



การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตชีวมวลอัดแท่งระหว่างแบบ D-type กับ R-type

Comparisons of Efficiency Wood Pellet Mill between D-type and R-type

พงศ์กรณ เทพสร¹, ธนวัฒน์ ศรีรักษา²

Pongsakorns Thephsorn¹, Tanawat Srirugsa²

บทคัดย่อ

การผลิตชีวมวลอัดแท่งจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้เครื่องผลิตแบบแผ่นอัดทั้งในแบบ D-type และ R-type ศึกษาในเรื่องอัตราการป้อนขี้เลื่อย, ปริมาณการผลิตชีวมวลอัดแท่ง และประสิทธิภาพการเปลี่ยนขี้เลื่อยเป็นชีวมวลอัดแท่ง จากผลการทดลองพบว่าอัตราการป้อนขี้เลื่อยของเครื่องแบบ D-type และ R-type คือ 12 และ 15 kg/h/kW-h ตามลำดับ ปริมาณการผลิตชีวมวลอัดแท่งของเครื่องแบบ D-type และ R-type คือ 9.6 และ 13.5 kg/h/kW-h ตามลำดับ และประสิทธิภาพการผลิตชีวมวลอัดแท่งของเครื่องแบบ R-type มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบ D-type 14%

คำสำคัญ: เครื่องผลิตชีวมวลอัดแท่ง, ชีวมวล, ขี้เลื่อยไม้ยางพารา

Abstract

Pellet mill is processed from rubber wood sawdust by flat die pellet mill. There are a D-type and a R-type. This research aimed to study the feed rate of rubber wood sawdust, the production rate of wood pellets, and the efficiency of wood pellet mill for converting rubber wood sawdust into pellets. The feed rate of rubber wood sawdust for D-type and R-type were 12 and 15 kg/h/kW-h, respectively. The production rate of wood pellets for D-type and R-type were 9.6 and 13.5 kg/h/kW-h, respectively. The R-type had a higher efficiency of 14%, compared with D-type.

Keywords: Wood pellet mill, Wood pellet, Rubber wood sawdust

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์

¹ Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

² Faculty of Engineering, Princess of Songkla University

บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานของโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แหล่งพลังงานที่สำคัญและนิยมใช้คือพลังงานจากฟอสซิล เช่น ถ่านหิน, ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันดิบ เป็นต้น แต่พลังงานฟอสซิลในอนาคตมีโอกาสดwindไป นอกจากนี้การใช้พลังงานจากฟอสซิลเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อสภาวะโลกร้อน (Zecca, & Chiari, 2010) จากเหตุผลเหล่านี้พลังงานทางเลือกจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถผลิตหมุนเวียนกลับมาใช้ได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ช่วยลดสภาวะโลกร้อนได้ (Wang, Li, Long, Yan, Gao, Chen, & Sui, 2017) ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีความต้องการใช้พลังงานสูงและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี จากกำลังการผลิตพลังงานภายในประเทศที่ไม่เพียงพอจึงต้องมีการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศซึ่งมีมูลค่าสูงในแต่ละปี (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, 2018) ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีเศษวัสดุเหลือใช้ทางเกษตร (biomass) เช่น ชี้อ้อย, แกลบ, ชานอ้อย และฟางข้าว เป็นต้น ประมาณ 62.8×10^6 ตันต่อปี คิดเป็นพลังงานความร้อน 562×10^3 TJ (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, 2018) ในปัจจุบันมีการนำ biomass กลับมาใช้ประโยชน์ได้เพียงเล็กน้อยและไม่มีประสิทธิภาพ หากมีการนำ biomass เหล่านี้มาใช้ได้เพิ่มขึ้นและมีประสิทธิภาพจะเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่สำคัญ นอกจากนี้ยังช่วยกำจัด biomass และเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร ดังนั้นการศึกษาและค้นคว้าแหล่งพลังงานทดแทนที่ผลิตและใช้ภายในประเทศ จะทำให้ลดการนำเข้าและเพิ่มความเสถียรด้านพลังงานได้ การใช้ biomass ในเชิงพลังงานสามารถพบได้ในโรงงานผลิตไฟฟ้าในระบบเครื่องกำเนิดไอน้ำ (steam boiler) โดยจะนำ biomass เช่น แกลบ, ชี้อ้อย และเศษไม้ เป็นต้น มาเป็นเชื้อเพลิง แต่ก็ยังประสบปัญหาในเรื่องคุณภาพของ biomass และความสะดวกในการใช้งาน จากปริมาณและปัญหาของ biomass พบว่าหากมีการปรับปรุง biomass ให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้โดยเฉพาะชี้อ้อยซึ่งเป็นที่ยอมรับในโรงงานผลิตไฟฟ้าจะทำให้เพิ่มมูลค่าของชี้อ้อยได้

