TEA-09

การกำหนดค่าตัวแปรที่เหมาะสมของอุณหภูมิการเผาไหม้ ในระบบการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล โดยวิธีออกแบบการทดลอง

นเรศว์ร ชิ้นอินมนู[1] และ ยุทธชัย บรรเทิงจิตร[1]

[1]*ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อกรุงเทพฯ 10800*

ผู้เขียนติดต่อ: นเรศว์ร ชิ้นอินมนู E-mail: nared_chin@yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดค่าของตัวแปรที่สำคัญ ในการทำงานของเตาผลิตแก๊สจากแกลบด้วยระบบแก๊สซิฟิเคชั่นที่จะทำให้อัตราการใช้แกลบลดลง โดยสามารถเปรียบได้กับการใช้แกลบผลิตไฟฟ้า จากข้อมูลในอดีตสรุปได้ว่าตัวแปรที่สำคัญในการผลิตแก๊ส คือ อุณหภูมิ Pyrolysis และ อุณหภูมิ Throat ซึ่งโดยปกติอุณหภูมิจะกำหนดที่ 500°C และ 750°C ตามลำดับ ซึ่งจะใช้แกลบเฉลี่ย 1.85 kg/kW ในขณะที่การใช้แกลบไปผลิตไอน้ำ และไอดง เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จะใช้แกลบเฉลี่ย 1.5 kg/kW การวิจัยนี้จึงเป็นการออกแบบการทดลองแบบ 2 ตัวแปรตัวแปรละ 3 ระดับ ซึ่งตัวแปรแรกคือ อุณหภูมิ Pyrolysis จะทดลองที่ 500°C, 550°C และ 600°C และตัวแปรที่สองคืออุณหภูมิ Throat จะทดลองที่ 750°C, 800°C และ 850°C รวมทั้งหมด 9 กลุ่มการทดลอง แต่ละกลุ่มทดลองจะใช้เวลา 24 ชั่วโมง จากผลการทดลองสรุปได้ว่าอุณหภูมิ Pyrolysis 550°C และอุณหภูมิที่ Throat 800°C ทำให้มีค่าการใช้แกลบต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าน้อยสุดคือ ประมาณ 1.5 kg/kW ซึ่งเป็นค่าที่ไม่แตกต่างกับการใช้แกลบผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้า จากการทดสอบทางสถิติ สรุปได้ว่าที่กลุ่มการทดลอง 550°C และ 800°C มีอัตราการใช้แกลบน้อยกว่ากลุ่มทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

คำสำคัญ: ระบบผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล; แก๊สซิฟิเคชั่น ; Gasifier

1.บทนำ

จากสภาวการณ์ปัจจุบันที่ราคาเชื้อเพลิงฟอสซิลต่างๆเช่นน้ำมันก๊าซธรรมชาติและถ่านหินซึ่งเป็นพลังงานหลักของโลกมีการปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคเชื้อเพลิงทั้งทางตรงและทางอ้อมทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศเป็นอย่างมาก จึงเป็นที่มาของการหาพลังงานอื่นซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกใหม่ ที่ยั่งยืนมาทดแทนพลังงานดังกล่าวจากการศึกษาและประเมินศักยภาพชีวมวลทำให้ทราบว่าในภาคอุตสาหกรรมการเกษตร มีวัสดุเหลือใช้เป็นจำนวนมากที่สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงไฟฟ้าได้ เช่น แกลบ ฟางข้าวเศษไม้ ซังข้าวโพด เปลือก และกะลามะพร้าว เป็นต้น

โรงไฟฟ้าชีวมวล ระบบแก๊สซิฟิเคชั่น เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่มีศักยภาพและยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะระบบการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้แบบอับอากาศ (ใช้อากาศในการเผาไหม้น้อย) ถ้าสามารถจัดสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ การทำงานของระบบจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทำให้ประหยัดการใช้เชื้อเพลิงต่อกระแสไฟฟ้าที่ได้มากขึ้น ดังนั้น ปัจจัยที่มีผลทำให้ประหยัดการใช้เชื้อเพลิงต่อกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น คือ การเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ในขบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น

ซึ่งโดยปกติอัตราการใช้ชีวมวลต่อหน่วยไฟฟ้าในระบบแก๊สซิฟิเคชั่น ที่มีกำลังการผลิต 0.2 – 2 MW มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ประมาณ 1.7–2 kg/kWและใกล้เคียงกับระบบกังหันไอน้ำ (Steam turbine) ที่มีกำลังการผลิต 1 – 2 MW ที่ความดันไอน้ำ ในระบบไม่เกิน 25 bar แต่สำหรับ

