NU Science Journal 2010; 6(2): 182 - 193

การผลิตแก๊สโปรดิวเซอร์จากเศษผักเพื่อใช้เผาของเสียทางเคมี และนำความร้อนมาใช้ผลิตเครื่องปั้นดินเผา

ฐิติกร บุญชูวงศ์[1]* รัตนชัย ไพรินทร์[2] ศิรินุช จินดารักษ์[3]และ ศิริชัย เทพา[1]

Producer Gas Production from Vegetables Residue for Burn Chemical Waste and Earthenware Production by Waste Heat

Thitigorn Boonchoovong[1]*, Rattanachai Pairintra[2], Sirinuch Chindaruksa[3], Sirichai Thepa[1]

[1]ภาควิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
[2]หลักสูตรเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี วิทยาเขตบางขุนเทียน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150
[3]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000
*Corresponding author. E-mail: melodic_man@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาการผลิต Producer gas จากเตาผลิตแก๊สแบบ Invert downdraft เชื้อเพลิงที่ใช้ คือ เศษผักแห้ง โดยใช้ Producer gas ที่ผลิตได้เผาของเสียทางเคมีซึ่งใช้กลีเซอรีนเป็นกรณีศึกษา และนำความร้อนไปใช้ผลิตเครื่องปั้นดินเผา เตาผลิตแก๊สมีลักษณะเป็นทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 16 cm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 20 cm สูง 60 cm มีฐานสำหรับนำเถ้าออก ขนาด 30x15 cm ความจุของฐานเท่ากับ 18,000 cm^3 เตาสามารถจุเชื้อเพลิงเศษผักแห้งได้ 0.9 kg โดยศึกษาถึงปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) แก๊สมีเทน (CH_4) ค่าความร้อนของ Producer gas ปริมาณกลีเซอรีนที่เผาได้ และศึกษาคุณสมบัติของเครื่องปั้นดินเผาที่ได้จากการทดลอง ผลการทดลองพบว่าค่าความร้อนของเศษผักแห้งมีค่า 12.39 MJ/kg ที่ความชื้น 2.24% มาตรฐานเปียก (%wb.) การผลิต Producer gas พบว่ามีองค์ประกอบของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ 15.64% แก๊สมีเทน 0.29% และมีค่าความร้อนเท่ากับ 1,911.92 kJ/Nm^3 ส่วนการทดลองเผากลีเซอรีน พบว่าการผลิต Producer gas โดยใช้เศษผัก 0.9 kg หนึ่งครั้ง สามารถเผากลีเซอรีนได้เฉลี่ย 2.84 ลิตร โดยอุณหภูมิไอเสียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 529 ºC และเมื่อนำความร้อนที่เกิดขึ้นไปใช้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทั่วไปกับเครื่องปั้นดินเผามาตรฐาน พบว่าสีของเนื้อดินค่อนข้างสุกตัว แต่สุกไม่ทั่วทั้งใบของ

ผลิตภัณฑ์ เมื่อเคาะมีลักษณะเสียงที่ก้องแต่ยังไม่แกร่ง เนื่องจากเวลาในการเผาสั้นเกินไป และการควบคุมอุณหภูมิการเผาไหม้กลีเซอรีนทำได้ยาก แต่โดยรวมแล้วเครื่องปั้นดินเผาที่ผลิตได้มีลักษณะไม่แตกต่างจากเครื่องปั้นดินเผามาตรฐานมาก จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่า เศษผักเหลือทิ้งตากแห้งสามารถนำมาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้โดยสามารถเผากลีเซอรีนได้ และมีความเป็นไปได้ในการนำความร้อนมาใช้ผลิตเครื่องปั้นดินเผา

คำสำคัญ: เศษผัก เตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้น โปรดิวเซอร์แก๊ส กลีเซอรีน เครื่องปั้นดินเผา

