



รายงานฉบับสมบูรณ์

การผลิตถ่านชีวภาพสำหรับอุตสาหกรรมจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา
Production of Biocoke for Industry from Rubberwood Sawdust

ผศ.ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์

Asst. Prof. Jintawat Chaichanawong, D.Eng.

TNI

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

พ.ศ. 2561

บทสรุปผู้บริหาร

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตถ่านชีวภาพจากวัสดุสำหรับอุตสาหกรรมจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยทำการผลิตถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยมีกากกาแฟเป็นตัวประสาน ซึ่งวัตถุดิบทั้งสองชนิดเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมที่พบมากในประเทศไทย โดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนแบบแนวตั้ง เพื่อศึกษาปัจจัยในการขึ้นรูปที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่นรวม) สมบัติทางกล (ความต้านทานแรงอัดสูงสุด) และสมบัติทางความร้อน (ค่าความร้อน) โดยกำหนดสภาวะในการขึ้นรูป ได้แก่ ปริมาณกากกาแฟที่ใช้ 0 – 25 wt% เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป 10 - 20 นาที อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป 160 - 170 °C โดยกำหนดให้ความดันในการขึ้นรูปคงที่ที่ 16 MPa และกำหนดความชื้นของวัตถุดิบที่ประมาณ 10 ± 1 wt%

จากการศึกษา พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นรวม ความต้านทานแรงอัดสูงสุด และค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ คือ ปริมาณของกากกาแฟที่ใช้เป็นตัวประสาน อุณหภูมิในการขึ้นรูป และเวลาในการขึ้นรูป โดยความหนาแน่นรวม ความต้านทานแรงอัดสูงสุด และค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของกากกาแฟที่ใช้เป็นตัวประสาน อุณหภูมิในการขึ้นรูป และเวลาในการขึ้นรูป โดยถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่มีความหนาแน่นรวม ความต้านทานแรงอัดสูงสุด และค่าความร้อนสูงสุด ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่มีส่วนผสมของกากกาแฟ 25 wt% โดยทำการขึ้นรูปที่ 170 °C ความดัน 16 MPa เป็นเวลา 20 นาที โดยมีความหนาแน่นรวม เท่ากับ 1.38 g/cm^3 มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด 111 MPa และ มีค่าความร้อน เท่ากับ 4642 kcal/kg ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านโค้กในอุตสาหกรรมที่มีค่าความหนาแน่น 1.1 g/cm^3 ความต้านทานแรงอัดสูงสุดที่ 20 MPa และค่าความร้อนประมาณ 7000 kcal/kg พบว่ามีสมบัติที่ดีและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้ อย่างไรก็ตามค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราสมกากกาแฟ ยังมีค่าน้อยกว่าถ่านโค้กมาก ถ่านชีวภาพที่พัฒนาขึ้นจึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านโค้กหรือถ่านหินในอุตสาหกรรม เพื่อลดปริมาณการใช้ถ่านโค้กและถ่านหิน

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ภายใต้โครงการการผลิตถ่านชีวภาพสำหรับอุตสาหกรรมจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา (Production of Biocoke for Industry from Rubberwood Sawdust) สัญญาเลขที่ 1610-A011 และได้รับความอนุเคราะห์ชุดทดลอง ตลอดจนคำแนะนำในการศึกษาวิจัยจาก Prof. Tamio Ida (Kinki University) และ Mr. Hirotoshi Murata (Naniwa Roki Co., Ltd.)

ขอขอบพระคุณบริษัทอินเตอร์ คลินส์ อินดัสตรีส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการซ่อมบำรุงเตาเผาแบบท่อสำหรับใช้ในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ นายภริเดช สายเสริมศักดิ์ และนายธีรพล งามภูเขียว (ผู้ช่วยวิจัยประจำโครงการ) ที่ร่วมทำงานวิจัยจนโครงการนี้สำเร็จ

หากเกิดความผิดพลาดใดในงานวิจัย ข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้ ณ ที่นี้ และข้าพเจ้ายินดีที่จะนำข้อเสนอแนะไปใช้ประกอบการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเพื่อเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต

ผศ.ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์
หัวหน้าโครงการวิจัย

TNI

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร.....	i
กิตติกรรมประกาศ.....	ii
สารบัญ.....	iii
สารบัญตาราง.....	v
สารบัญรูป.....	vi
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาแนวทางเหตุผลและปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.2 งานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	13
3.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย.....	13
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	13
3.3 ขอบเขตการการศึกษา.....	14
3.4 การทดลอง.....	14
3.5 การวิเคราะห์สมบัติถ่วงชีวภาพ.....	19

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 การวิเคราะห์ผลการวิจัย	23
4.1 ลักษณะทางกายภาพของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟ เป็นตัวประสาน	23
4.2 ผลกระทบของปริมาณกากกาแฟต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อย ไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน	23
4.3 ผลกระทบของเวลาในการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อย ไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน	28
4.4 ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อย ไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน	31
4.5 สรุป.....	35
5 สรุปผลการวิจัย.....	49
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	49
5.2 แนวทางการทำวิจัยต่อเนื่อง.....	50
บรรณานุกรม	51
ภาคผนวก	56
ผลงานตีพิมพ์.....	56

TNI

TAHITI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 คาดการณ์การใช้ถ่านหินช่วงปี พ.ศ.2553 - 2557.....	2
1.2 การจัดหาถ่านหินในประเทศไทย.....	2
1.3 ส่วนประกอบทางเคมีของซีลี้อยู่ไม่ยาวพารา.....	3
2.1 ส่วนประกอบลิกโนเซลลูโลสของชีวมวล.....	8
2.2 องค์ประกอบของชีวมวลและค่าความร้อนของชีวมวล.....	9
3.1 สภาวะการทดลอง.....	17
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบลิกโนเซลลูโลสในวัตถุดิบ.....	36
4.2 การเปรียบเทียบสมบัติของถ่านชีวภาพ.....	24

สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1 คาดการณ์ความต้องการใช้ถ่านหินในช่วงปี ค.ศ. 1990-2030 แต่ละประเทศ.....	1
1.2 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายและพลังงานทดแทนขั้นสุดท้าย ค.ศ. 2013	4
2.1 องค์ประกอบชีวมวล.....	6
2.2 องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสในเซลล์พืช	7
2.3 ตัวอย่างถ่านชีวภาพ	11
2.4 เครื่องผลิตถ่านชีวภาพในแนวตั้ง	12
3.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย	13
3.2 ตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษา	15
3.3 กระบวนการการขึ้นรูปถ่านชีวภาพ.....	16
3.4 ขั้นตอนการประกอบแม่พิมพ์และการขึ้นรูปถ่านชีวภาพ	16
3.5 เครื่องทดสอบการอัด Shimadzu UH-100A	20
3.6 เครื่อง Bomb Calorimeter Parr รุ่น Model 1341 และ RTD Band 3 Pt-100	21
3.7 เครื่อง EVO MA10 Versatile Multipurpose SEM	22
4.1 ตัวอย่างถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน 5 wt% ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160 °C ใช้เวลา 10 min ความดัน 16 MPa.....	23
4.2 ผลกระทบของปริมาณกากกาแฟต่อค่าความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพที่ผลิตจาก ขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปต่างกัน.....	25
4.3 ผลกระทบของปริมาณกากกาแฟต่อความต้านทานแรงกดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจาก ขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปต่างกัน.....	26
4.3 ผลกระทบของปริมาณกากกาแฟต่อค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อย ไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปต่างกัน.....	26
4.5 ผลกระทบของปริมาณกากกาแฟต่อค่าความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพที่ผลิตจาก ขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน ที่อุณหภูมิต่างๆ	27
4.6 ผลกระทบของปริมาณกากกาแฟต่อความต้านทานแรงกดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจาก เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน ที่อุณหภูมิต่างๆ	27
4.7 ผลกระทบของปริมาณกากกาแฟต่อค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจาก เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน ที่อุณหภูมิต่างๆ	28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.8 ผลกระทบของเวลาในการขึ้นรูปต่อความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพที่ผลิตจาก ซีลี้อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสานในปริมาณที่แตกต่างกัน.....	29
4.9 ผลกระทบของเวลาในการขึ้นรูปต่อความต้านทานแรงอัดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากซีลี้อย ไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสานในปริมาณที่แตกต่างกัน.....	30
4.10 ผลกระทบของเวลาในการขึ้นรูปต่อค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากซีลี้อยไม้ ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสานในปริมาณที่แตกต่างกัน.....	31
4.11 ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพที่ผลิตจาก ซีลี้อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสานในปริมาณที่แตกต่างกัน.....	32
4.12 ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อความต้านทานแรงอัดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจาก ซีลี้อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสานในปริมาณที่แตกต่างกัน.....	33
4.13 ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อความต้านทานแรงอัดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจาก ซีลี้อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสานในปริมาณที่แตกต่างกัน.....	34
4.14 ลักษณะพื้นผิวที่กำลังขยาย 50 เท่า ของวัตถุดิบและถ่านชีวภาพจากซีลี้อยไม้ยางพารา โดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสานที่ขึ้นรูปโดยใช้เวลา 20 นาที ความดัน 16 MPa ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูปต่างกัน.....	35



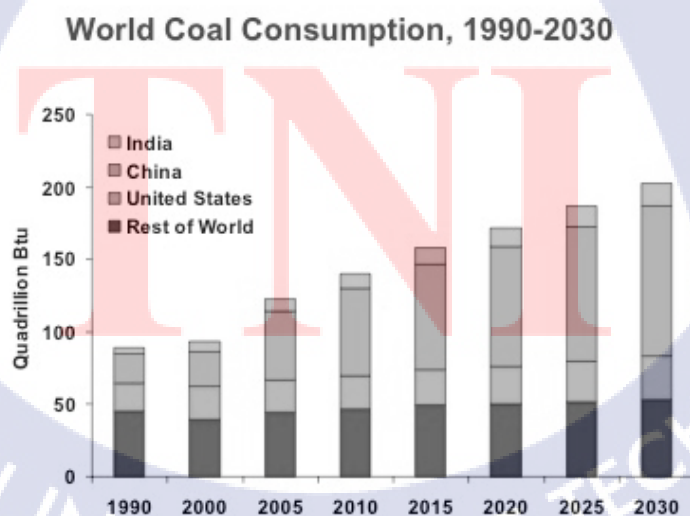
TNI

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การขยายตัวทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของโลก ส่งผลให้มีการต้องการพลังงานมากขึ้น โดยเฉพาะพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อการขนส่งและอุตสาหกรรม โดยพบว่าถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่นิยมใช้ทดแทนน้ำมัน ในการผลิตกระแสไฟและใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรม ถ่านหินจึงนับเป็นชนิดของแหล่งพลังงานที่สำคัญรองลงมาจากน้ำมันปิโตรเลียม และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งการคาดการณ์ความต้องการใช้ถ่านหินในช่วงปี ค.ศ. 1990-2030 แต่ละประเทศ [1] แสดงดังรูปที่ 1.1 จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าที่ผ่านมามีปริมาณการใช้ถ่านหินของโลกเพิ่มขึ้นทุกปี และยังมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นต่อไปในอนาคต โดยประเทศจีนเป็นผู้นำเข้าและอุปโภคถ่านหินมากเป็นอันดับหนึ่งของโลกมีการคาดการณ์ว่าปริมาณการใช้ถ่านหินของโลกนั้นจะยังคงเพิ่มขึ้นอย่าง โดยอัตราการเพิ่มขึ้นนั้นอาจจะชะลอลงด้วยปัจจัยบางประการ เช่น ความต้องการพลังงานสะอาด (Clean Energy) เพิ่มขึ้นและการชะลอตัวทางเศรษฐกิจและนโยบายลดการนำเข้าถ่านหินของประเทศจีนซึ่งเป็นผู้อุปโภคถ่านหินรายใหญ่ [1] ดังนั้นธุรกิจถ่านหินจึงขยายตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งประเทศที่มีแหล่งถ่านหินมากจึงนับว่าเป็นประเทศที่มีความมั่นคงในด้านพลังงานสูงมาก เช่น อินโดนีเซีย รัสเซีย จีน เยอรมัน และออสเตรเลีย เป็นต้น



รูปที่ 1.1 คาดการณ์ความต้องการใช้ถ่านหินในช่วงปี ค.ศ. 1990-2030 แต่ละประเทศ [1]

สำหรับความต้องการถ่านหินในประเทศไทยนั้น ในรอบ 5 ปีที่ผ่านมา ปริมาณการใช้ถ่านหินเพิ่มขึ้นในปี 2553 และ 2555 แต่ลดลงเล็กน้อยในปี 2554 และ 2556 ในปี 2557 โดยปริมาณการใช้ถ่านหินและลิกไนต์เพิ่มขึ้นร้อยละ 12.95 จากปี 2556 แบ่งเป็นภาคการผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ 53.1% และอีก 46.9% นำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม ดังแสดงในตารางที่ 1.1 [1] ซึ่งประเทศไทยมีการนำเข้าถ่านหินจากต่างประเทศโดยแสดงการนำเข้าถ่านหินดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.1 คาคการณ์การใช้ถ่านหินช่วงปี พ.ศ.2553 - 2557 (หน่วย พันตัน) [1]

