

บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัยและการวิเคราะห์ผล

การวิจัยในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเตาแก๊สชีวมวลประสิทธิภาพสูง การศึกษาวิจัยประกอบด้วยการทำงาน 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการออกแบบและสร้างเตาแก๊สชีวมวล และขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะของเตาแก๊สชีวมวล ในบทนี้จะนำเสนอผลการศึกษาทั้งสองส่วนตามลำดับ

4.1 การออกแบบและสร้างเตาแก๊สชีวมวล

การออกแบบเตาแก๊สชีวมวลเพื่อให้เตาแก๊สชีวมวลสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมกับการใช้งานในการหุงต้ม มีขั้นตอนในการทำงาน 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่หนึ่ง การกำหนดแนวคิดที่ใช้ในการออกแบบ ขั้นตอนที่สองการคัดเลือกเทคโนโลยี ขั้นตอนที่สามเป็นขั้นตอนการออกแบบตามเทคโนโลยีและแนวคิดที่กำหนด

แนวคิดที่ใช้ในการออกแบบ (Concept design) ผู้วิจัยได้กำหนดขึ้นมาโดยใช้การศึกษาและพิจารณาจากด้านการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลเป็นหลัก ซึ่งได้แก่ รูปทรงของผลิตภัณฑ์ ความสะดวกในการใช้งาน ความแข็งแรง ความปลอดภัยในการใช้งานและราคาของผลิตภัณฑ์

4.1.1 การกำหนดแนวคิดในการออกแบบเตาแก๊สชีวมวล

จากการพิจารณาการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลในด้านต่างๆข้างต้น ผู้วิจัยได้กำหนดแนวคิดในการออกแบบเตาแก๊สชีวมวลในด้านต่างๆเป็น 4 ด้าน ได้แก่ ด้านระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ด้านการใช้งาน ด้านรูปทรง และด้านต้นทุนการผลิต แนวคิดในการออกแบบเตาแก๊สชีวมวลในแต่ละด้านแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ด้านระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

เพื่อให้เตาแก๊สชีวมวลที่ออกแบบสามารถใช้งานได้สะดวก ระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจึงออกแบบโดยใช้แนวคิดดังนี้

- เตาแก๊สเชื้อเพลิงที่ออกแบบและพัฒนาจะ ไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอก
- เตาแก๊สเชื้อเพลิงที่ออกแบบและพัฒนา สามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงชีวมวลที่หลากหลาย

2. ด้านการใช้งานเตาแก๊สชีวมวล

เพื่อให้เตาแก๊สชีวมวลที่ออกแบบสามารถใช้งานได้ง่าย มีระบบการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวก เตาแก๊สชีวมวลจึง ออกแบบโดยใช้แนวคิดดังนี้

- เตาแก๊สเชื้อเพลิงที่ออกแบบและพัฒนา จะต้องมีระบบที่ไม่ซับซ้อนและสามารถใช้งานง่าย
- เตาแก๊สชีวมวลสามารถใช้งานได้สะดวก
- มีความปลอดภัยในการใช้งานเตาแก๊สชีวมวล
- ระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสามารถ เติมเชื้อเพลิงในระหว่างการดำเนินการได้แบบต่อเนื่อง

3. ด้านรูปทรงเตาแก๊สชีวมวล

เพื่อให้เตาแก๊สชีวมวลมีรูปทรงที่เหมาะสมกับการใช้งานในด้านการหุงต้ม ผู้วิจัยได้กำหนดแนวคิดในการออกแบบด้านรูปทรงไว้ดังนี้

- เตาแก๊สชีวมวลมีรูปทรงกะทัดรัด
- เตาแก๊สชีวมวลสามารถ เคลื่อนย้ายได้สะดวก

4. ด้านต้นทุนการผลิตเตาแก๊สชีวมวล

เพื่อให้เตาแก๊สชีวมวลมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ผู้ใช้งานสามารถซื้อหามาใช้งานด้วยราคาที่ไม่สูงมากนัก ผู้วิจัยได้กำหนดแนวคิดในด้านการก่อสร้างและวัสดุไว้ดังนี้

