ENETT12-EE-67

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการนำผักตบชวาเพื่อผลิตพลังงานทดแทน
Carbon Footprint Evaluation of Water Hyacinth for Generating Renewable Energy

วิริยะ อนันต์ประดิษฐ์[1]*, นัฐพร ไชยญาติ[1], อัครินทร์ อินทนิเวศน์[1], วรรษมล เลิศจตุรานนท์[2] และรณชาติ มั่นศิลป์[3]

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
[2] ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการพลังงานและเศรษฐนิเวศ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[3] วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
*Email: wiriyena@hotmail.com, โทรศัพท์ 081-5965599

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเทคโนโลยีการผลิตพลังงานทดแทนจากผักตบชวาภายใต้การประเมินด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมจากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยในปัจจุบันมีเทคโนโลยีหลากหลายในการผลิตพลังงานจากผักตบชวา แต่ทุกงานวิจัยจะนำเสนอเพียงด้านพลังงานเพียงอย่างเดียว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการแปรรูปผักตบชวาเป็นพลังงานทดแทนในด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาจากปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนกระบวนการผลิตพลังงานจากผักตบชวาเทียบกับพลังงานที่ผลิตได้ อันประกอบไปด้วย 5 เทคโนโลยี คือ การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง การผลิตน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว การผลิตแก๊สชีวภาพ การผลิตเอทานอล และการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากผักตบชวา ผลการศึกษาพบว่า การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากผักตบชวาโดยนำผักตบชวามาทำการอบแห้งโดยโรงเรือนพลาสติก มีการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์น้อยที่สุด คือ 0.380 kg CO_2-eq แต่หากพิจารณาด้านพลังงานร่วมกับด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า การผลิตแก๊สชีวภาพมีการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อพลังงานที่ได้รับน้อยที่สุดเท่ากับ 0.432 g CO_2-eq/kJ

คำสำคัญ: พลังงานทดแทน ผักตบชวา เทคโนโลยีพลังงาน คาร์บอนฟุตพริ้นท์

Abstract

This research studies technologies to convert a Water Hyacinth to renewable energy in the energy and environment impacts, which carbon footprint is selected to represent in the environmental model. In the present, the several technologies were presented to convert the Water Hyacinth, but those researches only presented the energy result. Thus, the 2-models of the energy and environment impacts are investigated, which are the output product energy compared with the released carbon footprint under processes converting water hyacinth to renewable, respectively. The 5 techniques of fuel briquette, bio-oil from pyrolysis process, biogas, ethanol, and biomass fuel were considered. From the study results, it could be found that the last technique is the suitable process in term of carbon footprint, which releases the greenhouse gage about 0.380 kg CO_2-eq. While, the amount of carbon footprint per the heating value of the each output product, it could be seen that the biogas technique is the best solution in the energy and environmental impacts.

Keywords: Renewable Energy, Water Hyacinth, Energy Technology, Carbon Footprint.

1. บทนำ

ผักตบชวา (Water Hyacinth) จัดเป็นพืชที่มีอายุยืนนานสามารถแพร่ขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วจนสร้างปัญหาต่างๆ ให้กับแหล่งน้ำ [1] ปัจจุบันการกำจัดผักตบชวาทำได้ยาก เนื่องจากมีการขยายพันธุ์ที่รวดเร็วและโครงสร้างของเส้นใยที่มีความเหนียว แนวทางการผลิตพลังงานทดแทนจากผักตบชวามีการศึกษาในหลากหลายรูปแบบอย่างกว้างขวาง เช่น การนำมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Refuse Derived Fuel, RDF) [2] การผลิตน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการไพโรไลซิส [3] การนำผักตบชวามาหมักด้วยยีสต์เพื่อผลิตเอทานอล [4] และการผลิตแก๊สชีวภาพจากผักตบชวาร่วมกับมูลสุกร [5] เป็นต้น จากงานวิจัยต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นว่าการนำผักตบชวามาผลิตเป็นพลังงานทดแทนนั้นมีหลากหลายวิธี

ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีด้านพลังงานจะมีกระบวนการที่แตกต่างกันไปเพื่อผลิตพลังงานทดแทน แต่ยังไม่มีงานวิจัยใดที่นำเสนอความเหมาะสมด้านพลังงาน รวมไปถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิต อนึ่ง “การผลิตพลังงานทดแทนได้นั้น ไม่ได้หมายรวมถึงการผลิตที่เหมาะสม” บางครั้งการผลิตพลังงานทดแทนอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้พลังงานฟอสซิล รวมถึงอาจมีค่าใช้จ่ายในการผลิตที่มากกว่าอีกด้วย

จากเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ที่ต้องการศึกษาและประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากเทคโนโลยีการนำผักตบชวามาผลิตเป็นพลังงานทดแทน ร่วมกับปริมาณพลังงานที่ได้รับจากผลิตภัณฑ์ต่างๆ ของการแปรรูปผักตบชวาเป็นพลังงานทดแทน

2. ทฤษฎี

2.1 ผักตบชวา

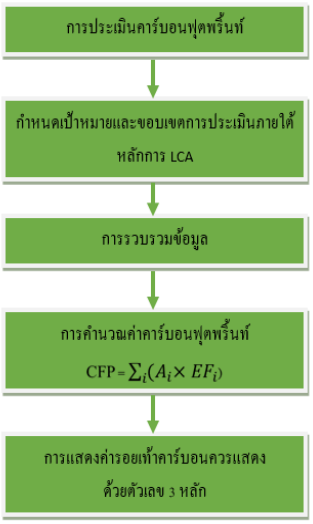
ผักตบชวามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ Eichhornia Crassipes Solms อยู่ในตระกูล Pontederiaceae เป็นพืชหลายฤดูที่มีอายุนาน (Perennial) อยู่ได้ทั้งในน้ำนิ่งน้ำลึกและน้ำตื้น ผักตบชวาจะลอยอยู่อย่างอิสระโดยมีทุ่นลอย (Floating structure) ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนหัวรากลอย (Floating rhizomes) และการเจริญของเนื้อเยื่อที่ฐานใบพองออกเป็นกระเปาะภายในมีลักษณะพรุนคล้ายฟองน้ำ ส่วนลำต้น (Stone) มีสีเขียว สูงประมาณ 5-10 cm ผักตบชวาเติบโตและขยายพันธุ์ได้รวดเร็วมาก ผักตบชวาเพียง 2 ต้น สามารถแตกหน่อได้ถึง 30 ต้นภายใน 23 วัน ผักตบชวามีคุณสมบัติดูดความชื้นในอากาศได้ดีและสามารดูดซึมน้ำได้สูง มีความชื้นอยู่ในช่วง 85-95% เมื่อนำมาตากแห้งน้ำหนักจะเหลือประมาณ 5-15% ความหนาแน่นผักตบชวามีค่าเฉลี่ย 236.92 kg/m^3

2.2 คาร์บอนฟุตพริ้นท์

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ หมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยใช้หลักการประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งานและการจัดการซากหลังใช้งาน โดยคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าพร้อมทั้งมีการแสดงข้อมูลปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ไว้บนสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ [6]

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ จะดำเนินการ 4 ขั้นตอนตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา การวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินผลกระทบ และการแปลผล โดยต้องวิเคราะห์ตามขั้นตอนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ คือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งาน และการจัดการซากหลังจากการใช้งาน [7] ดังแสดงในรูปที่ 1

ก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ นอกจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีส่วนในการนำมาประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน ก๊าซซัลเฟอร์ เฮกซะฟลูออไรด์ และก๊าซฟลูออโรคาร์บอน



รูปที่ 1 แผนผังการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

3. วิธีการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำผักตบชวามาผลิตเป็นพลังงานทดแทน

2. จัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านพลังงาน ของกระบวนการผลิตพลังงานทดแทนด้วยผักตบชวา

3. รวบรวมข้อมูลและจัดทำตามแนวทางเก็บข้อมูลบัญชีรายการทางสิ่งแวดล้อม ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินคาร์บอนฟรุตพริ้นท์และประเมินการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตแบบ Gate to gate

4. ทำการผลิตเชื้อเพลิงผักตบชวาอบแห้ง

4.1. นำผักตบชวาจากแหล่งน้ำมาทำความสะอาดและชั่งน้ำหนักผักตบชวาสด

4.2. นำผักตบชวาที่ชั่งน้ำหนักแล้วมาทำการอบแห้งโดยโรงเรือนพลาสติก (Green house) ขนาดความจุผลิตภัณฑ์ประมาณ 2,000 kg เป็นเวลา 1 วัน และทำการชั่งน้ำหนักผักตบชวาแห้ง

4.3. ทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าความร้อน (Heating value) ค่าความชื้น (Moisture) ค่าคาร์บอนคงที่ (Fix carbon) ค่าปริมานสารระเหย (Volatile matter) และค่าปริมาณเถ้า (Ash)