จากคุณสมบัติของชี้อ้อยที่มีความชื้นสูงประมาณ 40% และมีความหนาแน่นต่ำ (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, 2015) สิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อการเผาไหม้และค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้นควรจะลดความชื้นและเพิ่มความแน่นให้กับชี้อ้อยโดยการอัดเป็นชีวมวลอัดแท่งโดยการอัดชี้อ้อยผ่านรูขนาดเล็กโดยใช้ลูกกลิ้งในกระบวนการอัด ทำให้อุณหภูมิของชี้อ้อยสูงขึ้นจนมีลักษณะออกมาเคลือบผิวของชีวมวลอัดแท่งทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เครื่องจักรที่นิยมใช้ในการผลิตชีวมวลอัดแท่งสำหรับโรงงานขนาดเล็กมีอยู่สองแบบหลักๆ คือ แบบแผ่นอัดหมุน (D-type) และลูกกลิ้งหมุน (R-type) โดยเครื่องแบบ D-type เหมาะสำหรับไม้เนื้ออ่อนและ R-type เหมาะสำหรับไม้เนื้อแข็ง แต่จากคุณสมบัติไม้ยางที่เป็นไม้เนื้อแข็งปานกลาง ดังนั้น การเลือกประเภทของเครื่องจักรที่ถูกต้องจะส่งผลต่อการผลิตและต้นทุนต่างๆ เช่น ค่าแรง, ค่าไฟฟ้า และค่าบำรุงรักษา เป็นต้น

จากปริมาณของเชื้อเพลิงฟอสซิลที่เริ่มลดลงแต่ความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นทำให้ต้องมีการหาพลังงานทดแทนจากปริมาณ biomass ในประเทศไทยสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดีโดยเฉพาะชี้อ้อย แต่การจะนำชี้อ้อยไปใช้ได้อย่างสะดวกนั้นต้องนำมาผลิตเป็นเป็นชีวมวลอัดแท่ง การเลือกเครื่องจักรขนาดเล็กที่เหมาะสมกับคุณสมบัติของชี้อ้อยไม้ยางพารานั้น จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจเนื่องจากจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตที่มีคุณภาพและใช้ต้นทุนต่ำ เป็นแรงจูงใจให้เกิดการแปรรูป biomass ชนิดอื่นเพิ่มขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตชีวมวลอัดแท่งระหว่างแบบ D-type กับ R-type



ระเบียบวิธีวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. ขี้เลื่อยไม้ยางพารา

ขี้เลื่อยที่ใช้ในงานวิจัยนี้ นำมาจากโรงเลื่อยไม้ ซึ่งเป็นขี้เลื่อยที่ได้จากไม้ยางพาราสด และเป็นการเลื่อยโดยเครื่องเลื่อยไม้ แล่วน้ำขี้เลื่อยเข้าสู่ห้องเก็บขี้เลื่อยโดยการดูด ก่อนนำขี้เลื่อยเข้าสู่กระบวนการผลิตต้องมีการร่อนแยกเศษขี้เลื่อยที่มีขนาดใหญ่ ออกไปและแยกเศษใบเลื่อยด้วยแม่เหล็ก หลังจากนั้นปรับความชื้นขี้เลื่อยจาก 40% ให้เหลือประมาณ 12% โดยการเกลี่ยผึ่งลม



ภาพที่ 1 ขี้เลื่อยไม้ยางพารา

2. เครื่องผลิตชีวมวลอัดแท่งแบบ D-type และ R-type

เครื่องผลิตชีวมวลทั้ง 2 แบบนี้มีส่วนประกอบที่เหมือนกันหลักๆ 2 ส่วน คือ แผ่นอัดมีลักษณะเป็นทรงกลมหนา 25 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 6 มิลลิเมตร และชุดลูกกลิ้ง 2 ชุดสำหรับอัดขี้เลื่อยลงไปในรูของแผ่นอัด โดยการทำงานจะแตกต่างกัน ดังนี้ เครื่องแบบ D-type แผ่นอัดหมุนและแกนของลูกกลิ้งอยู่กับที่ ส่วนเครื่องแบบ R-type แผ่นอัดอยู่กับที่แต่แกนของลูกกลิ้งหมุน ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องผลิตชีวมวลอัดแท่งยี่ห้อ Gamco โดย D-type เป็นรุ่น ZLSP-D 200B และ R-type เป็นรุ่น ZLSP 400B ดังภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