- เตาแก๊สชีววมวลจะต้องมีต้นทุนการก่อสร้างไม่สูงมากนัก
- เตาแก๊สชีววมวลสร้างโดยใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น

4.1.2 การคัดเลือกเทคโนโลยี

เพื่อให้ได้เตาแก๊สชีววมวลที่สามารถทำงานได้ตามแนวคิดในการออกแบบที่กำหนดไว้ข้างต้น ผู้วิจัยได้นำแนวคิดในการออกแบบด้านต่างๆ ทั้ง 4 ด้านมาพิจารณาพร้อมกับหลักการทางวิศวกรรมของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ในขั้นตอนของการคัดเลือกเทคโนโลยีเริ่มจากการศึกษาหลักการทางวิศวกรรมเพื่อให้ได้เทคโนโลยีเตาแก๊สชีววมวลที่เหมาะสมในการพัฒนาเป็นเตาแก๊สชีววมวลและรองรับแนวคิดในการออกแบบที่กำหนดไว้ข้างต้น

การศึกษาเพื่อคัดเลือกเทคโนโลยีสำหรับเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยเชื้อเพลิงชีววมวลนั้นใช้วิธีการศึกษาและเปรียบเทียบข้อมูลจากเอกสารทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง โดยเริ่มจากการกำหนดหลักการที่สำคัญสองประการของเตาแก๊สชีววมวลที่ต้องการพัฒนา คือ (1) เตาแก๊สชีววมวลใช้ระบบการไหลของอากาศโดยธรรมชาติ โดยไม่ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอก (2) เตาแก๊สชีววมวลสามารถเติมเชื้อเพลิงได้แบบต่อเนื่อง และมีการใช้งานง่าย จากแนวคิดในการออกแบบที่ต้องการเตาแก๊สชีววมวลที่มีการใช้งานง่าย และไม่ต้องการใช้พลังงานจากภายนอก ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้เตาชนิด เบดคงที่ ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากเตาแบบเบดคงที่แบบต่างๆ ที่มีการเปรียบเทียบด้านการเติมเชื้อเพลิงและระบบการจ่ายอากาศดังแสดงรายละเอียดสรุปได้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากเตาแบบเบดคงที่

เทคโนโลยีการผลิต แก๊สเชื้อเพลิง	การเติมเชื้อเพลิง	ระบบการจ่ายอากาศ	เทคโนโลยีที่เลือก
การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบ อากาศไหลลง	เติมเชื้อเพลิงได้ แบบต่อเนื่อง	ต้องการพัดลม	×
การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบ อากาศไหลขึ้น	เติมเชื้อเพลิงได้ คราวละหนึ่งครั้ง	ไม่ต้องการพัดลม	×
การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบ อากาศไหลตามขวาง	เติมเชื้อเพลิงได้ แบบต่อเนื่อง	ไม่ต้องการพัดลม	✓

จากการวิเคราะห์เทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงดังรายละเอียดในตารางที่ 4.1 ร่วมกับการพิจารณาแนวคิดในการออกแบบเตาแก๊สชีวมวลที่ไม่ต้องการใช้พลังงานจากภายนอก และสามารถเติมเชื้อเพลิงได้ จะได้เทคโนโลยีที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการออกแบบเตาแก๊สชีวมวลคือ เทคโนโลยีผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบอากาศไหลตามขวาง

4.1.3 การออกแบบระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบอากาศไหลตามขวาง

หลังจากได้คัดเลือกเทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาแล้ว จึงทำการออกแบบระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้เทคโนโลยีแบบอากาศไหลตามขวางที่ใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อใช้เป็นพลังงานในการประกอบอาหาร ดังนั้นระบบที่ออกแบบจึงประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 4 ส่วนคือ (1) ส่วนผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (2) ส่วนเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง (3) ระบบการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ และ (4) ระบบการระบายแก๊สร้อนหลังการเผาไหม้