การใช้งาน	2553	2554	2555	2556	2557
ผลิตไฟฟ้า	7,469.1	8,080.2	9,005.8	9,048.2	9,506.6
อุตสาหกรรม	8,009.0	7,727.2	7,400.8	6,797.5	8,390.4
รวม	15,478.1	15,807.3	16,406.6	15,845.7	17,897.0

ตารางที่ 1.2 การจัดหาถ่านหินในประเทศไทย (หน่วย พันตัน) [1]

แหล่งถ่านหิน	2553	2554	2555	2556	2557
ภายในประเทศ	18,258	21,327	18,066	18,111	17,980
นำเข้าจากต่างประเทศ	16,904	16,331	18,404	17,328	20,881
รวม	35,162	37,658	36,470	35,439	38,861

อย่างไรก็ตามการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยเฉพาะถ่านหินส่งผลให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซมลพิษสะสมในบรรยากาศโลก ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกที่ทำให้โลกร้อนขึ้น นอกจากนี้การพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิลโดยเฉพาะถ่านหินซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศนั้น จะส่งผลต่อความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศในอนาคต การพัฒนาแหล่งพลังงานทางเลือกที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษและสามารถผลิตได้เองในประเทศอย่างยั่งยืนจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งประเทศไทยมีพลังงานทางเลือกหลายชนิดที่มีศักยภาพในการพัฒนาให้เป็นพลังงานหลักได้หากมีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงและต้นทุนที่ต่ำลง เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ก๊าซชีวภาพ ขยะและชีวมวล เป็นต้น โดยพลังงานจากชีวมวล (Biomass) เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกอย่างหนึ่งซึ่งจากการสำรวจพบว่าในประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตพลังงานจากชีวมวลเหลือใช้ในประเทศสูงถึง $156,402 \times 10^6$ MJ [2] โดยการนำชีวมวลมาพัฒนาเป็นพลังงานเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม

รมนั้นต้องมีการพิจารณาหลายปัจจัย เช่น มีปริมาณมีมากพอ สะดวกในการจัดเก็บและการขนส่ง รวมถึงค่าความร้อนของชีวมวลแต่ละชนิด โดย Kindai University ประเทศญี่ปุ่น และสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ได้พัฒนาเทคโนโลยีเชื้อเพลิงแข็งหรือถ่านชีวภาพ (Biocoke) สำหรับอุตสาหกรรมจากชีวมวลโดยใช้ความดันสูงและความร้อนร่วมด้วย [3, 4] ซึ่งมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน และทดลองใช้วัตถุดิบที่เป็นชีวมวลได้หลากหลาย เช่น ใบชา กากกาแฟและเศษไม้ โดยมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านหินเพื่อลดปริมาณการใช้ถ่านหิน ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะเตาหลอมเหล็กแบบ Cupola เพื่อให้การศึกษามีความต่อเนื่อง และสามารถพัฒนาให้สามารถนำไปใช้ได้จริงในอุตสาหกรรม โครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการคัดเลือกวัตถุดิบภายในประเทศที่มีความเป็นไปได้ในการผลิตเป็นถ่านชีวภาพสำหรับอุตสาหกรรม

หลายปีที่ผ่านมาการปลูกไม้ยางพาราเป็นที่นิยมมากทางภาคใต้และภาคตะวันออกของไทย เนื่องจากราคาของยางพาราค่อนข้างสูง จึงทำให้มีเกษตรกรหันมาปลูกต้นยางพาราเป็นจำนวนมาก แต่เมื่อต้นยางเจริญเติบโตจนไม่สามารถให้น้ำยางได้แล้ว เกษตรกรก็จะโค่นต้นยางเพื่อนำไม้ยางพาราไปใช้ทำประโยชน์อย่างอื่น อาทิเช่น ส่งขายโรงงานแปรรูปไม้ ทำไม้แผ่น หรือ เพอร์นิเจอร์ เป็นต้น สมาคมธุรกิจไม้ยางพาราได้ประเมินเบื้องต้นว่ามีการทำสวนยางพาราประมาณปีละ 200,000 ไร่ ซึ่งคิดเป็นไม้ยางพาราที่ถอนได้ประมาณ 40 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่หรือประมาณ 8,000,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี หากนำมาแปรรูปเป็นไม้พาราที่ถอนจะได้ประมาณ 1,600,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี [5] ส่งผลให้มีปริมาณขี้เลื่อยที่เหลือจากการแปรรูปเป็นจำนวนมาก จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบเบื้องต้นของขี้เลื่อยไม้ยางพาราดังตารางที่ 1.3 พบว่าขี้เลื่อยจากไม้ยางพารามีส่วนประกอบทางเคมีของลิกนินและเซลลูโลส จึงที่มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพสำหรับอุตสาหกรรม ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จึงพิจารณาเลือกขี้เลื่อยไม้ยางพาราเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตถ่านชีวภาพสำหรับอุตสาหกรรม และศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพสำหรับอุตสาหกรรมจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา

ตารางที่ 1.3 ส่วนประกอบทางเคมีของขี้เลื่อยไม้ยางพารา

ส่วนประกอบทางเคมี	wt%
เซลลูโลส	51.2
เฮมิเซลลูโลส	16.4
ลิกนิน	16.5
อื่นๆ	15.9

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรในการผลิตถ่านชีวภาพสำหรับอุตสาหกรรม
- 1.2.2 เพื่อศึกษาภาวะการขึ้นรูปถ่านชีวภาพ ให้มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้ที่ใช้น้ำมันอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ทำผลิตถ่านชีวภาพสำหรับอุตสาหกรรมจากวัตถุดิบหลัก ได้แก่ ชี้อ้อยไม่ยางพารา และกากกาแฟเป็นตัวประสานเพื่อปรับปรุงสมบัติของถ่านชีวภาพสำหรับอุตสาหกรรม
- 1.3.2 ศึกษาผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูป ได้แก่
 - ปริมาณกากกาแฟที่ใช้เป็นตัวประสาน เท่ากับ 0 5 10 15 20 และ 25 wt%
 - เวลาในการขึ้นรูป เท่ากับ 10 นาที 15 นาที และ 20 นาที
 - อุณหภูมิในการขึ้นรูป เท่ากับ 160 °C 165 °C และ 170 °C
 - ความดันในการขึ้นรูปคงที่ เท่ากับ 16 MPa
 - ความชื้นของวัตถุดิบคงที่ ประมาณ 10±1 wt%
 - ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบที่ใช้ มีขนาดเล็กกว่า 600 micron
- 1.3.3 วิเคราะห์สมบัติของถ่านชีวภาพสำหรับอุตสาหกรรมที่ผลิตได้ ได้แก่ ความหนาแน่นรวม ความต้านทานแรงอัด ค่าความร้อน และโครงสร้างทางจุลภาคของพื้นผิว
- 1.3.4 ระยะเวลาที่ทำการศึกษา 1 ปี 6 เดือน (พฤศจิกายน 2559 – พฤษภาคม 2561)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถผลิตถ่านชีวภาพสำหรับอุตสาหกรรมโดยใช้วัตถุดิบจากชี้อ้อยไม่ยางพาราที่มีสมบัติเหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านหิน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

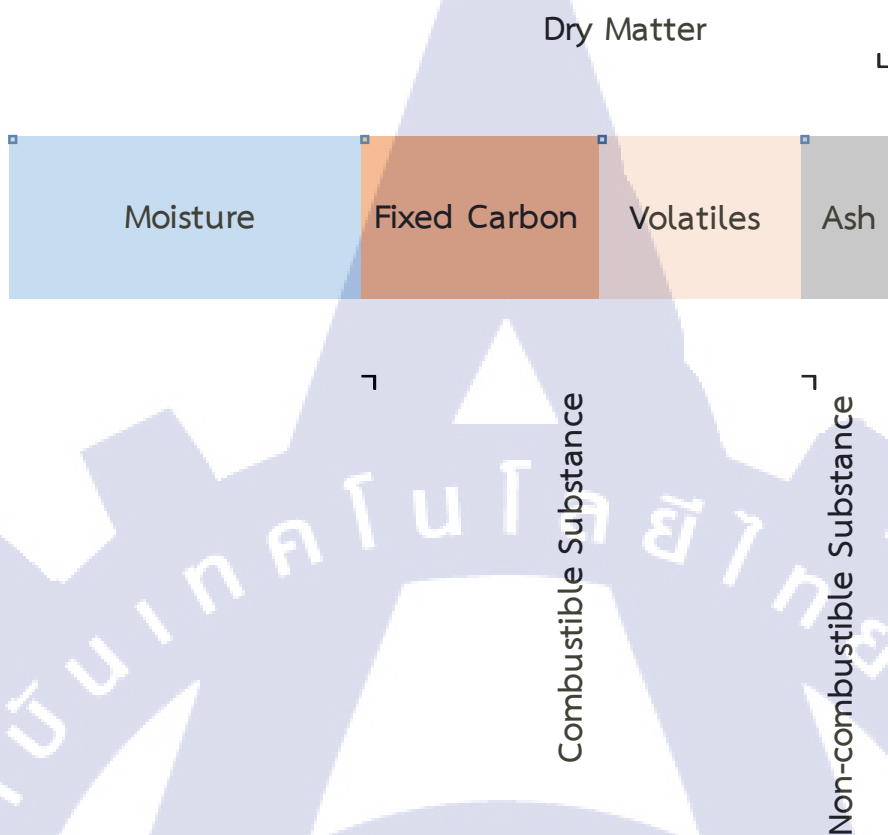
2.1.1 ชีวมวลและองค์ประกอบ

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต เช่น ชากพืช ชากสัตว์ หรือ กระบวนการทางชีวภาพที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ จัดเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนในธรรมชาติที่ไม่มีวันหมด จึงนิยมนำมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกประเภทหนึ่ง ปัจจุบันชีวมวลจากต้นไม้ กิ่งไม้ ต้นหญ้า มูลสัตว์ กะลามะพร้าว เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรืออุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อย ฟางข้าว แกลบ ชี้เลื่อย ถูกนำมาพัฒนาเป็นแหล่งพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ จึงเรียกว่า พลังงานชีวมวล (Biomass Energy) ชีวมวลประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ ในสัดส่วนที่ต่างกัน ดังรูปที่ 2.1 โดยมีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่

- 1) **ความชื้น (Moisture)** คือ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในชีวมวล ความชื้นที่จะมีส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของชีวมวล ทำให้มีค่าความร้อนต่ำ หากนำชีวมวลไปเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ควรมีความชื้นไม่เกิน 50 % อย่างไรก็ตามความชื้นของชีวมวลในปริมาณที่เหมาะสมก็มีผลต่อการแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวลเช่นกัน จึงต้องมีการศึกษาผลกระทบของความชื้นหากต้องการแปรรูปชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงรูปแบบต่างๆ

- 2) **ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible Substance)** แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ สารระเหย (Volatiles Matter) ซึ่งส่งผลต่อการติดไฟของชีวมวล และคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่าความร้อนของชีวมวล

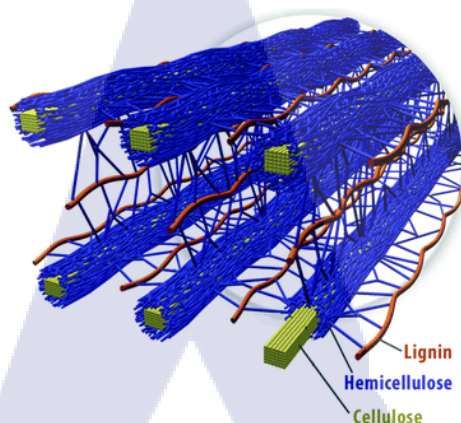
- 3) **ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ (Non-combustible Substance)** เมื่อชีวมวลถูกเผาไหม้จนสมบูรณ์จะเหลือองค์ประกอบได้แก่ เถ้า (Ash) ที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ได้แก่ เถ้า (Ash) ซึ่งประกอบด้วยเถ้าลอย (Fly Ash) และเถ้าจม (Bottom Ash) หากนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน เถ้าที่เกิดขึ้นจัดเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ เนื่องจากทำให้เกิดมลพิษและส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น กัดกร่อนเครื่องจักรการผลิต เป็นต้น โดยชีวมวลแต่ละประเภทจะมีปริมาณเถ้าเป็นองค์ประกอบต่างกัน ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีเถ้าประมาณ 1 - 3 % ชีวมวลบางประเภทมีเถ้าปริมาณสูง เช่น แกลบและฟางข้าวมีเถ้าเป็นองค์ประกอบสูงถึง 10 - 20 % การนำไปใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงต้องมีการออกแบบระบบหรือปรับปรุงกระบวนการเผาไหม้ให้สามารถรองรับชีวมวลที่มีปริมาณเถ้าสูงได้



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบชีวมวล

2.1.2 ลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose)

