*Journal of Engineering and Technology*
*Vol.3 No. 2 July - December 2015*

# ผลกระทบของขนาดอนุภาคต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ

# Effect of Particle Size on Properties of Biocoke from Used Coffee Ground

สุพิชญา เชิดเกียรติกูล[†1], ปิ่นทิพย์ ศุภชุติกุล[‡2], จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์[‡3]

[†] *หลักสูตรวิศวรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีวิศวรรม), คณะวิศวรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น*

[1] supitchaya.tni@gmail.com

[‡] *ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีพลังงานขั้นสูง, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น*

*1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250*

[2] ps.pintip@gmail.com

[3] jintawat@tni.ac.th

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ทำการผลิตถ่านชีวภาพ (เชื้อเพลิงแข็งจากเศษวัสดุชีวภาพ) จากกากกาแฟ โดยศึกษาผลกระทบของขนาดอนุภาคของกากกาแฟต่อสมบัติของผลิตถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ ได้แก่ ค่าความหนาแน่นรวม (Bulk Density, $D_B$) ความต้านทานแรงอัดสูงสุด (Maximum Compressive Strength) และค่าความร้อน (Calorific Value) กากกาแฟที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 595 - 1,000 micron 400 - 595 micron และขนาดต่ำกว่า 400 micron โดยทำการผลิตถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิ 160 $^{\circ}$C เป็นเวลา 10 นาที จากการศึกษาพบว่าถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากกาแฟขนาด 595 - 1,000 Micron มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดและค่าความหนาแน่นมากที่สุด โดยมีค่าประมาณ 58.54 MPa และ 1.3 g/cm$^3$ ตามลำดับ ส่วนค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้จะสูงขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคของกากกาแฟเล็กลง โดยที่ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากกาแฟขนาดอนุภาคเล็กที่สุด (ขนาดเล็กกว่า 400 micron) ให้ค่าความร้อนสูงสุดประมาณ 5,175 kcal/kg

**Abstract**

In this research, biocoke (the solid fuel made from bio-residues) was successfully produced from used coffee ground. The effect of particle sizes of used coffee ground on properties of the produced biocoke such as bulk density, maximum compressive strength and calorific value. The particle size used as raw materials are in the ranges of 595 - 1,000 micron, 400 - 595 micron and smaller than 400 micron. It is found that the biocoke produced from the particle size in the range of 595 - 1,000 micron has the highest bulk density at 1.3 g/cm$^3$, and highest maximum compressive strength at 58.54 MPa. However, the calorific values of the produced biocokes increase with the decreasing in particle size. The biocoke produced from the smallest particle size (smaller than 400 micron) has the highest calorific value at 5,175 kcal/kg.

## 1. บทนำ

เนื่องจากความต้องการการใช้พลังงานที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของประเทศไทย ปัจจุบันประเทศไทยจึงมีปริมาณการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกในอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าและอุตสาหกรรมอื่นๆ เพิ่มขึ้น [1] เพื่อนำมาใช้แทนเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งเป็นพลังงานมีปริมาณมีราคาสูงขึ้นเรื่อยและมีความจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนในอนาคต โดยใน พ.ศ. 2555 กระทรวงพลังงานได้จัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก โดยจะสนับสนุนให้มีสัดส่วนการใช้พลังงานพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก เพิ่มขึ้นเป็น 25% ภายในระยะเวลา 10 ปี [2] และมีเป้าหมายที่จะใช้ชีวมวลซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานได้ มาผลิตไฟฟ้าในปริมาณที่สูงถึง 3,630 MW ใน พ.ศ. 2564 ชีวมวลที่สามารถนำมาใช้ในเป็นพลังงานทางเลือกในการผลิตไฟฟ้าและให้พลังงานความร้อนในอุตสาหกรรม ได้แก่ เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและเศษวัสดุจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากในประเทศไทย เช่น ชานอ้อย แกลบ ฟางข้าว กะลามะพร้าว ต้นมันสำปะหลัง และชีวมวลอัดเม็ด (Wood Pallet) เป็นต้น [3] ปัจจุบันเศษวัสดุจากอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่ม เช่น กากกาแฟ ที่เป็นผลมาจากแนวโน้มการผลิตและบริโภคกาแฟที่สูงขึ้น [4] แต่ยังไม่ได้มีการใช้ประโยชน์จากกากกาแฟอย่างคุ้มค่าและไม่มีการจัดการที่เหมาะสม