1). การออกแบบส่วนผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

ส่วนผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเป็นส่วนที่เชื้อเพลิงได้รับความร้อนและทำปฏิกิริยากับอากาศในการเกิดปฏิกิริยาและผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ส่วนผลิตแก๊สเชื้อเพลิงประกอบด้วยองค์ประกอบหลักที่สำคัญห้าส่วนคือ ห้องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (reaction chamber) ห้องอากาศปฐมภูมิ (primary air inlet) ห้องแก๊สเชื้อเพลิงไหลออกไปยังห้องเผาไหม้ (gaseous chamber) ห้องถ่ายเถ้า (ash chamber) และ ห้องเติมเชื้อเพลิง (hopper) รายละเอียดของแต่ละส่วนแสดงดังต่อไปนี้

ห้องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเป็นส่วนที่มีความสำคัญที่สุดในระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเพราะปฏิกิริยาการเกิดแก๊สเชื้อเพลิงจะเกิดขึ้นภายในส่วนนี้ โดยห้องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ห้องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงออกแบบโดยใช้เหล็กเส้นขึ้นเป็นรูปทรงกระบอก โครงสร้างของห้องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างภายในห้องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

เนื่องจากห้องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเป็นส่วนที่เชื้อเพลิงเกิดปฏิกิริยาเคมีความร้อน จึงมีอุณหภูมิสูง ดังนั้นในส่วนนี้จึงใช้ปูนทนไฟเป็นวัสดุทนความร้อน การบุปูนทนไฟแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ห้องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่บูปุนทนไฟ

แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากห้องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจะไหลผ่านทางช่องว่างระหว่างเหล็กเส้นออกไปยังห้องเผาไหม้ โดยไหลผ่านห้องแก๊สเชื้อเพลิงที่ออกแบบเป็นรูปทรงตัวแอลหัวกลับ ห้องแก๊สเชื้อเพลิงไหลผ่านออกไปยังห้องเผาไหม้แสดงดังรูปที่ 4.3



ห้องแก๊สเชื้อเพลิง
ไหลออกไปยังห้องเผาไหม้

รูปที่ 4.3 ห้องแก๊สเชื้อเพลิงไหลออกไปยังห้องเผาไหม้

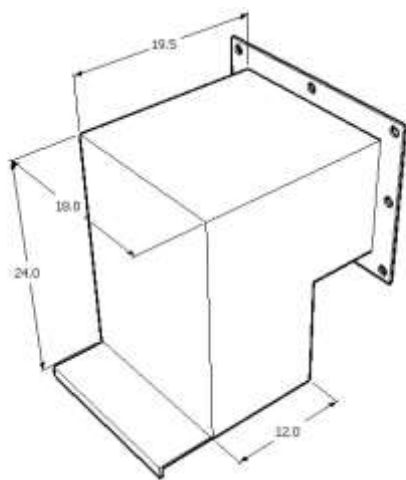
ห้องอากาศปฐมภูมิเป็นห้องที่อากาศจากภายนอกจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงที่บรรจุอยู่ภายในห้องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ดังนั้นจึงเจาะห้องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ตำแหน่งเหนือตะแกรง เป็นช่องมีขนาด กว้าง 11 เซนติเมตร และยาว 17 เซนติเมตร ช่องอากาศปฐมภูมิแสดงดังรูปที่ 4.4



