

การวิเคราะห์พารามิเตอร์การผลิตถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า Parametric Analysis of Biochar Production from Corncob under Slow Pyrolysis

กันยาพร ไชยวงศ์ และ สติธิบูรณ์ ศิริพรอัครชัย

Kanyaphorn Chaiwong and Sittiboon Siripornakarachai

ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีพลังงานชีวภาพ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน ตำบลฝายแก้ว อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน 55000

Bioenergy Technology Research Laboratory, Faculty of Engineering, Rajamangala University of
Technology Lanna Nan, Phu Peang district, Nan province 55000, Thailand

E-mail: drccrmul@gmail.com, Tel: 054-771160, Fax: 054-771160

บทคัดย่อ

การผลิตเพื่อให้ได้ถ่านชีวภาพเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในแต่ละด้าน ควรมีการควบคุมสภาวะการผลิตที่เหมาะสมในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาดังพารามิเตอร์การผลิตของถ่านชีวภาพในสภาวะการเปลี่ยน อุณหภูมิการผลิต (300 – 600 องศาเซลเซียส) ขนาดของวัตถุดิบ (>1 เซนติเมตร) และช่วงของการรักษาอุณหภูมิสุดท้าย (1 – 2.5 ชั่วโมง) โดยอาศัยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าในการผลิตถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด ผลการศึกษาพบว่าถ่านชีวภาพที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการผลิตเชื้อเพลิง โดยพิจารณาจากค่า Energy Recovery เมื่อมีการควบคุมช่วงอุณหภูมิในการผลิตที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส กับวัตถุดิบขนาด 1 - 2 เซนติเมตร โดยรักษาช่วงอุณหภูมิสุดท้ายของการไพโรไลซิสในช่วง 2.5 ชั่วโมง การผลิตถ่านชีวภาพที่เหมาะสมต่อการดูดซับไนโตรเจนสำหรับปรับปรุงคุณภาพของดิน และการกักเก็บคาร์บอน ควรผลิตภายใต้อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส กับซังข้าวโพดขนาดประมาณ 1 - 2 เซนติเมตร และใช้ช่วงอุณหภูมิสุดท้ายของการทดสอบประมาณ 1 ชั่วโมง ซึ่งจะสามารถกักเก็บคาร์บอนคงตัวได้ร้อยละ 90.42

ABSTRACT

The production of bio-char for each advantage should be controlled in an appropriate condition. The parametric study of bio-char production for testing to pyrolytic temperatures (300 – 600°C), particle size of material (> 1cm) and holding time (1 – 2.5 hr.) were investigated in this study. The slow pyrolysis process used to produce bio-char form corncob. The result found that, the bio-char was a qualification to fuel by considering to the Energy Recovery, when controlling the pyrolytic temperature as 400°C, the particle size of corn crop as 1 – 2 cm and the holding time as 1 hr. The suitable production of bio-char for absorption nitrogen to improvement soil and for carbon sequestration should be controlled the condition under the pyrolytic temperature as 600 °C, the particle size of corncob as 1 – 2 cm and the holding time as 1 hr., which could content fix carbon into the bio-char of 90.42%.

