (2012): 134–141.
184. ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล, วีระชัย บัญชรเทวกุล, กาญจนา กิติดี. การผลิตน้ำตาลจากผักตบชวาเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตเอทานอล, 2553.
185. วัฒนา พุ่มมะลิ. การผลิตน้ำตาลจากฐานดอกและต้นทานตะวันโดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดและการขายรังสีแกมมาร่วมกับกรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาชีวเคมีและเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
186. Cara C, Romero I, Oliva JM, Sáez F, Castro E. Liquid hot water pretreatment of olive tree pruning residues. Appl. Biochem Biotechnol. 136–140 (2007): 379–394.
187. M. Aider, D. de Halleux, K. Belkacemi, S. Brunet. Contribution to the improvement of maple sugar production. Journal of Food Engineering. 80 (2007): 798–804.
188. Xu Zhou, Jiele Xu, Ziyu Wang, Jay J. Cheng, Ruyu Li, Rongda Qu. Dilute sulfuric acid pretreatment of transgenic switchgrass for sugar production. Bioresource Technology. 104 (2012): 823–827.

189. Weiqi Wei, Shubin Wu, Liguu Liu. Enzymatic saccharification of dilute acid pretreated eucalyptus chips for fermentable sugar production. Bioresource Technology. 110 (2012): 302–307.
190. Ziyu Wang, Deepak R. Keshwani, Arthur P. Redding, Jay J. Cheng. Sodium hydroxide pretreatment and enzymatic hydrolysis of coastal Bermuda grass. Bioresource Technology. 101 (2010): 3583–3585.
191. ชมพูนุช หาญนันทวิวัฒน์. การผลิตน้ำตาลจากการย่อยสลายโมเลกุลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยการฉายรังสีแกมมาร่วมกับกรดซัลฟูริก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
192. Leyanis Mesa, Erenio Gonzalez, Encarnacion Ruiz, Inmaculada Romero, Cristobal Cara, Fernando Felissia, Eulogio Castro. Preliminary evaluation of organosolv pretreatment of sugar cane bagasse for glucose production: Application of 23 experimental design. Applied Energy. 87 (2010): 109–114.
193. Guangyong Zhu, Xian Zhu, Qi Fan, Xueliang Wan. Production of reducing sugars from bean dregs waste by hydrolysis in subcritical water. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 90 (2011): 182–186.
194. Runjuan Wang, Youshan Sun, Shuting Zhang, Xuebin Lu. Two-step pretreatment of corn stalk silage for increasing sugars production and decreasing the amount of catalyst. Bioresource Technology. 120 (2012): 290–294.
195. G. Gigliotti and other. Co-composting of olive husks with high moisture contents: Organic matter dynamics and compost quality. International Biodeterioration & Biodegradation. 67 (2012): 8-14.
196. L. Roca-Pérez, C. Martínez, P. Marcilla, R. Boluda. Composting rice straw with sewage sludge and compost effects on the soil–plant system. Chemosphere. 75 (2009): 781–787.
197. Dev Raj a, R.S. Antil b. Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from agro-industrial wastes. Bioresource Technology. 102 (2011): 2868–2873.
198. T. Kuba , A. Tscho“ll , C. Partl , K. Meyer , H. Insam . Wood ash admixture to organic wastes improves compost and its performance. Agriculture, Ecosystems and Environment. 127 (2008): 43–49.
199. Peter A Brownsort. Biomass Pyrolysis Processes: Review of Scope, Control and Variability. UKBRC Working Paper 5. December 2009. See link: [www.biochar.org.uk](http://www.biochar.org.uk)

200. Sarah Carter and Simon Shackley. Biochar: Biomass energy, agriculture and carbon sequestration. Issue 60: Energy Market and Enterprise Development. HEDON Household Energy Network. See link:

[http://www.hedon.info/Biomass+agriculture+and+carbon+sequestration\)](http://www.hedon.info/Biomass+agriculture+and+carbon+sequestration)

201. C.L. Wong and other. Producing 2,3-butanediol from agricultural waste using an indigenous *Klebsiella* sp. Zmd30 strain. Biochemical Engineering Journal. 69 (2012): 32–40.

202. K.-K. Cheng and other. Improved 2,3-butanediol production from corncob acid hydrolysate by fed-batchfermentation using *Klebsiella oxytoca*. Process Biochemistry. 45 (2010): 613–616.

203. L.-Q. Jiang and other. Production of 2,3-butanediol from acid hydrolysates of *Jatropha* hulls with *Klebsiella oxytoca*. Bioresource Technology. 107 (2012): 405–410.

## ภาคผนวก ก มีเทนไฮเดรต

มีเทนไฮเดรต (Methane hydrates/Methane clathrate/Hydromethane/Methane  
rice/Fire ice/Natural gas hydrate/Gas hydrate หรือ  $\text{CH}_4 \cdot 5.75\text{H}_2\text{O}$ ) เกิดจากการที่โมเลกุลของ  
น้ำจับตัวกันเป็นโครงสร้างของน้ำแข็งหุ้มล้อมรอบโมเลกุลของก๊าซคล้ายกรงที่จับหรือเก็บกักก๊าซ  
นั้นๆไว้ (ภายใต้ความดันสูงของทะเลลึก) ถ้าก๊าซที่กักเป็นมีเทนเราจะเรียกว่ามีเทนไฮเดรต ถ้าเป็น  
คาร์บอนไดออกไซด์จะเรียกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ไฮเดรต มีเทนไฮเดรตบริสุทธิ์มีสีขาวลักษณะ  
คล้ายน้ำแข็งพบที่พื้นทะเลซึ่งมีความลึกมากกว่าห้าร้อยเมตรขึ้นไป มีการคาดการณ์ว่ามีเทนไฮ  
เดรตอาจเกิดจากการหมักของซากสัตว์เซลล์เดียว (แพลงตอน) ที่ตายแล้วและจมลงสู่ท้องทะเล  
ภายในสภาวะไม่มีอากาศและความดันสูง หรืออาจเกิดจากมีเทนที่รั่วออกจากรอยแยกของผิวโลก  
ได้น้ำที่ความลึกมากและเกิดตกตะกอนหรือจับตัวเป็นผลึกขึ้นเมื่อโดนน้ำเย็นจัด มีเทนไฮเดรต  
สามารถคงสภาพอยู่ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าความดันสูงหรือที่อุณหภูมิต่ำกว่า -80 องศาเซลเซียสที่  
ความดันหนึ่งบรรยากาศ หรือที่ 0 องศาเซลเซียสที่ความดันยี่สิบสามบรรยากาศ แหล่งมีเทนไฮ  
เดรตของโลกมีอยู่สองแหล่งใหญ่ๆ คือ ที่บริเวณเพอร์มาฟรอสต์และที่พื้นทะเลลึกของมหาสมุทร  
บางจุด (โดยมีการกระจายตัวเกิดเป็นชั้นหนาหลายร้อยเมตร) มีการประเมินว่าปริมาณของ  
คาร์บอนที่อยู่ในรูปของมีเทนไฮเดรตที่พื้นทะเลลึกจะมีปริมาณมากกว่าคาร์บอนในฟอสซิลทุกชนิด  
ที่ใช้กันอยู่ประมาณสองเท่าถึงสิบเท่าและมีแนวโน้มที่จะเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในอนาคต

อย่างไรก็ตามข้อมูลการสำรวจและการศึกษาเกี่ยวกับมีเทนไฮเดรตจวบจนถึงปัจจุบันยังมีน้อย  
มากทั้งในเรื่องแหล่ง การเกิด การผลิต (จะใกล้เคียงน้ำมันหรือก๊าซที่ขุดเจาะในทะเล) การนำมาใช้  
ประโยชน์และผลกระทบต่อวงจรคาร์บอนในโลกเนื่องจากเป็นก๊าซเรือนกระจก ความเป็นไปได้ใน  
การกักเก็บมีเทนในรูปของมีเทนไฮเดรต ผลกระทบจากการปล่อยมีเทนจากแหล่งมีเทนต่างๆ สู่  
บรรยากาศ ความปลอดภัยและเสถียรภาพของพื้นทะเล ฯลฯ

