การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กากมันสำปะหลังเปียกเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน

Feasibility Study of Electrical Generation from Wet Cassava Pulp by using Gasification Technology

เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์ ณัฐ จันท์ครบ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
19/1 ถนนเพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160 E-mail: jensak@hotmail.com

Jensak Eakuranawat Nath Junkrob
Faculty of Engineering South-East Asia University
19/1 Petchkasem Rd. Nongkhem Bangkok 10160 E-mail: jensak@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากกากมันสำปะหลังเปียกโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากมันสำปะหลังเปียกมาแปรรูปให้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลแข็ง (RDF) แล้วส่งเข้าเตาแก๊สซิไฟเออร์ผลิตเป็นแก๊สชีวมวลป้อนให้กับเครื่องยนต์ต้นกำลังเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า ระบบที่ทำการออกแบบใช้กากมันเปียกความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ผ่านระบบการอัดเม็ด และลดความชื้น ผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลแข็งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ที่ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์สมดุลมวลและพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพแข็งนี้ด้วย ปริมาณของเชื้อเพลิงชีวภาพแข็งที่ใช้ผลิตแก๊สชีวมวลเพื่อจ่ายให้กับเครื่องยนต์ต้นกำลัง คือ 180 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยระบบผลิตไฟฟ้าที่ทำการออกแบบมีขนาดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ 100 กิโลวัตต์

คำสำคัญ : กากมันสำปะหลังเปียก เชื้อเพลิงชีวมวลแข็ง เตาแก๊สซิไฟเออร์

Abstract

This research paper describes the feasibility study of electrical generation from wet cassava pulp by using gasification technology. The research procedure consists of the study of the method to process the cassava pulp to RDF, the method to produce the producer gas form RDF and sent it to the prime mover engine to generate electric. The system designed was process the wet cassava pulp which 60 % moisture content to the 15% moisture content RDF by using the extrusion and drying system. The diameter of RDF was 1 cm. The mass balance and energy balance of RDF producing process were analyses. The volume of RDF which uses to produce the producer gas for supply to the engine is 180 kg/hr. The system can be generating the 100 kW electrical power.

Keywords: Wet cassava pulp, RDF, Gasification

1. บทนำ

ประเทศไทยมีการปลูกมันสำปะหลังและเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการบริโภคทั้งภายในประเทศและเพื่อการส่งออกที่มีความสำคัญของประเทศ จากการสำรวจของสมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย [2] พบว่ากำลังการผลิตเพื่อแปรรูปมันสำปะหลังของประเทศในปี 2551 พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกทั่วประเทศรวม 8 ล้านไร่ ประสิทธิภาพการผลิตเฉลี่ย 3.64 ตันต่อไร่ ในภาพรวมของประเทศมีผลผลิตรวม 29 ล้านตันต่อปีดังแสดงในตารางที่ 1 ทั้งหมดแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ มูลค่าส่งออกกว่า 3 หมื่นล้านบาท โดยทั้งหมดเป็นกำลังการผลิตที่ได้จากสมาชิกสามัญ 73 รายของสมาคมฯ กระจายอยู่ทั่วประเทศประมาณรายละ 1-3 โรง แต่ละโรงมีกำลังการผลิตโรงงานละ 200-300 ตันต่อวัน ผลิตผลที่ได้จากการแปรรูปมันสำปะหลังปรากฏในรูปผลิตภัณฑ์แป้งร้อยละ 27.5 เป็นกากมันร้อยละ 15 ที่เหลือเป็นน้ำและอื่นๆ อีกร้อยละ 57.5 ของมันสำปะหลังสด กากมันสำปะหลังที่เหลือจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังเมื่อคิดรวมทั้งประเทศจึง

อยู่ที่ประมาณ 4.3 ล้านตันต่อปี และแต่ละโรงจะมีกากมันเหลือจากการผลิตอยู่ที่ 120-180 ตันต่อวัน โดยกากมันที่ได้จากกระบวนการผลิตดังกล่าวนี้มีความชื้นประมาณ 65 %