1. บทนำ

ถ่านชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายเชิงความร้อนของชีวมวลที่เรียกว่า ไพโรไลซิส ซึ่งเป็นกระบวนการให้ความร้อนโดยปราศจากอากาศ จึงส่งผลให้คุณสมบัติ และองค์ประกอบพื้นฐานของถ่านชีวภาพมีลักษณะแตกต่างจากถ่านไม้ที่ผ่านการเผาไหม้โดยทั่วไป ได้แก่ ถ่านชีวภาพมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบโดยน้ำหนักสูงกว่าธาตุชนิดอื่นๆ และไม่เกิดการแปรสภาพเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากไม่ได้ผ่านการสัมผัสกับออกซิเจนขณะให้ความร้อน อีกทั้งคาร์บอนเป็นสารอะโรมาติกที่มีลักษณะเป็นวงแหวนคาร์บอน 6 อะตอม ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์โดยไม่มีออกซิเจนและไฮโดรเจน [1] ที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ด้วยลักษณะดังกล่าว ทำให้คาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบในถ่านชีวภาพมีความเสถียรสูง จึงสามารถกักเก็บไว้ในดินได้เป็นระยะเวลานาน ตามรายงานของ Lehmann [2-3] ที่พบว่าถ่านชีวภาพ ถูกกักเก็บในดินดำบริเวณลุ่มน้ำ อเมซอน หรือที่รู้จักในชื่อ Terra preta ในระยะเวลายาวนานตั้งแต่ 500 – 7000 ปี ขณะที่ Peng และคณะ [4] พบว่าถ่านชีวภาพที่ได้จากฟางข้าวสามารถกักเก็บในดินได้ประมาณ 244 – 1700 ปี ด้วยคุณลักษณะดังกล่าวถ่านชีวภาพจึงได้รับความสนใจในการนำมาใช้สำหรับกักเก็บคาร์บอนคืนสู่ธรรมชาติ และสร้างสมดุลระหว่างแหล่งดูดซับคาร์บอนตามธรรมชาติกับปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อย และนำออกมาใช้ในรูปแบบของการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล [1] ที่ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก และก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน

นอกจากความสามารถด้านการกักเก็บคาร์บอนแล้ว ถ่านชีวภาพยังมีลักษณะ โครงสร้างที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดิน เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ในดินในด้านการเป็นที่อยู่อาศัย มีขนาด และปริมาณที่เหมาะสมที่สามารถป้องกันจุลินทรีย์จากสภาพการเปลี่ยนแปลง และสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงอยู่ของจุลินทรีย์ รวมถึงเป็นที่หลบภัยจากจุลินทรีย์

เจ้าถิ่น นอกจากนั้นยังเป็นแหล่งกักเก็บอาหารและความชื้นอีกด้วย [5] อีกทั้งลักษณะ โครงสร้างที่มีผิวสัมผัสมาก มีลักษณะเป็นประจุลบบริเวณผิวสัมผัส ส่งผลให้ช่วยเพิ่มการแลกเปลี่ยนประจุภายในดิน (Cationic Exchange Capacity : CEC) กับธาตุอาหารที่มีลักษณะเป็นประจุบวก จึงอีกหนึ่งช่องทางของการสะสมธาตุอาหารให้กับพืช และด้วยคุณลักษณะของถ่านชีวภาพที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สูง จึงช่วงลดค่าความเป็นกรดของดิน โดยเฉพาะดินที่เสื่อมสภาพ และมีการสะสมของสารเคมีเป็นระยะเวลานาน [6]

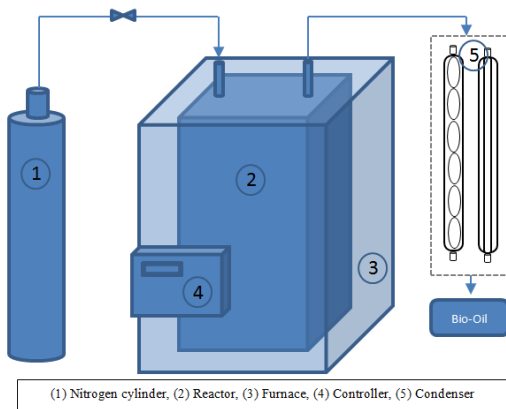
ไม่เพียงแต่คุณสมบัติที่เป็นประโยชน์ด้านการกักเก็บคาร์บอน และสารอาหารในดินเท่านั้นถ่านชีวภาพ ยังมีคุณสมบัติที่เหมาะสมของการนำมาใช้ในรูปแบบพลังงาน ซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญของการผลิต เพราะมีค่าความร้อนที่สูงกว่าถ่านไม้ทั่วไป สามารถผลิตได้ด้วยเทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อน ใช้ความร้อนในการผลิตไม่สูงมาก และยังสามารถประยุกต์รูปแบบการผลิตที่นำไปใช้ในระดับครัวเรือน และชุมชนได้อีกด้วย [7]

อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มีความเหมาะสมในลักษณะและรูปแบบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยการผลิตที่สำคัญ อาทิ อุณหภูมิขณะไพโรไลซิส ขนาดและชนิดของชีวมวลที่ใช้ในการผลิต เช่นเดียวกับการศึกษาของ Manya และคณะ [8] ที่พบว่า ผลของการเปลี่ยนขนาดชีวมวลมีผลอย่างมากต่อการรักษาสภาพของถ่านชีวภาพ ในขณะที่การทดสอบผลด้านอื่นๆ เช่นการควบคุมความดันขณะทำการทดสอบให้ผลเพียงการลดปริมาณทาร์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต สำหรับช่วงอุณหภูมิในขณะไพโรไลซิสมักส่งผลต่อขนาดอนุภาค ความพรุน และพื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ ซึ่งถ่านชีวภาพที่ใช้อุณหภูมิในการผลิตน้อยมักจะให้พื้นที่ผิวน้อยแต่ยังมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง ขณะที่การใช้อุณหภูมิไพโรไลซิสสูงมากๆ เกินกว่า 800 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านชีวภาพที่มีขนาดเล็ก มีความพรุนมาก แต่มีพื้นที่ผิวน้อย และมีปริมาณคาร์บอนต่ำ [5] เพื่อให้ทราบถึงผลของการเปลี่ยนปัจจัย

การผลิตให้เหมาะกับนำถ่านชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ในการศึกษาจึงทำการทดสอบการผลิตถ่านชีวภาพจากขังข้าวโพด ด้วยปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ภายใต้ปัจจัยการผลิตที่แตกต่างกัน โดยศึกษาถึงผลที่เกิดจากการเปลี่ยนขนาดของขังข้าวโพด อุณหภูมิขณะทำการไพโรไลซิส รวมถึงระยะเวลาในการรักษาช่วงอุณหภูมิสุดท้าย ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ ได้แก่ ค่าความร้อน องค์ประกอบในรูปแบบของสัดส่วน C/N ปริมาณคาร์บอนคงตัว รวมถึงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การศึกษาการผลิตถ่านชีวภาพด้วยปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบช้า เป็นปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ที่มีการติดตั้งตัวปฏิกรณ์ในเตาสำหรับให้ความร้อนอย่างต่อเนื่อง ลักษณะของอุปกรณ์ที่ทำการติดตั้งแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 อุปกรณ์ผลิตถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า

จากรูปที่ 1 แสดงชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพ ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า ซึ่งจะผลิตถ่านชีวภาพด้วยการบรรจุ วัสดุถุดิบในปฏิกรณ์ จากนั้นทำการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ และทำการป้อนไนโตรเจนเข้าสู่ปฏิกรณ์เพื่อไล่อากาศ และออกซิเจน ประมาณ 30 นาที ก่อนทำการเพิ่มอุณหภูมิ ด้วยอัตราให้ความร้อนปฏิกรณ์ 8 - 10 องศาเซลเซียสต่ออนาที เพื่อให้วัสดุถุดิบผ่านการย่อยสลายด้วยความร้อน และเปลี่ยนรูปเกิดเป็น น้ำมัน

ชีวภาพ ที่ได้จากการควบแน่น ก๊าซ [9] และถ่านชีวภาพ ทั้งนี้ในการศึกษาทำการทดสอบการผลิตถ่านชีวภาพจากขังข้าวโพด โดยศึกษาถึงพารามิเตอร์การผลิตที่สำคัญ ได้แก่ การทดสอบอุณหภูมิของการไพโรไลซิสที่ 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส ขนาดของวัสดุถุดิบในช่วง น้อยกว่า 2 เซนติเมตร ระหว่าง 2-3 เซนติเมตร และช่วงมากกว่า 3 เซนติเมตรขึ้นไป รวมไปถึงการศึกษาถึงผลของการรักษาช่วงอุณหภูมิสุดท้ายของการผลิตในช่วง 1, 2 และ 2.5 ชั่วโมง เพื่อนำผลด้านคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้มาใช้ประกอบการพิจารณาถึงการเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการนำถ่านชีวภาพไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในเชิงพลังงาน การปรับปรุงคุณภาพของดิน และการกักเก็บคาร์บอน