ลิกโนเซลลูโลสเป็นวัสดุผสมที่สังเคราะห์โดยเซลล์พืช โครงสร้างของลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วยลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส [6] เรียงตัวกันตามรูปที่ 2.2 ซึ่งจะมีสัดส่วนที่แตกต่างกันในชีวมวลประเภทต่างๆ โดยลิกนิน คือ สารพอลิเมอร์ที่พบอยู่ในผนังเซลล์ของพืช มีคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ไม่มีความยืดหยุ่น ไม่สามารถย่อยสลายได้ง่าย ทำให้วัสดุที่มีลิกนินมากจะมีความแข็งแรงมากและให้ค่าความร้อนสูง แต่จะทำให้แปรรูปได้ยากด้วย ซึ่งจะอยู่ร่วมกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในเซลล์พืช โดยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะอ่อนตัวได้ง่ายกว่าลิกนินเมื่อโดนความร้อน



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสในเซลล์พืช [7]

2.1.2 ขี้เลื่อยจากไม้ยางพารา

ขี้เลื่อยจากไม้ยางพารา เป็นวัสดุที่เหลือจากการแปรรูปไม้ยางพารา ซึ่งสมาคมธุรกิจไม้ยางพาราได้ประเมินว่ามีการทำสวนยางปีละประมาณ 200,000 ไร่ คิดเป็นไม้ยางพาราท่อนได้ประมาณ 40 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ หรือ 8,000,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี หากนำมาแปรรูปเป็นไม้ยางพาราท่อนจะได้ประมาณ 1,600,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี [5] โดยทั่วไปจะปริมาณขี้เลื่อยที่ได้จากกระบวนการแปรรูปเป็นไม้ท่อนประมาณ 20-30 % ซึ่งจะเห็นว่ามีปริมาณมาก และพบว่ายังไม่มีมีการเพิ่มมูลค่าขี้เลื่อยเหล่านี้ ซึ่งจากการวิเคราะห์ส่วนประกอบเบื้องต้นของขี้เลื่อยไม้ยางพารา กับพืชชีวมวลชนิดอื่นๆ ดังตารางที่ 2.1 พบว่าขี้เลื่อยจากไม้ยางพารามีส่วนประกอบทางเคมีของลิกนินและเซลลูโลส จึงที่มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงได้ โดยเฉพาะการผลิตเป็นถ่านชีวภาพสำหรับอุตสาหกรรม

2.1.3 ค่าความร้อนของชีวมวล (Heating Value of Biomass)

ชีวมวลจะให้พลังงานจากการเผาไหม้ในรูปของค่าความร้อนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและปริมาตรความชื้นที่อยู่ในชีวมวลแต่ละชนิด โดยค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ชีวมวลจะแสดงได้ 2 ค่า ได้แก่

1) **ค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV)** เป็นพลังงานทั้งหมดที่ได้จากการเผาไหม้ชีวมวล โดยไม่ได้หักพลังงานส่วนหนึ่งที่ต้องใช้ในการระเหยน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในชีวมวลออกไปในการเผาไหม้

2) **ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value, LHV)** เป็นพลังงานที่สามารถนำมาใช้ได้จริงจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล ได้จากการหักพลังงานส่วนหนึ่งที่ต้องใช้ในการระเหยน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในชีวมวลออกไปในการเผาไหม้ ค่าที่ได้จึงมีค่าต่ำกว่าค่า HHV จึงใช้ในการประเมินศักยภาพที่แท้จริงของพลังงานหรือค่าความร้อนที่จะถูกนำไปใช้ในการเผาไหม้จริงของชีวมวล

จากข้อมูลองค์ประกอบของชีวมวลและค่าความร้อนของชีวมวลชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2.2 พบว่าค่าความร้อนของไม้ยางพาราอยู่ในระดับที่สามารถนำมาพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งหรือถ่านชีวภาพได้

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบลิกโนเซลลูโลสของชีวมวล [8]

ชนิดของวัตถุดิบ	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)	อื่นๆ (%)
ฟางข้าว	37.70	22.06	21.00	19.23
ชานอ้อย	41.26	19.78	22.91	16.05
ต้นกก	37.28	7.87	20.43	34.42
ผักตบชวา	24.37	19.83	25.34	30.46
กานกล้วย	33.86	9.38	16.84	39.92
กาบมะพร้าว	35.56	25.81	15.02	23.62
ใบคะน้า	26.78	20.07	19.37	33.77
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	51.2	16.4	16.5	15.9

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของชีวมวลและค่าความร้อนของชีวมวล [9]

สมบัติชีวมวล	%Moisture	%Ash	%Volatiles	% Fixed Carbon	HHV (kcal/kg)	LHV (kcal/kg)
กะลาปาล์ม	12.00	3.50	68.20	16.30	4366	4039
ทะลายปาล์ม	58.60	2.03	30.46	8.90	2198	1730
ต้นปาล์ม	48.40	1.20	38.70	11.70	2239	1806
ซังข้าวโพด	40.00	0.90	45.42	13.68	2700	2298
เหงามันสำปะหลัง	59.40	1.50	31.00	8.10	1781	1313
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	60.00	2.44	28.00	9.56	1628	1175
แกลบ	12.00	12.65	56.46	18.88	3527	3231
ฟางข้าว	10.00	10.39	60.70	18.90	3262	2940
ชานอ้อย	50.73	1.43	41.98	5.86	2209	1761
ไม้ยางพารา	45.00	1.59	45.70	7.71	2477	3500

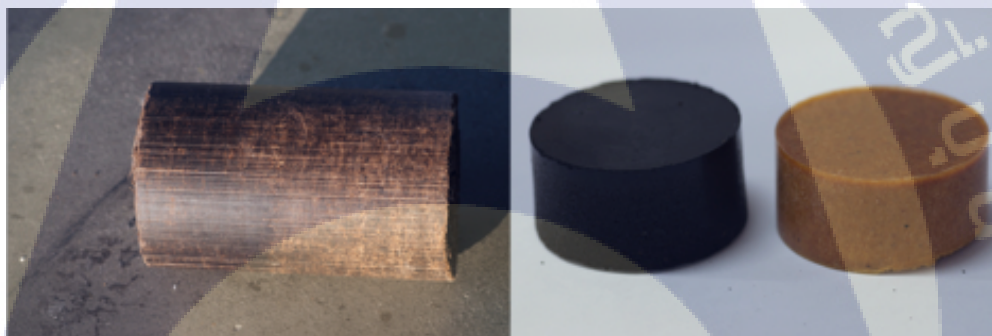
2.1.4 กระบวนการแปรรูปชีวมวล

กระบวนการแปรรูปชีวมวลมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ [10] ตัวอย่างเช่น

- 1) การผลิตก๊าซ (Gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้เป็นก๊าซ เชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับกังหันก๊าซ (Gas Turbine) ของเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า
- 2) การหมัก (Fermentation) เพื่อให้เกิดเป็นก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นการนำชีวมวล เช่น ขยะ อินทรีย์ในชุมชน มูลสัตว์ ชีวมวลเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร มาหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ เพื่อย่อยสลายชีวมวลให้ได้เป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ใช้กับหม้อไอน้ำในอุตสาหกรรม และใช้เป็นก๊าซหุงต้มในครัวเรือน
- 3) การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากชีวมวล สามารถทำได้หลายวิธี เช่น
 - การย่อยสลายแป้ง น้ำตาลและเซลลูโลสจากชีวมวลทางการเกษตร ให้เป็นไบโอเอทานอลสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน
 - กระบวนการสกัดน้ำมันออกจากพืช เช่น มะพร้าว ถั่วเหลือง ปาล์ม เพื่อนำน้ำมันที่ได้ไปผ่านกระบวนการทรานเอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification) สำหรับผลิตเป็นไบโอดีเซล
 - กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นการเผาชีวมวลในสภาพไร้ออกซิเจน เพื่อเกิดการสลายตัวเกิดเป็นเชื้อเพลิงในเหลวและก๊าซผสมกัน
- 4) การเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) คือ การนำชีวมวลมาเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนโดยตรง ดังนั้นความร้อนที่ได้จึงขึ้นอยู่กับค่าความร้อนของชีวมวลแต่ละชนิด
- 5) การแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพแข็ง (Bio-solid Fuel) เป็นการพัฒนาเชื้อเพลิงเพื่อการเผาไหม้รูปแบบหนึ่ง ซึ่งจะสามารถเพิ่มค่าความร้อนให้กับเชื้อเพลิงชีวมวลได้ และช่วยให้สามารถจัดเก็บ ขนส่งชีวมวลได้สะดวกขึ้น และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับชีวมวลได้ด้วย ตัวอย่าง เช่น การแปรรูปชีวมวลเป็นชีวมวลอัดแท่ง (Wood Pellet) เชื้อเพลิงแท่งที่ผ่านกระบวนการ Torrifaction รวมถึงถ่านชีวภาพ (Biocoke) ในงานวิจัยนี้ เป็นต้น

2.1.5 ถ่านชีวภาพ (Bio-coke)

ถ่านชีวภาพเป็นชีวมวลแข็ง หรือชีวมวลอัดแท่งที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เศษอาหาร และเศษวัสดุจากอุตสาหกรรม เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพอัดแท่ง (Bio-solid Fuel) ถ่านชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงที่ให้ค่าความร้อนสูง และมีค่าความหนาแน่นรวมสูง สามารถใช้แทนถ่านโค้กในอุตสาหกรรมได้และยังช่วยลดปริมาณมลพิษอีกด้วย จากข้อมูลการทดลองผลิตถ่านชีวภาพจากวัสดุทางการเกษตรพบว่ามีความร้อนประมาณ 3000-6000 kcal/kg และค่าความหนาแน่นประมาณ 1.1-1.3 g/cm³ [11-14] ตัวอย่างถ่านชีวภาพแสดงดังรูปที่ 2.3 ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องอัดถ่านชีวภาพในแนวตั้งเพื่อทดลองผลิตถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างถ่านชีวภาพ



รูปที่ 2.4 เครื่องผลิตถ่านชีวภาพในแนวตั้ง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาถ่านชีวภาพได้ริเริ่มโดย Prof. Tamio Ida และคณะนักวิจัยของ Kindai University [3] โดย Sawai และคณะ [11] ได้ผลิตถ่านชีวภาพจากเศษไม้ของต้นบ๊วยและต้นพลับ พบว่าถ่านชีวภาพจากเศษไม้ของต้นพลับนั้นจะมีค่าความต้านทานแรงอัดสูงที่สุดในรูปที่อุณหภูมิ 180 °C แต่จะมีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดลดลงตามขนาดของของวัตถุดิบที่ลดลง ขณะที่ถ่านชีวภาพจากเศษไม้ของต้นบ๊วยมีความต้านทานแรงอัดสูงที่สุดเมื่อทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 140-160 °C โดยที่ขนาดของวัตถุดิบไม่มีผลต่อความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพ

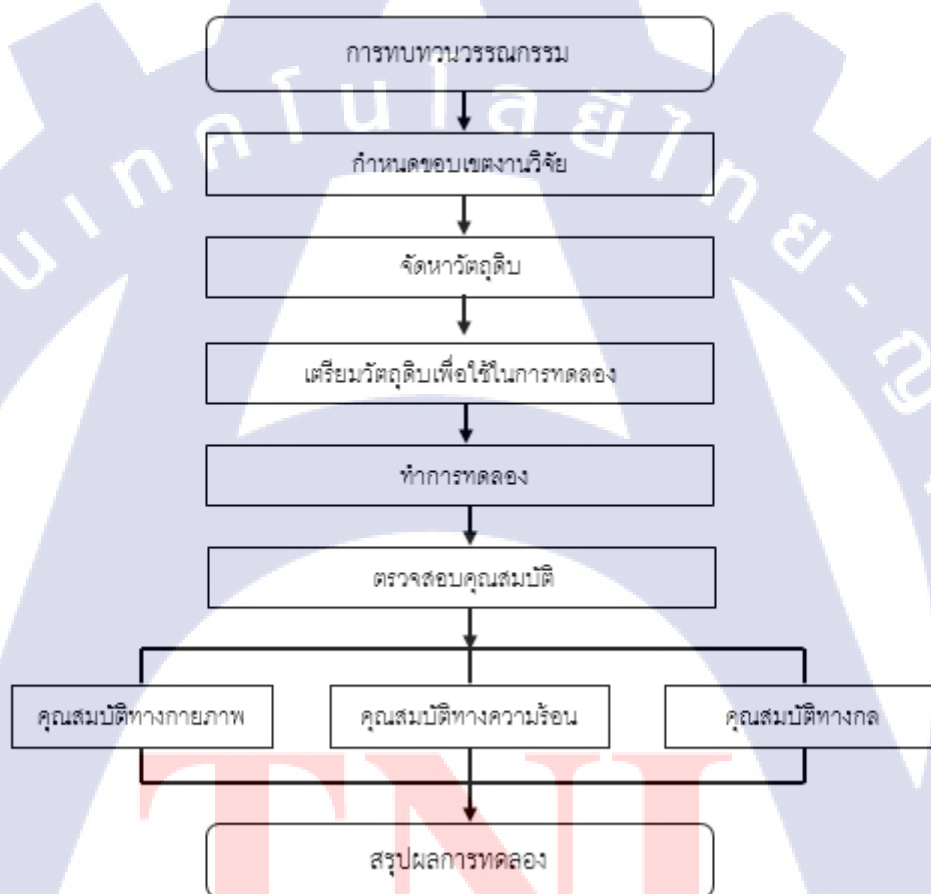
Mizuno และคณะ [12] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงอัดสูงสุดและปริมาณคาร์บอน (Carbon Content) ในวัตถุดิบ และทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของของวัตถุดิบ ที่จะนำมาผลิตถ่านชีวภาพ โดยพบว่าปริมาณความคาร์บอนในวัตถุดิบ จะแปรผกผันกับความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพ

ส่วนการศึกษาถ่านชีวภาพในประเทศไทย ห้องวิจัยกระบวนการวัสดุขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นยังได้ร่วมกับ Kindai University ในการพัฒนาถ่านชีวภาพจากเศษวัสดุทางการเกษตรหลากหลายชนิด เช่น กากกาแฟ กากถั่วเหลือง ไม้กระถินยักษ์สับ ซึ่งพบว่ามีค่าความร้อนประมาณ 3000-6000 kcal/kg และค่าความหนาแน่นประมาณ 1.1-1.3 g/cm³ โดยถ่านชีวภาพจากกากกาแฟจะให้ค่าความร้อนสูงที่สุด มีความหนาแน่นและความแข็งแรงเหมาะสมร่วมกับถ่านโค้กและถ่านหินที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้ [13-16]

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเป็นไปตามแผนผังงานดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงาน

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) เครื่องอัดถ่านชีวภาพโดยการอัดในแนวตั้ง
- 2) เตาเผาแบบท่อ (Tube Heating Furnace)
- 3) เทอร์โมมิเตอร์

- 4) เครื่องวัดความชื้นวัตถุดิบ
- 5) ตู้อบควบคุมความชื้น

3.3 ขอบเขตการศึกษา

3.2.1 วัตถุดิบที่ใช้

- 1) ชี้อ้อยไม่ยางพารา (วัตถุดิบหลัก)
- 2) กากกาแฟ (ตัวประสาน)

3.2.2 ตัวแปรต้น

- 1) ปริมาณกากกาแฟที่ใช้เป็นตัวประสาน เท่ากับ 0 5 10 15 20 และ 25 wt%
- 2) เวลาในการขึ้นรูป เท่ากับ 10 นาที 15 นาที และ 20 นาที
- 3) อุณหภูมิในการขึ้นรูป เท่ากับ 160 °C 165 °C และ 170 °C

3.2.3 ตัวแปรตาม

- 1) ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพ
- 2) ค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด
- 3) ความหนาแน่นรวม

3.2.3 ตัวแปรควบคุม

- 1) เครื่องอัดถ่านชีวภาพโดยการอัดในแนวตั้ง
- 2) ความดันในการขึ้นรูปคงที่ เท่ากับ 16 MPa
- 3) ความชื้นของวัตถุดิบคงที่ ประมาณ 10 ± 1 wt%
- 4) ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบที่ใช้ มีขนาดเล็กกว่า 600 micron
- 5) น้ำหนักรวมของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง 50 g

3.4 การทดลอง

3.4.1 วัตถุดิบและการเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษานี้มี 2 ชนิด ได้แก่ ชี้อ้อยไม่ยางพารา เป็นวัตถุดิบหลัก และกากกาแฟจะนำมาผสมเป็นตัวประสาน เนื่องจากมีรายงานจากการวิจัยที่ผ่านมาว่ากากกาแฟจะมีสมบัติที่อ่อนตัวได้ดีเมื่อได้รับความร้อนสูง [13] และมีค่าความร้อนสูงไม่ลดสมบัติของถ่านชีวภาพจากวัตถุดิบหลักที่ได้ จึงเหมาะที่จะนำมาเป็นตัวประสานได้ดี นอกจากนี้กากกาแฟยังมีแนวโน้มสูงขึ้นจากการบริโภคกาแฟที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษานี้แสดงดังรูปที่ 3.2 เมื่อได้วัตถุดิบจากแหล่งวัตถุดิบ

แล้วจะทำการคัดแยกขนาดด้วยเครื่องร่อนแยกขนาด โดยในการศึกษานี้เลือกใช้วัตถุดิบที่มีขนาดเล็กกว่า 600 micron และเนื่องจากวัตถุดิบทั้งสองชนิดมีความชื้นสูง ในการทดลองแต่ละครั้งจะต้องนำซีลี้อยู่อย่างพาราและกากกาแฟเข้าตู้อบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิประมาณ 80 °C จนได้ความชื้นตามกำหนดที่ประมาณ 10 ± 1 wt%



(a) ซีลี้อยู่อย่างพารา

(b) กากกาแฟ

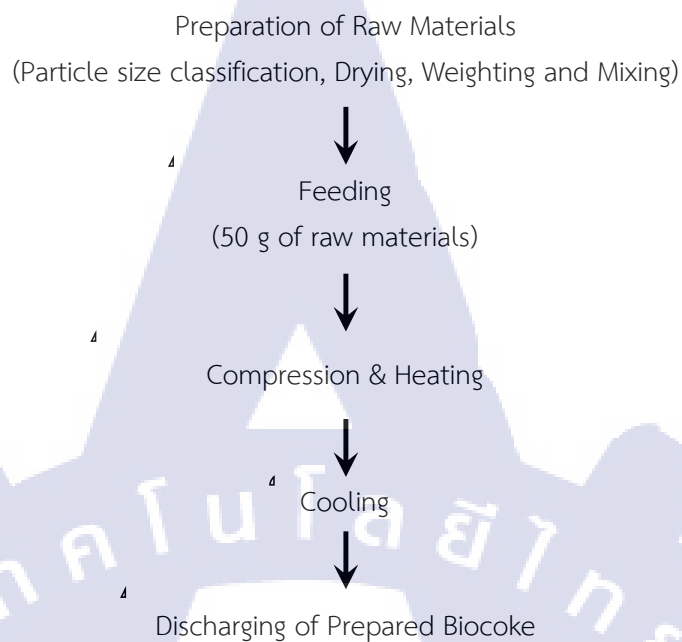
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษา

3.4.2 การขึ้นรูปถ่านชีวภาพ

ในการศึกษานี้ทำการผลิตถ่านชีวภาพด้วยเครื่องผลิตถ่านชีวภาพแบบอัดร้อนในแนวตั้ง ดังรูปที่

2.4 มีขั้นตอนการประกอบแม่พิมพ์และการขึ้นรูปถ่านชีวภาพแสดงดังรูปที่ 3.3 และ 3.4

- 1) ประกอบชุดแม่พิมพ์
- 2) ผสมวัตถุดิบและตัวประสานตามอัตราส่วนที่กำหนด (50 กรัม) จากนั้นนำไปวัตถุดิบใส่ในแม่พิมพ์ทรงกระบอก
- 3) เลื่อนหัวอัดซึ่งบังคับด้วยลูกสูบไฮดรอลิกลงมาประกอบเข้ากับแม่พิมพ์ด้านบนจากนั้นทำการกดด้วยไฮดรอลิกจนถึงความดัน 16 MPa
- 4) ครอบกระบอกแม่พิมพ์ด้วยสบู Electric heating furnace เพื่อให้ความร้อนแก่วัตถุดิบจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ จากนั้นคงที่อุณหภูมิไว้เป็นเวลา 10 – 20 นาที
- 5) เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้ว นำ Electric heating furnace ออกจากกระบอกสบู จากนั้นรอจนกระทั่งอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง
- 6) นำถ่านชีวภาพออกจากกระบอกสบู



รูปที่ 3.3 กระบวนการการขึ้นรูปถ่านชีวภาพ

รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการประกอบแม่พิมพ์และการขึ้นรูปถ่านชีวภาพ

3.4.3 สถานะที่ทำการศึกษา

ในการศึกษานี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ชุดการทดลองได้แก่

- 1) ผลกระทบต่อปริมาณกากกาแฟต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากชีเลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน
- 2) ผลกระทบของเวลาในการขึ้นรูปต่อถ่านชีวภาพจากจากชีเลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน

- 3) ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อถ่านชีวภาพจากจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน

ในการทดลองจึงทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ ตามที่เสนอไว้ในหัวข้อที่ 3.3 ซึ่งสามารถสรุปกรณีที่ทำการศึกษาได้ 54 กรณี ดัง ตารางที่ 3.1 โดยที่ในแต่ละกรณีจะทำซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้งจะได้ถ่านชีวภาพรวมทั้งหมด 162 ตัวอย่าง

ตารางที่ 3.1 สภาวะการทดลอง

ลำดับ	สภาวะการทดลอง		
	ปริมาณตัวประสาน (%)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
1	0	160	10
2	0	165	10
3	0	170	10
4	0	160	15
5	0	165	15
6	0	170	15
7	0	160	20
8	0	165	20
9	0	170	20
10	5	160	10
11	5	165	10
12	5	170	10
13	5	160	15
14	5	165	15
15	5	170	15
16	5	160	20
17	5	165	20
18	5	170	20
19	10	160	10
20	10	165	10

ตารางที่ 3.1 สภาวะการทดลอง (ต่อ)

ลำดับ	สภาวะการทดลอง		
	ปริมาณตัวประสาน (%)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
21	10	170	10
22	10	160	15
23	10	165	15
24	10	170	15
25	10	160	20
26	10	165	20
27	10	170	20
28	15	160	10
29	15	165	10
30	15	170	10
31	15	160	15
32	15	165	15
33	15	170	15
34	15	160	20
35	15	165	20
36	15	170	20
37	20	160	10
38	20	165	10
39	20	170	10
40	20	160	15
41	20	165	15
42	20	170	15
43	20	160	20
44	20	165	20
45	20	170	20

ตารางที่ 3.1 สภาวะการทดลอง (ต่อ)

ลำดับ	สภาวะการทดลอง		
	ปริมาณตัวประสาน (%)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
46	25	160	10
47	25	165	10
48	25	170	10
49	25	160	15
50	25	165	15
51	25	170	15
52	25	160	20
53	25	165	20
54	25	170	20

3.5 การวิเคราะห์สมบัติถ่านชีวภาพ

งานศึกษาการผลิตถ่านชีวภาพจากชี้เลี้ยงไม่ย่างพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน มีการวิเคราะห์สมบัติถ่านชีวภาพที่ได้จากสภาวะการผลิตและสัดส่วนการผสมตัวประสานที่ต่างกันโดยการตรวจสอบสมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และวิเคราะห์ภาพถ่ายโครงสร้างทางจุลภาคของพื้นผิวของถ่านชีวภาพเพื่อหาความสัมพันธ์กับตัวแปรต่างๆ ที่ศึกษา โดยสมบัติที่มีการตรวจสอบ ได้แก่ ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) ความต้านทานแรงอัด (Compressive Strength) และค่าความร้อน (Colorific value) มีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 ค่าความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

การหาค่าความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพ ทำได้โดยนำถ่านชีวภาพแต่ละชิ้นมาชั่งน้ำหนัก และวัดความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลาง เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความหนาแน่น ตามสมการที่ 3.1

$$\text{ความหนาแน่นรวม} = \frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาตร}} \quad (3.1)$$

3.5.2 ความต้านทานแรงอัด (Compressive Strength)

การทดสอบความต้านทานแรงอัดของถ่านชีวภาพ (Compressive Strength) เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาความแข็งแรงของชิ้นงาน เนื่องจากถ่านชีวภาพต้องมีการขนส่ง การจัดเก็บและการเผาไหม้ร่วมกับวัสดุอื่นๆ จึงต้องมีสมบัติที่แข็งแรงไม่แตกร่วนง่าย จึงจะสามารถให้ความร้อนได้ดีและไม่เสียหายระหว่างการขนส่งและการจัดเก็บ ซึ่งในการศึกษานี้ทดสอบความแรงอัดด้วยเครื่อง Shimadzu UH-100A ดังรูปที่ 3.5 และคำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$\sigma_{max} = F_{max}/A \quad (3.2)$$

เมื่อ σ_{max} ค่าความต้านทานแรงอัด (MPa) F_{max} แรงอัดสูงสุด (N) และ A พื้นที่หน้าตัดของถ่านชีวภาพ (m^2).