4.4. นำผลที่ได้มาประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์และประเมินการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิต

5. ประเมินการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อพลังงานที่ได้รับของแต่ละเทคโนโลยีการแปรรูปพลังงาน

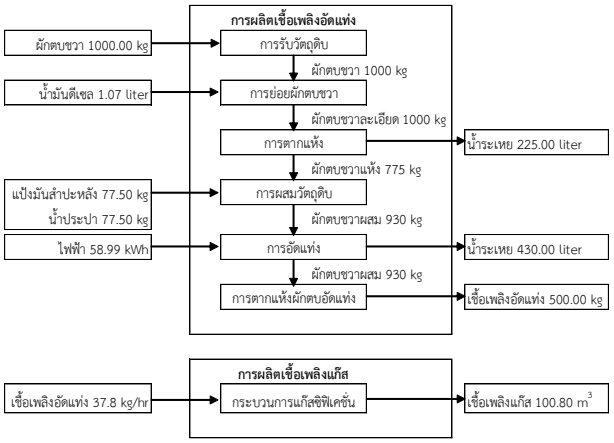
6. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

4. ผลและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเทคโนโลยีการผลิตพลังงานทดแทนจากผักตบชวาทั้งหมด 5 เทคโนโลยี คือ เชื้อเพลิงอัดแท่ง การผลิตน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการไพโรไลซิส การผลิตเอทานอล การผลิตแก๊สชีวภาพ และการผลิตเชื้อเพลิงผักตบชวาอบแห้ง โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมดังต่อไปนี้

4.1 การนำผักตบชวามาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งและแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแก๊ส

จากการศึกษางานวิจัยของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ [2] ที่ทำการแปรรูปผักตบชวาเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Refuse Derived Fuel, RDF) และนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแก๊ส สามารถแสดงขั้นตอนการผลิตของกระบวนการดังกล่าว และการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 2 แผนภาพกระบวนการนำผักตบชวาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งและแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแก๊ส

จากการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมในรูปที่ 3 พบว่ากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวา 1 kg ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งออกมาปริมาณ 0.5 kg มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.481 kg CO_2-eq และเมื่อนำเชื้อเพลิงอัดแท่งดังกล่าว ไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงแก๊สได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นเชื้อเพลิงแก๊สปริมาณ 1.333 m^3 และกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงแก๊ส มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 0.347 kg CO_2-eq

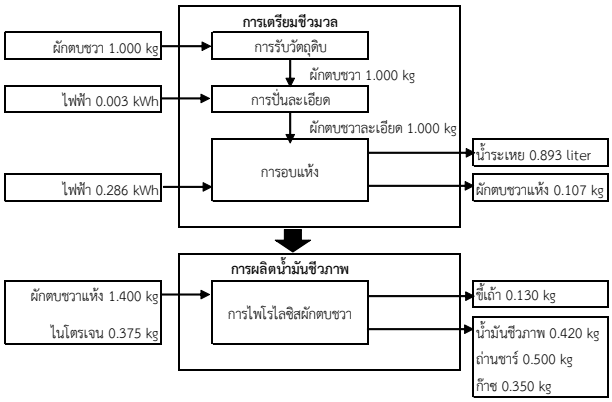
ดังนั้นกระบวนการนำผักตบชวามาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งและนำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแก๊สมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมเท่ากับ 0.828 kg CO_2-eq

ช่วงวัฏจักรชีวิต	รายการ	ค่า LCI			ค่า EF	ปริมาณCO_2
		หน่วย	ปริมาณ	ปริมาณ/FU	($kgCO_2$-eq/unit)	(kg CO_2-eq)
การผลิต	การทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง					
	สารขาเข้า					
	วัตถุดิบ					
	ผักตบชวา	kg	1000.000	1.000	0.380 [8]	0.380
	น้ำ	m^3	0.080	0.000	0.704 [9]	0.000
	แป้งมันสำปะหลัง	kg	77.500	0.078	0.801 [8]	0.062
	ทรัพยากรและวัสดุช่วยในการผลิต					
	ไฟฟ้า	kWh	58.990	0.059	0.609 [10]	0.036
	น้ำมันดีเซล	liter	1.070	0.001	2.745 [10]	0.003
	สารขาออก					
	ผลิตภัณฑ์					
	ถ่านอัดแท่ง	kg	500.000	0.500		
	ของเสีย					
	น้ำระเหย	m^3	0.430	0.000		
	รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเท่ากับ					0.481
	การผลิตเชื้อเพลิงแก๊ส					
	สารขาเข้า					
	ผลิตภัณฑ์					
	ถ่านอัดแท่ง(การเผาไหม้)	kg	37.800	0.500	0.693 [10]	0.347
	สารขาออก					
	ผลิตภัณฑ์					
	เชื้อเพลิงแก๊ส	m^3	100.800	1.333		
	รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สเท่ากับ					0.347
รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกระบวนการนำผักตบชวามาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งและนำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแก๊สเท่ากับ						0.828