โรงไฟฟ้าชีวมวลระบบกังหันไอน้ำ (Steam turbine) ขนาดใหญ่ (5 – 10 MW) ที่ใช้แรงดันไอน้ำ 60 bar ขึ้นไปจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น มีการใช้เชื้อเพลิงน้อยลงเหลือ 1.5 kg/kW ถือว่ามีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนพลังงานที่ดีขึ้น มีความเป็นไปได้ในเชิงธุรกิจ แต่มีปัญหาเรื่องค่าขนส่งเชื้อเพลิงที่มีน้ำหนักเบาและมีราคาแพง

ดังนั้น การลดขนาดกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าให้เหมาะสมกับปริมาณชีวมวล โดยไม่มีการขนส่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าได้ ขนาดของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่เหมาะสมจึงมีขนาดเท่ากับ ชีวมวลที่เกิดขึ้นจากขบวนการผลิตของโรงงาน ในแต่ละโรงงานที่มีขนาดกำลังการผลิต 150 – 200 ตันข้าวเปลือกต่อวัน จะมีแกลบเพียงพอป้อนให้โรงไฟฟ้าขนาด 1 MW โดยไม่ต้องขนส่งเชื้อเพลิงโดยสามารถลดค่าขนส่งวัตถุดิบได้และหลังจากแปรรูปเป็นสินค้า (ไฟฟ้า) ก็ไม่มีค่าขนส่ง

ด้วยเหตุนี้ การพัฒนาโรงไฟฟ้าชีวมวลในระบบแก๊สซิฟิเคชั่น ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยการลดปริมาณการใช้ชีวมวล ลดลงจาก 1.7 – 2 kg/kW ให้ดีใกล้เคียงกับโรงไฟฟ้ากังหัน ไอน้ำ (Steam turbine) ขนาดใหญ่ ซึ่งในปัจจุบันถือว่ามีประสิทธิภาพสูงสุด ถือว่าเป็นความสามารถในการบริหารจัดการปริมาณชีวมวลที่เป็นของเหลือใช้ภาคเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพ เพราะปริมาณของชีวมวลในประเทศไทยสามารถผลิตไฟฟ้าได้ถึง 2,800 MW ตามแผนการใช้พลังงานของกระทรวงพลังงาน ปี 2554 สามารถลดค่าใช้จ่ายและประหยัดการใช้ชีวมวลของประเทศได้ถึง 15,000 ล้านบาทต่อปี จึงถือว่าเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาการบริหารจัดการพลังงานของประเทศได้ และสามารถลดความสูญเสียพลังงานจากชีวมวลที่อยู่ไกลโรงไฟฟ้าไม่สามารถ ขนย้ายได้และถูกทอดทิ้ง จนชีวมวลนี้เปลี่ยนสภาพเป็นแก๊สมีเทน เกิดกลิ่นเหม็นเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และสุดท้ายแก๊สนี้ก็จะลอยขึ้นสู่บรรยากาศทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนในที่สุด

1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลของโรงไฟฟ้าระบบแก๊สซิฟิเคชั่น ให้ใกล้เคียงกับโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ (Steam turbine) ที่ 1.5 kg/kW

1.2 ขอบเขตการดำเนินงานและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทำการทดสอบหาปริมาณอากาศที่เหมาะสมในห้องเผาไหม้ภายในระบบอับอากาศ โดยการปรับระดับการให้อากาศในระบบ และกำหนดการป้อนปริมาณเชื้อเพลิงให้เป็นค่าคงที่ เพื่อให้ได้ปริมาณอากาศที่เหมาะสมในการวิจัยในลำดับต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ศึกษาหลักการของระบบแก๊สซิฟิเคชั่น

ปฏิกิริยาความร้อนของการเกิดก๊าซชีวมวลในเตาผลิตก๊าซนั้น ถึงแม้ว่าบริเวณที่เกิดจะอยู่ติดกันแต่ก็ยังสามารถแยกบริเวณต่างๆ ออกจากกันตามปฏิกิริยาเคมี และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 บริเวณด้วยกันคือ