Abstract

The major objective of this study was to investigate the production of producer gas from an updraft gasifier using dried vegetable residue of 12.39 MJ/kg heating value with 2.24% moisture content (wet basic) as fuel. The obtained producer gas was then used to burn glycerin, the chemical waste from bio-diesel production. And the heat, waste from this combustion was used in production of earthenware. The gasifier was cylindrical configuration with 16 cm. inside- and 20 cm. outside diameter and 60 cm height, which was 18,000 cm^3 in capacity. The dimension of ash discharging door was 30x15 cm. This gasifier could contain 0.9 kg of dried vegetable residue. The composition of the producer gas such as carbon monoxide (CO) and methane (CH_4) were investigated by Gas chromatography (GC) and the heating value was calculated base on these data. Heating value of vegetable residue is 12.39 MJ/kg. at moistures content 2.24% wet basis. The main combustible gases in producer gas were 15.64% CO and 0.29% CH_4 with the heating value of 1911.9 kJ/Nm^3. In one batch of experiment, 2.84 liter of glycerin could be burned and provided exhaust gas at 529^oC, this temperature was highenough to use in earthenware production. The result showed that the earthenwares produced by exhaust gas were not really much different from standard products. Slightly different in colors were observed and resounding but not strong sound occurred when earthenwares were knocked. These may be caused by using short burning residence time and uncomplete of glycerin burning. It may be concluded that it is feasible to produce earthenware by using waste heat from glycerin combustion.

Keywords: vegetable residue, updraft gasifier, producer gas, glycerine, earthenware

บทนำ

ประเทศไทยอยู่ในช่วงของการพัฒนา ทำให้ความต้องการใช้พลังงานมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2550 มีการใช้พลังงานคิดเป็นมูลค่า 1,487,130 ล้านบาท ซึ่งเป็นการนำเข้ากว่า 869,038 ล้านบาท (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551) หรือประมาณ 60% ของมูลค่าการใช้พลังงาน การที่ประเทศไทยพึ่งพาแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลมากเกินไป ส่งผลให้เกิดการขาดดุลทางการค้า และในการใช้งาน เมื่อเผาไหม้ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ดังนั้น การพัฒนาระบบพลังงานของประเทศไทยแนวทางหนึ่งที่สามารถทำได้ คือ การหันไปพึ่งพาพลังงานหมุนเวียน โดยแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่ในประเทศและมีศักยภาพมากพอที่จะนำมาผลิตพลังงานได้ คือ ชีวมวล น้ำ ลม และแสงอาทิตย์ โดยในปี พ.ศ. 2546 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานหมุนเวียน 26.4% ซึ่งเป็นเชิงพาณิชย์เพียง 0.5% และมีนโยบายใช้พลังงานหมุนเวียนเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้นเป็น 9.2% ภายในปี พ.ศ. 2554 (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2551) ประเทศไทยมีพื้นฐานทางเกษตรกรรมและมีผลผลิตมาก วัสดุที่เหลือจากการบริโภคสามารถนำมาใช้แปรรูปให้เป็นพลังงานได้ โดยในงานวิจัยนี้ใช้เศษผักแห้งเป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากผักสามารถหาได้ง่ายมีผลผลิตตลอดปีและคนส่วนใหญ่นิยมรับประทานผัก แต่ในการรับประทานจะเลือกแต่ส่วนที่เป็นยอดอ่อนไม่นิยมรับประทานใบแก่ จึงทำให้มีเศษผักเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ซึ่งเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุชีวมวลให้เป็นพลังงานมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ คือ เทคโนโลยีการเปลี่ยนเชื้อเพลิงในรูปของแข็งให้อยู่ในรูปของแก๊สเชื้อเพลิง Gasification จากที่มีผู้สนใจผลิตไบโอดีเซลมากขึ้น ทำให้กลีเซอรีนที่เป็นผลพลอยได้มีปริมาณมากขึ้นด้วย โดยกลีเซอรีนที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลถือว่าเป็นของเสียทางเคมีที่ต้องมีการคัดแยกออกจากขยะมูลฝอยทั่วไป ซึ่งวิธีการที่ใช้ทำลายของเสียทางเคมีอันตรายวิธีหนึ่งที่นิยมใช้คือ การเผาทำลายด้วยความร้อนซึ่งเป็นการเผาโดยใช้ออกซิเจนที่มากเกินพอ (Excess air) และใช้ระยะเวลานานพอ เพื่อทำให้สารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในของเสียแตกตัวทางความร้อนและเปลี่ยนสภาพเป็นผลิตภัณฑ์การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (มงคล จึงสถาปัตย์ และคณะ, 2546; Manh, 1991; ACS Task Force, 1994)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการผลิต Producer gas จากเชื้อเพลิงเศษผัก โดยศึกษาองค์ประกอบและค่าความร้อนของแก๊สที่ผลิตได้เพื่อหาความเป็นไปได้ของการนำเศษผักเหลือทิ้งมาใช้ผลิตพลังงาน และใช้ Producer gas ที่ผลิตได้เผากลีเซอรีนที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซลและนำความร้อนไปใช้ผลิตเครื่องปั้นดินเผา