การนำกากมันมาใช้ประโยชน์ในปัจจุบันส่วนใหญ่จำหน่ายออกเพื่อผลิตเป็นอาหารสัตว์ โดยต้องตากให้แห้ง ซึ่งต้องใช้ลานมันที่กว้างมากเพื่อการตากแห้ง และต้องใช้พื้นที่จัดเก็บเพื่อรอการรับซื้อต่อไป ขณะเดียวกันในช่วงฤดูฝนผู้ประกอบการจะมีปัญหาเรื่องการตากแห้งค่อนข้างมาก เนื่องจากฝนทำให้การตากไม่สามารถทำได้และปัญหานี้ทำให้กากมันเหล่านี้จะถูกหมักเปลี่ยนตัวเป็นสีดำ ยิ่งทิ้งไว้นานยิ่งอยู่ในสภาพเหลว จำหน่ายออกไม่ได้ ส่งกลิ่นรบกวนรอบข้าง ก่อมลภาวะทางกลิ่นให้กับสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตให้กับผู้คนในสังคมรอบข้าง ดังเห็นได้จากผู้ประกอบการประกาศให้กากมันสำปะหลังฟรี สำหรับผู้สนใจนำไปใช้ประโยชน์ทางเว็บบอร์ดในอินเตอร์เน็ตอยู่เนืองๆ

รูปที่ 1 กากมันสำปะหลังที่เสื่อมสภาพและก่อให้เกิดมลพิษ

ได้มีการศึกษาการใช้มันสำปะหลังไปหมักเพื่อผลิตเชื้อเพลิงประเภทแก๊สชีวภาพ มีทั้งที่ศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ [3] ศึกษาขีดความสามารถในการแปลงกลับเป็นแก๊สชีวภาพ [4] ซึ่งเป็นการศึกษาผลที่ได้จากผลิตผลหัวมันสด และรวมถึงการสร้างโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สชีวภาพขึ้นจริงในโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันก็มีการดำเนินการอยู่ในปัจจุบันหลายแห่งดังเห็นได้จากรายงานโครงการ CDM ที่ได้รับการอนุมัติจากคณะรัฐมนตรีขององค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก [5] แต่ส่วนใหญ่ใช้น้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีสารอาหารเหลือเลี้ยงจุลลินทรีย์พอเพียงสำหรับการผลิตแก๊สชีวภาพได้พอคุ้มค่า อีกแนวทางหนึ่งที่สามารถนำกากมันสำปะหลังไปใช้ประโยชน์ได้แต่ยังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจังก็คือการนำกากมันสำปะหลังมาอบแห้งผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลแล้วส่งเข้าเตาแก๊สซิไฟเออร์เพื่อสร้างแก๊สเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นแนวทางที่ทางคณะผู้วิจัยเลือกและได้แสดงรายละเอียดทางเทคนิคในส่วนต่างๆ ของระบบที่จะทำการสร้างขึ้น สมดุลพลังงานและสมดุลมวลของระบบ จะแสดงในหัวข้อถัดไป

2. การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลแข็งจากกากมันสำปะหลัง

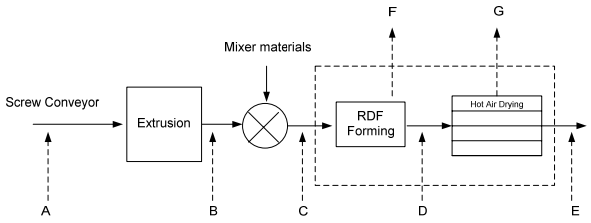
ค่าความร้อนของกากมันสำปะหลังจะอยู่ที่ประมาณ 8,080 -9,966 kJ/kg ที่ความชื้นประมาณ 55 -52 % ค่าความชื้นที่ปรากฏในเชื้อเพลิงหากมีมาก (หมายถึงความชื้นสูง) ค่าความร้อนที่จะนำมาใช้ประโยชน์ก็จะได้น้อย หรือต่ำลง เป็นเพราะว่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ ส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ในการไล่ความชื้นออกจากตัวเชื้อเพลิงเอง คณะผู้วิจัยมีแนวความคิดที่จะนำกากมันสำปะหลังที่ออกจากกระบวนการผลิตขั้นสุดท้ายของโรงงานแป้งมันสำปะหลังมาทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลแข็ง (RDF) เพื่อนำเข้ากระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็ง ให้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซซึ่งเรียกว่า กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