2.1.1 บริเวณเผาไหม้ (Combustion zone) อาจเรียกว่า “Oxidation zone” หรือ “Hearth zone” อากาศจะถูกส่งผ่านเข้าไปในบริเวณนี้ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เชื้อเพลิงกับอากาศสัมผัสกันเป็นจุดแรก ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนในอากาศกับคาร์บอน และไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง (โดยถือว่าซัลเฟอร์มีน้อยมากตัดทิ้งได้) ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน และความร้อนที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนในบริเวณรีดัคชัน และบริเวณการกลั่นสลายอุณหภูมิบริเวณเผาไหม้อยู่ระหว่าง 1,000 – 1,500 °C (Overend, 1982)

2.1.2 บริเวณรีดัคชัน (Reduction Zone) เมื่ออากาศเข้าสู่บริเวณเผาไหม้ และทำปฏิกิริยากับคาร์บอนและไฮโดรเจน ได้คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำแล้วก็จะไหลผ่านเข้าสู่บริเวณ รีดัคชัน ดังนั้น ปฏิกิริยาหลักในบริเวณนี้เป็นแบบ Reduction reaction อุณหภูมิบริเวณนี้จะอยู่ระหว่าง 500 – 900 °C บริเวณนี้จะเปลี่ยนบางส่วนของก๊าซที่เผาไหม้ไม่ได้ (คาร์บอน- ไดออกไซด์และน้ำ) ที่เกิดขึ้นในบริเวณเผาไหม้ให้มาเป็นก๊าซที่สามารถเผาไหม้ได้ โดยคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำที่เกิดขึ้น ไหลผ่านคาร์บอนที่กำลังลุกไหม้อยู่จะได้ คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนถ้าอุณหภูมิในบริเวณรีดัคชันสูงกว่า 900 °C แล้ว ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 90% จะเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 1,100 °C แล้ว

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์หมด ดังนั้นประสิทธิภาพเตาผลิตก๊าซจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของบริเวณรีดัคชันใน เตาผลิตก๊าซ (Kaupp และ Goss, 1981)

2.1.3 บริเวณกลั่นสลาย (Pyrolysis zone) ในบริเวณนี้จะได้รับความร้อนจากบริเวณรีดัคชัน เพื่อที่สลายพวกสารอินทรีย์ (Organics) ในเชื้อเพลิง ทำให้ได้เมธานอล กรดน้ำส้ม และน้ำมันดิน อุณหภูมิในบริเวณนี้จะเกิดประมาณ 200 – 300 °C (Overend, 1982) ของแข็งที่เหลืออยู่หลังจากผ่านกระบวนการนี้แล้วคือ คาร์บอนในรูปของถ่าน ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยาต่อในบริเวณรีดัคชัน และบริเวณเผาไหม้

2.1.4 บริเวณอบแห้ง (Drying zone) บริเวณนี้อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของพวกสารระเหย แต่ความชื้นในเชื้อเพลิงจะถูก ความร้อนทำให้ระเหยออกมาในรูปของไอน้ำ บริเวณนี้จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 100 – 200 °C (Overend, 1982)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิรัช (2531) ได้ศึกษาเตาผลิตก๊าซแบบก๊าซไหลขึ้นเพื่อการเผาไหม้โดยตรง ซึ่งใช้ไม้โกงกางเป็นเชื้อเพลิง โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาผลิตก๊าซที่ระดับต่างๆ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของเชื้อเพลิง และการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่เตาผลิตก๊าซ จากการทดลองพบว่าจุดที่เหมาะสมในด้านขนาดของเชื้อเพลิง และอัตรา การไหลของอากาศที่ดีที่สุดสำหรับเตาผลิตก๊าซนี้อยู่ในช่วงขนาดความยาวของเชื้อเพลิง 2 – 3 cm และปริมาณการไหลของอากาศ 0.44 – 0.51 kg/min ในช่วงนี้ให้เปอร์เซ็นต์การผลิตก๊าซคาร์บอนมอน-อกไซด์ไม่ต่ำกว่า 28.7%

วิศิษฐ์ (2548) การศึกษาเชิงทดลองของห้อง เผาไหม้วอร์เทคหลายขั้นต่อคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ พบว่าการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องเผาไหม้ส่วนล่างของเตาเผาวอร์เทค 2 ขั้น จาก 0.75 m เป็น 0.5 m และส่วนกลางของเตาเผาวอร์เทค 3 ขั้น จาก 0.75 m เป็น 0.5 m ทำให้การกระจายอุณหภูมิได้สูงขึ้น และการควบคุมอัตราส่วนของอากาศทุติยภูมิต่อปริมาณอากาศทั้งหมดที่เหมาะสม