ทฤษฎี

Gasification เป็นกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งภายใต้สภาวะที่มีการจำกัดปริมาณออกซิเจนที่ทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) เป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์หรือเผาไหม้บางส่วน (Partial combustion) เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปพลังงานทางเคมีความร้อน ทำให้แก๊สที่เกิดจากกระบวนการ Gasification เป็นแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible gas) แก๊สนี้เรียกว่า Producer gas มีแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) แก๊สมีเทน (CH_4) แก๊สไฮโดรเจน (H_2) เป็นส่วนประกอบประมาณ 30% ที่เหลือเป็นไนโตรเจน (N_2) และสารระเหยต่าง ๆ โดยทั่วไปสามารถแบ่งโซนการเกิดแก๊สตามปฏิกิริยาทางเคมีและความแตกต่างของผลในแต่ละโซนได้ 4 โซน โดยที่ในความเป็นจริงแต่ละโซนอาจเกิดเหลื่อมล้ำ (Overlap) กันอยู่ก็ได้ (วิรัช อรุณลักษดำรง, 2531; ณัฐ วรยศ และคณะ 2551)

-โซนการเผาไหม้ (Combustion Zone) เป็นตำแหน่งที่เชื้อเพลิงกับออกซิเจนทำปฏิกิริยาเคมีกัน โดยคาร์บอนและไฮโดรเจนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงเผาไหม้กับออกซิเจนที่อยู่ในอากาศ ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในโซนการเผาไหม้จะมีค่ามากกว่า 800°C ขึ้นไป ดังสมการที่ 1 และ 2

$$C+O_2 \longrightarrow CO_2+Heat \quad (1)$$

$$2H_2+O_2 \longrightarrow 2H_2O+Heat \quad (2)$$

-โซนปฏิกิริยาก่อเกิดแก๊ส (Reduction Zone) โซนนี้เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแก๊สที่เผาไหม้ไม่ได้จากโซนการเผาไหม้ให้กลายเป็นแก๊สที่เผาไหม้ได้ (Combustible gas) ซึ่งมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นหลายปฏิกิริยาด้วยกัน และมีช่วงของอุณหภูมิการเกิดอยู่ระหว่าง 600-900°C โดยคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำไหลผ่านคาร์บอนที่กำลังลุกไหม้อยู่ ก่อเกิดปฏิกิริยาได้แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน ดังสมการ

$$C + CO_2 \longrightarrow 2CO - Heat : Boudouard\ Reaction \quad (3)$$

$$C + H_2O \longrightarrow CO + H_2 - Heat : Watergas\ Reaction \quad (4)$$

$$C + 2H_2 \longrightarrow CH_4 + Heat : Methanetion\ reaction \quad (5)$$

$$C + 2H_2O \longrightarrow CO_2 + 2H_2 - Heat : Watergas\ reaction \quad (6)$$

$$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2 + Heat : Water\ shift\ reaction \quad (7)$$

ขณะที่แก๊สจากโซนการเผาไหม้ (CO_2) ไหลเข้ามาทำให้อุณหภูมิของแก๊สลดลงเนื่องจากในสมการที่ (3) (4) และ (6) เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic reaction) ในขณะเดียวกันไฮโดรเจนบางส่วนก็ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนเกิดเป็นแก๊สมีเทนได้เล็กน้อยดังสมการที่ (5) โดยจะเกิดขึ้นที่ความดันสูง และเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน เช่นเดียวกับสมการที่ (7) โดยเป็นปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้นโดยไฮโดรเจนที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงทำปฏิกิริยากลายเป็นน้ำและทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่อ ซึ่งทำให้แก๊สที่ผลิตได้มีค่าความร้อนลดลง ปฏิกิริยาหลักที่เกิดในโซนก่อเกิดแก๊สมีอยู่ 3 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาในสมการที่ (3) (4) และ (5)

