

การผลิตแก๊สไฮโดรเจนโดยแก๊สฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยา : ส่วนที่ 1 การแยกสลาย
ชีวมวลด้วยความร้อนโดยการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนัก ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน และ
ผลกระทบของอุณหภูมิ

Hydrogen gas production by steam catalytic gasification: Part I Pyrolysis of biomass by
Thermogravimetric Analysis, Ni loaded coal catalyst and temperature effects

ชีวัส ภูหิรัญ และ สุภรินทร์ ไชยกลางเมือง*
ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Cheewasu Phuhiran and Suparin Chaiklangmuang*

Department of Industrial Chemistry, Faculty of Science, Chiang Mai University

Muang, Chiang Mai 50200 Thailand Tel: 053-943 401 Fax: 053-892 262 E-mail: suparin@chiangmai.ac.th

บทคัดย่อ

ชีวมวลคือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนจากธรรมชาติ และสามารถนำมาใช้เพื่อผลิตเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลได้ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากชีวมวลขนาด 0.25 – 0.45 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งสองชั้นตอน และนิกเกิลบนถ่านหินเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา วัตถุประสงค์ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สไฮโดรเจน ศึกษาตัวแปร คือ อุณหภูมิช่วง 500 – 650 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยน้ำหนักของชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1:1 ถึง 1:5 และเปรียบเทียบผลการศึกษาชีวมวลชนิดต่างๆ ซึ่งในการทดลองส่วนที่ 1 นี้ได้ทำการศึกษา ชีวมวล คือ ยูคาลิปตัส ด้วยกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบเทอร์โมกราวิเมตริก ทำการเปรียบเทียบผลการศึกษาของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินโดยใช้ไอน้ำ และไม่ใช้ไอน้ำที่ความดันไอน้ำ 30 กิโลปาสกาล และทำการหาสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วง 500-650 องศาเซลเซียส ที่สามารถผลิตแก๊สไฮโดรเจนได้มากที่สุด

คำสำคัญ : ชีวมวล ไฮโดรเจน แก๊สฟิเคชัน ตัวเร่งปฏิกิริยา
เทอร์โมกราวิเมตริก

Abstract

Biomass, an organic matter, is a natural renewable energy resource. It can be used to produce energy to substitute the fossil fuel. This research studies the hydrogen gas production from biomass with particle size 0.25 – 0.45 mm. A Two-stage fixed-bed reactor and nickel-loaded brown coal as a catalyst are used in the experiment. The purpose of this study is to identify the optimum conditions producing high hydrogen gas yield. The

variables are temperature ranging 500-650 °C and biomass: catalyst weight ratio ranging from 1:1 to 1:5. The results of Eucalyptus study will be compared with other biomass. In part I of this experiment, pyrolysis is used for studying biomass behavior of eucalyptus by using thermogravimetric analysis technique (TGA). Comparison of Ni loaded coal with steam and without steam at steam partial pressure 30 kPa and investigate the appropriate temperature to produce the optimum hydrogen gas yield.

Key words : Biomass Hydrogen Gasification Catalyst TGA

1. บทนำ

ชีวมวล คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งพลังงานจากธรรมชาติ และสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงสังเคราะห์ได้ เนื่องจากในโครงสร้างของชีวมวลมีส่วนประกอบหลักเป็น คาร์บอน ไฮโดรเจน และ ออกซิเจน ประเทศไทย จัดเป็นประเทศเกษตรกรรม ชีวมวลส่วนมากมักจะเป็น เศษวัสดุ หรือสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจาก การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย ทลายปาล์ม เหง้ามัน ลำปะหลัง มูลสัตว์ เป็นต้น และส่วนในภาคของอุตสาหกรรม เช่น เศษขี้เลื่อยจากโรงงานแปรรูปไม้ หรือ โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งในอดีตนั้นมักจะเผาทิ้ง ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมา แต่ในปัจจุบันมีการนำเศษวัสดุจากชีวมวลเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้อย่างมากมาย และที่สำคัญคือนำชีวมวลที่เหลือทิ้งจากภาคการเกษตร ภาคอุตสาหกรรมมาแปรสภาพให้เป็นพลังงาน ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีมีความก้าวหน้ามากขึ้นซึ่ง ทำให้กระบวนการแปรสภาพชีวมวลนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยกระบวนการแปรสภาพชีวมวลจะแบ่งเป็น 2

