



ปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิงจากเหง้ามันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์
ฟลูอิดไคซ์เบด

Energy Yields of Fuel Gas from Cassava Rhizome in a Fluidised-Bed Reactor

วิริยะ แแดงทน^{1*} และเกยูร ดวงอุปมา¹

Received: October, 2017; Accepted: January, 2018

บทคัดย่อ

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงของเหง้ามันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดเป็นการศึกษาหาปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์และปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิงที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิปฏิกิริยา 5 ระดับ คือ 500 600 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส ต่อปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์และปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งแก๊สแอลพีจีคือแหล่งพลังงานความร้อนสำหรับอุ่นเครื่องก่อนทำการทดลองและระหว่างทดลองและอากาศถูกใช้เป็นแก๊สพา ปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์ได้จากการสมดุลมวลก่อนและหลังการทดลอง โดยมีเครื่องวิเคราะห์แก๊ส GC 8A สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊ส ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิปฏิกิริยา 900 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลได้ของแก๊สสูงสุดร้อยละ 90.9 โดยน้ำหนัก แต่แก๊สที่ได้มีค่าความร้อนต่ำสุดเป็น 12 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ขณะที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส คืออุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผลิตแก๊สเชื้อเพลิง เพราะมีปริมาณผลได้ของแก๊สและปริมาณพลังงานของแก๊สร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก

คำสำคัญ : ปริมาณพลังงาน; การผลิตแก๊สเชื้อเพลิง; แก๊สเชื้อเพลิง; เหง้ามันสำปะหลัง; ฟลูอิดไคซ์เบด

¹ Faculty of Agro Industrial Technology, Kalasin University

* Corresponding Author E - mail Address: wiriyadanton@gmail.com

Abstract

Gasification of cassava rhizomes in a fluidised-bed reactor is studied for investigate of product yields and energy yields of biomass gasification in different temperatures. The aim of this study is find the influence of temperature in five levels were 500, 600, 700, 800 and 900 °C on product yields and energy yields of biomass gasification in the fluidised - bed method. The liquefied petroleum gas (LPG) was used for the heating system before the experiment and air as a carrier gas during the experiment. The product yield was obtained by mass balance before and after the experiment. The gas chromatography (GC 8A) analysis method was used for analyze gas composition. The results show that maximum fuel gas yields from cassava rhizomes of 90.9 wt% at 900 °C. However, the gas with the lowest heating value were 12 MJ/kg. While the reaction temperature at 800 °C has gas yields and energy yields of 85 wt%, it is the ideal temperature for producing fuel gas.

Keywords: Energy Yield; Gasification; Fuel Gas; Cassava Rhizomes; Fluidised - Bed

บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกต่างพัฒนาพลังงานทดแทนรูปแบบต่าง ๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานชีวมวล เพื่อรองรับปัญหาวิกฤติพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลในอนาคต ซึ่งพลังงานชีวมวลถือว่าเป็นพลังงานทดแทนอีกทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพ เพราะพลังงานความร้อนที่ได้จากชีวมวลสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับอุตสาหกรรมโรงงานไฟฟ้า และอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ชีวมวลคือเศษวัสดุที่เหลือใช้จากการแปรรูปพืชให้เป็นผลิตภัณฑ์ เมื่อใช้พลังงานชีวมวลจึงทำให้เกิดการสมดุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาในขั้นตอนการสังเคราะห์แสงของพืช สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีชีวมวลในปริมาณมาก โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรได้รายงานไว้ สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี พ.ศ. 2559 มีผลผลิตหัวมันสำปะหลังสำหรับโรงงานอันดับ 2 ของโลก และเป็นอันดับ 1 ของอาเซียน ประมาณ 30 ล้านตัน หรือคิดเป็นหัวมันสำปะหลังประมาณ 14.7 ล้านตัน เมื่อคูณด้วยอัตราส่วนของหัวมันสำปะหลังต่อหัวมันสำปะหลัง 0.49 [1] วิธีการจัดหัวมันสำปะหลังนี้เกษตรกรนิยมเผาจึงไม่ก่อให้เกิดคุณค่าทางพลังงาน หากนำหัวมันสำปะหลังมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการทางเคมีความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ เช่น กระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสำหรับโรงงานไฟฟ้า [2] - [5] กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วสำหรับผลิตเชื้อเพลิงเหลว [6] - [11] และกระบวนการทอริแฟคชันสำหรับผลิตถ่านชาร์ [12] - [16] จะทำให้ชีวมวลมีคุณค่าทางพลังงานได้ โดยการแปรรูปชีวมวลด้วยกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงนั้นได้รับความนิยมในการทำวิจัยอย่างมาก เพราะเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนและง่ายต่อการดำเนินการ

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงหมายถึงกระบวนการทางเคมีความร้อนที่มีอุณหภูมิปฏิกิริยาประมาณ 500 - 1000 องศาเซลเซียส [17] โดยผลิตภัณฑ์หลักที่ได้คือแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งปัจจัยหลักของการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงคือเครื่องปฏิกรณ์ สามารถแบ่งออกได้ดังนี้ แบบแก๊สไหลลง (Downdraft) แบบแก๊สไหลขึ้น

(Updraft) แบบฟลูอิดไคซ์เบด (Fluidised - Bed) แบบแก๊สหมุนวน (Rotating Cone) และแบบตกอิสระ (Entrained - Flow) เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดมีอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงเพราะมีตัวกลางถ่ายโอนความร้อน จึงช่วยในการย่อยสลายทางเคมีความร้อนของชีวมวลให้กลายเป็นแก๊สได้สมบูรณ์ อีกทั้งการเชื่อมต่อเครื่องปฏิกรณ์นี้กับไซโคลน ชุดกรองไอร้อน และชุดควบแน่น ยังทำให้แก๊สเชื้อเพลิงสะอาดขึ้น เพราะถ่านชาร์จะถูกแยกออกจากแก๊สด้วยไซโคลนแล้วเก็บในถังเก็บถ่านชาร์ ส่วนถ่านชาร์ขนาดเล็กจะถูกดักจับด้วยชุดกรองไอร้อน ขณะที่ทาร์ถูกควบแน่นด้วยชุดควบแน่นแต่ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าหากนำเตาหมันสำหรับผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดจะส่งผลอย่างไรต่อปริมาณผลได้และองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง เพราะงานวิจัยที่ศึกษาการไพโรไลซิสแบบเร็วของเตาหมันสำหรับผลิตในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดเพื่อผลิตไบโอออยล์ที่อุณหภูมิกิจกรรม 510 องศาเซลเซียส [18] พบว่าปริมาณผลได้ของไบโอออยล์สูงถึงร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิสขึ้นเป็น 537 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 11 เป็น 14 โดยน้ำหนัก

ดังนั้นโครงการนี้จึงมุ่งเน้นการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงของเตาหมันสำหรับผลิตในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบด เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิกิจกรรม 5 ระดับ คือ 500 600 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส ที่มีต่อปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์ องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง และปริมาณพลังงานที่ได้จากแก๊สเชื้อเพลิงวัสดุและวิธีดำเนินการวิจัย

1. ชีวมวล

ชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือเตาหมันสำหรับผลิต เป็นเศษวัสดุทางการเกษตรที่ได้จากไร่เพาะปลูก จึงมีขนาดใหญ่และมีดินติดมาด้วย ดังนั้นการเตรียมเตาหมันสำหรับผลิตจึงจำเป็นต้องบดละเอียดให้มีขนาดเล็กลงจากนั้นนำไปคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 0.6 - 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปตากแดดและอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นในชีวมวล

2. ตัวกลางถ่ายโอนความร้อน

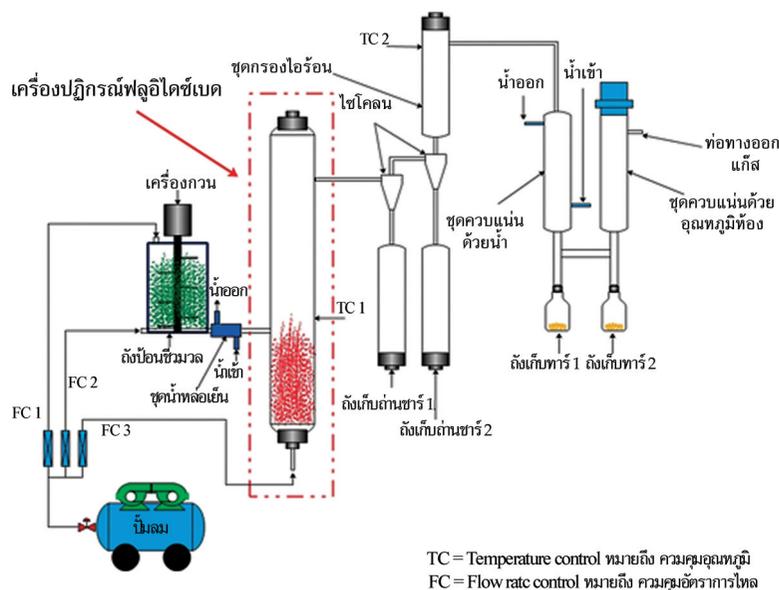
ทรายที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ได้มาจากร้านขายวัสดุก่อสร้างจึงมีน้ำผสมมาด้วย เพราะการเก็บรักษาทรายในร้านดังกล่าวคือเก็บในที่โล่งแจ้ง ดังนั้นการนำทรายไปใช้ในกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจึงจำเป็นต้องกำจัดน้ำที่มากับทรายออกก่อนเพราะน้ำจะส่งผลต่อตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง อีกทั้งทรายที่ซื้อมายังมีขนาดที่ไม่เท่ากันและมีสิ่งปนเปื้อนมากับทรายด้วย ดังนั้นการเตรียมทรายจึงจำเป็นต้องนำทรายมาตากแดดให้แห้ง จากนั้นคัดขนาดอนุภาค 0.4 - 0.6 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมกับการเป็นตัวกลางถ่ายโอนความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์ของงานวิจัยนี้ เพราะทรายขนาดที่เล็กกว่านี้เมื่อนำมาใช้ในการทดลองไม่สามารถรักษาอุณหภูมิได้ตามที่กำหนด เนื่องจากความสามารถในการจุความร้อนต่ำ จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดเถ้าหรือเศษวัสดุที่ปนเปื้อนทรายออก หลังจากนั้นนำทรายที่ผ่านการเผาไหม้มาคัดขนาด 0.4 - 0.6 มิลลิเมตร อีกครั้งก่อนนำไปใช้เป็นตัวกลางถ่ายโอนความร้อน

3. วิธีการทดลอง

ก่อนการทดลองต้องชั่งน้ำหนักของอุปกรณ์แต่ละชิ้น เริ่มจากการชั่งน้ำหนักของชีวมวล ตัวกลางถ่ายโอนความร้อน เครื่องปฏิกรณ์ ชุดกรองไอร้อน ไยแก้ว (5 กรัม) ชุดควบแน่น และถังเก็บทาร์ หลังจากนั้นต่อสายลมผ่านเกจวัดความดันผ่านเข้าชุดควบคุมอัตราการไหล (FC) ทั้ง 3 ตัว โดย (FC 1) เข้าผ่านของถังชีวมวล (FC 2) เข้าที่อล่าเฉียงด้านข้างของถังป้อนชีวมวล และ (FC 3) เข้าด้านล่างเครื่องปฏิกรณ์ในตำแหน่งฟลูอิดไคซ์เบด จากนั้นต่อสายยางของน้ำหล่อเย็นจากปั้มน้ำไปยังชุดหล่อเย็น

ของท่อลำเลียงชีวมวลและชุดกรองไอร้อน ตามลำดับ ขั้นตอนต่อไปคือ ต่อเทอร์โมคัปเปิลจากชุดควบคุมเข้า (TC 1) ในตำแหน่งไฟโรไลซิสภายในเครื่องปฏิกรณ์ และ (TC 2) ในตำแหน่งภายในของชุดกรองไอร้อน และสุดท้ายนำตัวกลางถ่ายโอนความร้อน (ทราย) ผสมกับชีวมวลบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์แล้วเผาชีวมวลที่ผสมทรายด้วยแก๊สแอลพีจี (LPG) เป็นเวลาประมาณ 30 นาที สังเกตที่อุณหภูมิปฏิกิริยา (TC 1) จนแน่ใจว่าตัวกลางถ่ายโอนความร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 500 600 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส ตามเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งขนาดอนุภาคของทราย 0.4 - 0.6 มิลลิเมตร คือขนาดที่ผ่านการทดสอบในเครื่องปฏิกรณ์นี้แล้วว่าสามารถจุความร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิในแต่ละระดับได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ต้องการ

เริ่มการทดลองโดยปรับอัตราการไหลของตำแหน่งฟลูอิดซ์เบด (FC 3) 20 ลิตรต่อนาที จากนั้นป้อนชีวมวลผ่านท่อลำเลียงโดยควบคุมอัตราการไหล (FC 1) 5 ลิตรต่อนาที และ (FC 2) 10 ลิตรต่อนาที เพื่อให้ได้อัตราการป้อนชีวมวล 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิไฟโรไลซิสต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดโดยอุณหภูมิอาจเปลี่ยนแปลงได้อยู่ในช่วงประมาณ ± 15 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิสูงกว่าที่กำหนดให้ลดอัตราการไหล (FC 1) บนฝาถังป้อนชีวมวลและเพิ่มอัตราการไหล (FC 2) เพื่อให้ชีวมวลลงท่อลำเลียงในปริมาณลดลงซึ่งต้องควบคุมอัตราการไหลรวมระหว่าง (FC 1) และ (FC 2) ให้อยู่ที่ 15 ลิตรต่อนาที เพื่อควบคุมอัตราการป้อนของชีวมวลให้อยู่ที่ 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อแน่ใจว่าอุณหภูมิไฟโรไลซิสและการป้อนชีวมวลเรียบร้อยดีให้ทำการทดลองประมาณ 20 นาที แล้วเริ่มเก็บแก๊สระหว่างการทดลองในตำแหน่งท่อทางออกแก๊สทุก ๆ 10 นาที เพื่อให้ได้แก๊สที่มีความเข้มข้นและเพียงพอสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สต่อไป หลังจากทดลองครบ 1 ชั่วโมง ให้หยุดป้อนชีวมวลโดยปิดอัตราการไหล (FC 1) แต่ยังคงเปิด (FC 2) และ (FC 3) เป็นเวลาประมาณ 5 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีชีวมวลคั่งค้างอยู่ในระบบ ซึ่งสังเกตได้จากควันที่อุ้งในถังเก็บก๊าซทั้ง 2 ตำแหน่งต้องไม่มีควันออกมา จากนั้นปิดอัตราการไหล (FC 2) และ (FC 3)