อุตสาหกรรมการขุดเจาะเพื่อสำรวจและผลิตก๊าซธรรมชาติและน้ำมันจากทะเลลึกรู้จัก  
มีเทนไฮเดรตมานานแล้วเนื่องจากภายในท่อขุดเจาะและท่อส่งน้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติบริเวณแท่น  
เจาะมีสภาวะเหมาะสมที่จะเกิดมีเทนไฮเดรตได้ดี มีเทนไฮเดรตที่จับตัวโตขึ้นจะทำให้ท่อส่งอุดตัน  
เกิดอันตรายได้ง่าย โดยปกติบริษัทขุดเจาะน้ำมันจะใช้เมทานอลเป็นตัวหน่วงเพื่อควบคุมไม่ให้เกิด  
เป็นไฮเดรตขึ้น ข้อจำกัดของมีเทนไฮเดรตคือมีเสถียรภาพต่ำ จะเปลี่ยนสภาพเป็นก๊าซมีเทน  
เมื่ออุณหภูมิหรือความดันเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน (เช่นเกิด landslide ของชั้นมีเทนไฮ  
เดรตบนพื้นทะเล หรือเกิดจากการให้ความร้อนมากเกินไปขณะที่ทำให้ซีเมนต์เซ็ทตัว (ใต้ทะเลลึก)  
ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการระเบิดของแท่นเจาะน้ำมันของบริษัทบีพี (British Petroleum) ที่อ่าว  
เม็กซิโกในปี 2554 (ดู <http://www.guardian.co.uk/environment/2010/may/20/deepwater-methane-hydrates-bp-gulf>) เนื่องจากมีเทนไฮเดรต 1 ลบ.ม จะสลายตัวให้มีเทนปริมาตร

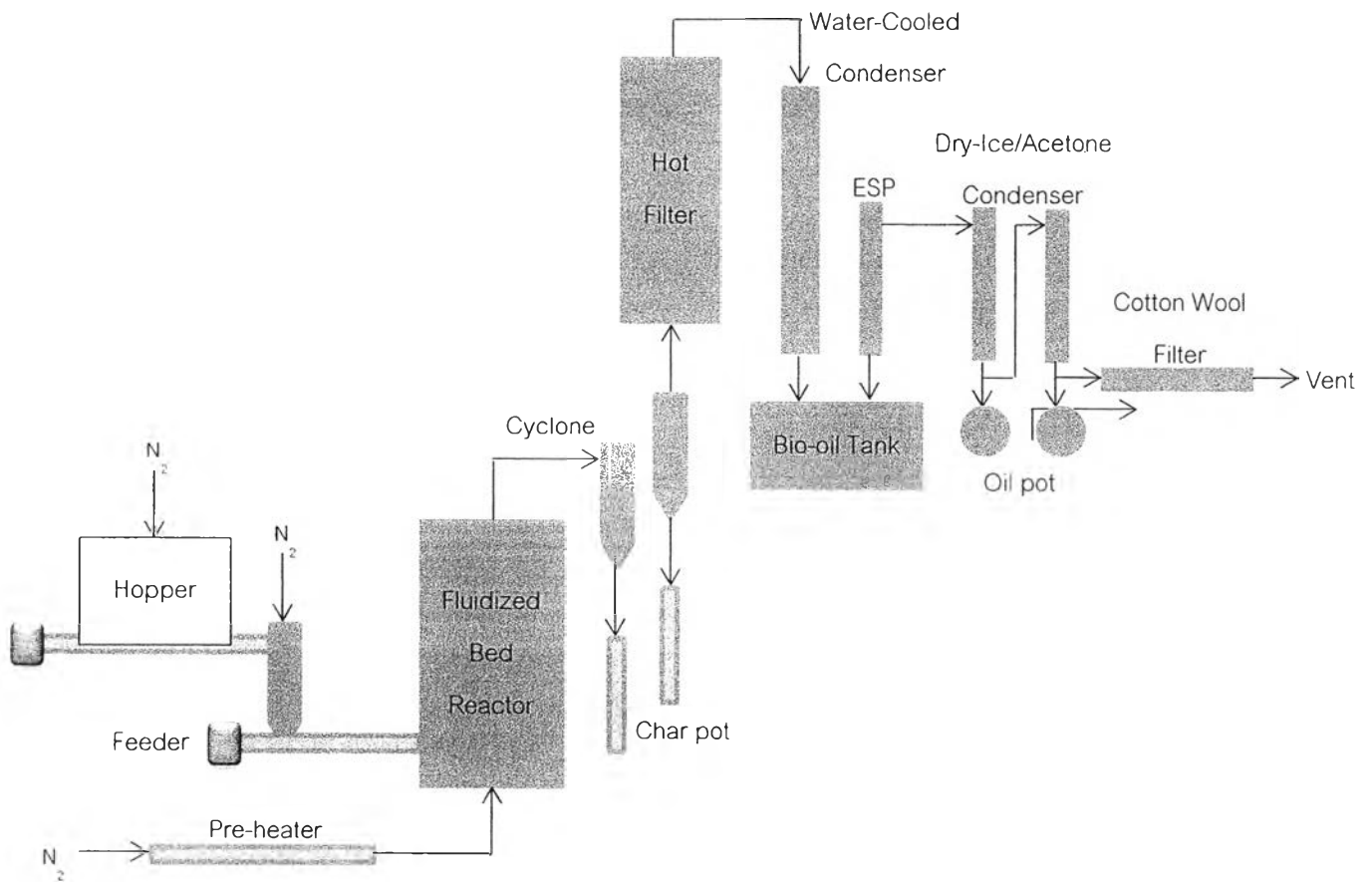
ประมาณ 160 ลบ.ม ที่ 0 องศาเซลเซียสที่ความดันหนึ่งบรรยากาศ ในเดือนมีนาคม 2556 บริษัทเอกชนแห่งหนึ่งของญี่ปุ่นได้เริ่มศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมีเทนไฮเดรตจากแหล่งที่อยู่ใกล้ประเทศญี่ปุ่นมาใช้ประโยชน์แทนก๊าซธรรมชาติแล้ว (คาดว่าจะสามารถเริ่มผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ในปี 2563) อัตราการปล่อยมีเทนจากผิวบนของแหล่งมีเทนไฮเดรตที่สัมผัสกับน้ำทะเลลึกจะแปรตามอุณหภูมิของน้ำทะเลซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของบรรยากาศที่ผิวน้ำ มีเทนส่วนนี้จะส่งผลให้เกิดปัญหาโลกร้อนอย่างช้าๆและไม่เห็นชัดเจน แต่ในกรณีแหล่งมีเทนไฮเดรตขนาดใหญ่ปล่อยมีเทนออกจากพื้นทะเลแบบฉับพลันจะส่งผลให้อุณหภูมิของบรรยากาศโลกสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและทำให้อุณหภูมิของพื้นทะเลสูงขึ้นตามไปด้วยซึ่งจะเป็นการเร่งให้มีเทนถูกปล่อยออกมามากขึ้นไปอีก มีการคาดการณ์ว่ายุคเพอเมนที่สิ้นสุดลงประมาณ 292 ถึง 252 ล้านปีที่ผ่านมานี้ ซึ่งทำให้สิ่งมีชีวิตทั้งสัตว์และพืชมากกว่าเก้าสิบลเปอร์เซ็นต์ต้องสูญหายไปอาจเป็นผลจากการปล่อยมีเทนออกมาอย่างฉับพลัน ซึ่งเหตุการณ์เช่นนี้อาจเกิดขึ้นซ้ำได้อีกในอนาคต