รูปที่ 3 บัญชีรายการของการนำผักตบชวาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งและแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแก๊ส

4.2 การผลิตน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวาในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

จากการศึกษางานวิจัยของสุพจน์ [3] ทำการผลิตน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวาในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง สามารถแสดงขั้นตอนการผลิตของกระบวนการดังกล่าว และการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ



รูปที่ 4 แผนภาพกระบวนการผลิตน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวาในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

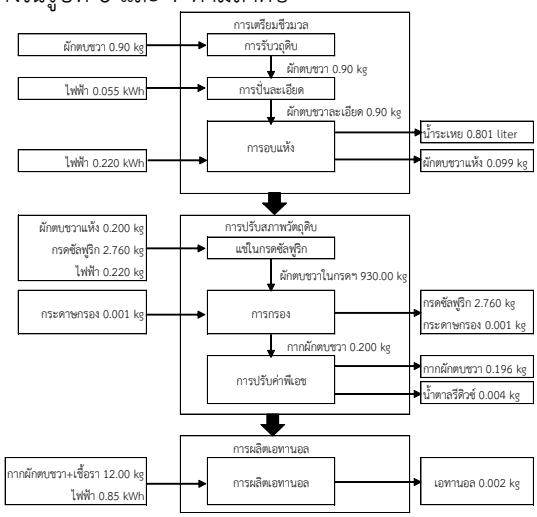
ช่วงวัฏจักรชีวิต	รายการ	ค่า LCI			ค่า EF	ปริมาณCO_2
		หน่วย	ปริมาณ	ปริมาณ/FU	($kgCO_2$-eq/unit)	(kg CO_2-eq)
การผลิต	การเตรียมผักตบชวา					
	สารขาเข้า					
	วัตถุดิบ					
	ผักตบชวา	kg	1.000	1.000	0.380 [8]	0.380
	ทรัพยากรและวัสดุช่วยในการผลิต					
	ไฟฟ้า	kWh	0.289	0.289	0.609 [10]	0.176
	สารขาออก					
	ผลิตภัณฑ์					
	ผักตบชวาแห้ง	kg	0.107	0.107		
	ของเสีย					
	น้ำระเหย	liter	0.893	0.893		
	รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกระบวนการเตรียมชีวมวลเท่ากับ					0.556
	Fast pyrolysis					
	สารขาเข้า					
	ผลิตภัณฑ์					
	ผักตบชวาแห้ง	kg	1.400	0.107	0.556	0.059
	ผักตบชวาแห้ง (เผาไหม้)	kg	1.400	0.107	0.693 [10]	0.074
	ทรัพยากรและวัสดุช่วยในการผลิต					
	แก๊สไนโตรเจน	kg	0.380	0.029	0.497 [10]	0.014
	สารขาออก					
	ผลิตภัณฑ์					
	น้ำมันชีวภาพ	kg	0.420	0.032		
	รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกระบวนการผลิตไบโอออยเท่ากับ					0.148
รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกระบวนการผลิตน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวาในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องเท่ากับ						0.704

รูปที่ 5 บัญชีรายการของการผลิตน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวาในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

จากการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมในรูปที่ 5 พบว่ากระบวนการผลิตน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวา 1 kg ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพ 0.032 kg มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการเตรียมชีวมวลเท่ากับ 0.556 kg CO_2-eq และในขั้นตอนการผลิตเท่ากับ 0.148 kg CO_2-eq รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการผลิตน้ำมันชีวภาพรวมทั้งสิ้นเท่ากับ 0.704 kg CO_2-eq

4.3 การผลิตเอทานอลจากน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพผักตบชวาโดยใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา ฮาร์เซียนัม

จากการศึกษางานวิจัยของมนิษา [4] ของการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพผักตบชวาโดยใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา ฮาร์เซียนัม สามารถแสดงขั้นตอนการผลิตของกระบวนการดังกล่าว และการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ



รูปที่ 6 แผนภาพกระบวนการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพผักตบชวาโดยใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา ฮาร์เซียนัม

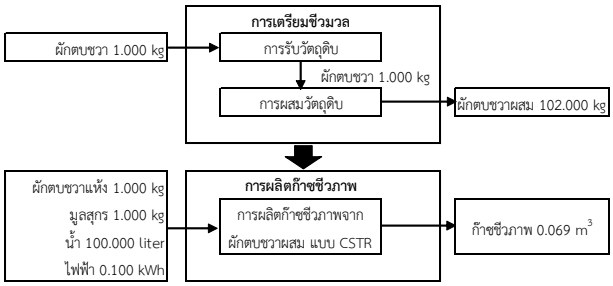
ช่วงวัฏจักรชีวิต	รายการ	ค่า LCI			ค่า EF	ปริมาณCO_2
		หน่วย	ปริมาณ	ปริมาณ/FU	($kgCO_2$-eq/unit)	(kg CO_2-eq)
การผลิต	การเตรียมชีวมวล					
	สารขาเข้า					
	วัตถุดิบ					
	ผักตบชวา	kg	0.900	1.000	0.380 [8]	0.380
	ทรัพยากรและวัสดุช่วยในการผลิต					
	ไฟฟ้า	kWh	0.275	0.306	0.609 [10]	0.186
	สารขาออก					
	ผลิตภัณฑ์					
	ผักตบชวาอบแห้ง	kg	0.099	0.110		
	ของเสีย					
	น้ำระเหย	liter	0.801	0.890		
	รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกระบวนการเตรียมชีวมวลเท่ากับ					0.566
	การปรับสภาพวัตถุดิบ					
	สารขาเข้า					
	วัตถุดิบ					
	ผักตบชวาอบแห้ง	kg	0.200	0.110	0.566	0.062
	กรดซัลฟูริก	kg	2.760	1.518	0.1219 [10]	0.185
	กระดาษกรอง	kg	0.001	0.001	1.8974 [10]	0.001
	ทรัพยากรและวัสดุช่วยในการผลิต					
	ไฟฟ้า	kWh	0.110	0.061	0.609 [10]	0.037
	สารขาออก			0.000		
	ผลิตภัณฑ์			0.000		
	น้ำตาลรีดิวซ์	kg	0.004	0.002		
	รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบเท่ากับ					0.285
	กระบวนการผลิตเอทานอล					
	สารขาเข้า					
	ผลิตภัณฑ์					
	น้ำตาลรีดิวซ์	kg	0.005	0.002	0.285	0.00062744
	ทรัพยากรและวัสดุช่วยในการผลิต					
	ไฟฟ้า	kWh	0.850	0.374	0.609 [10]	0.228
	สารขาออก					
	ผลิตภัณฑ์					
	เอทานอล	kg	0.022	0.010		
รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขั้นตอนการผลิตเอทานอลเท่ากับ						0.229
รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกระบวนการการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพผักตบชวาโดยใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มาฮาร์เซียนัมเท่ากับ						1.080

รูปที่ 7 บัญชีรายการของการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพผักตบชวาโดยใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา ฮาร์เซียนัม

จากผลการประเมินของการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมในรูปที่ 7 พบว่า จากผักตบชวา 1 kg สามารถผลิตเอทานอลออกมาได้ปริมาณ 0.010 kg มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการเตรียมเท่ากับ 0.851 kg CO_2-eq และในขั้นตอนการผลิตเท่ากับ 0.229 kg CO_2-eq รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตเอทานอลทั้งหมดเท่ากับ 1.080 kg CO_2-eq

4.4 การผลิตแก๊สชีวภาพด้วยระบบหมักย่อยแบบ CSTR ร่วมระหว่างผักตบชวากับมูลสุกร

จากการศึกษางานวิจัยของนิลวรรณ และอัจฉรา [5] ที่ทำการผลิตแก๊สชีวภาพด้วยระบบหมักร่วมระหว่างผักตบชวากับมูลสุกร โดยขั้นตอนการผลิตของกระบวนการดังกล่าว และการประเมินด้านสิ่งแวดล้อม แสดงในรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ



รูปที่ 8 แผนภาพกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพด้วยระบบหมักย่อยแบบ CSTR ร่วมระหว่างผักตบชวากับมูลสุกร