3. วิธีการทดสอบคุณสมบัติถ่านชีวภาพ

ภายหลังการทดสอบการผลิต ถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ จะได้รับการทดสอบคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ทราบว่าการผลิตในแต่ละพารามิเตอร์มีความสัมพันธ์ต่อคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ในลักษณะใด การทดสอบคุณสมบัติถ่านชีวภาพที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย

1. การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis)

เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาค่าความชื้น สารระเหย เถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัวที่อยู่ในถ่านชีวภาพ ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวจะบ่งบอกถึงคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ รวมไปถึงปริมาณคาร์บอนที่ถ่านชีวภาพสามารถรักษาไว้หลังจากชีวมวลถูกย่อยสลายด้วยความร้อน สำหรับวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 3172[10]

2. การวิเคราะห์ค่าความร้อน

การวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ตามมาตรฐาน ASTM D 240 โดยการทดสอบค่าความร้อนจากตัวอย่างเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter ทำการเผาไหม้ตัวอย่างสมบูรณ์ในตัว Bomb ที่มีออกซิเจนอยู่ในปริมาณเกินพอ และให้กระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านฟิวส์ไป

สัมผัสตัวอย่างเชื้อเพลิง เมื่อเกิดการเผาไหม้จนหมดจะสามารถนำผลการเปลี่ยนอุณหภูมิ มาใช้ในการคำนวณค่าความร้อนในหน่วย แคลอรีต่อกรัม[11]

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ

นอกเหนือจากองค์ประกอบ และค่าความร้อนของถ่านชีวภาพ การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) โดยอาศัยเครื่อง pH meter สำหรับวัดถ่านชีวภาพที่ผ่านการเตรียมในรูปแบบสารละลายร่วมกับน้ำในสัดส่วน 1:2 นอกจากนั้นยังทำการวิเคราะห์ค่า C/N ration โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณ Organic Carbon ด้วยวิธี Walkly and Black ร่วมกับการหาปริมาณไนโตรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบในถ่านชีวภาพด้วยเครื่อง Kjeldhl ด้วยวิธีการดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงค่า C/N ratio ที่จะบอกให้ทราบถึงความเหมาะสมของการเลือกใช้ถ่านชีวภาพกับการปรับปรุงคุณภาพของดิน[12]

4. ผลการศึกษา

เมื่อทำการศึกษาถึงปัจจัยการผลิตถ่านชีวภาพ พบว่าอุณหภูมิไพโรไลซิส ขนาดของชีวมวล และระยะเวลาของการรักษาช่วงอุณหภูมิ มีผลต่อปริมาณและคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ ดังนี้

4.1 ผลการเปลี่ยนอุณหภูมิไพโรไลซิส

เมื่อทำการผลิตถ่านชีวภาพจากชังข้าวโพดในช่วงอุณหภูมิ 300 – 600 องศาเซลเซียส จะให้ผลเชิงปริมาณ และคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ ดังตารางที่ 1

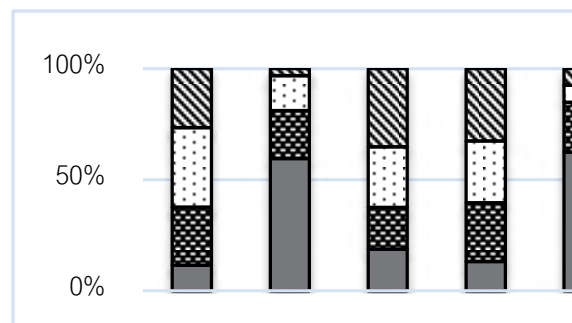
ตารางที่ 1 ผลการเปลี่ยนอุณหภูมิต่อการผลิตถ่านชีวภาพ

Properties	Pyrolytic temperature (°C)			
	300	400	500	600
Yields (%wt)	61.33	31.33	29.00	26.33
HHV (MJ/kg)	14.61	18.92	20.74	21.5
Density (Mg/ml)	0.2909	0.2809	0.2808	0.2539
pH	7.17	9.28	9.98	9.97
C/N	11.37	10.26	8.95	7.10