ช่องทางเข้าอากาศปฐุมภูมิ

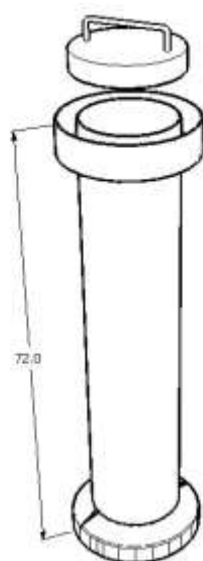
รูปที่ 4.4 ช่องทางเข้าของอากาศปฐุมภูมิ

ช่องอากาศปฐุมภูมิเชื่อมต่อกับห้องอากาศปฐุมภูมิที่ออกแบบเป็นรูปตัวแอลเพื่อให้อากาศไหลเข้ามาปะทะกับผาด้านบนของกล่องเพื่อเพิ่มความเร็วและสะท้อนกลับลงมาและไหลเข้าไปในห้องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ห้องอากาศปฐุมภูมิเป็นห้องรับอากาศจากภายนอกที่จะไหลเข้าไปในห้องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ที่ตำแหน่งที่เจาะด้านข้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 เนื่องจากหลักการและแนวคิดในการออกแบบที่ไม่ใช้พัดลม จึงมีการออกแบบให้อากาศไหลแบบตามธรรมชาติ ในส่วนนี้จึงออกแบบห้องอากาศปฐุมภูมิให้อากาศจากภายนอกไหลขึ้นไปตรงๆและปะทะกับผนังด้านหนึ่งของห้องอากาศปฐุมภูมิทำให้อากาศมีความเร็วมากขึ้นและไหลกลับมาเข้าช่องทางที่ต่อกับเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง โดยปริมาณอากาศปฐุมภูมิสามารถปรับได้จากช่องประตูที่อยู่ทางด้านล่าง ห้องอากาศปฐุมภูมิทำจากแผ่นเหล็กทำเป็นกล่องมีขนาด กว้าง 18 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร สูง 24 เซนติเมตร โดยกล่องอากาศปฐุมภูมินี้แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นส่วนที่รับอากาศจากภายนอกเข้ามามีการออกแบบเพื่อเพิ่มความเร็วให้อากาศที่จ่ายเข้ามาเดินทางเข้าไปยังช่องอากาศปฐุมภูมิ จึงได้ตัดกล่องช่วงล่างออกให้กล่องมีลักษณะเป็นรูปตัวแอล โดยขนาดในส่วนต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ห้องอากาศปฐมภูมิ

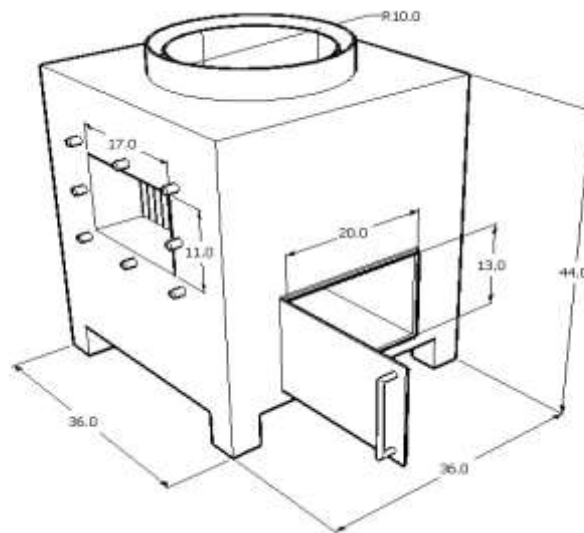
ห้องเดิมเชื้อเพลิง เป็นส่วนที่ต่อกับเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง เป็นห้องสำหรับบรรจุและเดิมเชื้อเพลิง เนื่องจากหลักการและแนวคิดในการออกแบบนี้คือเป็นเตาที่ใช้ในกิจการตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดกลาง ซึ่งต้องการใช้งานติดต่อกันได้ประมาณ 1.5 – 2 ชั่วโมง ห้องเดิมเชื้อเพลิงมีการออกแบบให้เป็นรูปกรวยเพื่อให้เชื้อเพลิงไหลลงได้โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ห้องเดิมเชื้อเพลิงมีลักษณะเป็นท่อรูปกรวยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 72 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ห้องเดิมเชื้อเพลิง

ห้องรับเถ้าเป็นห้องที่อยู่ใต้ตะแกรงของห้องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง เป็นห้องที่เถ้าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะไหลลงมาในห้องนี้ จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าห้องรับเถ้าเป็นช่องที่อยู่ทางด้านหน้าของเตาเป็นช่องที่มีขนาดกว้าง 12 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และติดประตูเปิด-ปิดได้