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบการอัด Shimadzu UH-100A

3.5.3 สมบัติทางความร้อน (Colorific value) [18]

สามารถหาได้จากการวิเคราะห์ค่าความร้อนด้วย Bomb Calorimeter Parr รุ่น Model 1341 Plain Jacket แสดงใน รูปที่ 3.6 โดยจะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาค่าความร้อนของสารตัวอย่างจาก สมการที่ 3.3

$$H_g = \frac{tW - e_1 - e_2 - e_3}{m} \quad (3.3)$$

โดย H_g คือ ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพ (kcal/kg)

t คือ อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น ($^{\circ}\text{C}$)

W คือ ค่าน้ำสมมูลของบอมบ์แคลอริมิเตอร์

m คือ มวลของถ่านชีวภาพที่ใช้ในการทดสอบ (g)

e_1 คือ ค่าแก้ความร้อนที่เกิดจากกรดไนตริกในกระบวนการเผาไหม้ เท่ากับ 23.9

e_2 คือ ค่าแก้ความร้อนที่เกิดจากกรดซัลฟิวริกที่เกิดในกระบวนการเผาไหม้ มีค่าเท่ากับ $13.7 \times 1.02 \times$ มวลของตัวอย่างถ่านชีวภาพ

e_3 คือ ค่าแก้จากความร้อนที่เกิดจากการลุกไหม้ของขดลวดตัวนำ เท่ากับ $2.3 \times$ ความยาวของลวดที่ใช้จุดระเบิดในหน่วย cm



รูปที่ 3.6 เครื่อง Bomb Colorimeter Parr รุ่น Model 1341 และ RTD Band 3 Pt-100

3.5.4 การวิเคราะห์ภาพถ่ายโครงสร้างทางจุลภาคของพื้นผิวของถ่านชีวภาพ

การวิเคราะห์ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพใช้การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของพื้นผิวของวัตถุดิบและถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ ซึ่งในการถ่ายภาพชิ้นงานที่ผลิตได้ทำได้เพียงบางกรณี เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือทดสอบ รูปที่ 3.7 แสดงภาพเครื่อง Scanning Electron Microscope ที่ใช้ในการศึกษานี้



รูปที่ 3.8 เครื่อง EVO MA10 Versatile Multipurpose SEM

TNI

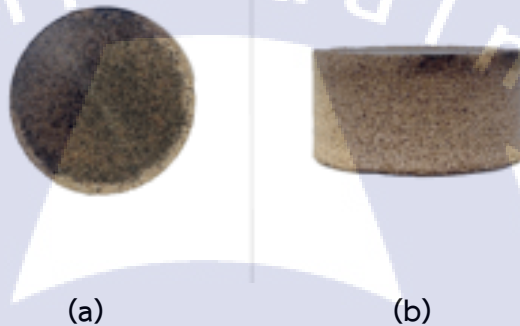
THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการวิจัย

4.1 ลักษณะทางกายภาพของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน

รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน ซึ่งถ่านชีวภาพที่ผลิตได้จะมีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 cm ความสูงประมาณ 2 cm ขึ้นอยู่กับสถานะและส่วนผสมในการขึ้นรูป พบว่าสีของถ่านชีวภาพจะมีสีเข้มกว่าวัตถุดิบเล็กน้อย โดยสีของถ่านชีวภาพจะมีสีเข้มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการขึ้นรูป และเพิ่มปริมาณของกากกาแฟที่ใช้เป็นตัวประสาน



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน 5 wt% ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160 °C ใช้เวลา 10 min ความดัน 16 MPa
(a) top view a (b) side view.

4.2 ผลกระทบของปริมาณกากกาแฟต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน

ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน โดยทำการปรับเปลี่ยนปริมาณของกากกาแฟและทำการขึ้นรูปที่สถานะต่างๆ เพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณกากกาแฟต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา เนื่องจากมีรายงานการศึกษาที่พบว่าองค์ประกอบของกากกาแฟ เช่น เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจะอ่อนตัวลงเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงขึ้นและทำหน้าที่เป็นตัวประสานได้ [13, 16, 19] **ตารางที่ 4.1** แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบลิกโนเซลลูโลสในวัตถุดิบ ด้วยวิธี Van Soest method [20] ซึ่งพบว่ากากกาแฟมีองค์ประกอบลิกนินสูงกว่าขี้เลื่อยไม้ยางพารา จึงมีแนวโน้มที่จะให้ค่าความร้อนสูงกว่า นอกจากนี้วัตถุดิบทั้งสองชนิดมีเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบด้วย ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการอ่อนตัวและยึดเกาะกันดียิ่งขึ้นเมื่อทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง

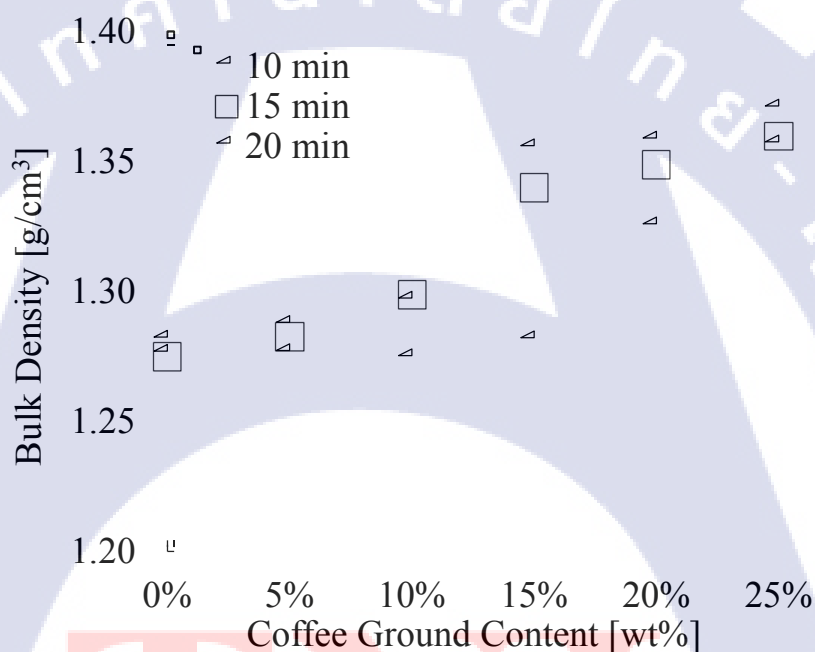
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบลิกโนเซลลูโลสในวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	องค์ประกอบ (wt%)			
	Cellulose	Hemicellulose	Lignin	Others
ชี้เลื่อยไม้ยางพารา	51.2	16.4	16.5	15.9
กากกาแฟ	48.6	4.3	23.6	23.5

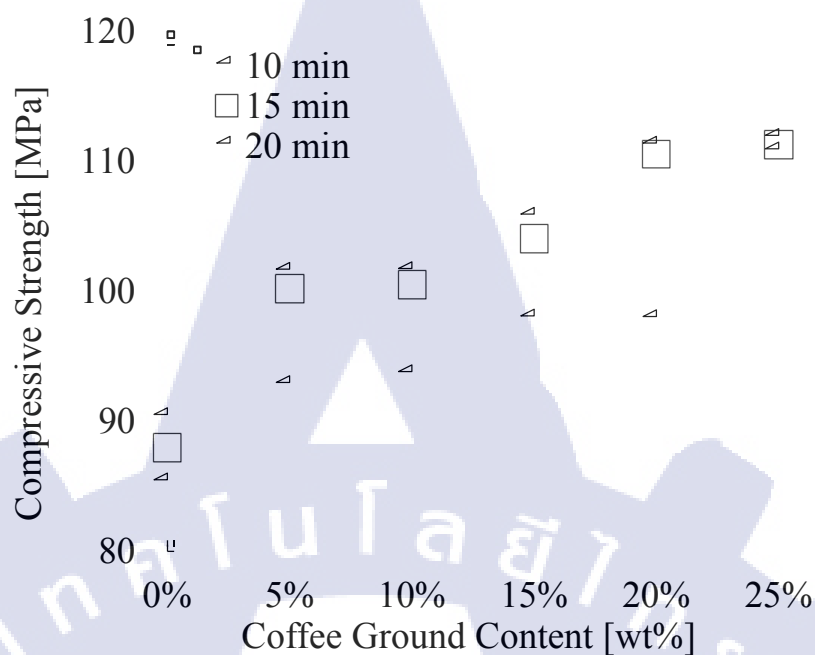
รูปที่ 4.2 - 4.4 แสดงผลกระทบของปริมาณกากกาแฟต่อค่าความหนาแน่นรวม ความต้านทานแรงอัดสูงสุด และค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากชี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน ที่อุณหภูมิ 160 °C และใช้เวลาในการขึ้นรูป 10 นาที 15 นาที และ 20 นาที และรูปที่ 4.5 - 4.7 แสดงผลกระทบของปริมาณกากกาแฟต่อค่าความหนาแน่นรวม ความต้านทานแรงอัดสูงสุด และค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากชี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูป 20 นาที จากผลการทดลองที่ได้พบว่าปริมาณตัวประสานมีผลต่อค่าความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพ เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของกากกาแฟที่ใช้เป็นตัวประสานนั้นมีองค์ประกอบของลิกนินที่มากกว่าชี้เลื่อยไม้ยางพารา ซึ่งเมื่อยิ่งเพิ่มปริมาณตัวประสานมากขึ้นก็จะเป็นการเพิ่มปริมาณลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสในวัตถุดิบที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพ เมื่ออุณหภูมิการขึ้นรูปเพิ่มขึ้นพบว่า ความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพนั้นก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [13, 16, 19] ที่รายงานว่า ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสของสารชีวมวลจากพืชจะเริ่มอ่อนตัวแล้วละลายกลายเป็นตัวประสานที่อุณหภูมิ 130 °C - 190 °C ทำให้ช่องว่างระหว่างโมเลกุลนั้นลดลง เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปเพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้ช่องว่างระหว่างตัววัตถุดิบนั้นลดลงเช่นเดียวกัน ส่งผลให้วัตถุดิบเกิดการยึดเกาะตัวกันดีขึ้น นอกจากนี้ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพก็มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณกากกาแฟที่ใช้เป็นตัวประสาน เนื่องจากค่าความร้อนของกากกาแฟที่ใช้เป็นตัวประสานมีค่าความร้อนสูงกว่าค่าความร้อนของชี้เลื่อยไม้ยางพารา (ค่าความร้อนกากกาแฟ $\approx$ 4,400 kcal/kg ค่าความร้อนชี้เลื่อยไม้ยางพารา $\approx$ 3,500 kcal/kg) เมื่อเพิ่มปริมาณตัวประสานก็จะเป็นการเพิ่มปริมาณส่วนผสมของกากกาแฟในสัดส่วนที่มากขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับเป้าหมายในการพัฒนาให้ถ่านชีวภาพ มีสมบัติที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านหินหรือถ่านโค้กในอุตสาหกรรม คือ

- ความหนาแน่นรวม (Bulk density) ไม่น้อยกว่า 1.1 g/cm^3
- ความแข็งแรงต้านทานแรงอัด (Compressive strength) ไม่น้อยกว่า 20 MPa
- ค่าความร้อน (Calorific value) ไม่น้อยกว่า $4,000 \text{ kcal/kg}$

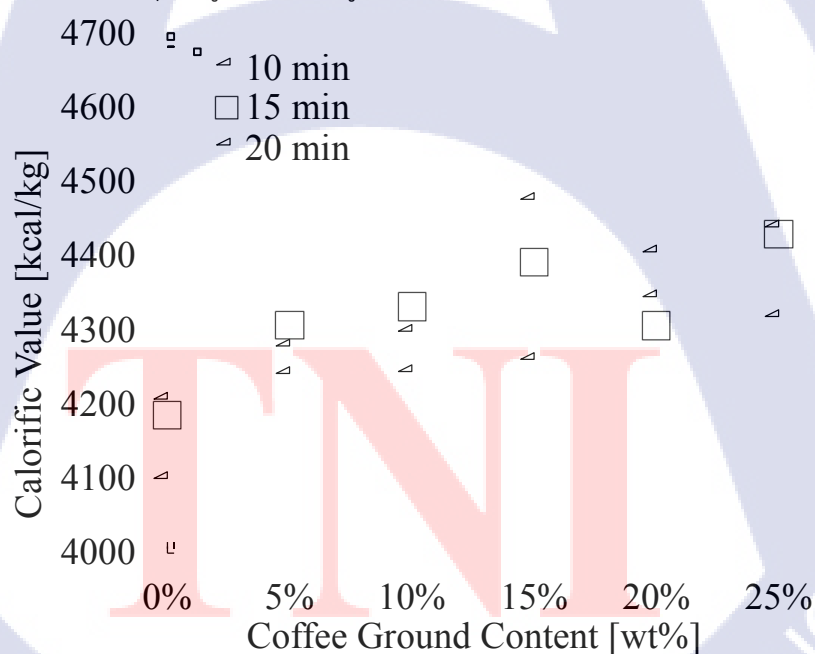
พบว่าถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่มีความหนาแน่นรวม ความต้านทานแรงอัดสูงสุด และค่าความร้อนอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถใช้ในอุตสาหกรรมได้ อย่างไรก็ตามค่าความร้อนที่ได้ยังไม่สูงมากนัก ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาผลของสภาวะในการขึ้นรูป เช่น อุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูปเพิ่มเติม เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาให้ถ่านชีวภาพที่ได้มีค่าความร้อนดีขึ้น และเหมาะสมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมได้