ประเภทหลักๆ คือ กระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีชีวเคมี (Biochemical conversion process) และกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้ความร้อน (Thermochemical conversion process) ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็นกระบวนการย่อยๆ ได้ 3 กระบวนการคือ กระบวนการเผาไหม้ กระบวนการไพโรลิซิส และกระบวนการแกสซิฟิเคชัน ทั้งนี้ลักษณะของแต่ละกระบวนการนั้นขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการดำเนินการวัตถุประสงค์ หรือผลิตภัณฑ์หลักที่ต้องการ กระบวนการแกสซิฟิเคชัน เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดแก๊สเป็นการแปรรูปเชื้อเพลิงแข็งต่างๆ เช่น ถ่านหิน ไม้ ถ่านไม้ และชีวมวลอื่นๆ โดยอาศัยการให้ความร้อน ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด (Partial oxidation) ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากกระบวนการนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วย ไฮโดรเจน (H_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) และไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ซึ่งผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้เหล่านี้ สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหมุนกังหัน (Turbine) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารเคมี ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมัน เป็นต้น อีกทั้งยังมีน้ำมันทาร์ (Tar) และถ่านชาร์ (Char) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการแกสซิฟิเคชันอีกด้วย

แต่ทั้งนี้ทาร์ที่ได้จากกระบวนการแกสซิฟิเคชันนั้นค่อนข้างเป็นปัญหา และอุปสรรคต่อระบบของแกสซิฟิเคชัน เพราะทาร์มักจะทำให้เกิดการอุดตันในระบบท่อแก๊สทางออก จึงได้มีการศึกษาวิธีการที่จะลดปริมาณทาร์ลง เนื่องจากทาร์เป็นสารที่ทนความร้อนสูง ยากที่จะแตกตัวได้โดยใช้อุณหภูมิสูงเพียงอย่างเดียว ในงานวิจัยนี้จึงได้มีการนำตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน (Ni loaded brown coal) เข้ามาใช้ในระบบของกระบวนการแกสซิฟิเคชันเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊ส และช่วยลดปริมาณทาร์ที่เกิดขึ้นในระบบ โดยเลือกชนิดของถ่านหินที่มีหมู่ฟังก์ชันของออกซิเจน (O) ค่อนข้างสูงซึ่งแสดงถึงความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุกับนิกเกิล และนิกเกิลสามารถกระจายตัวได้ดีในโครงสร้างของถ่านหิน นอกจากนี้ถ่านหินยังมีราคาถูกเมื่อเทียบกับตัวรองรับ (Supporter) ชนิดอื่นๆ และไม่จำเป็นต้องนำกลับมาใช้ใหม่เมื่อหมดอายุการใช้งานแล้ว อีกทั้งสามารถกำจัดได้ง่ายด้วยการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ได้โดยตรง นอกเหนือจากนั้นภาคก่อนของนิกเกิลที่เหลือจากการเผาไหม้ ยังสามารถนำมาทำเป็นโลหะ หรือใช้ทำแบตเตอรี่ได้อีกด้วย [1 - 4]

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบหลัก โดยนำมาผ่านกระบวนการไพโรลิซิส ได้สารระเหยได้ (Volatile matter) ออกมา แล้วเข้าสู่กระบวนการแกสซิฟิเคชันโดยมีไนโตรเจน (N_2) เป็นแก๊สพา ทำการทดลองโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง 2 ชั้นตอน (Two stage fixed bed reactor) ใช้นิกเกิลบนถ่านหิน (Ni loaded brown coal) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยในงานวิจัยส่วนที่ 1 นี้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อตัวเร่งปฏิกิริยา โดยศึกษาในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 500 – 650 องศาเซลเซียส การเติมน้ำ และผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้