ต่อการเผาไหม้ของแกลบแบบวอร์เทคคือ 0.25 ทำให้เกิดการกระจายตัวของแกลบภายในเตาวอร์เทคมากขึ้น แกลบจึงไม่สามารถจับตัวเป็นก้อนได้ทำให้เกิดการผสมหรือการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเชื้อเพลิงแกลบกับอากาศ และการเคลื่อนที่แบบหมุนวนภายในเตาเผาวอร์เทคจะช่วยทำให้แกลบมีระยะเวลาในการเผาไหม้นานขึ้น การกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จึงสูง

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาและประเมินศักยภาพชีวมวล ทำให้ทราบว่าในภาคอุตสาหกรรมการเกษตร มีวัสดุเหลือใช้เป็นจำนวนมากที่สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าได้ กระทรวงพลังงานได้กำหนดนโยบาย และแผนพลังงานทดแทน สำหรับปี 2554 ให้มีการใช้พลังงานทดแทนด้านชีวมวลถึง 2800 MW แสดงไว้ในตารางที่ 1

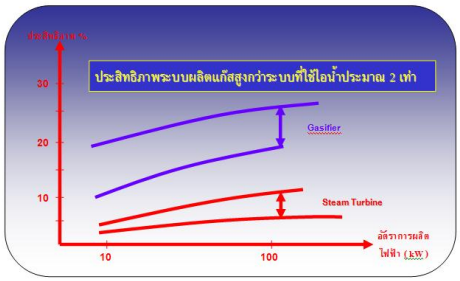
ตารางที่ 1 ศักยภาพ และเป้าหมาย พลังงานทดแทน ของกระทรวงพลังงาน ปี 2550

ประเภทพลังงาน	ศักยภาพ	Existing	พ.ศ. 2555 – 2559	
ไฟฟ้า	เมกะวัตต์	เมกะวัตต์	เมกะวัตต์	Ktoe
ชีวมวล	4,400	1,610	3,220	1,682

(กระทรวงพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน, 2550)

ในปัจจุบันระบบแก๊สซิฟิเคชั่น เป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจาก ระบบเดิมที่ใช้ กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) มีประสิทธิภาพและและการลงทุนที่ด้อยกว่า ซึ่งเปรียบเทียบในระดับขนาดเล็ก คือ กำลังการผลิตที่ 1 – 2 MW แสดงไว้ใน รูปที่ 1

จะเห็นว่า ซึ่งประสิทธิภาพของระบบแก๊สซิฟิเคชั่น ที่มีกำลังการผลิต 1 – 2 MW มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงใกล้เคียงกับกังหันไอน้ำ (Steam turbine) ที่กำลังการผลิต 7 – 10 MW (ขนาดใหญ่) ดังแสดงในตาราง 2 ซึ่งใช้ปริมาณเชื้อเพลิงประมาณ 250 – 360 ตันต่อวัน เป็น



(ศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม ม.เกษตร, 2542)

รูปที่ 1 กราฟการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง Steam Turbine และ Gasifier

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบอัตราการใช้ชีวมวลต่อหน่วยไฟฟ้า ระบบกังหันไอน้ำ (Steam turbine) และแก๊สซิฟิเคชั่น

รายการ	กังหันไอน้ำ (Steam Turbine)		แก๊สซิฟิเคชั่น
	ขนาดเล็ก	ขนาดใหญ่	
กำลังการผลิต	1 – 2 MW	7 – 10 MW	1 – 2 MW
อัตราการใช้ชีวมวล ต่อหน่วยไฟฟ้า	≈2 kg/kW	1.5 kg/kW	1.7 kg/kW
ประสิทธิภาพ	15%	20%	20%