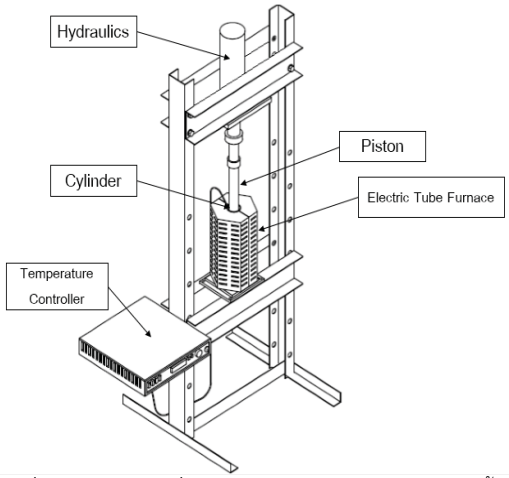
ถ่านชีวภาพ (Biocoke) เป็นชีวมวลชนิดหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการนำวัตถุดิบ เช่น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เศษอาหารและขยะอุตสาหกรรม มาผ่านกระบวนการอัดร้อนที่ความดันสูง [5] ทำให้สารประกอบลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) ที่อยู่ในวัตถุดิบซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบมากในผนังเซลล์ของพืช ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน [6] เกิดการเปลี่ยนสภาพระหว่างกระบวนการ ส่งผลให้เกิดการยึดเกาะตัวกันของวัตถุดิบเกิดเป็นถ่านชีวภาพที่มีลักษณะเป็นเชื้อเพลิงแข็ง และค่าความร้อนสูง สามารถใช้ผสมกับถ่านโค้ก เพื่อลดปริมาณการใช้ถ่านโค้กในอุตสาหกรรมหลอมเหล็กได้ นอกจากนั้นยังสามารถประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้

ถ่านชีวภาพที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นของแข็งทรงกระบอก ขนาดของถ่านชีวภาพจะขึ้นอยู่กับขนาดของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิต ข้อดีของถ่านชีวภาพ คือ ช่วยลดปริมาณขยะได้เนื่องจากผลิตจากเศษวัสดุ มีขี้เถ้าและปริมาณกำมะถันน้อย เมื่อเผาไหม้จะเกิดคาร์บอนมอนออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในปริมาณต่ำ ช่วยลดมลพิษทางอากาศ มีความหนาแน่นสูง (ประมาณ 1.1 - 1.3 g/cm$^3$) จึงสามารถลดพื้นที่และพลังงานที่ใช้ในการขนส่งได้ และมีค่าความร้อนสูง (มากกว่า 4,000 kcal/kg) ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ คือ อุณหภูมิและความดันในการผลิต ความชื้นของวัตถุดิบ นอกจากนี้จากงานวิจัยของ T. Sawai และคณะ [7] พบว่าขนาดอนุภาคของวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตถ่านชีวภาพมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของถ่านชีวภาพด้วยเช่นกัน ในงานวิจัยนี้จึงทำการผลิตถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ โดยศึกษาผลกระทบของขนาดอนุภาคของกากกาแฟต่อคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางกล และคุณสมบัติทางความร้อนของถ่านชีวภาพ

**2. ขั้นตอนการทดลอง**

2.1 ขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพจากเครื่องอัดถ่านชีวภาพโดยการอัดในแนวตั้ง

ในงานวิจัยนี้จะใช้กากกาแฟซึ่งนำมาจากแหล่งเดียวกันเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านชีวภาพ โดยใช้เครื่องอัดถ่านชีวภาพโดยการอัดในแนวตั้ง ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 1

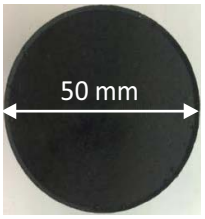
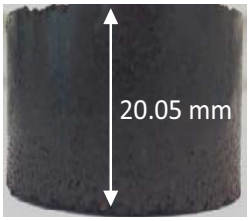
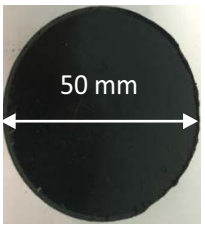
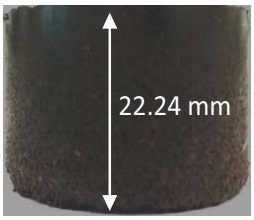
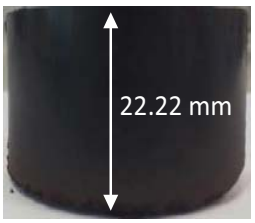