2. การทดลอง

2.1 ชีวมวล

งานวิจัยนี้ใช้วัตถุดิบเป็นไม้ยูคาลิปตัส จากจังหวัดปราจีนบุรี ซึ่งใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษโดยใช้ในส่วนที่เป็นกิ่งที่ถูกตัดทิ้งออกจากลำต้น เพื่อให้ลำต้นตรง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละกิ่งประมาณ 1 – 2 นิ้ว นำมาบด ร่อน ให้มีขนาดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.25 – 0.45 มิลลิเมตร

ก่อนทำการทดลองทุกครั้ง นำไปอบไล่ความชื้นที่ 107 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยา

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน เตรียมโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange method) โดยใช้ถ่านหินลิกันต์จากแม่เมาะที่มีขนาดต่ำกว่า 0.25 มิลลิเมตรเป็นตัวรองรับ (Supporter) ผสมกับสารละลายนิกเกิลคาร์บอเนตเบสิก ($NiCO_3 \cdot 2Ni(OH)_2 \cdot 4H_2O$) (Carlo Erba Reagenti SpA), $(NH_4)_2CO_3$ (Merck KGaA, Germany), สารละลายแอมโมเนีย 29 wt% และน้ำปราศจากไอออน (Deionization water) คนตลอดเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง แล้วล้างถ่านหินให้สะอาด นำไปอบแห้งที่ 107 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลในถ่านหินด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) [1,6]

ก่อนนำตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินมาใช้งาน ต้องนำไปไล่สารระเหย (Devolatized) ที่อยู่ในถ่านหินออกก่อน ด้วยกระบวนการไพโรลิซิส (Pyrolysis) โดยใช้อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน จึงจะได้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่พร้อมใช้ในระบบการแกสซิฟิเคชัน และในงานวิจัยนี้ใช้ทรายขนาด 0.5 – 1.0 มิลลิเมตร เป็นฐานในการรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic bed)

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของยูคาลิปตัส และถ่านหิน

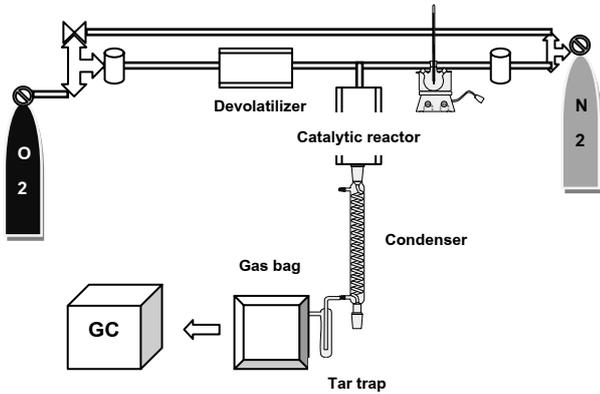
| | ยูคาลิปตัส | ถ่านหิน |
|--------------------------------------|------------|---------|
| การวิเคราะห์แบบประมาณ (wt %) | | |
| ความชื้น (as received) | 5.21 | 4.71 |
| สารระเหยได้ | 83.88 | 54.16 |
| เถ้า | 3.53 | 32.39 |
| คาร์บอนคงตัว | 12.60 | 13.45 |
| การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (wt %) | | |
| คาร์บอน | 48.28 | 49.61 |
| ไฮโดรเจน | 6.65 | 2.55 |
| ไนโตรเจน | 0.22 | 1.50 |
| ออกซิเจน (by diff) | 44.85 | 46.34 |
| ซัลเฟอร์ (by bomb washing) | 0.08 | 0.54 |
| ค่าความร้อน (cal/g) | 4,221 | 3,737 |

จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารของยูคาลิปตัส พบว่าค่าคาร์บอนคงตัวร้อยละ 12.60 โดยน้ำหนัก และสารระเหยได้ ค่อนข้างสูงคือร้อยละ 83.88 โดยน้ำหนัก และจากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุมีคาร์บอนร้อยละ 48.28 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.65 และออกซิเจนร้อยละ 44.85 โดยน้ำหนักและมีค่าความร้อน 4,221 แคลอรีต่อกรัม แสดงว่าศักยภาพของยูคาลิปตัสสามารถให้ผลิตภัณฑ์แก๊สสังเคราะห์ที่มีไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักได้

ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารของถ่านหินและค่าความร้อนผลที่ได้ พบว่าถ่านหินมีปริมาณเถ้าสูง และสารระเหยได้ปานกลาง ส่วนปริมาณความชื้น และคาร์บอนคงตัวมีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งเถ้าจัดเป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่เจือปนในถ่านหิน ส่วนสารระเหย และคาร์บอน-

คงตัวเป็นสารอินทรีย์หรือส่วนที่เผาไหม้ได้ในถ่านหิน ดังนั้นค่าความร้อนทั้งหมดจึงมาจากสองส่วนนี้ จากผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุพบว่าถ่านหินลิกไนต์มีปริมาณคาร์บอนไม่สูงมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนคงตัวในถ่านหินต่ำ และจากการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านหินลิกไนต์พบว่ามีความร้อนเท่ากับ 3,737 แคลอรีต่อกรัม

2.3 เครื่องปฏิกรณ์ และขั้นตอนสำหรับกระบวนการแก๊สลิเคชั่น



รูปที่ 1 แผนภาพเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง 2 ขั้นตอน

จากรูปที่ 1 แผนภาพเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง 2 ขั้นตอน (Two-stage fixed bed gasifier) เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งขั้นตอนการทดลองเริ่มจากชั่งยูคาลิปตัสปริมาณประมาณ 1 กรัมใส่ถ้วยเซรามิกแล้วจึงนำไปใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 (Devolatilizer) เพื่อไล่สารระเหย จากนั้นชั่งตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน โดยให้อัตราส่วนโดยมวลของยูคาลิปตัสต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1:1 โดยน้ำหนัก ผสมกับทรายขนาดอนุภาค 0.5 – 1 มิลลิเมตร ประมาณ 30 กรัม ใส่ลงในท่อปฏิกรณ์และนำท่อปฏิกรณ์ใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2 (Catalytic reactor) จากนั้นทำการให้อุณหภูมิเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2 ที่ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยทำการเปิดแก๊สไนโตรเจนให้ไหลผ่านระบบ ที่อัตราการไหล 120 มิลลิลิตรต่อนาทีที่ตลอดเวลาและเมื่อครบ 60 นาที จึงทำการตั้งอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่ 2 (Catalytic reactor) ตามสภาวะที่ต้องการคือ 500, 550, 600 หรือ 650 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ ถึงสภาวะที่ต้องการให้ทำการเปิดน้ำหล่อเย็นผ่านเครื่องควบแน่น (Condenser) และเปิดไอน้ำที่ความดัน 30 กิโลปาสคาลผ่านระบบ เปิดเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 (Devolatilizer) โดยตั้งอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และเริ่มทำการเก็บแก๊สโดยใช้ถุงเก็บแก๊ส (Gas sampling bag) ตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนจนอุณหภูมิของเครื่องระเหยถึง 700 องศาเซลเซียส จึงทำการหยุดเก็บ นำแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณแก๊สสังเคราะห์โดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) รอให้อุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2 ลดลงถึงอุณหภูมิห้อง จึงทำการเก็บตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้จากการแก๊สฟลาย คือ ถ่านชาร์ (Char) โดยนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis) และ แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis) ต่อไป

ทำการไล่คาร์บอนที่ติดอยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์แก๊สลิเคชั่นออกโดยการใช้แก๊สออกซิเจนไหลผ่านในระบบด้วยอัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที พร้อมทั้งทำการเปิดอุณหภูมิเครื่องระเหยและเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเก็บแก๊สที่ได้ นับตั้งแต่เริ่มให้ความร้อน แก๊สที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์โดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography)

2.4 เครื่องมือ และวิธีการวิเคราะห์

Gas Chromatography GC-TCD รุ่น 6890 ใช้คอลัมน์ HP-PLOT MoleSieve 5A ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแก๊สชนิดต่างๆที่ผลิตได้