-โซนกลั่นสลาย (Distillation Zone) หรือ Pyrolysis zone โซนนี้เชื้อเพลิงถูกย่อยสลายด้วยความร้อนโดยปราศจากออกซิเจน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนเพื่อเปลี่ยนสารออร์แกนิกที่อยู่ในเชื้อเพลิง ได้สารระเหย (Volatile matter) โดยอุณหภูมิในโซนนี้เกิดขึ้นระหว่าง 135-600°C ของแข็งที่เหลือจากกระบวนการกลั่นสลาย คือ คาร์บอนในรูปของถ่านและแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้และไม่สามารถเผาไหม้ได้ ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อในโซนก่อเกิดแก๊สและโซนการเผาไหม้ ดังสมการที่ 8

$$\text{Dry wood} + \text{Heat} \longrightarrow \text{Charcoal} + CO + CO_2 + H_2O + C_2H_6 + \text{Pyroligneous Acids} + \text{Tars} \qquad (8)$$

-โซนไล่ความชื้น (Drying Zone) ในโซนนี้ความร้อนไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการกลั่นสลายตัวของสารระเหย แต่สามารถที่จะระเหยความชื้นที่มีอยู่ภายในตัวเชื้อเพลิงออกมาในรูปของไอน้ำ โดยอุณหภูมิของโซนนี้เริ่มเกิดขึ้นตั้งแต่อุณหภูมิบรรยากาศไปจนถึง 135°C ดังสมการที่ 9

$$\text{Wood} + \text{Heat} \longrightarrow \text{Dry wood} + \text{Steam} \qquad (9)$$

ในงานวิจัยนี้ใช้เตาผลิตแก๊สแบบ Invert downdraft ในการทดลอง การทำงาน แบ่งออกเป็น 3 โซนหลัก คือ โซนกลั่นสลาย โซนปฏิกิริยาก่อเกิดแก๊ส และโซนการเผาไหม้ โดยอากาศไหลเข้าทางด้านล่างและแก๊สที่ผลิตได้ไหลออกด้านบนของเตา (กิตติกร สาสุจิตต์ และคณะ, 2551; Belonio, 2005)

การดำเนินงานวิจัย

การผลิต Producer gas จากเตาผลิตแก๊สแบบ Updraft ซึ่งใช้เชื้อเพลิงเศษผักแห้ง โดยนำ Producer gas ที่ผลิตได้ไปใช้เผากลีเซอรีน และนำความร้อนทิ้งที่เกิดขึ้นไปใช้ผลิตเครื่องปั้นดินเผา ใช้อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ ดังนี้

1. การหาความชื้นค่าและความร้อนของเชื้อเพลิง

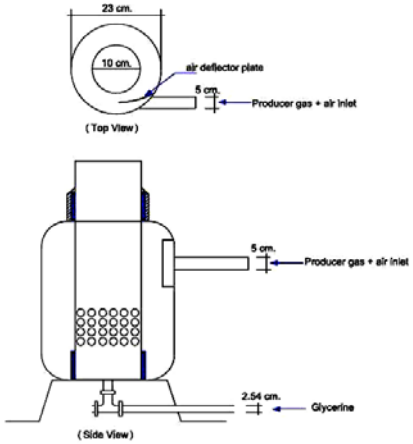
หลังจากที่รวบรวมเศษผักสดเหลือทิ้งจากตลาด ซึ่งเศษผักที่ได้ส่วนใหญ่เป็นเปลือกกะหล่ำปี ใบคะน้า ผักกาด และเศษผักอื่นๆ โดยมีความชื้นมากกว่า 80% นำมาตากแดดให้แห้งเป็นระยะเวลา 4-6 วัน จากนั้นสุ่มตัวอย่างของเศษผักมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้น แล้วอบแห้ง โดยอบจนกว่าน้ำหนักสุดท้ายของเศษผักมีค่าคงที่ จากนั้นหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter การนำเศษผักเหลือทิ้งจากการบริโภคมาใช้เป็นเชื้อเพลิงมีข้อดีตรงที่สามารถลดปริมาณการเกิดขยะได้ โดยถ้าปล่อยทิ้งไว้จะเกิดการย่อยสลายเน่าเสียและส่งกลิ่นเหม็น ซึ่งในกระบวนการย่อยสลายมีการปล่อยแก๊สมีเทนออกมาซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของภาวะโลกร้อน