รูปที่ 1 แผนภาพหน่วยผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดซ์เบด

4. การสมมูลมวล

เมื่อทดลองครบ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เครื่องปฏิกรณ์และบริเวณที่ได้รับความร้อนเย็นตัวลง ด้วยอุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที จากนั้นสมมูลมวลโดยใช้น้ำหนักของชีวมวล ตัวกลางถ่ายโอนความร้อน ถ่านชาร์ โยแก๊ว และทาร์ โดยน้ำหนักของชีวมวลที่ลดลง คือ ปริมาณชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง ขณะที่น้ำหนักของตัวกลางถ่ายโอนความร้อนที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักของถ่านชาร์จากถังเก็บ และน้ำหนักของโยแก๊วที่เพิ่มขึ้น คือปริมาณผลได้ของถ่านชาร์ และน้ำหนักของทาร์จากถังเก็บ คือปริมาณผลได้ของทาร์ สำหรับปริมาณผลได้ของแก๊สเชื้อเพลิงได้จากการนำน้ำหนักของถ่านชาร์และทาร์รวมกันแล้วลบออกจาก 100

5. การวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊ส

องค์ประกอบแก๊สวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Shimadzu GC-8A ที่ติดตั้งกับเครื่องตรวจจับการนำความร้อน (Thermal Conductivity Detector, TCD) โดยมีคอลัมน์ คือ Porapak N (80/100 SS 2.3 mm I.D. × 1 m) และ Unibeads C (60/80 SS Col. 3 mm. I.D. × 2 m) และอาร์กอนที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.995 เป็นแก๊สพา ซึ่งแก๊สที่วิเคราะห์ได้ประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ไฮโดรเจน (H₂) ไนโตรเจน (N₂) มีเทน (CH₄) เอทิลีน (C₂H₄) และเอเทน (C₂H₆)

6. การคำนวณค่าความร้อนของแก๊ส

องค์ประกอบแก๊ส ประกอบด้วย ไฮโดรเจน (H₂) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และแก๊สในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน เช่น มีเทน (CH₄) เอทิลีน (C₂H₄) และเอเทน (C₂H₆) ซึ่งแก๊สนี้สามารถคำนวณได้ด้วยการนำสัดส่วนขององค์ประกอบแก๊สแต่ละชนิดคูณด้วยค่าความร้อนและความหนาแน่นของแก๊สแต่ละชนิดตามข้อมูลในตารางที่ 1 แล้วคำนวณค่าความร้อนตามสมการที่ (1) - (2)

ตารางที่ 1 สมบัติพื้นฐานของแก๊สเชื้อเพลิง

ชนิดแก๊ส	ค่าความร้อนแก๊สเชื้อเพลิงภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ (เมกะจูลต่อกิโลกรัม) [19]		ρ_i [20]
	HHV_i	LHV_i	
ไฮโดรเจน (H ₂)	142	120	0.081
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	10	10	0.717
มีเทน (CH ₄)	55	50	1.178
เอทิลีน (C ₂ H ₄)	51	48	1.145
เอเทน (C ₂ H ₆)	52	47	1.360

$$HHV \left(\frac{MJ}{kg} \right) = \sum_i (y_i)(HHV_i)(\rho_i) \tag{1}$$

$$LHV \left(\frac{MJ}{kg} \right) = \sum_i (y_i)(LHV_i)(\rho_i) \tag{2}$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 y_i &= \text{สัดส่วนขององค์ประกอบแก๊สแต่ละชนิด (ร้อยละโดยปริมาตร)} \\
 HHV_i &= \text{ค่าความร้อนสูง (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)} \\
 LHV_i &= \text{ค่าความร้อนต่ำ (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)} \\
 \rho_i &= \text{ค่าความหนาแน่นแก๊ส (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)}
 \end{aligned}$$

7. การคำนวณปริมาณพลังงานของแก๊ส

ปริมาณพลังงานของแก๊สที่ได้ คำนวณจากปริมาณผลได้ของแก๊สคูณด้วยค่าความร้อนต่ำของแก๊สซึ่งเกิดจากการนำสัดส่วนขององค์ประกอบแก๊สแต่ละชนิดคูณด้วยค่าความร้อนมาตรฐาน จากนั้นนำมาหารด้วยค่าความร้อนต่ำของชีวมวลดังสมการที่ (3)

$$EY(\text{wt}\%) = Y_{Gas} \left(\frac{LHV_{Gas}}{LHV_{BM}} \right) \quad (3)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
 EY &= \text{Energy Yield คือ ปริมาณพลังงาน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} \\
 Y_{Gas} &= \text{Yield of gas คือ ปริมาณผลได้ของแก๊ส (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} \\
 LHV_{Gas} &= \text{ค่าความร้อนต่ำของแก๊ส (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)} \\
 LHV_{BM} &= \text{ค่าความร้อนต่ำของชีวมวล (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)}
 \end{aligned}$$

ผลการทดลองและอภิปราย

1. สมบัติของเหง้ำมันสำปะหลัง

ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า เหง้ำมันสำปะหลังหลังอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส มีความชื้นร้อยละ 10.1 โดยน้ำหนัก และสารระเหยร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก โดยมีความชื้นที่สูงกว่าและสารระเหยต่ำกว่าเหง้ำมันสำปะหลังในงานวิจัยของ Pattiya, A. [18] เล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากเหง้ำมันสำปะหลังในงานวิจัยนี้มีปริมาณเถ้าสูงถึงร้อยละ 13.2 โดยน้ำหนัก เพราะเป็นที่ทราบกันว่าเถ้าเกิดจากสารอนินทรีย์ที่ไม่สามารถระเหยตัวได้ ดังนั้นชีวมวลที่มีปริมาณเถ้าสูงจึงมีปริมาณสารระเหยต่ำ

ตารางที่ 2 สมบัติของเหง้ำมันสำปะหลัง

การวิเคราะห์	เหง้ำมันสำปะหลัง	
	งานวิจัยนี้	Pattiya, A. [18]
การวิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก, ฐานแห้ง)		
ความชื้น ^ก	10.1	8.3
สารระเหย	75	77.7
คาร์บอนคงที่ ^ข	11.8	18.2

ตารางที่ 2 สมบัติของเหง้ามันสำปะหลัง (ต่อ)

การวิเคราะห์	เหง้ามันสำปะหลัง	
	งานวิจัยนี้	Pattiya, A. [18]
<i>การวิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก, ฐานแห้ง)</i>		
เถ้า	13.2	4.1
<i>การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก, ฐานแห้งไม่คิดเถ้า)</i>		
คาร์บอน	48.4	51.6
ไฮโดรเจน	7.6	6.7
ไนโตรเจน	1.2	1.3
กำมะถัน	0.2	< 0.1
ออกซิเจน ¹	42.6	40.5
<i>ความหนาแน่นรวม (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)</i>		
	263	N/A
<i>ความหนาแน่นอนุภาค (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)</i>		
	1,025	N/A
<i>ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม, ฐานแห้ง)</i>		
ค่าความร้อนสูง (HHV)	15.5	23.7
ค่าความร้อนต่ำ (LHV)	13.8	18.5

¹ฐานเปียก

²คำนวณจาก 100 - สารระเหย - เถ้า

³คำนวณจาก 100 - คาร์บอน - ไฮโดรเจน - ไนโตรเจน - กำมะถัน

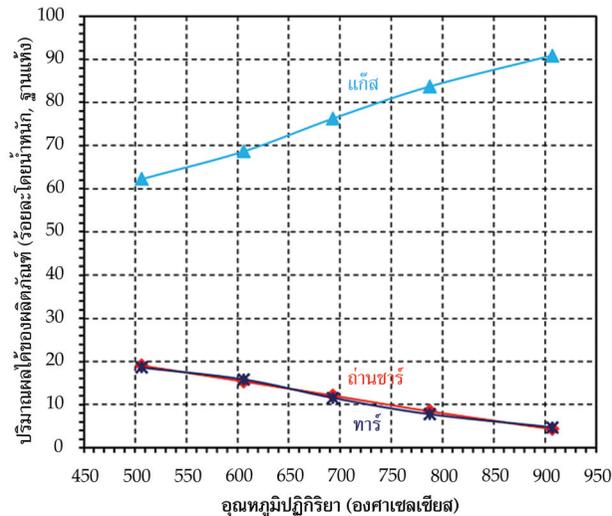
ผลวิเคราะห์สมบัติแบบแยกธาตุในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า เหง้ามันสำปะหลังของงานวิจัยนี้มีปริมาณคาร์บอนต่ำและปริมาณออกซิเจนสูง เมื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าความร้อนจึงทำให้มีค่าความร้อนต่ำ นอกจากนี้ปัจจัยที่ทำให้มีค่าความร้อนต่ำนั้นเป็นผลมาจากชีวมวลมีปริมาณเถ้าสูง ซึ่งจะเห็นได้ว่า เหง้ามันสำปะหลังของงานวิจัยนี้มีปริมาณเถ้ามากกว่าร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก

2. ปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นจาก 506 เป็น 907 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 68.7 เป็น 90.9 โดยน้ำหนัก ขณะที่ปริมาณผลได้ของถ่านชาร์และทาร์ลดลงอย่างต่อเนื่องจากประมาณร้อยละ 19 เป็น 4 โดยน้ำหนัก ปริมาณแก๊สที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิไพโรไลซิสที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นผลมาจากการสลายตัวทางเคมีความร้อนของชีวมวลได้สมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Lanza, R. et al. [21] ที่รายงานว่า อุณหภูมิปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 700 เป็น 900 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 65 เป็น 95 โดยน้ำหนัก

อย่างไรก็ตาม ปริมาณผลได้ของแก๊สเชื้อเพลิงจากเหง้ามันสำปะหลังในงานวิจัยครั้งนี้ก็สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Billaud, J. et al. [22] ที่รายงานว่า การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีเลื่อยขนาดอนุภาค 0.315 - 0.450 มิลลิเมตร ที่มีปริมาณเถ้าร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนัก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบคอกอิสระ

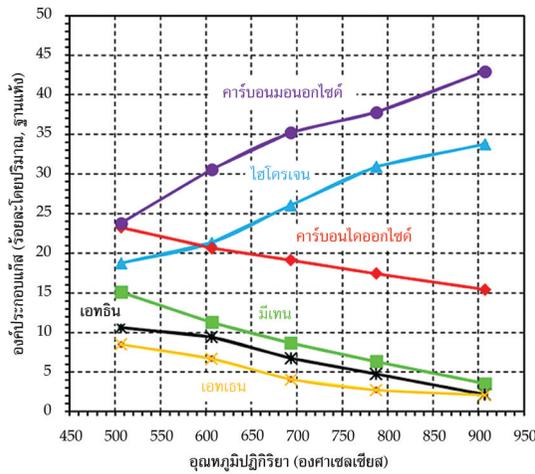
ที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 900 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลได้ของแก๊สร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดสำหรับงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในการสลายตัวทางเคมีความร้อนสูงกว่า เครื่องปฏิกรณ์แบบคอกัสระอย่างชัดเจน ถึงแม้ว่าแห้งมันสำหรับหลังในงานวิจัยนี้จะมีปริมาณเถ้าสูงถึงร้อยละ 13.2 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 2 ผลของอุณหภูมิปฏิกิริยาต่อปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์

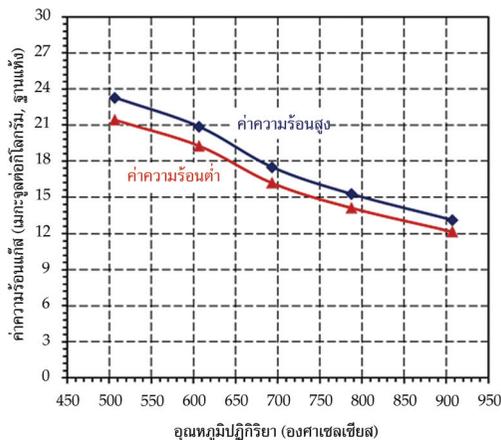
องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 506 เป็น 907 องศาเซลเซียส ขณะที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน เอทอิน และเอทเรน ลดลงอย่างชัดเจนตามอุณหภูมิปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวทางเคมีความร้อนของโครงสร้างแก๊สเชื้อเพลิงในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน เช่น มีเทน เอทอิน และเอทเรน ทำให้โครงสร้างของไฮโดรเจนที่อยู่ในแก๊สเหล่านี้หลุดออกกลายเป็นแก๊สไฮโดรเจนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งการผลิตแก๊สเป็นกระบวนการที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ($2C + O_2 = 2CO$) จึงทำให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Chutichai, B. et al. [23] ที่รายงานว่า การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากขี้เลื่อยในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียนที่อุณหภูมิปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 500 เป็น 900 องศาเซลเซียส องค์ประกอบของแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 43 เป็น 60 โดยปริมาตร และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 เป็น 25 โดยปริมาตร ขณะที่องค์ประกอบของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจากร้อยละ 35 เป็น 15 โดยปริมาตร และแก๊สมีเทนลดลงจากร้อยละ 18 เป็น 0 โดยปริมาตร

เมื่อนำองค์ประกอบแก๊สจากรูปที่ 3 มาคำนวณค่าความร้อนของแก๊สตามสมการที่ (1) และ (2) จะได้ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงดังรูปที่ 4 ที่แสดงให้เห็นว่า ค่าความร้อนของแก๊สลดลงอย่างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 506 เป็น 907 องศาเซลเซียส เพราะว่าองค์ประกอบแก๊สในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน เช่น มีเทน เอทอิน และเอทเรน มีปริมาณลดลงจึงส่งผลให้ค่าความร้อนของแก๊สลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นที่ทราบว่าแก๊สเหล่านี้มีค่าความร้อนและความหนาแน่นสูง เมื่อแก๊สเหล่านี้มีปริมาณลดลงจึงส่งผลให้ค่าความร้อนของแก๊สลดลง



รูปที่ 3 ผลของอุณหภูมิปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง (ไม่คิดแก๊สพาในระบบ)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาหมันสำหรับผลิตในงานวิจัยครั้งนี้กับงานวิจัยของ Chutichai, B. et al. [23] ที่ผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากขี้เลื่อยในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบคแบบหมุนเวียน พบว่าค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากงานวิจัยนี้สูงกว่า ซึ่งคาดว่า เป็นผลมาจากงานวิจัยนี้ได้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของเอทิลีน และเอทเธน ขณะที่งานวิจัยของ Chutichai, B. et al. [23] ตรวจไม่พบองค์ประกอบแก๊สเหล่านี้ เพราะว่าเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบคแบบหมุนเวียนมีระบบเผาไหม้ถ่านชาร์ที่เคลือบบนตัวกลางถ่ายโอนความร้อน จึงอาจเป็นไปได้ว่าแก๊สเอทิลีนและเอทเธนถูกเผาไหม้ในระบบนี้จึงทำให้องค์ประกอบแก๊สไฮโดรเจนที่ได้จากงานวิจัยของ Chutichai, B. et al. [23] สูงกว่าแก๊สไฮโดรเจนที่ได้จากงานวิจัยนี้อย่างชัดเจน