จากตารางที่ 1 พบว่าอุณหภูมิไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการลดลงของปริมาณถ่านชีวภาพ แต่เมื่อพิจารณาถึงผลด้านคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้พบว่า

ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพ และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) มีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรมีค่าลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านชีวภาพที่ผลิตได้มีปริมาตรของช่องว่างระหว่างอนุภาค และปริมาตรของรูพรุนของถ่านชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับสัดส่วนของ C/N ซึ่งจะมีผลต่อการดูดซับไนโตรเจนของพืช จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินมีค่าลดลง ส่งผลให้พืชสามารถดูดซับไนโตรเจนได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้การใส่ถ่านชีวภาพที่มีสัดส่วน C/N สูงจะทำให้พืชดูดไนโตรเจนได้ลดลง ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการ immobilization[1]

เมื่อทำการศึกษาถึงองค์ประกอบของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน จะสามารถเปรียบเทียบผลที่ได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 องค์ประกอบถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ในช่วงอุณหภูมิ ผลการเปลี่ยนขนาดวัตถุ

จากรูปที่ 2 พบว่าองค์ประกอบของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงอุณหภูมิมีสัดส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่า เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิขณะไพโรไลซิส องค์ประกอบของถ่านชีวภาพในกลุ่ม volatile matter, organic matter และ organic carbon รวมถึงไนโตรเจน มีปริมาณลดลง ขณะที่ ปริมาณเถ้า และคาร์บอนคงตัวจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น

4.2 ผลการเปลี่ยนขนาดวัตถุ

การเปลี่ยนขนาดชังข้าวโพด ขณะทดสอบผลที่เกิดขึ้นทั้งในเชิงปริมาณ และคุณภาพของถ่านชีวภาพ 3 ขนาด ได้แก่ ชังข้าวโพดขนาด 1 – 2 เซนติเมตร และ 2 - 3 เซนติเมตร และตั้งแต่ 3 เซนติเมตรขึ้นไป ทั้งนี้ควบคุมอุณหภูมิขณะทดสอบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และ

ใช้เวลาในการรักษาช่วงอุณหภูมิสุดท้าย 1 ชั่วโมง ซึ่งให้ผลด้านปริมาณ และองค์ประกอบของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าถ่านชีวภาพที่ผลิตได้มีองค์ประกอบพื้นฐาน ทั้งความชื้น เถ้า ปริมาณสารระเหย และคาร์บอนคงตัว ใกล้เคียงกัน ทำให้ได้ค่าความร้อนเฉลี่ยในช่วง 18 – 20 MJ/kg นอกจากนั้นผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมด้านการเลือกใช้ในเชิงการปรับปรุงคุณภาพของดิน จะให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 9 – 9.3 สัดส่วนของ C/N ที่บ่งบอกถึงการดูดซับไนโตรเจนของดินช่วง 10.20 – 10.60 และให้ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในช่วง 0.27 – 0.29

ตารางที่ 2 ผลการเปลี่ยนขนาดของขี้ข้าวโพด

Properties	Particle size (cm.)		
	1 - 2	2 - 3	>3
Yields (%wt)	36.33	36.67	37.00
Moisture content (%)	2.79	2.15	1.95
Volatile matter (%)	21.81	18.39	16.94
Ash (%)	1.91	2.22	2.23
Fixed C (%)	73.49	77.24	78.88
HHV (MJ/kg)	18.92	19.77	20.43
Density (Mg/ml)	0.2809	0.2765	0.2992
pH	9.28	9.26	9.04
Organic Matter (%)	18.93	22.85	11.60
Organic Carbon (%)	10.98	13.26	6.73
Total Nitrogen (%)	1.07	1.25	0.64
C/N	10.26	10.61	10.52