2. การผลิต Producer gas โดยนำไปเผากลีเซอรีนและผลิตเครื่องปั้นดินเผา

เตาผลิตแก๊สที่ใช้ในการทดลองเป็นเตาชนิด Invert downdraft มีลักษณะเป็นทรงกระบอก 2 ชั้น ทำจากเหล็กแผ่นม้วนขึ้นรูป ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 cm หนา 2 mm สูง 60 cm และมีปริมาณความจุเท่ากับ 12,063 cm^3 สามารถจุเศษผักได้ประมาณ 0.9 kg ชั้นนอกทำจากสังกะสี หุ้มฉนวน มีฐานสำหรับนำเถ้าออกขนาด 40x30x15 cm ด้านข้างมีพัดลม DC 12 V 1 A โดยมีสวิทช์ปรับความเร็วของพัดลม ส่วนฝาของเตาทำด้วยเหล็กหนา 3 mm มีท่อทางเดินแก๊สและเจาะรูติดตั้ง Thermocouple สำหรับวัดอุณหภูมิทางออกของแก๊สที่ผลิตได้ ดังรูปที่ 1

รูป 1 เตาผลิตแก๊สแบบ Invert downdraft

ระบบเผากลีเซอรีนที่ใช้ในการทดลองเป็นระบบเผาที่ใช้สำหรับเผาเชื้อเพลิงเหลว ห้องเผาไหม้เป็นแบบ 2 ชั้น ทำจากเหล็กหนาทนไฟ โดยมีความสูง 15 cm เส้นผ่านศูนย์กลางนอกเท่ากับ 23 cm เส้นผ่านศูนย์กลางในเท่ากับ 10 cm ภายในมีแผ่นเหล็กสำหรับบังคับทิศทางการไหลของ Producer gas ที่ผสมกับอากาศเพื่อให้ไหลแบบหมุนวนคล้ายลักษณะของไซโคลน (Turk Burner, 2008) ดังรูปที่ 2



รูป 2 ระบบเผากลีเซอรีน

ในการทดลองมีขั้นตอนการดำเนินงานต่างๆ ดังนี้

1. เตรียมเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองโดยการชั่งน้ำหนักเริ่มต้น แล้วบรรจุเชื้อเพลิงลงไปในเตาให้เต็ม หลังจากนั้นนำเชื้อเพลิงที่เหลือมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไป

2. จุดไฟจากด้านบนเตาโดยใช้กระดาษช่วยในการติดไฟ ขณะที่ไฟเริ่มติดจนทั่วหน้าเตา เปิดพัดลมป้อนอากาศเข้าสู่เตา นำฝาครอบปิด

3. บันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแก๊สที่ทางออกทุก 6 นาที โดยใช้ Thermocouple Type K ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูล Data logger ใช้เวลาในการทดลองแต่ละครั้งประมาณ 60 นาที

4. ขณะที่บันทึกอุณหภูมิทางออกของแก๊ส ในเวลาเดียวกันลองจุดไฟที่จุดทดลองติดไฟของแก๊สที่ผลิตได้ เริ่มเก็บตัวอย่างแก๊สทุก 6 นาที โดยใช้หลอดเก็บแก๊สเพื่อนำแก๊สที่ผลิตได้มาวิเคราะห์หาองค์ประกอบ โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography (GC) กับ Gas Analyzer

5. ทดลองซ้ำโดยปรับอัตราการไหลของอากาศที่เข้าทำปฏิกิริยา 3 ระดับ คือ 0.738×10^{-3} 2.026×10^{-3} และ 2.435×10^{-3} m^3/s

6. เมื่อทราบอัตราการไหลที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต Producer gas ทำการทดลองที่อัตราการไหลนั้นซ้ำ โดยนำ Producer gas ที่ผลิตได้มาใช้เผากลีเซอรีนและนำความร้อนที่ได้ไปใช้เผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา โดยใช้ระยะเวลาในการเผา 60 นาที