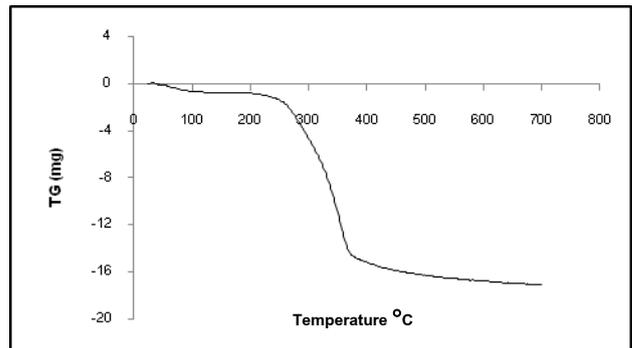
Atomic Absorption Spectroscopy รุ่น Analyst 100 (Perkin-Elmer) ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิลในตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน

Thermogravimetry analyzer รุ่น TGD-9600s (ULVAC-RIKO, Inc.) ใช้ในการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนัก และอัตราการสูญเสียน้ำหนักของชีวมวล

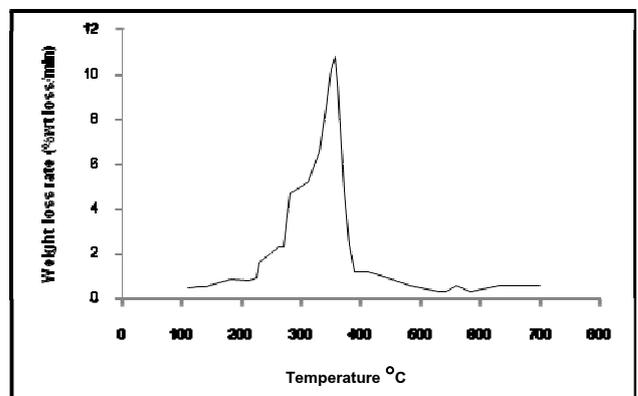
CHN/O Analyzer ใช้ในการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis)

3. ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

3.1 การแยกสลายชีวมวลด้วยความร้อนโดยการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนัก



รูปที่ 2 การสูญเสียน้ำหนักของยูคาลิปตัส (Weight loss)



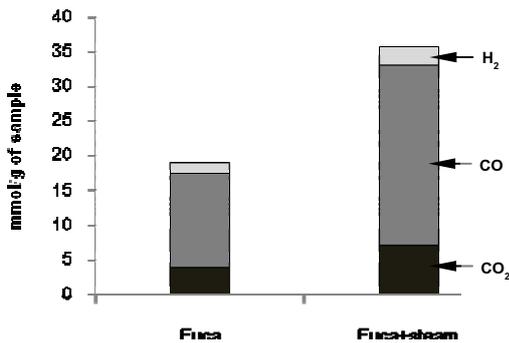
รูปที่ 3 อัตราการสูญเสียน้ำหนักของยูคาลิปตัส (Weight loss rate)

จากรูปที่ 2 และ 3 แสดงผลการสูญเสียน้ำหนักของยูคาลิปตัสด้วยเทคนิค Thermogravimetric โดยมีอัตราการให้ความร้อน 20 องศา

เซลเซียสต่อหน้าที่ จากอุณหภูมิห้องจนถึง 700 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะแก๊สอาร์กอน (Ar) ที่อัตราการไหล 300 มิลลิลิตรต่อหน้าที่

จากการทดลองจะเห็นว่า ขอบเขตของการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ยูคาลิปตัสเหมาะสมที่จะทำในช่วงอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักอยู่ในช่วง 200 - 500 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่สารระเหยได้ (Volatile matter) ถูกปลดปล่อยออกมามากที่สุด และเมื่อเกินช่วงอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสไป น้ำหนักของยูคาลิปตัสเริ่มคงที่ โดยช่วงอุณหภูมิที่มีการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดอยู่ที่ 355 องศาเซลเซียส

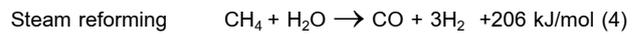
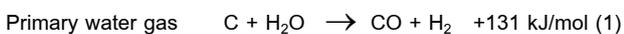
3.2 ผลการทดลองกระบวนการแกสซิฟิเคชันของยูคาลิปตัสโดยการใช้ไอน้ำและไม่ใช้ไอน้ำแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา



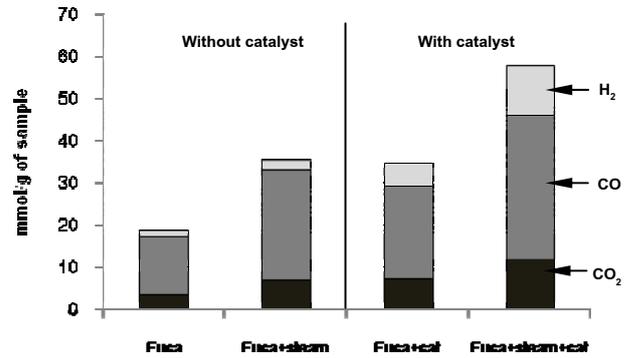
รูปที่ 4 การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สระหว่างการใช้อิน้ำและไม่ใช้อิน้ำในกระบวนการแกสซิฟิเคชันของยูคาลิปตัส

เมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบการใช้อิน้ำโดยใช้ความดันไอน้ำ 30 กิโลปาสกาล และไม่ใช้อิน้ำในกระบวนการแกสซิฟิเคชันของยูคาลิปตัสโดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสใช้ยูคาลิปตัสปริมาณประมาณ 1 กรัมโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดคือแก๊สไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าเพิ่มขึ้นในกรณีที่ใช้ไอน้ำร่วมในกระบวนการแกสซิฟิเคชัน รวมถึงผลรวมทั้งหมดของผลิตภัณฑ์แก๊สมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากไอน้ำเป็นแหล่งใหญ่ที่ผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการ steam gasification ดังนั้นการใช้อิน้ำในกระบวนการแกสซิฟิเคชันทำให้เกิดแก๊สผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ligang และคณะ [5] ซึ่งทำการทดลองเกี่ยวกับ Steam gasification of biomass for hydrogen rich gas in free fall reactor โดยพบว่าเมื่อทำการเติมไอน้ำเข้าไปในการแกสซิฟิเคชัน ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณทาร์และชาร์ลดลงเนื่องจากไอน้ำที่เติมเข้าไปทำให้เกิดปฏิกิริยา Primary water gas ดังสมการ 1 Secondary water gas ดังสมการ 2 Water gas shift ดังสมการ 3 และ Steam reforming ดังสมการ 4 ซึ่งมีปฏิกิริยาดังนี้คือ



3.3 ผลการทดลองกระบวนการแกสซิฟิเคชันของยูคาลิปตัสด้วยไอน้ำแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากับไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

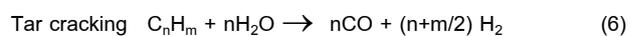
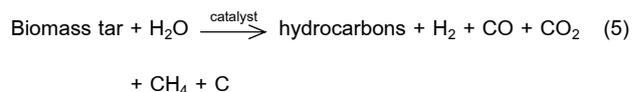


รูปที่ 5 การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สระหว่างการใช้อิน้ำและไม่ใช้อิน้ำในกระบวนการแกสซิฟิเคชันของยูคาลิปตัส

เมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้อิน้ำและไม่ใช้อิน้ำ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือร้อยละ 13.29 โดยน้ำหนักนิกเกิลบนถ่านหิน และผลของตัวเร่งปฏิกิริยาและไอน้ำในขณะที่ไม่ใช้ยูคาลิปตัส โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ความดันไอน้ำ 30 กิโลปาสกาล ยูคาลิปตัสประมาณ 1 กรัม และอัตราส่วนโดยมวลของยูคาลิปตัสต่อนิกเกิลบนถ่านหินหนักไนต์เป็น 1:1

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สมีการเปลี่ยนแปลงระหว่าง ยูคาลิปตัส ยูคาลิปตัสกับไอน้ำ ยูคาลิปตัสกับตัวเร่งปฏิกิริยา และยูคาลิปตัสกับไอน้ำกับตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ปริมาณแก๊สต่าง ๆ ดังนี้ คือไฮโดรเจน (H₂) มีค่าดังนี้ 1.51 2.61 5.47 และ 11.91 คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีค่าดังนี้ 13.7 25.89 21.89 และ 34.36 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีค่าดังนี้ 3.82 7.22 7.39 และ 11.84 มิลลิโมลต่อกรัมของยูคาลิปตัส ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และไอน้ำร่วมกันแล้ว ปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินหนักไนต์จะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของ Biomass tar [1], [3] ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbons) ไฮโดรเจน (H₂) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ดังแสดงในสมการที่ 5 Catalytic steam gasification นอกจากนั้นตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินยังไปเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ช่วยในการแตกตัวของทาร์ และรีฟอร์มแก๊สมีเทนดังสมการที่ 5 6 และ 7