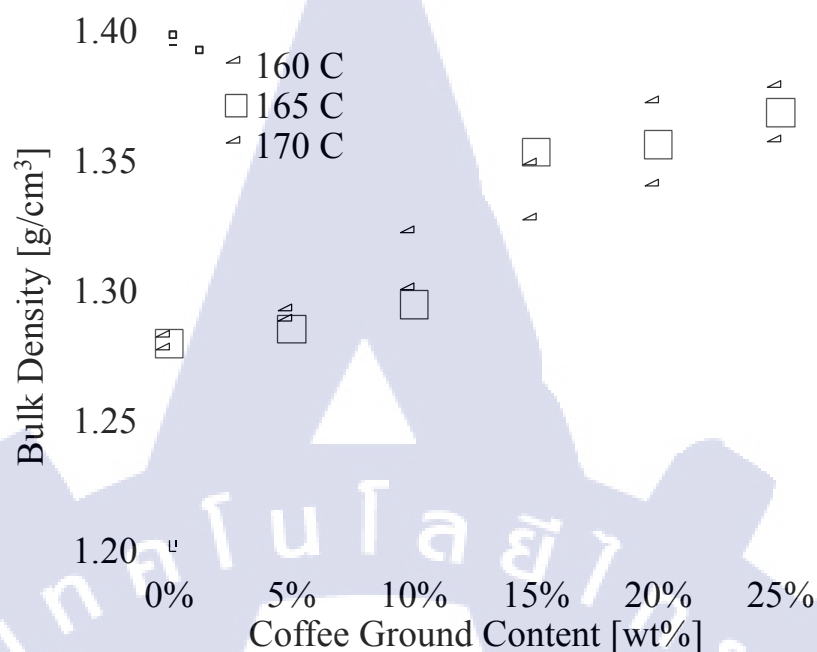
รูปที่ 4.2 ผลกระทบของปริมาณกากกาแฟต่อค่าความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปต่างกัน (อุณหภูมิในการขึ้นรูป $160 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ความดัน 16 MPa)



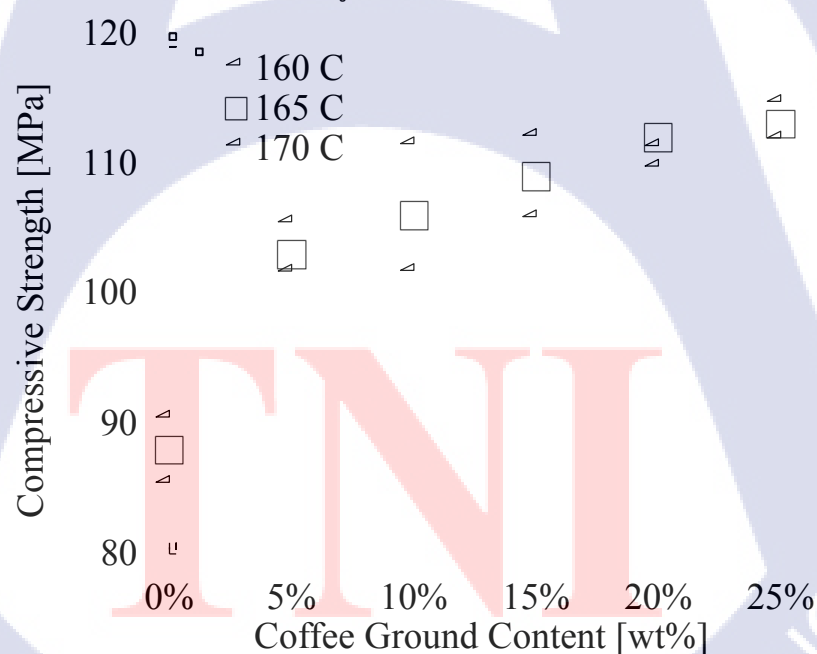
รูปที่ 4.3 ผลกระทบของปริมาณกากกาแฟต่อความต้านทานแรงกดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปต่างกัน (อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160 °C ความดัน 16 MPa)



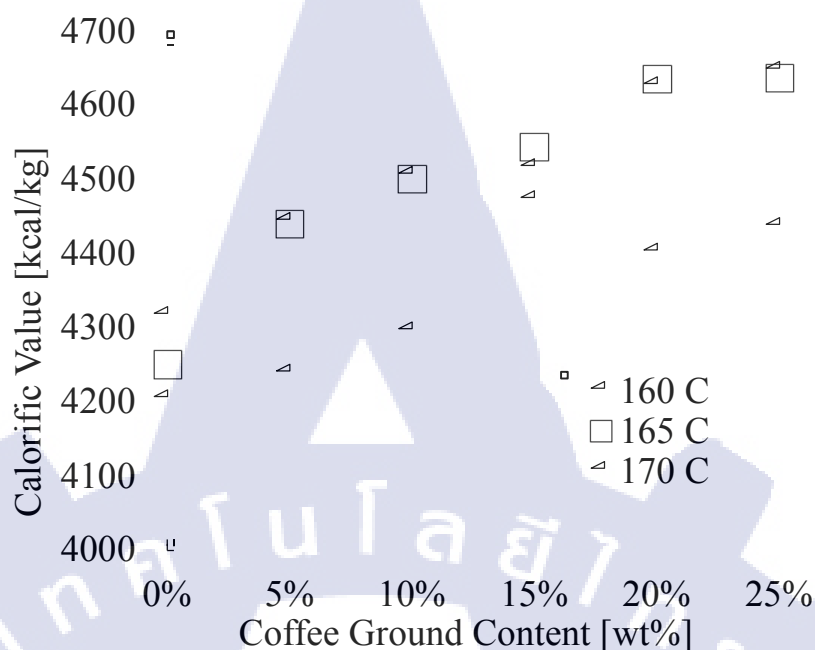
รูปที่ 4.4 ผลกระทบของปริมาณกากกาแฟต่อค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปต่างกัน (อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160 °C ความดัน 16 MPa)



รูปที่ 4.5 ผลกระทบของปริมาณกากกาแฟต่อค่าความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากซีเลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน ที่อุณหภูมิต่างๆ (ใช้เวลาในการขึ้นรูป 20 นาที ความดัน 16 MPa)



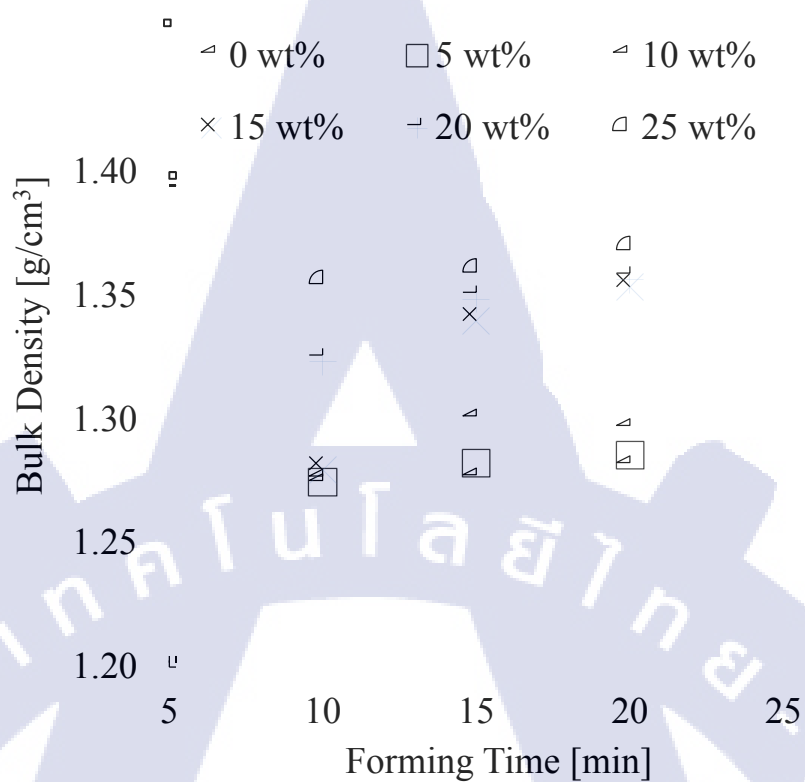
รูปที่ 4.6 ผลกระทบของปริมาณกากกาแฟต่อความต้านทานแรงกดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากซีเลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน ที่อุณหภูมิต่างๆ (ใช้เวลาในการขึ้นรูป 20 นาที ความดัน 16 MPa)



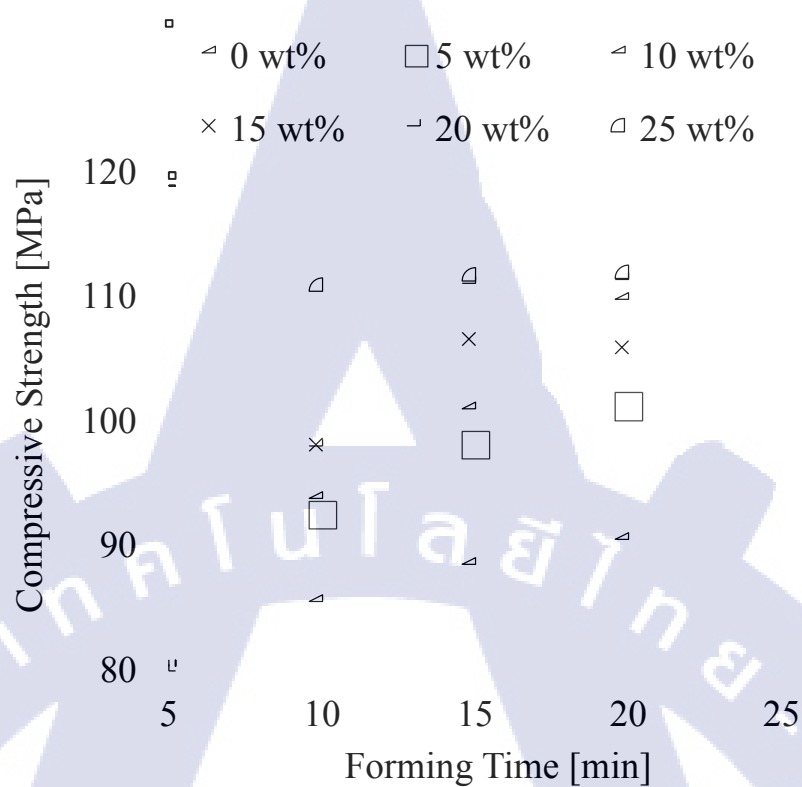
รูปที่ 4.7 ผลกระทบของปริมาณกากกาแฟต่อค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากชีเลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน ที่อุณหภูมิต่างๆ (ใช้เวลาในการขึ้นรูป 20 นาที ความดัน 16 MPa)

4.3 ผลกระทบของเวลาในการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากชีเลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน

รูปที่ 4.8 - 4.10 แสดงผลกระทบของเวลาในการขึ้นรูปต่อค่าความหนาแน่นรวม ความต้านทานแรงอัดสูงสุด และค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากชีเลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160 °C โดยใช้เวลาในการขึ้นรูป 10 นาที 15 นาที และ 20 นาที จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นรวม ความต้านทานแรงกด และค่าความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Murata et al. [21] ที่กล่าวว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการขึ้นรูปขึ้นจะทำให้การยึดเกาะของอนุภาคดีขึ้น ส่งผลให้มีความหนาแน่นรวม ความต้านทานแรงกดและค่าความร้อนของถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้น

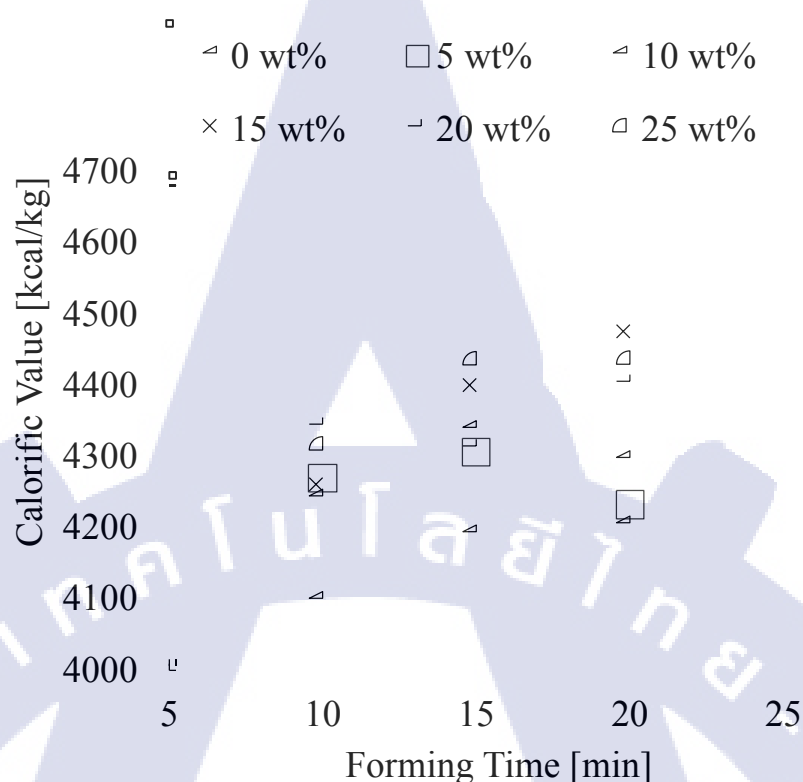


รูปที่ 4.8 ผลกระทบของเวลาในการขึ้นรูปต่อความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพที่ผลิตจาก
ขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสานในปริมาณที่ต่างกััน
(อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160 °C ความดัน 16 MPa)