ช่วงวัฏจักรชีวิต	รายการ	ค่า LCI			ค่า EF	ปริมาณCO_2
		หน่วย	ปริมาณ	ปริมาณ/FU	($kgCO_2$-eq/unit)	(kg CO_2-eq)
การผลิต	การเตรียมชีวมวล					
	สารขาเข้า					
	วัตถุดิบ					
	ผักตบชวา	kg	1.000	1.000	0.380 [8]	0.380
	ทรัพยากรและวัสดุช่วยในการผลิต					
	มูลสุกร	kg	1.000	1.000	0.855 [9]	0.855
	น้ำ	m^3	0.100	0.100	0.704 [9]	0.070
	รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกระบวนการเตรียมชีวมวลเท่ากับ					1.305
	การผลิตไบโอแก๊ส					
	สารขาเข้า					
	วัตถุดิบ					
	ผักตบชวา	kg	1.000	1.000	0.380 [8]	0.380
	ทรัพยากรและวัสดุช่วยในการผลิต					
	มูลสุกร	kg	1.000	1.000	0.855 [9]	0.855
	น้ำ	m^3	0.100	0.100	0.704 [9]	0.070
	ไฟฟ้า	kWh	0.100	0.100	0.609 [10]	0.061
	สารขาออก					
	ผลิตภัณฑ์					
	แก๊สชีวภาพ	m^3	0.069	0.069		
	รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกระบวนการผลิตไบโอแก๊สเท่ากับ					1.366
รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพด้วยระบบหมักย่อยแบบ CSTR ร่วมระหว่างผักตบชวากับมูลสุกร ทำกับ						2.672

รูปที่ 9 บัญชีรายการของการผลิตแก๊สชีวภาพด้วยระบบหมักย่อยแบบ CSTR ร่วมระหว่างผักตบชวากับมูลสุกร

จากการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมในรูปที่ 9 พบว่า ผักตบชวา 1 kg สามารถผลิตแก๊สชีวภาพ ร่วมกับการใช้มูลสุกรประมาณ 0.069 m^3 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการเตรียมเท่ากับ 1.305 kg CO_2-eq และในขั้นตอนการผลิตเท่ากับ 1.366 kg CO_2-eq รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพด้วยระบบหมักย่อยแบบ CSTR ร่วมระหว่างผักตบชวากับมูลสุกรประมาณ 2.672 kg CO_2-eq

4.5 การผลิตเชื้อเพลิงผักตบชวาอบแห้ง

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้น พบว่า ยังขาดเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงผักตบชวาอบแห้ง ซึ่งไม่มีงานวิจัยใดนำเสนอการแปรรูปพลังงานดังกล่าว ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบสร้างเชื้อเพลิงผักตบชวาอบแห้ง โดยใช้โรงเรือน

พลาสติกในขั้นตอนการอบแห้ง เป็นระยะเวลา 1 วัน ดังแสดงในรูปที่ 10

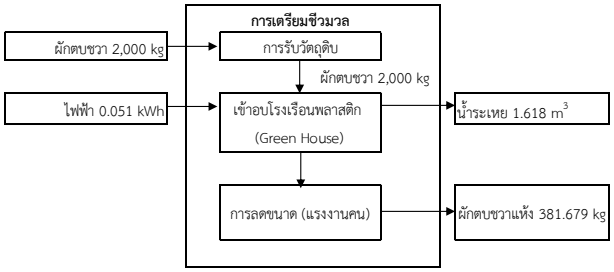
รวมทั้งนำเชื้อเพลิงผักตบชวาอบแห้งดังกล่าวไปตรวจวัดคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2

รูปที่ 10 การอบแห้งผักตบชวาในโรงเรือนพลาสติก

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของผักตบชวาแห้ง

คุณสมบัติ	หน่วย	วิธีการทดสอบ	ผลการทดสอบ
ปริมาณความร้อน	cal/g	ASTM D 5865	967.7±21.5
ปริมาณความชื้นทั้งหมด	%wt	ASTM D7582	26.835
ปริมาณเถ้า	%	ASTM D7582	43.47
ปริมาณสารระเหย	%	ASTM D7582	27.06
ปริมาณคาร์บอนเสถียร	%	ASTM D7582	2.635

การประเมินด้านพลังงานและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมโดยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ มีขั้นตอนการผลิตของกระบวนการดังกล่าว และการประเมินด้านสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในรูปที่ 11 และ 12 ตามลำดับ



รูปที่ 11 แผนภาพกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงผักตบชวาอบแห้ง