## ภาคผนวก ข

### การผลิตน้ำมันชีวภาพที่ให้ผลผลิตสูงและให้ค่าความร้อนสูง

น้ำมันชีวภาพจากมันสำปะหลัง<sup>[49]</sup>

วัสดุชีวมวล ตัวอย่างวัสดุชีวมวลที่ใช้ในการศึกษาคือ เหง้ามันสำปะหลัง (Cassava rhizome: CR) และต้นมันสำปะหลัง (Cassava stalk: CS) ที่ปลูกจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยนำตัวอย่างไปตากให้แห้งแล้วนำมาบดและร่อนผ่านเครื่องร่อนขนาดต่างๆ จะได้ตัวอย่างที่มีขนาด 0-250, 250-425, 212-600 และ 425-600 ไมโครเมตร จากนั้นอบตัวอย่างที่บดแล้วที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นให้เหลือต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 1 กระบวนการฟาสต์ไพโรไลซิส

อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการฟาสต์ไพโรไลซิส นำตัวอย่าง CR และ CS เข้าสู่กระบวนการฟาสต์ไพโรไลซิส โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidised-bed reactor) มีอุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 1 ถังปฏิกรณ์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 50 มิลลิเมตร สูง 450 มิลลิเมตร วัสดุชีวมวลใน hopper จะถูกลำเลียงไปยังถังปฏิกรณ์ที่มีทรายซิลิกาบรรจุอยู่ภายใน การให้ความร้อนที่ถังปฏิกรณ์และอุปกรณ์ให้ความร้อนก่อนเข้าถังปฏิกรณ์ (Pre-heater) จะใช้ขดลวดความร้อน

และมีอุณหภูมิความร้อนเพื่อลดการสูญเสียความร้อน ไอที่เกิดขึ้นจะถูกทำให้สะอาดขึ้นที่เครื่องแยก ตะกอนแบบไซโคลน (Cyclone) และเครื่องกรองแบบร้อน (Hot cyclone) ก่อนเข้าสู่การกลั่นตัว และไอจะถูกเก็บรวบรวมโดยการควบแน่นด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Water-cooled heat exchanger) เครื่องตกตะกอนด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator, ESP) เครื่องควบแน่น ด้วยน้ำแข็งแห้งและอะซิโตน (Dry ice/acetone condensers) และเครื่องกรอง (Cotton wool filter)

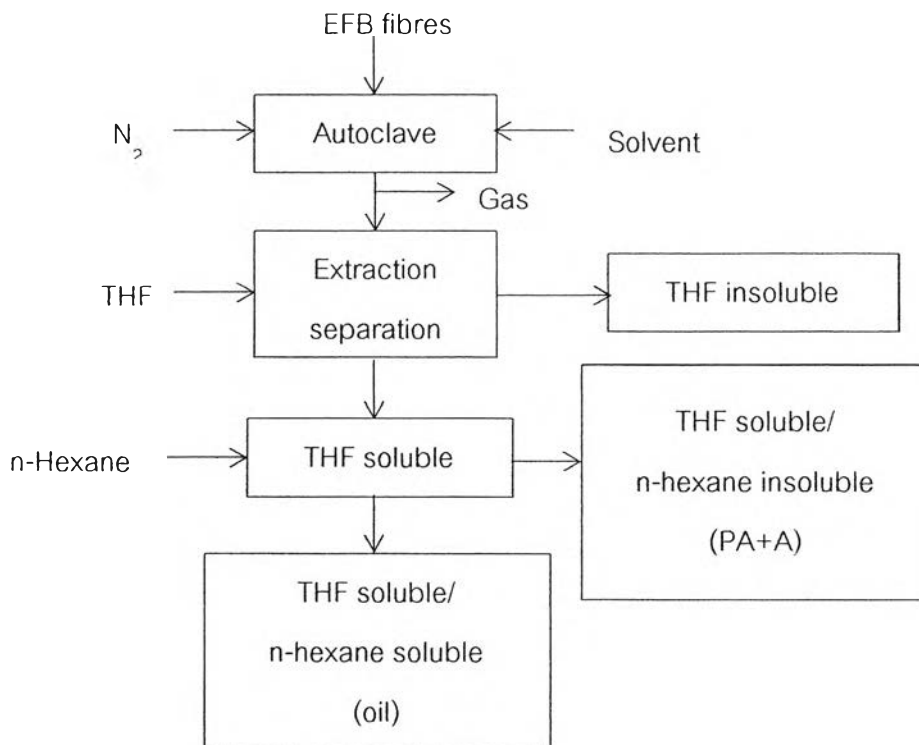
การทดลอง ทำการทดลองภายใต้สภาวะต่างๆ ได้แก่ ศึกษาความเหมาะสมของอุณหภูมิที่ 400, 450, 475, 500 และ 550 องศาเซลเซียส ศึกษาขนาดของตัวอย่างจากเหง้ามันสำปะหลัง ที่ขนาด 0–250, 250–425, 212–600 และ 425–600 ไมโครเมตร ขนาดตัวอย่างจากต้นมันสำปะหลังที่ขนาด 250–425 ไมโครเมตร ซึ่งในการทดลองที่ใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นตัวอย่างจะใช้ปฏิกรณ์ที่ต่อกับเครื่องกรองแบบ ร้อน ส่วนการทดลองที่ใช้ต้นมันสำปะหลังเป็นตัวอย่างจะใช้ถึงปฏิกรณ์อย่างเดียว ซึ่งไม่ได้ต่อกับเครื่อง กรองแบบร้อน นอกจากนี้ยังศึกษาวิธีการกรองไอร้อนที่ผลิตได้ โดยใช้กระบวนการไพโรไลซิสที่ อุณหภูมิและขนาดของตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุด และอัตราการป้อนตัวอย่างที่ความเร็ว 300–500 กรัม ต่อชั่วโมง อัตราการไหลของไนโตรเจน 7 ลิตรต่อนาที ขนาดของทรายซิลิกามีเส้นผ่าศูนย์กลาง 250– 425 ไมโครเมตร ทำการทดลองนาน 1 ชั่วโมง



น้ำมันจากทะลายปาล์มเปล่า (Palm empty fruit bunch (EFB) fibres) โดยใช้ตัวทำละลายต่างๆ<sup>[55]</sup>

วัสดุชีวมวล ทะลายปาล์มเปล่ามีขนาดของไฟเบอร์ 20 เมช อบทะลายปาล์มเปล่าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

วิธีการสลายเส้นใยด้วยตัวทำละลาย (Solvolysis of EFB fibres) ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Solvolysis) โดยใช้หม้ออบไอน้ำความดันสูง (Autoclave) ขนาด 150 มิลลิลิตร กับใบกวนแบบกังหัน (Turbine stirrer) ที่มีระบบให้ความร้อนภายนอก ทำการผสมตัวอย่าง 15 กรัม กับตัวทำละลาย ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าหม้ออบไอน้ำความดันสูงที่ 275 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และคน นาน 60 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ก๊าซที่เกิดขึ้นจะถูกปล่อยออกและวัดปริมาตร ส่วนผสม จะแยกออกเป็นสามส่วน ได้แก่ ส่วนที่เหลืออยู่ (THF insoluble), น้ำมัน (THF soluble/n-hexane soluble) และยางมะตอย (THF soluble/n-hexane insoluble) อบส่วน THF insoluble ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส และชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาปริมาณที่ได้ สามารถสรุปกระบวนการไฮโดรไลซิส ได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กระบวนการไฮโดรไลซิส

น้ำมันชีวภาพจากปุ๋ยคอก (ปุ๋ยมูลวัว) โดยวิธีไฮโดรเทอร์มัลลิเคอแฟคชัน<sup>[57]</sup>

วิธีไฮโดรเทอร์มัลลิเคอแฟคชัน      ถังที่ใช้ในการทดลอง ทำจากสแตนเลสอัดความดันขนาด 300 มิลลิเมตร ทนอุณหภูมิสูงถึง 350 องศาเซลเซียส และความดัน 38 เมกะปาสคาล กวนโดยใช้ใบพัดที่อัตราเร็วคงที่ 200 รอบต่อนาที ในกระบวนการใช้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าสู่ถังผ่านทางวาล์วความดันสูงขาเข้า (High-pressure inlet valve) และให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนรูปร่างทรงกระบอก (Cylindrical electric heater) ถึงสแตนเลสจะเป็นทรงกระบอกกลวง กั้นแบน จึงสะดวกต่อการขนถ่ายวัตถุดิบทั้งก่อนและหลังกระบวนการ มีระบบน้ำระบายความร้อน วาล์วลดความดัน (Pressure relief valve) และแผ่นรับแรงดัน (Rupture disc) เพื่อป้องกันความเสียหายในกรณีอุณหภูมิและความดันสูงเกินปกติ

การเตรียมวัตถุดิบ      แยกของแข็งจากปุ๋ยมูลวัว แล้วทำของแข็งให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นบดให้ละเอียด ผสมผงตัวอย่าง 20 กรัม กับน้ำปราศจากไอออน 80 มิลลิตร ได้ส่วนผสมที่มีปริมาณของแข็งรวม 20 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำเข้าสู่ถังสแตนเลส (เหล็กไร้สนิม)

ขั้นตอนการทดลอง      บรรจุตัวอย่างมูลวัว น้ำ และตัวเร่งปฏิกิริยา ในทอัสเตนเลสและผสมให้เข้ากัน ทำการบันทึกค่าพีเอช แล้วนำทอัสเตนเลสใส่ในถัง ซึ่งด้านบนของถังจะมีระบบหล่อเย็น อุปกรณ์สำหรับเขย่า ใบพัด และ thermowells ติดตั้งอยู่ และยึดปิดที่ลิ้อคฝาทั้งหกแห่ง ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ถังเพื่อกำจัดอากาศ นาน 10 นาที แล้วทำให้ความดันเริ่มต้นเท่ากับ 2.068 เมกะปาสคาล หลังกระบวนการเสร็จสิ้นแล้ว ทำการระบายความร้อนผ่านน้ำ จนอุณหภูมิลดลงเหลือเท่ากับอุณหภูมิเริ่มต้นการทดลอง จึงทำการเก็บก๊าซที่เกิดขึ้น

ปัจจัยศึกษา      ปัจจัยที่ศึกษาในการทดลอง ได้แก่ ศึกษาอุณหภูมิระหว่าง 250–350 องศาเซลเซียส ความดันระหว่าง 5.1–20.5 เมกะปาสคาล และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแอนไฮดรัสโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ที่ปริมาณ 0, 1, 2, 3 และ 4 กรัม ซึ่งทำการทดลองที่ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาต่างกับที่อุณหภูมิ 250, 275, 300, 325 และ 350 องศาเซลเซียส ซึ่งทำการทดลองทั้งหมด 25 การทดลอง ในการทดลองนี้ใช้แอนไฮดรัสโซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากการศึกษาก่อนหน้านิยมใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการนี้กันเป็นอย่างมาก (Demirbas, 1998, 2000; Fang et al., 2004; Ross et al., 2010; Biller and Ross, 2011)

บรรจุส่วนผสมที่เตรียมไว้ ทำการทดลองที่สภาวะ Retention time (RT) 15 นาที (He et al., 2000), พีเอชเริ่มต้น 6.5 เมื่อเติมแอนไฮดรัสโซเดียมคาร์บอเนต 4 กรัม ทำให้พีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 10.5 ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

## ภาคผนวก ค

### การผลิตไฮโดรเจนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร

#### การผลิตไฮโดรเจนจากหางนมที่แยกเนยออกแล้ว<sup>[85]</sup>

ใส่หางนมที่ไม่ถูกเจือจางในภาชนะสแตนเลสทรงกระบอกขนาด 500 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส HRT 24 ชั่วโมง เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 20 กรัมต่อลิตร ทำการหมักแบบ Batch โดยปราศจากอากาศที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เพื่อกระตุ้นจุลินทรีย์ที่ได้จากน้ำเสีย จากนั้นจึงเปลี่ยนเป็นการหมักแบบต่อเนื่อง ซึ่งตลอดกระบวนการผลิต ต้องทำการควบคุมพีเอชให้อยู่ระหว่าง 5-6 ทำการเติมหางนมที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส ทุก 3 ชั่วโมง ทำการวัดก๊าซที่เกิดขึ้น ซึ่งพบว่าได้ปริมาณไฮโดรเจน 290 มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมของวัตถุดิบ

#### การผลิตไฮโดรเจนจากลำต้น กิ่งก้านต้นข้าวโพด<sup>[81]</sup>

บดลำต้น กิ่งก้านต้นข้าวโพดให้มีขนาด 20 เมช จากนั้นผสมตัวอย่างที่บดแล้วและกรดไฮโดรคลอริกเจือจางแล้วต้มในปิกเกอร์นาน 30 นาที ปรับพีเอชให้เท่ากับ 7 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง และกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง โดยในการทดลองได้ใช้จุลินทรีย์จากมูลวัวที่ถูกหมักไว้เป็นระยะเวลา 3 เดือน ใส่ส่วนผสมของตัวอย่างบดและกรดไฮโดรคลอริกข้างต้นปริมาณ 150 มิลลิลิตร และสารอาหาร (Nutrient stock solution) 3 มิลลิลิตร ในภาชนะ ซึ่งสารอาหารประกอบด้วย แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ) 80 กรัม โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 12.4 กรัม แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต 0.1 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 0.01 กรัม โซเดียมโมลิบเดต ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 0.01 กรัม แคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต 0.01 กรัม แมงกานีสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต 0.015 กรัม และไอออนคลอไรด์ 0.0278 กรัม นำภาชนะบรรจุส่วนผสมเข้าเครื่องเขย่าภายใต้ อุณหภูมิ  $36 \pm 1$  องศาเซลเซียส ความเร็วในการเขย่า 90 รอบต่อนาที ทำการผ่านก๊าซไนโตรเจนเพื่อกำจัดออกซิเจน ทำการวัดก๊าซที่เกิดขึ้น ซึ่งพบว่าได้ปริมาณไฮโดรเจน 150 มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัมของวัตถุดิบ

#### การผลิตไฮโดรเจนจากส่วนที่เหลือจากการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ<sup>[86]</sup>

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองถูกเก็บจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานบดปาล์มน้ำมัน จากนั้นทำให้เข้มข้นขึ้น และปรับให้มีพีเอชเริ่มต้น 5.5 ที่อุณหภูมิภายใต้สภาวะเทอร์โมฟิลิก 60 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดปัจจัยที่ทำให้เกิดมีเทน น้ำเสียของโรงงานบดปาล์มน้ำมันมีของแข็งแขวนลอยที่ระเหยได้จำนวน 2 กรัมต่อลิตร ทำการเพาะเชื้อในถังปฏิกรณ์แบบ Batch ที่ HRT 4 วัน โดยควบคุมพีเอชให้อยู่ที่ 5.5 และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นำของเหลวที่ได้ไปปั่นเหวี่ยง จะได้หัวเชื้อสำหรับการทดลอง ตัวอย่างส่วนที่เหลือจากการผลิตน้ำมันปาล์มดิบถูกเก็บจากภาคใต้ของประเทศไทย มีลักษณะเป็นสีน้ำตาล พีเอช 4.2-4.5 อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส และมีน้ำเป็นองค์ประกอบ 86-90 เปอร์เซ็นต์