7. ทดลองผลิตเครื่องปั้นดินเผาโดยใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงซึ่งใช้ระยะเวลาการเผา 60 นาที โดยเป็นการจำลองการผลิตเครื่องปั้นดินเผามาจากเตาขนาดใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรม เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ได้ในข้อ 6

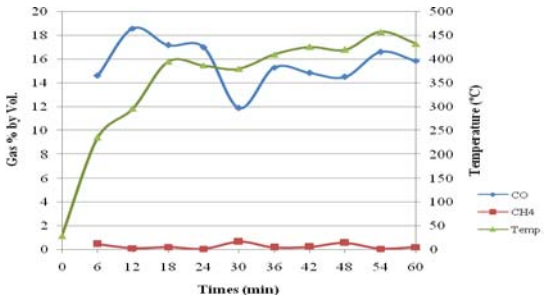
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการทดลองค่าความชื้นของเศษผักเพลิงมีค่าเท่ากับ 2.24% มาตรฐานเปียก (%wb.) โดยมีค่าความร้อนเท่ากับ 12.39 MJ/kg การทดลองผลิต Producer gas ใช้เชื้อเพลิงเศษผักแต่ละการทดลองเฉลี่ย 0.9 kg ซึ่งค่าความร้อนของ Producer gas สามารถหาได้โดยการคำนวณจากองค์ประกอบของแก๊สที่ผลิตได้ที่สภาวะมาตรฐาน 25°C 1 atm ดังตาราง 1

ตาราง 1 องค์ประกอบและค่าความร้อนของ Producer gas ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ

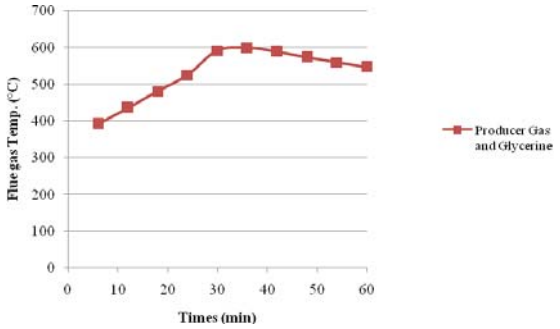
Air flow rate (m^3/s)	Producer gas			
	CO % Vol.	CH_4 % Vol.	HHV (kJ/Nm^3)	Gas Temp. (ºC)
0.738×10^{-3}	15.55	0.25	1,893.53	225
2.026×10^{-3}	15.64	0.29	1,911.92	384
2.435×10^{-3}	12.08	0.33	1,517.69	388

จากการทดลองผลิต Producer gas พบว่าที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 2.026×10^{-3} m^3/s ให้ Producer gas ที่มีค่าความร้อนเท่ากับ 1,911.92 kJ/Nm^3 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่พบโดยแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และแก๊สมีเทน (CH_4) ที่เกิดขึ้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.64% และ 0.29โดยปริมาตรตามลำดับ และอุณหภูมิทางออกของแก๊สมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 384°C จากตารางจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของ Producer gas ที่ผลิตได้ไม่มีแก๊สไฮโดรเจน H_2 เนื่องจากมีการเกิด H_2 น้อย และ H_2 ที่เกิดขึ้นยังทำปฏิกิริยากับคาร์บอน C ได้ CH_4 ดังสมการที่ 5 ประกอบกับ H_2 มีน้ำหนักโมเลกุลที่เบาจึงทำให้เกิดการรั่วไหลได้ง่ายในการกักเก็บ ทำให้ค่าความร้อนที่วิเคราะห์ได้มีค่าไม่สูง ซึ่งในช่วงแรกแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) เกิดขึ้นสูงดังในสมการที่ 3 แต่เมื่อผ่านไป 30 นาที การเกิด CO มีความคงที่มากขึ้นโดยมีอัตราการเกิดอยู่ที่ประมาณ 14-16% ในขณะที่แก๊สมีเทน (CH_4) เกิดขึ้นน้อยตลอดช่วงการทดลองดังในสมการที่ 5 ซึ่งในนาทีที่ 30 ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) มีการเกิดต่ำสุดในขณะที่มีการเกิดแก๊สมีเทน (CH_4) สูงที่สุด ดังรูปที่ 3