ช่วงวัฏจักรชีวิต	รายการ	หน่วย	ค่า LCI ปริมาณ	ค่า LCI ปริมาณ/FU	ค่า EF ($kgCO_2$-eq/unit)	ปริมาณCO_2 ($kg\ CO_2$-eq)
การผลิต	*การเตรียมเชื้อเพลิงจากผักตบชวา*					
	สารขาเข้า					
	วัตถุดิบ					
	ผักตบชวา	kg	2000.000	1.000	0.380 [8]	0.380
	ทรัพยากรและวัสดุช่วยในการผลิต					
	ไฟฟ้า	kWh	0.051	0.000	0.609 [10]	0.000
	สารขาออก					
	ผลิตภัณฑ์					
	ผักตบชวาแห้ง	kg	381.679	0.191		
	ของเสีย					
	น้ำระเหย	m^3	0.001	0.000		
รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงผักตบชวาอบแห้งเท่ากับ						0.380

รูปที่ 12 บัญชีรายการของการผลิตเชื้อเพลิงผักตบชวาอบแห้ง

จากการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมในรูปที่ 12 พบว่า ผักตบชวา 1 kg เมื่อผ่านการอบแห้งเป็นระยะเวลา 1 วัน จะได้เชื้อเพลิงผักตบชวาอบแห้งปริมาณ 0.191 kg ที่ค่าความชื้นประมาณ 26.835% มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการผลิตเท่ากับ 0.380 kg CO_2-eq

4.6 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตพลังงานทดแทนจากผักตบชวา

จากผลการศึกษาในหัวข้อที่ผ่านมา สามารถเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากกระบวนการผลิตพลังงานทดแทนจากผักตบชวาได้ดังตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบพบว่า การผลิตเชื้อเพลิงผักตบชวาอบแห้งมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่ำที่สุด รองลงมาคือ การผลิตน้ำมันชีวภาพ การนำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวามาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแก๊ส การผลิตเอทานอล และการผลิตแก๊สชีวภาพ ตามลำดับ

4.7 เปรียบเทียบผลด้านสิ่งแวดล้อมและด้านพลังงานในกระบวนการผลิตพลังงานทดแทนจากผักตบชวา

การประเมินและเปรียบเทียบผลด้านสิ่งแวดล้อมและด้านพลังงาน โดยพิจารณาจากปริมาณการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อพลังงานที่ได้รับของแต่ละเทคโนโลยีการแปรรูปพลังงานแสดง สามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตพลังงานทดแทนจากผักตบชวา

ลำดับ	งานวิจัย	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kg\ CO_2$-eq) ขั้นตอนการเตรียม	ขั้นตอนการผลิต	รวม
1	การนำผักตบชวามาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งและแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแก๊ส	0.481	0.347	0.828
2	การผลิตน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวาในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง	0.556	0.148	0.704
3	การผลิตเอทานอลจากน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพผักตบชวาโดยใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา ฮาร์เซียนัม	0.851	0.229	1.080
4	การผลิตแก๊สชีวภาพด้วยระบบหมักย่อยแบบ CSTR ร่วมระหว่างผักตบชวากับมูลสุกร	1.305	1.366	2.672
5	การผลิตเชื้อเพลิงผักตบชวาอบแห้ง	-	0.380	0.380

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อพลังงานที่ได้รับของแต่ละเทคโนโลยี

กระบวนการผลิตพลังงานทดแทนจากผักตบชวา	ผลด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงาน			
	ปริมาณพลังงานทดแทน	ค่าความร้อน	พลังงานที่ได้	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพลังงานที่ได้
		(kJ/1 Physical unit)	(kJ)	(g CO_2-eq/kJ)
การนำผักตบชวามาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งและแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแก๊ส	0.001	28,550.000	28.550	28.985
การผลิตน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วของผักตบชวาในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง	0.032	41,050.000	1313.600	0.536
การผลิตเอทานอลจากน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพผักตบชวาโดยใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา ฮาร์เซียนัม	0.001	26,952.000	26.952	40.068
การผลิตแก๊สชีวภาพด้วยระบบหมักย่อยแบบ CSTR ร่วมระหว่างผักตบชวากับมูลสุกร	0.069	89,660.000	6186.540	0.432
การผลิตเชื้อเพลิงผักตบชวาอบแห้ง	0.191	4,046.000	772.786	0.492

5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาของงานวิจัยนี้สามารถสรุปเนื้อหาสำคัญได้ดังนี้

