

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาล ประจำปีงบประมาณ 2555
คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

บทคัดย่อ

รายงานนี้ได้รวบรวมข้อมูลทางวิชาการและการศึกษาวิจัยในอดีตถึงปัจจุบันเพื่อสรุปภาพรวมเกี่ยวกับการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตและการใช้ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากวัตถุดิบซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรหรือชีวมวลซึ่งเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่มีมูลค่าต่ำ และเป็นการช่วยลดผลกระทบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม (จากขยะ ของเสีย น้ำเสีย กลิ่นเหม็น แหล่งเพาะพันธุ์แมลงที่สร้างความรำคาญและเป็นพาหะของโรค) เมื่อกำจัดวัสดุเหล่านี้ไม่ทันและได้นำเสนอผลิตภัณฑ์ 14 ชนิดที่สังเคราะห์ได้ชีวมวลต่างๆ โดยแบ่งออกได้ 4 กลุ่มคือกลุ่มของแข็งประกอบด้วยไบโอชาร์ ถ่านกัมมันต์ อนุพันธ์ของเซลลูโลส เยื่อ เส้นใย ไมโครไฟบริลและนาโนไฟบริล น้ำตาล ซิลิโพล 2,3-บิวเทนไดออล) และปุ๋ย กลุ่มเชื้อเพลิงเหลวประกอบด้วยเอทานอล น้ำมันชีวภาพ (ก่อนปรับปรุงและกลั่นเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสะอาดสำหรับภาคการขนส่งแทนก๊าซโซลีน ดีเซล น้ำมันเครื่องบิน ฯลฯ) กลุ่มก๊าซชีวภาพประกอบด้วยมีเทน ไฮโดรเจนและก๊าซเชื้อเพลิงสังเคราะห์ และกลุ่มพลังงานประกอบด้วยความร้อน (ในรูปไอน้ำร้อนยิ่งยวด) และไฟฟ้า และพบว่าประเทศไทยในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ชีวมวลให้เป็นประโยชน์ในเชิงพาณิชย์เช่น การผลิตเอทานอลจากการหมักด้วยจุลินทรีย์ การผลิตความร้อนและไฟฟ้าจากการเผาชีวมวล และก๊าซซิฟิเคชัน และการผลิตมีเทนจากการหมักด้วยจุลินทรีย์ ในขณะที่ยังไม่มีกรเริ่มการผลิตสารเคมีเฉพาะ น้ำมันชีวภาพ (จากฟาสท์โพรไคซิสหรือไดเรคติกเวแพคชันหรือก๊าซซิฟิเคชัน) ไฮโดรเจนและก๊าซเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ข้อมูลนี้บ่งชี้ว่าประเทศไทยยังสามารถพัฒนาและบริหารจัดการเพื่อช่วยตัวเองได้อีกมากในการผลิตสารเคมีเฉพาะที่มีมูลค่าเพิ่ม และเชื้อเพลิงในรูปแบบต่างๆ เช่นเชื้อเพลิงชีวภาพ ไฮโดรเจน ก๊าซเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ฯลฯ จากชีวมวลซึ่งมีต้นทุนต่ำที่มีอยู่มากมายในประเทศ ซึ่งจะช่วยให้ประเทศไทยมีความมั่นคงทางพลังงานมากขึ้นในระยะยาวโดยลดการนำเข้าน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูป ในขณะที่ส่งออกน้ำมันดิบที่ผลิตได้บางส่วน (นอกเหนือจากการสำรองเชื้อเพลิงอย่างที่เป็นอย่างในปัจจุบัน) 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
เส้นใยไมโครไฟบริลและเส้นใยนาโนไฟบริล.....	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 การผลิตไฮโดรเจนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร	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
ไฟโรไลซิสแบบต่างๆ	
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
ค่าพลังงานความร้อนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรที่ค่าความชื้นต่างๆ (น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหมาะกับการเผาโดยตรงเพื่อผลิตพลังงาน)	
ตารางที่ 18.....	63
คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรประเภทต่างๆ	
ตารางที่ 19.....	67
ปริมาณการผลิตเซลล์ลูโลสอะซิเตต เซลล์ลูโลสไดอะซิเตต และเซลล์ลูโลสไตรอะซิเตต จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ	
ตารางที่ 20.....	73
การสังเคราะห์เส้นใยไมโครไฟบิลจากวัสดุเหลือทิ้งประเภทต่างๆ	
ตารางที่ 21.....	78
ความแข็งแรงในการรับแรงกดของคอนกรีตที่ผสมและไม่ผสมวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	
ตารางที่ 22.....	82
การเสริมความแข็งแรงโพลีเมอร์โดยเซลล์ลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ	
ตารางที่ 23.....	87
ปริมาณไซลิตอลที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	

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-บิวเทนไดออกไซด์ ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ประเภทต่างๆ	
ตารางที่ 29.....	121
ผลผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร (เมื่อผ่านกระบวนการ ต่างๆ) และการใช้ประโยชน์ของผลผลิตเหล่านี้	

สารบัญภาพ

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

สารบัญภาคผนวก

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
การสันดาปแบบลีน	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)

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