รูปที่ 2 กากมันสำปะหลังที่ออกจากกระบวนการสุดท้ายของโรงงาน

2.1 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลแข็ง

โครงสร้างส่วนนี้เริ่มต้นจากการนำกากมันสำปะหลังเปียกที่ได้จากการแยกกากด้วยเครื่องแยกแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ (Centrifuge Separator) ของโรงงาน แล้วลำเลียงเข้ากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลแข็งโดยระบบลำเลียงแบบเกลียวหมุน (กระบวนการ A) เพื่อนำกากมันเปียกป้อนเข้าสู่เครื่องอัดและขึ้นรูปเชื้อเพลิง (Hot Forming Extruder) จากนั้นเข้าสู่กระบวนการ B ซึ่งเป็นขั้นตอนการบีบอัดไล่น้ำ (Extrusion) แต่เดิมในขบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังนั้นจะมีกระบวนการนี้อยู่แล้วแต่เป็นเครื่องระบบเก่าที่มีประสิทธิภาพต่ำ คณะผู้วิจัยจึงได้มีการออกแบบเครื่องอัดกากแบบใหม่ที่สามารถปรับระดับการบีบอัดได้ ทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าเดิม ในกระบวนการ C เป็นการผสมกากแห้งเพื่อปรับความชื้นโดยยังคงใช้แกนเพลาเครื่องจักรร่วมกับขั้นตอนการบีบอัด และนำเข้ากระบวนการ D ซึ่งเป็นการอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงแข็งขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 10 มิลลิเมตร ความยาวประมาณ 40 มิลลิเมตร จากนั้นเป็นขั้นตอน F ซึ่งเป็นกระบวนการใช้ความร้อนอบผิวของเชื้อเพลิงแข็ง โดยใช้พลังงานความร้อนจากโปรดิวเซอร์แก๊สที่ได้จากเตาแก๊สซิไฟเออร์ทำให้ผิวของเชื้อเพลิงแข็งตัว การดำเนินการตามกระบวนการ D จะยังคงใช้แกนเครื่องจักรร่วมกับขั้นตอน B และ C โดยพลังงานกลใช้ในกระบวนการดังกล่าวมาจากเครื่องอัดกากเดิมที่ทางโรงงานใช้อยู่ หลังจากผ่านกระบวนการ B, C, D และ F แล้วจะได้เชื้อเพลิงแข็งที่มีที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 44.4 มีความแห้ง 100 เปอร์เซ็นต์ที่ชั้นผิวความหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นนำเข้าสู่กระบวนการการอบไล่ความชื้นในตู้ Hot Air Drying ซึ่งใช้ความร้อนจากโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผ่านออกมาจากกระบวนการที่ผ่านมา โดยจะถูกส่งเข้าตู้อบผ่านเม็ดเชื้อเพลิงแข็งที่เคลื่อนตัวผ่านตะแกรง

ที่มีรูเล็กๆ พอที่ลมร้อนจะผ่านเพื่อสัมผัสกับตัวเม็ดเชื้อเพลิงที่เคลื่อนตัวอย่างช้าๆ ผ่านทีละชั้น จนสุดชั้นสุดท้ายและนำออกไปใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงแข็ง

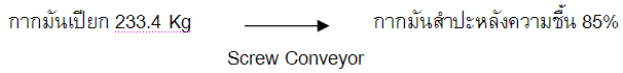
3. การออกแบบและวิเคราะห์ระบบ

ในขั้นตอนนี้จะกล่าวถึงการคำนวณสมดุลของมวลและพลังงานของระบบโดยเริ่มตั้งแต่การนำวัตถุดิบมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงไปจนถึงขั้นตอนในการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 สมดุลมวลของระบบผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากกากมันสำปะหลัง

จากขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพแข็งในหัวข้อ 3.1 สามารถอธิบายรายละเอียดของแต่ละกระบวนการโดยแสดงการคำนวณสมดุลของมวลได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