- กระบวนการแปรรูปพลังงานทดแทนจากผักตบชวาที่มีการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์น้อยที่สุด คือ การผลิตเชื้อเพลิงผักตบชวาอบแห้ง รองลงมา คือ การผลิตน้ำมันชีวภาพ การนำเชื้อเพลิงอัดแท่งมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแก๊ส การผลิตเอทานอล และการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 0.380, 0.704, 0.828, 1.080 และ 2.672 kg CO_2-eq ตามลำดับ

- การประเมินผลด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงาน โดยพิจารณาจากปริมาณการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อพลังงานที่ได้รับของแต่ละเทคโนโลยี พบว่า การผลิตแก๊สชีวภาพเป็นเทคโนโลยีที่ดีที่สุด รองลงมา คือ การผลิตน้ำมันชีวภาพ การนำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวามาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแก๊ส และการผลิตเอทานอล โดยมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อพลังงานที่ผลิตได้เท่ากับ 0.432, 0.492, 0.536, 28.985 และ 40.068 g CO_2-eq ตามลำดับ

6.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. งบประมาณ 2559 ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักความหลากหลายทางชีวภาพ. ชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่รุกรานในประเทศไทย, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://chm-thai.onep.go.th/webalien/species.html, เข้าดูเมื่อวันที่ 18/02/2559.

[2] มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (2553). โครงการการศึกษาศักยภาพการผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงผักตบชวา โดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชั่น.

[3] สุพจน์ แหวนเพ็ชร์ (2552). การผลิตไบโอออยล์จากผักตบชวาโดยการไพโรไลซิสแบบเร็ว, วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[4] มนิษา ปุลวัน (2555). การผลิตเอทานอลจากน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการปรับสภาพผักตบชวาโดยใช้เชื้อรา ไตรโคเดอร์มา ฮาร์เซียนัม, วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[5] นิลวรรรณ ไชยทนุ และ อัจฉรา จันทร์ผง (2556). รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาศักยภาพของการผลิตแก๊สชีวภาพด้วยระบบหมักย่อยร่วมระหว่างผักตบชวากับมูลสุกร, ทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่.

[6] ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ (2550). การประเมินวัฏจักรชีวิต: เครื่องมือสำหรับ CDM (Life Cycle Assessment, LCA; Tool for CDM). สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

[7] คณะกรรมการเทคนิคด้านรอยเท้าคาร์บอนของผลิตภัณฑ์, Carbon footprint (รอยเท้าคาร์บอน), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://203.155.220.174/pdf/cmc/carbonfootprint.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 3/12/2558.

[8] Intergovernmental panel on climate change, IPCC 2013 GWP 100a V.100, URL: http://www.ipcc.ch, access on 1/04/2016.

[9] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), TGO Guidebook เมษายน 2557, [ระบบออนไลน์], http://www.tgo.or.th/2015/thai/index.php, เข้าดูเมื่อวันที่ 1/04/2559.

[10] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), TGO Guidebook กันยายน 2558, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.tgo.or.th/2015/thai/index.php, เข้าดูเมื่อวันที่ 1/04/2559.

[11] ณัฐวุฒิ ธานี (2555). รายงานการวิจัยการปลดปล่อยคาร์บอนและแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตปศุสัตว์ในประเทศไทย กรณีศึกษาจังหวัดชลบุรี ปราจีนบุรี และนครราชสีมา

[12] อรุณศรี ภักดีพิน (2531). การใช้วิธีทางจุลชีววิทยาและเคมีปรับคุณภาพของผักตบชวาเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักแก๊สชีวภาพ, วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[13] Sate Sampattagul, Pranee Nutongkaewb and Tanongkiat Kiatsiriroat (2011). Life cycle assessment of palm oil Biodiesel Production in Thailand, International Journal of Renewable Energy, Vol.6, No.1, January 2011.

[14] สุรพงษ์ คล้ายมุข (2545). การศึกษาเปรียบเทียบการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สจากเตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้นและไหลลงโดยใช้ผักตบชวาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง, วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[15] อรุณศรี ภักดีพิน. (2531). การใช้วิธีทางจุลชีววิทยาและเคมีปรับคุณภาพของผักตบชวาเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักแก๊สชีวภาพ, วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาจุลชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

8. รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
CFP	ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์
A	ปริมาณการใช้ข้อมูลกิจกรรมต่างๆ
EF	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอน