



การผลิตไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสจากเศษวัสดุเกษตร



วรัญญา สมภาร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

สำนักบริหารและพัฒนาระบบราชการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



3337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

การผลิตไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสจากเศษวัสดุเกษตร

วรัญญา สมภาร

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำวย)

วันที่ 7 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2564

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภาพร ปัญโญใหญ่)

วันที่ 7 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2564

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพาพร คำแดง)

วันที่ 8 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2564

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สืบคำ)

วันที่ 8 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2564

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่ 8 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2564

ชื่อเรื่อง การผลิตไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสจากเศษวัสดุเกษตร
 ชื่อผู้เขียน นางสาววรัญญา สมภาร
 ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
 อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย

บทคัดย่อ

ในเขตภาคเหนือของประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณมากและเศษวัสดุที่เหลือมักถูกกำจัดด้วยวิธีการเผา ทำให้ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างดินสำหรับการเพาะปลูกและสิ่งมีชีวิตบริเวณโดยรอบ และก่อให้เกิดปัญหาฝุ่นควัน แนวทางหนึ่งในการจัดการเศษวัสดุเกษตรที่ได้ประโยชน์ใน เมื่อนำมาผลิตเป็นไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า ซึ่งไบโอชาร์เป็นอินทรีย์วัตถุที่มีการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง ในเรื่องประสิทธิภาพของการกักเก็บคาร์บอน ปริมาณสารอาหาร และเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพในดิน โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปัจจัยในการผลิต คุณสมบัติของไบโอชาร์ที่ผลิตได้ เปรียบเทียบคุณสมบัติไบโอชาร์ของผลงานวิจัยกับบทความวิจัยอื่น ๆ และไบโอชาร์ที่มีขายในท้องตลาด ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า อุณหภูมิในกระบวนการผลิตในช่วง 300-700 องศาเซลเซียส การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง ภายใต้สถานะไนโตรเจน ที่ 100 ml/min ใช้เศษวัสดุเกษตรจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ แกลบ ชังข้าวโพด เปลือกลำไย เม็ดลำไย และกะลากาแฟ จากผลการทดสอบ พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการรักษาอุณหภูมิ ในกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า ส่งผลให้ปริมาณไบโอชาร์ ปริมาณสารระเหย มีค่าลดลง ส่วนค่าความเป็นกรดต่าง ค่าการนำไฟฟ้า ค่าพลังงานความร้อน พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน ความสามารถในการดูดซับน้ำ ปริมาณแก๊ส รวมถึงองค์ประกอบแร่ธาตุหลัก ที่มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก จะมีปริมาณลดลงในช่วงอุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส และจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ กับบทความวิจัยอื่น ๆ และไบโอชาร์ในท้องตลาด พบว่า มีค่าคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวลที่นำมาใช้ในการผลิต อีกทั้งอุณหภูมิและเวลาการรักษาอุณหภูมิ ยังส่งต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติในไบโอชาร์ ถ้าหากจะนำไบโอชาร์ที่ได้ในการผลิตไปใช้ในการปรับปรุงดิน ควรเลือกใช้สถานะในการผลิตที่เหมาะสมกับดิน

คำสำคัญ : ไบโอชาร์, ไพโรไลซิส, เศษวัสดุเกษตร



3337906250

MJU eThesis 6103309007 thesis / rev: 04062564 14:21:20 / seq: 11

Title	BIOCHAR PRODUCTION WITH PYROLYSIS PROCESS FROM AGRICULTURAL RESIDUE
Author	Miss Waranya Somparn
Degree	Master of Engineering in Agricultural Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Thanasit Wongsiriamnuay

ABSTRACT

In northern Thailand, there are a great amount of agricultural residues generated after the harvest, most of which are burned as a means of disposal, affecting the soil for agriculture, wild animals, as well as causing air pollution. One of the solutions that may be beneficial in terms of carbon credit is to turn these agricultural residues into biochar using slow pyrolysis. Biochar is widely accepted biologically derived matter with the ability to contain carbon, large amount of nutrients, adding biodiversity in soils. The attribute of biochar is varied depending on its production process. This research aims to study biochar production conditions, possible attributes with slow pyrolysis process and compare biochar properties other research articles and markets. Under 100 ml/min nitrogen condition. At the process temperature of 300-700 °C, at hold time temperature 1-2 hour were used, 5 types of agricultural residues including rice husk, corn cob, longan peel. Longan seed and coffee husk. The test results, it was found that the temperature and hold time temperature In the slow pyrolysis process. Resulting in the yield of biochar, the volatile matter decreased. While the pH value was reduced, electrical conductivity (EC), surface area and pore volume, water holding capacity, gas content and micro nutrient useful for plant growth has increased in quantity. By the value of the cation exchange capacity (CEC) the amount will decrease in the temperature range 300-500 degrees Celsius and will increase. When the temperature was 700 degrees Celsius, when comparing the results of the qualification test with other research articles and the biochar in the market, it was found that there were different properties values.



3337906250

MJU :Thesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

This depends on the type of biomass used in the production. As well as temperature and temperature treatment time Also forward changes in biochar properties If the biochar produced in the production is to be used for soil improvement. Choose suitable production conditions. For quality soil and perfect plant growth

Keywords : Biochar, Pyrolysis, Agricultural residue



3337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11



กิตติกรรมประกาศ

รายงานโครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำงานวิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงาน อาทิ

ศาสตราจารย์ ดร.นคร ทิพย์าวงศ์ ที่ได้ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำ และปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนทร สืบคำ ประธานหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเกษตร ที่ช่วยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับบทความวิชาการ และสนับสนุนเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ แลป เพื่อใช้ในการศึกษาคุณสมบัติของไบโอชาร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศิษฐ์ วงศิริอำนวยการ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยวิศวกรรม ที่ได้กรุณาสละเวลาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และคอยช่วยเหลือต่างๆเป็นอย่างดี ตลอดจนดูแลเอาใจใส่อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งช่วยตรวจสอบและแก้ไขงานวิจัยฉบับนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำพร ปัญญาใหญ่ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพาพร คำแดง คณะกรรมการร่วมประเมินผลงานวิจัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านวิชาการ ช่วยตรวจสอบงานวิจัย รวมถึงให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จีราภรณ์ อินทसार อาจารย์ภาควิชาเกษตรศาสตร์และ ทรัพยากรธรรมชาติ ช่วยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการนำไบโอชาร์ไปใช้ในการปรับปรุงดิน และสนับสนุน เศษวัสดุเกษตรจากกาแฟ เพื่อใช้ในการผลิตและศึกษาคุณสมบัติไบโอชาร์

บริษัท ฮิลล์คอฟฟ์ จำกัด สนับสนุนวัสดุเหลือใช้จากการผลิตกาแฟ เพื่อใช้ในการนำมาผลิตไบโอชาร์และศึกษาคุณสมบัติไบโอชาร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้สนับสนุนทุนกักนุฎิ ประจำปีการศึกษา 2561 อำนวยความสะดวกในด้านให้คำปรึกษา การแนะนำ และช่วยในการตรวจสอบแก้ไขเอกสารต่างๆ ตลอดเวลา ในการเข้าศึกษาในระดับมหาบัณฑิต

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา พี่ๆ เพื่อนๆ ที่ช่วยเหลือและคอยเป็นกำลังใจให้โครงการนี้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

วรัญญา สมภาร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร.....	5
2.1 แนวคิดและทฤษฎีของไบโอชาร์ (Biochar).....	5
2.2 แนวคิดทฤษฎีการไพโรไลซิส (Pyrolysis).....	7
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอชาร์ในกระบวนการไพโรไลซิส.....	10
2.4 คุณสมบัติต่างๆ ที่มีผลต่อการนำไปใช้ปรับปรุงดิน.....	13
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 วิธีการวิจัย.....	27
3.1 แผนดำเนินงานวิจัย.....	27
3.2 การกำหนดตัวแปรศึกษา.....	28
3.3 การผลิตไบโอชาร์ในระดับห้องปฏิบัติการ.....	29



3337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของไบโอชาร์.....	31
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	41
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของชีวมวล	41
4.2 ผลปริมาณไบโอชาร์ที่ได้จากการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการ (Yield biochar).....	43
4.3 ผลคุณสมบัติขององค์ประกอบแร่ธาตุ (Ultimate) และปริมาณกลุ่มสาร (Proximate) ของ ไบโอชาร์.....	46
4.4 ผลคุณสมบัติความเป็นกรดต่าง (pH) ของไบโอชาร์.....	49
4.5 ผลคุณสมบัติการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity: EC) ของไบโอชาร์.....	52
4.6 ผลคุณสมบัติพลังงานความร้อน (Thermal Energy) ของไบโอชาร์.....	53
4.7 ผลคุณสมบัติความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity: CEC) ของไบโอชาร์	55
4.8 ผลคุณสมบัติของพื้นที่ผิว (Surface area) และปริมาตรรูพรุน (Pore volume) ของ ไบโอชาร์	57
4.9 ผลคุณสมบัติขององค์ประกอบแร่ธาตุหลัก (Micro nutrients) ของไบโอชาร์.....	60
4.10 ผลคุณสมบัติองค์ประกอบแร่ธาตุโลหะหนัก (Heavy metal) ของไบโอชาร์.....	61
4.11 ผลความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Holding Capacity: WHC)	65
4.12 ผลคุณสมบัติความหนาแน่น (Bulk density) ของไบโอชาร์.....	66
4.13 ผลปริมาณแก๊ส (Gas volume) และองค์ประกอบแก๊ส (Gas composition) ที่ได้จากการผลิตไบโอชาร์.....	68
4.14 ผลขององค์ประกอบที่ได้จากน้ำมันดิน (Tar).....	70
4.15 การวิเคราะห์ไบโอชาร์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	73
4.16 การนำไบโอชาร์ไปใช้ประโยชน์	82
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	84
5.1 สรุปผลวิจัย	84
5.2 ข้อเสนอแนะ	85



3337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

5.3 ปัญหาที่พบในการศึกษา..... 86

ภาคผนวก..... 87

บรรณานุกรม..... 100

ประวัติผู้วิจัย..... 107



337906250

MJU IThesis 6103309007 thesis / recv : 04062564 14:21:20 / seq : 11

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 บทบาทและหน้าที่ขององค์ประกอบแร่ธาตุหลัก.....	18
ตารางที่ 2 บทบาทและหน้าที่องค์ประกอบแร่ธาตุโลหะหนักที่มีประโยชน์	19
ตารางที่ 3 บทบาทและหน้าที่องค์ประกอบแร่ธาตุโลหะหนักที่ไม่มีประโยชน์	20
ตารางที่ 4 ปริมาณโลหะหนักของไบโอชาร์ ตามมาตรฐาน IBI และ EBC.....	22
ตารางที่ 5 ตัวแปรศึกษาในการผลิตไบโอชาร์.....	28
ตารางที่ 6 องค์ประกอบแร่ธาตุโลหะหนัก	37
ตารางที่ 7 การตั้งค่าอุณหภูมิในโปรแกรมการย่อยด้วยเครื่อง Topwave ของชีวมวล	38
ตารางที่ 8 การตั้งค่าอุณหภูมิในโปรแกรมการย่อยด้วยเครื่อง Topwave ของไบโอชาร์	38
ตารางที่ 9 การกำหนดค่าพลาสมาในการวิเคราะห์แร่ธาตุโลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-OES.....	39
ตารางที่ 10 คุณสมบัติต่าง ๆ ในเศษวัสดุเกษตร ที่ใช้ในการผลิตไบโอชาร์	41
ตารางที่ 12 องค์ประกอบแร่ธาตุของชีวมวลและไบโอชาร์ด้วยการไฟโลซิสแบบช้า.....	47
ตารางที่ 13 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไฟโรไลซิสแบบช้า.....	57
ตารางที่ 14 ผลการทดสอบปริมาณแร่ธาตุโลหะหนัก (Heavy metal) ในไบโอชาร์	62
ตารางที่ 15 องค์ประกอบทางเคมีของไบโอชาร์จากขังข้าวโพด ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.....	71
ตารางที่ 16 องค์ประกอบทางเคมีของไบโอชาร์จากขังข้าวโพด ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส.....	72
ตารางที่ 17 องค์ประกอบทางเคมีของไบโอชาร์จากขังข้าว ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	72
ตารางที่ 18 รายละเอียดของซีอร้านค้าในท้องตลาด.....	73
ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบปริมาณกลุ่มสารไบโอชาร์ในท้องตลาด	74
ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบองค์ประกอบธาตุไบโอชาร์ในท้องตลาด	74
ตารางที่ 21 การเปรียบเทียบองค์ประกอบแร่ธาตุหลักของไบโอชาร์ในท้องตลาด	77
ตารางที่ 22 การเปรียบเทียบแร่ธาตุโลหะหนักของถ่านชีวภาพในท้องตลาด.....	78
ตารางที่ 23 คุณสมบัติของไบโอชาร์ที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงดิน	82



3337906250

MJU :Thesis 6103309007 Thesis / rev: 04062564 14:21:20 / seq: 11

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 กลไกการผลิตไบโอชาร์..... 9

ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงกระบวนการไพโรไลซิสของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง 12

ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า pH กับ การละลายตัวของธาตุอาหารในดิน 13

ภาพที่ 4 ลักษณะของพื้นที่ผิวและรูพรุนที่เกิดในไบโอชาร์ 16

ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนและค่าความชื้นของชีวมวล..... 23

ภาพที่ 6 โครงสร้างภายใน Bomb calorimeter 23

ภาพที่ 7 การสมดุลมวลสาร 24

ภาพที่ 8 แผนการดำเนินงานวิจัย 27

ภาพที่ 9 กระบวนการผลิตไบโอชาร์ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง 29

ภาพที่ 10 การทดสอบความหนาแน่น 40

ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบปริมาณไบโอชาร์ที่ได้จากการไพโรไลซิสแบบช้า..... 44

ภาพที่ 12 การเปรียบเทียบปริมาณไบโอชาร์ที่การรักษาอุณหภูมิ 2 ชั่วโมง 45

ภาพที่ 13 การเปรียบเทียบปริมาณไบโอชาร์ของงานวิจัยและบทความวิจัยอื่นๆ 45

ภาพที่ 14 การเปรียบเทียบปริมาณความชื้นและสารระเหยในไบโอชาร์ ที่การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง 46

ภาพที่ 15 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนคงที่และเถ้าในไบโอชาร์ ที่การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง 47

ภาพที่ 16 การเปรียบเทียบอัตราส่วนแร่ธาตุในไบโอชาร์ ที่การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง 49

ภาพที่ 17 การเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของไบโอชาร์ ที่การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง 50

ภาพที่ 18 การเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของไบโอชาร์ ที่การรักษาอุณหภูมิ 2 ชั่วโมง 51

ภาพที่ 19 การเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของงานวิจัยและบทความวิจัยอื่นๆ..... 51

ภาพที่ 20 การเปรียบเทียบการนำไฟฟ้า (EC) ของไบโอชาร์ ที่การรักษาอุณหภูมิทดสอบ 1 ชั่วโมง. 52



3337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 21 การเปรียบเทียบการนำไฟฟ้า (EC) ของไบโอชาร์ ที่การรักษาอุณหภูมิทดสอบ 2 ชั่วโมง. 53

ภาพที่ 22 การเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของงานวิจัยและบทความวิจัยอื่น ๆ 53

ภาพที่ 23 การเปรียบเทียบพลังงานความร้อนของไบโอชาร์ การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง..... 54

ภาพที่ 24 การเปรียบเทียบพลังงานความร้อนของงานวิจัย และบทความวิจัยอื่นๆ..... 54

ภาพที่ 25 การเปรียบเทียบความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ของไบโอชาร์ ที่การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง..... 56

ภาพที่ 26 การเปรียบเทียบความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ของไบโอชาร์..... 56

ภาพที่ 27 การเปรียบเทียบความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของงานวิจัยและบทความวิจัยอื่นๆ. 57

ภาพที่ 28 การเปรียบเทียบพื้นที่ผิว (Surface area) ของไบโอชาร์ 59

ภาพที่ 29 การเปรียบเทียบปริมาตรรูพรุน (Pore volume) ของไบโอชาร์ 59

ภาพที่ 30 การเปรียบเทียบพื้นที่ผิวไบโอชาร์จากกลบของงานวิจัยและบทความวิจัยอื่นๆ 60

ภาพที่ 31 การเปรียบเทียบองค์ประกอบแร่ธาตุหลัก ที่การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง..... 61

ภาพที่ 32 การเปรียบเทียบความสามารถในการอุ้มน้ำ WHC ของไบโอชาร์ ที่การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง..... 65

ภาพที่ 33 การเปรียบเทียบความสามารถในการอุ้มน้ำ WHC ของไบโอชาร์ ที่การรักษาอุณหภูมิ 2 ชั่วโมง..... 66

ภาพที่ 34 การเปรียบเทียบความหนาแน่น (Bulk density) ไบโอชาร์ การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง. 67

ภาพที่ 35 การเปรียบเทียบความหนาแน่น (Bulk density) ไบโอชาร์ การรักษาอุณหภูมิ 2 ชั่วโมง. 67

ภาพที่ 36 การเปรียบเทียบความหนาแน่นของงานวิจัยและบทความวิจัยอื่นๆ 68

ภาพที่ 37 การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สของไบโอชาร์ ที่การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง..... 69

ภาพที่ 38 การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สของไบโอชาร์ ที่การรักษาอุณหภูมิ 2 ชั่วโมง..... 69

ภาพที่ 39 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ของไบโอชาร์ 70

ภาพที่ 40 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ของไบโอชาร์ 70



3337906250

MJU -Thesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

ภาพที่ 41 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของไบโอชาร์ จำนวน 11 ร้านค้าในท้องตลาด..... 75

ภาพที่ 42 ค่าการนำไฟฟ้าของไบโอชาร์ จำนวน 11 ร้านค้าในท้องตลาด..... 76

ภาพที่ 43 ค่าพลังงานความร้อนไบโอชาร์ในท้องตลาด 79

ภาพที่ 44 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกไบโอชาร์ในท้องตลาด..... 79

ภาพที่ 45 ค่าพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนไบโอชาร์ในท้องตลาด 80

ภาพที่ 46 ค่าความสามารถการดูดซับน้ำของไบโอชาร์ในท้องตลาด 81

ภาพที่ 47 ค่าความหนาแน่นของไบโอชาร์ในท้องตลาด 81



3337906250

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นจำนวนมาก ปลูกพืชเศรษฐกิจนานาชนิด เช่น ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง และลำไย เป็นต้น เพื่อนำมาแปรรูปและจัดจำหน่ายทั้งภายในและต่างประเทศ จึงมักเกิดปัญหาทางด้านการกำจัดเศษวัสดุเกษตรหลังการแปรรูปหรือหลังการเก็บเกี่ยวอย่างผิดวิธี ส่งผลกระทบทางดิน และอากาศ ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนและเกิดปัญหาในดิน ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีถ่านชีวภาพหรือไบโอชาร์ (Biochar) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการกำจัดเศษวัสดุเกษตร “โดยได้รับการยกย่องในการประชุมอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการต่อสู้การเสื่อมสภาพดิน (UNCCD) ให้เป็นเทคโนโลยีการแก้ไขปัญหาโลกร้อนและเป็นเครื่องมือในการฟื้นฟูสภาพดิน ด้วยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโลกหรือเรียกได้ว่าเป็น Carbon Negative ในเมืองโคเปนเฮเกน ประเทศเดนมาร์ค” (อรสา, 2554)

การสำรวจทรัพยากรดินในประเทศไทย พบว่า “ดินในประเทศไทยส่วนใหญ่มีลักษณะเด่นคือ เป็นดินเขตร้อน แต่มักจะขาดความอุดมสมบูรณ์” (อรดา, 2560) ซึ่งพบปัญหาในดินเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะพื้นที่เขตภาคเหนือของประเทศไทย เกิดจากการถางพื้นที่เพื่อกำจัดวัชพืชและกำจัดเศษวัสดุเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวที่มีปริมาณมาก ด้วยวิธีการเผาและใช้สารเคมีในการกำจัดเป็นหลัก ทำให้พื้นที่สำหรับการเพาะปลูกถูกทำลายโครงสร้างในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุและแร่ธาตุต่าง ๆ ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ส่งผลกระทบต่อการเพาะปลูก ทำให้การเจริญเติบโตของพืชในแต่ละฤดูไม่เป็นไปตามความต้องการ อีกทั้งเป็นผลเสียต่อสุขภาพและเกิดมลพิษต่าง ๆ ในชุมชนบริเวณใกล้เคียงอีกด้วย จึงนำเทคโนโลยีไบโอชาร์ จากกระบวนการไพโรไลซิส ในกระบวนการทางความร้อนของการเปลี่ยนรูปชีวมวลหรือเศษวัสดุเกษตรให้เป็นถ่านชีวภาพ (Biochar) ภายใต้สภาวะไนโตรเจน ประยุกต์ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ เพื่อช่วยในการแก้ปัญหาทางการเกษตร กล่าวได้ว่า “ไบโอชาร์ คือ ถ่านที่ใช้ประโยชน์เพื่อกักเก็บคาร์บอนลงในดินและปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของดิน เนื่องจากคุณสมบัติของไบโอชาร์ มีรูพรุนตามธรรมชาติ เมื่อใส่ลงในดินจะช่วยการระบายอากาศ การซึมน้ำ การอุ้มน้ำ ดูดซับธาตุอาหาร เป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ ลดความเป็นกรดของดิน นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยให้สูงขึ้น ทำให้ประหยัดการใช้ปุ๋ย ลดต้นทุน เพิ่มรายได้ เพิ่มผลผลิต เป็นเทคโนโลยีที่สามารถพัฒนาได้ตั้งแต่ระดับเกษตรกร คริวเรือน ชุมชนและองค์กรส่วนท้องถิ่น” (ศิริลักษณ์และพิทยา, 2015)

ปัจจุบันได้มีนักวิจัยทั่วโลกได้นำเทคโนโลยีไบโอชาร์ (Biochar) จากกระบวนการไพโรไลซิส มาประยุกต์ใช้เพื่อลดปริมาณเศษวัสดุต่าง ๆ ซึ่งไบโอชาร์ที่ได้มีคุณลักษณะแตกต่างจาก

ถ่านไม้ทั่วไป โดยจากการศึกษาการผลิตไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า ในช่วงอุณหภูมิ 300-700 องศาเซลเซียส (Lee Park et al, 2013), (Jung Kim et al, 2016) ที่อัตราการให้ความร้อน 5-25 องศาเซลเซียสต่ออนาที และมีการรักษาอุณหภูมิ 1-8 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะการจำกัดอากาศหรือแก๊สไนโตรเจน (N_2) (Luo Xu et al, 2015) ส่งผลให้ไบโอชาร์เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี อาทิ โครงสร้างโมเลกุล ส่วนประกอบและคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากชีวมวล ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของกลุ่มเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ในช่วงอุณหภูมิ 300-400 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิที่มากกว่า 400 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวในกลุ่มลิกนิน ส่งผลให้ผลผลิตที่ได้มีปริมาณลดลง (Jung Kim et al, 2016) รวมถึงคาร์บอน (Chen Yu et al, 2016) ความเป็นกรดต่าง (Budai, Wang et al. 2014) และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังส่งผลให้พื้นที่ผิวและรูพรุนมีขนาดใหญ่ (Yuan Xu et al, 2011), (Wang Hu et al, 2013) โดยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ด้วยวิธีการ Scanning electron microscopy (SEM) และ Brunauer, Emmett and Teller (BET) อีกทั้งยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบแร่ธาตุด้วยวิธีการย่อยด้วยคลื่นไมโครเวฟและศึกษาเชิงปริมาณด้วยเครื่อง ICP ซึ่งพื้นที่ผิวและรูพรุนที่เกิดขึ้นช่วยในการดูดซับน้ำ แร่ธาตุอาหารที่พืชต้องการ รวมถึงเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ในดิน โดยจากการศึกษาเหล่านี้เผยให้เห็นว่าคุณสมบัติต่างๆ ยังขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล และปัจจัยของกระบวนการผลิตไบโอชาร์อีกด้วย เนื่องจากชีวมวลแต่ละชนิดมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีที่แตกต่างกัน เมื่อได้รับความร้อนในเวลาไม่เท่ากัน เช่น ชิงช้าวัตต์ ไม้ไผ่ แกลบ และฟางข้าว เป็นต้น (Budai Wang et al, 2014), (Jindo Mizumoto et al, 2014), (Sun Gao et al, 2014)

การผลิตไบโอชาร์ สามารถผลิตได้จากเตาปฏิกรณ์หลากหลายประเภท เช่น ฟิสิกซ์เบด ฟลูอิดไคซ์เบด และไมโครเวฟ เป็นต้น โดยแต่ละประเภทมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเตาปฏิกรณ์ประเภทฟิสิกซ์เบด ยังคงเป็นที่ยอมรับและง่ายต่อการนำไปใช้งานในกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า ซึ่งแตกต่างจากปฏิกรณ์ประเภทอื่น ๆ ที่มักนำไปใช้งานในกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว (Wang Brown et al, 2013), (Chen Zhou et al, 2014), (Li Dai et al, 2016)

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้น จึงมีแนวทางในการแก้ปัญหาการกำจัดเศษวัสดุเกษตรด้วยการนำเทคโนโลยีจากกระบวนการไพโรไลซิสมาระยุกต์ใช้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยของการผลิตและคุณสมบัติของไบโอชาร์จากเศษวัสดุเกษตรในระดับปฏิบัติการ ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า



3337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / rev: 04062564 14:21:20 / seq: 11

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยของการผลิตไบโอชาร์ ได้แก่ อุณหภูมิในการให้ความร้อน ชนิดของเศษวัสดุเกษตรและการรักษาอุณหภูมิสุดท้ายในการให้ความร้อน ที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตไบโอชาร์ และคุณสมบัติต่างๆทางฟิสิกส์และเคมี และหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพจากเศษวัสดุทางการเกษตร

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของไบโอชาร์ เช่น ทางฟิสิกส์และทางเคมี เป็นต้น สำหรับนำไปใช้ไบโอชาร์ที่มีคุณภาพเหมาะสมไปใช้ในการปรับปรุงดิน

1.2.3 การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ไบโอชาร์ที่ได้จากงานวิจัยกับผลิตภัณฑ์ที่มีการศึกษาวิจัยมาแล้ว รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่มีการจำหน่ายแล้วในท้องตลาด

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการศึกษาได้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอชาร์จากเศษวัสดุเกษตร เช่น ชังข้าวโพด แกลบ เม็ดลำไย เปลือกลำไย เป็นต้น ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งปัจจัยในการผลิตมีผลต่อคุณสมบัติทางโครงสร้างฟิสิกส์และเคมี ได้แก่ ชนิดของเตาปฏิกรณ์ อุณหภูมิการให้ความร้อน อัตราการให้ความร้อน และการรักษาอุณหภูมิสุดท้าย ที่มีผลต่อคุณสมบัติของไบโอชาร์ที่แตกต่างกัน เพื่อสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการปรับปรุงดิน

1.3.1 องค์ประกอบแร่ธาตุ เป็นส่วนสำคัญในการเจริญเติบโตของพืช

1.3.2 ความเป็นกรด-ด่าง เพื่อใช้ในการปรับปรุงดินให้มีสถานะเป็นกลาง และช่วยในการดึงดูดแร่ธาตุอาหาร เนื่องจากการผลิตไบโอชาร์มีสถานะเป็นกรด-เบส

1.3.3 การนำไฟฟ้าและความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ซึ่งการนำไฟฟ้าบ่งบอกถึงค่าปริมาณเกลือที่มีในไบโอชาร์ ซึ่งผลของปริมาณเกลือมีมาก จะทำให้พืชขาดน้ำ และการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าของไอออนบวกที่เกิดขึ้นในไบโอชาร์ ช่วยในการแลกเปลี่ยนประจุของสารต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชในดินได้ดี

1.3.4 พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และความสามารถในการดูดซับน้ำ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะช่วยในการอุ้มน้ำและแร่ธาตุในดิน เป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ อีกทั้งลดการชะล้างสารอาหารในดิน ที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช



3337906250

MJU-IThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 การศึกษาการผลิตไบโอชาร์ในกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าจากเศษวัสดุเกษตร ด้วยเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ในระดับห้องปฏิบัติการ

1.4.2 ชนิดของชีวมวล เช่น ชังข้าวโพด แกลบ เม็ดลำไย เปลือกลำไย และกะลากาแฟ เป็นต้น ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิ 300-700 องศาเซลเซียส ในการรักษาอุณหภูมิสุดท้าย 1-2 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะไนโตรเจน โดยให้อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และอัตราการไหลของแก๊ส 100 มิลลิลิตรต่อนาที

1.4.3 ในการศึกษาคุณสมบัติของไบโอชาร์ จะวิเคราะห์ด้วยวิธีการตามมาตรฐาน EBC และ IBI ของไบโอชาร์



3337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11



บทที่ 2

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

2.1 แนวคิดและทฤษฎีของไบโอชาร์ (Biochar)

“...ถ่านชีวภาพ หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ไบโอชาร์ คือ วัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอน ผลิตจากการให้ความร้อนมวลชีวภาพ (Biomass) โดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือใช้น้อยมาก เรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการด้วยความร้อน (Pyrolysis) ซึ่งมีสองวิธีหลัก ๆ ในการผลิตไบโอชาร์ คือ การแยกสลายอย่างรวดเร็วและอย่างช้า การผลิตไบโอชาร์ด้วยวิธีแยกสลายอย่างช้าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส จะได้ผลผลิตไบโอชาร์มากกว่า 50 % ใช้เวลาเป็นชั่วโมง ซึ่งต่างจากวิธีการแยกสลายอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเป็นวินาที ผลผลิตที่ได้จะเป็นน้ำมันชีวภาพ (Bio-oil) 60% แก๊สสังเคราะห์ (Syngas) 20% ได้แก่ H₂ CO และ CO₂ และถ่านชีวภาพ (Biochar) 20%...” (อรสา, 2554)

2.1.1 ชีวมวลที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอชาร์

ชีวมวลเป็นวัสดุหรือสสารที่ได้จากธรรมชาติ โดยเฉพาะชีวมวลที่เหลือใช้หลังการเก็บเกี่ยวจากการเกษตร เช่น ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง ยางพารา และน้ำมันปาล์ม เป็นต้น ซึ่งเกษตรกรจะกำจัดเศษวัสดุเกษตรอย่างผิดวิธี เช่น การเผาและไถกลบในดิน เป็นต้น ส่งเสียต่อโครงสร้างในดิน เป็นมลพิษทางอากาศ และสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณโดยรอบ จึงมีวิธีการแก้ไขโดยการนำมาใช้เป็นชีวมวล เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงและให้ค่าพลังงานความร้อนในระดับที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานทดแทน โดยแบ่งชีวมวลได้ 6 ประเภทจากแหล่งกำเนิดของชีวมวล (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, 2554) ดังนี้

- 1) ชีวมวลที่เกิดจากการเพาะปลูก มีการปลูกขึ้นมาแล้วเหลือจากใช้ในจุดประสงค์หลักของการปลูก เช่น ปลูกเพื่อเป็นอาหารแก่คนหรือสัตว์หรือปลูกขึ้นมา เป็นต้น เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลโดยตรง ชีวมวลประเภทนี้ เช่น ปาล์มน้ำมัน ข้าวโพด ถั่วเหลือง และมันสำปะหลัง เป็นต้น
- 2) ชีวมวลที่เกิดขึ้นหลังการเกิดไฟไหม้ป่า เกิดขึ้นหลังมีการเกิดไฟไหม้ป่าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเป็นประจำ โดยชีวมวลประเภทนี้ส่วนใหญ่เป็นเศษกิ่งไม้ และลำต้นของต้นไม้ที่หลงเหลือจากไฟไหม้ป่า
- 3) ชีวมวลที่เกิดขึ้นจากของเสียทางการเกษตร จะเกิดขึ้นระหว่างการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปพืชผลทางการเกษตร เช่น แกลบ ฟางข้าว และกะลาปาล์ม เป็นต้น



3337906250

MJU :Thesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

4) ชีวมวลที่เกิดขึ้นในป่าและอุตสาหกรรมป่าไม้ สามารถหาได้ในป่า เช่น เศษใบไม้ กิ่งไม้ที่หักจากต้นไม้ ต้นไม้ที่ตายไปแล้วหรือแม้กระทั่งของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมการแปรรูปไม้ เช่น ขี้เลื่อย และปึกไม้ เป็นต้น

5) ชีวมวลจากมูลสัตว์ เป็นสิ่งปฏิกูลที่เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์ เช่น มูลวัว มูลแพะ มูลไก่ เป็นต้น ซึ่งชีวมวลเหล่านี้จะมีความชื้นที่สูงมาก

6) ชีวมวลจากขยะชุมชน คือ ขยะที่ถูกทิ้งในการใช้ชีวิตประจำวัน ซึ่งสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ขยะชุมชน (Municipal Solid Waste)

2.1.2 ประโยชน์ของไบโอชาร์ (อรสา, 2554) แสดงข้อมูลดังนี้

- 1) “...ช่วยบรรเทาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ เนื่องจากถ่านชีวภาพสามารถลดคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศในระยะยาวได้ด้วยการกักเก็บคาร์บอนในดิน
- 2) ช่วยปรับปรุงดินและผลผลิตทางการเกษตร เนื่องจากเมื่อนำไบโอชาร์ลงดิน ลักษณะความเป็นรูพรุนของถ่านชีวภาพจะช่วยกักเก็บน้ำและอาหารในดิน และเป็นที่อยู่ให้กับจุลินทรีย์สำหรับทำกิจกรรมเพื่อสร้างอาหารให้ดิน เมื่อดินอุดมสมบูรณ์จะส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรเพิ่มขึ้น
- 3) ช่วยผลิตพลังงานทดแทน เนื่องจากกระบวนการผลิตไบโอชาร์จากมวลชีวภาพด้วยการแยกสลายด้วยความร้อนจะให้พลังงานชีวภาพที่สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อการขนส่งและในระบบอุตสาหกรรมได้
- 4) ช่วยในกระบวนการจัดการของเสียประเภทอินทรีย์วัตถุได้ เนื่องจากเทคโนโลยีไบโอชาร์มีศักยภาพในการกำจัดของเสียที่ทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นมิตรได้...”

2.1.3 คุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน

2.1.3.1 การนำไปใช้งานด้านการปรับปรุงดิน

ไบโอชาร์เป็นวัสดุที่มีปริมาณคาร์บอนสูง สามารถใช้เป็นแหล่งสะสมคาร์บอนและช่วยเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับดิน เมื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงดินเพื่อให้พืชได้เกิดการสังเคราะห์แสงได้ขึ้น ทำให้ผลผลิตมีคุณภาพดี เช่น ทำให้พืชผลลดความฝาด แต่เพิ่มความหวาน เป็นต้น (กันยา และสิทธิบูรณ์, 2558)

ไบโอชาร์ มีความพรุนสูง สามารถช่วยดูดซับน้ำ สารอาหาร และเป็นแหล่งอาศัยของจุลินทรีย์ที่สำคัญในดิน เช่น เชื้ออโซโตแบคเตอร์ (Azotobactor) เป็นจุลินทรีย์ที่ผลิตอาหาร หรือเชื้อราไมคอร์ไรซา (Vehicular Arbuscular Mycorrhiza) ช่วยในการย่อยฟอสฟอรัส ทำให้ประจุไฟฟ้า



3337906250

MJU_Thesis_6103309007_thesis / recv: 04062564_14:21:20 / seq: 11

ของดินตริงเป็นกรดฟอสฟริก (Phosphoric Acid) ธาตุโปแตสเซียม (K) และธาตุอื่นๆ เป็นต้น (แก้วเพชร, 2560)

2.1.3.2 การนำไปใช้งานด้านแก๊สเชื้อเพลิง

ไบโอชาร์ ให้ค่าความร้อนสูง สามารถนำไปใช้ในรูปแบบเชื้อเพลิงด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มเชื้อเพลิงแข็ง อีกทั้งมีคุณลักษณะช่วยในการลดปริมาณแก๊สในกลุ่มที่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก เช่น แก๊สมีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) เป็นต้น โดยส่วนใหญ่สาเหตุเกิดจากกระบวนการทางด้านการเกษตร (จิระพงษ์, 2552)

2.2 แนวคิดทฤษฎีการไพโรไลซิส (Pyrolysis)

การไพโรไลซิสเป็นกระบวนการทางเคมีความร้อนที่เปลี่ยนรูปของชีวมวล พลาสติก รวมถึงวัสดุชนิดอื่น ๆ เป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูง ได้แก่ ถ่าน (Charcoal) น้ำมัน (Bio-oil) และแก๊สไม่กลั่นตัว (Non-condensable Gas) โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิปานกลาง 500-800 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน โดยสัดส่วนของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการไพโรไลซิสขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ สภาวะในการทำปฏิกิริยา ลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้เป็นสารตั้งต้น ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ เป็นต้น ซึ่งกระบวนการไพโรไลซิส (อมรชัยและกุลนันท์, 2558) แบ่งออก 3 ประเภท คือ ไพโรไลซิสแบบช้า (Slow Pyrolysis) ไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) ไพโรไลซิสแบบเกิดขึ้นโดยเร็ว (Flash Pyrolysis)

2.2.1 กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า (Slow Pyrolysis)

กระบวนการที่มีการทำปฏิกิริยาในอุณหภูมิตั้งแต่ 400-600 องศาเซลเซียส มีอัตราการให้ความร้อนต่ำ (น้อยกว่า 10 องศาเซลเซียสต่อนาที) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุดิบที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีขนาดใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตร ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้ามีสัดส่วนเป็นของเหลว 30-50 เปอร์เซ็นต์ และถ่าน 25-35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการไพโรไลซิสแบบช้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการย่อย ได้แก่

1) การไพโรไลซิสแบบคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization Pyrolysis) เป็นกระบวนการที่ความร้อนเป็นระยะเวลานาน โดยใช้เวลาประมาณหนึ่งวัน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นถ่านสำหรับเป็นเชื้อเพลิงในการทำอาหาร ส่วนผลิตภัณฑ์ในสถานะก๊าซจะถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ

2) การไพโรไลซิสแบบดั้งเดิม เป็นกระบวนการที่ใช้เวลาให้ความร้อนน้อยกว่าแบบคาร์บอนไนเซชัน คือ 15-30 นาที ได้ผลิตภัณฑ์ครบทั้ง 3 สถานะ คือ ถ่าน น้ำมัน และก๊าซไม่กลั่นตัว เนื่องจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าได้ผลิตภัณฑ์ในส่วนของน้ำมันในปริมาณน้อย ดังนั้นน้ำมันส่วนใหญ่ จึงถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งสามารถแยกสารเคมีบางชนิดออก



3337906250

MJU :Thesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

จากส่วนมีซิวหรือส่วนที่ละลายน้ำของน้ำมันได้ โดยสารเคมีที่สามารถสกัดได้จากน้ำมัน ได้แก่ อะซิโตน คีโตน เมทานอล กรดฟอร์มิก และกรดอะซิติก เป็นต้น

2.2.2 กลไกการเกิดการไพโรไลซิส

ได้ศึกษาพฤติกรรมขององค์ประกอบแต่ละชนิดในกระบวนการไพโรไลซิสพบว่า องค์ประกอบที่มีอยู่ภายใน ได้แก่ พอลิเมอร์ของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งแต่ละชนิดมีโครงสร้าง และองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน อีกทั้งศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยาพบว่าประกอบด้วย 2 ช่วง (กันยาและสิทธิบริบูรณ์, 2558) ดังนี้

1) ช่วงพรีไพโรไลซิส (Pre-pyrolysis) อุณหภูมิการเผาไหม้อยู่ในช่วง 120-200 องศาเซลเซียส ช่วงนี้จะมีการจัดองค์ประกอบ เกิดการทำลายพันธะของวัตถุดิบบางส่วนและเริ่มมีอนุมูลอิสระ (Free Radical) เกิดขึ้น รวมทั้งมีการเกิดหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl Group) และมีกลุ่มไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydro Peroxide) ขึ้นเมื่อชีวมวลได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ (น้อยกว่า 200 องศาเซลเซียส) เป็นเวลานาน ทำให้โครงสร้างภายในของชีวมวลมีการเปลี่ยนแปลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่างจากการไพโรไลซิส วัตถุดิบชนิดเดียวกันแต่ไม่มีช่วงพรีไพโรไลซิส

2) ช่วงการสลายส่วนที่เป็นของแข็ง เป็นขั้นตอนหลักของกระบวนการเกิดไพโรไลซิส จะมีอัตราการเกิดที่เร็วมากและจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ของกระบวนการไพโรไลซิส โดยที่อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 300-600 องศาเซลเซียส ในการเปลี่ยนแปลงทางเคมีนั้น โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่หรือเป็นสายโซ่ยาวจะเกิดการแตกตัวของพันธะ เช่น C-C, C-S และ C-O เป็นต้น พร้อมกับการเกิดการผลิตระหว่างปฏิกิริยา (Intermediate) สารผลิตภัณฑ์จะตั้งไนโตรเจนจากสารอื่นและกลิ่นตัว เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ได้ถ่านโค้ก ในขณะที่ถ่านโค้กมักจะไม่เกิดปฏิกิริยา และจะเปลี่ยนเป็นถ่านชีวภาพ อีกทั้งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น น้ำมันดินจะผ่านกระบวนการแตกตัว (Cracking) และถูกทำให้เป็นก๊าซ (Gasified) ซึ่งทำให้เกิดผลิตภัณฑ์มีเทน (Methane) ไฮโดรเจน (Hydrogen) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide)

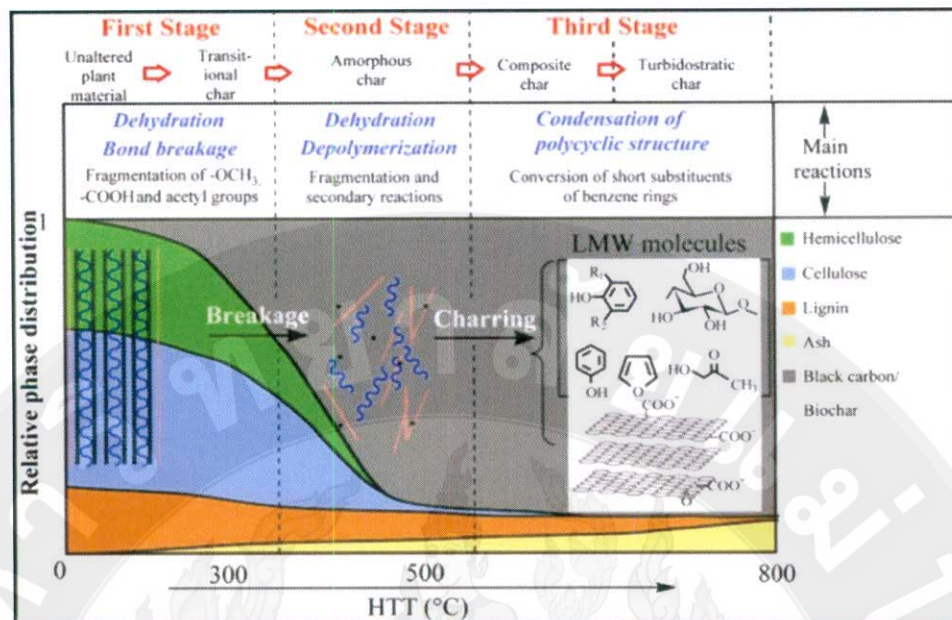
2.2.3 กลไกการผลิตและการนำไปใช้ประโยชน์

การไพโรไลซิสของชีวมวลจากเศษวัสดุเกษตรที่เหลือใช้หลังการเก็บเกี่ยวหรือการแปรรูป เมื่อผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจะได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ ถ่าน น้ำมันดิน และแก๊สไม่กลั่นตัว ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย (อมรชัยและกุลนันท์, 2558) ดังนี้



3337906250

MJU :Thesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11



ภาพที่ 1 กลไกการผลิตไบโอชาร์

ที่มา: Odinga Emmanuel Stephen et al (2020)

1) ถ่าน ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการเผาไหม้สำหรับผลิตความร้อนไอน้ำ และไฟฟ้า หรือใช้ผลิตไบโอชาร์ โดยค่าความร้อนของถ่านมีค่า 15-30 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ถ่านที่ได้เกิดจากเผาไหม้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ด้วยการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตซีเมนต์ นอกจากนี้ ไบโอชาร์ยังมีคุณสมบัติที่ดีเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน ดังนั้น จึงมีการพัฒนาไบโอชาร์จากกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อใช้ปรับปรุงดินสำหรับการเกษตร

2) น้ำมัน จากกระบวนการไพโรไลซิสมีคุณสมบัติที่สำคัญหลายประการ มีความหนาแน่น 1.2 กิโลกรัมต่อลิตร มีความหนืดสูง มีความเป็นกรดทำให้มีคุณสมบัติกัดกร่อน อุณหภูมิจุดติดสูง มีค่าความร้อน 15-18 เมกะจูลต่อกิโลกรัม มีคุณสมบัติไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมันปิโตรเลียม นอกจากนี้หากเติมน้ำลงไปใต้น้ำจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ละลายน้ำ (Aqueous Phase) และส่วนที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายในสารอินทรีย์ (Organic Phase) น้ำมันสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย วิธีการที่ง่ายที่สุด คือ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อต้มไอน้ำ (Boiler) หรือกังหันแก๊ส (Gas Turbine) สำหรับเผาไหม้ เพื่อผลิตความร้อนและไฟฟ้า นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ ซึ่งการใช้น้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสโดยตรง ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ จะทำให้เกิดปัญหาหลายประการ เช่น ปัญหาการกัดกร่อน เนื่องจากคุณสมบัติด้านความเป็นกรด การจุดติดยาก เนื่องจากปริมาณน้ำที่มีมากเกินไป อีกทั้งยังมีปริมาณกำมะถันสูง ทำให้เกิดการอุดตันในเครื่องยนต์ เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถนำไปผลิตสารเคมีต่าง ๆ โดยผ่าน

กระบวนการแยก เช่น กลีโกลิซิส เพื่อใช้ดักจับซัลเฟอร์ออกไซด์ (SOx) ปุ๋ยจากการทำปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนิลกับแอมโมเนีย ผลิตภัณฑ์ไฮโดร เรซินและพลาสติก รวมถึงเมทานอล กรดอะซิติก และอะซิโตน เป็นต้น

3) แก๊สไม่กลั่นตัว ส่วนใหญ่ประกอบด้วย CH₄ CO₂ CO และ H₂ โดยทั่วไปจะนำกลับมาเผาไหม้ เพื่อให้ความร้อนภายในกระบวนการหรือส่งไปยังกระบวนการอื่น เพื่อผลิตความร้อนและไฟฟ้า

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอเอทานอลในกระบวนการไพโรไลซิส

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและองค์ประกอบต่างๆในผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซิส ได้แก่ ตัวแปรทางกายภาพพื้นฐาน เช่น อุณหภูมิ อัตราการให้ความร้อน ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ เป็นต้น เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการไพโรไลซิส และได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ตัวแปรที่สำคัญทางเคมี เช่น องค์ประกอบของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่อยู่ในชีวมวล ซึ่งส่งผลต่อชนิดของสารประกอบในผลิตภัณฑ์เหลว ดังนั้น ตัวแปรที่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ในการการไพโรไลซิส สามารถอธิบายได้ โดย (จิราพร, 2554) ประกอบด้วยรายละเอียด 4 ส่วน ดังนี้

2.3.1 ส่วนประกอบของชีวมวล (Composition of Material)

ชีวมวลที่ใช้ในการผลิตไบโอเอทานอล เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดผลิตภัณฑ์ของพวกสารระเหย การไพโรไลซิสของชีวมวลโดยทั่วไปจะประกอบด้วยสารระเหยประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเริ่มต้นในจำพวกถ่านหิน สามารถทำนายปริมาณสารระเหยได้ (VM) ซึ่งสังเกตได้จากอัตราไฮโดรเจน (H) ต่อคาร์บอน (C) จะเพิ่มเป็นปริมาณแปรผันโดยตรง ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าสารระเหย ด้วยการไม่นำออกซิเจนคำนวณ ดังสมการที่ ... (1)

$$VM (\% \text{ mass}) = 97.3 (H/C) - 40.4 \quad \dots (1)$$

2.3.2 ขนาดของชีวมวล (Particle Size)

โดยทั่วไปวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวมากกว่า จึงมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นได้มากกว่า ขนาดวัสดุจึงมีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งวัสดุที่มีขนาดใหญ่ การให้ความร้อนจะช้ากว่าขนาดเล็ก ดังนั้น การกระจายอุณหภูมิก็จะไม่เป็นไปอย่างสม่ำเสมอและปริมาณสารระเหยจะได้น้อยอีกด้วย



3337906250

MJU-IThesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

2.3.3 องค์ประกอบทางเคมีของชีวมวล

ชีวมวลแต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน เช่น ปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารอินทรีย์ เป็นต้น โดยชีวมวลที่มีปริมาณของเซลลูโลสมาก เมื่อเกิดการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูง ขณะที่ชีวมวลที่มีปริมาณลิกนินสูงจะมีการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่ำ อีกทั้งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสจะมีองค์ประกอบทางเคมี และลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน เช่น ปริมาณธาตุ ความเป็นกรด และความหนืดที่แตกต่างกัน เป็นต้น

1) ความชื้น (Moisture Content) มีผลต่อกระบวนการแปลงชีวมวลเป็นพลังงานสำคัญ โดยเฉพาะกระบวนการแปลงพลังงานโดยใช้ความร้อน (Thermal Conversion Processing) เมื่อชีวมวลมีค่าความชื้นมากทำให้ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value) ของชีวมวลนั้น ๆ ลดลง ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการใช้ความร้อนลดลง

2) สารระเหย (Volatile Matter) ส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย เมื่อปริมาณสารระเหยในชีวมวลมีปริมาณมากจะทำให้ติดไฟได้ง่าย แต่ก็ขึ้นอยู่กับชีวมวลแต่ละชนิด

3) คาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon) เป็นส่วนที่เสถียรของโครงสร้างโมเลกุลของชีวมวล ชีวมวลที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนต่ำหรือน้อยจะเกิดการสันดาปได้ไม่ดี เนื่องจากอุณหภูมิจุดติดไฟต่ำ ความรวดเร็วในการติดไฟช้าและมีความชื้นมาก

4) เถ้า (Ash) เป็นส่วนประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่เดิมในชีวมวลที่ถูกออกดีไลส์สมบูรณ์ ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีเถ้าประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นชีวมวลที่มีความหนาแน่นต่ำ เช่น แกลบ ฟางข้าว เป็นต้น จะมีสัดส่วนเถ้าประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจมีปัญหาในการเผาไหม้ได้

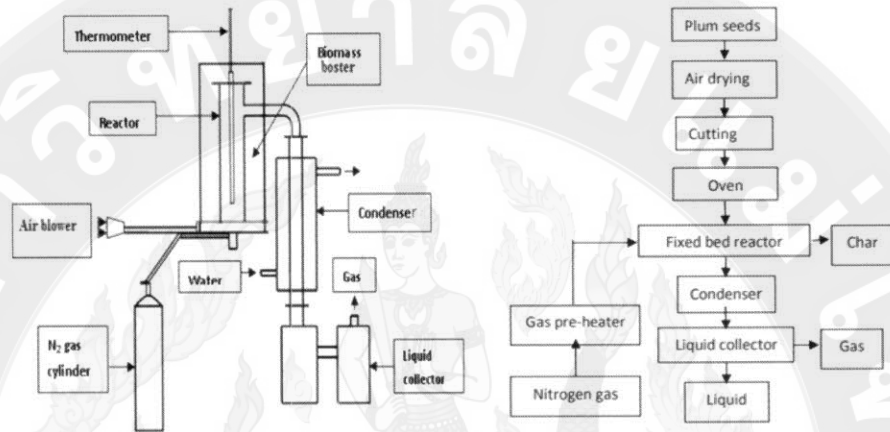
2.3.4 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิในการไพโรไลซิสส่งผลต่อปริมาณของไอระเหยและองค์ประกอบของไอระเหย ซึ่งในช่วงอุณหภูมิต่ำ 300-500 องศาเซลเซียส จะมีการปลดปล่อยสารระเหยได้ปริมาณเล็กน้อย น้ำ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดการปลดปล่อยของสารระเหยได้ในปริมาณมาก ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็นของน้ำมันชีวภาพหรือไบโอออยล์ และเมื่อการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูง ในช่วง 600-800 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของถ่าน และมีการแตกตัวทางความร้อนของสารโมเลกุลเล็ก ทำให้เกิดเป็นแก๊สโมเลกุลเล็ก ซึ่งไม่สามารถควบแน่นได้ เช่น มีเทน และไฮโดรเจน เป็นต้น

2.3.5 เครื่องปฏิกรณ์ (Reactor)

การผลิตไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า เพื่อศึกษาปัจจัยของการผลิตไบโอชาร์และคุณสมบัติต่างๆทางฟิสิกส์และทางเคมี เครื่องปฏิกรณ์ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ

ในการศึกษา โดยเครื่องปฏิกรณ์สำหรับใช้ในการไพโรไลซิส ถูกออกแบบเป็นทรงกระบอก โดยใช้เหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน AISI 304 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.08 เซนติเมตร ปริมาตรทรงกระบอกภายใน 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความสูง 30 เซนติเมตร (Uddin Joardder et al, 2012) ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้



ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงกระบวนการไพโรไลซิสของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง
ที่มา: Uddin Joardder et al. (2012)

- 1) เครื่องควบแน่น (Condenser) ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้ในการลดอุณหภูมิไอระเหยของการไพโรไลซิสที่จะส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ในการทดสอบ
- 2) เครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊ส (Gas flow meter) การไพโรไลซิสเป็นกระบวนการภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจนหรือภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน การติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊สจะต้องมีชุดควบคุมความดันแบบปรับได้ เพื่อสะดวกต่อการป้อนแก๊สเข้าสู่ระบบและป้องกันอุบัติเหตุจากแก๊สที่มีความดันสูง
- 3) เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) ใช้ในการวัดอุณหภูมิ ขณะให้ความร้อนภายในเครื่องปฏิกรณ์ โดยจะติดตั้งเครื่องมือแทรกในห้องเผาไหม้ตั้งแต่ส่วนบนจนถึงส่วนล่าง

โครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์ : ส่วนประกอบต่าง ๆ ถูกประกอบเข้าหากัน ปิดผนึกด้วยปะเก็นเหลวและยึดด้วยสกรู ส่วนฮีตเตอร์จะถูกติดตั้งบนชั้นวางเฟรมสำหรับจ่ายความร้อนในขณะที่เครื่องปฏิกรณ์ทำงาน และเชื่อมต่อไปยังเครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊ส สำหรับป้อนแก๊สไนโตรเจนเข้าในระบบ

หลักการการทำงานของระบบภายในเครื่องปฏิกรณ์ : ฮีตเตอร์จะจ่ายความร้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ โดยเทอร์โมคัปเปิ้ลจะทำหน้าที่วัดอุณหภูมิภายในเครื่อง จากนั้นปรับความดันการป้อนแก๊สไนโตรเจน



3337906250

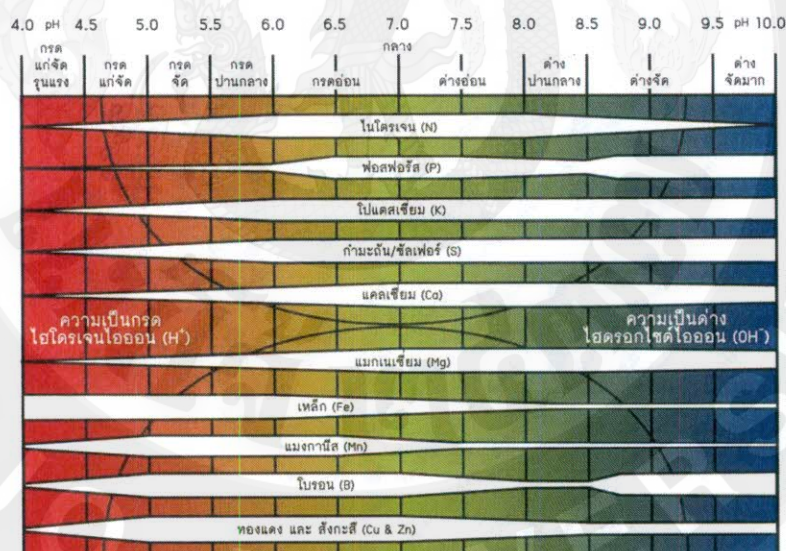
MJU :Thesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

เข้าสู่ระบบสำหรับการไฟโรไลซิส เมื่อครบกำหนดการไฟโรไลซิสจะนำผลิตภัณฑ์ทดสอบระบายความร้อนด้วยเครื่องควบแน่น

2.4 คุณสมบัติต่างๆ ที่มีผลต่อการนำไปใช้ปรับปรุงดิน

2.4.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ใช้บอกสภาพความเป็นกรด-ด่าง ของดิน มีผลอย่างมากในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดิน ทำให้การละลายตัวของธาตุหรือสารต่าง ๆ ในดินออกมา บางชนิดอาจมีประโยชน์ บางชนิดก็อาจเป็นพิษกับพืชได้ ซึ่งพืชเติบโตด้วยการดูดซึม (Osmosis) ธาตุอาหารต่าง ๆ ทางราก เพื่อส่งไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ เช่น ถ้าดินเป็นกรดแก่จัด จะทำให้มีธาตุพวก อลูมิเนียม แมงกานีส และเหล็ก ละลายออกมามากเกินไป จนเกิดเป็นพิษกับพืชที่ปลูกได้ แมงกานีส และเหล็ก ถึงจะเป็นธาตุอาหารพืชที่สำคัญ แต่พืชต้องการในปริมาณน้อยมาก ถ้ามีสะสมอยู่ในดินมากเกินไป ก็จะเป็นพิษกับพืชได้ โดยดินที่มีค่า pH ต่ำกว่า 4.5 ลงไปมักพบปัญหานี้



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า pH กับ การละลายตัวของธาตุอาหารในดิน
ที่มา : Smart Garden (2017)

จากภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับ การละลายตัวของธาตุอาหารในดิน ธาตุอาหารละลายตัวได้ดี และครบถ้วนในช่วง pH ระหว่าง 6.0 – 7.0 หรือในสภาวะที่ดิน มีสภาพเป็นกรดอ่อน ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารต่าง ๆ ในดิน ที่พืชจะดูดซึมเอาไปใช้ได้ง่าย ขึ้นอยู่กับสภาพหรือ



3337906250

MJU iThesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

ระดับ pH ของดินเป็นอย่างมาก ธาตุอาหารจะคงสภาพที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ง่าย และมีปริมาณมากที่ pH ช่วงหนึ่ง ถ้าดินมี pH ที่ต่ำหรือสูงกว่าช่วงนั้น ๆ ก็จะเปลี่ยนสภาพเป็นรูปที่ยากต่อพืชจะดูดซึมเอาไปใช้ได้ เช่น ฟอสฟอรัส (P) จะอยู่ในรูปของสารละลายที่พืชนำไปใช้ได้ง่าย เมื่อดินมี pH อยู่ระหว่าง 6.0-7.0 ถ้าดินมี pH สูงหรือต่ำกว่าช่วงนี้ ความเป็นประโยชน์ของ ฟอสฟอรัส ก็ลดน้อยลง เป็นต้น รวมถึงธาตุอาหารพืชพวกจุลธาตุ (Micronutrients) เช่น สังกะสี เหล็ก แมงกานีส โบรอน เป็นต้น จะละลายออกมาอยู่ในสภาพที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ง่าย และพอเพียงกับความต้องการของพืช อีกทั้งยังเกี่ยวข้องกับการทำงานของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในดินด้วย ปกติสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในดินจะเน่าเปื่อยผุพัง โดยมีจุลินทรีย์ต่าง ๆ เข้าย่อยสลาย ขณะที่สารอินทรีย์กำลังสลายตัว จะปลดปล่อยธาตุอาหารต่าง ๆ ออกมา ซึ่งรากพืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้ เมื่อใส่สิ่งปรับปรุงลงไปในดิน ทำให้พืชงอกงามดีขึ้น เพราะจุลินทรีย์เข้าย่อย ทำให้สิ่งปรับปรุงดินสลายตัว และปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช เมื่อสรุปความเป็นกรด-ด่างของดินแล้ว ดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกพืชควรจะมี pH อยู่ในช่วงเป็นกรดอ่อนถึงเป็นกรดปานกลาง (Garden, 2017)

2.4.2 การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity: EC)

การวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในสิ่งปรับปรุงดิน บ่งบอกถึงปริมาณเกลือที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำ เนื่องจากสิ่งปรับปรุงดินละลายในน้ำที่ค่าของไอออน (ion) ที่สามารถให้กระแสไฟฟ้าที่มีหน่วยขนาดเล็กมาก อันเป็นค่าที่ได้จากการวัดการนำกระแสไฟฟ้าจากพื้นที่หนึ่งควิกเซนติเมตรของสารอาหาร โดยปกติแล้วควรรักษาค่าการนำไฟฟ้าของสารอาหารระหว่าง 2.0-4.0 มิลลิโอมท์/เซนติเมตร (milliohms/cm) ของความเข้มข้นของสารละลาย (Salt) และความเข้มข้นของสารอาหารควรอยู่ในช่วง 1,000-1,500 ppm เพื่อให้แรงดันออสโมติกของกระบวนการดูดซึมธาตุอาหารของรากพืชได้สะดวก อีกทั้งค่าการนำไฟฟ้าจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ระยะการเติบโต เพราะถ้าหากค่าการนำไฟฟ้าที่สูงอาจจะยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำจะเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นก่อนการให้ผล (Vegetative growth) และสูงขึ้นเมื่อพืชให้ผลผลิต (Reproductive growth) (สุนทรีย์, 2553)

2.4.3 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity: CEC)

คุณสมบัติการแลกเปลี่ยนประจุบวกนั้น มีความสำคัญอย่างยิ่งในด้านปฐพีวิทยา ธรณีวิทยาและวิชาการสาขาอื่น ๆ ในด้านปฐพีวิทยานั้นจะเกี่ยวข้องกับการดูดซับธาตุอาหารของพืชในดิน ซึ่งเป็นไอออนบวก (Cation) จะเป็นประโยชน์ที่มีความคงทนต่อการชะล้าง เนื่องจากไอออน



3337906250

MJU 1Thesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

บวกคูดยี่ดอยู่ที่บริเวณผิวของสิ่งปรับปรุงดิน (Clay micelle) และยังสามารถเป็นประโยชน์ต่อพืชอีกด้วย ทั้งนี้เพราะรากพืชสามารถดึงเอาไอออนบวกนี้ไปใช้ได้โดยกระบวนการที่ เรียกว่า Contact exchange ซึ่งสมบัติทางฟิสิกส์ของดินบางประการ เช่น ความร่วนซุยความเหนียวของดิน ก็เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนประจุบวกเหมือนกัน เป็นต้น (Plaster, 2013)

2.4.4 พื้นที่ผิว (Surface area) รูพรุน (Pore volume) และความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Holding Capacity)

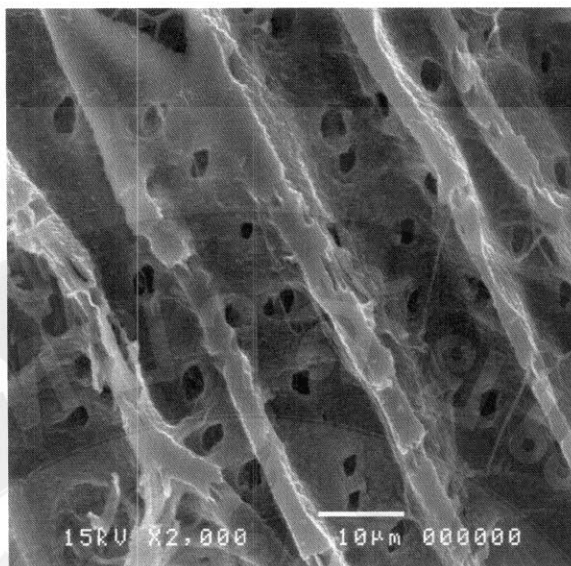
พื้นที่ผิวและรูพรุนที่ผิวไบโอชาร์ ซึ่งทำให้ไบโอชาร์สามารถเก็บกักน้ำและธาตุอาหาร รวมทั้งเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ ซึ่งขนาดและปริมาณของความพรุนในไบโอชาร์นี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาเผาและกรรมวิธีการเผา

โดยมักจะใช้วิธีการวิเคราะห์ The Brunauer, Emmett and Teller (BET) การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption หรือ physisorption) หลักการทำงานเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ เกิดจากการรวมแรง 2 ชนิดคือ แรงกระจาย (Dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatics force) ซึ่งเป็นแรงดึงดูดอย่างอ่อน ส่งผลให้เกิดการคายความร้อนค่อนข้างต่ำ ทำให้เกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย นั้นหมายถึงการฟื้นฟูสภาพของสารดูดซับก็ทำได้ง่าย เช่นกัน สารที่ถูกดูดซับนั้นสามารถดูดซับเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer) ได้โดยในชั้นแรกนั้นสาร ถูกดูดซับจะถูกดูดซับบนพื้นผิว และชั้นที่สองจะถูกดูดซับบนโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับในชั้นแรก และมีแรงอ่อน ๆ จากพื้นผิวตามระยะที่ห่างจากพื้นผิว โดยจำนวนชั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ สำหรับการดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption หรือ Chernisorption) เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อสารถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยากัน ส่งผลให้เกิด การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวดูดซับเต็ม ซึ่งเป็นการสร้างพันธะเคมีระหว่างสารถูกดูดซับกับ พื้นผิวของตัวดูดซับ พันธะเคมีเป็นพันธะที่แข็งแรง จึงทำให้มีความร้อนของการดูดซับสูง ทำให้การกำจัดสารถูกดูดซับออกจากพื้นผิวทำได้ยาก และการดูดซับประเภทนี้เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (macrolayer) เท่านั้น (Central Lab Science TU, 2558)



3337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11



ภาพที่ 4 ลักษณะของพื้นที่ผิวและรูพรุนที่เกิดในใบโอบเชย

2.4.5 องค์ประกอบแร่ธาตุหลัก (Micronutrient) และแร่ธาตุโลหะหนัก (Heavy metal)

ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งสามารถถูกจัดได้จากเกณฑ์คือ ถ้าหากพืชขาดสารอาหารนี้แล้ว ทำให้พืชไม่สามารถวงจรชีวิตได้ตามปกติ หรือสารนั้นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของพืชหรือส่วนประกอบของสารตัวกลางในกระบวนการสร้างและสลายของสารนั้นๆ (Metabolite) พืชสามารถรับสารอาหารทางดินได้โดยการแลกเปลี่ยนประจุ โดยที่รากปล่อยจะปล่อยประจุไฮโดรเจน (H⁺) ลงไปในดิน และประจุไฮโดรเจนนี้จะไปแทนที่ไอออนประจุบวกที่อยู่ในดิน (ซึ่งเป็นประจุลบ) จึงทำให้สารอาหารที่อยู่ในรูปประจุบวกสามารถถูกรากดูดซึมเข้าไปได้ (สารานุกรมเสรี, 2564) โดยแสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 1-2

โดยมีเทคนิคการวิเคราะห์หาลองค์ประกอบแร่ธาตุ แบ่งแยกตามความละเอียดของแต่ละเทคนิค ซึ่งมักนิยมใช้วิธีการนำตัวอย่างมาย่อยและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ทั้งหมด 3 แบบ (กองวิจัย มปพ) ดังนี้

1) Atomic absorption spectroscopy (AAS) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุโลหะหนักที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่งเพราะเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความแม่นยำ มีสภาพความไวสูง สามารถใช้วิเคราะห์ธาตุต่างๆ ได้ถึง 67 ธาตุ โดยมีหลักการคือ การดูดกลืนพลังงานที่มีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันของอะตอมของโลหะหนักแต่ละชนิด เมื่อโลหะหนักต่างๆ ที่อยู่ในสารละลายถูกทำให้เป็นอะตอมอิสระ โดยใช้พลังงานความร้อนจากเปลวไฟหรือจากไฟฟ้า อะตอมอิสระเหล่านี้จะถูกพลังงานแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (Hollow cathode lamp) ดูดกลืน ซึ่งธาตุโลหะหนักแต่ละตัวจะดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกัน อะตอมของธาตุโซเดียมจะดูดกลืนแสงได้ดีที่ความ



3337906250

ยาวคลื่น 589 นาโนเมตร ปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักนั้นๆ ที่มีสารละลายตัวอย่าง ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเข้มข้นของธาตุโลหะหนักที่ดูดกลืนแสงนั้น ซึ่งความเข้มข้นของธาตุโลหะหนัก ในสารละลายตัวอย่างจะหาได้โดยการเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน การวิเคราะห์ธาตุโลหะหนัก ด้วยเทคนิค AAS สามารถทำได้หลายวิธี คือ

- Flame Atomization Technique ใช้ในกระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟ

- Flameless Atomization Technique ใช้ในกระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (Electro thermal atomizer หรือ graphite furnace)

2) เครื่องวิเคราะห์ ICP-OES (Inductively coupled plasma-optical emission spectrometry) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่ทำการตรวจวัดความยาวคลื่นที่อะตอมคายพลังงานออกมาในรูปแสง สามารถวัดสเปกตรัมแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นและช่วงอัลตราไวโอเล็ต (Visible and Ultraviolet Region) โดยใช้หลักการ Atomic Emission, AE คืออะตอมของธาตุแต่ละธาตุประกอบด้วยนิวเคลียสเป็นศูนย์กลาง โดยมีอิเล็กตรอนอยู่โดยรอบ ถ้ามีการให้พลังงานถ่ายเทเข้าสู่อะตอมจำนวนมาก เช่น การให้พลังงานความร้อน หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานสูง เป็นต้น พลังงานเหล่านี้จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนในอะตอมเปลี่ยนสภาพจากที่เคยอยู่ในสภาวะพื้น (Ground State) เข้าสู่ช่วงระดับพลังงานสูง (Excited State) กระบวนการนี้เรียกว่า Atomic Absorption, AA อย่างไรก็ตามอิเล็กตรอนไม่สามารถอยู่ในระดับสภาวะพลังงานสูงได้นาน ดังนั้น อิเล็กตรอนจะคายพลังงานออกมาเพื่อกลับเข้าสู่สภาวะพื้น หรือกลับเข้าสู่สภาวะพลังงานกระตุ้นระดับต่ำกว่าขบวนการนี้เรียกว่า Atomic Emission, AE ซึ่งจะเกิดขึ้นเร็วมาก ใช้เวลาประมาณหนึ่งในร้อยล้านวินาที พลังงานที่คายออกมาจะเป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงสเปกตรัมต่างๆ โดยธาตุที่ถูกกระตุ้นแต่ละชนิดจะปล่อยสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นเฉพาะของแต่ละธาตุออกมา ความเข้มของสเปกตรัมจะแปรผันตามจำนวนอะตอมที่ดูดพลังงานเข้าไป

3) เครื่องวิเคราะห์ ICP-MS เป็นเครื่องมือที่ โดยใช้ quadrupole หรือ magnetic sector analyzer โดยไอออนที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะมีค่า background ต่ำมาก จึงมี detection limit ที่ดีมากกว่าทุกๆ ธาตุ ซึ่งโดยปกติแล้วจะสามารถวัดได้ถึงระดับไมโครกรัมต่อลิตร ภายใต้การควบคุมสภาพแวดล้อมที่ดี (SVGroup, 2019)



337906250

MJU IThesis 6103309007 thesis / revv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

ตารางที่ 1 บทบาทและหน้าที่ขององค์ประกอบแร่ธาตุหลัก

แร่ธาตุหลัก	บทบาทและหน้าที่
ไนโตรเจน (N)	<p>ธาตุที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะในการสร้างกรดอะมิโน (Amino Acids) กรดนิวคลีอิก (Nucleic Acids) โปรตีน และฮอร์โมนชนิดต่าง ๆ รวมไปถึงการมีความเกี่ยวพันโดยตรงต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งไนโตรเจนเป็นหนึ่งในองค์ประกอบหลักของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ที่ทำให้พืชมีสีเขียว</p> <p>ในสภาวะขาดแคลน : สีของใบเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ขนาดของใบเล็กลง ลำต้นแคระแกร็น และมีผลผลิตต่ำ</p>
ฟอสฟอรัส (P)	<p>ธาตุอาหารที่กระตุ้นและเร่งการเจริญเติบโตของรากพืช เป็นธาตุที่ส่งผลต่อการควบคุมการออกดอก ออกผล และการสร้างเมล็ด อีกทั้ง ยังมีความสำคัญต่อกระบวนการต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการสังเคราะห์แสง การกักเก็บและถ่ายโอนพลังงาน และกระบวนการหายใจของพืช</p> <p>ในสภาวะขาดแคลน : ระบบรากของพืชไม่สามารถเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ ใบแก่จะมีการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีม่วงแล้วกลายเป็นสีน้ำตาลและหลุดร่วง ลำต้นแคระแกร็น และไม่ผลิดอกออกผล</p>
โพแทสเซียม (K)	<p>ธาตุอาหารที่มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีน ส่งเสริมกระบวนการเคลื่อนย้ายน้ำตาล แป้ง และน้ำมัน รวมถึงประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชและการให้ผลผลิต อีกทั้ง ยังช่วยส่งเสริมพืชในการต้านทานโรคและแมลงบางชนิด</p> <p>ในสภาวะขาดแคลน : ลำต้นไม่แข็งแรง การเจริญของดอกและผลไม่สมบูรณ์ ผลผลิตมีคุณภาพต่ำ</p>



3337906250

MJU :Thesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

ตารางที่ 2 บทบาทและหน้าที่องค์ประกอบแร่ธาตุโลหะหนักที่มีประโยชน์

แร่ธาตุโลหะหนัก	บทบาทและหน้าที่
แมกนีเซียม (Mg)	<ul style="list-style-type: none"> - เสริมสร้างคลอโรฟิลล์ และเพิ่มให้ใบมีสีเขียว - ช่วยในการเคลื่อนย้ายธาตุฟอสฟอรัส (P) ได้ดีและเพิ่มธาตุเหล็ก (Fe) - เสริมสร้างให้พืช มีความต้านทานต่อโรคพืชต่าง ๆ
แคลเซียม (Ca)	<ul style="list-style-type: none"> - ช่วยเสริมสร้างเซลล์ และแบ่งเซลล์ของพืช - ช่วยให้สีเนื้อ สีมิวของผลผลิตใส และป้องกันผลร่วง - ดึงดูดธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ได้ อย่างมีประสิทธิภาพ
ทองแดง (Cu)	<ul style="list-style-type: none"> - ช่วยสร้างสารสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ (เพิ่มโมเลกุลของคลอโรฟิลล์) ป้องกันการถูกทำลายของส่วนสีเขียว รวมทั้งมีส่วนสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง - เป็นส่วนประกอบของเอ็นไซม์ในพืช (เร่งปฏิกิริยาของเอ็นไซม์) อันมีผลต่อการหายใจของพืช การเจริญเติบโต การติดดอก ออกผลของพืช (เพิ่มความหวานในผลไม้ เพิ่มกลิ่นในผลไม้และผัก เพิ่มความเข้มของสี) - ช่วยให้พืชดูดธาตุเหล็กที่อยู่ในดินมาใช้ประโยชน์ได้
สังกะสี (Zn)	<ul style="list-style-type: none"> - สังเคราะห์โปรตีนและน้ำตาล - การเจริญพันธุ์และการเพาะด้วยเมล็ด
เหล็ก (Fe)	<ul style="list-style-type: none"> - มีส่วนช่วยในกระบวนการสังเคราะห์แสง - การผลิตอาหารของพืช มีบทบาทในการกระตุ้นกระบวนการหายใจ - การเจริญเติบโตให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์
แมงกานีส (Mn)	<ul style="list-style-type: none"> - กระบวนการสังเคราะห์แสงและการทำงานของเอ็นไซม์ มีผลต่อการเจริญของใบ - ควบคุมกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการนำธาตุเหล็ก (Fe) และไนโตรเจน (N) มาใช้ประโยชน์อีกด้วย - ช่วยให้พืชสามารถดูดซึมแคลเซียม (Ca) และไนโตรเจน (N) ได้ดียิ่งขึ้น



3337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

แร่ธาตุโลหะหนัก	บทบาทและหน้าที่
โบรอน (B)	- มีส่วนช่วยในการออกดอกและการผสมเกสรของพืช - เคลื่อนย้ายน้ำตาลมาสู่ผล การเคลื่อนย้ายฮอร์โมน และการแบ่งเซลล์ของพืชอีกด้วย

แร่ธาตุโลหะหนักบางชนิด ถ้าหากมีปะปนในสิ่งปรับปรุงดิน หากพืชดูดซับแร่ธาตุเหล่านี้ไปเมื่อร่างกายของมนุษย์ได้รับ อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพและการดำเนินชีวิตได้ โดย (Siamchemi, 2561) แสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 บทบาทและหน้าที่องค์ประกอบแร่ธาตุโลหะหนักที่ไม่มีประโยชน์

แร่ธาตุหลัก	ผลกระทบของแร่ธาตุ
แคดเมียม (Cd)	- เอนไซม์หลายชนิดไม่ทำงาน - ระบบย่อย และเผาผลาญสารอาหาร และพลังงานบกพร่อง - ขัดขวางการสร้างเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง - ร่างกายชุ่มผม อ่อนเพลีย - ร่างกายหนาวสั่น และมีไข้ - ความดันเลือดสูง - หากร่างกายมีแคดเมียมมากกว่า 15 ppm จะเกิดภาวะโปรตีนในปัสสาวะสูง - ไตทำงานผิดปกติ เกิดภาวะไตวาย - เกิดโรคอิต-อิต ทำให้ มีอาการปวดตามข้อตามกระดูก สายตาพร่ามัว ท้องร่วง อาเจียน ตับวาย และมีโอกาสเสียชีวิตตามมา
โครเมียม (Cr)	- ผิวหนังเกิดการอักเสบ - เยื่อบุของอวัยวะภายในต่างๆเกิดการระคายเคือง และถูกทำลาย - ไต ตับ ปอดทำงานผิดปกติ และถูกทำลาย - ระบบหายใจขัดข้อง และล้มเหลวได้ง่าย เสี่ยงต่อการเสียชีวิตกะทันหัน



3337906250

MJU iThesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

แร่ธาตุหลัก	ผลกระทบของแร่ธาตุ
ตะกั่ว (Pb)	<ul style="list-style-type: none"> - พิษเฉียบพลัน คือ ร่างกายอ่อนเพลีย วิงเวียนศีรษะ อาเจียน กล้ามเนื้อกระตุก - ปวดหัว นอนหลับยาก - พิษเรื้อรัง คือ ทำให้เป็นโรคโลหิตจาง ร่างกายชুবวม - ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ - ยับยั้งกระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดง - กระดูกผุกร่อน - ทำลายระบบเซลล์ประสาท ทำให้สมองบวม และยับยั้งการทำงานของสารเคมีในสมองจนเสี่ยงต่อภาวะความจำเสื่อม และมีอาการทางประสาท - ไตถูกทำลาย จนเกิดภาวะไตวาย - ระบบสืบพันธุ์ทำงานผิดปกติ ตัวอสุจิอ่อนแอ และรังไข่ฝ่อง่าย เกิดภาวะเป็นหมัน เสี่ยงต่อการมีบุตรยาก - ประจำเดือนมาไม่ปกติ
ปรอท (Hg)	<ul style="list-style-type: none"> - เกิดอาการปวดท้อง และท้องเสียอย่างรุนแรง - เหนื่อย และต่อมน้ำลายถูกทำลาย มีลักษณะรอยเป็นไหม้ - ระบบประสาทเกิดความผิดปกติ - สายตามัว มองไม่เห็น และอาจทำให้ตาบอด - ทำให้เกิดความจำเสื่อม
นิกเกิล (Ni)	<ul style="list-style-type: none"> - มีอาการคลื่นไส้ ปวดศีรษะ อาเจียน และเจ็บหน้าอก - ร่างกายอ่อนเพลีย ชুবวม - ปอดอักเสบรุนแรง - ซีพจรเต้นเร็วผิดปกติ เกิดภาวะความดันเลือดสูง เสี่ยงต่อเส้นเลือดในสมองแตกจนกลายเป็นอัมพฤกษ์ อัมพาต - เสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง



337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

ตารางที่ 4 ปริมาณโลหะหนักของไบโอชาร์ ตามมาตรฐาน IBI และ EBC

มาตรฐาน IBI	มาตรฐาน EBC
Basic grade:	As 12-1000 mg kg ⁻¹
Pb < 150 mg kg ⁻¹	Cd 1.4-39 mg kg ⁻¹
Cd < 1.5 mg kg ⁻¹	Cr 64-1200 mg kg ⁻¹
Cu < 100 mg kg ⁻¹	Co 40-150 mg kg ⁻¹
Ni < 50 mg kg ⁻¹	Cu 63-150 mg kg ⁻¹
Hg < 1 mg kg ⁻¹	Pb 70-500 mg kg ⁻¹
Zn < 400 mg kg ⁻¹	Hg 1-17 mg kg ⁻¹
Cr < 90 mg kg ⁻¹	Mo 5-20 mg kg ⁻¹
Premium grade:	Ni 47-600 mg kg ⁻¹
Pb < 120 mg kg ⁻¹	Se 2-36 mg kg ⁻¹
Cd < 1 mg kg ⁻¹	Zn 200-7000 mg kg ⁻¹
Ni < 30 mg kg ⁻¹	Bo Declaration
Cu < 100 mg kg ⁻¹	Cl Declaration
Hg < 1 mg kg ⁻¹	Na Declaration
Zn < 400 mg kg ⁻¹	
Cr < 80 mg kg ⁻¹	

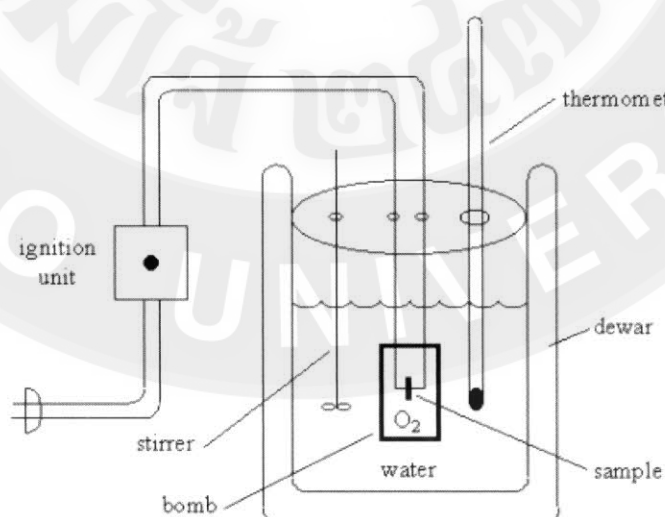
2.4.6 ค่าพลังงานความร้อน (Thermal energy)

ปริมาณความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ (Combustion) ของชีวมวลแต่ละชนิด โดยทั่วไปค่าความร้อนจะแสดงในรูปของปริมาณความร้อนต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักหรือหนึ่งหน่วยปริมาตร ยกตัวอย่างเช่น MJ/kg สำหรับของแข็ง MJ/CM (ลูกบาศก์เมตร) สำหรับของเหลว และ MJ/N.CM (ลูกบาศก์เมตรปกติ, Normal Cubic meter) สำหรับก๊าซ (อ้างอิงที่ อุณหภูมิ 0 °C และความดัน 1.01325 bar) เป็นต้น ค่าความร้อนสามารถแบ่งได้ 2 รูปแบบได้แก่ ค่าความร้อนสูงสุด (Higher Heating Value, HHV) และ ค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value, LHV) โดย HHV เป็นค่าความร้อนสูงสุดของชีวมวลนั้น ๆ เป็นค่าความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้และรวมกับค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำของความชื้นที่อยู่ในชีวมวลนั้น ๆ ฉะนั้นค่า HHV นั้นไม่ขึ้นอยู่กับค่าความชื้นที่อยู่ในชีวมวล ส่วน LHV คือ ค่าความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ชีวมวล ซึ่งค่าความชื้นจะมีผลโดยตรงกับค่า LHV นี้ (EnergyGuru, 2560)



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนและค่าความชื้นของชีวมวล
ที่มา: EnergyGuru (2560)

โดยจะใช้วิธีการวิเคราะห์ Bomb calorimeter จะใช้หลักการทำงานของ Direct calorimetry ซึ่งเป็นการวัดปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาด้วยออกซิเจน ภายใต้สภาวะความสูง (High pressure) จากนั้นให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน Fuse และทำให้เกิดการจุดระเบิด (Ignites) เนื่องจาก Calorimeter จะถูกหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกไปสู่สภาวะแวดล้อม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำทำให้ทราบปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยปริมาณพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ (Heat of combustion) ออกมาในปริมาณที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 6 โครงสร้างภายใน Bomb calorimeter

ที่มา: สุเนตร สืบคำ (2564)



3337906250

MJU iThesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

2.4.7 ความหนาแน่น (Bulk density)

เป็นปัจจัยสำคัญในแง่ของค่าการขนส่งและค่าการเก็บรักษา ความหนาแน่นรวมนั้นเป็นข้อมูลที่สำคัญในการออกแบบขนาดที่เก็บชีวมวลให้เหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการชีวมวลในกระบวนการต่างๆ ชีวมวลบางชนิด เช่น ฟางข้าวหรือแกลบ จะมีความหนาแน่นน้อยจึงมีปัญหาในการขนส่งมาก (EnergyGuru, 2560)

2.4.8 การสมดุลมวลสาร (Mass balance)

การสมดุลมวลสารเป็นการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ โดนการทำสมดุลมวลสารจะทำให้ทราบปริมาณวัตถุดิบที่ใช้และผลิตภัณฑ์ที่ได้ในกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งพื้นฐานในการคำนวณจะใช้หลักของ “กฎการอนุรักษ์มวลสาร (The law of conservation of mass)” กฎนี้กล่าวไว้ว่า “มวลสารของระบบหนึ่ง ๆ จะต้องคงที่เสมอ ไม่ว่าภายในระบบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรก็ตาม” กล่าวคือ มวลสารไม่มีวันสูญหาย

$$\text{มวลสารที่ออกจากระบบ} = \text{มวลสารที่เข้าระบบ} - \text{มวลสารที่สะสมในระบบ}$$



2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันมีการศึกษาการผลิตไบโอชาร์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน กล่าวคือ ไบโอชาร์ คือ อนินทรีย์วัตถุที่อุดมด้วยคาร์บอน ที่ใช้เป็นพลังงานทดแทนในด้านพลังงานได้โดยตรง คุณสมบัติของไบโอชาร์สามารถย่อยสลายได้จากธรรมชาติ (Park, Lee et al. 2014) ผลิตได้จากชีวมวลหลากหลายชนิด เช่น เศษวัสดุเกษตร และเศษไม้ต่างๆที่เหลือใช้ เป็นต้น (Lee, Park et al. 2013) โดยผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยวิธีการไพโรไลซิสแบบช้า ที่อุณหภูมิในช่วง 300-800 องศาเซลเซียส (Lee Park et al, 2013), (Jung Kim et al, 2016) ภายใต้สภาวะการกำจัดอากาศหรือภายใต้สภาวะไนโตรเจน (Luo Xu et al, 2015) ซึ่งคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้ปรับปรุงดินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่หลากหลายในการผลิต เช่น อุณหภูมิ เวลาการให้ความร้อน และชนิดของชีวมวล เป็นต้น (Zhang Liu et al, 2015)

ในด้านปัจจัยหนึ่ง อุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า ในช่วง 300-700 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อนในช่วง 5-25 องศาเซลเซียส/นาทีก่อน ภายใต้การสภาวะไนโตรเจน (N₂) ส่งผลให้ไบโอชาร์เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี อาทิ โครงสร้างโมเลกุล ส่วนประกอบ และคุณสมบัติ รวมถึงปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิความร้อนและการรักษาอุณหภูมิในช่วง 30 นาที ถึง 4 ชั่วโมง ในการไพโรไลซิส พบว่า ชีวมวลเกิดการสลายตัวของกลุ่มเซลลูโลสและเฮมิเซลลู ในช่วงอุณหภูมิ 300-400 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิที่มากกว่า 400 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวในกลุ่มลิกนิน ส่งผลให้ผลผลิตที่ได้มีปริมาณไบโอชาร์ลดลง (Jung Kim et al, 2016) รวมถึงคาร์บอน ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการสลายตัวของสารระเหยที่มีอยู่ในชีวมวล (Chen Yu et al, 2016), (Biswas Pandey et al, 2017) ความเป็นกรดต่าง (pH) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (Budai, Wang et al. 2014) เกิดจากความร้อนส่งผลให้ค่าความกรดในกลุ่มฟังก์ชัน -COOH และ -OH ลดลง (Park Lee et al, 2014) กลุ่มฟังก์ชันคาร์บอเนต (CaCO₃ MgCO₃) เป็นต้น (Lee Park et al, 2013) หรือกลุ่มแร่ธาตุโลหะหนัก (Si Na K) (Wang Brown et al, 2013) รวมถึงปริมาณธาตุที่มีปริมาณเพิ่ม (Claoston Samsuri et al, 2014) จะส่งผลให้ค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของชนิดวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอชาร์อีกด้วย (Manolikaki Mangolis et al, 2016) มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้น เกิดจากการสูญเสียฟังก์ชันความเป็นกรด (Wu Yang et al, 2012) อย่างไรก็ตามก็อาจจะขึ้นอยู่กับวิธีการตรวจสอบและแหล่งที่มาของชีวมวลที่นำมาใช้ในการทดสอบ (Mukherjee Zimmerman et al, 2011), (Munera-Echeverri Martinsen et al, 2018) อีกทั้งยังส่งผลให้พื้นที่ผิวและรูพรุนมีขนาดใหญ่ ด้วยกล้องส่องกราดจุลทรรศน์ด้วยวิธีการ Scanning electron microscopy (SEM) เพื่อดูลักษณะสัณฐานวิทยาของโครงสร้างภายในไบโอชาร์ (Shariff Aziz et al, 2016) ซึ่งรูพรุนที่เกิดขึ้นช่วยในการดูดซับน้ำ และแร่ธาตุอาหารที่พืชต้องการ (กันยาและสิทธิบูรณ์, 2558) โดยจากการศึกษาเหล่านี้เผยให้เห็นว่า



3337906250

MJU-IThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

คุณสมบัติต่าง ๆ ยังขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของชีวมวล ปัจจัยของกระบวนการทดสอบอีกด้วย เนื่องจากชีวมวลแต่ละชนิดมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกันเมื่อได้รับความร้อนในเวลาไม่เท่ากัน เช่น ช้างข้าวโพด (Budai Wang et al, 2014) ไม้ไผ่ (Sun Gao et al, 2014) แกลบ และฟางข้าว (Jindo Mizumoto et al, 2014) เป็นต้น

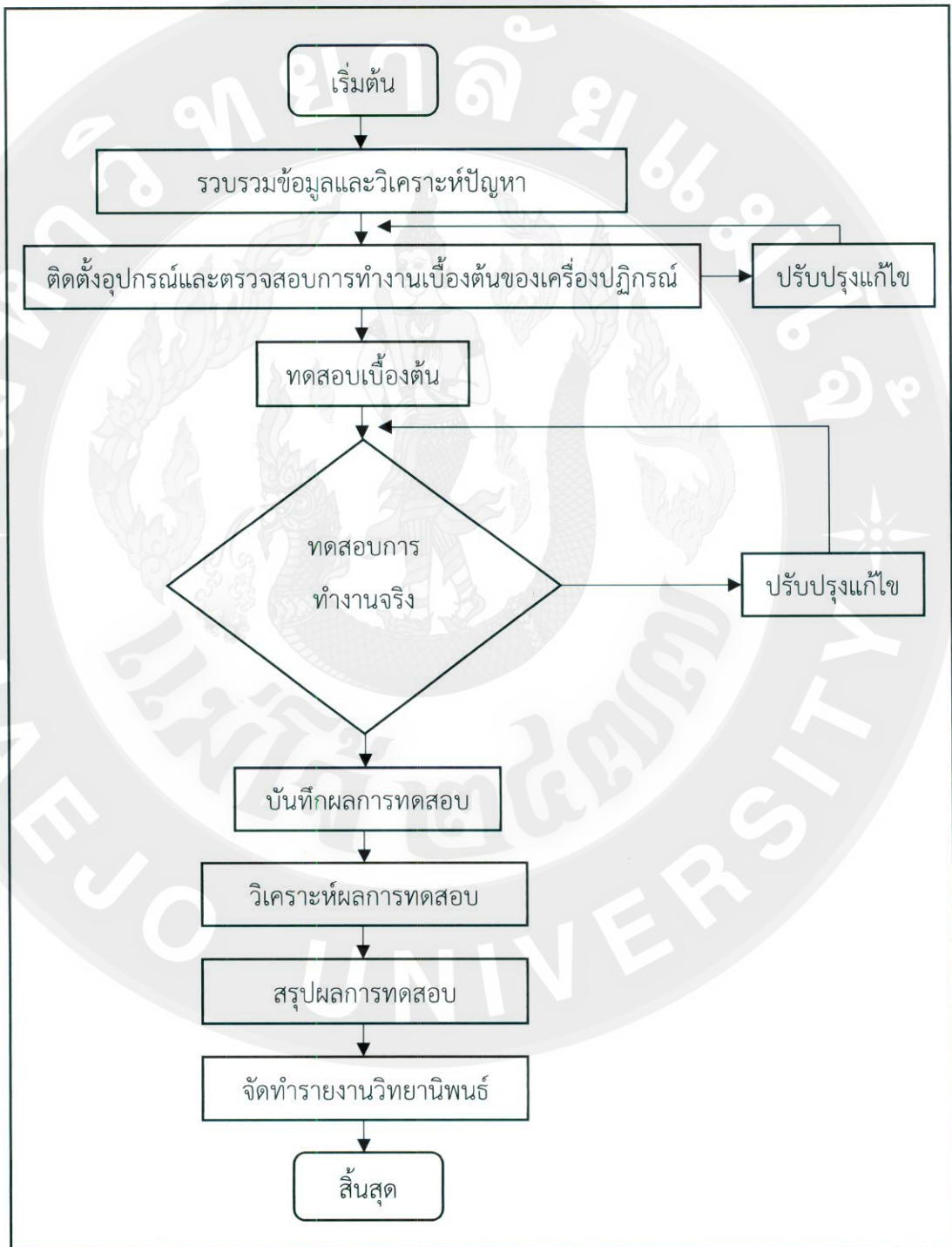


3337906250

MJU IThesis 6103309007 thesis / rev: 04062564 14:21:20 / seq: 11

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

3.1 แผนดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 8 แผนการดำเนินงานวิจัย



3337906250

MJU-IThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

จากภาพที่ 8 แผนการดำเนินงานวิจัย ได้เริ่มจากการศึกษาปัญหาเศรษฐกิจเกษตรที่มีปริมาณมากและรวบรวมวิธีการแก้ไขปัญหา โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า จากนั้นได้มีการรวบรวมข้อมูลและศึกษากลไกการผลิตไบโอชาร์ เพื่อให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย จากนั้นมีการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ ตรวจสอบเช็คการทำงานของเตาปฏิกรณ์ และได้ทำการทดสอบเบื้องต้น (Pretest) เพื่อที่จะใช้เป็นตัวเลือกหรือเป็นตัวกำหนดตัวแปรและขอบเขตของการศึกษา จากนั้นเมื่อได้ตัวแปรการศึกษาแล้วจะทำการทดสอบการผลิตไบโอชาร์ รวมถึงบันทึกข้อมูล และนำไปวิเคราะห์ผลการทดสอบ อีกทั้งสรุปผลและจัดทำวิทยานิพนธ์

3.2 การกำหนดตัวแปรศึกษา

การศึกษากการผลิตไบโอชาร์จากเศรษฐกิจเกษตรด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า โดยใช้เตาปฏิกรณ์แบบเบตนิ่งสำหรับผลิตถ่านชีวภาพด้วยตัวแปรศึกษาที่แตกต่างกัน โดยแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตัวแปรศึกษาในการผลิตไบโอชาร์

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม
1. เศรษฐกิจเกษตร 5 ชนิด ได้แก่ แกลบ ซังข้าวโพด เปลือกกล้วย เม็ดลำไย และกะลากาแฟ 2. อุณหภูมิในการผลิตไบโอชาร์ ได้แก่ 300 400 500 600 700 องศาเซลเซียส 3. การรักษาอุณหภูมิสุดท้ายของการผลิตไบโอชาร์ ได้แก่ 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง	1. การหาค่าประกอบของแร่ธาตุ (Ultimate) 2. การหาปริมาณกลุ่มสาร (Proximate) 3. ปริมาณผลผลิตไบโอชาร์ (Yield Product) 4. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 5. การนำไฟฟ้า (EC) 6. พลังงานความร้อน (Thermal Energy : HHV/LHV) 7. ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity : CEC) 8. พื้นที่ผิว (Surface area) และปริมาตรรูพรุน (Pore size)	1. เตาปฏิกรณ์ประเภทเบตนิ่ง 2. ใช้กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าในการผลิตไบโอชาร์ 3. ศึกษาภายใต้สภาวะไนโตรเจน (N_2) 4. อัตราการให้ความร้อน 10 (± 5) องศาเซลเซียสต่อนาที 5. อัตราการไหลของแก๊ส 100 (± 5) มิลลิลิตรต่อนาที



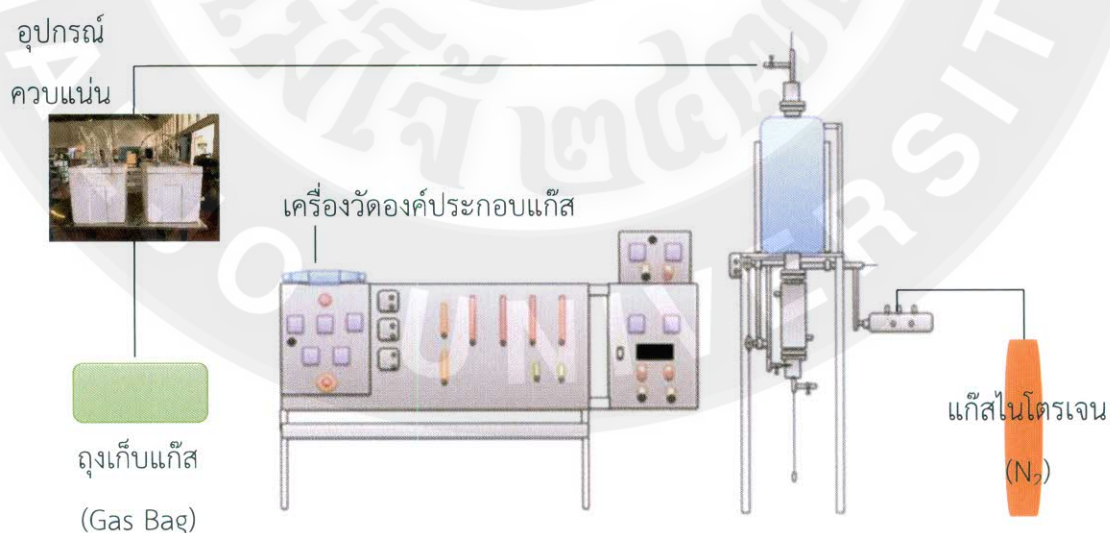
3337906250

MJU :Thesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม
	9. องค์ประกอบแร่ธาตุหลัก (Micronutrients) ได้แก่ N P K 10. องค์ประกอบแร่ธาตุโลหะหนัก (Heavy metal) 11. ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water holding capacity : WHC) 12. ความหนาแน่น (Bulk density) 13. ปริมาณแก๊ส (Volume gas) 14. องค์ประกอบของแก๊ส (Gas composition)	

3.3 การผลิตไบโอชาร์ในระดับห้องปฏิบัติการ

3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการผลิตไบโอชาร์



ภาพที่ 9 กระบวนการผลิตไบโอชาร์ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง



3337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / recv : 04062564 14:21:20 / seq : 11

การทำงานของเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ในการผลิตไบโอชาร์จะใช้พลังงานไฟฟ้าในการจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยห้องเผาไหม้ทำจากท่อสแตนเลส S304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM เพื่อให้ความร้อนแก่ชีวมวลที่อยู่ในห้องเผาไหม้ ที่อุณหภูมิ 300-700 องศาเซลเซียส โดยจะต้องป้อนแก๊สไนโตรเจน (N_2) ตลอดเวลาเมื่ออยู่ในกระบวนการผลิต เพื่อไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการลุกไหม้จากออกซิเจนของอากาศที่อาจจะเกิดไหลเข้ามาในเตาปฏิกรณ์ ซึ่งในระหว่างที่ชีวมวลได้รับความร้อนนั้นจะเกิดสารระเหยออกมาหรือเรียกว่า น้ำมันดิน (Tar) จะเข้าอุปกรณ์ควบแน่นด้วยสารไอโซโพรพานอลที่อุณหภูมิเข้าใกล้ -20 องศาเซลเซียส และปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น จะถูกเก็บไว้ในถุงเก็บแก๊ส อีกทั้งเตาปฏิกรณ์มีกำลังการผลิตไบโอชาร์จากชีวมวล 20 กรัม ต่อครั้งการทดสอบ ที่ 5-12 กรัม ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของชีวมวลที่นำมาใช้ในการทดสอบ

3.3.2 ขั้นตอนการทดสอบในการผลิตไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า

3.3.2.1 การผลิตไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า จากเศษวัสดุเกษตร ทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ แกลบ ชังข้าวโพด เปลือกลำไย เม็ดลำไย และกะลากาแฟ ซึ่งใช้ปริมาณของเศษวัสดุเกษตรทั้งหมด ชนิดละ 10-15 กิโลกรัม โดยจะนำชีวมวลมาลดความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ความชื้นของชีวมวลก่อนนำไปทดสอบจะต้องมีน้อยกว่าร้อยละ 10 และชีวมวลแต่ละชนิด จะต้องมีแหล่งที่มาเดียวกัน ดังนี้

- 1) แกลบ : ได้จากการแปรรูปจากข้าว พันธุ์สันป่าตอง
- 2) ชังข้าวโพด : ได้จากการแปรรูปจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
- 3) กะลากาแฟ : ได้จากการแปรรูปกาแฟ พันธุ์ราบิก้า
- 4) เปลือกและเม็ดลำไย : ได้จากการแปรรูปลำไย พันธุ์อีตอง

3.3.2.2 เมื่อลดความชื้นชีวมวลแล้ว ชั่งน้ำหนักชีวมวล 20 ± 1.0 กรัม ต่อครั้งในการทดสอบ ใส่ลงในถ้วยทดสอบ จากนั้นนำเข้าสู่ห้องเผาไหม้ในเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

3.3.2.3 ติดตั้งชุดทำความสะอาดแก๊สและชุดอุปกรณ์ควบแน่น สำหรับเก็บแก๊สและน้ำมันดินที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเผาไหม้

3.3.2.4 เริ่มทำการทดสอบ ด้วยการตั้งค่าอุณหภูมิเพื่อให้ความร้อน ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller) จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ ณ การทดสอบ ซึ่งทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 300 400 500 600 และ 700 องศาเซลเซียส โดยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจน (N_2) ที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที และรักษาอุณหภูมิที่ 1 ชั่วโมงและ 2 ชั่วโมง

3.3.2.5 หลังการสิ้นสุดกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 300 400 500 600 และ 700 องศาเซลเซียส ที่การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมงและ 2 ชั่วโมง ในแต่ละครั้งการทดสอบ จะ

หยุดการทำงานของเตาปฏิกรณ์เพื่อหยุดการจ่ายกระแสไฟฟ้าในการให้ความร้อน และทิ้งเตาปฏิกรณ์ให้เย็นลง ซึ่งขั้นตอนนี้ยังคงป้อนแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่เตาปฏิกรณ์ ที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตร

3.3.2.6 เมื่อเตาปฏิกรณ์เย็นลง ในห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส ปิดแก๊สไนโตรเจน และนำไปไอซาร์ออกจากเตาปฏิกรณ์ บางส่วนนำเข้าสู่ตู้อบลมร้อนทันที เพื่อวิเคราะห์หาค่าความชื้นของไบโอซาร์หลังสิ้นสุดกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า และส่วนที่เหลือนำเก็บบรรจุลงในถุงซิปลและกล่องพลาสติก เพื่อใช้สำหรับในการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของไบโอซาร์

3.3.2.7 จากนั้นนำแก๊สที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอซาร์ด้วยการไพโรไลซิส ณ สภาวะการทดสอบนั้น ๆ ป้อนเข้าสู่เครื่องวัดปริมาณแก๊ส (Gas Sensor) เพื่อวัดองค์ประกอบของแก๊ส ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide: CO) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide: CO₂) โดยแก๊สที่ได้จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ช่วงของการผลิตไบโอซาร์ และ ช่วงของการทิ้งให้เตาปฏิกรณ์เย็นลง

3.3.2.8 จากนั้นทำการทดสอบการผลิตไบโอซาร์ซ้ำ จำนวน 3 ครั้งการทดสอบ และขนาดของเตาปฏิกรณ์มีขนาดเล็ก ทำให้มีการผลิตไบโอซาร์จำนวนมาก เพื่อให้มีปริมาณเพียงพอต่อการนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติ ๆ โดยคุณสมบัติที่ได้จากการผลิตนี้ มีผลไม่แตกต่างกันมากที่สภาวะการผลิตเดียวกัน เนื่องจากเตาปฏิกรณ์มีขนาดเล็ก มีประสิทธิภาพในการผลิตสูง สามารถควบคุมอุณหภูมิและอัตราป้อนแก๊สได้ ซึ่งการผลิตไบโอซาร์แต่ละครั้งการทดสอบจะมีอุณหภูมิและอัตราการป้อนอากาศ ที่แตกต่างกันไม่เกิน (± 3)

3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของไบโอซาร์

3.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณไบโอซาร์ (Yield Biochar)

ปริมาณไบโอซาร์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า ซึ่งเกิดจากการกระบวนการเผาไหม้ โดยมีการสูญเสียน้ำหนักของชีวมวลและเกิดการระเหยสารต่าง ๆ ในระหว่างการผลิตไบโอซาร์ โดยคำนวณได้จากสมการ...(2)

$$Y_{\text{Biochar}} (\%wt) = [M_{\text{biochar}} (g) / M_{\text{Biomass}} (g)] \times 100 \quad \dots(2)$$

เมื่อ	$Y_{\text{Biochar}} (\%wt)$	คือ	ปริมาณโดยน้ำหนักของไบโอซาร์
	M_{Biochar}	คือ	น้ำหนักของไบโอซาร์ที่ได้จากการผลิต (กรัม)
	M_{Biomass}	คือ	น้ำหนักของชีวมวลก่อนการทดสอบ (กรัม)

3.4.2 การวิเคราะห์ค่าความชื้น (Water content)

ค่าความชื้นของไบโอชาร์ ทำการวิเคราะห์ด้วยมาตรฐาน ASTM D1762-84 โดยการนำไบโอชาร์ที่ได้หลังสิ้นสุดกระบวนการไพโรไลซิส ชั่งน้ำหนัก 5 ± 0.01 กรัม และนำไปลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นคำนวณด้วยสมการ...(3)

$$\text{Water content (\%wt)} = [(M_{\text{Biochar,B}} - M_{\text{Biochar,A}}) / M_{\text{Biochar,A}}] \times 100 \quad \dots(3)$$

เมื่อ	Water content (%wt)	คือ	ค่าความชื้นของไบโอชาร์
	$M_{\text{Biochar,B}}$	คือ	น้ำหนักของไบโอชาร์ก่อนลดความชื้น (กรัม)
	$M_{\text{Biochar,A}}$	คือ	น้ำหนักของไบโอชาร์หลังลดความชื้น (กรัม)

3.4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ธาตุ (Ultimate) และปริมาณกลุ่มสาร (Proximate)

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบแร่ธาตุ (Ultimate) เป็นการหาแร่ธาตุแยกแต่ละชนิดในชีวมวลและไบโอชาร์ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติชีวมวลและไบโอชาร์เมื่อได้กับความร้อนที่สภาวะแตกต่างกัน โดยวิเคราะห์หาแร่ธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) มาตรฐาน ASTM D 5373-16 (2016) ออกซิเจน (O) มาตรฐาน ISO 16993 (2015) ซัลเฟอร์หรือกำมะถัน (S) มาตรฐาน ASTM D4239-17 สำหรับวิเคราะห์หาสัดส่วน O/C H/C และ C/N ร่วมด้วย

การวิเคราะห์หาปริมาณกลุ่มสาร (Proximate) เป็นการวิเคราะห์สำหรับหาปริมาณความชื้น (Water content) มาตรฐาน ISO 18134-3 (2015) ปริมาณระเหย (Volatile matter) มาตรฐาน ISO 18123 (2015) ปริมาณเถ้า (Ash) มาตรฐาน ISO 18122 (2015) และปริมาณคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon) ด้วยวิธีการคำนวณจากสัดส่วนของปริมาณกลุ่มสารอื่น ๆ ซึ่งการวิเคราะห์นี้เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติที่แตกต่างกันระหว่างชีวมวลและไบโอชาร์เมื่อได้กับความร้อนที่สภาวะแตกต่างกัน

3.4.4 การวิเคราะห์ความเป็นกรดต่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของไบโอชาร์ ทำการวิเคราะห์ด้วยมาตรฐาน EBC (DIN ISO 10390) ในอัตราส่วน 1:5 (v:v) โดยมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้



3337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

1) นำไบโอชาร์บดย่อยอย่างละเอียด และนำไปลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปตวงด้วยบีกเกอร์ ให้ได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร

2) ชั่งสารแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ที่ 0.01 โมล ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร เพื่อใช้เป็นสารละลายในการวิเคราะห์ความเป็นกรดต่าง (pH) ของไบโอชาร์

3) นำไบโอชาร์ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เทผสมกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า ที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4) เมื่อเขย่าครบตามเวลาที่กำหนด นำไบโอชาร์ที่ผสมกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เทออกมารองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อป้องกันไบโอชาร์หลุดติดเข้าไปในเครื่อง จากนั้นวัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ด้วยเครื่อง PC450/EUTECH และบันทึกผลดังกล่าวที่แสดงบนหน้าจอ

3.4.5 การวิเคราะห์การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity: EC)

การนำไฟฟ้า (EC) ของไบโอชาร์ ทำการวิเคราะห์ด้วยมาตรฐาน EBC (DIN ISO 10390) ในอัตราส่วน 1:10 (v:v) โดยมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

1) นำไบโอชาร์บดย่อยอย่างละเอียด และนำไปลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปตวงด้วยบีกเกอร์ ให้ได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร

2) นำไบโอชาร์ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เทผสมกับน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า ที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4) เมื่อเขย่าครบตามเวลาที่กำหนด นำไบโอชาร์ที่ผสมกับน้ำกลั่น เทออกมารองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อป้องกันไบโอชาร์หลุดติดเข้าไปในเครื่อง จากนั้นวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC) ด้วยเครื่อง PC450/EUTECH และบันทึกผลดังกล่าวที่แสดงบนหน้าจอ

3.4.6 การวิเคราะห์พลังงานความร้อน (Thermal energy)

การวิเคราะห์พลังงานความร้อน ที่เกิดขึ้นในไบโอชาร์ด้วยวิธีการ Bomb calorimeter โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องทางเทคนิคโดยเฉพาะ ซึ่งแสดงรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

3.4.6.1 การเตรียมตัวอย่าง

1) บดย่อยตัวอย่างให้ละเอียดมีลักษณะเป็นผง จากนั้นชั่งตัวอย่างให้มีน้ำหนักประมาณ 1 กรัม และอัดให้เป็น pellet โดยใช้เครื่อง pellet press



2) นำตัวอย่างที่จะบรรจุในลูกบอมบ์มาวางในที่วางของ Bomb head ตัด lead wire ยาว 10 เซนติเมตร นำไปสอดใน eyelet โดยเลื่อน cap ขึ้นเมื่อสอดเสร็จแล้วทั้งสองข้าง และดึง cap ลง

3) นำ bomb head ใส่ใน oxygen bomb และปิดฝา

4) เติมออกซิเจนใน bomb โดนการเปิดวาล์วของถังออกซิเจน ตั้ง pressure gauge ไว้ที่ 450 psi จากนั้นกด O2 Fill key เครื่องจะทำการออกซิเจนอัตโนมัติ โดยใช้ เวลาประมาณ 60 นาที

5) เติมน้ำลงในกระบอกสแตนเลส (Bucket) ประมาณ 2000 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าเครื่อง bomb จากนั้นให้เครื่องเริ่มทำงานวิเคราะห์

6) เมื่อเครื่องทำงานเสร็จ นำ Oxygen bomb ออกมา ไล่แก๊สออก และนำ ฝา bomb head ออกมาวาง เพื่อวัดความยาวของขดลวดที่เหลือจากการเผาไหม้ และคำนวณพลังงาน ความร้อน

3.4.7 การวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity: CEC)

การวิเคราะห์ค่า CEC เป็นการพิจารณาประจุไอออนบวกที่จากการแยกสสารออกจาก ตัวอย่างด้วย NH_4 (Holmgren, Juve et al. 1977) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ไอออนบวกในกลุ่ม Ca^{2+} Mg^{2+} K^+ และ Na^+ ที่สกัดได้จาก NH_4OAc ด้วยเอทานอลหรือไอโซโพรพานอล ที่ pH7

3.4.7.1 ขั้นตอนในการเตรียมการทดลอง

การจัดเตรียมห้องและอุปกรณ์ ทำความสะอาดอุปกรณ์ เครื่องสกัดชีวมวล และ ห้องปฏิบัติการด้วยน้ำยาทำความสะอาด จากนั้นทำความสะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออน (DIW) ซึ่ง หลังทำความสะอาดอุปกรณ์ต่าง ๆ แล้วแช่ด้วยกรด อย่างน้อย 1 ชั่วโมง ทำมาล้างด้วยน้ำ DIW อีก หลาย ๆ ครั้ง และอบแห้งอุปกรณ์ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

การเตรียมไบโอชาร์ นำไบโอชาร์ บดย่อยให้มีขนาด 0.5-2 มิลลิเมตร และนำไปร่อน ด้วยตะแกรง เพื่อให้ไบโอชาร์มีขนาดเป็นไปตามวิธีการทดสอบ

3.4.7.2 การวิเคราะห์ค่า CEC ด้วย NH_4OAc 1 N pH 7

1) ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1 ± 0.05 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงไปใน centrifuge tubes ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำละลาย 1 N NH_4OAc 1 N pH 7 ลงไป 40 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้สารละลายด้วยเครื่อง horizontal shaker 15 ชั่วโมง



3337906250

MJU-IThesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

2) ทำการตั้ง Buchner funnel กับ Vacuum flask และเครื่อง Suction จากนั้นนำกระดาษกรองเบอร์ 42 (ใช้กระดาษกรองให้มีขนาดพอดีกับ Buchner funnel) ทำการชะกระดาษกรองด้วยน้ำ DIW (20 มิลลิลิตร) เทสารละลายทิ้ง

3) นำตัวอย่างออกจาก centrifuge tubes โดยการเทลงใน Buchner funnel นำ NH_4OAc 10 มิลลิลิตร ชะตัวอย่างที่ติดบริเวณหลอด centrifuge tubes การล้างต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง โดยการปรับแรงดูดให้พอเหมาะ

4) จากนั้นชะตัวอย่างด้วยสารละลาย NH_4OAc จำนวน 50 มิลลิลิตร เทประมาณ 25 มิลลิลิตรต่อครั้ง โดยค่อยๆเติมลงไปหลังจากสารละลาย NH_4OAc ใน Buchner funnel ลดลง จนเห็นตัวอย่างไหลออกมา ระวังอย่าให้ตัวอย่างแห้ง จากนั้นล้างเอาส่วนของ NH_4OAc ที่เหลืออยู่ตามช่องว่างดินออกให้หมดโดยการชะล้างด้วย ethyl alcohol จำนวน 10 มล. จำนวน 3 ครั้ง

5) จากนั้นนำตัวอย่างใน Buchner funnel ไปแช่ด้วย KCl 2M ใน Erlenmeyer flask จำนวน 50 มล. เป็นเวลา 15 ชั่วโมง

6) ทำการตั้ง Buchner funnel กับ Vacuum flask และเครื่อง Suction จากนั้นนำกระดาษกรองเบอร์ 42 (ใช้กระดาษกรองให้มีขนาดพอดีกับ Buchner funnel) ทำการชะกระดาษกรองด้วยน้ำ DIW (20 มิลลิลิตร) เทสารละลายทิ้ง

7) นำตัวอย่างจากข้อ 5 มาสกัดโดยการเทลงใน Buchner funnel นำ KCl 2M จำนวน 40 มิลลิลิตร ชะตัวอย่างที่ติดบริเวณ Erlenmeyer flask

8) เทสารละลายทั้งหมดใน Suction flask ลงสู่ volumetric flask แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มล. ด้วย KCl 2M พร้อมทั้งนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3.4.7.3 การกลั่นและวิเคราะห์หาปริมาณ NH_4^+

1) ดูดสารละลายออกมา 50 มล. ใส่ลงในหลอดกลั่นของเครื่องกลั่นหาไนโตรเจน

2) เติม 10 N NaOH ลงไปประมาณ 40 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปกลั่น เมื่อสารละลายที่กลั่นผสมกับสารละลาย H_3BO_3 จำนวน 10 มิลลิลิตร เก็บปริมาตรสารละลายใน Flask H_3BO_3 ให้ได้ประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ NH_3 ในสารละลาย H_3BO_3

3) ไทเทรตกับ HCl ความเข้มข้น 0.05 N ให้สีของสารละลายกลับจากสีเขียวเป็นสีม่วงปนแดง ทำการบันทึกปริมาตรของกรดที่ใช้ไว้

4) ทำ Blank ควบคุมไปกับตัวอย่างด้วย โดยใช้สารละลาย KCl แทน จากนั้นทำการคำนวณ ดังสมการ...(4)



3337906250

MJU :Thesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

$$\text{สูตร} \quad \text{CEC} = (A-B) \times C \times T/Q \times 100/W \quad \dots(4)$$

เมื่อ	A	=	ปริมาตรกรดที่ใช้ไทเทรต
	B	=	ปริมาตรกรดที่ใช้กับ Blank
	C	=	ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ไทเทรต
	T	=	ปริมาตรของสารละลายที่ใช้สกัดออกมาทั้งหมด
	Q	=	ปริมาตรของสารละลายที่นำมากลั่นหา NH ₄ ⁺
	W	=	น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้

3.4.8 การวิเคราะห์พื้นที่ผิว (Surface area) และรูพรุน (Pore volume)

การวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน จะวิเคราะห์ด้วยวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ด้วยกำลังไฟฟ้า 15 kV เคลือบด้วยแผ่นทองเพื่อศึกษาพื้นที่ผิวในลักษณะสัญญาณวิทยา รายละเอียดของลักษณะพื้นที่ผิว และการเรียงตัวของผลึกด้วยระบบการรับสัญญาณเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอน สำหรับใช้เทียบผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุนด้วยวิธีการ BET โดยอาศัยเทคนิคการแทนที่พื้นที่ผิวและรูพรุน ด้วยการดูดซับแก๊สไนโตรเจน (N₂) ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จากเครื่อง Model Autosorb 1 MP, ยี่ห้อ Quantachrome

3.4.9 การวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ธาตุหลัก (Micronutrients) และแร่ธาตุโลหะหนัก (Heavy metal)

การวิเคราะห์แร่ธาตุหลัก (Micronutrients) เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ด้วยวิธีการตามมาตรฐาน AOAC และ OMAF เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติของต่างๆของชีวมวลและไบโอชาร์ที่ได้จากการผลิต โดยผลการทดสอบเปรียบกับมาตรฐานของไบโอชาร์ EBC และ IBI แสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 6

การวิเคราะห์แร่ธาตุโลหะหนัก (Heavy metal) เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ธาตุโลหะทั้งหมด 15 แร่ธาตุ ดังตารางที่ 6



3337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

ตารางที่ 6 องค์ประกอบแร่ธาตุโลหะหนัก

ลำดับที่	แร่ธาตุโลหะหนัก
1	แมกนีเซียม (Mg)
2	แคลเซียม (Ca)
3	ตะกั่ว (Pb)
4	แคดเมียม (Cd)
5	ทองแดง (Cu)
6	นิกเกิล (Ni)
7	ปรอท (Hg)
8	สังกะสี (Zn)
9	โครเมียม (Cr)
10	เหล็ก (Fe)
11	แมงกานีส (Mn)
12	สารหนู (As)
13	โคบอลต์ (Co)
14	ซีลีเนียม (Se)
15	โบรอน (B)

การวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ธาตุโลหะหนัก จะใช้วิธีการตามมาตรฐาน IBI ด้วยเครื่องวิเคราะห์ ICP-OES ซึ่งใช้เครื่องมือแบบชุด Kit standard เพื่อให้วิธีการวิเคราะห์มีรูปแบบเดียวกัน โดยประกอบไปด้วย 2 วิธีการ คือ การวิเคราะห์โลหะหนักในชีวมวล และการวิเคราะห์โลหะหนักในไบโอชาร์

1) การเตรียมตัวอย่าง การวิเคราะห์โลหะหนักของชีวมวลและไบโอชาร์ บดย่อยตัวอย่างให้มีลักษณะเป็นผงละเอียด นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้น จากนั้นนำไปชั่งให้ได้ปริมาณ 0.2 ± 0.050 กรัม และนำไปใส่ในขวดเวสเซล ที่มีกรด Nitric acid 65% ในปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ H_2O_2 ในปริมาตร 2 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้กรดได้ทำปฏิกิริยากับตัวอย่าง

2) การย่อยตัวอย่าง เมื่อกรดทำปฏิกิริยากับตัวอย่างครบ 30 นาที ปิดขวดเวสเซล เพราะจะได้ความดันที่สูงและลดการปนเปื้อนของสารอื่น ๆ รวมถึงช่วยลดการระเหยของสารที่ต้องการวิเคราะห์ จากนั้นนำไปย่อยด้วยเครื่อง Microwave digestion ซึ่งการตั้งอุณหภูมิในการให้



ความร้อนของการย่อยชีวมวล แสดงดังในตารางที่ 7 และการย่อยไบโอชาร์ แสดงดังในตารางที่ 8 หลังสิ้นสุดกระบวนการย่อยตัวอย่างแล้ว ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที ให้สารเย็นแล้วทำการกรองด้วยกระดาษกรองและปรับปริมาตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน ที่ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

ตารางที่ 7 การตั้งค่าอุณหภูมิในโปรแกรมการย่อยด้วยเครื่อง Topwave ของชีวมวล

Step	Temp °C	Pressure (bar)	Ramp (min)	Time (min)	Power %
1	160	40	10	15	70
2	180	40	5	15	90
3	50	40	1	10	0
4	50	40	1	10	0
5	50	40	1	10	0

ตารางที่ 8 การตั้งค่าอุณหภูมิในโปรแกรมการย่อยด้วยเครื่อง Topwave ของไบโอชาร์

Step	Temp °C	Pressure (bar)	Ramp (min)	Time (min)	Power %
1	160	40	10	5	90
2	200	40	5	20	90
3	210	40	5	25	100
4	50	40	1	10	0
5	50	40	1	10	0

3) นำสารตัวอย่างที่ได้จากการย่อย ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-OES จากการตรวจวัดความยาวคลื่นที่อะตอมคายพลังงานออกมาในรูปแสง โดยมีการกำหนดค่าพลาสมา Plasma Quant 9000 Elite ด้วยอุปกรณ์ชุดมาตรฐาน (Standard kit) ดังแสดงในตารางที่ 9 จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม และบันทึกผลองค์ประกอบแร่ธาตุต่าง ๆ ที่แสดงบนหน้าจอ



ตารางที่ 9 การกำหนดค่าพลาสมาในการวิเคราะห์แร่ธาตุโลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-OES

Parameter	Specification
RF Power	1200 W
Plasma Gas Flow	12 L/min
Nebulizer Gas Flow	0.5 L/min
Auxiliary Gas Flow	0.5 L/min
Nebulizer	Concentric Nebulizer (borosilicate , 1.0 mL/min)
Spray Chamber	Cyclonic spray chamber, 50 mL, Borosilicate
Injector	Quartz, 2 mm
Outer Tube/Inner Tube	Quartz/Quartz
Pump tubing	PVC
Sample Pump Rate	1.0 mL/min
Rinse/Read delay	45 s

3.4.10 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water holding capacity: WHC)

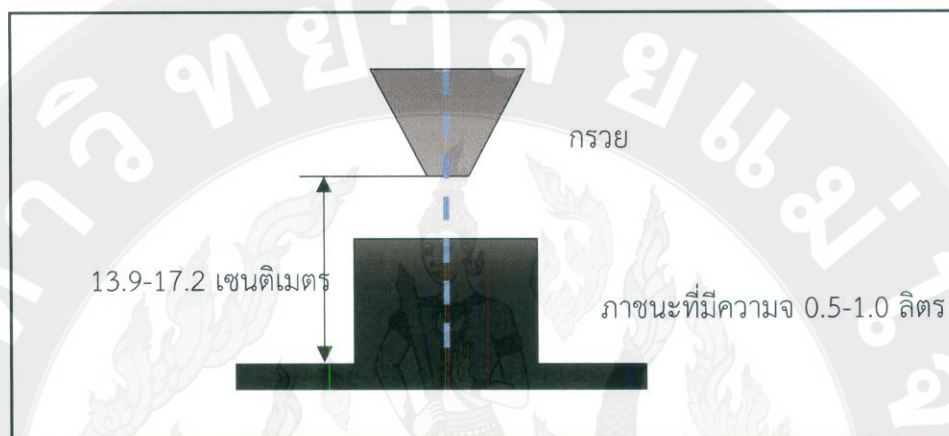
การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำหรือการอุ้มน้ำ จะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน EBC (E DIN ISO 14238) โดยเอาตัวอย่างมาบดย่อยให้มีขนาดเล็กกว่า 0.05 มิลลิเมตร นำไปลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างออกมาชั่งให้ได้ปริมาณ 5 ± 0.1 กรัม และเทลงในน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตรที่บรรจุในบีกเกอร์ ทั้งให้ตัวอย่างแช่อยู่ในน้ำ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด นำไปโอบที่แช่น้ำออกมารองด้วยกระดาษกรอง ทั้งตัวอย่างไว้ 2 ชั่วโมง จากนั้นบันทึกผลน้ำหนักและคำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำ ได้ดังสมการที่ ... (5)

$$\text{WHC (\%wt)} = \frac{(m_s - m_T - m_D)}{m_D} \times 100 \quad \dots(5)$$

เมื่อ	WHC (%wt)	คือ	ความสามารถในการดูดซับน้ำ
	m_s	คือ	น้ำหนักไปโอซาร์และกระดาษกรองเปียก (กรัม)
	m_T	คือ	น้ำหนักถ้วยชั่งและกระดาษกรองแห้ง (กรัม)
	m_D	คือ	น้ำหนักไปโอซาร์เริ่มต้นแห้ง (กรัม)

3.4.11 การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (Bulk density)

การหาค่าความหนาแน่น (Bulk density) เป็นการวิเคราะห์เพื่อศึกษาสัมพันธ์ระหว่างมวลต่อปริมาตร โดยใช้วิธีตามมาตรฐาน DIN 51705 ซึ่งวิธีการทดสอบเป็นการปล่อยตัวอย่างที่มีความสูง 13.9-17.2 เซนติเมตร ลงในภาชนะที่มีความจุ ระหว่าง 0.5-1.0 ลิตร จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นดังสมการที่ ... (6)



ภาพที่ 10 การทดสอบความหนาแน่น

$$\rho = m/v \quad \dots(6)$$

เมื่อ	ρ (kg/m ³)	คือ	ความหนาแน่น
	m	คือ	น้ำหนักของไปโอซาร์ (กิโลกรัม: kg)
	v	คือ	ปริมาตรภาชนะ (ลูกบาศก์เมตร: m ³)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

งานวิจัยการผลิตไบโอชาร์จากเศษวัสดุเกษตร 5 ชนิด ได้แก่ แกลบ ชังข้าวโพด เปลือกลำไย เม็ดลำไย และกะลาเผา ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าในระดับห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิในการผลิต 300 400 500 600 และ 700 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที และการรักษาอุณหภูมิที่ 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจน ที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติของต่าง ๆ ของไบโอชาร์ ไบโอชาร์จากงานวิจัย บทความวิจัย และที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ด้วยวิธีการผลิตที่แตกต่างกันหรือใกล้เคียงกัน

4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของชีวมวล

จากการศึกษาคุณสมบัติของชีวมวล ก่อนการนำไปใช้ผลิตไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า จากเศษวัสดุเกษตรทั้งหมด 5 ชนิด เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติ เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 คุณสมบัติต่าง ๆ ในเศษวัสดุเกษตร ที่ใช้ในการผลิตไบโอชาร์

คุณสมบัติ/ชีวมวล		แกลบ	ชังข้าวโพด	เปลือกลำไย	เม็ดลำไย	กะลาเผา
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)		5.603	5.200	4.763	4.347	4.833
การนำไฟฟ้า (EC)	dS m ⁻¹	0.493	0.180	0.120	0.511	0.038
พลังงานความร้อน	cal/g	3437	4133	3985	4065	4303
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)	cmol(+)/kg	21.619	43.407	57.272	37.490	13.207
ปริมาณสาร (%)	สารระเหย	57.28	72.77	67.98	70.79	75.9
	เถ้า	17.95	2.99	5.58	2.46	0.61
	คาร์บอนคงที่	17.16	19.18	19.24	19.75	17.96
ปริมาณแร่ธาตุ (%)	คาร์บอน	36.49	45.28	44.44	46.33	47.51
	ไฮโดรเจน	5.35	6.12	5.87	6.19	6.31



3337906250

MJU_Thesis_6103309007_thesis / recv: 04062564_14:21:20 / seq: 11

คุณสมบัติ/ชีวมวล	แกลบ	ซังข้าวโพด	เปลือกลำไย	เม็ดลำไย	กะลากาแฟ	
ไนโตรเจน	0.4	0.67	9.68	0.45	0.3	
กำมะถัน	0.075	0.0389	0.0348	0.0545	0.0593	
ออกซิเจน	0.0111	0.0182	0.0075	0.0425	N/A	
คลอรีน	39.72	44.88	43.1	44.47	45.2	
พื้นที่ผิว (m ² /g)	27	32.73	34.31	32.94	40.31	
ปริมาตรรูพรุน (cc/g)	0.0402	0.0533	0.0475	0.0421	0.0482	
แร่ธาตุหลัก (%wt)	N	0.43	0.47	0.89	0.94	0.31
	P	0.2	0.31	0.4	0.45	0.11
	K	0.06	0.44	0.76	0.05	0.02
แร่ธาตุโลหะหนัก (mg/kg)	Mg	541.6	389.9	691.7	656.2	342
	Ca	767.4	528.5	757.8	768.1	760.7
	Pb	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Cd	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Cu	32.53	2.58	6.70	7.87	2.71
	Ni	4.609	3.17	0.511	1.319	N/A
	Hg	4.526	4.499	4.439	4.55	4.49
	Zn	54.93	25.68	23.97	13.26	5.59
	Cr	9.716	7.713	0.932	N/A	N/A
	Fe	288.6	268.1	81.47	75.62	29.25
	Mn	146.8	11.86	85.44	13.77	10.61
	As	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Co	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Se	0.0664	0.043	N/A	N/A	0.122	
B	6.404	1.32	21.92	12.06	21.92	
อัตราส่วนแร่ธาตุ	O/C	0.00030	0.000402	0.00016	0.00091	N/A



3337906250

MUJ iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

คุณสมบัติ/ชีวมวล	แกลบ	ซังข้าวโพด	เปลือกลำไย	เม็ดลำไย	กะลากาแฟ	
C/N	91.22	67.58	4.59	102.95	158.36	
H/C	0.147	0.135	0.132	0.134	0.133	
ความสามารถในการดูดซับน้ำ	%wt	289.52	402.70	347.46	454.69	310.25
ความหนาแน่น	(kg/m ³)	109.27	153.34	82.77	671.08	97.48

ซึ่งจากการศึกษาคุณสมบัติของชีวมวลก่อนนำไปใช้ในการผลิตไบโอชาร์ พบว่า ค่าความเป็นกรดต่างและค่าการนำไฟฟ้าจากแกลบ มีค่าสูงกว่าชนิดอื่น ๆ โดยความเป็นกรด-ต่าง มีค่าในช่วง 4.3-5.6 มีสถานะเป็นกรดอ่อน ส่วนค่าการนำไฟฟ้า มีค่าในช่วง 0.038-0.511 dS m⁻¹ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก พบว่า เปลือกลำไยมีค่าสูงกว่าชีวมวลชนิดอื่น ๆ มีค่าอยู่ในช่วง 13.207-57.272 cmol(+)/kg ปริมาณสารระเหย พบว่า กะลากาแฟมีค่าสูงกว่าชนิดอื่น ๆ มีค่าอยู่ในช่วง 57.28-75.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แตกต่างจากค่าคาร์บอนคงที่ พบว่า มีค่าใกล้เคียง โดยแกลบและกะลากาแฟ มีค่าอยู่ในช่วง 17.16-17.96 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนซังข้าวโพด เปลือกลำไย และเม็ดลำไย มีค่าอยู่ในช่วง 19.18-19.75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สำหรับค่าพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน พบว่า กะลากาแฟ มีค่าพื้นที่ผิวสูงกว่าชีวมวลชนิดอื่น ๆ มีค่าในช่วง 27-40.30 ตารางเมตรต่อกรัม ส่วนปริมาตรรูพรุน พบว่า ซังข้าวโพด มีค่า 0.0533 ซีซีต่อกรัม แตกต่างจากชีวมวลชนิดอื่น ๆ ที่มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.0402-0.0482 ซีซีต่อกรัม อีกทั้งความสามารถในการดูดซับน้ำและความหนาแน่น พบว่า เม็ดลำไย มีค่าสูงกว่าชีวมวลชนิดอื่น ๆ มีค่าอยู่ในช่วง 289.52-454.69 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีค่าในช่วง 671.08-82.77 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งจากการศึกษาคุณสมบัติของชีวมวลเปรียบเทียบกับคุณสมบัติไบโอชาร์ที่ผลิตด้วยกระบวนการไพโรไลซิส พบว่า คุณสมบัติของชีวมวลมีค่าเปลี่ยนแปลง เมื่อได้รับความร้อนจากการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยได้อภิปรายผลการทดสอบก่อนเผาชีวมวลจากเศษวัสดุเกษตรเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของไบโอชาร์ ในหัวข้อการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ดังในหัวข้อที่ 4.2-4.12

4.2 ผลปริมาณไบโอชาร์ที่ได้จากการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการ (Yield biochar)

การศึกษาปริมาณไบโอชาร์ พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการรักษาอุณหภูมิ ดังภาพที่ 10-11 ส่งผลให้ปริมาณไบโอชาร์ลดลง โดยปริมาณถ่านชีวภาพจากแกลบ ซังข้าวโพด และกะลากาแฟ ของการเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 300-400 องศาเซลเซียส ที่การรักษาอุณหภูมิ 1-2 ชั่วโมง มี

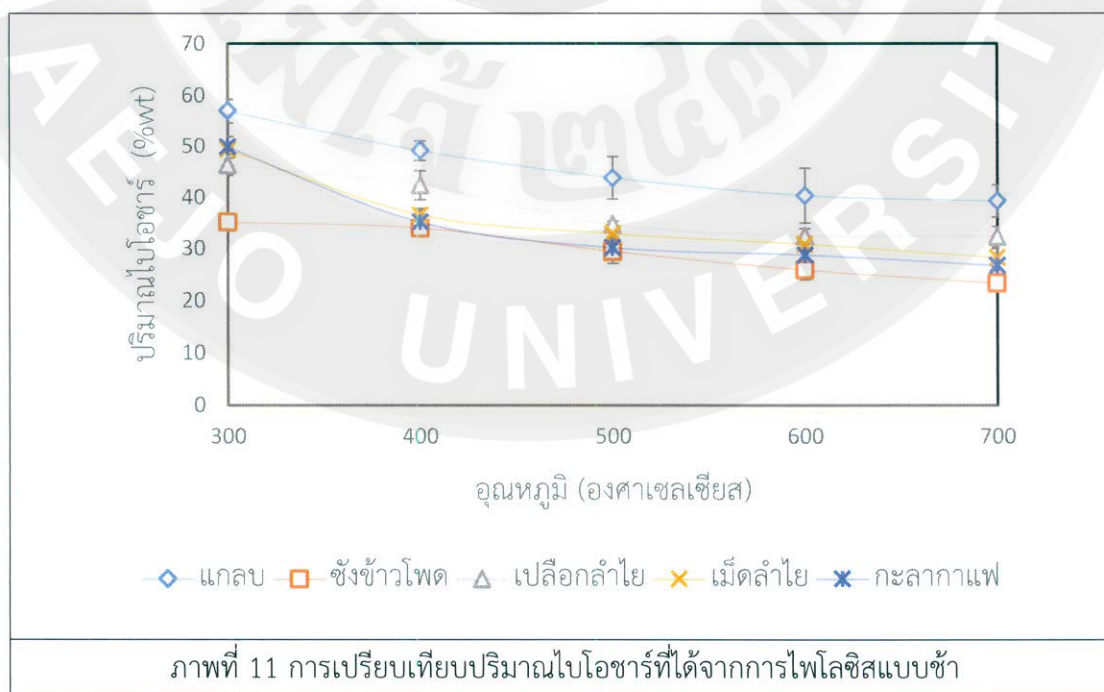


3337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / rev: 04062564 14:21:20 / seq: 11

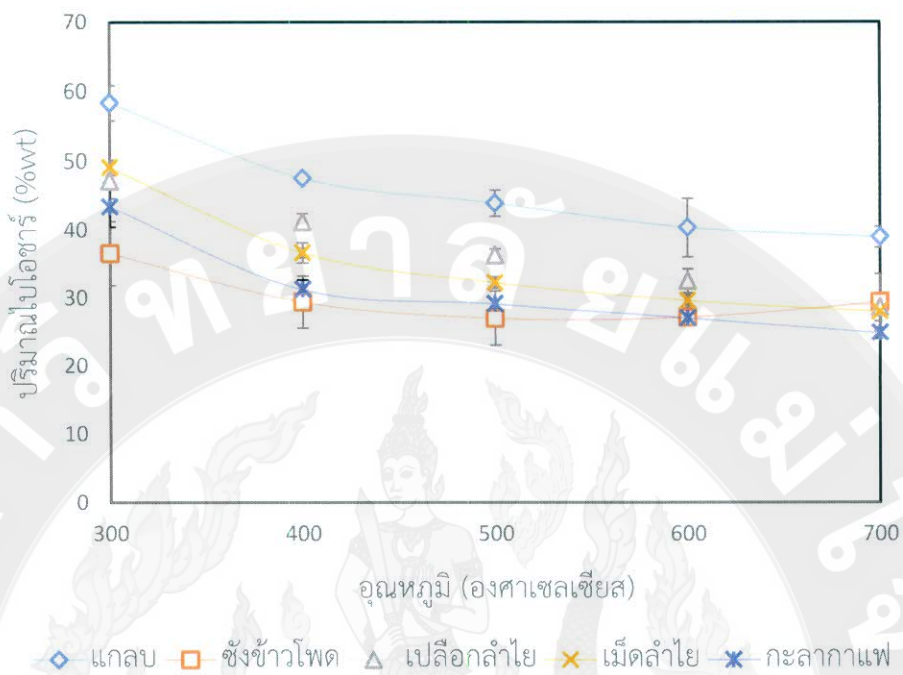
ปริมาณไบโอชาร์ลดลงอย่างรวดเร็ว มีค่าในช่วง 56.98-29.46 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เกิดจากการสลายตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และการเพิ่มอุณหภูมิที่สูงกว่า 400 องศาเซลเซียส ปริมาณไบโอชาร์มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ในค่าในช่วง 43.82-24.82 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เกิดจากการสลายตัวของลิกนิน (Lee Ryu et al, 2013) ขณะที่ไบโอชาร์จากแกลบ สามารถผลิตไบโอชาร์สูงสุด ที่ 56.98 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งไบโอชาร์จากกะลาปากาแฟ เม็ดลำไย เปลือกลำไย ชังข้าวโพด มีปริมาณไบโอชาร์ลดลงตามลำดับ ลิกนิน อีกทั้งเกิดการสลายตัวของปริมาณสารระเหยที่มีปริมาณลดลง ทำให้ค่าคาร์บอนคงที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น (Biswas Pandey et al, 2017)

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณไบโอชาร์ที่ได้จากการผลิตด้วยการไพโรไลซิสแบบช้า ด้วยวิธีการผลิตใกล้เคียงกัน ที่อุณหภูมิ 300-700 องศาเซลเซียส การรักษาอุณหภูมิ 30 นาที ถึง 2 ชั่วโมง จากแกลบ ชังข้าวโพด และกะลาปากาแฟ กับบทความวิจัยอื่น ๆ จาก (Lee Park et al, 2013), (Claoston Samsuri et al, 2014), (Biswas Pandey et al, 2017), (Domingues Trugilho et al, 2017), (Orisaley Adefuye et al, 2018) พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการผลิตและการรักษาอุณหภูมิ ปริมาณไบโอชาร์มีแนวโน้มลดลง มีค่าในช่วง 20-45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังภาพที่ 12 ส่วนปริมาณไบโอชาร์จากงานวิจัย มีค่าอยู่ในช่วง 24.76-56.98 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยชนิดของชีวมวลสามารถผลิตไบโอชาร์ได้ปริมาณที่แตกต่างกัน เนื่องจากชีวมวลแต่ละชนิดมีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน เมื่อได้รับความร้อนจากการไพโรไลซิสที่เหมือนกัน

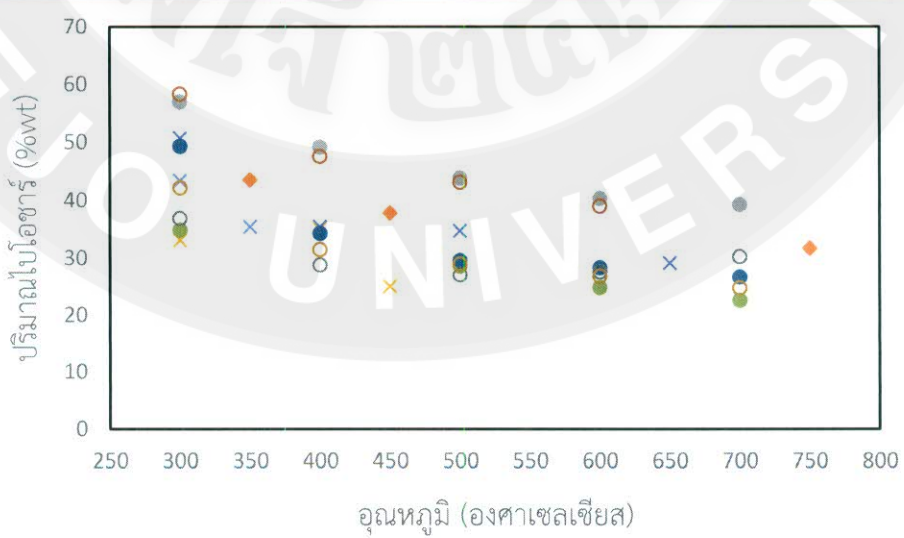


3337906250

MJU ITthesis 6103309007 thesis / rev: 04062564 14:21:20 / seq: 11



ภาพที่ 12 การเปรียบเทียบปริมาณเถ้าที่การรักษาอุณหภูมิ 2 ชั่วโมง

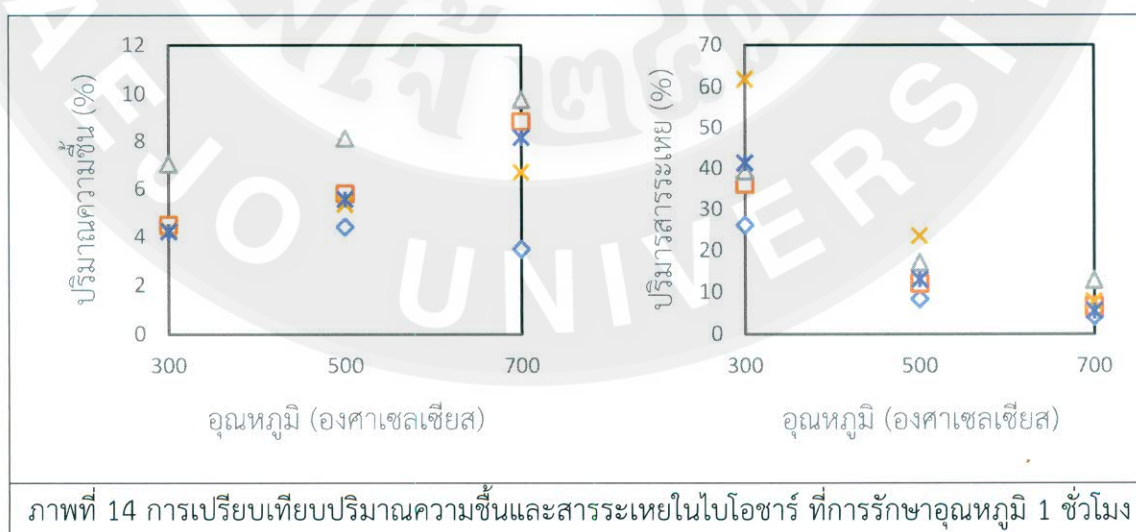


ภาพที่ 13 การเปรียบเทียบปริมาณเถ้าของงานวิจัยและบทความวิจัยอื่นๆ



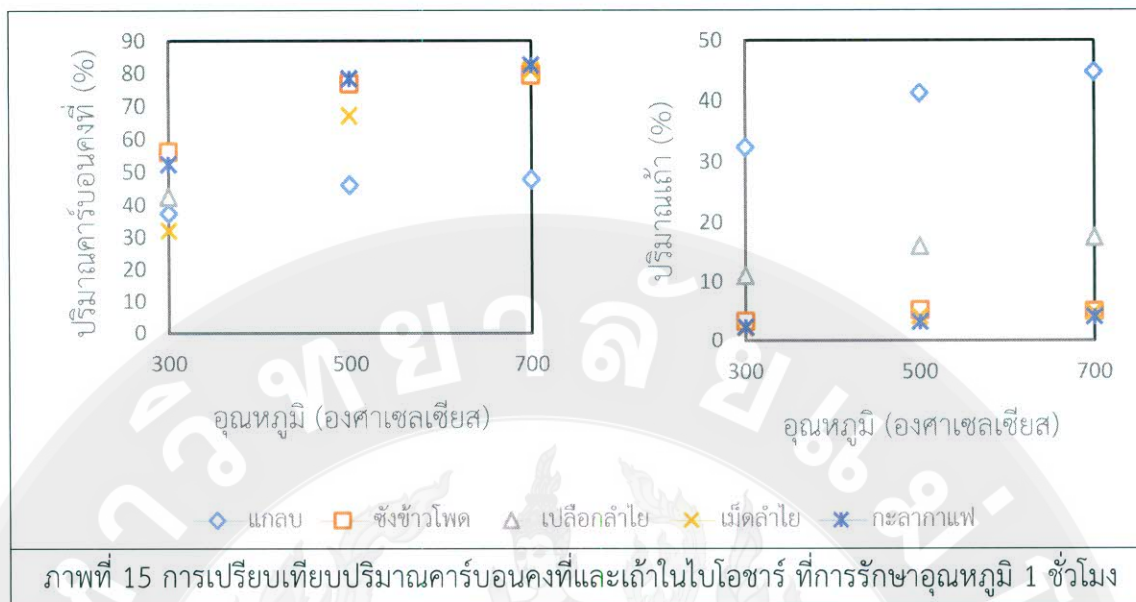
4.3 ผลคุณสมบัติขององค์ประกอบแร่ธาตุ (Ultimate) และปริมาณกลุ่มสาร (Proximate) ของไบโอชาร์

จากการศึกษาปริมาณกลุ่มสาร (Proximate) โดยชีวมวลก่อนเผา มีปริมาณสารระเหยในช่วง 57-75.9 ปริมาณเถ้า 0.61-17.95 และปริมาณ Fixed Carbon 17.16-19.75 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในผลิตไบโอชาร์ด้วยการไพโรไลซิสแบบช้า แสดงข้อมูลดังภาพที่ 13 ที่การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง พบว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นเกิดการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับตัวอย่างในท้องเผาไหม้ ทำให้คุณสมบัติของปริมาณสารระเหยในไบโอชาร์ลดลง จาก 75.9 เปอร์เซ็นต์ เป็น 4.08 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงพลังงานการเผาไหม้ ขณะที่ปริมาณคาร์บอนคงที่และเถ้ามีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 17.16 เปอร์เซ็นต์ เป็น 82.48 เปอร์เซ็นต์ และจาก 0.61 เปอร์เซ็นต์ เป็น 44.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยไบโอชาร์จากกะลาจากแพ มีค่าปริมาณคาร์บอนคงที่สูงกว่า เม็ดลำไย ชั่งข้าวโพด เปลือกลำไย และแกลบ ตามลำดับ สำหรับองค์ประกอบแร่ธาตุ (Ultimate) ของไบโอชาร์ เป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชดังตารางที่ 10 พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอน (C) มีปริมาณเพิ่มขึ้น จาก 36.49% เป็น 81.34% และปริมาณ ไฮโดรเจน (H) กำมะถัน (S) และออกซิเจน (O) มีปริมาณลดลง ส่วนปริมาณไนโตรเจน (N) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิในการเผาไหม้ไม่เกิน 500 องศาเซลเซียส และจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูง 700 องศาเซลเซียส ซึ่งจากผลการทดสอบ เห็นได้ว่า ผลต่างด้านองค์ประกอบแร่ธาตุและปริมาณสารที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าแตกต่างกัน เกิดจากอุณหภูมิในการผลิต ชนิดชีวมวลและองค์ประกอบพื้นฐานของชีวมวลที่นำมาใช้ต่างชนิดกัน



3337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11



ภาพที่ 15 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนคงที่และแก๊สในไบโอชาร์ ที่การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง

ตารางที่ 11 องค์ประกอบแร่ธาตุของชีวมวลและไบโอชาร์ด้วยการไพโรไลซิสแบบช้า

Biochar	Temp °C	Ash %	C %	H %	N %	S %	O %	Cl %
แกลบ	-	17.95	36.49	5.35	0.4000	0.0750	39.72	0.0111
	300	32.36	46.11	4.03	0.5496	0.0038	16.95	0.4610
	500	41.33	48.11	2.85	0.6644	N/A	7.05	0.0507
	700	44.75	48.25	1.85	0.5850	N/A	4.58	N/A
ช้างข้าวโพด	-	2.99	45.28	6.12	0.6700	0.0389	44.88	0.0182
	300	3.29	70.56	5.03	0.7361	0.0040	20.38	0.0279
	500	5.22	80.23	3.47	0.8136	0.0463	10.22	0.2925
เปลือกลำไย	700	5.02	81.34	2.57	0.8381	0.0345	10.20	0.1141
	-	5.58	44.44	5.87	9.6800	0.0348	43.10	0.0075
	300	11.04	60.25	4.7	1.4700	0.0003	22.54	N/A
เม็ดลำไย	500	16.00	69.00	3.25	1.3500	N/A	10.40	0.1217
	700	17.51	68.65	2.4	1.1400	N/A	10.30	0.0380
	-	2.46	46.33	6.19	0.4500	0.0545	44.47	0.0425
เม็ดลำไย	300	2.04	52.13	5.69	1.3300	0.0153	38.79	0.0710
	500	4.06	72.92	3.88	1.9000	N/A	17.25	N/A
	700	4.87	78.9	2.3	1.8800	N/A	12.07	0.2965

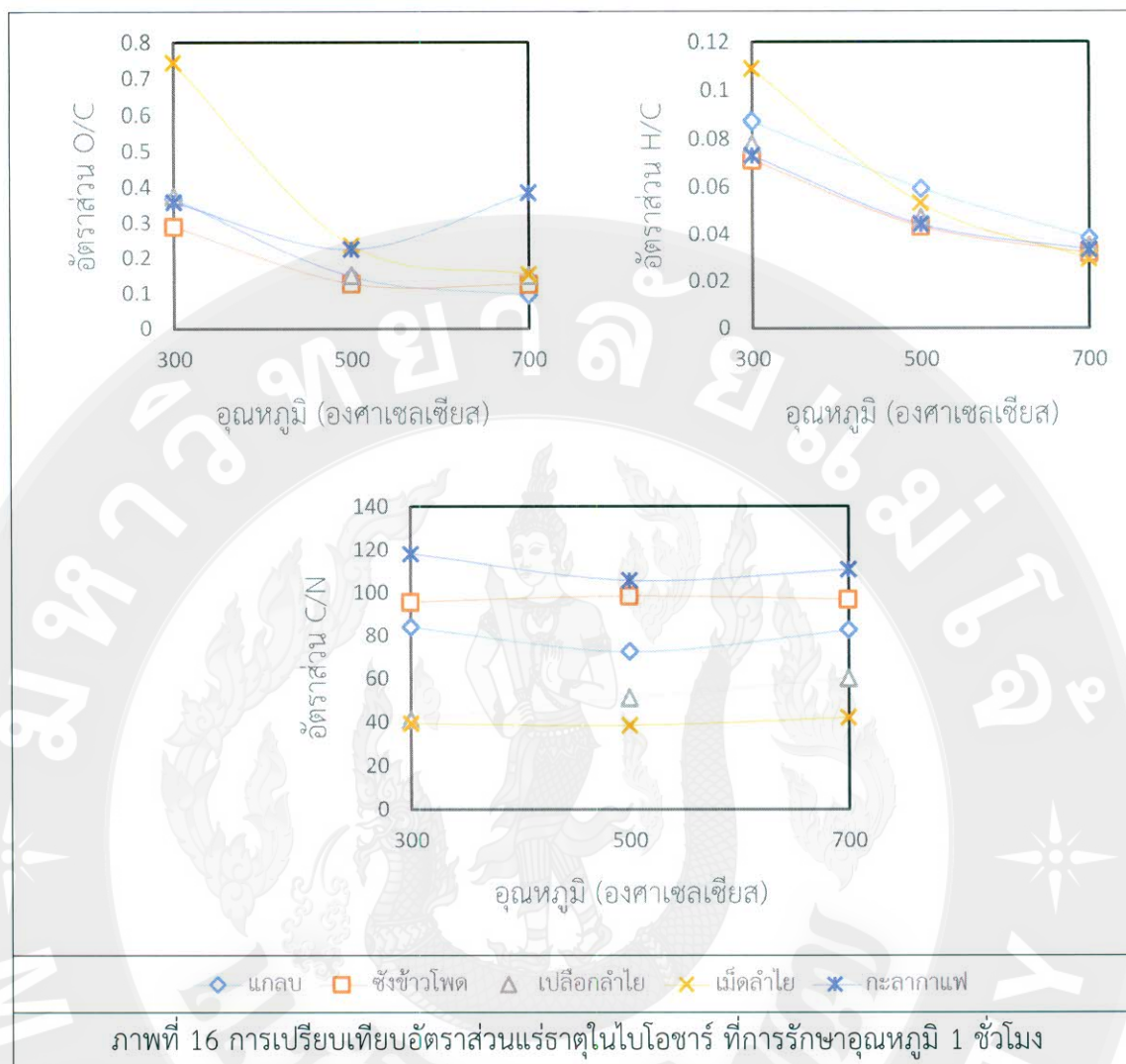
Biochar	Temp °C	Ash %	C %	H %	N %	S %	O %	Cl %
	-	0.61	47.51	6.31	0.3000	0.0593	45.20	N/A
กะลา	300	2.25	67.91	4.96	0.5749	0.0181	24.28	0.1977
กาแฟ	500	3.16	75.77	3.34	0.7166	N/A	17.01	0.1597
	700	4.05	67.26	2.23	0.6076	N/A	25.85	0.1825

จากการศึกษาอัตราส่วนของแร่ธาตุของไบโอชาร์ (Nagel, Hoilett et al. 2019) ที่อุณหภูมิ 300 500 และ 700 องศาเซลเซียส การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง ดังภาพที่ 14 พบว่า อัตราส่วนแร่ธาตุออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) บ่งบอกถึงความเจริญเติบโตของพืชเมื่อได้รับ เนื่องจากเป็นสิ่งที่พืชต้องการใช้ โดยการเพิ่มอุณหภูมิไบโอชาร์จากแกลบ ชังข้าวโพด เปลือกลำไย และเม็ดลำไย มีแนวโน้มลดลงจาก 0.744 เป็น 0.09 แตกต่างจากไบโอชาร์กะลากาแฟ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในค่าในช่วง 0.22-0.384 ส่วนอัตราส่วนแร่ธาตุของไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C) บ่งบอกถึงความเสถียรภาพระยะในสิ่งแวดล้อม พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ส่งผลให้ความเสถียรภาพลดลง จาก 0.11 เป็น 0.02 รวมถึงอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) บ่งบอกถึง การดึงดูดสารอาหาร สำหรับการเจริญเติบโตของพืช การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์นั้น ๆ รวมถึงลดการชะล้างสารอาหารที่เป็นประโยชน์ออกสู่สิ่งแวดล้อม พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ส่งผลให้ C/N มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งชนิดของไบโอชาร์จากกะลากาแฟ มีค่า C/N สูงสุด และมีปริมาณลดลงของไบโอชาร์จากชังข้าวโพด แกลบ เม็ดลำไย และกะลากาแฟ ตามลำดับ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 38.37-98.61



3337906250

MJU-IThesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11



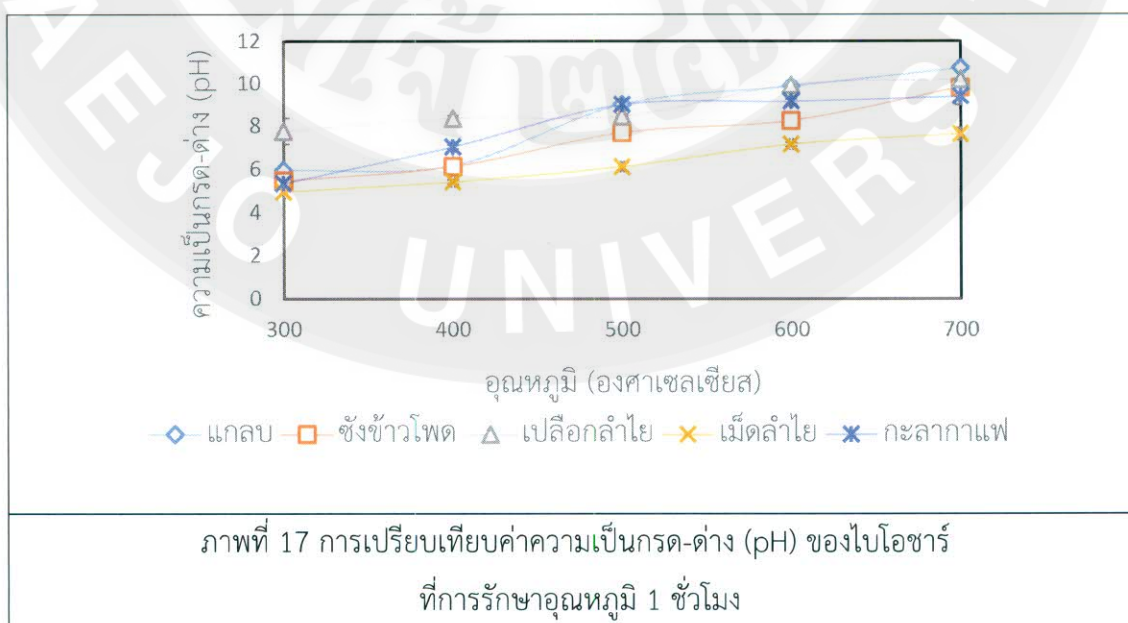
ภาพที่ 16 การเปรียบเทียบอัตราส่วนแร่ธาตุในไบโอชาร์ ที่การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง

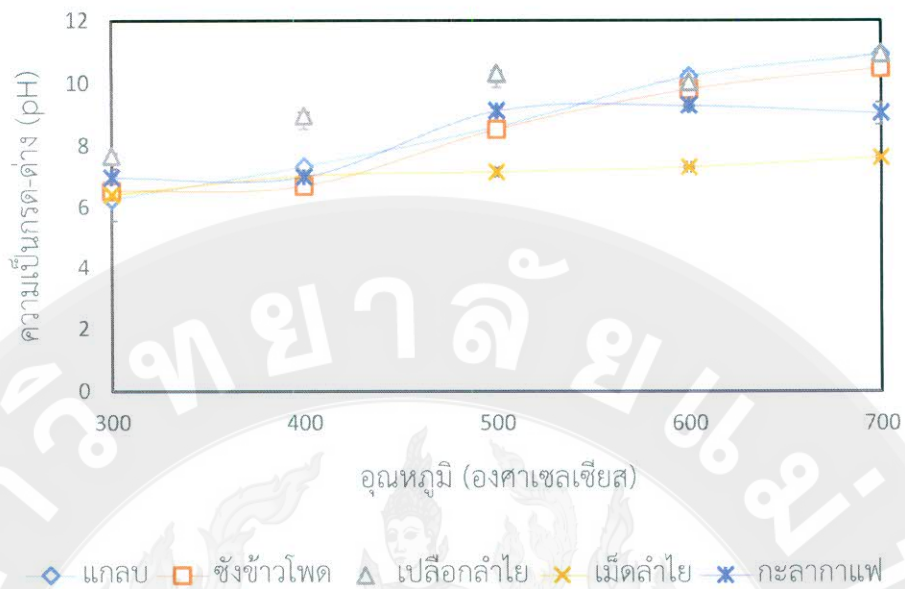
4.4 ผลคุณสมบัติความเป็นกรดต่าง (pH) ของไบโอชาร์