รูปที่ 1 ภาพจำลองเครื่องอัดถ่านชีวภาพโดยการอัดในแนวตั้ง

รูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงภาพรวมของเครื่องผลิตถ่านชีวภาพโดยการอัดในแนวตั้ง ซึ่งประกอบไปด้วยระบบไฮดรอลิก กระบอกสูบ ลูกสูบ เตาเผาทรงกระบอก และชุดควบคุมอุณหภูมิ

ขั้นตอนการผลิตเริ่มจากการนำกากกาแฟมาผ่านกระบวนการอบแห้งและร่อนผ่านตะแกรงเพื่อให้ได้กากกาแฟที่มีขนาดอนุภาค 595 - 1,000 micron 400 - 595 micron และขนาดเล็กกว่า 400 micron จากนั้นอบซ้ำเพื่อให้วัตถุดิบมีความชื้นอยู่ที่ระหว่าง 5 - 10% และทำการทดลองที่อุณหภูมิ 160 °C เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้กากกาแฟปริมาณ 50 กรัมต่อครั้ง ตารางที่ 1 แสดงภาพพื้นผิวด้านบนและด้านข้างของถ่านชีวภาพที่ขนาดอนุภาคของกากกาแฟแต่ละขนาด

ตารางที่ 1 ภาพด้านบนและด้านข้างของถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ

| Particle Size (Micron) | Top View | Side View |
|---|---|---|
| 595-1000 |   |   |
| 400-595 |   |   |
| <400 | |   |

2.2 การตรวจสอบสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากกาแฟ

2.2.1 สมบัติทางกายภาพ

การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพสามารถทำได้โดยการหาค่าความหนาแน่นรวม (Bulk Density) จากสมการ

$$D_B = \frac{m}{v} \qquad (1)$$

โดย $D_B$ คือ ค่าความหนาแน่นรวม (Bulk Density, g/cm$^3$)

$m$ คือ มวลของถ่านชีวภาพ (g)

$v$ คือ ปริมาตรของถ่านชีวภาพ (cm$^3$)

2.2.2 สมบัติทางกล

การตรวจสอบทางกลของถ่านชีวภาพทำได้โดยการหาค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด (Compressive Strength) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นแรงกด (Compressive Stress) และความเครียดแรงกด (Compressive Stain)

2.2.3 คุณสมบัติทางความร้อน

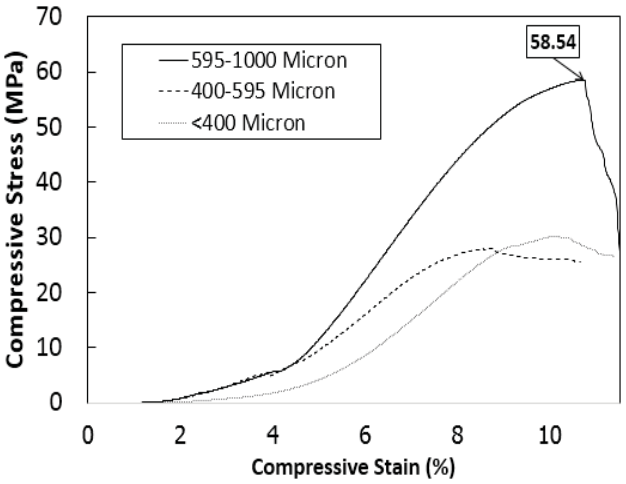
การตรวจสอบคุณสมบัติทางความร้อนของถ่านชีวภาพที่ได้โดยการหาค่าความร้อน (Calorific Value) ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ (Bomb Calorimeter, Parr รุ่น Model 1341 Plain Jacket) .

**3. ผลการทดลองและอภิปรายผล**

ความหนาแน่น (Bulk Density, $D_B$) ที่วัดได้จากถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากกาแฟขนาด 595 - 1,000 micron 400 - 595 micron และ< 400 micron มีค่าเท่ากับ 1.30 g/cm$^3$ 1.23 g/cm$^3$และ 1.22 g/cm$^3$ ตามลำดับ