ปริมาณเชื้อเพลิงที่มาก ถ้าเป็นแกลบจะต้องรวบรวมเชื้อเพลิงจากโรงสี ประมาณ 10 – 15 โรงสี จำนวนโรงสีที่มากขึ้นบ่งบอกถึงระยะทางการขนส่งที่ไกลขึ้น ไม่น้อยกว่า 100 – 200 km ซึ่งหมายถึงการเพิ่มขึ้นของระยะทาง การขนย้ายเชื้อเพลิงซึ่งมีน้ำหนักเบา มีผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ดังนั้น เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต โดยการลดการขนย้ายเชื้อเพลิงชีวมวล โรงไฟฟ้าต้องมีขนาดเหมาะสมกับชีวมวลที่เหลือในโรงสีนั้นๆ โรงไฟฟ้าชีวมวล 1 โรงงานต่อโรงสี 1 โรง ซึ่งโรงไฟฟ้าระบบแก๊สซิฟิเคชั่น เป็นระบบหนึ่งที่มีความเหมาะสม

การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าให้กับโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก (200 – 2,000 kW) เป็นโรงไฟฟ้าระดับชุมชน ซึ่งใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชั่น โดยการเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงด้วยเตา Gasifier และนำแก๊สที่ได้มาผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่อง Generator ซึ่งเป็นกระบวนที่ใช้เทคนิคระดับชุมชน ดูแลรักษาง่าย แต่มีประสิทธิสูง และยังสามารถพัฒนาเพิ่มเติมขึ้นได้อีก ในหลาย ๆ ส่วนของกระบวนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นในส่วนของการจัดการเชื้อเพลิง เพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ในส่วนของเตาผลิตแก๊ส และพัฒนาเครื่องยนต์ ใช้เชื้อเพลิงน้อยแต่ให้พลังงานสูง ผลิตกระแสไฟได้มาก แต่ในงานวิจัยนี้ผู้ทำการวิจัยได้เลือกพัฒนาในส่วนของเตา Gasifier โดยศึกษาข้อมูลการปรับปริมาณของส่วนผสมอากาศและเชื้อเพลิงในขบวนการ Gasification เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นจากเดิม

การดำเนินการศึกษาระบบการทำงานของระบบ Three-Stage Gasification เพื่อสามารถทราบถึงกระบวนการทำงานและเพื่อกำหนดวิธีการปรับสัดส่วนเชื้อเพลิงและอากาศ โดยทำการทดลอง, รวมรวมข้อมูลและสรุปผลงานวิจัย เพื่อให้ได้ข้อกำหนดวิธีการปรับสัดส่วนเชื้อเพลิงและอากาศ ที่ส่งผลให้การทำงานของระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้นทำให้ประหยัดการใช้เชื้อเพลิงต่อกระแสไฟฟ้าที่ได้มากขึ้น มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 การออกแบบระบบผลิตพลังงานจากชีวมวล

โครงการพัฒนาสาธิตระบบผลิตพลังงานจาก ชีวมวลระดับชุมชน ได้มีการออกแบบระบบผลิตก๊าซ ชีวมวลเป็นแบบ Three-Stage Fluid Bed Pyrolysis and Gasification Unit ดังแสดงในรูปที่ 2 ทั้งนี้เพื่อขยายกำลังการผลิต จาก 80 kW เป็น 200 kW และก๊าซที่ผลิตได้จะมีปริมาณส่วนผสมของทาร์น้อยที่สุด ดังนั้นการออกแบบระบบดังกล่าวต้องคำนึงถึงเวลา และอุณหภูมิการเผาไหม้เป็นหลัก แสดงลักษณะของระบบผลิตก๊าซชีวมวลแบบ Three-Stage Pyrolysis and Gasification Unit สำหรับโครงการศึกษานี้ และส่วนประกอบหลักๆ ของระบบนี้สามารถพิจารณาได้เป็น 2 ส่วนคือ

1)ระบบผลิตพลังงาน

1.1 ระบบ Drying

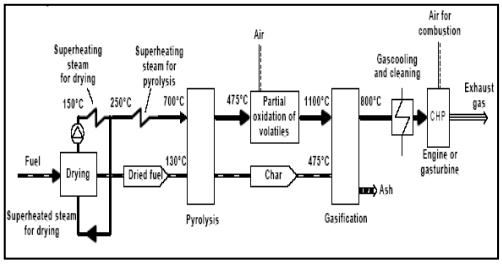
1.2 Pyrolysis

1.3ระบบแก๊สซิฟิเคชั่น เป็นแบบก๊าซไหลลง (Downdraft)

2)ระบบผลิตกระแสไฟฟ้า

เป็นระบบเครื่องยนต์แก๊สหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 200 kW ซึ่งก๊าซที่ได้จากระบบผลิตก๊าซ จะต้องนำมาปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมและกรองเอาฝุ่น (dust) และน้ำมันดิน (tar) ออกจากก๊าซเพื่อให้เป็นก๊าซที่