จากการทดสอบความเป็นกรดต่าง (pH) โดยชีวมวลก่อนเผา มีค่าในช่วง 4.3-5.6 จากผลการทดสอบ ดังภาพที่ 15-16 พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเพิ่มเวลาการรักษาอุณหภูมิ ที่ 1-2 ชั่วโมง ทำให้ไบโอชาร์เปลี่ยนจากกรดอ่อนไปเป็นเบสอ่อนถึงเบสแก่ (Budai Wang et al, 2014), (Jung Kim et al, 2016) ในช่วงอุณหภูมิ 300-700 องศาเซลเซียส ที่เปลี่ยนค่าจากช่วง 5-8 เป็น 6-11 โดยที่กลาบจะมีค่าในช่วง 6-8 (Tomczyk Sokotowska et al, 2020) แต่วัสดุเกษตรอื่น ๆ ได้แก่ ซังข้าวโพด เม็ดลำไย เปลือกกล้วย กะลาปากแพ จะมีความเป็นกรดอ่อนไปเป็นด่างแก่ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นด่างเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีในไบโอชาร์ และปริมาณแร่ธาตุและแร่ธาตุโลหะหนักที่มีอยู่ในชีวมวล โดยการเพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสมีผลต่อค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้น ที่ 300-700 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 6-10 เนื่องจากความร้อนส่งผลให้ค่าความกรดในกลุ่มฟังก์ชัน $-COOH$ และ $-OH$ ลดลง (Park Lee et al, 2014) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ไบโอชาร์เกิด

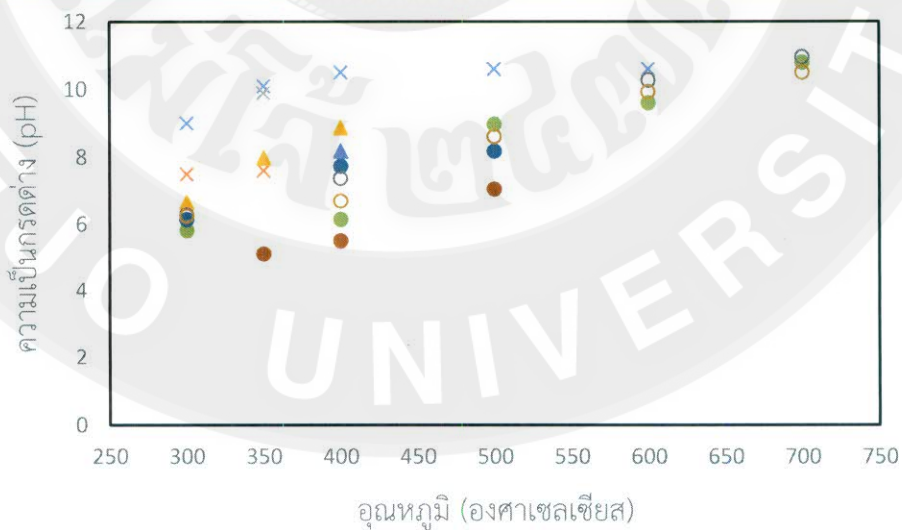
การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเคมีด้วยการสร้างกลุ่มฟังก์ชันขึ้น เช่น กลุ่มฟังก์ชันคาร์บอเนต (CaCO_3 , MgCO_3) เป็นต้น (Lee Park et al, 2013) หรือกลุ่มแร่ธาตุโลหะหนัก (Si Na K) (Wang, Hu et al. 2013) รวมถึงปริมาณธาตุที่มีปริมาณเพิ่ม (Claoston Samsuri et al, 2014) จะส่งผลให้ค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของชนิดวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอชาร์อีกด้วย (Manolikaki Mangolis et al, 2016)

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณไบโอชาร์ที่ได้จากการผลิตด้วยการไพโรไลซิสแบบช้า ด้วยวิธีการผลิตใกล้เคียงกัน ในช่วงอุณหภูมิ 300-600 องศาเซลเซียส การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมงและ 2 ชั่วโมง กับบทความวิจัยอื่น ๆ จาก (Lee Park et al, 2013), (Prakongkep Gilkes et al, 2013), (Claoston Samsuri et al, 2014), (Park Lee et al, 2014), (Phuong Uddin et al, 2015), (Manolikaki Mangolis et al, 2016), (Domingues Trugilho et al, 2017), (Orisaleye Adefuye et al, 2018) ดังภาพที่ 17 พบว่า ค่าความเป็นกรดต่างของไบโอชาร์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาการรักษาอุณหภูมิ โดยไบโอชาร์จากแกลบที่ผลิตในช่วงอุณหภูมิ 300-400 องศาเซลเซียส มีค่าเป็นกรดถึงกลาง มีค่าในช่วง 5-7 ส่วนอุณหภูมิในช่วง 500-700 จะมีค่าความเป็นด่างในช่วง 8-10 ไบโอชาร์จากซังข้าวโพดและกะลาปากาแฟ ที่อุณหภูมิ 300-400 องศาเซลเซียส จากการทดลองของงานวิจัยมีค่าในช่วง 5-7 ส่วนงานวิจัยอื่นพบว่ามีค่าความเป็นด่าง ในช่วง 8-10 ซึ่งมีค่าความเป็นด่างแก่กว่ามาก เมื่อเพิ่มการรักษาอุณหภูมิในช่วง 1-2 ชั่วโมง ส่งผลให้มีค่า pH สูงขึ้น โดยในช่วงอุณหภูมิ 300-400 องศาเซลเซียส มีค่าความเป็นกรดถึงกลาง แต่ในช่วงอุณหภูมิ 500-700 มีค่าความเป็นด่างสูง





ภาพที่ 18 การเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของไบโอชาร์ ที่การรักษาอุณหภูมิ 2 ชั่วโมง



ภาพที่ 19 การเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของงานวิจัยและบทความวิจัยอื่นๆ

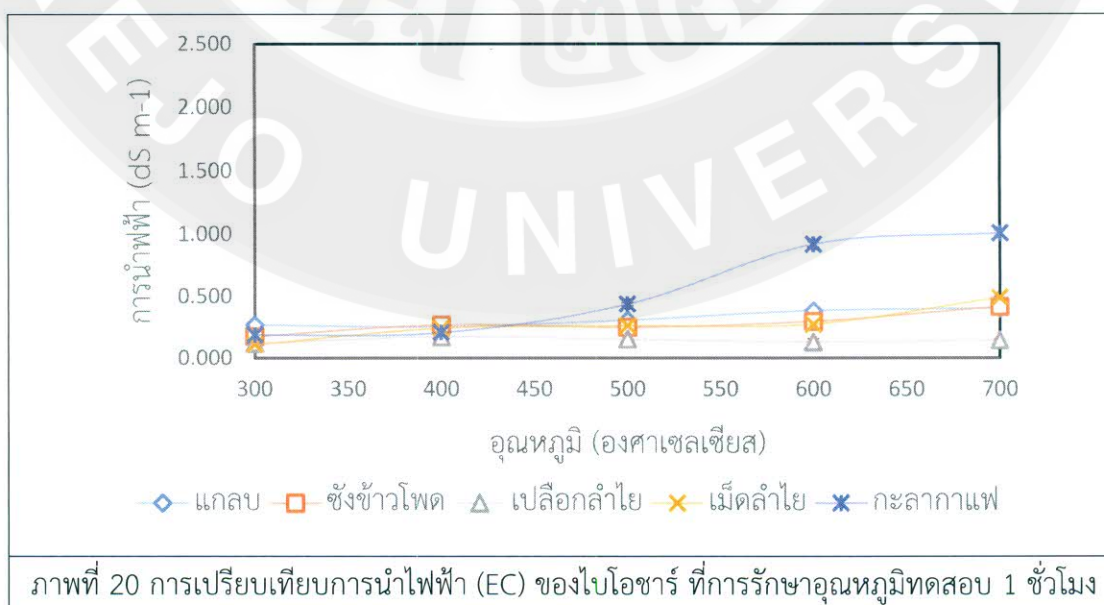


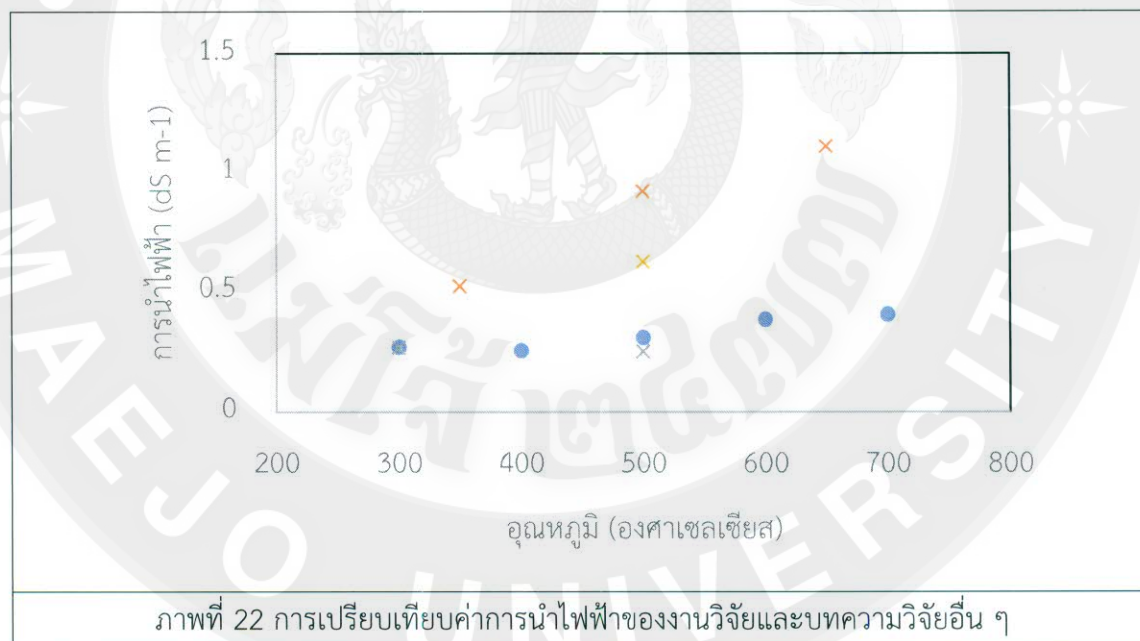
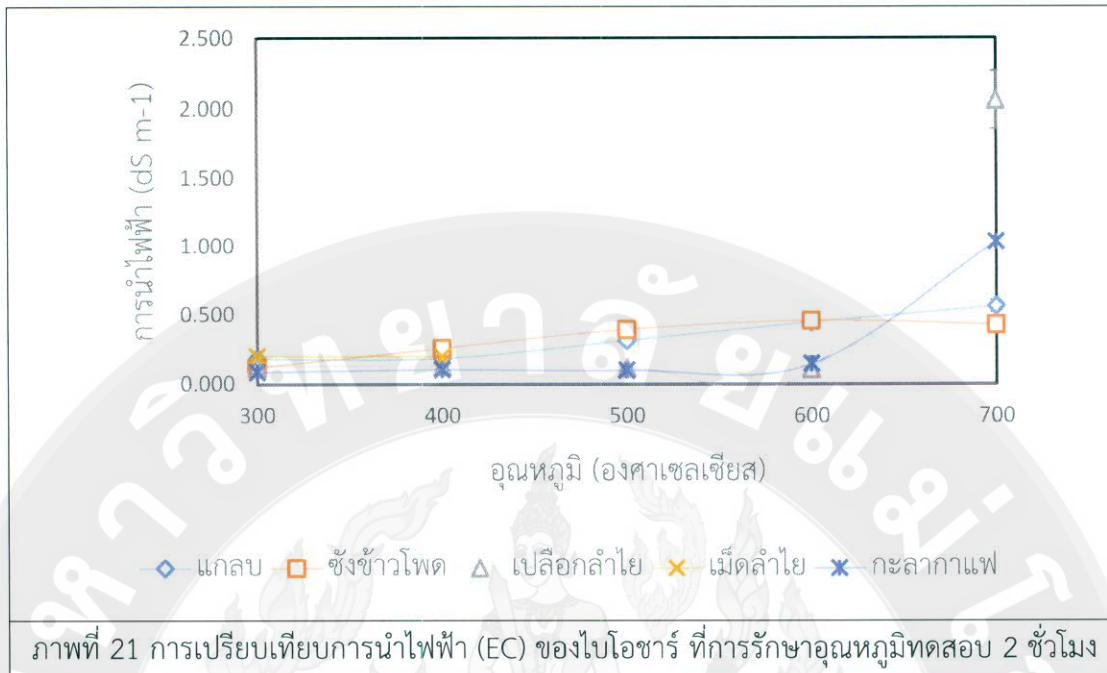
337906250

4.5 ผลคุณสมบัติการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity: EC) ของไบโอชาร์

จากการทดสอบการนำไฟฟ้าของไบโอชาร์ โดยชีวมวลก่อนเผา มีค่าในช่วง 0.038-0.493 dS m^{-1} จากผลการทดสอบจากภาพที่ 18-19 พบว่า อุณหภูมิในการผลิตไบโอชาร์จากเศษวัสดุเกษตร มีค่าการนำไฟฟ้าที่ไม่มีเปลี่ยนแปลงมากนัก ที่อุณหภูมิ 300-600 องศาเซลเซียส มีค่า 0.109-0.458 dS m^{-1} และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากที่ 700 องศาเซลเซียส ส่วนการรักษาอุณหภูมิการทดสอบจาก 1 ชั่วโมง ไป 2 ชั่วโมง ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในช่วง 600-700 องศาเซลเซียส ส่วนไบโอชาร์จากเปลือกกล้วยและกะลากาแฟ มีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและการรักษา อุณหภูมิทดสอบ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นในอุณหภูมิช่วง 700 องศาเซลเซียส จาก 0.144 dS m^{-1} เป็น 2.064 dS m^{-1} ส่วนไบโอชาร์จากเปลือกกล้วยมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าเศษวัสดุเกษตรชนิดอื่น ๆ 10 เท่า เนื่องจากเกิดการสลายตัวของไอออน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการไพโรไลซิส โดยส่งผลให้ความเข้มข้นของ โลหะหนักเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น (Varela Milla Rivera et al, 2013)

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของไบโอชาร์จากแกลบ จากงานวิจัย และบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง ที่อุณหภูมิในช่วง 300-700 องศาเซลเซียส การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง กับบทความวิจัยอื่น ๆ จาก (Claoston Samsuri et al, 2014), (Chen Yu et al, 2016), (Manolikaki Mangolis et al, 2016), (Singh Camps-Arbestain et al, 2017) ดังภาพ ที่ 20 พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมิผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลกับงานวิจัยที่ เกี่ยวข้อง ค่าการนำไฟฟ้า มีค่าอยู่ในช่วง 0.250-1.000 dS m^{-1} แตกต่างกับงานวิจัย มีค่าอยู่ในช่วง 0.17-2.62 dS m^{-1} ฉะนั้น อุณหภูมิและการรักษาอุณหภูมิ ในการให้ความร้อนมีผลต่อการ เปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้า รวมถึงชนิดของชีวมวลอีกด้วย (Singh, Camps-Arbestain et al. 2017)





4.6 ผลคุณสมบัติพลังงานความร้อน (Thermal Energy) ของไบโอชาร์

จากการทดสอบพลังงานความร้อนในไบโอชาร์ ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักหรือหนึ่งหน่วยปริมาตร ดังภาพที่ 21 พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการไพโรไลซิสแบบช้า อุณหภูมิ 300-700 ที่การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น มีค่าอยู่ในช่วง 4407-7147 cal/g โดยไบโอชาร์จากกะลา กาแฟ ให้ความร้อนสูงสุดและไบโอชาร์จากกลีบให้ความร้อนน้อยสุด เนื่องจากเกิดการสลายตัว

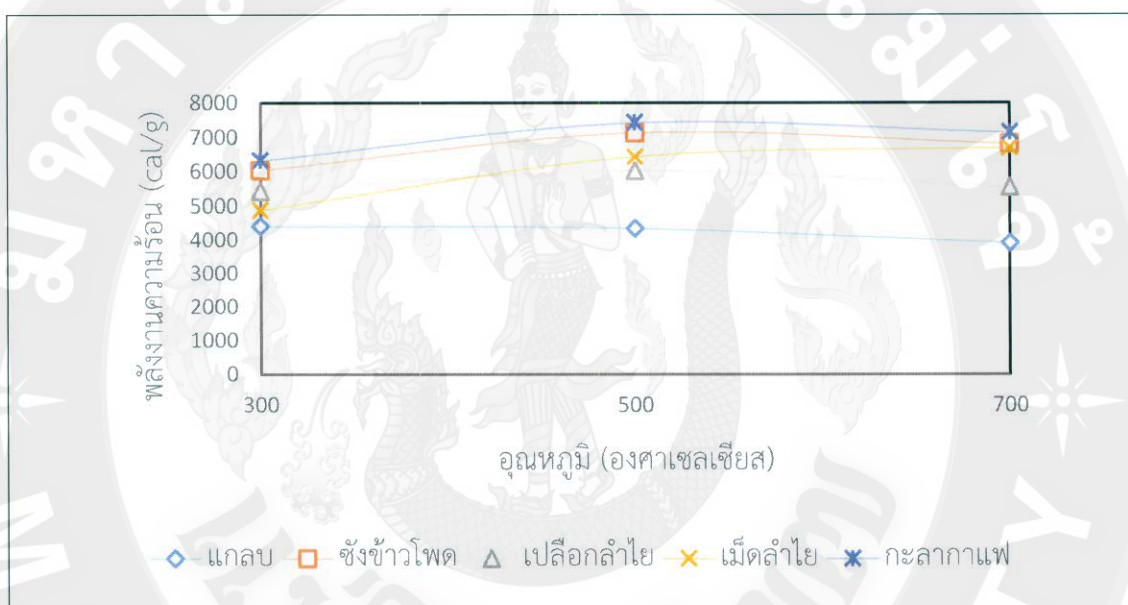


3337906250

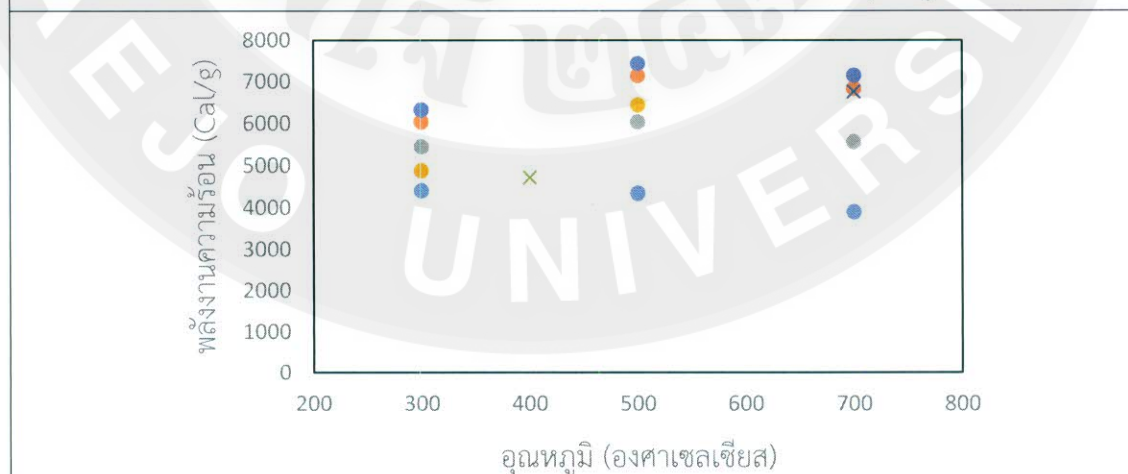
MJU-IThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

ของสารระเหยและมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้น ทำให้พลังงานความร้อนเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน (Sahoo and Remya, 2020)

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองค่าพลังงานความร้อนของไบโอชาร์ จากงานวิจัยและบทความวิจัยอื่น ๆ ที่อุณหภูมิในช่วง 300-700 องศาเซลเซียส การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง (Wang Huang et al, 2012), (Chen Zhou et al, 2014) ดังภาพที่ 22 พบว่า พลังงานความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยไบโอชาร์จากงานวิจัยมีค่าในช่วง 4405-7127 cal/g ส่วนไบโอชาร์จากงานวิจัยอื่น ๆ มีค่าในช่วง 4705-6747 cal/g



ภาพที่ 23 การเปรียบเทียบพลังงานความร้อนของไบโอชาร์ การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง



ภาพที่ 24 การเปรียบเทียบพลังงานความร้อนของงานวิจัย และบทความวิจัยอื่น ๆ

4.7 ผลคุณสมบัติความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity: CEC) ของไบโอชาร์

จากการศึกษาความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของไบโอชาร์ (CEC) จากเศษวัสดุเกษตรทั้ง 5 ชนิด โดยชีวมวลก่อนเผา มีค่าในช่วง 13.20-57.27 cmol(+)/kg จากผลการทดสอบดังภาพที่ 23-24 พบว่า ค่า CEC มีค่าแตกต่างกัน อุณหภูมิของการผลิตไบโอชาร์ด้วยการไพโรไลซิสแบบช้า ในช่วง 300-700 องศาเซลเซียส มีผลต่อความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก โดยอุณหภูมิในช่วง 300-500 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงจาก 69.591 cmol(+)/kg เป็น 6.786 cmol(+)/kg และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส มีค่า CEC เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งไบโอชาร์จากเปลือกกล้วยมีค่า CEC ได้มากที่สุด และไบโอชาร์จากกะลาปากาแฟมีค่าน้อยสุด มีค่าในช่วง 69.591 cmol(+)/kg และ 6.786 cmol(+)/kg อีกทั้งการรักษาอุณหภูมิที่ 1 ชั่วโมง มีค่า CEC สูงกว่าการรักษาอุณหภูมิ 2 ชั่วโมง ถึง 31.3% จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิและการรักษาอุณหภูมิ ส่งผลให้ค่า CEC ลดลง และมีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ค่า CEC ที่มีปริมาณลดลงด้วยการไพโรไลซิสนั้น มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับโครงสร้างของพื้นที่ผิวและรูพรุน สารตกตะกอนกลุ่มอัลคาไลน์ที่ไม่ละลายน้ำในเถ้า อีกทั้งสารระเหยที่มีปริมาณลดลง และความเป็นกรดต่างเพิ่มสูงขึ้น (Munera-Echeverri Martinsen et al, 2018), (Ippolito Cui et al, 2020) รวมถึงผลของ CEC ที่มีความแปรปรวน เกิดจากชนิดของชีวมวล เงื่อนไขในการผลิต และวิธีการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน เช่น การทราบปริมาณสาร NH_4OAc ที่ pH 7 ที่มีปริมาณเหมาะสมต่อการแลกเปลี่ยนค่า CEC โดยตรง (Munera-Echeverri, Martinsen et al. 2018) เป็นต้น แตกต่างจากวิธีการของงานวิจัย โดยการล้างสารด้วย NH_4OAc ที่ pH 7 และใช้ NH_4 ในการสกัด KCl สำหรับหาค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในไบโอชาร์ อีกทั้งผลของการรักษาอุณหภูมิ ที่ 1 ชั่วโมงและ 2 ชั่วโมง ส่งผลให้ค่า CEC ลดลงอีกด้วย

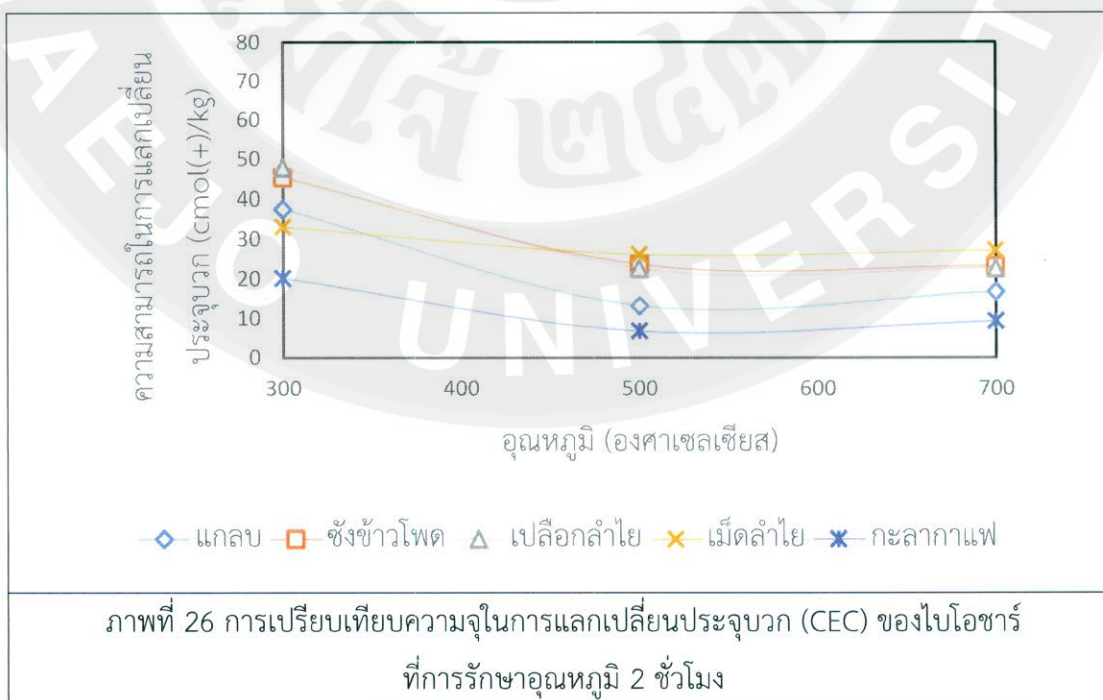
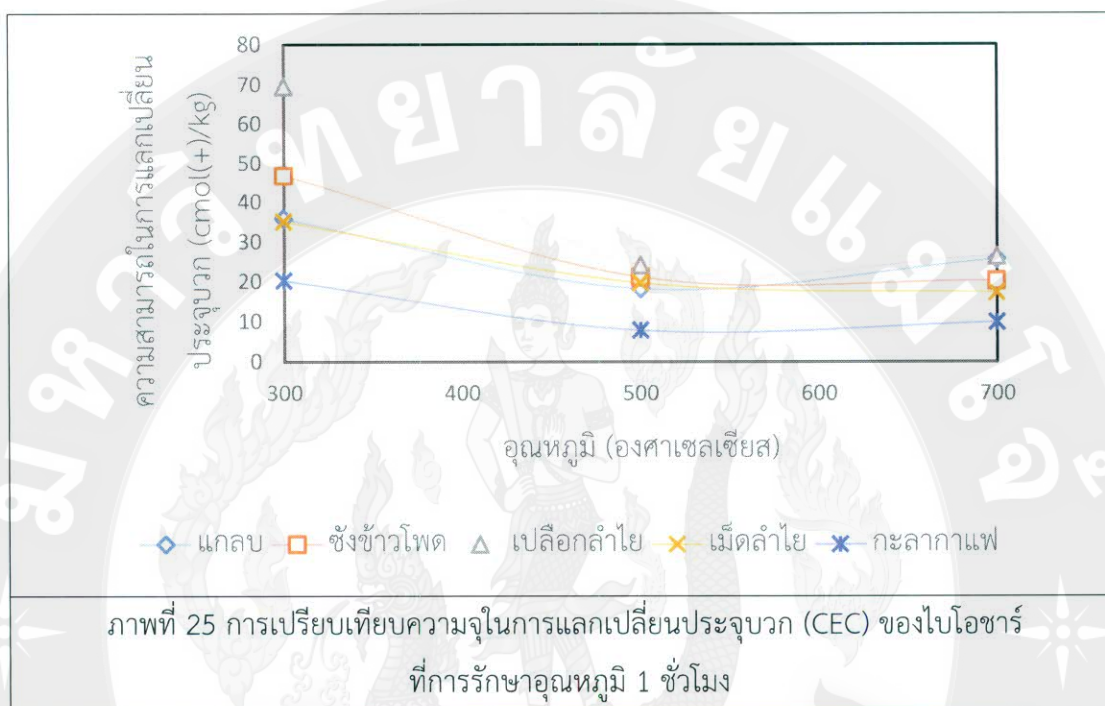
ในการเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของงานวิจัยและบทความวิจัยอื่น ๆ ที่สภาวะการทดสอบใกล้เคียงกัน จากไบโอชาร์ที่ผลิตจากแกลบ กับบทความวิจัยอื่น ๆ จาก (Claoston Samsuri et al, 2014), (Phuong Uddin et al, 2015) ดังภาพที่ 25 พบว่า ที่อุณหภูมิในช่วง 300-500 องศาเซลเซียส การเพิ่มของอุณหภูมิและการรักษาอุณหภูมิส่งผลให้ค่า CEC มีแนวโน้มลดลง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.4-45.6 cmol(+)/kg แตกต่างจากค่าที่ได้จากการทดสอบของงานวิจัย ในช่วงอุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส ค่า CEC ลดลง มีค่าอยู่ในช่วง 13.22-37.49 cmol(+)/kg และมีปริมาณเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส มีค่าในช่วง 16.69-25.59 cmol(+)/kg ซึ่งอาจจะเกิดจากวิธีการวิเคราะห์ โดย (Phuong Uddin et al, 2015) ได้ใช้แอมโมเนียมอะซิเตด เขย่าสารปริมาตร 25 มิลลิลิตร ที่ 1 โมล จากนั้นชะล้างไอออนด้วย KCl ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ที่ 0.1 โมล จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณไอออนบวกด้วยสาร NH_4OAc ส่วนงานวิจัยของ

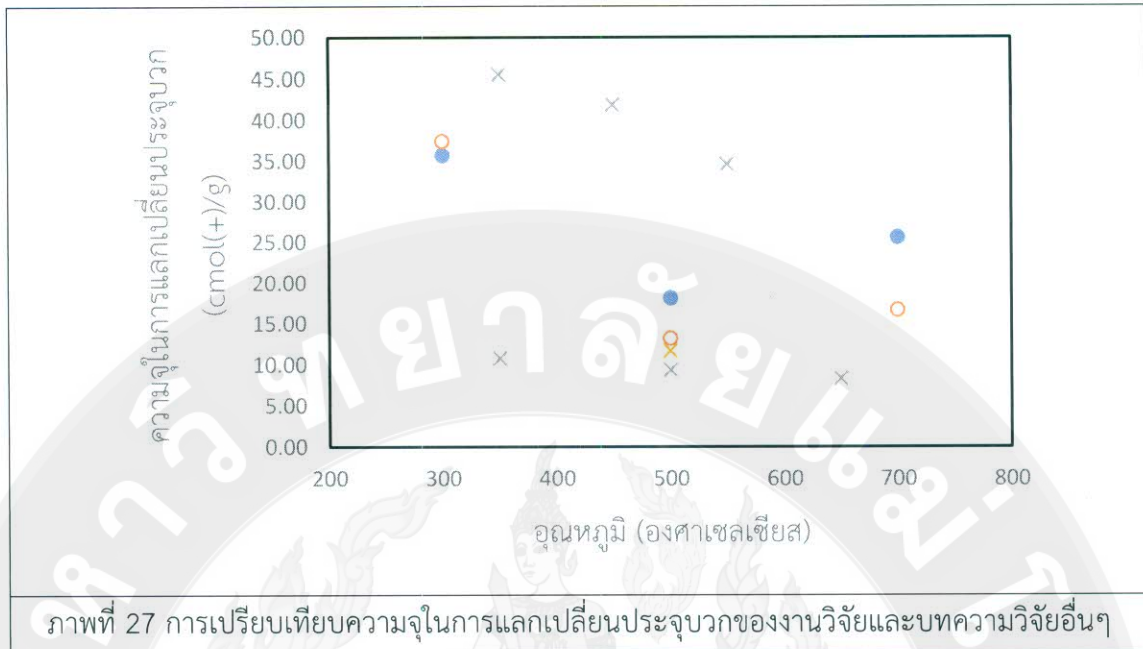


3337906250

MJU-IThesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

(Claoston Samsuri et al, 2014) ใช้วิธีการทดสอบคล้ายกับงานวิจัย ได้ใช้แอมโมเนียมอิซิติเตด เขย่าสารปริมาตร 40 มิลลิลิตร ที่ 1 โมล จากนั้นชะล้างไอออนด้วย KCl ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ 1 โมล จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณไอออนบวกด้วยสาร NH_4OAc





4.8 ผลคุณสมบัติของพื้นที่ผิว (Surface area) และปริมาตรรูพรุน (Pore volume) ของไบโอชาร์

การศึกษาคุณสมบัติพื้นที่ผิวและรูพรุนของไบโอชาร์ เพื่อดูลักษณะสัณฐานวิทยา พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในไบโอชาร์ ที่ผลิตในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกล้อง (SEM) และด้วยวิธีการดูดซับไนโตรเจน (BET) พบว่า โครงสร้างภายในของไบโอชาร์มีรูพรุนเกิดขึ้น และมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการให้ความร้อนในการไพโรไลซิสแบบช้า โดยแสดงลักษณะสัณฐานวิทยา ดังตารางที่ 12

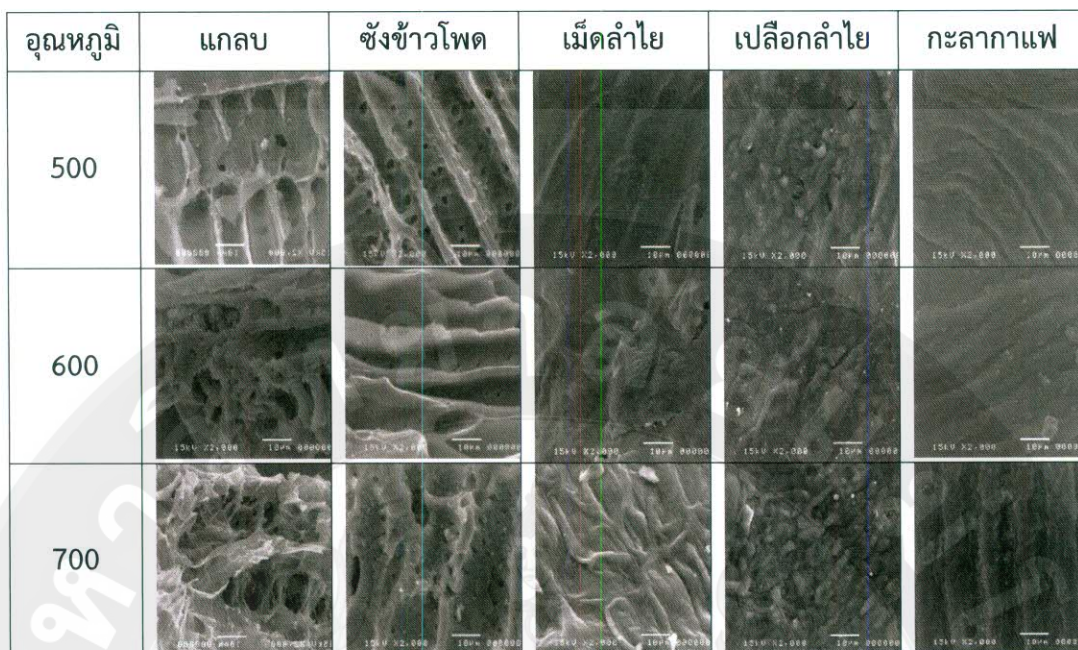
ตารางที่ 12 ลักษณะสัณฐานวิทยาของไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า

อุณหภูมิ	แกลบ	ซังข้าวโพด	เม็ดลำไย	เปลือกลำไย	กะลากาแฟ
300					
400					



3337906250

MJU_1Thesis_6103309007_thesis / revc: 04062564 14:21:20 / seq: 11



จากการศึกษาพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนไบโอชาร์ โดยแสดงข้อมูลดังภาพที่ 26-27 พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิว โดยไบโอชาร์จากแกลบ เปลือกลำไย เม็ดลำไย และกะลากาแฟ ในช่วงอุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส พื้นที่ผิวมีปริมาณลดลง จาก 34.39 m²/g เป็น 17.22 m²/g และมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จาก 17.22 m²/g เป็น 93.29 m²/g สำหรับปริมาตรรูพรุนที่เกิดขึ้น พบว่า ความร้อนส่งผลต่อปริมาตรรูพรุนที่เกิดขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการทดสอบ 300-700 องศาเซลเซียส ซึ่งแกลบและเปลือกลำไย มีปริมาณเพิ่มขึ้น แตกต่างจากซังข้าวโพดที่มีปริมาตรรูพรุนลดลง จะเพิ่มขึ้นเมื่อทำการรักษาอุณหภูมิที่ 2 ชั่วโมง สำหรับเม็ดลำไยและกะลากาแฟ จะมีปริมาตรที่ลดลงในช่วงอุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส และมีปริมาตรรูพรุนเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส อีกทั้งการรักษาอุณหภูมิ ที่ 1 ชั่วโมงและ 2 ชั่วโมง ยังส่งผลให้พื้นที่ผิวและปริมาตรมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะไบโอชาร์จากแกลบ ที่มีค่าเพิ่มขึ้นมาก 43% แตกต่างจากไบโอชาร์ชนิดอื่น ๆ ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนที่เกิดขึ้นในไบโอชาร์ เกิดจากชีวมวลเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิแตกต่างกันจะขนาดใหญ่ขึ้น เกิดจากการระเหยของสารระเหยที่มีอยู่ในชีวมวล (Brewer Chuang et al, 2014)

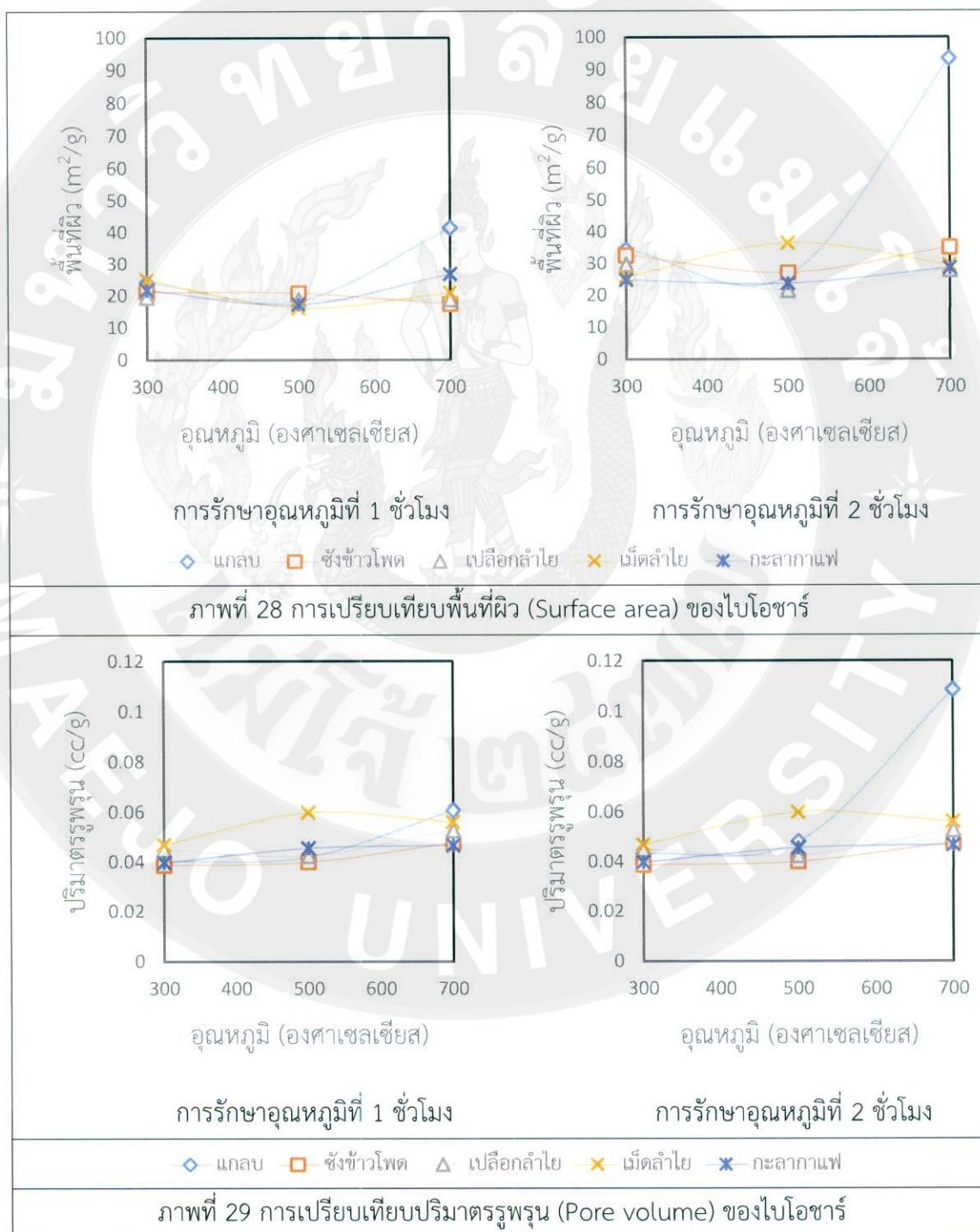
เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการทดสอบของงานวิจัยและงานวิจัยอื่นๆ ของไบโอชาร์จากแกลบ อุณหภูมิ 300-700 องศาเซลเซียส การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง ที่อัตราการให้ความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อนาที และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เกี่ยวกับพื้นที่ผิวจาก (Lee Park et al, 2013), (Claoston Samsuri et al, 2014), (Park Lee et al, 2014), (Phuong Uddin et al, 2015), (Singh Camps-Arbestain et al, 2017) ดังภาพที่ 28 พบว่า พื้นที่ที่เกิดขึ้น