รูปที่ 4.9 ผลกระทบของเวลาในการขึ้นรูปต่อความต้านทานแรงอัดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อย
 ไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสานในปริมาณที่แตกต่างกัน
 (อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160 °C ความดัน 16 MPa)

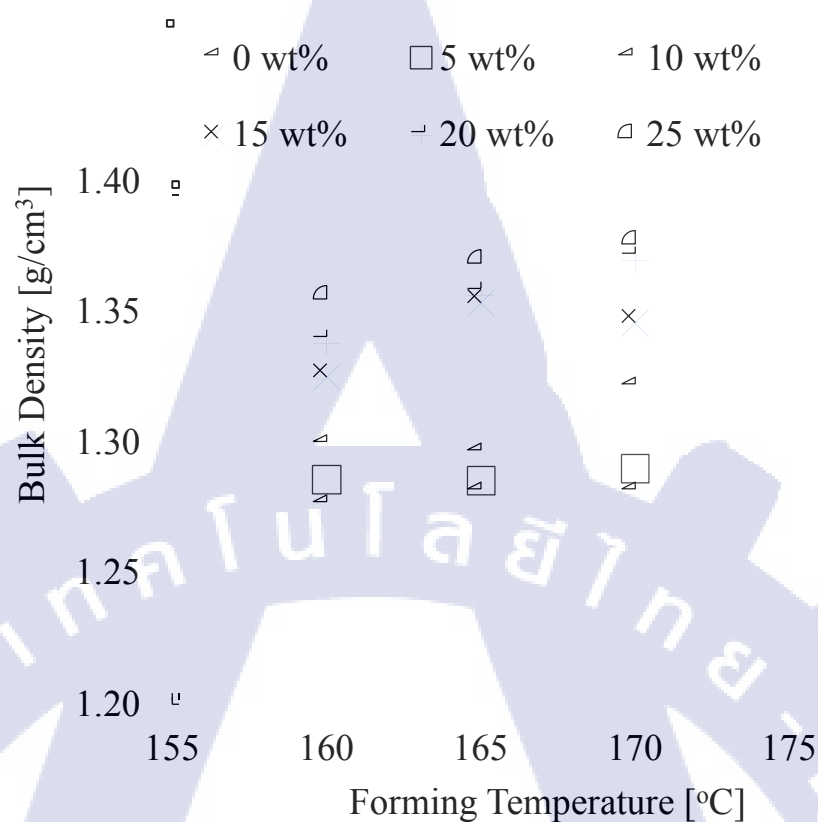
TNI



รูปที่ 4.10 ผลกระทบของเวลาในการขึ้นรูปต่อค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสานในปริมาณที่แตกต่างกัน (อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160 °C ความดัน 16 MPa)

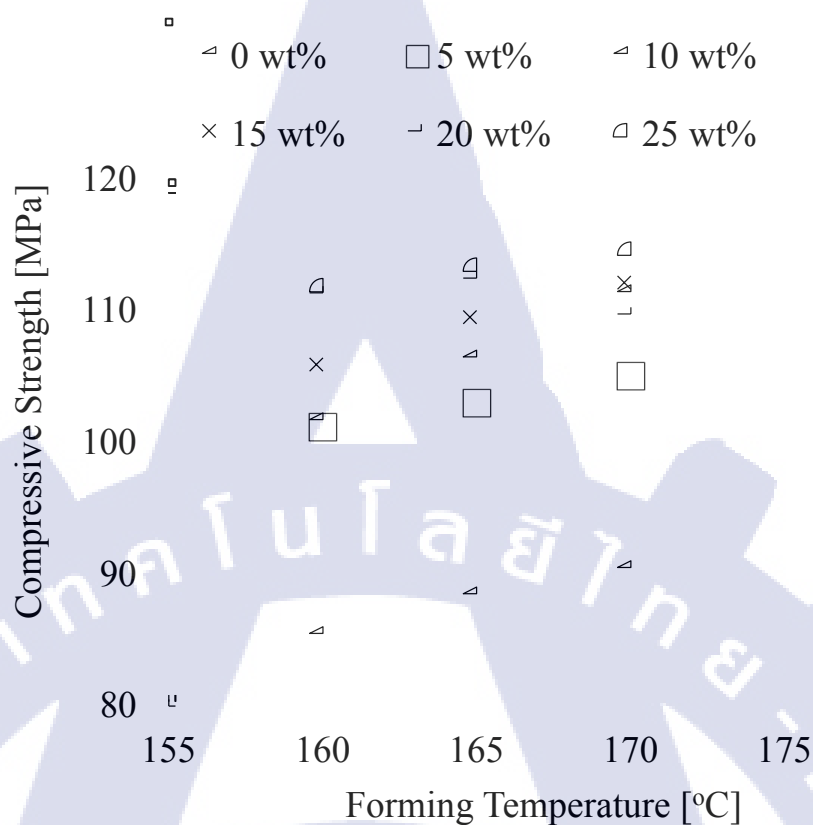
4.4 ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน

รูปที่ 4.11 - 4.13 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน ที่อุณหภูมิ 160 165 และ 170 °C โดยใช้เวลาในการขึ้นรูป 20 นาที เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีภายในตัววัตถุดิบ เช่น ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสเกิดการอ่อนตัวและแปลงสภาพเป็นตัวประสานไปปิดช่องว่างระหว่างโมเลกุล เมื่อใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปสูงขึ้น ทำให้ถ่านชีวภาพมีหนาแน่นสูงขึ้นและส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดสูงขึ้นด้วย



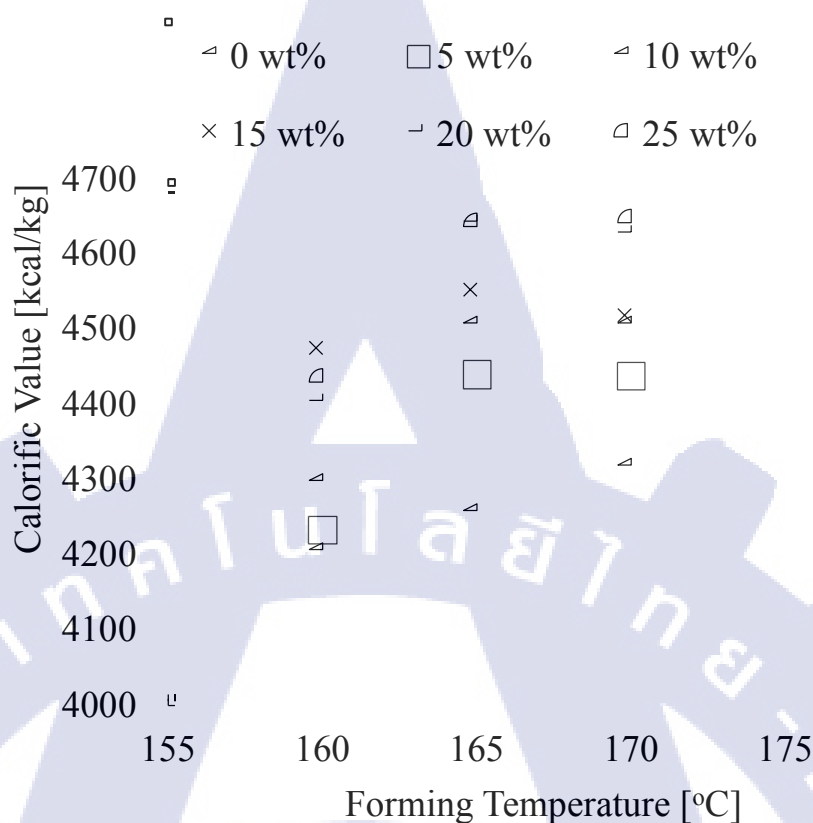
รูปที่ 4.11 ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพที่ผลิตจาก
ชี้เลี้ยงไม้อย่างพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสานในปริมาณที่แตกต่างกัน
(เวลาในการขึ้นรูป 20 นาที ความดัน 16 MPa)

TNI



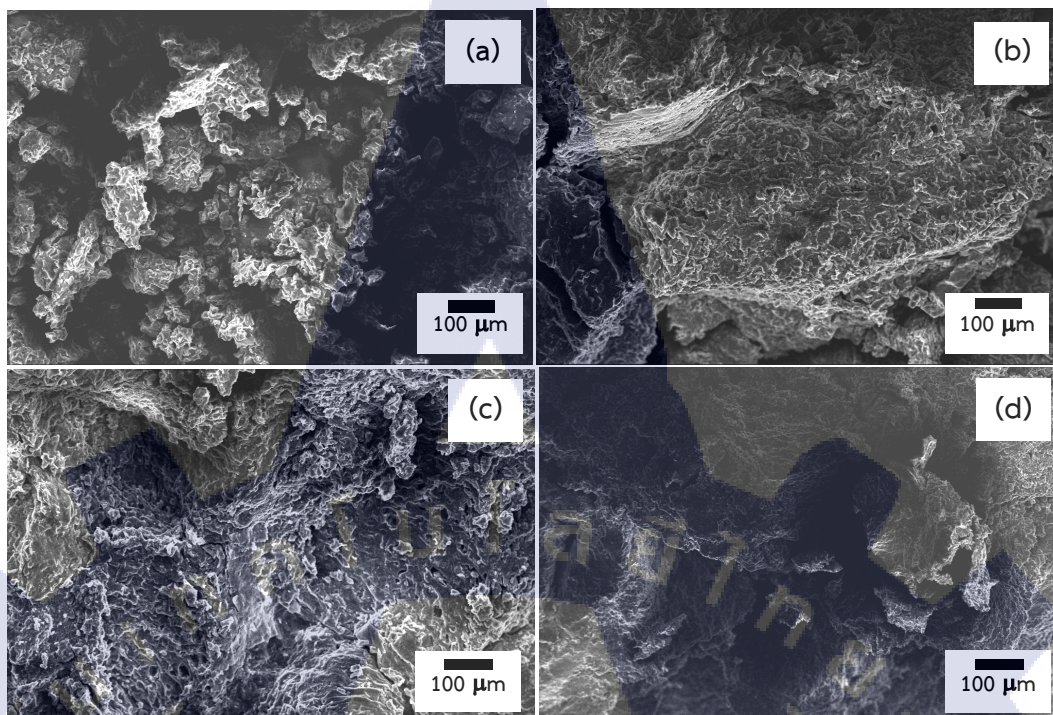
รูปที่ 4.12 ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อความต้านทานแรงอัดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจาก
 ชีวชี้อย่างพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสานในปริมาณที่แตกต่างกัน
 (ใช้เวลาในการขึ้นรูป 20 นาที ความดัน 16 MPa)

TNI



รูปที่ 4.13 ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสานในปริมาณที่แตกต่างกัน (ใช้เวลาในการขึ้นรูป 20 นาที ความดัน 16 MPa)

รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะพื้นผิวที่กำลังขยาย 50 เท่า ของวัตถุดิบและถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสานที่ขึ้นรูปโดยใช้เวลา 20 นาที ความดัน 16 MPa ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูปต่างกัน ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการขึ้นรูปสูงขึ้น อนุภาคของวัตถุดิบจะอัดตัวกันแน่นขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองการที่พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปสูงขึ้น ทำให้ถ่านชีวภาพมีหนาแน่นสูงขึ้นและส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดสูงขึ้นด้วย



รูปที่ 4.14 ลักษณะพื้นผิวที่กำลังขยาย 50 เท่า ของวัตถุดิบและถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา โดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสานที่ขึ้นรูปโดยใช้เวลา 20 นาที ความดัน 16 MPa ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูปต่างกัน (a) วัตถุดิบก่อนอัดขึ้นรูป (b) 160 °C (c) 165 °C (d) 170 °C

4.5 สรุป

จากการวิเคราะห์สมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยมีกากกาแฟเป็นตัวประสาน สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นรวม ความต้านทานแรงอัดสูงสุด และค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ คือ ปริมาณของกากกาแฟที่ใช้เป็นตัวประสาน อุณหภูมิในการขึ้นรูป และเวลาในการขึ้นรูป โดยความหนาแน่นรวม ความต้านทานแรงอัดสูงสุด และค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของกากกาแฟที่ใช้เป็นตัวประสาน อุณหภูมิในการขึ้นรูป และเวลาในการขึ้นรูป ซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบสำคัญในกากกาแฟ ได้แก่ ลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ที่จะอ่อนตัวเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงขึ้นและใช้เวลาในการขึ้นรูปนานขึ้นในช่วงที่ทำการขึ้นรูป ส่งผลให้การยึดเกาะของอนุภาควัตถุดิบดีขึ้น ถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่มีความหนาแน่นรวม ความต้านทานแรงอัดสูงสุด และค่าความร้อนสูงสุด ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่มีส่วนผสมของกากกาแฟ 25 wt% โดยทำการขึ้นรูปที่ 170 °C ความดัน 16 MPa เป็นเวลา 20 นาที โดยมีความหนาแน่นรวม เท่ากับ 1.38 g/cm^3 มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด 111 MPa และ มีค่าความร้อน เท่ากับ 4642 kcal/kg