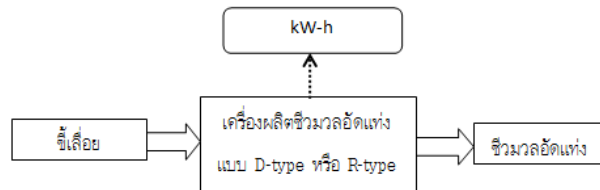
ภาพที่ 2 เครื่องผลิตชีวมวลอัดแท่งแบบ D-type รุ่น ZLSP-D 200B



ภาพที่ 3 เครื่องผลิตชีวมวลอัดแท่งแบบ R-type รุ่น ZLSP 400B

3. ไดอะแกรมการทดลอง

ภาพที่ 4 แสดงไดอะแกรมการทดลองเครื่องผลิตชีวมวลอัดแท่งทั้งแบบ D-type และ R-type ก่อนเริ่มกระบวนการอัด ต้องมีการเปิดเครื่องอัดชี้อยู่ที่ผลสมน้ำมันเครื่อง 5-10% โดยน้ำหนัก จนมีอุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ลิกนินภายในชี้อย่อยออกมาเคลือบผิวด้านนอกของแท่งชีวมวล (Stelte, Holm, Sanadi, Barsberg, Ahrenfeldt, 2011) เก็บข้อมูลปริมาณของชี้อยู่ โวลต์ แอมป์ และปริมาณของชีวมวลอัดแท่ง หลังจากทำการทดลองเสร็จแล้วใช้ชี้อย่อยผลสมน้ำมันเครื่องป้อนเข้าไปในระบบเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของแท่งชีวมวลภายในแผ่นอัดและช่วยป้องกันการเกิดสนิม



ภาพที่ 4 ไดอะแกรมการทดลอง

ผลการวิจัย

ผลผลิตชีวมวลอัดแท่ง

ภาพที่ 5 และ 6 แสดงการเปรียบเทียบชีวมวลอัดแท่งที่ได้จากเครื่องแบบ D-type และ R-type จากภาพจะเห็นว่าชีวมวลอัดแท่งที่ออกมาจากเครื่องอัดแบบ D-type มีลิกนินออกมาที่ไม่ชัดเจนซึ่งแตกต่างจากเครื่องแบบ R-type โดยเครื่องอัดแบบ R-type มีลิกนินออกมาเคลือบผิวชีวมวลที่ชัดเจน เนื่องจากในกระบวนการอัด ทำให้มีอุณหภูมิและความดันในกระบวนการอัดที่คงที่ ซึ่งส่งผลให้เศษชี้อย่อยหรือฝุ่นละอองที่ปะปนออกมากับชีวมวลอัดแท่งมีความหนาแน่นสูง



ภาพที่ 5 ชีวมวลอัดแท่งจากเครื่องแบบ D-type



ภาพที่ 6 ชีวมวลอัดแท่งจากเครื่องแบบ R-type



อัตราการผลิตชีวมวลอัดแท่ง

จากผลการทดลองพบว่าอัตราการป้อนชี้อยู่ของเครื่องแบบ D-type และ R-type คือ 12 และ 15 kg/h/kW-h ตามลำดับ ในกระบวนการผลิตพบว่าเครื่องแบบ D-type ผลิตได้ช้ากว่าแบบ R-type เนื่องจากเป็นระบบแผ่นอัดหมุนหากมีการป้อนชี้อย่างมากเกินไปทำให้เกิดการสั่นไถ่ระหว่างแผ่นอัดและลูกกลิ้งส่งผลให้มีการอัดชี้อยู่เข้าสู่ภายในแผ่นอัด แต่ในแบบ R-type ไม่มีปัญหาทำให้การทำงานค่อนข้างต่อเนื่องกว่า อัตราการผลิตชีวมวลอัดแท่งของเครื่องแบบ D-type และ R-type คือ 9.6 และ 13.5 kg/h/kW-h ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการเปลี่ยนชี้อยู่เป็นชีวมวลอัดแท่งของเครื่องแบบ D-type และ R-type คือ 75% และ 89% ตามลำดับ ดังนั้นเครื่องอัดแบบ R-type มีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องอัดแบบ D-type 14% เนื่องจากในกระบวนการอัดมีความร้อนสูงทำให้ความชื้นและสารระเหยบางส่วนได้ออกไป อีกทั้งมีชี้อยู่จำนวนหนึ่งที่ไม่สามารถอัดเป็นแท่งชีวมวลได้ทำให้น้ำหนักน้อยกว่าชี้อยู่ที่ป้อนเข้าไปในระบบ โดยผลการทดลองทั้งหมดแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราการผลิตชีวมวลอัดแท่ง

เครื่องอัด	อัตราการป้อนชี้อยู่ (kg/h/kW-h)	อัตราการผลิตชีวมวลอัดแท่ง (kg/h/kW-h)	ประสิทธิภาพ (%)
D-type	12	9.6	75
R-type	15	13.5	89

การเปรียบเทียบราคาชีวมวลอัดแท่ง

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า ราคาของชีวมวลอัดแท่งของเครื่องอัดทั้ง 2 แบบ ขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตต่อชั่วโมง โดยเครื่องอัดชีวมวลแบบ R-type มีกำลังการผลิต 13.5 kg/h/kW-h และเครื่องอัดชีวมวลแบบ D-type มีกำลังการผลิต 9.6 kg/h/kW-h ทำให้ราคาชีวมวลอัดแท่งมีค่า 54 บาท/ชม. และ 38.4 บาท/ชม. ตามลำดับ ดังนั้นเครื่องอัดชีวมวลแบบ R-type ได้ราคาสูงกว่าเครื่องอัดชีวมวลแบบ D-type 15.6 บาท/ชม.

ตารางที่ 2 ราคาผลิตชีวมวลอัดแท่ง

เครื่องอัด	ราคาชีวมวล (บาท/กก.)	อัตราการผลิตชีวมวลอัดแท่ง (kg/h/kW-h)	อัตราการผลิต (บาท/ชม.)
D-type	4	9.6	38.4
R-type	4	13.5	54

หากเปรียบเทียบค่าเชื้อเพลิงในการเดินหม้อไอน้ำของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดทั้ง น้ำมันเตา C ชีวมวลอัดแท่ง และแก๊สหุงต้ม โดยกำลังการผลิตไอน้ำเท่ากับ 2,000 กก./ชม. และสัดส่วนการใช้ปริมาณไอน้ำต่อวันเท่ากับ 10 ชม./วัน หรือ 300 ชม./ปี (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, 2013) จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ใน 1 ปี ของชีวมวลอัดแท่งมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ซึ่งทำให้เหมาะแก่การลงทุนในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเชื้อเพลิงในการเดินหม้อไอน้ำของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

รายการเปรียบเทียบ	ชนิดเชื้อเพลิง		
	น้ำมันเตา C (Heavy Oil)	Wood Pellet	แก๊สหุงต้ม (LPG)
ราคาเชื้อเพลิง (บาท/กก.)	13	4	24
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (kcal/kg.)	9,900	4,200	11,900
คาร์บอน (%wt.)	86-90	3.6	-
ค่าความชื้น (%wt.)	9-12	<10%	-
ซัลเฟอร์ (%wt.)	1.5-2	0.12%	-
ซีเอนด์ (%wt.)	0.01-0.05	1-2%	-
ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (%wt.)	980	800	-
ประสิทธิภาพ	85%	85%	85%
กำลังการผลิตไอน้ำ (กก./ชม.)	2,000	2,000	2,000
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงสูงสุด (กก./ชม.)	1288.12	301.99	106.59
ค่าเชื้อเพลิงใน 1 ปี (บาท/ปี)	4,996,634.58	3,623,932.77	7,674,451.80

อภิปรายผล

ผลผลิตชีวมวลอัดแท่ง

ชีวมวลอัดแท่งที่ได้จากเครื่องแบบ D-type และ R-type เห็นได้ว่าชีวมวลอัดแท่งที่ออกมาจากเครื่องอัดแบบ D-type มีลักษณะออกมาที่ไม่ชัดเจนซึ่งแตกต่างจากเครื่องแบบ R-type โดยเครื่องอัดแบบ R-type มีลักษณะออกมาเคลือบผิวชีวมวลที่ชัดเจน เนื่องจากในกระบวนการอัด ทำให้มีอุณหภูมิและความดันในกระบวนการอัดที่คงที่ ซึ่งส่งผลให้เศษชีเลื้อยหรือฝุ่นละอองที่ปะปนออกมากับชีวมวลอัดแท่งมีความหนาแน่นสูง