สะอาดก่อนที่จะนำมาเข้าเครื่องยนต์หรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต่อไป



รูปที่ 2 หลักการพื้นฐานของ Three-StageFluid Bed Pyrolysis and Gasification Unit

3.2 การทดสอบระบบผลิตพลังงานจากชีวมวล

การทดสอบระบบที่สร้างขึ้นจะทดสอบโดยทดสอบเฉพาะเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง จำนวนไม่น้อยกว่า 20 ชั่วโมง และทดสอบเมื่อเพิ่มอุปกรณ์ทำความสะอาดก๊าซแล้วไม่น้อยกว่า 20 ชั่วโมง และทำการทดสอบเต็มระบบไม่น้อยกว่า 100 ชั่วโมง

3.3 ศึกษาและกำหนดค่าตัวแปรที่มีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพของแก๊ส

ทำการวิจัยอุณหภูมิเพื่อหาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมให้การทำงานของเตามีประสิทธิภาพสูงสุดอุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์ มี 14 จุด ดังนี้

1. Exhaust out
2. Exhaust in
3. Pyrolysis
4. Throat
5. Under throat
6. Above bed
7. Under bed
8. Under grate
9. Gas out
10. Before air cooler
11. Before filter
12. After filter
13. After water cooler
14. Air preheater

ข้อมูลทั้ง 14 เมื่อวิเคราะห์แล้วจะมีอยู่เพียง 2 ค่า ที่มีผลกระทบต่อ Heating value ของแก๊สที่ผลิตได้ ซึ่งเป็นผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการทำงานของเตา คือ ค่าที่ 3 Pyrolysis และค่าที่ 4 Throat

Pyrolysis Temp มีผลต่อการย่อยสลายเชื้อเพลิง-แข็งให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง สารละเหยต่าง ๆ ที่อยู่ในเชื้อเพลิงแข็งจะถูกกลั่นมา ณ จุดนี้ จึงเป็นจุดที่ทำให้เชื้อเพลิงแข็งเปลี่ยนเป็นแก๊สเชื้อเพลิงได้มากหรือน้อยตามระดับของอุณหภูมิที่ใช้ใน Pyrolysis ซึ่งโดยทั่วไปอยู่ประมาณ 400 – 650 °C เนื่องจากการทำงานในห้องเผาไหม้นี้ เป็นการทำงานแบบอับอากาศ การใช้อากาศน้อยเกินไปทำให้ได้ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่น้อย และถ้ามากเกินไปก็จะได้ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงน้อยเช่นกัน

Throat Temp มีผลต่อการย่อยสลายน้ำมันดิน (Tar) ซึ่งปริมาณน้ำมันดินที่เกิดขึ้นในระบบจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณความสกปรก และมีผลต่อคุณภาพของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้ ปัจจัยของอุณหภูมิที่นำมาใช้ในการกำจัดน้ำมันดิน (Tar) อยู่ระหว่าง 700 – 900 °C

ดังนั้น ในการทดสอบกำหนดค่าตัวแปรของอุณหภูมิทั้ง 2 ค่า จึงถูกกำหนดขึ้นโดยประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านของบริษัทได้ทำการทดสอบ และได้ค่าของอุณหภูมิทั้ง 2 จุด และกำลังไฟฟ้าที่ได้มาวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อหาค่าที่เชื่อถือได้ และกำหนดหาช่วงของอุณหภูมิที่ดีที่สุดที่ทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด

3.4 สรุปวิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย โดยเลือกหลักการทางสถิติ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์

จากการศึกษาขั้นตอนการทำงานของระบบเตา แก๊สซิฟิเคชั่น ทางผู้วิจัยได้เลือกตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเตา และต้องมีการเก็บข้อมูลตัวแปรนี้ไปทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติเพื่อให้ได้ค่าตัวแปรที่ดีที่สุด และนำค่าตัวแปรใหม่ที่ได้นี้ไปใช้เดินระบบเพื่อหาค่าประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในครั้งต่อไป สามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังนี้

ทำการทดสอบเครื่องจักรโดยใช้ตัวแปรที่ได้จากการกำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญจากบริษัท โดยกำหนดPyrolysis Temp มีค่า 3 ระดับ ดังนี้ 400 °C, 500 °C และ 600 °C