4.3 ผลการเปลี่ยนช่วงการรักษาอุณหภูมิสุดท้าย

ผลการศึกษาการรักษาอุณหภูมิสุดท้ายของการไพโรไลซิส จากการศึกษาช่วงเวลาใน 3 ช่วงเวลาได้แก่ 1, 2 และ 2.5 ชั่วโมง ในช่วงของการไพโรไลซิสข้าวโพดขนาด 1 – 2 เซนติเมตร อุณหภูมิของการไพโรไลซิส 400 องศาเซลเซียส จะให้ผลการศึกษาด้านปริมาณ และองค์ประกอบของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ดังตารางที่ 3 ผลการศึกษาพบว่าในช่วงของการรักษาอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้น มีผลต่อปริมาณ องค์ประกอบ และคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่าเมื่อรักษาช่วงเวลาของการไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณของถ่านชีวภาพลดลง และมีสัดส่วนขององค์ประกอบที่เป็นสารระเหยลดลง มีปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามถ่านชีวภาพที่ได้จะมี

ปริมาณเถ้าเพิ่มมากขึ้น และหากพิจารณาผลด้านความหนาแน่นเชิงปริมาตรพบว่าจะมีค่าลดลง หรือแสดงให้เห็นถึงความพรุน หรือความสามารถในการดูดซับของถ่านชีวภาพที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ถ่านชีวภาพที่ใช้เวลาในการรักษาช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะให้ค่า pH ที่ลดลง และมีค่าสัดส่วน C/N ที่ลดลง ซึ่งจะบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับไนโตรเจนในดินที่จะมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 ผลการเปลี่ยนช่วงการรักษาอุณหภูมิสุดท้าย

Properties	Holding time (hr.)		
	1	2	2.5
Yields (%wt)	36.33	35.33	34.47
Moisture content (%)	2.79	3.09	2.01
Volatile matter (%)	21.81	14.95	11.47
Ash (%)	1.91	2.51	3.23
Fixed C (%)	73.49	79.45	83.29
HHV (MJ/kg)	18.92	19.24	26.82
Density (Mg/ml)	0.2809	0.2501	0.2135
pH	9.28	8.19	8.10
Organic Matter (%)	18.93	25.92	5.32
Organic Carbon (%)	10.98	15.04	3.09
Total Nitrogen (%)	1.07	1.80	0.38
C/N	10.26	8.36	8.13

4.4 การพิจารณาพารามิเตอร์ต่อการนำไปใช้ประโยชน์

จากผลการศึกษาพารามิเตอร์การผลิตจะเห็นได้ว่า ถ่านชีวภาพที่ได้จากการผลิตในช่วง อุณหภูมิไพโรไลซิส ที่มีขนาดของวัตถุดิบแตกต่างกัน และใช้เวลาในการรักษาช่วงอุณหภูมิสุดท้ายที่แตกต่างกัน จะให้ผลในเชิงปริมาณ และคุณภาพที่แตกต่างกัน ทั้งนี้หากนำผลการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์การผลิตในรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบความเหมาะสมของการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ โดยพิจารณาความเหมาะสมเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ โดยพิจารณาความสัมพันธ์ดังนี้

การพิจารณาความเหมาะสมของการนำไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงานอาศัย การวิเคราะห์ค่า Energy recovery ซึ่งจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของการผลิตถ่านชีวภาพ ที่ผลิตได้ โดยพิจารณาความเหมาะสมของการพลังงานที่ได้จากถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ เทียบกับ เทียบกับค่าความร้อนและปริมาณวัตถุดิบที่

ป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต มีสมการที่ใช้ในการศึกษาที่สำคัญดังนี้[13]

$$\text{Energy recovery} = \frac{[H_{char} Y_{char}]}{[H_{corn} Y_{corn}]} \times 100\% \quad (1)$$

จากสมการที่ 1 ค่า H_{corn} และ H_{char} คือค่าความร้อนที่วิเคราะห์ได้จาก ชั่งข้าวโพด ซึ่งให้ค่าประมาณ 18.04 MJ/kg [14] ถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ และ Y_{corn} และ Y_{char} คือปริมาณของชั่งข้าวโพด และ ถ่านชีวภาพ ตามลำดับ ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าวจะสามารถคำนวณค่า Energy Recovery ในแต่ละพารามิเตอร์ และนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของสภาวะการผลิตที่ให้ผลทางด้านพลังงานที่เหมาะสมซึ่งได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่า Energy Recovery ของแต่ละพารามิเตอร์การทดสอบ