ผสมตัวอย่างส่วนที่เหลือจากการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ 60 มิลลิลิตร หัวเชื้อ 5 มิลลิลิตร โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.15 กรัม และส่วนผสมของเหล็ก ไนโตรเจน และฟอสเฟส ความเข้มข้นของเหล็ก ( $Fe^{2+}$ ) อยู่ที่ 2-400 มิลลิกรัมต่อลิตร สัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ที่ 45-95 โดยไนโตรเจนที่ใช้มาจากไนโตรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบของเปปโทน สัดส่วนของคาร์บอนต่อฟอสฟอรัสอยู่ที่ 450-650 โดยฟอสเฟตที่ใช้มาจากไดโซเดียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟตไดไฮเดรต ( $Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$ ) ความคุมอุณหภูมิของส่วนผสมให้อยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส พีเอชเริ่มต้น 5.5 โดยปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ และกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลาร์ ก๊าซที่เกิดขึ้นจะถูกเก็บทุกๆ 3 ชั่วโมง ด้วยถุงสำหรับบรรจุก๊าซ แล้ววิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซด้วยวิธีก๊าซโครมาโทกราฟี

#### การผลิตไฮโดรเจนจากฟางข้าวโพด<sup>[79]</sup>

ผสมเชื้อ *C. butyricum* ในสารอาหารที่ประกอบด้วยกลูโคส 20 กรัม ยีสต์สกัด 2 กรัม โฟแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.2 กรัม ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $K_2HPO_4$ ) 1.6 กรัม แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต 0.2 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 0.1 กรัม แคลเซียมคลอไรด์ 0.01 กรัม โซเดียมซัลไฟด์นาโนไฮเดรต ( $Na_2S \cdot 9H_2O$ ) 0.25 กรัม โซเดียมโมลิบเดต 0.01 กรัม โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.2 กรัม และแอมโมเนียมซัลเฟต 3.0 กรัม หั่นฟางข้าวโพดขนาด 3-4 เซนติเมตร และใส่ในถังอัดไอน้ำขนาด 1 ลิตร ที่ความดัน 1.5 เมกะปาสคาล นาน 10 นาที จากนั้นเปิดวาล์วที่ตัวถังเพื่อปรับความดันให้ความดันในถังมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศอย่างรวดเร็ว ในขั้นตอนการหมักใส่เชื้อในภาชนะ 250 มิลลิลิตร ที่ 35 องศาเซลเซียส เติมตัวอย่างฟางข้าวโพดที่ผ่านการอัดไอน้ำแล้ว 10 กรัม ปล่อยก๊าซไนโตรเจนให้ไหลผ่านในระบบเพื่อกำจัดออกซิเจน ทำการวิเคราะห์ก๊าซที่เกิดขึ้นด้วยวิธีก๊าซโครมาโทกราฟี

#### การผลิตไฮโดรเจนจากเศษผัก<sup>[89]</sup>

การทดลองนี้ใช้แบคทีเรีย 3 ประเภท คือ *Buttiauxella* sp. 4, *Rahnella* sp. 10 and *Raoultella* sp. 47 ใส่ในสารอาหารที่ประกอบด้วยกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร เปปโทน 4 กรัมต่อลิตร โซเดียมคลอไรด์ 3 กรัมต่อลิตร โฟแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 1 กรัมต่อลิตร ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 1 กรัมต่อลิตร แอล-ซิสเตอีนไฮโดรคลอไรด์โมโนไฮเดรต ( $L\text{-Cysteine HCl} \cdot H_2O$ ) 0.5 กรัมต่อลิตร เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) 0.1 กรัมต่อลิตร และแมกนีเซียมคลอไรด์ 0.1 กรัมต่อลิตร ทำการเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เขย่าที่ 120 รอบต่อนาที นาน 24 ชั่วโมง ใช้เศษผักจากโรงอาหารของศูนย์วิจัย โดยมีการทดลอง 2 แบบ คือ ใช้เศษผักอย่างเดียว และส่วนผสมของเศษผัก 80 เปอร์เซ็นต์ และเปลือกมันฝรั่ง 20 เปอร์เซ็นต์ บดตัวอย่างให้มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 5 มิลลิเมตร และเจือจางด้วยบัฟเฟอร์ฟอสเฟต 0.1 โมลาร์ (มีสัดส่วนของโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต:ไดโซเดียมฟอสเฟต 0.4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่มีพีเอช 6.7

ทำการหมักที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เขย่าที่ 120 รอบต่อนาที วิเคราะห์ก๊าซที่เกิดขึ้นด้วย  
วิธีการแทนที่ด้วยน้ำ

## ภาคผนวก ง การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์

ศึกษาการดูดซับเมทิลลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกมะพร้าว โดยสามารถดูดซับเมทิลลีนบลูได้ 434.78 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีขั้นตอนการสังเคราะห์และดูดซับ ดังนี้<sup>[103]</sup>

### ขั้นตอนการสังเคราะห์ตัวดูดซับ

1. ล้างเปลือกมะพร้าวด้วยน้ำกลั่นและทำให้แห้ง
2. ตัดและร่อนผ่านเครื่องร่อนขนาด 1-2 มิลลิเมตร
3. นำเปลือกมะพร้าวแห้งเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิห้อง ที่อัตราการไหลผ่านของไนโตรเจน 150 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงคงอุณหภูมิไว้ 2 ชั่วโมง
4. แช่ถ่านที่ได้ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH solution) ด้วยอัตราส่วน KOH:ถ่าน คือ 1:1 โดยน้ำหนัก อบส่วนผลสดดังกล่าวในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสตลอดคืน จากนั้นจึงนำส่วนผลสดเข้าเตาเผา โดยใช้สภาวะอุณหภูมิ 700°C อัตราการไหลผ่านของไนโตรเจน 150 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เมื่ออุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส จึงเปลี่ยนจากการผ่านไนโตรเจนเป็นการผ่านคาร์บอนไดออกไซด์ และคงอุณหภูมิไว้ที่ 850 องศาเซลเซียส ไว้ 2 ชั่วโมง
5. ปลอຍให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้เย็นตัวลงภายใต้การไหลผ่านของไนโตรเจนจนถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน และปรับค่าพีเอชด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จนของเหลวที่ผ่านการกรองมี

พีเอช 6-7

### ขั้นตอนการดูดซับเมทิลลีนบลู

6. ใส่ถ่านกัมมันต์ขนาดอนุภาค 200 ไมโครเมตร น้ำหนัก 0.1 กรัม ในขวดแก้วที่บรรจุเมทิลลีนบลูความเข้มข้น 50-500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ภายใต้การเขย่า 120 รอบต่อนาที 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 ชั่วโมง โดยไม่ต้องทำการปรับค่าพีเอช
7. กรองส่วนผลสดและทำการวัดปริมาณเมทิลลีนบลูที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์

ศึกษาการดูดซับเมทิลลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากกะลามะพร้าว โดยสามารถดูดซับเมทิลลีนบลูได้ 916.26 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีขั้นตอนการสังเคราะห์และดูดซับ ดังนี้<sup>[111]</sup>

#### ขั้นตอนการสังเคราะห์ตัวดูดซับ

1. ล้างลูกมะพร้าวด้วยน้ำกลั่นและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
2. แกะกะลาออกจากลูกมะพร้าว และอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นบดกะลามะพร้าวแห้งให้มีขนาดระหว่าง 250-425 ไมโครเมตร
3. นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิห้อง ตั้งค่าอัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนเตาเผามีอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสและคงอุณหภูมิไว้ 2 ชั่วโมง
4. แช่ถ่านที่ได้ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และน้ำ 10 มิลลิลิตร ด้วยอัตราส่วน NaOH:ถ่าน คือ 3:1 โดยน้ำหนัก ใช้แท่งแม่เหล็กในการกวนผสม 2 ชั่วโมง จากนั้นอบส่วนผสมดังกล่าวที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
5. นำส่วนผสมเข้าเตาเผา ใช้สภาวะอัตราการไหลผ่านของไนโตรเจน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมิไว้ 1.5 ชั่วโมง
6. ปลั่ยให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้เย็นตัวลง จากนั้นจึงล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และตามด้วยน้ำกลั่น จนของเหลวที่ผ่านการกรองมีพีเอชประมาณ 6.5