และกำหนด Throat Temp มีค่า 3 ระดับ ดังนี้ 750 °C, 800 °C และ 850 °C แล้วจึงเก็บค่า Power Output ที่ได้มาวิเคราะห์ในเชิงสถิติ ดังตารางที่ 3

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

การทดลองนี้ต้องการศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพ Power Output ที่ดีที่สุด โดยตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย Pyrolysis Temp และ Throat Temp ที่ส่งผลต่อความสะอาดของแก๊สและคุณภาพของ Heating Value มากที่สุด

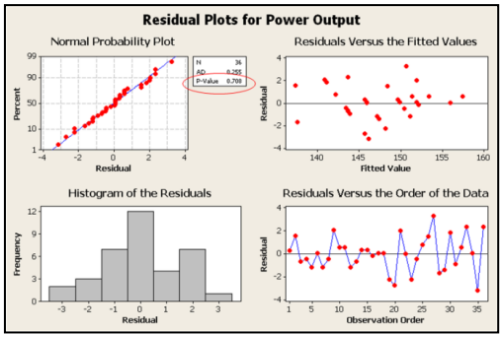
4.1 วิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ

นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (จรัญ, 2549) เพื่อศึกษาว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสิ้นเปลืองชีวมวล ของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (α = 0.05) ซึ่งในการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้อาศัยโปรแกรม MINITAB 14 ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้ผลดังนี้

ตารางที่ 3 การทดสอบโดยระบบครั้งแรก

No.	Throat Temp.	Pyrolysis Temp.	Power Output
1	750	400	116
	750	500	131
	750	600	135
	800	400	135
	800	500	146
	800	600	146
	850	400	135
	850	500	143
	850	600	120
2	750	400	124
	750	500	135
	750	600	139
	800	400	146
	800	500	150
	800	600	150
	850	400	143
	850	500	135
	850	600	128
3	750	400	113
	750	500	139
	750	600	135
	800	400	143
	800	500	150
	800	600	146
	850	400	128
	850	500	146
	850	600	128
4	750	400	128
	750	500	135
	750	600	143
	800	400	146
	800	500	146
	800	600	139
	850	400	135
	850	500	135
	850	600	113

4.1.1 การวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 3 แสดงการแจกแจงแบบปกติ

จากรูปที่ 3 พิจารณา Residuals Versus the Order of the Data พบว่าข้อมูลมีลักษณะสุ่มนั่นคือข้อมูลแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน และ Normal ProbabilityPlot of the Residual พบว่า ข้อมูลมีลักษณะเป็นเส้นตรง และ P-value ที่ได้มีค่า 0.708 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้น แสดงว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีการแจกแจงแบบปกติ

4.1.2 ทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปร

General Linear Model: Power Output versus Blocks, Temp Pyrolysis, ...

Factor	Type	Levels	Values
Blocks	fixed	4	1, 2, 3, 4
Temp Pyrolysis	fixed	3	500, 550, 600
Temp Throat	fixed	3	750, 800, 850

Analysis of Variance for Power Output, using Adjusted SS for Tests

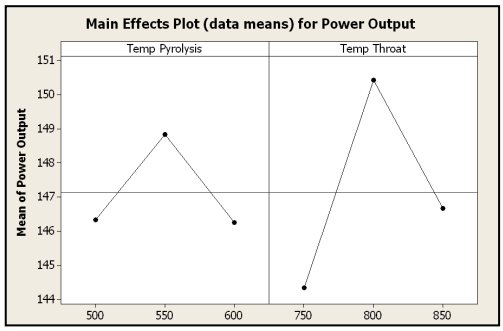
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	3	270.972	270.972	90.324	27.52	0.000
Temp Pyrolysis	2	51.722	51.722	25.861	7.88	0.002
Temp Throat	2	226.056	226.056	113.028	34.43	0.000
Temp Pyrolysis*Temp Throat	4	204.778	204.778	51.194	15.60	0.000
Error	24	78.778	78.778	3.282		
Total	35	832.306				

S = 1.81174 R-Sq = 90.53% R-Sq(adj) = 86.20%

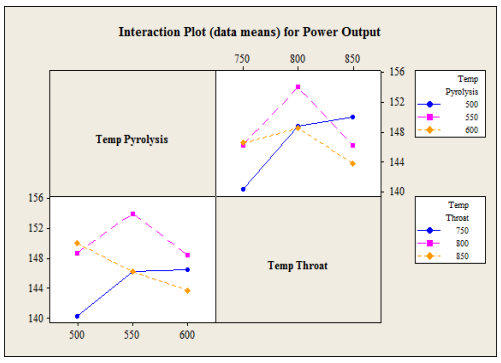
รูปที่ 4 ทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปร

จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าค่า R Square (สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ; Coefficient of Determination) = 0.8620 หรือ 86.20% แสดงว่าผลการทดลองมีความเชื่อมั่นสูง (โดยทั่วไปค่า R Square ที่มักนำไปใช้ควรมีค่าอย่างน้อย 0.75) ส่วนค่า P-value ของแต่ละ Factor มีค่า 0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ดังนั้น แสดงว่า Main Effects Plot และ Interaction Plot ของทั้งสอง Factor มีอิทธิพลต่อค่า Power Output จริง

4.1.3 วิเคราะห์ Main Effects Plot และInteraction Plot



รูปที่ 5 วิเคราะห์ Main EffectsPlot



รูปที่ 6 วิเคราะห์ Interaction Plot

Pyrolysis Temp ที่ 550 °C และ Throat Temp ที่ 800 °C เป็น Condition ที่ต้องการนำมาใช้ปรับปรุงกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น

5. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องศึกษาการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ แก๊สซิฟิเคชั่น จากชีวมวลให้มีประสิทธิภาพสูงเหมาะสมในเชิงธุรกิจของโรงไฟฟ้าชีวะมวลขนาด 200 kW มีวัตถุประสงค์เพื่อลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า และได้แก๊สที่มีความสะอาดมี Tar ปนเปื้อนน้อย ทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าสามารถเดินได้อย่างต่อเนื่อง ต้องการการบำรุงรักษาต่ำ หลังจากได้ทดลองใช้ค่าตัวแปรที่ได้จากการคำนวณทางสถิติ โดยการปรับส่วนผสมอากาศในห้อง Pyrolysis ที่ 550 °C และที่ Throat 800 °C ของเตา Gasifier ชุดนี้ พบว่าสามารถตอบสนองวัตถุประสงค์หลักของโครงการได้ ดังนี้

1. การใช้แกลบในการผลิตไฟฟ้าที่ 225 kg/hr สามารถผลิตไฟฟ้าได้ที่ 150.2 kW ซึ่งมากกว่าก่อนทำการวิจัย = (150.2 – 135.6) = 14.6 kW แสดงถึงประสิทธิภาพของแก๊สที่สูงขึ้น

2. ความสะอาดของแก๊สที่ได้หลังจากวิจัยที่ค่าของ Tar ปนเปื้อนไม่เกิน 25 PPM จากการวิเคราะห์ และจากการสังเกตการทำงานของเครื่องจักร สามารถสังเกตได้จากระบบน้ำหล่อเย็นของเตา Gasifier จะไม่มีกลิ่นของ Tar ปนเปื้อนเลย ตลอดระยะเวลาที่เดินเครื่องจักรไปแล้ว 3 เดือน

3. อัตราการสิ้นเปลืองแกลบ หลังจากงานวิจัย ปริมาณแกลบที่ใช้ 225 kg ได้ไฟฟ้า 150.2 kW คิดเป็นการสิ้นเปลืองแกลบต่อกิโลวัตต์ = 225/150.2 = 1.49 kg/kW ซึ่งถือว่าได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ที่ 1.4 – 1.5 kg/kW

เอกสารอ้างอิง

[1] จรัญ จันทลักขณา. สถิติการวิเคราะห์และการวางแผนงานวิจัย. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย-เกษตรศาสตร์, 2549.

[2] วิรัช อรุณลักษดำรง. เตาผลิตก๊าซแบบก๊าซไหลขึ้นเพื่อการเผาไหม้โดยตรง.กรุงเทพฯ :สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2531

[3] วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล. การศึกษาเชิงทดลองของห้องเผาไหม้วอร์เทคหลายขั้นต่อคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1โรงแรมแอมบาสเดอร์ ซิตี้ จอมเทียม จังหวัดชลบุรี, 11-13 พฤษภาคม, 2548.

[4] Kaupp, A., and J.R. Goss, State of the Art Report for Small Scale (to 50kW) Gas Producer-Engine Systems, USDA Contract No.53-319R-O-141, University of California, Davis, CA, March 1981.

[5] Overend, Wood Gasification, National Research Council (Canada) Report NRCC20094, March 1982.

.