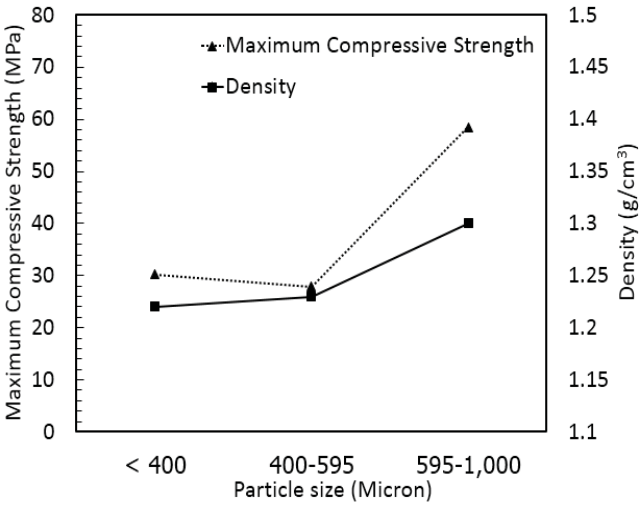
ความต้านทานแรงอัดสูงสุด (Maximum Compressive Strength) ที่ได้จากถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากกาแฟ 595 - 1,000 micron 400 - 595 micron และ <400 micron มีค่าเท่ากับ 58.54 MPa 27.9 MPa และ 30.25 MPa ตามลำดับ

ค่าความร้อน (Calorific Value) ที่ได้จากถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากกาแฟขนาด 595 - 1,000 micron 400 - 595 micron และ< 400 micron มีค่าเท่ากับ 4,400.36 kcal/kg 4,812.39 kcal/kg และ 5,176.27 kcal/kg ตามลำดับ



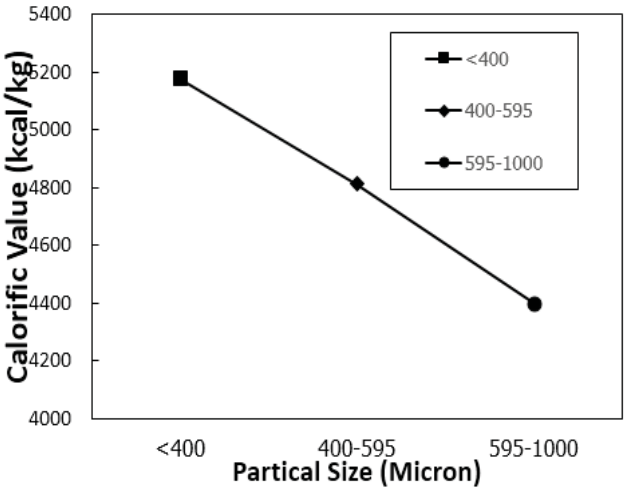

รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นแรงอัด (Compressive Stress) และเปอร์เซนต์การหดตัวของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากกาแฟขนาดต่างๆ

รูปที่ 2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นแรงอัดและความเครียดแรงอัด พบว่าถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากกาแฟขนาด 595 - 1,000 micron มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดมากที่สุด เมื่อมีเปอร์เซนต์การหดตัวที่ประมาณ 12% ในขณะที่ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากกาแฟขนาด 400 - 500 micron และ <400 Micron มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดใกล้เคียงกัน




รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงอัดสูงสุดและความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากกาแฟขนาดต่างๆ

รูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดและค่าความหนาแน่นมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันคือเมื่อค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพจากกากกาแฟสูงจะมีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสูดสูงเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นผลมาจากขนาดอนุภาคของวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิวน้อยเนื่องจากรูพรุนน้อยกว่าทำให้ให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นสูงกว่า และส่งผลให้มีความต้านทานแรงอัดสูงสุดสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวัตถุดิบที่มีขนาดเล็กกว่า [8]

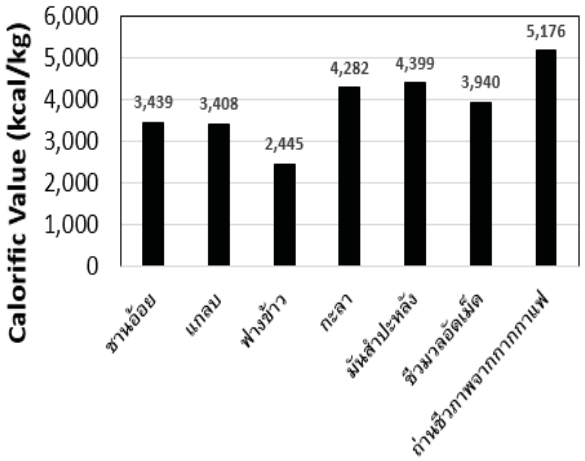



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากกาแฟขนาดต่างๆ

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับถ่านชีวภาพขนาด 595 - 1,000 micron 400 - 595 micron และ <400 micron ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขนาดอนุภาคของถ่านชีวภาพจากกากกาแฟขนาดเล็กว่า 400