อัตราการผลิตชีวมวลอัดแท่ง

อัตราการป้อนชีเลื้อยของเครื่องแบบ D-type และ R-type คือ 12 และ 15 kg/h/kW-h ตามลำดับ ในกระบวนการผลิตพบว่าเครื่องแบบ D-type ผลิตได้ช้ากว่าแบบ R-type เนื่องจากเป็นระบบแผ่นอัดหมุนหากมีการป้อนชีเลื้อยมากเกินไปทำให้เกิดการลื่นไถลระหว่างแผ่นอัดและลูกกลิ้งส่งผลให้ไม่มีการอัดชีเลื้อยเข้าสู่รูภายในแผ่นอัด แต่ในแบบ R-type ไม่มีปัญหาทำให้การทำงานค่อนข้างต่อเนื่องกว่า อัตราการผลิตชีวมวลอัดแท่งของเครื่องแบบ D-type และ R-type คือ 9.6 และ 13.5 kg/h/kW-h ตามลำดับ โดยเครื่องอัดแบบ R-type มีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องอัดแบบ D-type 14% เนื่องจากในกระบวนการอัดมีความร้อนสูงทำให้ความชื้นและสารระเหยบางส่วนออกไป อีกทั้งมีชีเลื้อยจำนวนหนึ่งที่ไม่สามารถอัดเป็นแท่งชีวมวลได้ทำให้น้ำหนักน้อยกว่าชีเลื้อยที่ป้อนเข้าไปในระบบ

ราคาผลิตชีวมวลอัดแท่ง

ราคาในการผลิตชีวมวลอัดแท่งของเครื่องอัดทั้ง 2 แบบ ขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตต่อชั่วโมง โดยเครื่องอัดชีวมวลแบบ R-type มีกำลังการผลิต 13.5 kg/h/kW-h และเครื่องอัดชีวมวลแบบ D-type มีกำลังการผลิต 9.6 kg/h/kW-h ทำให้ราคาชีวมวลอัดแท่งมีค่า 54 บาท/ชม. และ 38.4 บาท/ชม. ตามลำดับ ดังนั้น เครื่องอัดชีวมวลแบบ R-type ได้ราคาสูงกว่าเครื่องอัดชีวมวลแบบ D-type 15.6 บาท/ชม.



สรุป

ในการวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตชีวมวลอัดแท่งที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราสด ระหว่างเครื่องผลิตชีวมวลอัดแท่งแบบ D-type และ R-type จากผลการทดลองพบว่า

1. อัตราการป้อนขี้เลื่อยสูงสุดของเครื่องอัดแบบ D-type คือ 12 kg/h/kW-h และแบบ R-type คือ 15 kg/h/kW-h
2. อัตราการผลิตชีวมวลอัดแท่งสูงสุดของเครื่องอัดแบบ D-type คือ 9.6 kg/h/kW-h และแบบ R-type คือ 13.5 kg/h/kW-h
3. ประสิทธิภาพการผลิตชีวมวลอัดแท่งของเครื่องแบบ R-type มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบ D-type 14%

ข้อเสนอแนะ

จากการทำวิจัย พบว่า ในกระบวนการผลิตชีวมวลอัดแท่งทำให้ทราบข้อมูลการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Wood Pellets) และการออกแบบหาสภาวะที่เหมาะสมนั้นต้องวิจัยอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีตัวแปรหลายตัวที่ควบคุมได้ยาก เช่น ความชื้นของเศษวัสดุไม้ยางพารา อุณหภูมิของการอัด เป็นต้น ดังนั้นก่อนการอัดควรมีกระบวนการไล่ความชื้นออกจากขี้เลื่อยก่อนโดยให้มีความชื้นคงที่ และหลังจากการอัดชีวมวลควรมีกระบวนการทำให้ชีวมวลเย็นตัวลง เพื่อป้องกันการแตกตัวของชีวมวลเนื่องจากยังมีความร้อนสะสมในชีวมวลหลังจากการอัดเสร็จสิ้น

รายการอ้างอิง (References)

- Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. (2013). *Energy Situation of Thailand*. Retrieved 9 August 2013 , from <http://www.mdpelletboiler.com/>.
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. (2015). *Energy Situation of Thailand*. Retrieved 8 August 2015 , from <http://eitprblog.blogspot.com/2015/04/biomass-pellets.html?m=1>.
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. (2018). *Energy Situation of Thailand*. Retrieved 16 May 2018 , from http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=486.
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. (2018). *Energy Situation of Thailand*. Retrieved 16 May 2018, from http://www.dede.go.th/download/state_58/sit_59/frontpage_jan59.pdf.
- Stelte, W., Holm, J.K., Sanadi, A.R., Barsberg, S., & Ahrenfeldt, J., (2011). The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. *Fuel pellets from biomass*, 90, 3285-3290.
- Wang, X., Li, Z., Long, P., Yan, L., Gao, W., Chen, Y., & Sui, P., (2017). Sustainability evaluation of recycling in agricultural systems by emergy accounting. *Resources, Conservation and Recycling*, 117, 114-124.
- Zecca, A., & Chiari, L., (2010). Fossil-fuel constraints on global warming. *Energy Policy*, 38, 1-3.