แผนภาพของกระบวนการ A



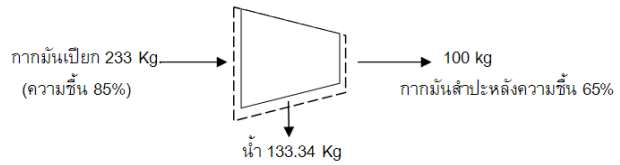
ฐานการคำนวณ กากมันเปียกตั้งต้น มวล = 233.4 Kg

กากมันเปียกมีความชื้น 85% แสดงว่ามีน้ำ = 198.34 Kg

กากแห้ง = 35 Kg

พลังงานที่ใช้ (W): ใช้ของเดิมจากการลำเลียงกากออกจากพื้นที่ผลิต

แผนภาพของกระบวนการ B



ฐานการคำนวณ มวล = 100 Kg

กากมันเปียกมีความชื้นเหลือ = 65 %

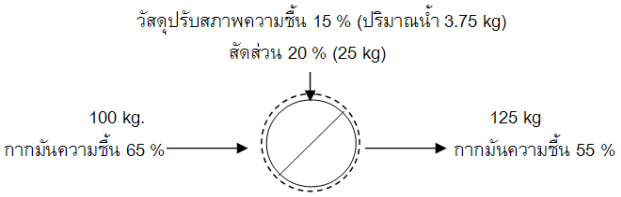
น้ำ = 65 Kg

กากแห้ง = 35 Kg

น้ำออกไปได้ = 133.34 Kg

พลังงานที่ใช้ (W): ใช้ของเดิมแทนเครื่องอัดกากเดิมของโรงงาน

แผนภาพของกระบวนการ C



ฐานการคำนวณ มวล = 125 Kg

กากมันเปียกมีความชื้นเหลือ = 55 %

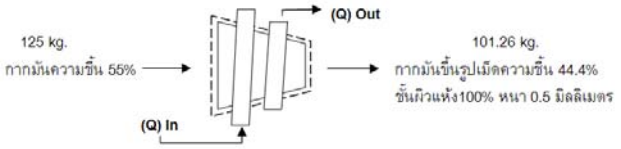
น้ำ = 68.75 Kg

กากแห้ง = 56.25 Kg

น้ำออกไปได้ = 0.00 Kg

พลังงานที่ใช้ (W): ใช้ของเดิมแทนเครื่องอัดกากเดิมของโรงงาน

แผนภาพของกระบวนการ D



ฐานการคำนวณ มวล = 101.26 Kg

กากมันอัดขึ้นรูปมีความชื้นเหลือ = 44.4 %

น้ำ = 45 Kg

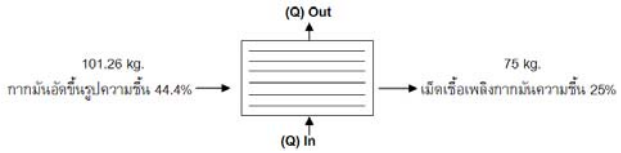
กากมันเม็ดแห้ง = 56.25 Kg

น้ำออกไปได้ = 23.75 Kg

พลังงานที่ใช้ระเหยน้ำ (Q) = 59,379.24 kJ

พลังงานที่ใช้อัดขึ้นรูป (W): ใช้ของเดิมแทนเครื่องอัดกากเดิมของโรงงาน

แผนภาพของกระบวนการ G



ฐานการคำนวณ มวล = 75.01 Kg

กากมันอัดขึ้นรูปมีความชื้นเหลือ = 25 %

น้ำ = 18.75 Kg

กากมันเม็ดแห้ง = 56.25 Kg

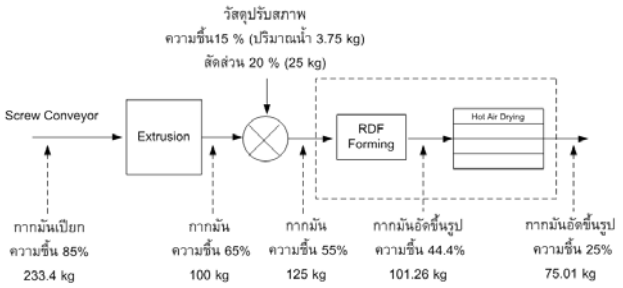
น้ำออกไปได้ = 26.25 Kg

พลังงานที่ใช้ทำให้เหลือความชื้น 25% = 65,644 kJ

(เป็นพลังงานความร้อนที่ใช้อบแห้งรอบแรก)

พลังงานที่ใช้อัดขึ้นรูป (W): ใช้ของเดิมแทนเครื่องอัดกากเดิมของโรงงาน

ขนาดของเม็ดเชื้อเพลิง = ∅10 mm. ความยาว 40 mm.