3337906250

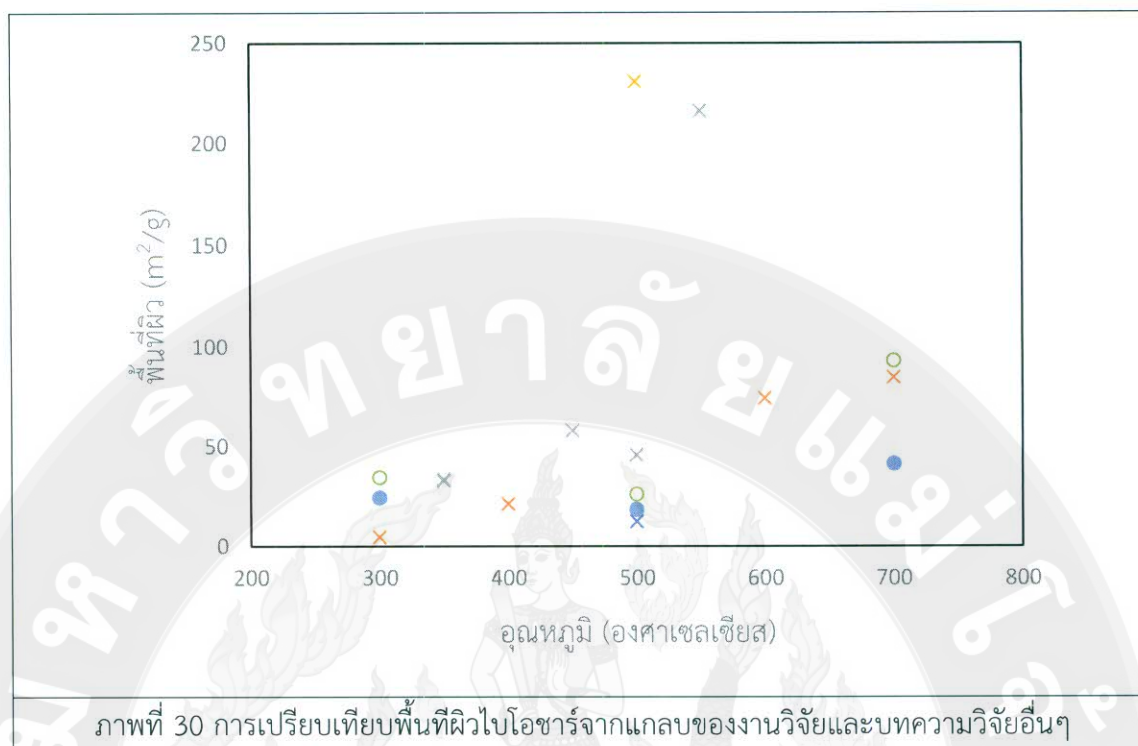
MJU iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

ในการไพโรไลซิส มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4.5-230.92 m^2/g ซึ่งมีค่าแตกต่างกับผลการทดสอบของงานวิจัย มากถึง 2.5 เท่า โดยงานวิจัยมีค่าอยู่ในช่วง 18.43-93.29 m^2/g โดยผลของพื้นที่ผิวที่แตกต่างกันอาจจะเกิดจากการควบคุมสภาวะการทดสอบของอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน (Chen, Zhou et al. 2014)



3337906250

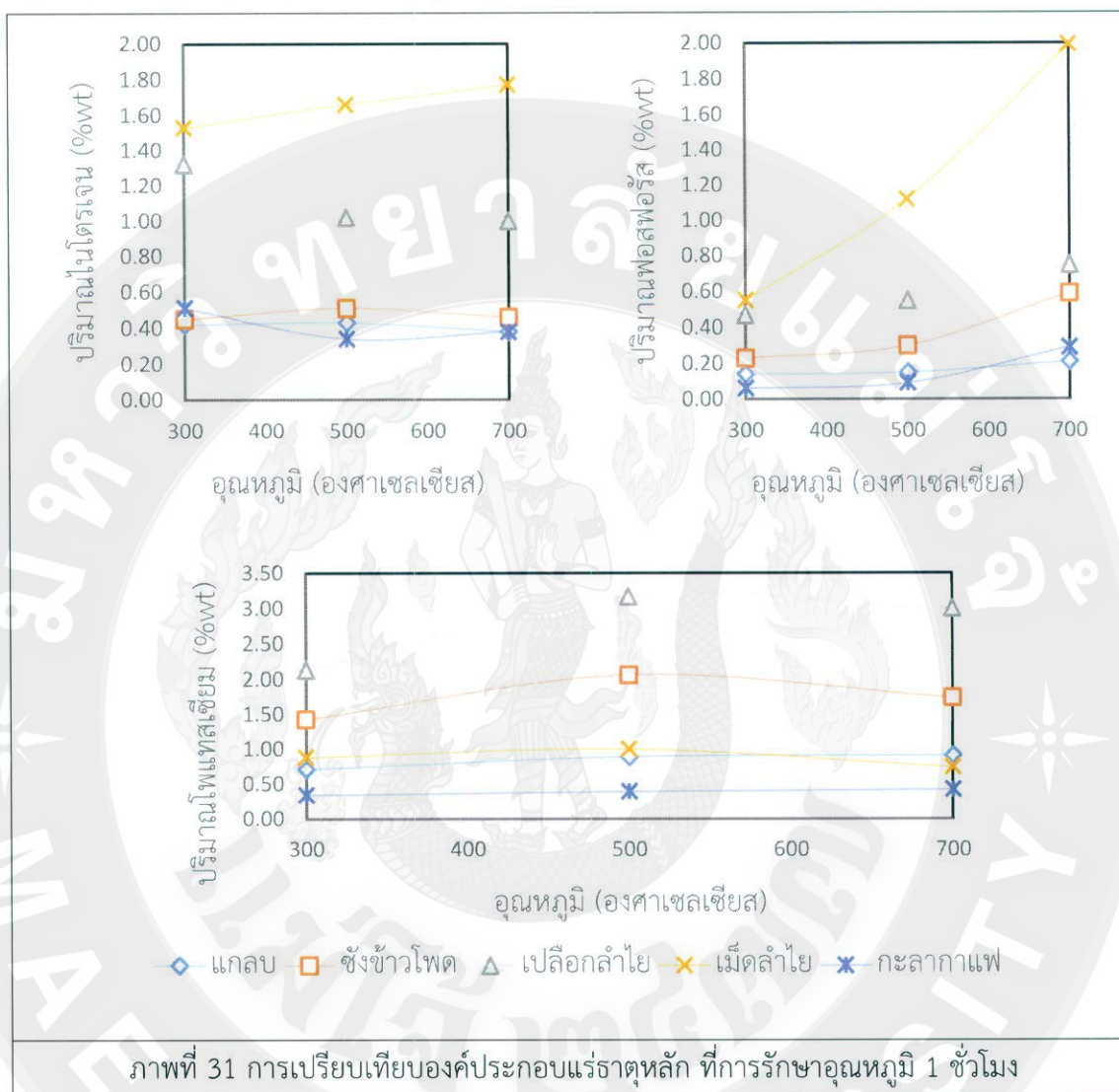
MJU IThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11



4.9 ผลคุณสมบัติขององค์ประกอบแร่ธาตุหลัก (Micro nutrients) ของไปโอซาร์

การศึกษาองค์ประกอบแร่ธาตุในไปโอซาร์ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และ โพแทสเซียม (K) โดยมีค่าชีวมวลก่อนเผา ในช่วง 0.31-0.94 0.1-0.45 และ 0.02-0.76 ตามลำดับ จากผลการทดสอบ ดังภาพที่ 29 พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุนหภูมิส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจน (N) เพิ่มขึ้นในช่วงอุนหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส ไปโอซาร์จากแคลบ ซึ่งข้าวโพด จาก 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็น 0.51 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีปริมาณลดลงเล็กน้อยเมื่ออุนหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส ส่วนไปโอซาร์จากเปลือกลำไยและกะลากาแฟ มีปริมาณไนโตรเจนลดลงเมื่ออุนหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจาก 1.32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็น 0.38 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนปริมาณฟอสฟอรัส (P) มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุนหภูมิในการไพโรไลซิส โดยเฉพาะไปโอซาร์จากเมล็ดลำไย มีที่ปริมาณสูงสุด ที่ 1.99 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งสูงกว่าไปโอซาร์ชนิดอื่นๆอย่างมาก อีกทั้งปริมาณโพแทสเซียม (K) มีปริมาณลดลง เมื่อเพิ่มอุนหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงผลทดสอบของปริมาณ N ประกอบด้วยอินทรีย์ กลุ่มโปรตีนและกลุ่มกรดอะมิโนบางตัวที่มีอยู่ในชีวมวล เมื่อได้รับความร้อนโปรตีนจะเกิดการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ที่อุนหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นต้นไป และกรดอะมิโน ที่อุนหภูมิสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส จึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้นสำหรับปริมาณ P K จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุนหภูมิในการให้ความร้อน แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการและเลือกประเภทของกรดที่เหมาะสมในการสกัดอีกด้วย (Singh Camps-Arbestain et al, 2017)

อย่างไรก็ตามการศึกษาค่าองค์ประกอบแร่ธาตุหลักในไบโอชาร์ของงานวิจัย เป็นไปตามมาตรฐาน EBC และ IBI กำหนด ในระดับ Premium grade



4.10 ผลคุณสมบัติองค์ประกอบแร่ธาตุโลหะหนัก (Heavy metal) ของไบโอชาร์

จากการทดสอบแร่ธาตุโลหะหนักในไบโอชาร์ ดังตารางที่ 13 พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการรักษาอุณหภูมิ ณ การทดสอบ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแร่ธาตุโลหะหนัก โดยทั่วไปแร่ธาตุโลหะหนักมีอยู่ในชีวมวลเป็นปกติ ซึ่งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิความร้อนการไพโรไลซิส ส่งผลให้ปริมาณแร่ธาตุ แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) สารหนู (As) และซีลีเนียม (Se) มีความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น แตกต่างจากแร่ธาตุทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) และโบรอน (B) ในไบโอชาร์จากแกลบ และไบโอชาร์จากขิงข้าวโพด มีความเข้มข้นของแร่ธาตุโลหะหนักลดลง



337906250

MJU IThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

ส่วนไบโอชาร์เปลือกกล้วย เม็ดกล้วย และกะลาเผา มีความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งปริมาณแร่ธาตุปรอท (Hg) มีความเข้มข้นลดลง รวมถึงปริมาณสังกะสี (Zn) และโครเมียม (Cr) มีความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้น โดยแร่ธาตุโลหะหนักที่ได้จากวิเคราะห์ไบโอชาร์ ของแร่ธาตุแคดเมียม (Cd) และโคบอลต์ (Co) มีความเข้มข้นน้อยจนถึงไม่สามารถตรวจพบในไบโอชาร์ อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์แร่ธาตุโลหะหนักของงานวิจัย มีค่าไม่เกินมาตรฐาน EBC และ IBI ที่กำหนดไว้

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบปริมาณแร่ธาตุโลหะหนัก (Heavy metal) ในไบโอชาร์

ชีวมวล	อุณหภูมิ ทดสอบ (°C)	การรักษา อุณหภูมิ (นาที)	Heavy metals (mg/kg)														
			Mg	Ca	Pb	Cd	Cu	Ni	Hg	Zn	Cr	Fe	Mn	As	Co	Se	B
แกลบ	-	-	541.6	767.4	N/A	N/A	32.53	4.609	4.53	54.93	9.72	288.6	146.8	N/A	N/A	0.07	6.404
	300	60	580.7	750.9	0.68	N/A	3.14	1.107	0.11	29.57	3.69	89.26	275.2	0.29	N/A	0.57	5.76
		120	656.6	777.1	3.16	N/A	7.58	13.83	1.97	37.76	5.45	146.8	265.5	0.34	N/A	0.23	7.01
	500	60	534.9	749.1	5.39	N/A	4.14	7.248	N/A	100.40	8.13	124.8	259.8	0.57	N/A	0.71	5.79
		120	590.0	747.8	1.52	N/A	2.88	2.282	N/A	28.08	5.25	150.4	238.6	0.25	N/A	0.37	4.57
	700	60	664.7	780.7	10.56	N/A	16.06	7.08	1.64	78.21	23.16	491.7	354.2	0.12	N/A	N/A	7.34
		120	625.9	760.8	11.28	N/A	8.71	1.032	0.00	111.70	0.63	83.5	333.9	0.50	N/A	0.60	7.28
	ซัง ข้าวโพด	-	-	389.9	528.5	N/A	N/A	2.58	3.17	4.50	25.68	7.71	268.1	11.86	N/A	N/A	0.04
300		60	665.3	741.2	0.11	N/A	7.31	0.6418	0.01	65.76	1.60	64.97	40.98	0.41	N/A	0.53	3.03
		120	681.0	713.2	3.94	N/A	5.26	0.1957	N/A	169.60	2.38	80.6	31.8	0.17	N/A	0.63	0.11
500		60	680.6	754.9	2.28	N/A	7.25	N/A	0.12	144.00	0.32	73.94	25.06	0.45	N/A	0.40	3.66
		120	676.0	748.9	0.25	N/A	9.12	0.5329	N/A	146.80	3.07	104.5	35.81	0.73	N/A	0.52	2.04
700		60	660.1	734.4	0.88	N/A	11.49	0.7101	N/A	70.67	0.42	66.92	22.53	0.01	N/A	0.50	2.43

ชีวมวล	อุณหภูมิ ทดสอบ (°C)	การรักษา อุณหภูมิ (นาที)	Heavy metals (mg/kg)															
			Mg	Ca	Pb	Cd	Cu	Ni	Hg	Zn	Cr	Fe	Mn	As	Co	Se	B	
เปลือก ลำไย	-	-	603.5	730.3	5.49	N/A	5.88	2.07	N/A	56.32	5.90	287.8	25.71	0.37	N/A	0.53	1.89	
	300	60	691.7	757.8	N/A	N/A	6.70	0.5118	4.44	23.97	0.93	81.47	85.44	N/A	N/A	N/A	21.92	
		120	665.2	707.60	14.04	N/A	23.49	4.276	0.00	118.00	1.37	55.96	61.8	N/A	N/A	0.25	28.55	
		120	674.4	727.10	3.07	N/A	24.96	2.146	4.35	62.53	0.73	64.59	97.9	N/A	N/A	N/A	27.51	
		500	60	659.50	701.70	3.72	N/A	19.24	5.493	N/A	123.80	5.51	106.2	97.29	N/A	N/A	0.68	46.52
		120	673.8	714.9	1.16	N/A	19.27	4.038	N/A	60.31	0.66	86.77	101.2	0.13	N/A	0.49	49.83	
		700	60	665.90	704.10	2.09	N/A	19.85	2.928	N/A	86.28	0.74	84.47	240.3	0.36	N/A	0.76	53.54
		120	661.0	703.5	0.98	N/A	30.68	7.091	N/A	55.59	1.34	169.5	99.86	N/A	N/A	0.20	42.37	
เม็ดลำไย	-	-	656.2	768.1	N/A	N/A	7.87	1.319	4.55	13.26	N/A	75.62	13.77	N/A	N/A	N/A	12.06	
	300	60	671.5	758.3	0.37	2.936	14.53	10.46	N/A	36.49	15.79	115.1	17.1	N/A	2.931	0.37	13.14	
		120	656.9	729.60	2.58	N/A	12.59	5.362	N/A	48.02	6.39	100.6	14.37	N/A	N/A	0.48	16.41	
		500	60	666.7	737.4	0.66	N/A	17.84	4.24	0.01	36.82	2.23	79.88	16.24	0.22	N/A	0.66	22.46
		120	658.9	730.00	0.38	N/A	17.76	3.559	0.10	33.74	1.42	60.06	16.81	0.19	N/A	0.56	18.98	
		700	60	660.60	731.90	1.49	N/A	20.58	4.392	N/A	49.46	1.05	54.84	21.9	N/A	N/A	0.74	29.44
กาะ กาแฟ	-	-	342	760.7	N/A	N/A	2.71	N/A	4.49	5.59	N/A	29.25	10.61	N/A	N/A	0.12	21.92	
	300	60	318.7	732.3	N/A	N/A	6.53	N/A	N/A	11.50	0.23	104.3	15.66	0.21	N/A	N/A	1.43	
		120	365.9	740.9	0.1213	N/A	7.49	N/A	N/A	17.84	0.13	103.8	18.64	0.09	N/A	0.40	1.58	

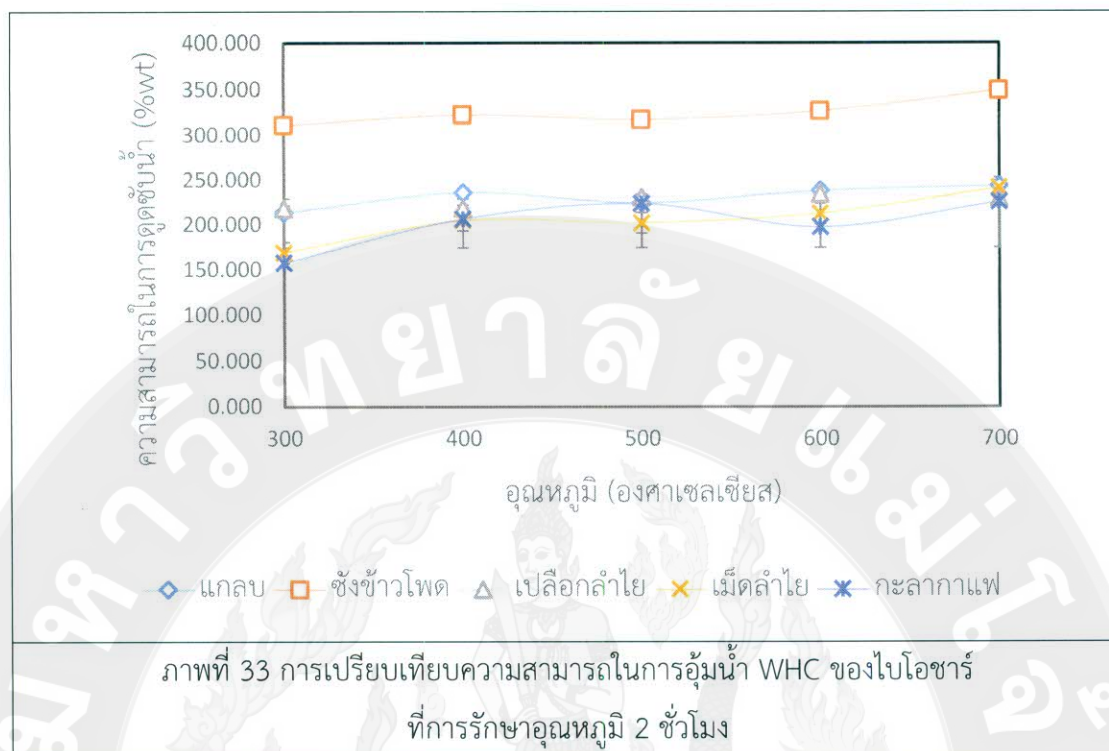
ซีวมวล	อุณหภูมิ ทดสอบ (°C)	การรักษา อุณหภูมิ (นาที)	Heavy metals (mg/kg)														
			Mg	Ca	Pb	Cd	Cu	Ni	Hg	Zn	Cr	Fe	Mn	As	Co	Se	B
500	60		660.9	777.8	7.07	N/A	16.63	1.438	1.73	41.62	9.52	154.7	41.83	0.39	N/A	0.18	5.78
	120		519.7	733	6.712	N/A	12.02	0.7627	0.10	32.83	3.09	107.4	27.35	0.40	N/A	0.54	2.22
700	60		663.9	778.3	3.99	N/A	20.82	5.758	1.61	26.07	16.05	500.9	66.32	0.20	N/A	N/A	7.52
	120		618.6	732.6	0.7471	N/A	14.23	0.6672	0.06	15.41	0.81	97.88	36.17	0.18	N/A	0.35	3.92

4.11 ผลความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Holding Capacity: WHC)

จากการศึกษาความสามารถในการการอุ้มน้ำ (WHC) ของไบโอชาร์จากเศษวัสดุเกษตรทั้ง 5 ชนิด โดยชีวมวลก่อนเผามีค่าอยู่ในช่วง 289-454 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อการไพโรไลซิสแบบช้าที่อุณหภูมิ 300-700 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 30-31 พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการรักษาอุณหภูมิ ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน โดยไบโอชาร์จากซังข้าวโพด มีความสามารถในการดูดซับน้ำในสูงสุด ในช่วง 286.56-349.07 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และไบโอชาร์จากแกลบ เปลือกลำไย เม็ดลำไย และกะลากาแฟ มีความสามารถในการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน ที่การรักษาอุณหภูมิที่ 1 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 49.12-237.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งการรักษาอุณหภูมิที่ 2 ชั่วโมง มีความสามารถในการดูดซับได้สูงกว่า การรักษาอุณหภูมิต่ำกว่า 1 ชั่วโมง จาก 49.12 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็น 114.08 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิและเวลาในการรักษาอุณหภูมิ ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับมีค่าสูงขึ้น

จากการศึกษาพื้นที่ผิวและรูพรุน พบว่า มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับน้ำ เมื่อได้รับอุณหภูมิและการรักษาอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำ มีปริมาณเพิ่ม ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพ หากไบโอชาร์มีรูพรุนสูง มีผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น (Batista, Shultz et al. 2018, Weber and Quicker 2018) ซึ่งผลจากการทดสอบพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนในไบโอชาร์เทียบกับความสามารถในการดูดซับน้ำ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน ยกเว้นไบโอชาร์แกลบและซังข้าวโพด ที่มีผลการทดสอบไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน อาจมีผลกระทบที่เกิดจากการน้ำมันดินหรือสารระเหยอุดตันในรูพรุนในช่วงการเกิดปฏิกิริยาการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ (Das and Sarmah, 2015)





4.12 ผลคุณสมบัติความหนาแน่น (Bulk density) ของไบโอชาร์

การศึกษาความหนาแน่นของไบโอชาร์ โดยชีวมวลก่อนเผามีค่าในช่วง 82-671 kg/m³ เมื่อด้วยเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า ดังภาพที่ 32-33 พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุนหนุมิ ส่งผลให้ความหนาแน่นลดลง ซึ่งผลจากการทดสอบมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักของไบโอชาร์จากแกลบ ซึ่งข้าวโพด เปลือกกล้วย และกะลากาแฟ มีค่าในช่วง 72.72-128.82 kg/m³ ที่การรักษาอุนหนุมิ 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง ซึ่งแตกต่างจากไบโอชาร์เม็ดลำไย ที่มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าไบโอชาร์ชนิดอื่น ๆ ถึง 3 เท่า มีค่าในช่วง 242.48-321.58 kg/m³ ซึ่งค่าความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาตรรูพรุนที่เพิ่มขึ้นในไบโอชาร์ ทำให้ค่าความหนาแน่นลดลง เนื่องจากสารระเหยถูกกำจัดออกไปเมื่อเพิ่มอุนหนุมิการไพโรไลซิสสูงขึ้น (Brewer Chuang et al, 2014), (Weber and Quicker, 2018)

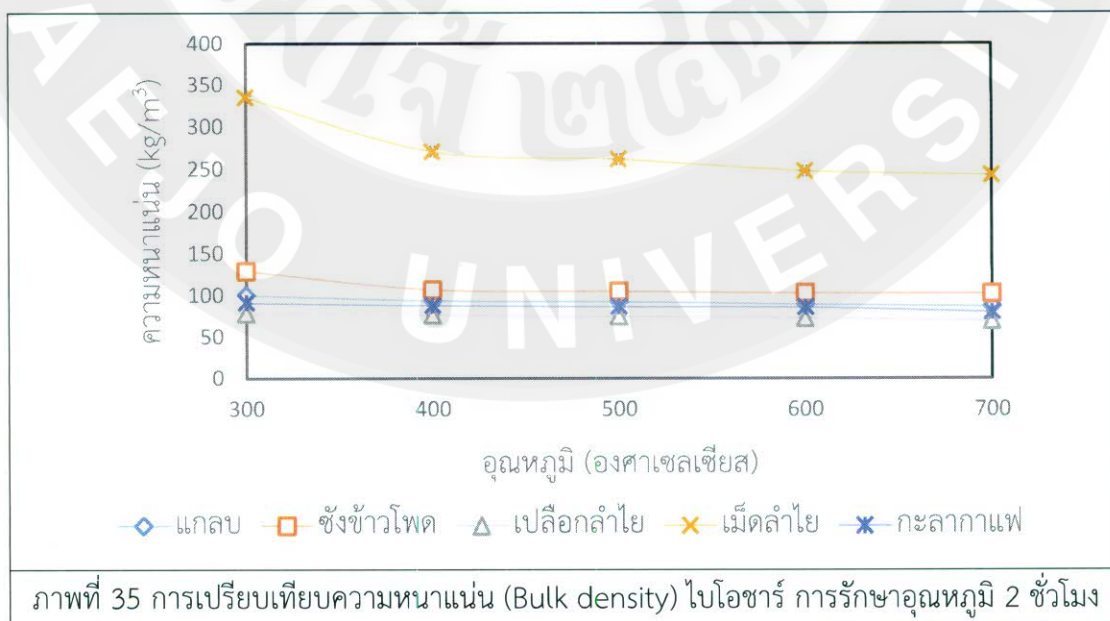
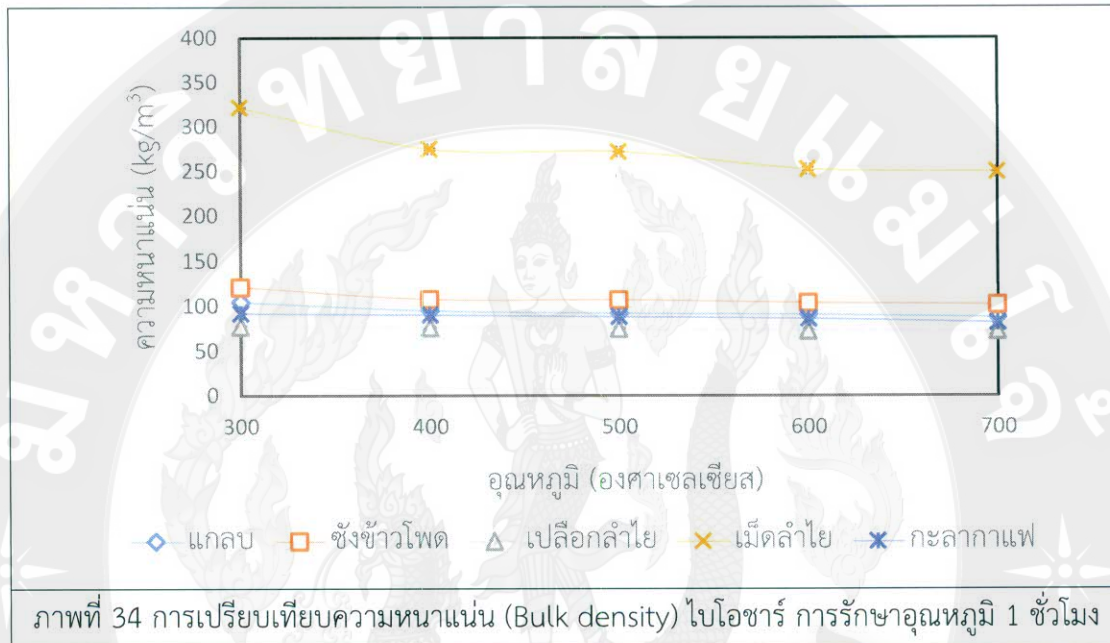
เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการทดสอบของงานวิจัยและงานวิจัยอื่นๆ ที่อุนหนุมิ 300-700 องศาเซลเซียส การรักษาอุนหนุมิ 1 ชั่วโมง เกี่ยวกับความหนาแน่นของไบโอชาร์จากแกลบ (ของงานวิจัย) ฟางข้าว กิ่งไม้ (Burrell Zehetner et al, 2016) ไม้ไผ่ (Hernandez-Mena Pécoraa et al, 2014) พบว่า การเพิ่มอุนหนุมิในการไพโรไลซิส ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีค่าแตกต่าง โดยไบโอชาร์จากงานวิจัยมีค่าในช่วง 79.98-321.58 kg/m³ ส่วนไบโอชาร์จากงานวิจัย



3337906250

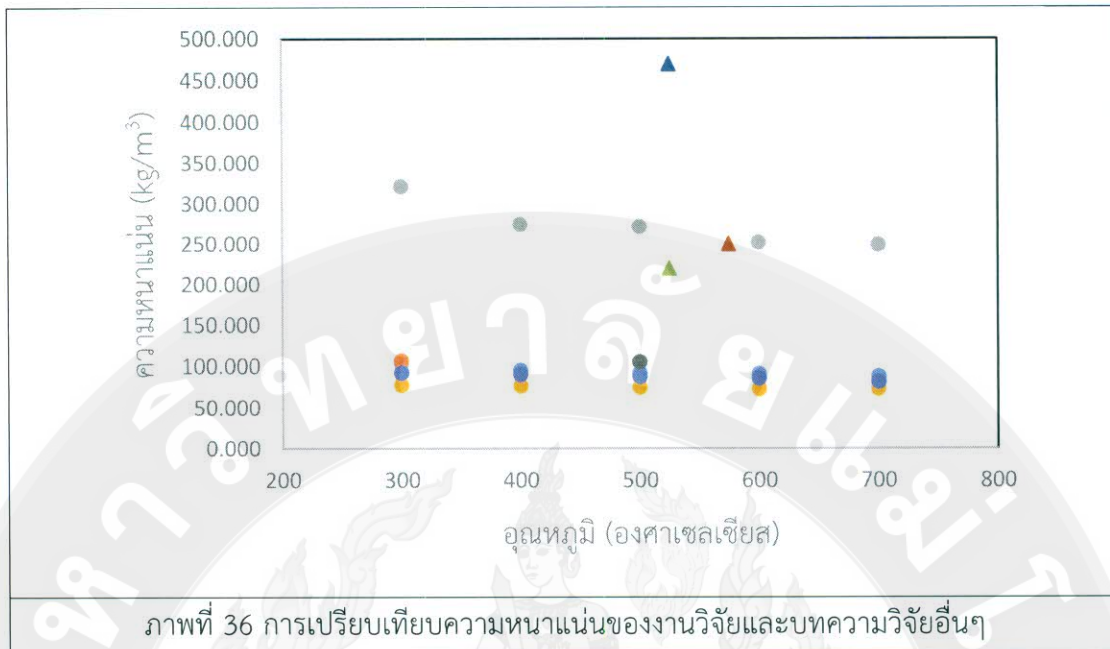
MJU iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

มีค่าในช่วง 105-470 kg/m³ เนื่องอุณหภูมิการไพโรไลซิสส่งผลให้ค่าความหนาแน่นแตกต่างกัน รวมถึงชนิดของชีวมวลที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอชาร์ ยังส่งค่าความหนาแน่นแตกต่างกันอีกด้วย



3337906250

MJU iThesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11



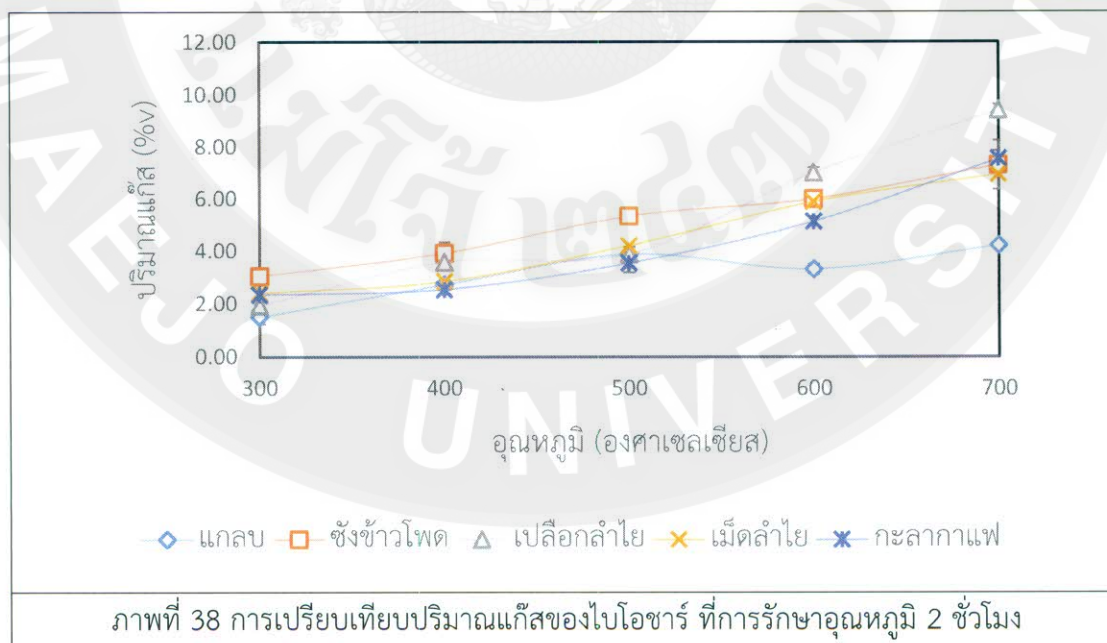
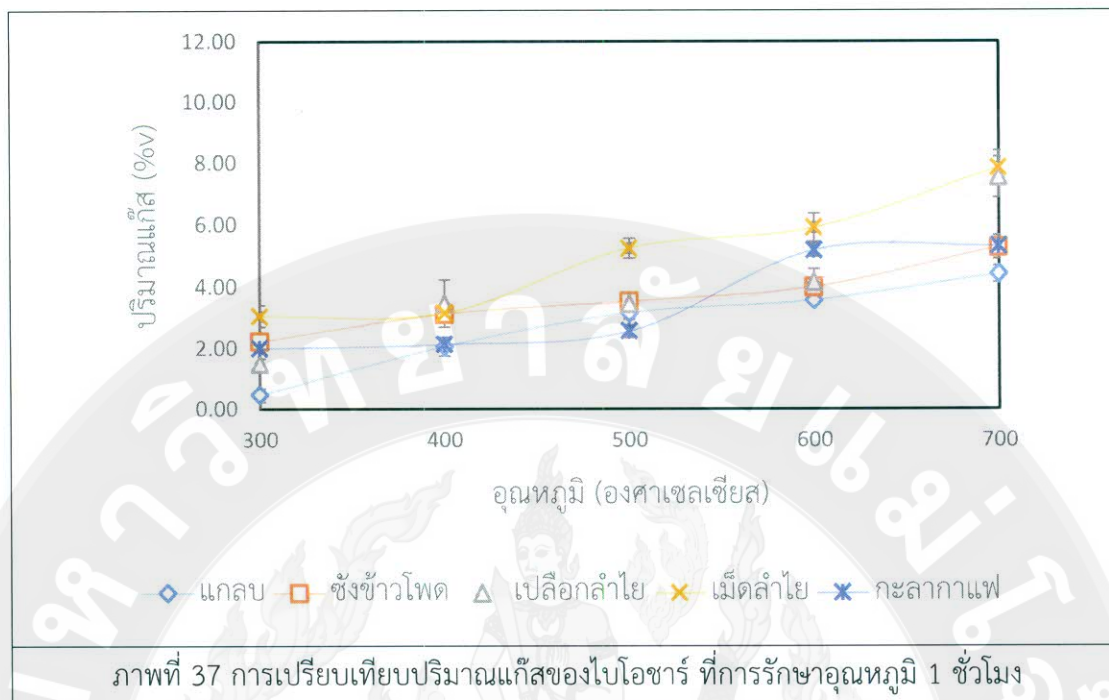
4.13 ผลปริมาณแก๊ส (Gas volume) และองค์ประกอบแก๊ส (Gas composition) ที่ได้จากการผลิตไบโอชาร์

จากการผลิตไบโอชาร์จากชีวมวลที่เป็นเศษวัสดุเกษตรด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ดังภาพที่ 35-36 พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุนหญ่มี มีผลต่อปริมาณแก๊สที่เพิ่มขึ้น มีค่าในช่วง 1.80-8.50 ลิตร อีกทั้งการเพิ่มขึ้นของการรักษาอุนหญ่มี 2 ชั่วโมง สามารถผลิตแก๊สได้สูงกว่าการรักษาอุนหญ่มีที่ 1 ชั่วโมง โดยชีวมวลจากเม็ดลำไย สามารถผลิตแก๊สได้สูงสุดที่ 8.3 ลิตร ที่การรักษาอุนหญ่มี 1 ชั่วโมง และเปลือกลำไยมีค่าสูงสุดที่ 8.5 ลิตร ที่การรักษาอุนหญ่มี 2 ชั่วโมง ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณแก๊สเกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างความร้อนและชีวมวล จึงสามารถวัดผลขององค์ประกอบแก๊ส ดังภาพที่ 37-38 พบว่า องค์ประกอบของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มอุนหญ่มีและเวลาการรักษาอุนหญ่มี โดยชีวมวลจากเม็ดลำไย สามารถผลิตแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์สูงสุดที่ 13.73 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ส่วนชีวมวลชนิดอื่นๆ สามารถผลิตปริมาณแก๊สออกมาในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน มีค่าอยู่ในช่วง 0.30-3.93 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สำหรับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุนหญ่มีและเวลาการรักษาอุนหญ่มี



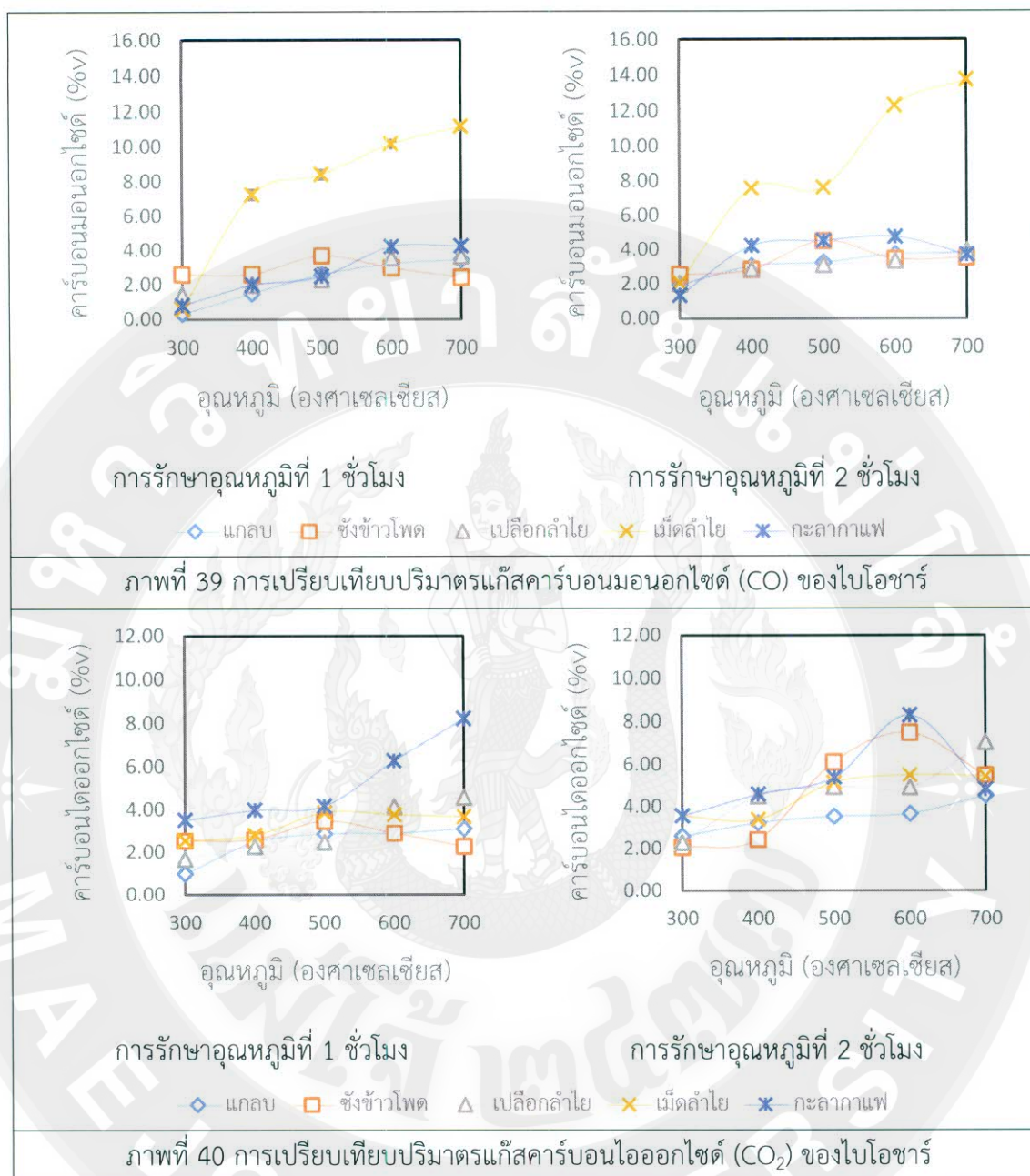
3337906250

MJU :Thesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11



3337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11



4.14 ผลขององค์ประกอบที่ได้จากน้ำมันดิน (Tar)

การผลิตไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส จากเศษวัสดุเกษตร ได้แก่ ซังข้าวโพด ที่อุณหภูมิ 300-700 องศาเซลเซียส ในการรักษาคูณหมูม 1 ชั่วโมง ดังตารางที่ 14-16 พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันดิน มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย โดยองค์ประกอบทางเคมีที่พบส่วนใหญ่ เป็นกลุ่มของสารไอโซไพพานอล อาจเกิดการระเหยไม่หมดจากการกระบวนการกลั่น เนื่องจากมีการใช้สารไอโซไพพานอลในการดักน้ำมันดินระหว่างเกิดปฏิกิริยาขึ้น ในการผลิตไบโอชาร์จากซังข้าวโพด อีกทั้งยังพบกลุ่มกรดอะซิติก กลุ่มไพพานอล กลุ่มไพพานิก เกิด

จากการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส ในขณะที่กลุ่มฟีนอล และ 2-Cyclopenten-1-one ส่วนใหญ่เกิดจากการสลายตัวของลิกนิน ซึ่งที่อุณหภูมิในช่วง 300-500 องศาเซลเซียส มีองค์ประกอบทางเคมีที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งที่อุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส จะมีองค์ประกอบทางเคมีชนิดอื่นๆ เช่น กลุ่มเบนซีน เป็นต้น

ตารางที่ 14 องค์ประกอบทางเคมีของไบโอชาร์จากซังข้าวโพด ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

ลำดับ	องค์ประกอบของสาร	Relative quantity (เปอร์เซ็นต์)	quantity (เปอร์เซ็นต์)
1	2-Propanone (Acetone)	2.299	80
2	Formic acid	2.511	83
3	2-Propanone (2-Hydroxypropane)	2.622	86
4	Decane	4.599	94
5	2-Butanone	9.104	86
6	2-Cyclopenten-1-one	9.798	90
7	Tetradecane	9.975	98
8	Acetic acid	10.41	90
9	2-Propanone (1-Acetyloxy)	10.569	80
10	2-Furancarboxaldehyde	10.622	95
11	Hydrazine	10.863	86
12	Propanoic acid	11.016	95
13	Hexadecane	11.34	97
14	Butanoic acid	11.581	83
15	2-Furanmethanol	11.822	95
16	Phenol (2-Methoxy)	13.039	95
17	Phenol (Sodium phenoxide)	13.839	91

ตารางที่ 15 องค์ประกอบทางเคมีของไบโอชาร์จากซังข้าวโพด ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

ลำดับ	องค์ประกอบของสาร	Relative quantity (เปอร์เซ็นต์)	quantity (เปอร์เซ็นต์)
1	2-Propanone (Acetone)	2.511	91
2	Isopropyl alcohol (2-Propanol)	2.634	86
3	2-Propanone (2-Hydroxypropane)	3.681	80
4	Decane	4.587	91
5	Dodecane	8.075	97
6	2-Cyclopenten-1-one	9.798	91
7	Tetradecane	9.963	98
8	Acetic acid	10.416	91
9	2-Furancarboxaldehyde	10.622	95
10	Propanoic acid	11.016	91
11	Hexadecane	11.339	98
12	2-Furanmethanol	11.822	97
13	2-Methoxyphenol	13.033	97
14	Phenol (Sodium phenoxide)	13.839	91

ตารางที่ 16 องค์ประกอบทางเคมีของไบโอชาร์จากซังข้าว ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

ลำดับ	องค์ประกอบของสาร	Relative quantity (เปอร์เซ็นต์)	quantity (เปอร์เซ็นต์)
1	2-Propanone (Acetone)	2.293	80
2	Formic acid	2.505	91
3	2-Propanone (2-Hydroxypropane)	2.617	86
4	Dodecane	8.075	96
5	2-Cyclopenten-1-one (Cyclopenten)	9.793	94
6	2-Cyclopenten-1-one (2-Methyl)	9.881	95
7	Tetradecane	9.963	98
8	Acetic acid	10.381	91

ลำดับ	องค์ประกอบของสาร	Relative quantity (เปอร์เซ็นต์)	quantity (เปอร์เซ็นต์)
9	2-Propanone	10.563	80
10	2-Furancarboxaldehyde	10.622	96
11	Propanoic acid	11.01	94
12	2-Cyclopenten-1-one	11.051	96
13	Hexadecane	11.339	98
14	Butanoic acid	11.581	91
15	2-Furanmethanol	11.822	97
16	Carbamic acid	11.928	83
17	2-Methoxyphenol	13.034	96
18	Benzene	13.581	93
19	Phenol (2-Methyl)	13.798	95
20	Phenol (Sodium phenoxide)	13.833	94

4.15 การวิเคราะห์ไบโอชาร์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

ในการศึกษาคุณสมบัติของไบโอชาร์ในท้องตลาด ทั้งหมดจำนวน 11 ร้านค้า โดยการศึกษาจะใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างจากปริมาณทั้งหมดที่ได้รับ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไบโอชาร์ 100% ลักษณะของไบโอชาร์มีความแปรและสีต่างๆ ซึ่งไบโอชาร์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติจะใช้เพียง 1-2 ถังไม่เกิน 1 กิโลกรัม มีรายละเอียดของร้านค้า ดังนี้

ตารางที่ 17 รายละเอียดของชื่อร้านค้าในท้องตลาด

ลำดับที่	ชื่อร้านค้าในท้องตลาด	ไบโอชาร์
1	สหโคเจนกรีน	กึ่งลำไย
2	บ้านไบโอชาร์	กึ่งลำไย
3	คินแคร์ (ไทยแลนด์)	ไม้ไผ่
4	โรงถ่านอัดแท่งพาวเวอร์คาร์โคล	ไม้
5	มูลนิธิอุ้นใจ	ไม้
6	ฟาร์มบ้านบ้าน	กึ่งไม้ผสม (ประตูเป็นส่วนมาก)
7	ที.เค.ปุ๋ยเคมีอินทรีย์-ชีวภาพ จำกัด	ไม้ไผ่

ลำดับที่	ชื่อร้านค้าในท้องตลาด	ไบโอชาร์
8	สระตะ	ไม้ยืนต้น
9	grougup	เศษไม้ผสม
10	วังยางนา	ไม้
11	คีนดี	ไม้ไผ่

4.15.1 คุณสมบัติขององค์ประกอบธาตุ (Ultimate) และปริมาณกลุ่มสาร (Proximate)

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบปริมาณกลุ่มสารไบโอชาร์ในท้องตลาด

ร้านค้าในท้องตลาด	Moisture content %	Volatile matter %	Ash content %	Fix Carbon %
sagacogen green	9.06	13.42	10.35	67.17
บ้านไบโอชาร์	8.02	18.36	41.18	32.44
คินแคร์ (ไทยแลนด์)	8.04	10.04	47.36	34.56
โรงถ่านอัดแท่งพาวเวอร์ ชาร์โคล	2.97	9.22	69.85	17.96
มูลนิธิอุ้นใจ	9.35	12.86	21.29	56.5
ฟาร์มบ้านบ้าน	6.64	16.9	9.17	67.29
ที.เค.ปุ๋ยอินทรีย์-ชีวภาพ จำกัด	11.2	7.29	8.61	72.9
สระตะ	6	14.43	45.06	34.51
Groudup	9.05	13.56	9.65	67.74
วังยางนา	7.25	24.06	10.33	58.36
คีนดี	10.99	7.76	9.36	71.89

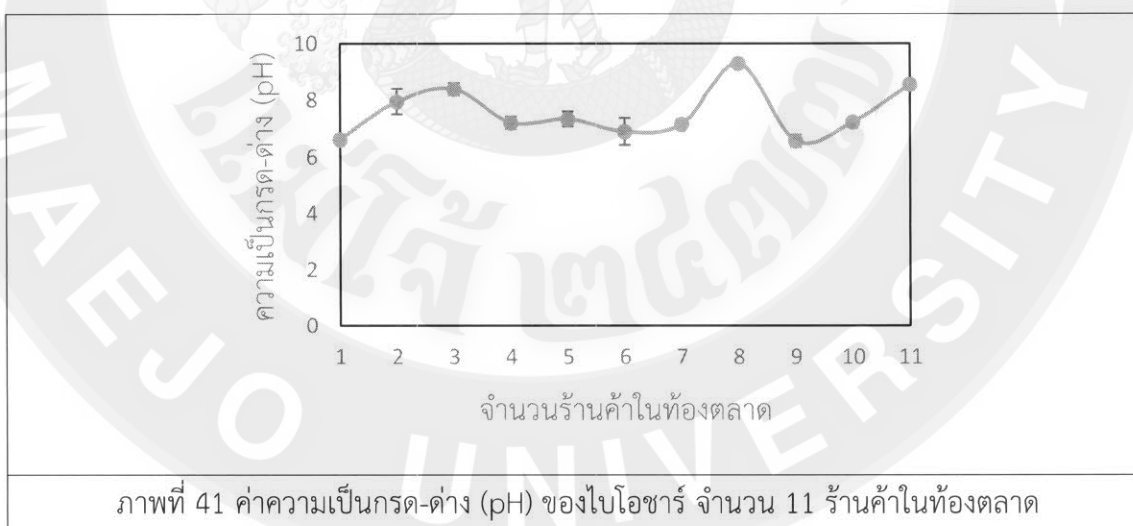
ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบองค์ประกอบธาตุไบโอชาร์ในท้องตลาด

ร้านค้าในท้องตลาด	C %	H %	N %	S %	O %
sagacogen green	70.81	3.18	0.7081	0.0005	14.96
บ้านไบโอชาร์	47.26	2.15	0.5251	0.0006	8.89
คินแคร์ (ไทยแลนด์)	39.22	2.12	0.3496	0.0003	10.95
โรงถ่านอัดแท่งพาวเวอร์ ชาร์โคล	20.43	1.6	0.5098	N/A	7.62
มูลนิธิอุ้นใจ	65.54	2.37	0.7496	0.0006	10.05

ร้านค้าในท้องตลาด	C	H	N	S	O
	%	%	%	%	%
ฟาร์มบ้านบ้าน	75.78	3.4	0.8028	0.0003	10.85
ที.เค.ปุ๋ยอินทรีย์-ชีวภาพ จำกัด	74.62	2.45	0.5272	0.1991	13.58
สระระตะ	46.53	2.5	1.2	0.1472	4.57
Groudup	71.01	3.1	0.659	0.1371	15.45
วังยางนา	67.31	3.86	1.55	0.0687	16.88
คินดี	73.81	2.49	0.5012	0.1921	13.65

จากการทดสอบองค์ประกอบธาตุไบโอซาร์ในท้องตลาด ดังตารางที่ 18-19 พบว่า ปริมาณสารระเหย ค่าคาร์บอนคงที่ และปริมาณเถ้า มีค่าใกล้เคียงกัน แต่จะแตกต่างกันที่ไบโอซาร์จากแปลงของงานวิจัยมีค่าสูงกว่าไบโอซาร์จากท้องตลาด อีกทั้งองค์ประกอบแร่ธาตุ C H N O S ของงานวิจัยและไบโอซาร์จากท้องตลาด ยังมีค่าใกล้เคียงกันอีกด้วย

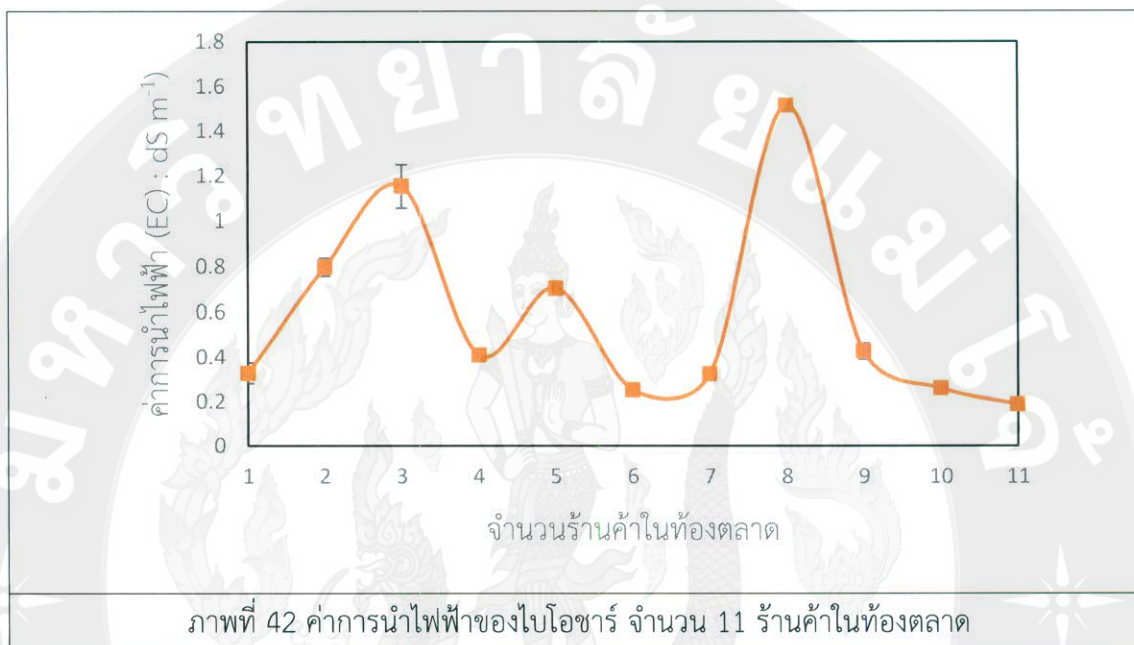
4.15.2 คุณสมบัติของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของไบโอซาร์ในท้องตลาด



การศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของไบโอซาร์ในท้องตลาด ดังภาพที่ 40 พบว่า โดยรวมไบโอซาร์ส่วนมากมีค่าความต่าง ซึ่งมีความเป็นด่างเล็กน้อยถึงค่าความเป็นกลาง (มีค่า pH ≤ 7) จำนวน 3 ร้านค้า มีค่าอยู่ในช่วง 6.57-6.90 เหมาะสมในการปรับปรุงดินที่ความเป็นด่างเล็กน้อย หรืออาจจะเหมาะสมในการปลูกพืชบางชนิด และมีค่าความเป็นด่างเล็กน้อยจนถึงความเป็นด่างสูง

จำนวน 9 ร้านค้า มีค่าอยู่ในช่วง 7.15-9.30 เหมาะสำหรับการปรับปรุงที่มีความกรดเล็กน้อยจนถึงความเป็นกรดสูง ซึ่งอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับงานวิจัย มีค่าอยู่ในช่วง 4.94-10.95

4.15.3 คุณสมบัติการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity: EC) ของไบโอซาร์ในท้องตลาด



การศึกษาการนำไฟฟ้า (EC) ของถ่านชีวภาพในท้องตลาด เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณเกลือหรือค่าความเค็มในถ่านชีวภาพ ดังภาพที่ 41 พบว่า ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าอยู่ในช่วง 0.186-1.513 dS m⁻¹ มีความแตกต่างกันกับงานวิจัย มีค่าในช่วง 0.116-0.916 dS m⁻¹ อาจเกิดจากชนิดของถ่านชีวภาพหรือสภาวะในการผลิตที่แตกต่างกัน โดยปริมาณเกลือที่ตรวจพบเป็นเกลือที่ละลายน้ำได้เมื่อเจอน้ำและจะแตกตัวเป็นไอออนบวก ซึ่งผลของค่าเค็มที่มีสูงจะส่งผลต่อพืช ทำให้พืชขาดน้ำเพราะพืชดูดน้ำไปใช้ไม่ได้ เกิดความเป็นพิษของโซเดียมและคลอรีน การมีเกลือมากยังไปยับยั้งการดูดใช้โพแทสเซียมและแคลเซียมด้วย นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และอัตราการสังเคราะห์แสงลดลง



3337906250

MJU iThesis 610309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

4.15.4 คุณสมบัติองค์ประกอบแร่ธาตุหลักและแร่ธาตุโลหะหนักของใบโอบเชงในท้องตลาด

ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบองค์ประกอบแร่ธาตุหลักของใบโอบเชงในท้องตลาด

ร้านค้าในท้องตลาด	Micro nutrients (%wt)		
	N	P	K
sagacogen green	0.63	0.38	1.85
บ้านโอบเชง	0.63	1.32	2.10
คินแคร์ (ไทยแลนด์)	0.34	0.62	2.93
โรงถ่านอัดแท่งพาวเวอร์ ชาร์โคล	0.7	0.2	0.42
มูลนิธิอุ้นใจ	0.48	1.44	1.70
ฟาร์มบ้านบ้าน	0.53	0.33	0.88
ที.เค.ปุ๋ยอินทรีย์-ชีวภาพ จำกัด	0.26	0.15	0.31
สระระตะ	1.23	0.39	2.69
Groudup	0.59	0.51	1.83
วังยางนา	1.34	0.27	0.65
คินดี	0.3	0.09	0.36

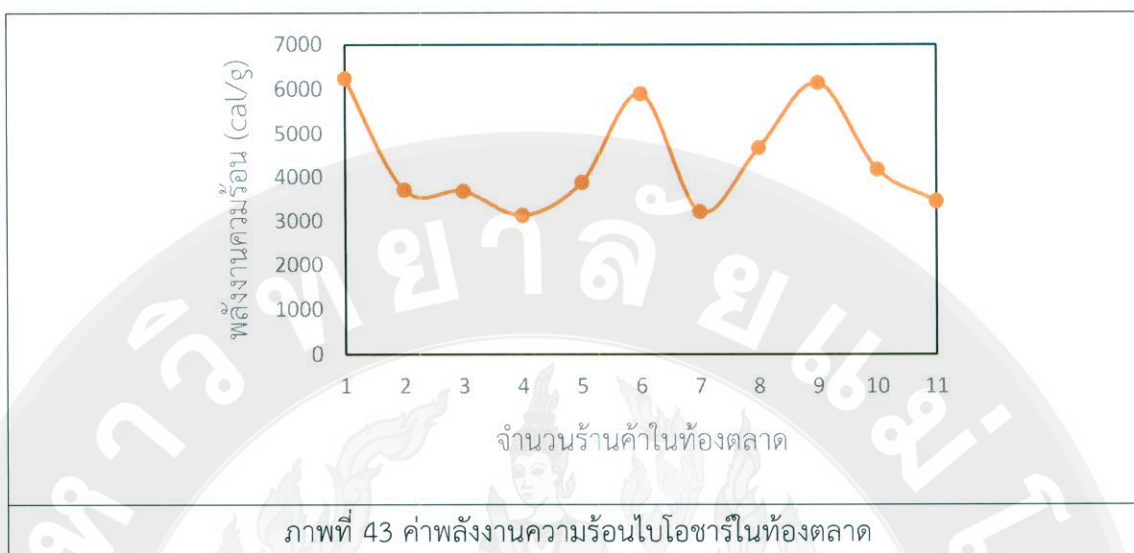
จากการศึกษาองค์ประกอบแร่ธาตุหลัก ดังตารางที่ 20 พบว่า ถ่านชีวภาพในท้องตลาดมีปริมาณไนโตรเจน (N) มีค่าในช่วง 0.3-1.34 %wt ปริมาณฟอสฟอรัส (P) มีค่าอยู่ในช่วง 0.09-1.44 %wt และปริมาณโพแทสเซียม (K) มีค่าในช่วง 0.31-2.93 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีใกล้เคียงกับงานวิจัยของถ่านชีวภาพจากเศษวัสดุเกษตร 5 ชนิด โดยมีค่าอยู่ในช่วง N : 0.34-1.77 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก P : 0.06-1.99 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ K : 0.34-3.17 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งคุณสมบัติของ N P K ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยปริมาณไนโตรเจน ช่วยในการสังเคราะห์แสงและทำให้พืชตั้งต้นได้อย่างสมบูรณ์แข็งแรง สำหรับปริมาณฟอสฟอรัส ช่วยในการเร่งดอกหรือผลและรากพืชมีการแผ่กระจาย ดูดซับน้ำและแร่ธาตุในดิน และปริมาณโพแทสเซียม ช่วยในการสร้างแป้ง น้ำตาล โปรตีน รวมถึงมีสีสดและรสชาติหวานขึ้น

ตารางที่ 21 การเปรียบเทียบแร่ธาตุโลหะหนักของถ่านชีวภาพในท้องตลาด

ร้านค้า	Heavy metals (mg/kg)														
	Mg	Ca	Pb	Cd	Cu	Ni	Hg	Zn	Cr	Fe	Mn	As	Co	Se	B
1	681.60	647.20	1.98	N/A	31.38	11.49	4.55	48.10	15.50	5556.00	299.60	2.98	3.82	N/A	49.58
2	680.80	715.20	N/A	N/A	4.39	N/A	4.44	36.52	N/A	83.24	38.40	N/A	N/A	N/A	6.41
3	682.70	718.30	0.10	N/A	9.12	4.16	4.42	19.39	6.25	3128.00	143.20	1.41	1.49	N/A	18.46
4	692.40	745.20	2.00	N/A	5.35	2.37	6.02	36.59	6.68	2648.00	190.40	0.51	1.78	N/A	11.70
5	682.70	640.60	2.32	N/A	13.51	3.31	4.58	96.64	15.46	2354.00	134.40	1.96	1.09	N/A	5.59
6	689.30	727.40	0.46	N/A	17.59	0.49	5.07	27.94	0.98	183.70	19.06	0.35	0.20	N/A	17.43
7	695.70	764.90	1.57	0.80	15.41	2.70	5.12	32.85	2.41	559.00	234.50	1.55	2.07	0.95	10.93
8	683.40	718.80	0.84	N/A	8.01	1.13	4.54	64.99	1.99	1449.00	71.08	1.16	1.40	0.14	29.25
9	691.70	764.90	N/A	N/A	10.99	1.22	4.61	48.69	2.32	1455.00	82.23	0.17	0.26	N/A	5.18
10	689.30	736.30	0.88	N/A	9.33	2.02	4.58	94.24	0.22	349.40	317.70	N/A	N/A	N/A	30.97
11	380.30	747.40	N/A	N/A	15.58	4.85	4.48	28.27	0.07	402.60	178.20	0.17	N/A	N/A	9.62

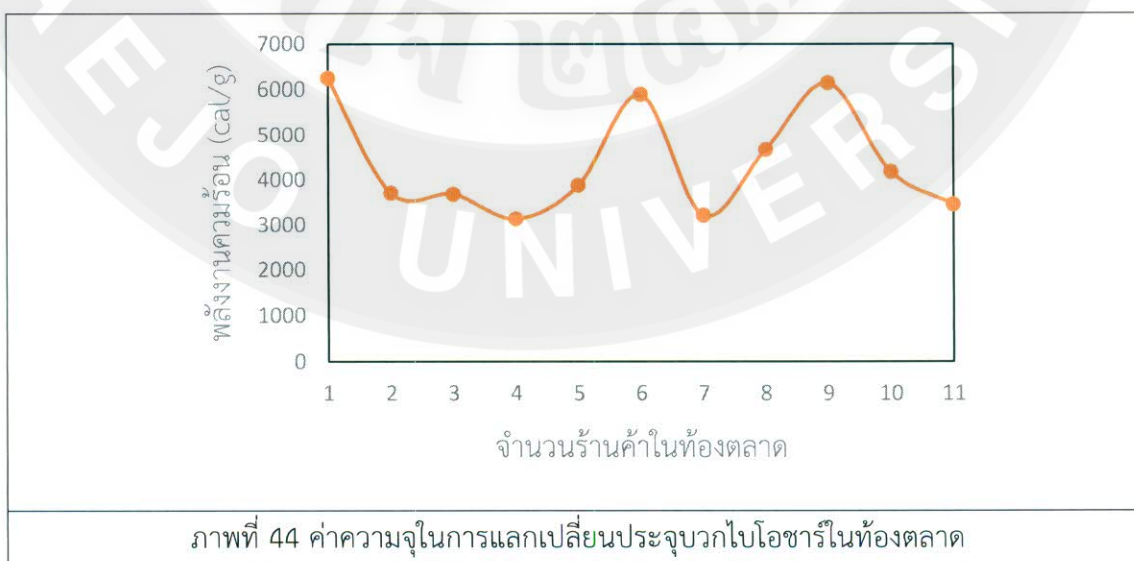
จากการศึกษาองค์ประกอบแร่ธาตุโลหะหนัก ดังตารางที่ 21 พบว่า ถ่านชีวภาพในท้องตลาด มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบจากงานวิจัย ดังตารางที่ 13 สำหรับปริมาณแร่ธาตุโลหะหนักที่ไม่มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตพืชและส่งผลกระทบต่อร่างกาย ถ้าหากรับประทานพืชต่างๆเข้าสู่ร่างกาย เช่น แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb)ปรอท (Hg) และ นิกเกิล (Ni) ยังมีอยู่ตกค้างในถ่านชีวภาพในท้องตลาด ที่มีปริมาณค่อนข้างสูงกว่าถ่านชีวภาพจากงานวิจัย

4.15.5 คุณสมบัติพลังงานความร้อน (Thermal energy) ของไบโอชาร์ในท้องตลาด



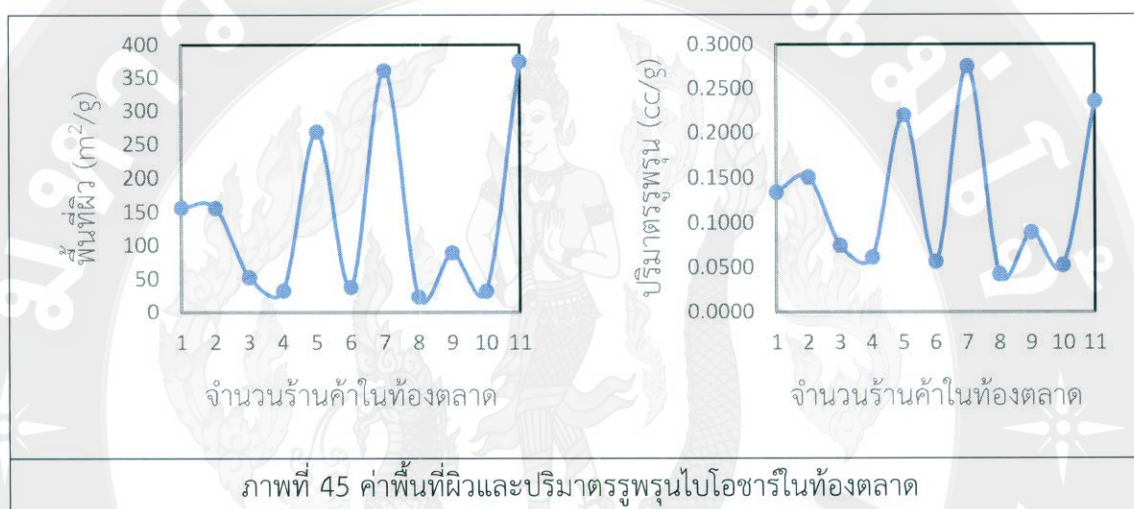
จากการทดสอบผลของค่าพลังงานความร้อนไบโอชาร์ในท้องตลาด ดังภาพที่ 42 พบว่า ค่าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น มีค่าใกล้เคียงกันกับงานวิจัย โดยค่าพลังงานความร้อนไบโอชาร์ในท้องตลาด มีค่าอยู่ในช่วง 3135-6244 cal/g ซึ่งไบโอชาร์จากงานวิจัยสูงกว่าเล็กน้อย มีค่าในช่วง 3904-7427 cal/g อาจเกิดจากชนิดและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน

4.15.6 คุณสมบัติของความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity: CEC) ของไบโอชาร์ในท้องตลาด



จากผลการทดสอบค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ดังภาพที่ 43 ของไบโอซาร์ในท้องตลาด พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 23.72-59.88 (cmol(+)/kg) แตกต่างจากถ่านชีวภาพจากงานวิจัย ที่มีค่าน้อยกว่า มีค่าอยู่ในช่วง 6.786-69.591 (cmol(+)/kg) อาจเกิดจากสภาวะการผลิตและชนิดของชีวมวลที่ต่างชนิดกัน ซึ่งค่า CEC ของไบโอซาร์จะส่งผลต่อการดึงดูดแร่ธาตุอาหารในดิน

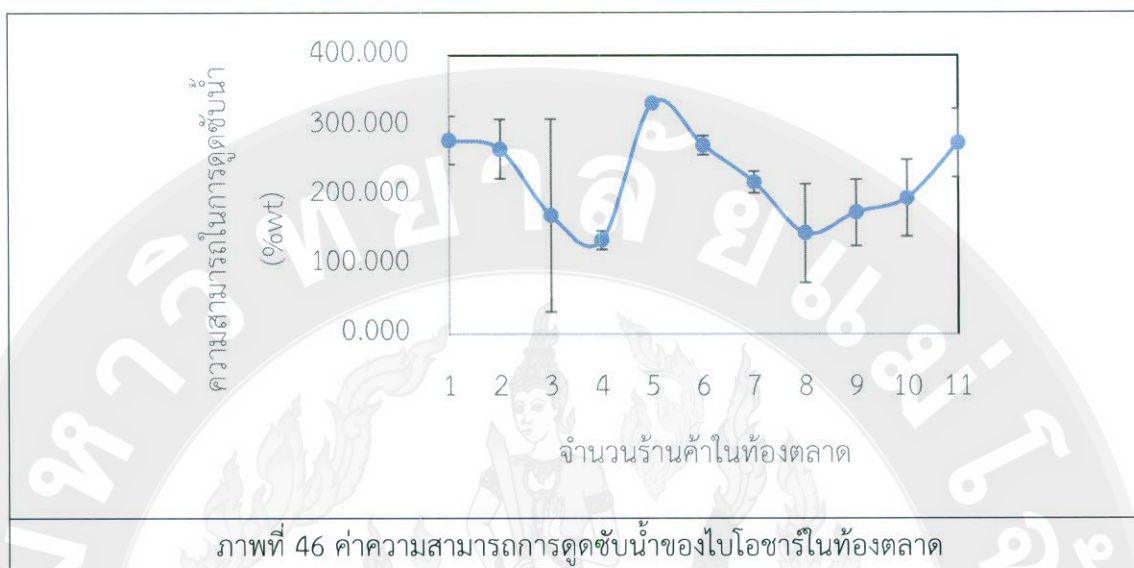
4.15.7 คุณสมบัติพื้นที่ผิว (Surface area) และปริมาตรรูพรุน (Pore volume) ของไบโอซาร์ในท้องตลาด



ภาพที่ 45 ค่าพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนไบโอซาร์ในท้องตลาด

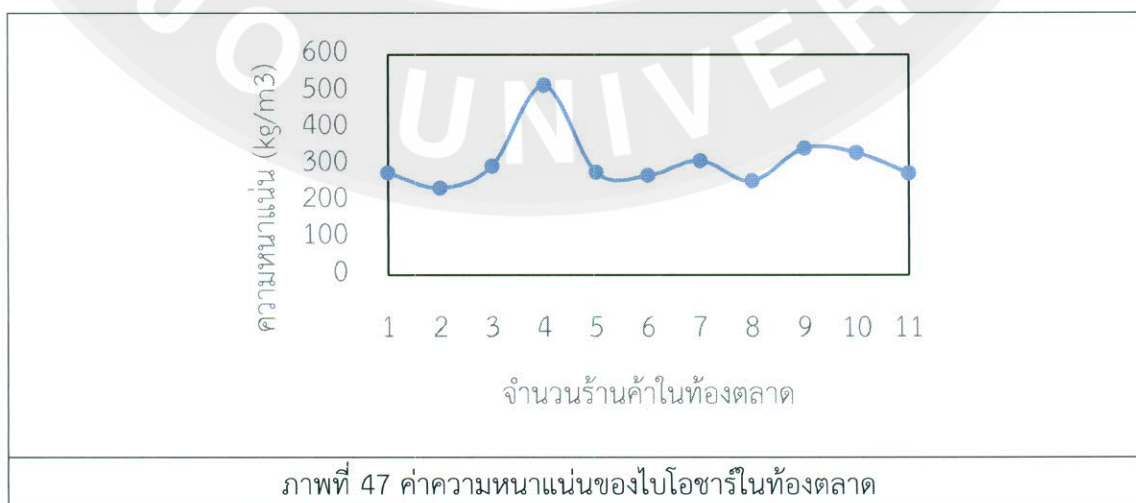
ผลจากการทดสอบพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนที่เกิดขึ้นในไบโอซาร์ ดังภาพที่ 44 พบว่าไบโอซาร์ในท้องตลาดแต่ละแห่ง มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนที่แตกต่างกัน โดยพื้นที่ผิวของไบโอซาร์มีค่าอยู่ในช่วง 31.73-374.39 m²/g และปริมาตรรูพรุน มีค่าอยู่ในช่วง 0.0426-0.2748 cc/g เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของงานวิจัย มีความแตกต่างกัน โดยมีค่าของพื้นที่ผิว อยู่ในช่วง 16.18-93.29 m²/g และปริมาตรรูพรุน มีค่าในช่วง 0.0315-0.1084 cc/g ซึ่งผลจากการทดสอบของงานวิจัยมีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนของไบโอซาร์น้อยกว่าร้านต่างๆในท้องตลาด อาจเกิดจากชนิดของชีวมวลและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน

4.15.8 คุณสมบัติความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water Holding Capacity: WHC) ของไบโอชาร์ในท้องตลาด



ผลจากการทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำของไบโอชาร์ พบว่า ไบโอชาร์ในท้องตลาดมีความสามารถในการดูดซับน้ำที่แตกต่างกับงานวิจัย โดยมีค่าอยู่ในช่วง 145.63 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ถึง 332.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อเทียบผลการทดสอบกับงานวิจัยพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 157.24-349.07 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งถ่านชีวภาพจากงานวิจัยมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูงกว่าถ่านชีวภาพที่มีการจำหน่ายในท้องตลาด อาจเกิดจากกระบวนการผลิตหรือชนิดของเศษวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิต

4.15.9 คุณสมบัติความหนาแน่น (Bulk density) ของไบโอชาร์ในท้องตลาด



3337906250

MJU_UThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

ผลจากการทดสอบความหนาแน่นของไบโอชาร์ พบว่า ไบโอชาร์ในท้องตลาด มีความหนาแน่นที่แตกต่างกับงานวิจัย โดยมีค่าอยู่ในช่วง 237.11-518.37 kg/m³ เมื่อเทียบผลการทดสอบกับงานวิจัยพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 77.39-334.84 kg/m³ ซึ่งความแตกต่างอาจเกิดจากลักษณะของโครงการชีวมวลที่แตกต่างกัน รวมถึงกระบวนการผลิตอีกด้วย

4.16 การนำไบโอชาร์ไปใช้ประโยชน์

จากการศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของไบโอชาร์ที่ได้จากการผลิตด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดินได้อย่างเหมาะสม ดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 คุณสมบัติของไบโอชาร์ที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงดิน

คุณสมบัติ	ผลงานวิจัย	การนำไปใช้ประโยชน์
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.8-10.95	การนำไบโอชาร์ไปใช้ในการปรับปรุงดิน โดยค่า pH ในช่วง 5-6 สามารถนำไปใช้กับดินประเภทที่มีค่าความเป็นเบสอ่อน และค่า pH ในช่วง 8-11 เหมาะสำหรับในการปรับปรุงกรดอ่อนจนถึงดินที่มีค่ากรดสูง เพื่อปรับปรุงให้ดินมีสภาพเป็นกลาง ซึ่งจะช่วยให้การดูดแร่ธาตุและสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช
การนำไฟฟ้า (EC)	0.109-2.064 dS m ⁻¹	ค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมในการปรับปรุงดิน ควรรักษาการนำไฟฟ้าของสารอาหารระหว่าง 2.0-4.0 dS m ⁻¹ ซึ่งถ้าหากมีการนำไฟฟ้าสูงเกินไป ส่งผลให้พืชอาจถูกยับยั้งการเจริญเติบโต
การแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวก (CEC)	6.78-69.59 cmol(+)/g	การแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวก ที่มีค่าสูง มีเป็นผลดีต่อการนำไปปรับปรุงดินอย่างมาก จะช่วยในการดูดแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ให้ดินให้กับพืชได้เป็นอย่างดี
พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน	พื้นที่ผิว 16.18-41.46 m ² /g	พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน ที่มีค่าสูง ทำให้ไบโอชาร์สามารถเก็บกักน้ำและธาตุอาหาร



3337906250

MJU-IThesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

คุณสมบัติ	ผลงานวิจัย	การนำไปใช้ประโยชน์
	ปริมาตรรูพรุน 0.0315-0.060 cc/g	รวมทั้งเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ ซึ่งเหมาะสำหรับปรับปรุงดินให้มีความร่วนซุย รวมถึงดินที่แห้งแข็งอีกด้วย
องค์ประกอบแร่ธาตุหลัก	N: 0.34-1.77 (%wt) P: 0.06-1.99 (%wt) K: 0.34-3.17 (%wt)	เนื่องจาก 3 ธาตุนี้พืชต้องการใช้ในปริมาณมาก การนำไปใช้อุ้มน้ำใช้ในการปรับปรุงดิน จะช่วยให้ดินมีแร่ธาตุหลักเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้พืชผลมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว
องค์ประกอบแร่ธาตุโลหะหนัก	Mg: 318-681 mg/kg Ca: 707-780 mg/kg Cu: 2-30 mg/kg Zn: 15-169 mg/kg Fe: 54-491 mg/kg Mn: 16-354 mg/kg B: 0.11-53 mg/kg Pb: 0.11-11.28 mg/kg Cd: 2.936 mg/kg Ni: 0.5-13 mg/kg Hg: 0.0006-4.35 mg/kg Cr: 0.3-23 mg/kg As: 0.005-0.73 mg/kg Co: 2.9 mg/kg Se: 0.22-0.76 mg/kg	แร่ธาตุโลหะหนัก ที่นำไปใช้ในการปรับปรุงดิน แบ่งออก 2 ประเภท คือ เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ Mg Ca Cu Zn Fe Mn B แร่ธาตุเหล่านี้มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างมาก ส่วนแร่ธาตุที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช เมื่อนำไปใช้ปรับปรุงดิน ได้แก่ Pb Cd Ni Hg Cr As Co Se แร่ธาตุเหล่านี้เมื่อพืชดูดซับไว้ หากร่างกายของมนุษย์ได้รับจะมีผลเสียต่อสุขภาพ
การดูดซับน้ำ (WHC)	49-349 %wt	ความสามารถในการดูดซับน้ำของไบโอชาร์ ที่มีค่าสูง จะช่วยให้ดินอุ้มน้ำได้ดี สามารถปรับปรุงดินที่แห้งและแข็ง ให้เป็นดินที่ชุ่มน้ำได้นาน



3337906250

MUJ :Thesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษากระบวนการผลิตไบโอชาร์ด้วยการไพโรไลซิสแบบช้า จากเศษวัสดุเกษตร มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยของการผลิตไบโอชาร์ ศึกษาคุณสมบัติของถ่านชีวภาพทางฟิสิกส์และทางเคมี อีกทั้งเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ไบโอชาร์ที่ได้จากงานวิจัยกับผลิตภัณฑ์ที่มีการศึกษาวิจัยมาแล้ว รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่มีการจำหน่ายแล้วในท้องตลาด เพื่อเป็นประโยชน์ในการผลิตไบโอชาร์สำหรับนำไปเลือกใช้ในการปรับปรุงดินได้