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านชีวภาพจากการศึกษาที่ผ่านมาและถ่านโค้กในอุตสาหกรรมพบว่า มีสมบัติที่ดีและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้ ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติของถ่านชีวภาพที่ได้จากการศึกษา การศึกษาที่ผ่านมา และสมบัติของถ่านโค้กในอุตสาหกรรม พบว่าถ่านโค้กมีความหนาแน่น 1.1 g/cm^3 และความต้านทานแรงอัดสูงสุดที่ 20 MPa ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า สมบัติดังกล่าวของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราผสมกากกาแฟมีค่าสูงกว่าของถ่านโค้กค่อนข้างมาก และมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ผ่านมา โดยค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดสูงมีผลดีในการใช้งานและไม่เกิดความเสียหายระหว่างการขนส่งการขนส่ง เนื่องจากถ่านชีวภาพที่ผลิตได้จะต้องใช้ร่วมกับวัสดุอื่นซึ่งมีความแข็ง และมีการกระแทกหรือกดอัดระหว่างกระบวนการ เช่น ในการหล่อเหล็กโดยใช้เตา Cupola ต้องใช้ร่วมกับถ่านโค้ก เหล็กฟัก เศษเหล็ก และหินปูน การที่ถ่านชีวภาพมีความต้านทานแรงอัดสูงจึงไม่แตกต่างระหว่างการใช้งาน สามารถให้ความร้อนได้นานกว่าถ่านโค้กหรือถ่านหินทั่วไป ส่วนค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราผสมกากกาแฟ และชีวมวลอื่นๆ จากการศึกษามากมายมีค่าน้อยกว่าถ่านโค้กมาก ถ่านชีวภาพที่พัฒนาขึ้น จึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านโค้กหรือถ่านหินในอุตสาหกรรม เพื่อลดปริมาณการใช้ถ่านโค้กและถ่านหิน

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบสมบัติของถ่านชีวภาพ

ชนิดเชื้อเพลิง	ความหนาแน่นรวม (g/cm^3)	ความต้านทาน แรงอัดสูงสุด (MPa)	ค่าความร้อน (kcal/kg)
ถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา โดยใช้กากกาแฟเป็นตัวประสาน 25 wt% (20 นาที, 170°C , 16 MPa)	1.38	111	4642
ถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ (10 นาที, 190°C , 16 MPa) [13]	1.33	69	4910
ถ่านชีวภาพจากบล็อกเคอร์รี่ [22]	N/A	130	N/A
ถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่ผสมไม้ซีดาร์ ญี่ปุ่น [35]	1.39	110	N/A
ถ่านโค้ก [24]	1.1	20	7,000

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตถ่านชีวภาพจากวัสดุสำหรับอุตสาหกรรมจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยทำการผลิตถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยมีกากกาแฟเป็นตัวประสาน ซึ่งวัตถุดิบทั้งสองชนิดเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมที่พบมากในประเทศไทย โดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนแบบแนวตั้ง เพื่อศึกษาปัจจัยในการขึ้นรูปที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่นรวม) สมบัติทางกล (ความต้านทานแรงอัดสูงสุด) และสมบัติทางความร้อน (ค่าความร้อน) โดยกำหนดสภาวะในการขึ้นรูป ได้แก่ ปริมาณกากกาแฟที่ใช้ 0 – 25 wt% เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป 10 - 20 นาที อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป 160 - 170 °C โดยกำหนดให้ความดันในการขึ้นรูปคงที่ที่ 16 MPa และกำหนดความชื้นของวัตถุดิบที่ประมาณ 10 ± 1 wt%

จากการศึกษา พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นรวม ความต้านทานแรงอัดสูงสุด และค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ คือ ปริมาณของกากกาแฟที่ใช้เป็นตัวประสาน อุณหภูมิในการขึ้นรูป และเวลาในการขึ้นรูป โดยความหนาแน่นรวม ความต้านทานแรงอัดสูงสุด และค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของกากกาแฟที่ใช้เป็นตัวประสาน อุณหภูมิในการขึ้นรูป และเวลาในการขึ้นรูป โดยถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่มีความหนาแน่นรวม ความต้านทานแรงอัดสูงสุด และค่าความร้อนสูงสุด ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่มีส่วนผสมของกากกาแฟ 25 wt% โดยทำการขึ้นรูปที่ 170 °C ความดัน 16 MPa เป็นเวลา 20 นาที โดยมีความหนาแน่นรวม เท่ากับ 1.38 g/cm³ มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด 111 MPa และ มีค่าความร้อน เท่ากับ 4642 kcal/kg ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านโค้กในอุตสาหกรรมที่มีค่าความหนาแน่น 1.1 g/cm³ ความต้านทานแรงอัดสูงสุดที่ 20 MPa และค่าความร้อนประมาณ 7000 kcal/kg พบว่ามีสมบัติที่ดีและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้ อย่างไรก็ตามค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราสวมกากกาแฟ ยังมีค่าน้อยกว่าถ่านโค้กมาก ถ่านชีวภาพที่พัฒนาขึ้น จึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านโค้กหรือถ่านหินในอุตสาหกรรม เพื่อลดปริมาณการใช้ถ่านโค้กและถ่านหิน

5.2 แนวทางการทำวิจัยต่อเนื่อง

1) ทำการวิเคราะห์โครงสร้างของวัตถุดิบและถ่านชีวภาพที่ได้ด้วยวิธีการทางเคมี เช่น Fourier Transform Infrared Spectrometer เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้และวิเคราะห์ผลกระทบต่อสมบัติต่างๆของถ่านชีวภาพเพิ่มเติม

2) ทำการศึกษการผลิตถ่านชีวภาพจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา โดยศึกษาผลของตัวประสานชนิดอื่นๆ ที่เป็นสารวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่พบมากในประเทศไทย เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของถ่านชีวภาพให้เหมาะสมกับการใช้งานในอุตสาหกรรม และส่งเสริมการใช้เศษวัสดุเหลือใช้ในประเทศให้เป็นประโยชน์



บรรณานุกรม

- [1] [1] บริษัท ไทย แคปปิตอล คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน). 2552. “การประกอบธุรกิจ” [Online] Available : http://www.thaicapital.co.th/index.php/front_end/investor_relation_th3 [Accessed: Jan 7,2016].
- [2] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, “การส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวลของประเทศไทย, วารสารนโยบายพลังงาน”, *วารสารนโยบายพลังงาน*, ฉบับที่ 55 มกราคม-มีนาคม 2545.
- [3] T. Ida, Y. Kawami, J. Satou, “Biocokes producing method and apparatus”, US 20120168296 A1, July 5, 2012.
- [4] J. Chaichanawong, P. Supachutikul, S. Cherdkeattikul, P. Supachutikul, “Preparation of Biocoke from Coffee Grounds”, International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2015 (ATEM’15), Toyohashi, Japan.
- [5] เศรษฐกิจวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงาน, “การวางแผนปลูกป่าเศรษฐกิจแห่งชาติโดยใช้ไม้ยางพาราหรือไม้เศรษฐกิจอื่นๆ ” [Online] Available : http://www.tparubberwood.org/pdf_view.php?openfile=afile20150714120844.pdf. [Accessed: Jan.7,2016].
- [6] นคร ทิพย์วงศ์, พลังงานชีวภาพ: เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., 2553.
- [7] A. Brandt, J. Gräsvik, J.P. Hallett, T. Welton, “Deconstruction of lignocellulosic biomass with ionic liquids”, *Green Chemistry* 15 (2013) 550-583.
- [8] วิทวัส จิรัฐพงศ์ และ กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์, “การศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนินจากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ” [Online] Available: www.chem.eng.psu.ac.th/tiche2011/.../tes007.pdf [Accessed: Jan.7,2016]

- [9] Thai Sumi Co. Ltd., “การส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวลในประเทศไทย”, [Online] Available: <http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/chevamul.php> [Accessed: Jan 7, 2016].
- [10] บริษัท สยามไบโอเอนเนอจี้ จำกัด, “กระบวนการแปรรูปชีวมวล”, [Online] Available : <http://www.siambioenergy.com/bio65/index.php/2012-10-14-08-58-20/2012-10-14-08-59-07/96-2012-10-13-15-27-38> [Accessed: Jan.7,2016].
- [11] T. Sawai et al., “Compressive Strength Properties of Bio-Solid Fuel made from Pruned Branch,” Journal of High Temperature Society, vol. 36, no.1 , pp. 36-40, May, 2011
- [12] S. Mizuno et al., “Scale Effect of Compressive Strength Properties under High Temperature, for Green Tea Bio-coke,” Journal of the Japanese Society for Experimental Mechanics, vol. 13, no. 2, pp. 190-193, December, 2013.
- [13] S. Cherdkeattikul, K. Nantasaksiri, P. Saisermasak, J. Chaichanawong, Effects of Forming Temperature on Biocoke Properties from Used Coffee Ground, The 6th TSME International Conference on Mechanical Engineering (TSME-ICoME 2015), Petchaburi, Thailand, December 16-18, 2015.
- [14] S. Cherdkeattikul, K. Nantasaksiri, P. Saisermasak, J. Chaichanawong, Influence of Forming Pressure on Properties of Biocoke from Used Coffee Ground, The 4th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN 2015), Matsuyama, Japan, December 5-7, 2015.
- [15] P. Saisermasak, S. Cherdkeattikul, J. Chaichanawong, Effect of Forming Temperature on Properties of Biocoke from Leucaena Wood Chips, The 4th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN 2015), Matsuyama, Japan, December 5-7, 2015.
- [16] W. Wongsuwan, S. Burapornpong, P. Supachutikul, S. Cherdkeattikul, K. Nantasaksiri, J. Chaichanawong, Process Effect of Temperature on Properties of Biocoke from Soybean Residues, The International Conference on Advanced

Technology in Experimental Mechanics 2015 (ATEM'15), Toyohashi, Japan, October 4-8, 2015.

- [17] International Coffee Organization., “Statistics on Coffee,” [Online] Available: <http://www.ico.org/historical/2010-19/PDF/TOTPRODUCTION.pdf>. [Accessed: Jan. 3, 2015].
- [18] เดชะ ตันมีสุข และวรางคณา สุขสม, “เอกสารวิชาการปฏิบัติการเคมี (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่2),” คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2553.
- [19] F. Mobarak, Y. Fahmy, H. Augustin, Binderless lignocellulose composite from bagasse and mechanism of self-bonding, *Holzforschung* 36 (1982) 160- 168.
- [20] P.J. Van Soest, J.B. Robertson, B.A. Lewis, Carbohydrate Methodology, Metabolism, and Nutritional Implications in Dairy Cattle, *J. Dairy Sci.* 74 (1991) 3583-3597.
- [21] Murata et al, An experimental study for functional improvement of woody bio-coke by addition of rice bran, *Journal of Smart Processing* 3 [5] (2014) 283-288.
- [22] S. Mizuno et al., A Study of Physical Properties of High-Density Solid Biomass, Bio-coke, with Unutilized Biomass, *Journal of Japan society of Mechanical Engineers*, 11 (2012) s19-s24.
- [23] Y. Torii et al., Forming Characteristics of Bio-coke with a Mixture of Bamboo and Carbonized Japanese Cedar, *Journal of Smart Processing* 1 (2013) 63-70.
- [24] Mizuho Information and Research Institute, “Project for Promoting the Spread of Technologies to Counter Global Warming,” [Online] Available: http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2015fy/001062.pdf. [Accessed: Jun. 8, 2015].

ภาคผนวก
ผลงานตีพิมพ์

ผลงานตีพิมพ์ในรายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

- [1] **J. Chaichanawong**, Preparation of Biocoke from Agricultural Wastes, The 6th International Conference on the Characterization and Control of Interfaces for High Quality Advanced Materials (ICCCI2018), July 9-12, 2018, Kurashiki, Okayama, Japan.
- [2] **J. Chaichanawong**, Development of Biocoke from Rubberwood Sawdust, The Management and Innovation Technology International Conference (MITICON 2017), Ayutthaya, Thailand, December 14-16, 2017.
- [3] **J. Chaichanawong**, R. Srisang, T. Kanchana-art, Effect of Moisture Content on Properties of Biocoke from Rubberwood Sawdust, The 5th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN 2016), Kuala Lumpur, Malaysia, December 7-9, 2016.
- [4] **J. Chaichanawong**, T. Ngamphukhiao, Preparation of Biocoke from Rubberwood Sawdust by Using Used Coffee Ground as a Binder, The 7th TSME International Conference on Mechanical Engineering (TSME-ICoME 2016), Chiang Mai, Thailand, December 13-16, 2016.