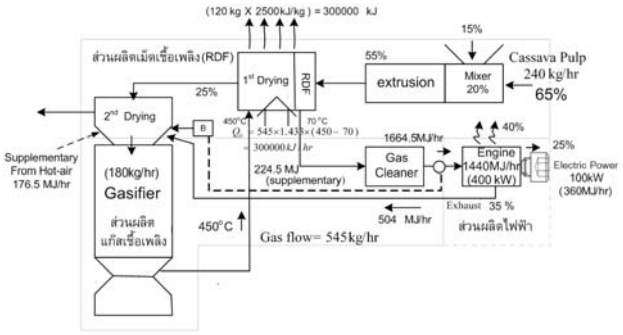


รูปที่ 4 สมดุลมวลของระบบคิดที่ฐานคำนวณ 100 kg กากมัน (ความชื้น 65%) หลังการอบแห้งเที่ยวแรก

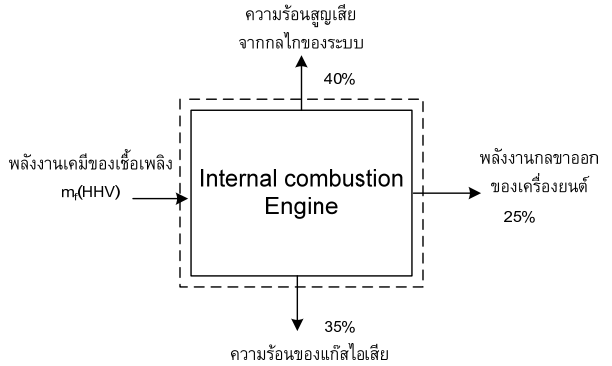
กระบวนการที่ปรากฏตามรูปที่ 4 นี้สิ้นสุดที่การอบแห้งในเที่ยวแรกเท่านั้นซึ่งในการออกแบบจะเผื่อระบบเอาไว้เพื่อสร้างความมั่นใจในกรณีที่ประสิทธิภาพการของอบแห้งที่ไม่สูงพอ ซึ่งจะส่งผลให้ความความชื้นของเม็ดเชื้อเพลิงมีค่าสูงมากกว่าที่คาดหมายไว้ จึงต้องออกแบบการอบแห้งซ้ำเป็นเที่ยวที่สองอีกครั้ง โดยใช้ความร้อนจากหลายๆ แหล่งที่มีอยู่ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

3.2 สมดุลพลังงานของระบบ

โครงสร้างของระบบผลิตไฟฟ้าจากกากมันสำปะหลังเปียกประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ ส่วนผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพอัดเม็ด (RDF) ส่วนผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และส่วนผลิตไฟฟ้า รายละเอียดดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 โครงสร้างของระบบผลิตไฟฟ้าจากกากมันสำปะหลังเปียกโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน



รูปที่ 6 การตั้งสมมติฐานสมรรถนะของเครื่องยนต์ในแง่ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ความต้องการเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายในสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 6 ซึ่งโดยปกติแล้วเครื่องยนต์ประเภทนี้จะมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเป็นพลังงานกลได้ 25% ที่เหลือจะสูญเสียเป็นพลังงานความร้อนในตัวเครื่องยนต์ 40% และสูญเสียเป็นแก๊สร้อนในรูปไอเสีย 35% ดังนั้นจากสมการสมดุลพลังงานจึงสามารถหาพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงได้ดังนี้

$$m_f HHV = Heat\ loss\ to\ body(40\%) + Exhaust\ heat(35\%) + Mechanical(25\%)$$