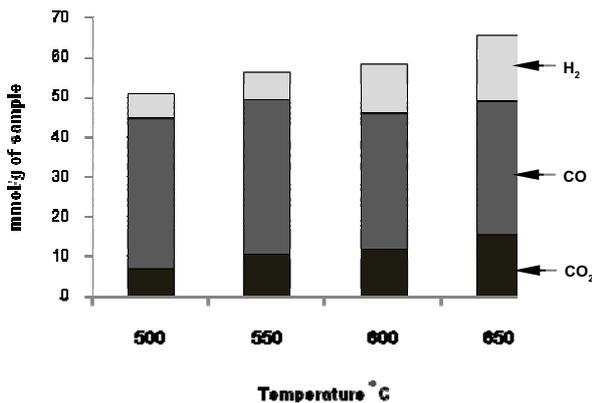
Catalytic reforming



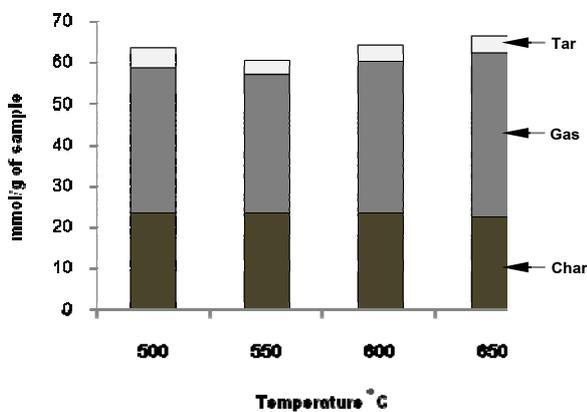
จึงถือได้ว่าชีวมวลหรือยูคาลิปตัสในกระบวนการแกสซิฟิเคชันเป็นแหล่งกำเนิดของสารระเหยได้ (Volatile matter) ที่เป็นองค์ประกอบ

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนในการทำปฏิกิริยากับไอน้ำและตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้องค์ประกอบของแก๊สที่เกิดขึ้นมีค่ามาก จากผลการทดลองทั้งหมดข้างต้นพบว่าการใช้ไอน้ำ และตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินมีผลทำให้องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดและผลรวมของแก๊สผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ทั้งไอน้ำและตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างเห็นได้ชัด

3.4 ผลการศึกษาการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากยูคาลิปตัสโดยกระบวนการแกสซิฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สระหว่างช่วงอุณหภูมิ 500 – 650 องศาเซลเซียส



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ของแข็ง ของเหลว และแก๊สในช่วงอุณหภูมิ 500 – 650 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากยูคาลิปตัส โดยกระบวนการแกสซิฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 500, 550, 600 และ 650 องศาเซลเซียส ความดันไอน้ำ 30 กิโลปาสคาล ยูคาลิปตัสประมาณ 1 กรัมและอัตราส่วนโดยมวลของยูคาลิปตัสต่อตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินเป็น 1:1

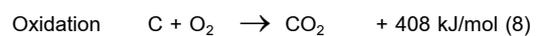
พบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณโดยรวมของผลิตภัณฑ์แก๊สและองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 500 ถึง 650 องศาเซลเซียส ปริมาณของแก๊สไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามลำดับ ส่วนคาร์บอนมอนอกไซด์

ลดลงเล็กน้อยตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยแก๊สไฮโดรเจนมีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 6.06 เป็น 16.69 มิลลิโมล คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 7.06 เป็น 15.67 มิลลิโมล ส่วนคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงเล็กน้อย

จากผลการทดลองอธิบายได้ว่าปริมาณแก๊สไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นมีผลมาจากปฏิกิริยา Secondary water gas ดังสมการที่ 2 และ Water gas shift ดังสมการที่ 3 และ Steam reforming ดังสมการที่ 4

แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นมีค่าลดลงที่อุณหภูมิ 550 - 650 องศาเซลเซียส เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา Water gas shift ดังสมการที่ 3

ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 500 - 650 องศาเซลเซียส เกิดจากหลายปฏิกิริยาในกระบวนการแกสซิฟิเคชันดังที่กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันดังสมการ 8



ทั้งนี้การเกิดปฏิกิริยาในระหว่างกระบวนการแกสซิฟิเคชันมีความซับซ้อนมากและสามารถเกิดได้หลายปฏิกิริยา ซึ่งเป็นแนวทางการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างแกสซิฟิเคชันของถ่านหิน ผลรวมของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจขึ้นอยู่กับอิทธิพลหลายปัจจัย เช่นอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไอน้ำ เป็นต้น

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิที่ 500, 550, 600 และ 650 องศาเซลเซียส ต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดของการแกสซิฟิเคชันของยูคาลิปตัสด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหิน แสดงดังรูป 7 พบว่าที่ทุกอุณหภูมิ ปริมาณทาร์ไม่ค่อยต่างกันมากนัก อาจเนื่องจากมีปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มากในผลิตภัณฑ์แก๊สรวม ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยา Catalytic reforming และ Tar cracking จากสมการที่ 5 และ 6 ในขณะที่ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปฏิกิริยาการแตกตัวจะเกิดได้ดีทำให้สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลเบามากขึ้น ตัวอย่าง เช่น สารไฮโดรคาร์บอนน้ำหนักโมเลกุลหนักและน้ำมันทาร์เกิดการแตกตัวไปเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ในกระบวนการแกสซิฟิเคชันต้องการผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์มาก (Syn gas) เนื่องจากมีค่าความร้อนค่อนข้างสูง สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ได้โดยตรง

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในส่วนที่ 1 นี้พบว่าอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสที่ใช้ในการไล่สารระเหยได้ (Devolatilize) ของยูคาลิปตัสนั้นเพียงพอที่จะสามารถให้ผลผลิตแก๊สได้ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง ดังเห็นได้จากผลของการสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss) อีกทั้งการใช้ไอน้ำ และตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าร่วมในกระบวนการแกสซิฟิเคชัน ยิ่งทำให้ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้มีค่าสูงขึ้นมากกว่าการใช้ไอน้ำและตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งนี้เพราะไอน้ำเป็นแหล่งผลิตแก๊สในกระบวนการ Steam gasification และเมื่อเปรียบเทียบการทดลองในสภาวะที่อุณหภูมิสูงขึ้น พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ปริมาณแก๊สรวมสูงขึ้นมากกว่าในช่วงอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

เอกสารอ้างอิง

1. Liuyun, L., Kayoko, K., Haruto, M.,Kunihiko, Y., and Takayuki, T., "Low-temperature gasification of woody biomass under a nickel-loaded brown coal char", Fuel Processing Technology, In press, 2009.
2. Kumabe, K., Hanaoka,T., Fujimoto, S., Minowa, T., and Sakanishi, K., "Co-gasification of woody biomass and coal with air and steam" Fuel , Vol. 86, pp. 684 - 689, 2007.
3. Pengmei, L., Jie, C., Tiejun, W., Wang, F. and Yong, C. "Hydrogen-rich gas product from biomass catalytic gasification". Energy and Fuels, Vol.18, 228 - 233, 2004.
4. Rapagna, S., Jand, N. and Foscolo, P.U. "Catalytic gasification to biomass to produce hydrogen rich gas". Hydrogen Energy,Vol. 23, 551 - 557, 2004.
5. Ligang, W., Shaoping, X., Li, Z., Chuanghou, L., Hui, Z. and Shuqin, L.. "Steam gasification of biomass for hydrogen-rich gas in a free-fall reactor". Hydrogen Energy, Vol. 32, 24 - 31, 2007.
6. Liuyun, L., Kayoko, K., and Takayuki, T., "Conversion of hot coke oven gas into light fuel gas over Ni/Al₂O₃ catalyst", J. chem. Eng. Jpn, Vol. 39, 461 - 468, 2006.