#### ขั้นตอนการดูดซับเมทิลลีนบลู

7. ใส่ถ่านกัมมันต์ 0.025 กรัม ในขวดแก้วที่บรรจุเมทิลลีนบลูความเข้มข้น 100-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 25 มิลลิลิตร ภายใต้การเขย่าอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง
8. กรองส่วนผสมและทำการวัดปริมาณเมทิลลีนบลูที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์

ศึกษาการดูดซับเมทิลลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากชานอ้อย โดยสามารถดูดซับเมทิลลีนบลูได้ 5220 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีขั้นตอนการสังเคราะห์และดูดซับ ดังนี้<sup>[115]</sup>

#### ขั้นตอนการสังเคราะห์ตัวดูดซับ

1. อบชานอ้อยนาน 3 วัน จากนั้นจึงบดและร่อนเพื่อคัดเลือกชานอ้อยที่มีอนุภาคขนาด 425-850 ไมโครเมตร
2. สังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่สภาวะสูญญากาศ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมิไว้ 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 460 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 17 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้ความดันสัมบูรณ์ 8 กิโลปาสคาล คงอุณหภูมิไว้ 1 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวลง
3. กระตุ้นถ่านจำนวน 1 กรัม ด้วยไอน้ำและไนโตรเจน ที่ 60 เปอร์เซ็นต์โมลของไอน้ำ และอัตราการไหลของไนโตรเจน 350 ลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

#### ขั้นตอนการดูดซับเมทิลลีนบลู

4. ใส่ถ่านกัมมันต์ 0.2 กรัม ในขวดแก้วที่บรรจุเมทิลลีนบลูความเข้มข้น 1-20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ภายใต้การเขย่า 6 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ที่พีเอชประมาณ 5

ศึกษาการดูดซับเมทิลลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากไม้ไผ่ โดยสามารถดูดซับเมทิลลีนบลูได้ 454.2 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีขั้นตอนการสังเคราะห์และดูดซับ ดังนี้<sup>[121]</sup>

#### ขั้นตอนการสังเคราะห์ตัวดูดซับ

1. ล้างไม้ไผ่และทำให้แห้ง จากนั้นบดและร่อนผ่านเครื่องร่อนขนาด 1-2 มิลลิเมตร
2. ไม้ไผ่แห้งผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ภายใต้การไหลผ่านของไฮโดรเจน ความดันบรรยากาศ
3. แช่ถ่านในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH solution) ด้วยอัตราส่วน KOH:ถ่าน คือ 1:1 โดยน้ำหนัก จากนั้นอบส่วนผสมดังกล่าวในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสตลอดคืน
4. นำส่วนผสมเข้าเตาเผา ภายใต้อัตราการไหลผ่านของไนโตรเจน 150 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส จึงเปลี่ยนจากการผ่านไนโตรเจนเป็นการผ่านคาร์บอนไดออกไซด์ และคงอุณหภูมิไว้ 2 ชั่วโมง
5. ปล่อยให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้เย็นตัวลงภายใต้การไหลผ่านของไนโตรเจนจนถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน
6. แช่ถ่านกัมมันต์ในกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร และปั่นกววน 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองและล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนร้อน จนของเหลวที่ผ่านการกรองมีพีเอช 6-7



### ขั้นตอนการดูดซับเมทิลลิโนบลู

- ใส่ถ่านกัมมันต์ขนาดอนุภาค 150 ไมโครเมตร ปริมาณ 0.2 กรัม ในขวดแก้วที่บรรจุเมทิลลิโนบลู ความเข้มข้น 100-500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ภายใต้การเขย่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ใส่กรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร เพื่อปรับพีเอชให้เป็น 7
- กรองส่วนผสมและทำการวัดปริมาณเมทิลลิโนบลูที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์

ศึกษาการดูดซับเมทิลลิโนบลูด้วยเมล็ดมะละกอ โดยสามารถดูดซับเมทิลลิโนบลูได้ 555.55 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีขั้นตอนการสังเคราะห์และดูดซับ ดังนี้<sup>[127]</sup>

### ขั้นตอนการสังเคราะห์ตัวดูดซับ

- ล้างเมล็ดมะละกอด้วยน้ำกลั่น และต้มกับน้ำ 20 นาที จากนั้นกรองและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง
- บดและร่อนเพื่อคัดเลือกเมล็ดมะละกอที่มีอนุภาคขนาด 125-250 ไมโครเมตร

### ขั้นตอนการดูดซับเมทิลลิโนบลู

- ใส่ตัวดูดซับ 0.5 กรัม ในขวดแก้วที่บรรจุเมทิลลิโนบลูความเข้มข้น 50-360 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ภายใต้การเขย่าอย่างต่อเนื่องที่ 130 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยไม่ต้องปรับพีเอช
- กรองส่วนผสมและทำการวัดปริมาณเมทิลลิโนบลูที่เหลือจากการดูดซับ

ศึกษาการดูดซับเจนเซียนไวโอเลตด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากขาน้อย โดยสามารถดูดซับเจนเซียนไวโอเลตได้ 1273.16 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีขั้นตอนการสังเคราะห์และดูดซับ ดังนี้<sup>[115]</sup>

### ขั้นตอนการสังเคราะห์ตัวดูดซับ

- ตัดขาน้อยเป็นชิ้นเล็กๆ และอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงบดเป็นผงและร่อนด้วยเครื่องร่อนขนาด 100 และ 200 เมช
- ล้างผงขาน้อยแห้งด้วยน้ำกลั่นอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส กรองและล้างอีกครั้งด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์
- อบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และล้างด้วยสารละลายผสมที่มีสัดส่วนของเฮกเซน:เอทานอล เป็น 1:1 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
- ผสมตัวอย่างข้างต้นปริมาณ 5 กรัม ซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (Succinic anhydride) 15 กรัม ไพริดีนกลั่น 50 มิลลิลิตร ในเครื่องรีฟลักซ์ และให้ความร้อนตลอด 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงกรองและล้าง

ส่วนที่เหลือด้วยกรดอะซิติกในเมททิลลีนคลอไรด์เข้มข้น 1 โมลต่อลิตร เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ น้ำกลั่น โซเดียมไบคาร์บอเนตอิ่มตัว (Saturated NaHCO<sub>3</sub>) น้ำกลั่น และอะซิโตน ตามลำดับ

ขั้นตอนการดูดซับเงินเขียนไวโอเลต

5. ใส่ถ่านกัมมันต์ 20 มิลลิกรัม ในขวดแก้วที่บรรจุเงินเขียนไวโอเลตความเข้มข้น 450 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ปรับพีเอชโดยเติมกรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้มีพีเอชเป็น 8
6. กรองส่วนผสมด้วยเทคนิคการหมุนเหวี่ยง 3600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที และทำการวัดปริมาณเงินเขียนไวโอเลตที่เหลือจากการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์

ศึกษาการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยเปลือกกล้วย (Banana peel) โดยสามารถดูดซับโครเมียม (VI) ได้ 131.56 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีขั้นตอนการสังเคราะห์และดูดซับ ดังนี้<sup>[14]</sup>

#### ขั้นตอนการสังเคราะห์ตัวดูดซับ

1. ตัดเปลือกกล้วยเป็นชิ้นเล็กๆ ทำให้แห้ง บด และร่อนจนมีขนาดอนุภาค 125 ไมโครเมตร
2. ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน และอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง
3. ผสมผงเปลือกกล้วยแห้งที่ล้างแล้ว 9 กรัม ในสารละลายผสมของเมทานอลเข้มข้น 99.9 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 633 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาณ 5.4 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันและให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
4. ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนเย็น 3 ครั้ง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