รูป 3 องค์ประกอบแก๊สของเชื้อเพลิงผักที่อัตราการไหลอากาศ 2.026×10^{-3} m^3/s

ขณะที่การเกิดแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์เพิ่มขึ้น การเกิดแก๊สมีเทนจะลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic reaction) ดังสมการที่ 3 แต่ปฏิกิริยาการเกิดแก๊สมีเทนเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) ดังสมการที่ 5 ดังนั้นทั้งสองปฏิกิริยาจึงมีอัตราการเกิดที่สลับกันตลอดช่วงการทดลอง แต่ส่วนต่างที่ลดลงของปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไม่ได้เท่ากับส่วนที่เพิ่มขึ้นของแก๊สมีเทนเนื่องจากปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงเกิดเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มากขึ้น ดังสมการที่ 6 และ 7 การใช้ Producer gas เผากลีเซอรีน พบว่ากลีเซอรีนที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซล สามารถเผาไหม้ได้โดยไม่ต้องใส่สารเติมแต่ง ซึ่งการติดไฟของกลีเซอรีนเป็นไปในลักษณะของการระเหยกลายเป็นไอเมื่อได้รับความร้อนจากการเผา Producer gas โดยมีเปลวไฟลอยติดอยู่ด้านบนคล้ายการลักษณะการติดไฟของแอลกอฮอล์ โดยในการผลิต Producer gas หนึ่งครั้ง สามารถเผาทำลายกลีเซอรีนได้ประมาณ 2.84 ลิตร อุณหภูมิการไอเสียเฉลี่ยเท่ากับ 529 °C และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 600 °C ดังรูปที่ 4



รูป 4 อุณหภูมิไอเสียที่เกิดจากการเผากลีเซอรีนโดย Producer gas

และเมื่อนำความร้อนที่เกิดขึ้นไปใช้ผลิตเครื่องปั้นดินเผา พบว่าเมื่อการเผาเครื่องปั้นดินเผา 1 ชั่วโมง สีของเนื้อดินค่อนข้างสุกตัว โดยยังคงรอยคล้ำของเนื้อดินที่ยังไม่สุกตัวสมบูรณ์ในบางส่วน และเมื่อเคาะดูเสียงมีความก้องและแกร่งมากขึ้นแต่ยังไม่กังวาน ในขณะที่เครื่องปั้นดินเผาที่ได้จากการใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิการเผาเฉลี่ยเท่ากับ 314°C มีการสุกตัวของเนื้อดินมากกว่าแต่ยังไม่ทั่วทั้งใบเช่นกัน เมื่อเคาะฟังเสียงมีลักษณะเสียงที่ก้องและแกร่งกว่า ดังรูปที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ได้จากการเผากลีเซอรีนโดย Producer gas กับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่เผาโดยใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง สภาพโดยรวมแล้วมีความแตกต่างกันไม่มาก

รูป 5 ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ผ่านการเผา 1 ชั่วโมง

สรุป

จากการทดลองพบว่าเศษผักมีค่าความร้อนเท่ากับ 12.39 MJ/kg ที่ความชื้นเท่ากับ 2.24% และเมื่อผลิต Producer gas เชื้อเพลิงเศษผักให้แก๊สที่มีองค์ประกอบของ CO 15.64% CH_4 0.29% อุณหภูมิทางออกของแก๊สมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 384°C ค่าความร้อนของแก๊สที่ผลิตได้เท่ากับ 1,911.92 kJ/Nm^3 ที่อัตราการไหลอากาศเท่ากับ $2.026x10^{-3}$ m^3/s ซึ่งเป็นอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเศษผักมีค่า bulk density เท่ากับ $74.6x10^{-3}$ g/cm^3 และมีช่องว่างระหว่างเชื้อเพลิงมาก ทำให้อากาศที่ไหลเข้าไปทำปฏิกิริยาในระบบไหลได้ง่ายทำให้ต้องการอัตราการไหลอากาศที่ไม่สูงในการทำปฏิกิริยา ซึ่ง Producer gas ที่ผลิตได้ สามารถเผากลีเซอรีนได้ 2.84 liter โดยมีอุณหภูมิของการเผาไหม้เฉลี่ยเท่ากับ 529 ºC และมีแนวโน้มที่มีความเป็นไปได้ในการนำความร้อนที่เกิดขึ้นไปใช้ผลิตเครื่องปั้นดินเผา โดยเพิ่มระยะเวลาการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงเศษผักจึงน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเป็นเชื้อเพลิงเสริมสำหรับผลิตพลังงาน