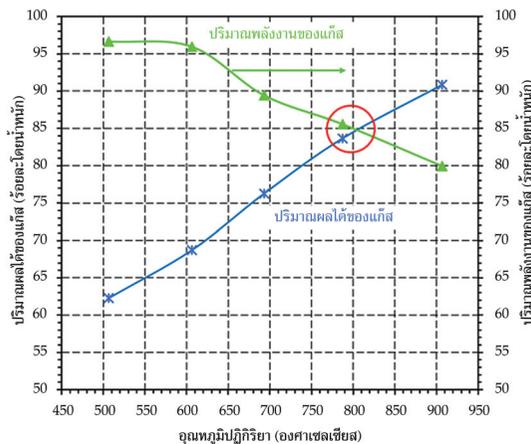


รูปที่ 4 ผลของอุณหภูมิปฏิกิริยาต่อค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง

รูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นจาก 500 เป็น 900 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิงลดลงอย่างชัดเจนจากร้อยละ 96.7 เป็น 80 โดยน้ำหนัก ซึ่งตรงข้ามกับ

ปริมาณผลได้ของแก๊สที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 62.3 เป็น 90.9 โดยน้ำหนัก โดยจะเห็นว่าปริมาณพลังงานที่ได้มีผลกระทบต่อตรงมาจากค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง ดังนั้นค่าความร้อนของแก๊สลดลงจึงทำให้ปริมาณพลังงานลดลงเช่นกัน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลได้ของแก๊สเชื้อเพลิงกับปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิงในรูปที่ 5 จะเห็นว่า อุณหภูมิปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิปฏิกิริยาที่เหมาะสมทั้งปริมาณผลได้ของแก๊สเชื้อเพลิงและปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากเหง้ำมันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบด เพราะมีปริมาณผลได้ของแก๊สร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก และปริมาณพลังงานของแก๊สร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก จึงเป็นอุณหภูมิปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดที่อัตราการป้อนชีวมวล 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง



รูปที่ 5 ผลของอุณหภูมิปฏิกิริยาต่อปริมาณผลได้และปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิง

สรุปผลการทดลอง

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากเหง้ำมันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 900 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลได้ของแก๊สสูงสุกร้อยละ 90.9 โดยน้ำหนัก แต่ผลวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สพบว่า แก๊สในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน คือ มีเทน เอทอิน และเอทเรน มีปริมาณลดลงส่งผลให้ค่าความร้อนต่ำลดลงต่ำสุดเป็น 12 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เมื่ออุณหภูมิปฏิกิริยาที่เหมาะสมพบว่า อุณหภูมิปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส คือ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ เพราะมีปริมาณผลได้ของแก๊สและปริมาณพลังงานของแก๊สร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายกิตติวัฒน์ จันทระประทักษ์ นางสาววรฤทัย เสตสิงห์ และนายสุภอรรถ น่ำบัณฑิต ที่ช่วยเก็บข้อมูลงานวิจัยครั้งนี้ และขอบคุณบุคลากรในสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ทุกท่านที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

References

- [1] Pattiya, A. (2011). Thermochemical Characterization of Agricultural Wastes from Thai Cassava Plantations. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**. Vol. 33, Issue 8, pp. 691-701. DOI: 10.1080/15567030903228922
- [2] Arvidsson, M., Morandin, M., and Harvey, S. (2015). Biomass Gasification-Based Syngas Production for a Conventional Oxo Synthesis Plant-Greenhouse Gas Emission Balances and Economic Evaluation. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 99, pp. 192-205. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.03.005
- [3] Huijun, G., Laihong, S., Fei, F., and Shouxi, J. (2015). Experiments on Biomass Gasification Using Chemical Looping with Nickel-Based Oxygen Carrier in a 25 kWth Reactor. **Applied Thermal Engineering**. Vol. 85, pp. 52-60. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2015.03.082
- [4] Lanza, R., Dalle Nogare, D., and Canu, P. (2008). Gas Phase Chemistry in Cellulose Fast Pyrolysis. **Industrial & Engineering Chemistry Research**. Vol. 48, Issue 3, pp. 1391-1399. DOI: 10.1021/ie801280g
- [5] Wang, Z., He, T., Qin, J., Wu, J., Li, J., and Zi, Z. (2015). Gasification of Biomass with Oxygen-Enriched Air in a Pilot Scale Two-Stage Gasifier. **Fuel**. Vol. 150, pp. 386-393. DOI: 10.1016/j.fuel.2015.02.056
- [6] Ateş, F. and Erginel, N. (2012). The Regression Analysis of Fast Pyrolysis Product Yields and Determination of Product Quality. **Fuel**. Vol. 102, pp. 681-690. DOI: 10.1016/j.fuel.2012.05.051
- [7] Kim, J. W., Lee, H. W., Lee, I. -G., Jeon, J. -K., Ryu, C., and Park, S. H. (2014). Influence of Reaction Conditions on Bio-Oil Production from Pyrolysis of Construction Waste Wood. **Renewable Energy**. Vol. 65, pp. 41-48. DOI: 10.1016/j.renene.2013.07.009
- [8] Koo, W. -M., Jung, S. -H., and Kim, J. -S. (2014). Production of Bio-Oil with Low Contents of Copper and Chlorine by Fast Pyrolysis of Alkaline Copper Quaternary-Treated Wood in a Fluidized Bed Reactor. **Energy**. Vol. 68, pp. 555-561. DOI: 10.1016/j.energy.2014.02.020
- [9] Yang, E., Jun, M., Haijun, H., and Wenfu, C. (2015). Chemical Composition and Potential Bioactivity of Volatile from Fast Pyrolysis of Rice Husk. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. Vol. 112, pp. 394-400. DOI: 10.1016/j.jaap.2015.02.021
- [10] Yildiz, G., Ronsse, F., Venderbosch, R., Duren, R. V., Kersten, S. R. A., and Prins, W. (2015). Effect of Biomass Ash in Catalytic Fast Pyrolysis of Pine Wood. **Applied Catalysis B: Environmental**. Vol. 168-169, pp. 203-11. DOI: 10.1016/j.apcatb.2014.12.044
- [11] Zhang, L., Li, T., Quyn, D., Dong, L., Qiu, P., and Li, C. -Z. (2015). Formation of Nascent Char Structure During the Fast Pyrolysis of Mallee Wood and Low-Rank Coals. **Fuel**. Vol. 150, pp. 486-492. DOI: 10.1016/j.fuel.2015.02.066