ซึ่งเมื่อกำหนดให้พลังงานกลที่ต้องขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่า 100 kW แล้วทำให้ค่าพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ต้องการมีค่าเป็น

$$m_f HHV = \frac{100}{0.25} = 400\ \ kW = 1,440\ \ MJ/hr$$

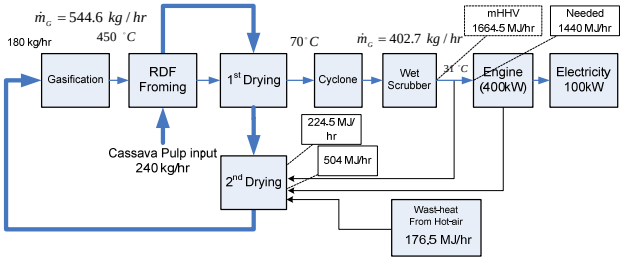
ค่า HHV เป็นค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง (High Heating Value) สามารถคำนวณได้โดยอาศัยสมการของดูลองค์ (Dulong's formula) ดังนี้

$$HHV = 4.185 \times \left[8,080(C) + 34,200\left(H - \frac{O}{8} \right) + 2,500(S) \right] \ \frac{kJ}{kg}$$

ซึ่งค่าที่ได้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่เป็นเชื้อเพลิงแต่เนื่องจากกากมันสำปะหลังยังไม่ปรากฏมีการทดสอบมาก่อน ดังนั้นในการประมาณการจะอาศัยข้อมูลจากผู้ผลิตและจากงานวิจัยที่ผ่านๆมาซึ่ง พบว่าค่า HHV ของโปรดิวเซอร์แก๊สที่ได้จากเชื้อเพลิงชีวมวล มีค่าประมาณ 4,133 - 4,624 kJ/kg ดังนั้นจากค่าความต้องการเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ต้นกำลังดังกล่าวนี้ จะได้ค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของโปรดิวเซอร์แก๊ส ที่เครื่องยนต์ต้องการเท่ากับ

$$m_f = \frac{1,440}{4.133} = 348.43\ kg/hr$$

เตาแก๊สซิไฟเออร์ถูกออกแบบเผื่อไว้ให้สามารถผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สเหลือสำหรับช่วยการอบแห้งได้ด้วยซึ่งประมาณกำลังการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สอยู่ที่ระดับ 402.7 kg/hr จึงเหลือโปรดิวเซอร์แก๊สสำหรับใช้เป็นพลังงานเสริมสำหรับการอบแห้งเที่ยวที่สองดังที่กล่าวข้างต้นได้ 54 hg/hr. คิดเป็นค่าพลังงานความร้อนจำนวน 224.5 kJ/hr



รูปที่ 7 พลังงานในระบบการผลิตไฟฟ้าจากกากมันสำปะหลังเปียกโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน

4. การผลิตแก๊สจากเตาแก๊สซิไฟเออร์และการนำไปใช้งาน

การแปลงเชื้อเพลิงชีวมวลให้เป็นโปรดิวเซอร์แก๊สจะใช้กระบวนแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งเลือกใช้เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบดาวน์ดราฟ (Down draft) เพื่อให้ได้แก๊สที่ไม่มีสิ่งปะปนออกมามากนัก สะดวกในการป้อนเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ ปกติโปรดิวเซอร์แก๊สที่ได้จะมีความร้อนสูง ซึ่งต้องทำความสะอาดและลดอุณหภูมิลงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องยนต์ แต่สำหรับงานวิจัยนี้ความร้อนของแก๊สที่ต้องเอาออกไปจะถูกนำมาใช้ขึ้นรูปเชื้อเพลิงแข็งและใช้ในการอบแห้งในขั้นแรก ซึ่งในกระบวนการนี้จะออกแบบให้ความร้อนถูกนำไปใช้งานจนมีอุณหภูมิของโปรดิวเซอร์แก๊สลดลงเหลือประมาณ 70 ºC แก๊สที่ผ่านกระบวนนี้แล้วยังคงมีฝุ่นผงปะปนมาด้วย จึงจำเป็นต้องกำจัดออกโดยใช้ไซโคลน และกำจัดออกอีกครั้งพร้อมลดความร้อนลงด้วยกระบวนการดักจับด้วยการสเปรย์น้ำ ใน Wet Scrubber และกรองด้วยตัวกรองก่อนส่งเข้าผสมกับอากาศให้ได้สัดส่วนเพื่อป้อนเข้าเครื่องยนต์ต่อไป รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 7

5. สรุปผลงานวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กากมันสำปะหลังเปียกเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันในบทความนี้ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของระบบในส่วนต่างๆ ทั้งในส่วนของการนำกากมันสำปะหลังมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็ง ส่วนการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส และส่วนของการผลิตไฟฟ้า จากการวิเคราะห์ทั้งในรูปแบบของสมดุลมวลและสมดุลพลังงานพบว่าพลังงานที่ใช้ในระบบนั้นมีเพียงพอที่จะทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก แต่ในทางปฏิบัตินั้นหากมีพลังงานไม่เพียงพอก็สามารถดึงความร้อนทิ้งของโรงงานในส่วนอื่นมาใช้เพิ่มเติมได้ ทำให้เกิดความมั่นใจว่าระบบสามารถทำงานได้จริงในทางปฏิบัติ และในขณะนี้โครงการก็กำลังดำเนินการอย่างต่อเนื่องอยู่

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่เป็นผู้สนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโครงการนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] มันสำปะหลัง (Cassava) http://www.agi.nu.ac.th/webnewasp/ereading/economic/Cassava, Online available: 7 August 2009.

[2] Thai Tapioca Starch Association, “Breakdown of Production by Region in Comparison between 2007/08 and 2008/09.”, http://www.thaitapiocastarch.org/crop.asp. Online available: 7 August 2009.

[3] Wantanee Anunputtikul and Sureelak Rodtong, “Laboratory Scale Experiments for Biogas Production from Cassava Tubers”. The Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE). 1-3 December 2004, Hua Hin, Thailand.

[4] Sureelak Rodtong. “CONVERSION OF RAW CASSAVA ROOTS TO BIOGAS” The 5th Asia Pacific Conference on Sustainable Energy and Environment Technologies (APCSEET)., Te Papa, Wellington, New Zealand. 9 -11 June 1995.

[5] โครงการที่คณะรัฐมนตรีให้ความเห็นชอบและองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจกออกหนังสือรับรองโครงการตามผลมติฯ. http://www.tgo.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=36&Itemid=40 , Online available: 7 August 2009.

[6] พิพัฒน์ เหลืองลาวัณน์และวิศิษฐิพร สุขสมบัติ, “กากมันสำปะหลังกับการใช้ประโยชน์กับโคนม” เกษตรสุรนารี’50: หน้า 43-50., http://hdl.handle.net/123456789/2085. Online available: 7 August 2009.

[7] วีรชัย อาจหาญ “การพัฒนากระบวนผลิตวัตถุดิบจากมันสำปะหลังสำหรับอุตสาหกรรมเอธานอล”, http://www.coe-biomass.com/maxsite/indexmain.php?name=news&file=readnews&id=27. Online available: 7 August 2009.

[8] Jirasak Kongkiattikajorn and Kanlaya Yoonan, “ETHANOL PRODUCTION FROM CASSAVA PULP HYDROLYSATE USING FERMENTATION BY SACCHAROMYCES CEREVISIAE 5049”, National Research Council of Thailand.

[9] Hiromi Yamamoto, Kenji Yamaji, “EVALUATION OF ASEAN BIOMASS POTENTIAL USING AN ASEAN BIOMASS MODEL”,www.business.curtin.edu.au/files/HiromiYamamoto.pdf online Available: 6 August 2009.

[10] จุฑามาศ บุศราคัมวดี, ประเทือง อุษาบริสุทธิ์, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์., “เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเหง้ามันสำปะหลัง”, http://www.rdi.ku.ac.th/kufair50/animal/11_4_animal/11_4animal.html., Online Available: 6 August 2009

[11] โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน, http://www.coe-biomass.com/maxsite/indexmain.php?name=news&file=readnews&id=22., Online available: 7 August 2009.

[12] SATAKE Corporation, ”Biomass Gasification Solution for Agro Waste”, www.jst.go.jp/asts/asts_j/files/ppt/23_ppt.pdf, online Available: 6 August 2009.

[13] Food and Agriculture Organization of United Nations, wood gas as fuel engine, FAO Ferestry paper No.72.

[14] Mayekawa Mfg.Co.,Ltd.,”Feasibility study on Programmatic CDM for Ethanol production using cassava pulp in Thailand”, Feb. 2009.