Micron จะให้ค่าความร้อนที่สูงที่สุด และขนาด 595 - 1,000 Micron จะให้ค่าความร้อนต่ำที่สุด

จากผลการทดลองเราสามารถนำค่าความร้อน (Calorific Value) ที่ได้จากถ่านชีวภาพจากกากกาแฟไปเรียบเทียบกับค่าความร้อนของชีวมวลชนิดอื่นๆได้ จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจากกากกาแฟขนาด <400 Micron มีค่าสูงกว่าชีวมวลชนิดอื่นๆ ที่ใช้อยู่ในประเทศไทยในปัจจุบัน [5]




รูปที่ 5 ค่าความร้อนจากชีวมวลชนิดต่างๆ [5]

**4. สรุปผล**

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบของขนาดอนุภาคของกากกาแฟซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านชีวภาพต่อค่าความหนาแน่น (Bulk Density) ความต้านทานแรงอัดสูงสุด (Maximum Compressive Strength) และค่าความร้อน (Calorific Value) โดยทำการผลิตถ่านชีวภาพโดยใช้กากกาแฟจากแหล่งผลิตเดียวกัน และผ่านกระบวนการผลิตเหมือนกันที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน 3 ช่วงขนาด ได้แก่ 595 - 1,000 micron 400 - 595 Micron และขนาดเล็กกว่า 400 Micron และควบคุมอุณหภูมิในการผลิตในทุกการทดลองที่ 160 °C เป็นเวลา 10 นาที จากการศึกษาพบว่า ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากกาแฟขนาด 595 - 1,000 Micron มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดและค่าความหนาแน่นมากที่สุด ส่วนค่าความร้อนจะสูงขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคของกากกาแฟเล็กลง โดยถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากกาแฟขนาดอนุภาคเล็กกว่า 400 Micron ให้ค่าความร้อนสูงสุดประมาณ 5,175 kcal/kg จากผลการศึกษาที่ได้นี้สามารถนำไปขยายผลเพื่อสภาวะในการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชีวภาพจากกากกาแฟในระดับอุตสาหกรรมต่อไปได้ อย่างไรก็ตามผลกระทบของปัจจัยการผลิตอื่นๆ เช่น อุณหภูมิและความดันในการผลิตต่อสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ยังอยู่ระหว่างการศึกษาโดยคณะผู้วิจัยจะรายงานในโอกาสต่อไป

**กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัย ภายใต้โครงการวิจัย “การผลิตถ่านจากเศษวัสดุทางการเกษตร” และขอขอบคุณ บริษัท อินเตอร์ คลินส์ อินดัสตรีส์ จำกัด ที่ให้คำแนะนำทางเทคนิคในการใช้เตาเผาไฟฟ้าตลอดจนการติดตั้งและซ่อมบำรุง

**เอกสารอ้างอิง**

[1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, “Thailand Alternative Energy Situation 2013,” [Online] Available: http://www.dede.go.th/dede/images/stories/stat_dede/report13/alternative%20energy2013%20.pdf. [Accessed: Jan. 3, 2015]

[2] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, “Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012-2021,” [Online] Available: http://www.enconfund.go.th/pdf/index/aedp25.pdf. [Accessed: Jan. 3, 2015]

[3] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, “ชีวมวล,” [Online] Available: http://www.eppo.go.th/engy/Load/ET08.pdf. [Accessed: Jan. 3, 2015].

[4] International Coffee Organization., “Statistics on Coffee,” [Online] Available: http://www.ico.org/historical/2010-19/PDF/TOTPRODUCTION.pdf. [Accessed: Jan. 3, 2015].

[5] นคร ทิพยาวงค์, “พลังงานชีวภาพ,” เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล, สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., กรุงเทพ, 2010.

[6] L. J. Jönsson, B. Alriksson, N.O. Nilvebrant, “Bioconversion of lignocellulose: inhibitors and detoxification,” *Biotechnology for Biofuels*, Sweden, Jan. 28, 2013.

[7] T. Sawai et al., “Compressive Strength Properties of Bio-Solid Fuel made form Pruned Branch,” *Journal of High Temperature Society*, vol. 36, pp. 36-40, 2010.

[8] Z. A. ALjubouri and A. M. ALRawas, “Physical properties and compressive strength of the technical plaster and local juss,” *Iraqi Journal of Earth Sciences*, vol. 9, no. 2, pp 49-58, 2009.