ข้อเสนอแนะ

- ควรศึกษาถึงความหลากหลายของชนิดเชื้อเพลิงโดยเฉพาะเชื้อเพลิงที่มาจากของเหลือใช้ (Waste) เพื่อลดมลภาวะสู่สิ่งแวดล้อม รวมถึงการนำเถ้าที่เหลือไปใช้ทำประโยชน์ เช่น การนำเถ้าที่เกิดไปผสมกับปูน Portland เพื่อลดสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและเพิ่มความแข็งแรง

- ควรมีการวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สแบบ Real time เพื่อความแม่นยำในการหาค่าความร้อนของ Producer gas รวมถึงการสร้างเตาผลิตแก๊ส 2 ตัว เพื่อสามารถทำงานได้แบบกึ่งต่อเนื่อง โดยสลับการผลิตแก๊สโดยใช้เตาที่ละตัว ทำให้สามารถผลิตแก๊สที่มีความต่อเนื่องมากขึ้น

- ควรมีการศึกษาถึงระบบเผาไหม้กลีเซอรีนโดยอาจใช้เป็นระบบหัวฉีดซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้ และควรมีการศึกษาถึงความเป็นมลพิษของแก๊สไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้กลีเซอรีน

- ควรพิจารณาอัตราการไหลอากาศใหม่ในการนำ Producer gas ไปใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในเนื่องจากลักษณะการใช้งานต้องการแก๊สที่มีอุณหภูมิต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหงที่กรุณาเอื้อเฟื้อเครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อนและเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิง สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี Lab Biogas และคณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี Lipid Lab ที่เอื้อเฟื้อเครื่องวิเคราะห์แก๊ส คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่สนับสนุนทุนการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, *สถานการณ์พลังงานในปี 2550 และแนวโน้มปี 2551*. (2551) เมื่อ 5 สิงหาคม 2551 จาก http: //.dede.go.th/dede.

กิตติกร สาสุจิตต์, ณัฐวุฒิ ดุษฎี และคณะ. (2551). การประเมินสมรรถนะเตาแก๊สชีวมวลสำหรับ ครัวเรือนโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง. รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, สำนักงานพลังงานภูมิภาค 10 เชียงใหม่

ณัฐ วรยศ, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และคณะ (2551). การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าระดับชุมชนโดยใช้พลังงานจากไม้โตเร็ว. รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, มหาวิทยาลัยราชมงคลวิทยาเขตพายัพ, การไฟฟ้าฝ่ายผลิต

มงคล จึงสถาปัตย์ชัย, สุธรรม ปทุมสวัสดิ์, สมรัฐ เกิดสุวรรณ. (ตุลาคม 2546). *การศึกษาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการเผาทำลายของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการในระบบเตาเผาหมุนวน*. การประชุมวิชาการเครือข่ายเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 จังหวัดปราจีนบุรี

วิรัช อรุณลักษดำรง. (2531). เตาเผาแก๊สแบบไหลขึ้นเพื่อการเผาไหม้โดยตรง. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, *พลังงานและทางเลือกการใช้เชื้อเพลิงของประเทศไทย*, (2551) เมื่อ 5 สิงหาคม 2551 จาก http: //www.onep.go.th/

ACS Task Force on Laboratory Waste Management (1994). *Laboratory Waste Management,* American Chemical Society

Belonio A.T. (2005) *Rice Husk Gas Stove Handbook.* Department of Agricultural Engineering and Environment Management College of Agriculture Central Philippine University lloilo City, Philippines.

Mahn, W.J. (1991). *Academic laboratory chemical hazards guidebook* Van Nostrand Reinhold: New York.

Turk Burner. (2008). Retrieved June 6, 2008, from http://www.journeytoforever.org/biofuel_library/ethanol_motherearth/me10.html