ผลเปรียบเทียบด้านอุณหภูมิการผลิต	
อุณหภูมิไพโรไลซิส (°C)	Energy Recovery (%)
300	49.67
400	38.11
500	33.34
600	31.38
ผลเปรียบเทียบด้านขนาดของวัตถุดิบ	
ขนาดวัตถุดิบ (cm)	Energy Recovery (%)
1 - 2	38.11
2 - 3	40.18
>3	41.90
ผลเปรียบเทียบช่วงของการรักษาอุณหภูมิสุดท้าย	
เวลา (hr.)	Energy Recovery (%)
1	38.11
2	37.68
2.5	51.54

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนพารามิเตอร์การผลิตมีผลต่อค่า Energy Recovery ของการผลิตถ่านชีวภาพที่แตกต่างกัน และจะเห็นได้ว่าควรมีการควบคุม

การผลิตโดยควบคุมอุณหภูมิในการผลิต โดยให้อุณหภูมิขณะผลิตประมาณ 400 องศาเซลเซียส กับวัตถุดิบขนาด 1 – 2 เซนติเมตร และมีการรักษาช่วงเวลาของการรักษาช่วงอุณหภูมิสุดท้ายประมาณ 2.5 ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้ได้ค่า Energy Recovery สูงถึงร้อยละ 51.54

การพิจารณาความเหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพที่ส่งผลต่อการปรับปรุงคุณภาพของดิน โดยพิจารณาจากผลด้านการปรับปรุงคุณภาพของดินจากสัดส่วนของ C/N (C/N ratio) ซึ่งจะบ่งบอกถึงความสามารถของการดูดซับไนโตรเจนในดิน และการพิจารณาความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในดิน โดยพิจารณาความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในดินตามสัดส่วนของปริมาณ Fix Carbon ที่เป็นองค์ประกอบในถ่านชีวภาพ แสดงผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบคาร์บอนคงตัวและ C/N ของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ในแต่ละพารามิเตอร์การทดสอบ

คุณสมบัติ	อุณหภูมิไพโรไลซิส (°C)			
	300	400	500	600
C/N	11.37	10.26	8.95	7.1
Fixed C (%)	36.78	73.49	77.43	90.42
คุณสมบัติ	ขนาดชีวมวล (cm)			
	1 - 2	2 - 3	>3	
C/N	10.26	10.61	10.52	
Fixed C (%)	73.49	77.24	78.88	
คุณสมบัติ	ช่วงเวลาในการรักษาอุณหภูมิไพโรไลซิส (hr)			
	1	2	2.5	
C/N	10.26	8.36	8.13	
Fixed C (%)	73.49	79.45	83.29	

จากตารางที่ 5 เมื่อพิจารณาค่า C/N และคาร์บอนคงตัว ซึ่งเป็นองค์ประกอบของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ในแต่ละพารามิเตอร์พบว่า ในกรณีการผลิตในช่วงอุณหภูมิไพโรไลซิสช่วง 600 องศาเซลเซียส โดยใช้ขนาดของวัตถุดิบที่เลือกใช้ประมาณ 1 – 2 เซนติเมตร และเวลาในการรักษาช่วงอุณหภูมิสุดท้ายของการทดสอบประมาณ 1 ชั่วโมง จะทำให้ได้ค่า C/N ratio ต่ำที่สุด และให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงที่สุดประมาณร้อยละ 90.42 เมื่อ

เปรียบเทียบกับทดสอบอื่นๆ ซึ่งเป็นช่วงการควบคุมการผลิตที่เหมาะสมต่อการผลิตถ่านชีวภาพเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพของดิน รวมถึงการกักเก็บคาร์บอนในดินอีกด้วย

5. สรุปผลการศึกษา

การศึกษารวมมิตรการผลิตถ่านชีวภาพจากขังข้าวโพดด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า ซึ่งมีผลจากการเปลี่ยนช่วงอุณหภูมิขณะผลิต ขนาดของขังข้าวโพด และการรักษาช่วงอุณหภูมิสุดท้ายขณะทดสอบ จะส่งผลต่อคุณภาพของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านพลังงาน การปรับปรุงคุณภาพของดิน และการกักเก็บคาร์บอน ซึ่งพบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการผลิตถ่านชีวภาพเพื่อประโยชน์ด้านพลังงานควรผลิตที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส โดย