5.1 สรุปผลวิจัย

การทดสอบการผลิตไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า จากเศษวัสดุเกษตร 5 ชนิด ได้แก่ แกลบ ชังข้าวโพด เปลือกลำไย เม็ดลำไย และกะลากาแฟ ที่อุณหภูมิ 300 400 500 600 และ 700 องศาเซลเซียส การรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง ในอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจน (N_2) ที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที

การศึกษาการเพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า ที่อุณหภูมิ 300-700 องศาเซลเซียส ส่งผลให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีในไบโอชาร์มีค่าแตกต่างกัน โดยปริมาณไบโอชาร์ที่ได้จากการผลิตมีปริมาณลดลง มีค่าอยู่ในช่วง 23.26-58.36 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เกิดการสลายตัวของสารระเหยและการเพิ่มปริมาณของคาร์บอน สำหรับค่าความเป็นกรดต่าง และค่าการนำไฟฟ้า ของไบโอชาร์มีปริมาณเพิ่มขึ้น มีค่าในช่วง 4.9-10.95 และ 0.106-2.064 $dS\ m^{-1}$ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเมื่อได้รับความร้อน เกิดการสลายตัวของกลุ่มกรด $-COOH$ $-OH$ และไอออนลบด้วย สำหรับค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก มีปริมาณลดลงในช่วงอุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส มีค่าในช่วง 6.70-69.59 $cmol(+)/g$ และมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส มีค่าในช่วง 9.26-27.09 $cmol(+)/g$ สำหรับค่าพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน มีขนาดใหญ่ขึ้นมีค่าในช่วง 16.18-24.21 m^2/g และ 0.031-0.060 cc/g ซึ่งส่งผลค่าความสามารถในการดูดซับน้ำอีกด้วย มีค่าในช่วง 49.12-349.07 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เกิดจากการสลายตัวของปริมาณสารระเหยเมื่อได้รับความร้อนจากการไพโรไลซิสแบบช้า สำหรับองค์ประกอบแร่ธาตุหลัก และแร่ธาตุโลหะที่มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชมีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่วนโลหะหนักที่ไม่มีประโยชน์ต่อพืช เช่น Pb Cd Ni เป็นต้น มีความเข้มข้นลดลง อีกทั้งมีผลการทดสอบไม่เกินค่ามาตรฐานตาม IBI และ EBC สำหรับผลการทดสอบปริมาณแก๊สที่ได้ มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการให้ความร้อนและการรักษาอุณหภูมิ



3337906250

MJU eThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

การศึกษาการรักษาอุณหภูมิในผลิตไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ที่ 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง พบว่า การเพิ่มขึ้นเวลาในการรักษาอุณหภูมิ ส่งผลให้ปริมาณไบโอชาร์ ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าการนำไฟฟ้า พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน ค่าความหนาแน่น รวมถึงความสามารถในการดูดซับน้ำ องค์ประกอบแร่ธาตุหลักและแร่ธาตุโลหะหนัก เช่น Mg Ca Pb Ni Zn Mn เป็นต้น และปริมาณแก๊สที่เกิด มีค่าสูงขึ้น แตกต่างจากค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก และองค์ประกอบแร่ธาตุโลหะหนัก เช่น Hg Zn Cu Cr Fe As เป็นต้น มีค่าลดลง

การศึกษาคุณสมบัติไบโอชาร์สำหรับนำไปใช้ในการปรับปรุงดิน โดยสภาวะที่เหมาะสม โดยรวมมีการผลิตไบโอชาร์ ในช่วงอุณหภูมิ 300-400 องศาเซลเซียส ที่การรักษาอุณหภูมิ 1-2 ชั่วโมง ค่า pH มีสถานะเป็นกรดอ่อนถึงกลาง และมีค่า CEC สูง ซึ่งเหมาะสมในการปรับปรุงดินที่มีความเป็นเบสอ่อน เพื่อให้ดินมีค่า pH เป็นกลาง และมีความสามารถในการดึงดูดแร่ธาตุต่าง ๆ ได้ดี ส่วนในช่วงอุณหภูมิ 500-700 องศาเซลเซียส ที่การรักษาอุณหภูมิ 1-2 ชั่วโมง มีค่า pH มีสถานะเป็นเบสอ่อนถึงเบสแก่ เหมาะสำหรับการปรับปรุงดินที่มีสถานะเป็นกรดอ่อนถึงกรดแก่ อีกทั้งค่าการนำไฟฟ้า ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ ค่าพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน สูงกว่าอุณหภูมิ 300-400 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสำหรับการปรับปรุงดิน ให้มีความชุ่มชื้น สามารถดึงดูดแร่ธาตุอาหารในดิน อีกทั้งยังเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ ทำให้พืชมีความเจริญเติบโตได้ดี โดยคุณสมบัติทั้งนี้จะต้องทำการตรวจสอบคุณภาพดินก่อน เพื่อให้คุณสมบัติของไบโอชาร์ เกิดประโยชน์สูงสุดเมื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงดิน

การเปรียบเทียบผลงานทดสอบของงานวิจัยและบทความวิจัยอื่น ๆ รวมถึงไบโอชาร์ในท้องตลาด พบว่า คุณสมบัติต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกัน โดยผลการทดสอบงานวิจัยมีค่าความเป็นกรดต่าง การนำไฟฟ้า พลังงานความร้อน ความสามารถในการดูดซับ มีแนวโน้มสูงกว่าบทความวิจัยอื่น ๆ แตกต่างจาก ผลปริมาณแร่ธาตุโลหะหนักของไบโอชาร์ในท้องตลาด มีความเข้มข้นสูงมากกว่า รวมถึงพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน มีค่าแนวโน้มสูงกว่าผลการทดสอบงานวิจัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การศึกษาเวลาในการรักษาอุณหภูมิ โดยอาจจะศึกษาในช่วง 4 6 และ 8 ชั่วโมง เพื่อดูคุณสมบัติของไบโอชาร์ ซึ่งอาจจะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าการรักษาอุณหภูมิ 1 ชั่วโมงและ 2 ชั่วโมง รวมถึงการนำเศษวัสดุเกษตรอื่น ๆ มาใช้ในการผลิตไบโอชาร์

5.2.2 จากผลการศึกษาการผลิตไบโอชาร์ในครั้งนี้ จะเห็นได้ว่า การผลิตไบโอชาร์จากเศษวัสดุเกษตร ยังมีประเด็นสำคัญบางส่วนที่น่าสนใจควรแก่การศึกษาเพิ่มเติม เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตไบโอชาร์ ให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ปรับปรุงดินยิ่งขึ้น โดยใช้



3337906250

MJU-Thesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

กระบวนการผลิตอื่น ๆ เช่น กระบวนการไฟโรไลซิส ภายใต้การจำกัดอากาศ กระบวนการทอริเฟคชั่น กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน เป็นต้น

5.2.3 ควรมีการใช้เตาปฏิกรณ์ที่มีขนาดใหญ่และมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง สามารถควบคุม อุณหภูมิและอัตราการป้อนอากาศได้อย่างแม่นยำ เพื่อที่จะให้ได้ปริมาณผลผลิตไบโอชาร์มากพอ สำหรับนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ เนื่องจากเตาปฏิกรณ์ขนาดเล็ก จะต้องมีการผลิตไบโอชาร์ จำนวนครั้งการทดสอบอย่างมาก จะได้ประหยัดค่าไฟฟ้าและแก๊สไนโตรเจนที่ใช้ในการผลิตไบโอชาร์ อีกด้วย

5.2.4 มีการศึกษาองค์ประกอบแก๊สเพิ่มเติม เช่น CH_4 H_2 O_2 เป็นต้น เพื่อดูคุณภาพของแก๊ส เชื้อเพลิง สำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงาน

5.2.5 เนื่องจากปัญหาเศษวัสดุเกษตรยังมีอีกหลากหลายชนิดที่ยังไม่ได้นำมาศึกษาคุณสมบัติ เมื่อนำมาใช้ในการผลิตไบโอชาร์ ควรจะมีการเลือกใช้เศษวัสดุเกษตรชนิดอื่น ๆ เพื่อลดปริมาณและ ลดการกำจัดอย่างผิดวิธี อีกทั้งเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ให้มีทางเลือกในการผลิตไบโอชาร์ที่ หลากหลายชนิดจากเศษวัสดุเกษตร

5.2.6 ควรที่จะมีการศึกษาคุณสมบัติอื่น ๆ ในเชิงลึก เช่น ความสามารถในการดูดซับแร่ธาตุ หลัก หรือแร่ธาตุโลหะหนัก ที่เป็นประโยชน์ต่อการพืช เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงดิน เป็นต้น

5.3 ปัญหาที่พบในการศึกษา

5.3.1 การผลิตไบโอชาร์ในระดับห้องปฏิบัติการ ในแต่ละครั้งการทดสอบได้ปริมาณไบโอชาร์ น้อย ทำให้ปริมาณไม่เพียงพอต่อการส่งวิเคราะห์คุณสมบัติ จึงทำให้ใช้เวลาในการผลิตไบโอชาร์นาน ส่งผลให้งานวิจัยเกิดการล่าช้าขึ้น

5.3.2 สภาพอากาศ ถ้าหากเกิดมีฝนตกหรือลมแรง มักจะเกิดปัญหาไฟฟ้าดับ ทำให้ไม่สามารถดำเนินงานทดสอบได้ ซึ่งในบางครั้งเกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ ส่งผลให้การดำเนินงานใน ครั้งนั้น ต้องทำการทดสอบใหม่ จึงอยากให้มีการติดตั้งเครื่องสำรองไฟ



3337906250

MOT iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11



ภาคผนวก



337906250

MJU :Thesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

ก. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติไบโอชาร์



ภาคผนวกที่ 1 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) เพื่อใช้ในการลดความชื้นชีวมวลและไบโอชาร์



ภาคผนวกที่ 2 เครื่องเขย่า สำหรับเขย่าตัวอย่าง เพื่อวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC)



ภาคผนวกที่ 3 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity)



3337906250



ภาคผนวกที่ 4 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ใช้สำหรับผสมกับน้ำกลั่น เพื่อเขย่าตัวอย่างในการวิเคราะห์ pH และ EC



ภาคผนวกที่ 5 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น



ภาคผนวกที่ 6 อุปกรณ์สำหรับการวัดค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ



ภาคผนวกที่ 7 เครื่องย่อยตัวอย่าง สำหรับวิเคราะห์แร่ธาตุโลหะหนัก



ภาคผนวกที่ 8 เครื่องวิเคราะห์แร่ธาตุโลหะหนัก ICP-OES



ภาคผนวกที่ 9 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด เพื่อใช้ในการศึกษาลักษณะสัณฐาน
และโครงสร้างภายในของไบโอชาร์



ข. การนำเสนอผลงานวิชาการ

การประชุมงานวิชาการ ระดับนานาชาติ “International Conference on Sustainable Energy and Green Technology 2019” หรือ SEGT ซึ่งงานประชุมได้จัดขึ้น ณ Millennium Hilton Bangkok, Bangkok Thailand ในระหว่างวันที่ 11-14 ธันวาคม 2562

เรื่องที่น่าสนใจในงานประชุมวิชาการ “Effect of process on properties of biochar from agricultural residues”



ภาคผนวกที่ 10 ได้รับรางวัล “BEST PAPER AWARD” และใบรับรองการเข้าร่วมประชุมงานวิชาการ
ระดับนานาชาติ



PAPER · OPEN ACCESS

Effect of process conditions on properties of biochar from agricultural residues

To cite this article: Waranya Somporn *et al* 2020 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **463** 012005

View the [article online](#) for updates and enhancements.



3337906250

MJU :Thesis 6103309007 thesis / recv : 04062564 14:21:20 / seq : 11

Effect of process conditions on properties of biochar from agricultural residues

Waranya Somparn¹, Numpon Panyoyai¹, Tipapon Khamdaeng¹, Nakorn Tippayawong², Samerkhwan Tantikul¹ and Thanasit Wongsiriamnuay^{1*}

¹ Division of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, 63 Chiangmai-Phrao Road, Nonghan, Sansai, Chiang Mai, 50290, Thailand.

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand.


*E-mail: t.wongsiriamnuay@gmail.com

Abstract. In northern Thailand, there are a great amount of agricultural residues generated after the harvest, most of which are burned as a means of disposal, affecting the soil for agriculture, wild animals, as well as causing air pollution. One of the solutions that may be beneficial in terms of carbon credit is to turn these agricultural residues into biochar using slow pyrolysis. Biochar is widely accepted biologically derived matter with the ability to contain carbon, large amount of nutrients, adding biodiversity in soils. The attribute of biochar is varied depending on its production process. This research aims to study biochar production conditions and possible attributes with slow pyrolysis process under 100 ml/min nitrogen condition. Two types of agricultural residues including rice husk and corn cob were used, at the process temperature of 300-700 °C. The results indicated that when the temperature was increased, the produced biochar decreased, but different amounts of carbon, electrical conductivity, amounts of inorganic minerals (N, P, K, Mg, Ca, Fe), and alkalinity increased. This enabled the produced biochar to add more carbon to the soil when used, reduce acidity or alkalinity, as well as help the soil to contain more water and other required nutrients for plants better and become a home to microbe. More air ventilation was allowed in the soil, improving its quality.

1. Introduction

Biochar is a porous material that contains a high amount of carbon which could be directly used and could be naturally dissolved [1]. Biochar could be produced from biomass such as agricultural residues and some leftover slivers [2] through slow pyrolysis at 300-800 °C [2, 3] under vacuum or nitrogen condition [4]. Its attributes that could be used to improve soil quality are affected by many factors such as temperature, time of heat, and the type of biomass [5].

Currently, there are many studies on biochar production and its many uses. Production conditions such as temperature during the slow pyrolysis could affect the physical and chemical structures of the biochar such as the change in volume [3], carbon [6], acidity [7], and ion exchange ability, surface and holes [8, 9]. From these studies, it was revealed that each attribute is dependent on the composition of biomass [10]. Each biomass has different chemical reaction [11] when receiving heat at different amount of time such as corn cob [7], bamboo [12], rice husk and rice straw [13].

 Content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 licence. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.

Published under licence by IOP Publishing Ltd

1



3337906250

MJU eThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

Studies on the effect of temperature on biochar properties such as pH and electrical conductivity (EC), CEC, BET, and SEM of biochar. It was found that pH was increasing with temperature. In the range between 300-800 °C, pH of most biochar from corncob and rice husk were around 8-10 which was suitable for medium to strong acid soil. EC of biochar were around 0-1 which was suitable for improving soil with strong alkalinity. To the authors' knowledge, there remains a lack of study on biochar that may be applied to low-acidic to low-to-medium or weak alkalinity soil [1, 9, 10, 13-15]

Biochar could be produced from various reactors such as fixed bed, fluidized bed, and microwave reactors. Each reactor has different functionality. However, fixed bed reactors are still widely accepted and easy for slow pyrolysis, different from other reactors as they are commonly used for fast pyrolysis instead [16-18].

The objective of this work were to study the production factors affecting the attribute of produced biochar as well as to study physical and chemical changes such as its volume, acidity, electrical conductivity, number of elements, surface, and holes in order to find the most appropriate attributes suitable for improving soil.

2. Materials and methods

2.1 Biochar feedstocks

There were two types of materials used to convert into biochar. They were rice husk (RH) and corn cob (CC). These materials were obtained locally from Chiang Mai in Northern Thailand.

2.2 Production of biochar

Before pyrolysis, the raw materials must have their moisture reduced to lower than 10% of their weight [19]. In each experiment, 20 g of the biomass sample was loaded into the test cup, then brought into the operational fixed-bed reactor. Slow pyrolysis was done under nitrogen (N₂) condition with 100 ml/min flow rate. The temperature used in the experiment was 300, 400, 500, 600, and 700 °C with a heating rate of 10 °C/min [20]. Once reaching the set value, the temperature was stabilized in the set time before reducing the temperature under nitrogen condition. During the cooling process, physical and chemical changes were expected to be ongoing.

2.3 Characterization of biochar

The amount of biochar could be determined from overall mass balance where W_f and W_o were obtained from dry mass of biochar products and dry mass of biomass used in the experiment [21].

$$\text{Biochar yield (\%)} = (W_f/W_o) * 100 \quad (1)$$

The moisture content of the biochar was analyzed according to the ASTM D1762-84 standard at 105 °C temperature for 2 h [19], then pH value was measured using the analysis according to DIN ISO 10390 with 1:5 (W:V) biochar to 0.01 M CaCl₂-solution, 60 min shaking, measuring directly in the suspension and EC analysis by DIN ISO 11265, adding 1:10 (W:V) H₂O to the sample, shaking for 60 min, followed by filtration of the solution. (According to EBC standard). Morphology study of biochar was done using a scanning electron microscope (SEM) with 15 kV of electron beam where they would react with the beam and biomass sample with 10 μm or 2,000x microscope and using energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) with random scan on the surface of the biochar, which would result in the micron level.

3. Results and discussions

3.1 Mass yield of pyrolysis product

The amount of biochar produced was dependent on the pyrolysis process. High temperature was used during pyrolysis, resulting in decreasing the amount of produced biochar, as shown in Table 1. At the temperature between 300-400 °C, the biochar produced from rice husk and corn cob were quickly decreased from 54.81% to 46.95% and 36.49% to 32.91%, respectively. In this temperature range,

cellulose and hemicellulose were dissolved. When temperature higher than 400 °C was used, the produced biochar from rice husk was decreased by about 2%, similar to the biochar produced from corn cob. They were continuously dissolved exponentially, resulting in continuous reduction in the produced biochar. The temperature in this range caused cellulose and lignin to dissolve, as shown in Figure 1. [6], and they showed complex and different structures. Therefore, the amount of the produced biochar would depend on the reaction temperature that caused hemicellulose, cellulose, and lignin to decompose. The amount of the three components could indicate the temperature. If the amount of hemicellulose and cellulose was low, they would decompose at 300-400 °C. They would decompose less in higher temperature like rice husk. If the amount of cellulose and lignin was high, they would decompose in higher temperature of 400-500 °C and the produced biochar would continuously decrease with increasing temperature. Biomass with different proportion of lignocellulosic components would decompose differently, causing the differences in the amount of the produced biochar.

Table 1. Comparison of biochemical properties at different temperatures in the pyrolysis process

Feedstock	Temperature (°C)	Yield (%)	Water content (%wt)	pH	EC (ds m ⁻¹)
RH	-	-	2.51	5.81	2.44
	300	54.81	0.379	5.82	2.57
	400	46.96	0.54	6.14	2.58
	500	46.18	0.346	8.97	2.50
	600	44.19	0.307	9.61	2.60
	700	44.01	0.308	10.79	2.62
CC	-	-	5.30	5.18	0.15
	300	36.49	3.785	5.38	0.16
	400	32.91	3.416	6.14	0.26
	500	30.23	2.894	7.74	0.27
	600	24.95	2.381	8.18	0.27
	700	22.90	2.208	10.15	0.37

3.2 pH and EC

Higher temperature in the pyrolysis process caused the pH to increased [1] as shown in Figure 2. pH was correlated to volatile matter and O/C ratio that related organic function groups of material which value were different between each material composition [22]. When Increasing temperature, total acidity of the functional groups increased while the amount of functional groups decreased [15]. At 300-700 °C, it was found that the pH in both types of biomass char were different at 5.82 to 10.79 and 5.39 to 10.15, respectively. At 300-400 °C, the biochar would become acidic with the pH between 5.38 to 6.14, which was suitable to be nutrients for microorganisms in the soil. At a temperature higher than 400-700 °C, the pH was shown to be alkalinity, which can adversely affect microorganisms in the soil when used. It can also change the absorption of required nutrients, affecting the growth of plants.

Electrical conductivity (EC) is an important factor that indicated saltiness when used to improve soils. Increasing temperature in pyrolysis also increased the electrical conductivity, as shown in Figure 3 [19]. Both types of biochar appeared to have different electrical conductivity. The biochar produced from rice husk had higher conductivity than that from corn cob at 2.57 ds m⁻¹ to 2.62 ds m⁻¹ and 0.16 ds m⁻¹ to 0.37 ds m⁻¹, respectively. The biochar from rice husk had higher electrical conductivity than that from corn cob by about 10 times. Therefore, rice husk (RH) was suitable for improving soils with weak alkalinity, while corn cob (CC) was suitable for improving soils with strong alkalinity.

3.3 SEM analysis

From the morphology of the biochar at 2,000x, it was found that increase in temperature also increased holes found in the biochar, as shown in Figure 4, [23]. Holes in the biochar from rice husk and corn cob were different for each temperature. At low temperatures, the holes were small, while increasing

temperature appeared to increase the size of the holes with uniform dispersion [15]. Holes in the biochar would help absorbing water or other nutrients in soils.

3.4 Energy dispersive X-ray spectrometry

In the analysis of elements in the biochar shown in Table 2, it was found that temperature affected the changes in elements. Increasing temperature increased the amount of C, Mg, N, O, P, and K while decreased the amount of Fe and Si. When the temperature was increased, the number of elements in rice husk and corn cob were different. In corn cob, the amount of carbon was high, in the form of CaCO₃ while in rice husk, the amount of silicon and oxygen were high, in the form of SiO₂, while N was only found in rice husk and Si was also high while they could not be found in corn cob.

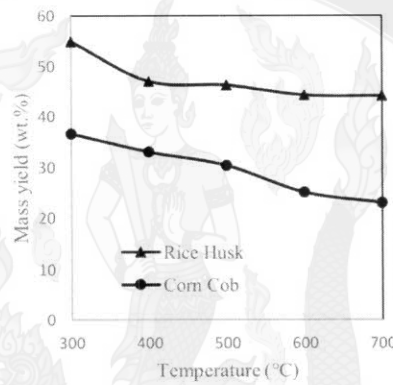


Figure 1. Effect of pyrolysis temperature on the biochar yield.

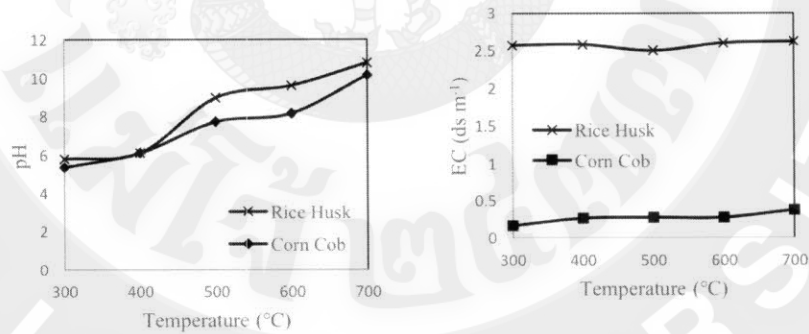


Figure 2. Comparison of the biochar pH

Figure 3. The difference of biochar feedstock



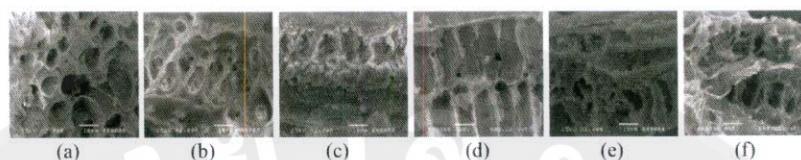


Figure 4. SEM image of biochar from rice husk (a) RH, (b) RH300, (c) RH400, (d) RH500, (e) RH600 and (f) RH700

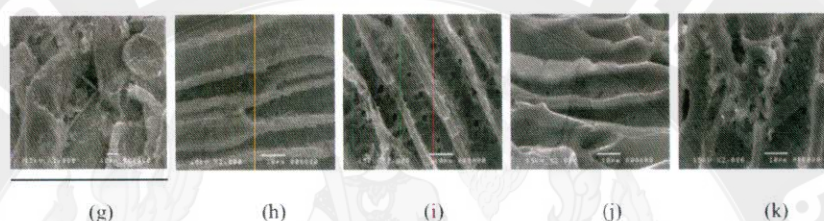


Figure 5. SEM image of biochar from corn cob (g) CC, (h) CC400, (i) CC500, (j) CC600 and (k) CC700

Table 2. Elements in the biochar with EDX

Sample	Element composition (% wt)								
	C	N	O	P	K	Mg	Ca	Fe	Si
Feedstock									
RH	18.97	12.77	55.43	-	0.09	-	0.03	0.27	12.25
CC	55.46	-	44.54	-	-	-	-	-	-
Biochar									
RH300	14.91	6.69	76.38	0.84	-	0.02	-	0.14	-
RH400	11.62	10.76	64.62	0.1	0.4	-	0.2	-	11.67
RH500	19.3	6.69	62.51	0.03	0.22	0.07	-	-	10.76
RH600	13.62	7.22	77.99	0.31	0.38	0.31	-	-	-
RH700	22.01	7.42	69.68	0.34	0.31	-	-	-	-
CC400	38.37	-	13.98	0.1	44.89	-	-	-	-
CC500	89.85	-	8.85	0.13	0.59	-	0.19	0.03	-
CC600	80.93	-	11.31	0.15	6.45	0.02	-	-	0.27
CC700	66.73	28.46	3.95	0.04	0.42	0.08	0.01	0.07	-

4. Conclusions

Reaction temperature appeared to affect the attributes of the biochar produced. It was found that increasing temperature during slow pyrolysis increased pH and alkalinity. The type of biomass affected the amount of EC, while SEM showed larger holes and EDX caused changes in elements differently from the amount of the produced biochar and decrement of moisture. Biochar from rice husk had higher EC than corn cob around 10 times. It was suitable for improving soils with weak alkalinity while corn cob was suitable for improving soils with strong alkalinity.

Acknowledgements

We would like to thank Maejo University's Graduate school Scholarship, Faculty of Engineering and Agro-Industry, This research was financially supported by the Thailand Research Fund (Contract no. RDG6250016) and Supreme Renewable Energy Co., Ltd.

References

- [1] Park, J., et al. 2014. Slow pyrolysis of rice straw: analysis of products properties, carbon and energy yields. *Bioresource Technology*. **155**: p. 63-70.
- [2] Lee, Y., et al. 2013. Comparison of biochar properties from biomass residues produced by slow pyrolysis at 500 C. *Bioresource technology*. **148**: p. 196-201.
- [3] Jung, K.-W., et al. 2016. Influence of pyrolysis temperature on characteristics and phosphate adsorption capability of biochar derived from waste-marine macroalgae (*Undaria pinnatifida* roots). *Bioresource technology*. **200**: p. 1024-1028.
- [4] Luo, L., et al. 2015. Properties of biomass-derived biochars: Combined effects of operating conditions and biomass types. *Bioresource Technology*. **192**: p. 83-89.
- [5] Zhang, J., J. Liu, and R. Liu. 2015. Effects of pyrolysis temperature and heating time on biochar obtained from the pyrolysis of straw and lignosulfonate. *Bioresource Technology*. **176**: p. 288-291.
- [6] Chen, D., et al. 2016. Effect of pyrolysis temperature on the chemical oxidation stability of bamboo biochar. *Bioresource technology*. **218**: p. 1303-1306.
- [7] Budai, A., et al. 2014. Surface properties and chemical composition of corncob and miscanthus biochars: effects of production temperature and method. *Journal of agricultural and food chemistry*. **62**(17): p. 3791-3799.
- [8] Yuan, J.-H., R.-K. Xu, and H. Zhang. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresource technology*. **102**(3): p. 3488-3497.
- [9] Wang, Y., et al. 2013. Comparisons of biochar properties from wood material and crop residues at different temperatures and residence times. *Energy & fuels*. **27**(10): p. 5890-5899.
- [10] Liu, X., et al. 2014. Characterization of corncob-derived biochar and pyrolysis kinetics in comparison with corn stalk and sawdust. *Bioresource technology*. **170**: p. 76-82.
- [11] Bardalai, M. and D. Mahanta. 2018. Characterisation of Biochar Produced by Pyrolysis from Areca Catechu Dust. *Materials Today: Proceedings*. **5**(1): p. 2089-2097.
- [12] Sun, Y., et al. 2014. Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties. *Chemical Engineering Journal*. **240**: p. 574-578.
- [13] Jindo, K., et al. 2014. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. *Biogeosciences*. **11**(23): p. 6613-6621.
- [14] Biswas, B., et al. 2017. Pyrolysis of agricultural biomass residues: Comparative study of corn cob, wheat straw, rice straw and rice husk. *Bioresource technology*. **237**: p. 57-63.
- [15] Claoston, N., et al. 2014. Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of empty fruit bunch and rice husk biochars. *Waste Management & Research*. **32**(4): p. 331-339.
- [16] Chen, D., J. Zhou, and Q. Zhang. 2014. Effects of heating rate on slow pyrolysis behavior, kinetic parameters and products properties of moso bamboo. *Bioresource Technology*. **169**: p. 313-319.
- [17] Li, J., et al. 2016. Biochar from microwave pyrolysis of biomass: A review. *Biomass and Bioenergy*. **94**: p. 228-244.
- [18] Wang, K., et al. 2013. Fast pyrolysis of microalgae remnants in a fluidized bed reactor for bio-oil and biochar production. *Bioresource technology*. **127**: p. 494-499.
- [19] Enders, A., et al. 2012. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Bioresource technology*. **114**: p. 644-653.
- [20] Intani, K., et al. 2016. Effect of self-purging pyrolysis on yield of biochar from maize cobs, husks and leaves. *Bioresource technology*. **218**: p. 541-551.
- [21] Arami-Niya, A., et al. 2012. Optimization of synthesis and characterization of palm shell-based bio-char as a by-product of bio-oil production process. *BioResources*. **7**(1): p. 0246-0264.

- [22] Budai, A., et al. 2014. Surface Properties and Chemical Composition of Corn cob and Miscanthus Biochars: Effects of Production Temperature and Method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **62**(17): p. 3791-3799.
- [23] Ahiduzzaman, M. and A.S. Islam. 2016. Preparation of porous bio-char and activated carbon from rice husk by leaching ash and chemical activation. *SpringerPlus*. **5**(1): p. 1248.



3337906250

MJU iThesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

บรรณานุกรม

- Batista, Estela MCC., et al. (2018). "Effect of surface and porosity of biochar on water holding capacity aiming indirectly at preservation of the Amazon biome." Scientific Reports 8(1): 1–9.
- Biswas, Bijoy., et al. (2017). "Pyrolysis of agricultural biomass residues: Comparative study of corn cob, wheat straw, rice straw and rice husk." Bioresource Technology 237: 57–63.
- Brewer, Catherine E., et al. (2014). "New approaches to measuring biochar density and porosity." Biomass and Bioenergy 66: 176–185.
- Budai, Alice., et al. (2014). "Surface properties and chemical composition of corncob and miscanthus biochars: effects of production temperature and method." Journal of agricultural and food chemistry 62(17): 3791–3799.
- Burrell, Leigh D., et al. (2016). "Long-term effects of biochar on soil physical properties." Geoderma 282: 96–102.
- Chen, Dengyu., et al. (2016). "Effect of pyrolysis temperature on the chemical oxidation stability of bamboo biochar." Bioresource Technology 218: 1303–1306.
- Chen, Dengyu., et al. (2014). "Effects of heating rate on slow pyrolysis behavior, kinetic parameters and products properties of moso bamboo." Bioresource Technology 169: 313–319.
- Claoston, N., et al. (2014). "Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of empty fruit bunch and rice husk biochars." Waste Management & Research 32(4): 331–339.
- Das, Oisik and Sarmah, Ajit K. (2015). "The love–hate relationship of pyrolysis biochar and water: a perspective." Science of the Total Environment 512: 682–685.
- Domingues, Rimena R., et al. (2017). "Properties of biochar derived from wood and high–nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits." PLoS one



3337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / rev: 04062564 14:21:20 / seq: 11

12(5): e0176884.

EnergyGuru (2560). "คุณสมบัติที่สำคัญต่อชีวมวล." 2564, from

[https://ienergyguru.com/2015/09/properties-of-biomass-sources/.](https://ienergyguru.com/2015/09/properties-of-biomass-sources/)

Hernandez-Mena, Laidy E., et al. (2014). "Slow pyrolysis of bamboo biomass: analysis of biochar properties." Chemical Engineering 37.

Holmgren, George GS., et al. (1977). "A mechanically controlled variable rate leaching device." Soil Science Society of America Journal 41(6): 1207-1208.

Ippolito, James A., et al. (2020). "Feedstock choice, pyrolysis temperature and type influence biochar characteristics: a comprehensive meta-data analysis review." Biochar: 1-18.

Jindo, Keiji., et al. (2014). "Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues." Biogeosciences 11(23): 6613-6621.

Jung, Kyung-Won., et al. (2016). "Influence of pyrolysis temperature on characteristics and phosphate adsorption capability of biochar derived from waste-marine macroalgae (*Undaria pinnatifida* roots)." Bioresource Technology 200: 1024-1028.

Lee, Yongwoon., et al. (2013). "Comparison of biochar properties from biomass residues produced by slow pyrolysis at 500 C." Bioresource Technology 148: 196-201.

Lee, Yongwoon., et al. (2013). "Characteristics of biochar produced from slow pyrolysis of *Geodae-Uksae* 1." Bioresource Technology 130: 345-350.

Li, Jing., et al. (2016). "Biochar from microwave pyrolysis of biomass: A review." Biomass and Bioenergy 94: 228-244.

Luo, Lei., et al. (2015). "Properties of biomass-derived biochars: Combined effects of operating conditions and biomass types." Bioresource Technology 192: 83-89.

Manolikaki, Ioanna I., et al. (2016). "The impact of biochars prepared from agricultural residues on phosphorus release and availability in two fertile soils." Journal of environmental management 181: 536-543.

Mukherjee, A., et al. (2011). "Surface chemistry variations among a series of laboratory-

produced biochars." Geoderma 163(3-4): 247-255.

Munera-Echeverri, Jose L., et al. (2018). "Cation exchange capacity of biochar: An urgent method modification." Science of the Total Environment 642: 190-197.

Nagel, Kurt., et al. (2019). "Physicochemical characteristics of biochars derived from corn, hardwood, miscanthus, and horse manure biomasses." Communications in Soil Science and Plant Analysis 50(8): 987-1002.

Orisaleye, JI., et al. (2018). "Parametric analysis and design of a screw extruder for slightly non-Newtonian (pseudoplastic) materials." Engineering science and technology, an international journal 21(2): 229-237.

Phuong, Ho Thi., et al. (2014). "Slow pyrolysis of rice straw: analysis of products properties, carbon and energy yields." Bioresource Technology 155: 63-70.

Phuong, Ho Thi., et al. (2015). "Characterization of biochar from pyrolysis of rice husk and rice straw." Journal of Biobased Materials and Bioenergy 9(4): 439-446.

Plaster, Edward. (2013). Soil science and management, Cengage learning.

Prakongkep, Nattaporn., et al. (2013). "The effects of pyrolysis conditions on the chemical and physical properties of rice husk biochar." Int. J. Mater. Sci 3(3): 97-103.

Sahoo, Diptiprakash and Remya, Neelancherry. (2020). "Influence of operating parameters on the microwave pyrolysis of rice husk: biochar yield, energy yield, and property of biochar." Biomass Conversion and Biorefinery: 1-10.

Shariff, Adilah., et al. (2016). "Corn cob as a potential feedstock for slow pyrolysis of biomass." Journal of Physical Science 27(2): 123.

Siamchemi (2561). "โทษของแร่ธาตุโลหะหนัก." 2564, from <https://www.siamchemi.com>.

Singh, Balwant., et al. (2017). Biochar: a guide to analytical methods, Csiro Publishing.

Sun, Yining., et al. (2014). "Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties." Chemical Engineering Journal

240: 574–578.

SVGroup (2019). "แร่ธาตุอาหาร." 2564, from <https://www.svgroup.co.th/blog/>.

Tomczyk, Agnieszka., et al. (2020). "Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects." Reviews in Environmental Science and Bio/Technology: 1–25.

Central Lab Science TU. (2558, 10 เมษายน 2563). "หลักการวิเคราะห์ BET." Retrieved มีนาคม, 2563, from <https://sites.google.com/site/csicscitu/instrument/kheruxngwikheraahkhunlaksnaphunthiwiwsurfaceareaanalyzer>.

Uddin, Md., et al. (2012). "Design and construction of fixed bed pyrolysis system and plum seed pyrolysis for bio-oil production." International Journal of Advanced Renewable Energy Research 1(7): 405–409.

Varela Milla, O., et al. (2013). "Agronomic properties and characterization of rice husk and wood biochars and their effect on the growth of water spinach in a field test." Journal of soil science and plant nutrition 13(2): 251–266.

Wang, Kaige., et al. (2013). "Fast pyrolysis of microalgae remnants in a fluidized bed reactor for bio-oil and biochar production." Bioresource Technology 127: 494–499.

Wang, MJ., et al. (2012). "Microwave-induced torrefaction of rice husk and sugarcane residues." Energy 37(1): 177–184.

Wang, Yu., et al. (2013). "Comparisons of biochar properties from wood material and crop residues at different temperatures and residence times." Energy & fuels 27(10): 5890–5899.

Weber, Kathrin and Quicker, Peter. (2018). "Properties of biochar." Fuel 217: 240–261.

Wu, Weixiang., et al. (2012). "Chemical characterization of rice straw-derived biochar for soil amendment." Biomass and Bioenergy 47: 268–276.

Yuan, Jin-Hua., et al. (2011). "The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues



3337906250

MJU :Thesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

at different temperatures." *Bioresource Technology* 102(3): 3488–3497.

Zhang, Jie., et al. (2015). "Effects of pyrolysis temperature and heating time on biochar obtained from the pyrolysis of straw and lignosulfonate." *Bioresource Technology* 176: 288–291.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน (2554). "พลังงานชีวมวล." 2562, from <http://webkc.dedu.go.th/testmax/sites/default/files/>.

กองวิจัย (มปพ). "<20190801155209_1_file.pdf>."

ปรารธนา แก้วเพชร. (2560). การเตรียมสารดูดซับจากการแยกสลายกากใบชาด้วยความร้อน. สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

จิระพงษ์ คุณากาญจน์. (2552). การผลิตถ่านและน้ำมันส้มควันไม้ (Charcoal & Wood Vinegar). บริษัทออฟเซ็ท ครีเอชั่นจำกัด กรุงเทพฯ. 2562.

อรดา เจาะจง. (2560). "ทรัพยากรดิน." Retrieved 14 มกราคม, 2562, from <https://sites.google.com/site/arada591110115/home/thraphykr-din>.

สุนทรีย์ ยิ่งชัชวาลย์. (2553). "ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย."

กันยา พรไชยวงศ์. และ สิทธิบุรณ์ ศิริพรอัครชัย (2558). "การ วิเคราะห์ พารามิเตอร์ การ ผลิต ถ่าน ชีวภาพ จาก ชั่ง ข้าวโพด ด้วย กระบวนการ ไพโรไลซิส แบบ ช้า."

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2564). "สารอาหารสำหรับพืช." from <https://th.wikipedia.org/wiki/>.

ศิริลักษณ์ ศิริสิงห์ และ รศ.ดร.พิทยา บวรพัฒนา. (2015). "การ ประยุกต์ ถ่าน ชีวภาพ ใน การ ปรับปรุง ดิน เพื่อ การเกษตร." *วารสาร สังคมศาสตร์ และ มนุษยศาสตร์ (Journal of Social Sciences and Humanities)* 4(2): 212.

อรสา สุกสว่าง. (2554). ""ยุทธศาสตร์ทำหนึ่งได้สาม: ไปโอซาร์เพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ให้ดิน ลดโลกร้อนและลดความยากจน." 2563, from <http://www3.rdi.ku.ac.th/exhibition/54/GroupSocial/18-Orasa-su/18-Orasa-su.html>.

จิราพร หอมพยอม. (2554). ดีออกซิเจนของไบโอออยล์ที่ได้จากไพโรไลซิสของกระถินยักษ์ *Leucaena leucocephala* โดยใช้แพลมินท์รองรับบนอะลูมินา. ภาควิชาเคมีเทคนิค.



3337906250

MJU iThesis 6103309007 Thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

ดร.อมรชัย อภรณ์วิชานพ และ กุลนันท์ วีรณรงค์กร. (2558). "ไพโรไลซิส (Pyrolysis)." 2562,
from http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/tn241_p61-64.pdf.



3337906250

MJU IThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11



3337906250

MJU iThesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	วรัญญา สมภาร
เกิดเมื่อ	5 กันยายน 2539
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2560 ระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ พ.ศ. 2556 ระดับมัธยมศึกษาปลาย โรงเรียนวัฒโนทัยพายัพ เชียงใหม่ พ.ศ. 2553 ระดับมัธยมศึกษาต้น โรงเรียนวัฒโนทัยพายัพ เชียงใหม่
ประวัติการทำงาน	-



3337906250

MJO_Thesis 6103309007 thesis / recv: 04062564 14:21:20 / seq: 11