- [12] Funke, A. and Ziegler, F. (2011). Heat of Reaction Measurements for Hydrothermal Carbonization of Biomass. **Bioresource Technology**. Vol. 102, Issue 16, pp. 7595-7598. DOI: 10.1016/j.biortech.2011.05.016
- [13] McDonald-Wharry, J., Manley-Harris, M., and Pickering, K. (2013). Carbonisation of Biomass-Derived Chars and the Thermal Reduction of a Graphene Oxide Sample Studied Using Raman Spectroscopy. **Carbon**. Vol. 59, pp. 383-405. DOI: 10.1016/j.carbon.2013.03.033
- [14] Du, S. -W., Chen, W. -H., and Lucas, J. A. (2014). Pretreatment of Biomass by Torrefaction and Carbonization for Coal Blend used in Pulverized Coal Injection. **Bioresource Technology**. Vol. 161, pp. 333-339. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.03.090
- [15] Sermiyagina, E., Saari, J., Kaikko, J., and Vakkilainen, E. (2015). Hydrothermal Carbonization of Coniferous Biomass: Effect of Process Parameters on Mass and Energy Yields. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. Vol. 113, pp. 551-556
- [16] Wu, Q., Zhang, S., Hou, B., Zheng, H., Deng, W., and Liu, D. (2015). Study on the Preparation of Wood Vinegar from Biomass Residues by Carbonization Process. **Bioresource Technology**. Vol. 179, pp. 98-103. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.12.026
- [17] Bridgwater, A. V., Toft, A. J., and Brammer, J. G. (2002). A Techno-Economic Comparison of Power Production by Biomass Fast Pyrolysis with Gasification and Combustion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Vol. 6, Issue 3, pp. 181-246. DOI: 10.1016/S1364-0321(01)00010-7
- [18] Pattiya, A. (2011). Bio-Oil Production Via Fast Pyrolysis of Biomass Residues from Cassava Plants in a Fluidised-Bed Reactor. **Bioresource Technology**. Vol. 102, Issue 2, pp. 1959-67. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.08.117
- [19] Theengineeringtoolbox. (2017). **Fuel Gases and Heating Values**. Access (19 October 2017). Availble (https://www.engineeringtoolbox.com/heating-values-fuel-gases-d_823.html)
- [20] Çengel, Y. A. and Boles, M. A. (2006). **Thermodynamics: An Engineering Approach 5th edition**. The McGraw-Hill Companies. pp. 883-973.
- [21] Lanza, R., Dalle Nogare, D., and Canu, P. (2009). Gas Phase Chemistry in Cellulose Fast Pyrolysis. **Industrial & Engineering Chemistry Research**. Vol. 48, Issue 3, pp. 1391-1399. DOI: 10.1021/ie801280g
- [22] Billaud, J., Valin, S., Peyrot, M., and Salvador, S. (2016). Influence of H₂O, CO₂ and O₂ Addition on Biomass Gasification in Entrained Flow Reactor Conditions: Experiments and Modelling. **Fuel**. Vol. 166, pp. 166-178. DOI: 10.1016/j.fuel.2015.10.046
- [23] Chutichai, B., Patcharavorachot, Y., Assabumrungrat, S., and Arpornwichanop, A. (2015). Parametric Analysis of a Circulating Fluidized Bed Biomass Gasifier for Hydrogen Production. **Energy**. Vol. 82, pp. 406-13. DOI: 10.1016/j.energy.2015.01.051