ควบคุมขนาดชีวมวลประมาณ 1 - 2 เซนติเมตร และมีระยะเวลาในการรักษาช่วงอุณหภูมิสุดท้ายของการไพโรไลซิสในช่วง 2.5 ชั่วโมง และหากต้องการผลิตถ่านชีวภาพเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการปรับปรุงคุณภาพของดินควรควบคุม และเพื่อการกักเก็บคาร์บอนควรมีการผลิตถ่านชีวภาพในช่วงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส กับการใช้ขังข้าวโพดขนาด 1 - 2 เซนติเมตร และรักษาเวลาในการทดสอบช่วงอุณหภูมิสุดท้ายช่วง 1 ชั่วโมง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนงบวิจัย (งบแผ่นดิน) ประจำปี 2557 และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ บุคลากร และอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] เสาวนีย์ วิจิตรโกสม และ เปรมสุดา จีวนอก. ถ่านชีวภาพ:วัสดุปรับปรุงคุณภาพดินและเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร. *วารสารสิ่งแวดล้อม*, 18(4): 30-40. 2557.
- [2] Lehmann J. and Joseph S. Biochar for environmental management: Science and Technology, London. Earthscan, 2009; 1-9.
- [3] อรสา สุกสว่าง. เทคโนโลยีถ่านชีวภาพ:วิธีแก้ปัญหาโลกร้อน ดิน และความยากจนในภาคเกษตรกรรม. การประชุมวิชาการเรื่องสภาวะโลกร้อน ความหลากหลายชีวภาพ และการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน . มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน, 2552.
- [4] Peng X., Ye L.L., Wang C.H., Zhou H., Sun B. Temperature and duration dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China. *Soil and Tillage Research*, 2011; 112: 159 – 166.
- [5] Steinbeiss S.G. and Antonietti M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009; 41: 1301-1310.
- [6] Liang B., Lehmann J., Solomon D., Grossman L., O'Neill B., Skjemstad J.O., Thies J., Luizao F.J., Petersen J. and Neves E.G. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 2006; 70: 1719-1730.
- [7] จิระพงษ์ ฤทธากาญจน์. การผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ (Charcoal & Wood Vinegar). กรุงเทพฯ: บริษัทออฟเซ็ท ครีเอชั่นจำกัด, 2552
- [8] Carrier M., Hugo T., Gorgens J. and Knoetze H. Comparison of slow and vacuum pyrolysis of sugar cane bagasse. *Journal of Analysis and Apply Pyrolysis*, 2010; 90: 8-12.
- [9] Chaiwong K., Kiatsiriroat T., Vorayos N. and Thararax C. Biochar production from freshwater algae by slow pyrolysis. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 2012; 6(02): 186-195.

- [10] เจือจันทน์ เกตษา. ผลของอุณหภูมิคาร์บอนในเซชันต่อสมบัติของถ่านชาร์และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2556.
- [11] โปรตปราน สิริธีรวิธาน, ญัฐพล ช่างการ และ ศรัณย์ ชโนวิทย์. การปรับปรุงคุณภาพของของผสมชีวมวลและถ่านหินด้วยกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ, การประชุมวิชาการนานาชาติ วิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21. อำเภอหาดใหญ่. จังหวัดสงขลา, 2554.
- [12] เสาวคนธ์ เหมวงษ์. ผลของถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่ และแกลบต่อผลผลิต และประสิทธิภาพการดูดซับในโตรเจน ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1, *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 16(1), มกราคม – เมษายน, 2557, 69 -75.
- [13] Babich I.V., Hulst M.V. D., Lefferts L., Moulijn J.A., O'Connor P. and Seshan K. Catalytic pyrolysis of microalgae to high-quality liquid bio-fuel. *Biomass and Bioenergy*, 2011 ; 35: 3199 – 3207.
- [14] ชนกพร วงษ์วัน และ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของต้นข้าวโพดที่ปรับสภาพเบื้องต้นร่วมกับของเสียกลีเซอรอล, การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2555.