#### ขั้นตอนการดูดซับโครเมียม (VI)

5. ใส่ตัวดูดซับ 0.1 กรัม ในสารละลายมาตรฐานโครเมียม (VI) เข้มข้น  $1.92 \times 10^{-5}$  โมลาร์ ปริมาณ 10 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที พีเอช 2.0 อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
6. กรองและล้างตัวดูดซับด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ทำการวัดปริมาณโครเมียม (VI) ที่เหลือจากการดูดซับ

ศึกษาการดูดซับนิเกิล (II) ด้วยรำข้าว โดยสามารถดูดซับนิเกิล (II) ได้ 102 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีขั้นตอนการสังเคราะห์และดูดซับ ดังนี้<sup>[139]</sup>

#### ขั้นตอนการสังเคราะห์ตัวดูดซับ

1. อบรำข้าวที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 1 สัปดาห์ จากนั้นปรับคุณภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก และกรดฟอสฟอริก นาน 2, 4 และ 12 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบความเป็นประจุบวกบนพื้นผิว
2. ล้างรำข้าวที่ได้รับการปรับสภาพแล้วด้วยน้ำปราศจากไอออน จนกระทั่งมีพีเอชประมาณ 6.8 ถึง 7.2 ทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นบดและร่อนตัวดูดซับให้มีขนาด 0.25 มิลลิเมตร

#### ขั้นตอนการดูดซับนิเกิล (II)

3. ใส่ตัวดูดซับ 0.25 กรัม ในสารละลายมาตรฐานนิเกิล (II) เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร คนให้เข้ากันที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พีเอช 4 นาน 4 ชั่วโมง
4. กรองและล้าง จากนั้นทำการวัดปริมาณนิเกิล (II) ที่เหลือจากการดูดซับ

ศึกษาการดูดซับนิเกิล (II) ด้วยชานอ้อย โดยสามารถดูดซับนิเกิล (II) ได้ 140.85 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีขั้นตอนการสังเคราะห์และดูดซับ ดังนี้<sup>[145]</sup>

#### ขั้นตอนการสังเคราะห์ตัวดูดซับ

1. ล้างชานอ้อยและทำให้แห้งด้วยแสงแดด
2. ตัดและบดชานอ้อยแห้งให้เป็นผง จากนั้นจึงตากแดดให้แห้งอีกครั้ง
3. นำชานอ้อยแห้งใส่เตาเผา คงสภาวะอุณหภูมิ 400°C นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 600 องศาเซลเซียส และผ่านไอน้ำที่อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที นาน 5 นาที ทุกๆ 10 นาที ตลอด 2 ชั่วโมง ลดอุณหภูมิเหลือ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
4. ร่อนถ่านกัมมันต์ที่ได้ให้มีขนาด 0.096 มิลลิเมตร

#### ขั้นตอนการดูดซับนิเกิล (II)

5. ใส่ถ่านกัมมันต์ 100 มิลลิกรัมในสารละลายมาตรฐานนิเกิล (II) เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 50 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปรับพีเอช 7.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์
6. กรองส่วนผสมและทำการวัดปริมาณนิเกิล (II) ที่เหลือจากการดูดซับ

## ภาคผนวก จ

### ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตผสมวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร

คอนกรีตผสมเถ้าแกลบที่มีความสามารถในการรับแรงกดอัด 180 เมกะปาสคาล<sup>[166]</sup>

ผสมทรายซิลิกาขนาด 225 ไมโครเมตร ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์พื้นที่ผิวจำเพาะ 4500 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ไอซิลิกาควบแน่น (Condensed silica fume) ที่มีส่วนประกอบของซิลิกอนออกไซด์ 97.2 เปอร์เซ็นต์ ขนาดอนุภาค 0.1 ถึง 0.15 ไมโครเมตร เถ้าแกลบขนาดอนุภาค 3.6 ถึง 9.0 ไมโครเมตร น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต โดยแต่ละส่วนผสมมีสัดส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.18 โดยน้ำหนัก สัดส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์ 1 โดยน้ำหนัก เถ้าแกลบ 5, 10, 15, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และไอซิลิกาควบแน่น 5-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการบ่ม 1, 3, 7, 28 และ 91 วัน

ปริมาณส่วนผสมของเถ้าแกลบที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ที่ให้ความสามารถในการรับแรงกดอัดมากที่สุด มีขนาดอนุภาค 3.6 ไมโครเมตร ปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

การทดสอบความสามารถในการรับแรงกดอัด ดำเนินการหล่อคอนกรีตเป็นรูปลูกบาศก์ขนาด 40×40×40 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ด้วยโต๊ะเทคอนกรีตที่สั่นด้วยความถี่ 2500 รอบต่อนาที นาน 1 นาที จากนั้นเก็บไว้ในห้องควัน (Fog room) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน

คอนกรีตผสมเถ้าแกลบที่มีความสามารถในการรับแรงกดอัด 94.1 เมกะปาสคาล<sup>[168]</sup>

ส่วนผสมผสมของคอนกรีตซึ่งมีสัดส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.30, 0.35, 0.40 และ 0.50 สัดส่วนของเถ้าแกลบ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, และ 0.30 ระยะเวลาการบ่ม 3, 7, 28 และ 56 วัน

ปริมาณส่วนผสมที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ที่ให้ความสามารถในการรับแรงกดอัดมากที่สุด คือ ปริมาณส่วนผสมของหินบด 847.9 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทราย 843.7 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปูนซีเมนต์ 295.6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เถ้าแกลบ 126.7 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และน้ำ 147.8 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

การทดสอบความสามารถในการรับแรงกดอัด ได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 39/C 39M โดยหล่อคอนกรีตเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง×สูง 100×200 มิลลิเมตร เก็บไว้ในห้องควัน (Fog room) ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส

คอนกรีตผสมเถ้ามันฝรั่งจากการเผา (Bottom ash from fir chip combustion) และเถ้าลอยมันฝรั่ง (Fly ash from fir chip combustion) ที่มีความสามารถในการรับแรงกดอัด 82 และ 71 เมกะปาสคาล<sup>[170]</sup>

ผสมสัดส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.52 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก โลหะขนาดเล็กรูปกรวย เถ้ามันฝรั่งจากการเผา (Bottom ash from fir chip combustion) 5, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เถ้าลอยมันฝรั่ง (Fly ash from fir chip combustion) 5, 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการบ่ม 28 และ 180 วัน

ปริมาณส่วนผสมของเถ้ามันฝรั่งที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ที่ให้ความสามารถในการรับแรงกดอัดมากที่สุด คือ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เช่นเดียวกับกับเถ้าลอยมันฝรั่ง

การทดสอบความสามารถในการรับแรงกดอัด ได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C496 โดยหล่อคอนกรีตเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมด้านขนานขนาด 40×40×80 มิลลิเมตร นาน 28 วัน จากนั้นนำมาเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง

คอนกรีตผสมแกลบที่มีความสามารถในการรับแรงกดอัด 66 เมกะปาสคาล<sup>[174]</sup>

ผสมวัสดุมวลรวมแบบหยาบขนาด 19 มิลลิเมตร ททราย ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ แกลบที่เผาในหม้อไอน้ำที่อุณหภูมิ 600 ถึง 800 องศาเซลเซียส ขนาด 10 ถึง 75 ไมโครเมตร และน้ำ โดยแต่ละส่วนผสมมีสัดส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.23, 0.35 และ 0.47 โดยน้ำหนัก ปริมาณแกลบ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการบ่ม 1, 3, 7, 14, 28, 56 และ 91 วัน

ปริมาณส่วนผสมที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ที่ให้ความสามารถในการรับแรงกดอัดมากที่สุด คือ ปริมาณวัสดุมวลรวมแบบหยาบ 933 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ททราย 344 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปูนซีเมนต์ 783 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แกลบ 87 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และน้ำ 212 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

การทดสอบความสามารถในการรับแรงกดอัด ได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C192 โดยหล่อคอนกรีตเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง×สูง เท่ากับ 100×200 มิลลิเมตร แช่ในน้ำปูนใสอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส นาน 28 วัน

## ประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ นางศิริวัฒนา บุญชรเทวกุล
2. รหัสประจำตัวนักวิจัย
3. ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์
4. หน่วยงานที่ติดต่อได้ ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
พญาไท กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 02-218-6777, 085-066-4566 โทรสาร 02-218-6780
5. e-mail address siriwattanab@gmail.com

### 6. ประวัติการศึกษา

มหาวิทยาลัย	ปริญญา	สาขาวิชา	ปีที่ได้รับ
มหาวิทยาลัยรามคำแหง	วท.บ.	เคมี	2521
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	วศ.ม.	นิวเคลียร์เทคโนโลยี	2524

### 7. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ กระบวนการทางรังสีและเคมีรังสี

8. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอก โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือ ผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย เป็นต้น

8.1 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

8.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อแผนงานวิจัยหรือโครงการวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และสถานภาพในการทำวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย

1. Effect of urea-gamma treatments on cellulose degradation of Thai rice straw and corn stalk ที่พิมพ์ใน Radiation Physics and Chemistry 64 (2002) 417-422
2. กระบวนการหมักหญ้าด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์  
อนุสิทธิบัตร เลขที่ 2442

3. วัสดุกำบังรังสีที่ขึ้นรูปได้  
สิทธิบัตร
  4. Measurement of Heavy water concentration by intermediate neutron moderation ตีพิมพ์ใน Thailand Engineering journal ปีที่ 48 เล่มที่ 8 ส.ค. 38
  5. การปรับปรุงคุณสมบัติของไม้ยาง โดยการอัดเมทิลเมทาคริเลทและโพลีเมอไรซ์ด้วยรังสีแกมมา เผยแพร่ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 3
  6. การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตน้ำตาลไซโลส กลูโคส และอราบิโนส จากฟางข้าวและชานอ้อย โดยใช้รังสีแกมมา ร่วมกับกรดซัลฟูริกเจือจาง เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตเอทานอลหรือ ไชลิทอล  
ยื่นจดสิทธิบัตร
  7. การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตน้ำตาลกลูโคสจากมันสำปะหลัง โดยการฉายรังสีแกมมา ร่วมกับการย่อยสลายด้วยกรด  
ยื่นจดสิทธิบัตร
  8. Production of Sugar from Molecular Degradation of Sugar Cane Bagasse by Using Sulfuric Acid. Research and Development Journal Volumn 17 No.4, 2006
  9. A Gamma-Ray Film Dosimeter Based on Polyvinyl Alcohol and Dye Extracted from Chinese Rose. Journal of the Nuclear Society of Thailand Vol.6 No.1 , August 2005
  10. การพัฒนาวัสดุหลอมตัวต่ำสำหรับกำบังรังสีเอ็กซ์และรังสีแกมมา เผยแพร่ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 3
  11. Determination of total fluorine in air by cyclic fast neutron activation technique : Submitted to the asahi glass foundation, Japan
  12. การผลิตน้ำตาลจากผักตบชวาเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตเอทานอล, 2553  
โครงการวิจัยหัวข้อ 1-8, 12 ในสถานภาพหัวหน้าโครงการวิจัย  
โครงการวิจัยหัวข้อ 9-11 ในสถานภาพผู้ร่วมวิจัย
- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์นิตยระดับบัณฑิตศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการทางรังสี > 15

1. ชื่อ ดร. วีระชัย บัญชรเทวกุล

2. สถานที่ติดต่อได้ 105/9 หมู่ 5 ถ.พิบูลสงคราม ต.สวนใหญ่ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000

3. e-mail address: weerachaiban@gmail.com

#### 4. ประวัติการศึกษา

มหาวิทยาลัย	ปริญญา	สาขาวิชา	ปีที่ได้รับ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	วศ.บ.	วิศวกรรมโลหการ	2521
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	วศ.ม.	นิเวศียร์เทคโนโลยี	2523
ม.นาโงย่า (ประเทศญี่ปุ่น)	วศ.ด.	วิศวกรรมนิเวศียร์	2529

#### 5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

5.1 การวิเคราะห์วัสดุด้วยเครื่องมือวิเคราะห์

5.2 Contamination Control and ESD Control (ในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์)

5.3 วัสดุอุตสาหกรรม Cleanroom และ Deionized water

5.4 Industrial gloves reconditioning กระบวนการทางรังสีและเคมีรังสี

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอก โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือ ผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย เป็นต้น

6.1 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

6.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อแผนงานวิจัยหรือโครงการวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และสถานภาพในการทำวิจัย

-งานวิจัย

1. งานพัฒนาเตาอาร์คพลาสมา (พ.ศ.2524-2525)

2. Vaporization study on Vanadium-Oxygen System (พ.ศ.2526-2529)



3. งานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุกำบังรังสี (พ.ศ.2532-2533)

4. การผลิตน้ำตาลจากผักตบชวาเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตเอทานอล, 2553

5. การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตน้ำตาลไซโลส กลูโคส และอราบิโนส จากฟางข้าวและชานอ้อย โดยใช้รังสีแกมมา ร่วมกับกรดซัลฟูริกเจือจาง เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตเอทานอลหรือไซลิทอล

ยื่นจดสิทธิบัตร

โครงการวิจัยหัวข้อ 1-3 ในสถานภาพหัวหน้าโครงการวิจัย

โครงการวิจัยหัวข้อ 4-5 ในสถานภาพผู้ร่วมวิจัย

- ผู้ช่วยผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาฯ (พ.ศ.2532-2533)

รับผิดชอบงานทดสอบวัสดุ แก้ปัญหา ให้คำปรึกษาทางวิชาการและทำ Materials Failure Analysis มีผลงานตีพิมพ์ 2 เรื่อง Case Study ในงานวิเคราะห์เกี่ยวกับการแตกหักและการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุวารสารโลหะ วัสดุ และแร่, ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 หน้า 8-16, มิถุนายน 2532. และ ประสภารณีในงานวิเคราะห์เกี่ยวกับการแตกหักและการศึกษาคุณสมบัติของโลหะและวัสดุ (II) วารสารวิศวกรรมศาสตร์ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 หน้า 66-72 กรกฎาคม-พฤศจิกายน 2532

1. ชื่อ น.ส.กาญจนา กิติดี

2. หน่วยงานที่ติดต่อได้ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 53 หมู่ 2 ถ.เจริญสนิทวงศ์ อ.บางกรวย

จ.นนทบุรี 11130 โทรศัพท์ 02-436-1739, 083-545-0319 โทรสาร 02-436-1793

3. e-mail address kwankitty@hotmail.com

4. ประวัติการศึกษา

มหาวิทยาลัย	ปริญญา	สาขาวิชา	ปีที่ได้รับ
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	วท.บ.	รังสีเทคนิค	2549
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	วศ.ม.	นิเวศลิยร์เทคโนโลยี	2553

1. ชื่อ นางสาวณัฐพร ต้นทอง

2. หน่วยงานที่ติดต่อได้ ภาควิชาวิศวกรรมนิเวศลิยร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พญาไท กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 02-218-6777, 081-444-5809 โทรสาร 02-218-6780

3. e-mail address ntpguide@hotmail.com

4. ประวัติการศึกษา

มหาวิทยาลัย	ปริญญา	สาขาวิชา	ปีที่ได้รับ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	วศ.บ.	วิศวกรรมเคมี	2552

1. ชื่อ นายสุรัตน์ บัณฑิตลักษณะ

2.หน่วยงานที่ติดต่อได้ ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พญาไท กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 02-218-6777, 089-668-8716 โทรสาร 02-218-6780

3. e-mail address [thaiasp@hotmail.com](mailto:thaiasp@hotmail.com)

4. ประวัติการศึกษา

มหาวิทยาลัย	ปริญญา	สาขาวิชา	ปีที่ได้รับ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	วศ.บ.	วิศวกรรมไฟฟ้า	2544