ภาพรวมของส่วนผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 4.7

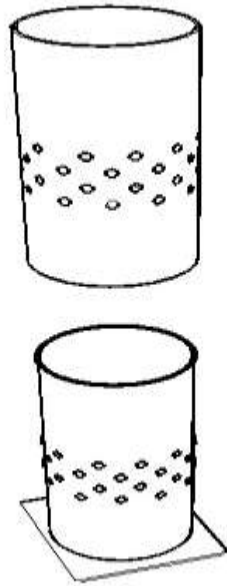


รูปที่ 4.7 ภาพรวมด้านนอกของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

2). การออกแบบ ส่วนเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง

ส่วนเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเป็นส่วนที่จะนำแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงไปเผาไหม้เพื่อให้เกิดความร้อนส่วนนี้จะประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วนที่ต่อกัน คือ (1) ช่องรับแก๊สเชื้อเพลิง และ (2) ห้องเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง

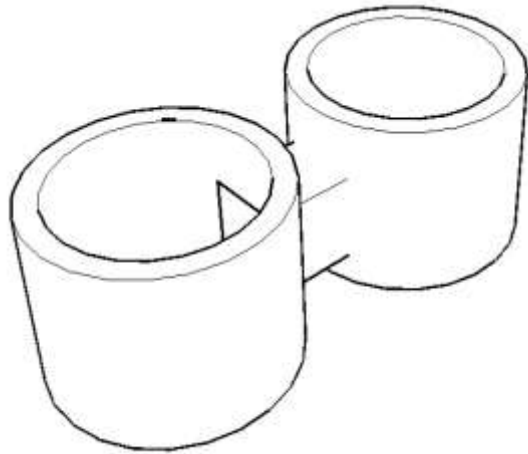
ส่วนเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง เป็นส่วนที่แก๊สเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ โดยใช้อากาศหุติภูมิ ส่วนนี้มีลักษณะเป็นท่อสองชั้นซึ่งเจาะช่องอากาศโดยรอบเพื่อเป็นช่องให้อากาศจากภายนอกเข้ามาใช้ในการเผาไหม้ โดยปริมาณอากาศสามารถปรับได้โดยหมุนปรับช่องอากาศตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ส่วนเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง

3). การออกแบบระบบการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์

ที่วางภาชนะและระบบส่งผ่านความร้อนไปยังการประยุกต์ใช้งานเป็นส่วนที่ต่อกับส่วนเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงจะเป็นส่วนที่จะนำความร้อนจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงไปประยุกต์ใช้งาน เตาแก๊สชีวมวลที่ออกแบบในการศึกษานี้ได้ออกแบบให้ภาชนะวางอยู่บนส่วนเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง และเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจึงออกแบบโดยให้ส่วนนี้เป็นที่วางภาชนะและทำด้วยปูนทนไฟ การใช้งานวางภาชนะอยู่ภายใน และเนื่องจากยังคงมีความร้อนเหลืออยู่จากการนำไปใช้งานภาชนะใบที่หนึ่ง ดังนั้นจึงนำความร้อนส่วนที่เหลือส่งผ่านมายังภาชนะใบที่สองที่ต่อกับภาชนะใบที่หนึ่ง ที่วางภาชนะและระบบส่งผ่านความร้อน แสดงดังรูป ที่ 4.9

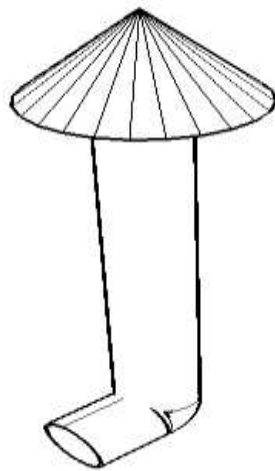


รูปที่ 4.9 ที่วางภาชนะและระบบส่งผ่านความร้อนไปยังการประยุกต์ใช้งาน

4). การออกแบบระบบการระบายแก๊สไอเสียหลังการเผาไหม้

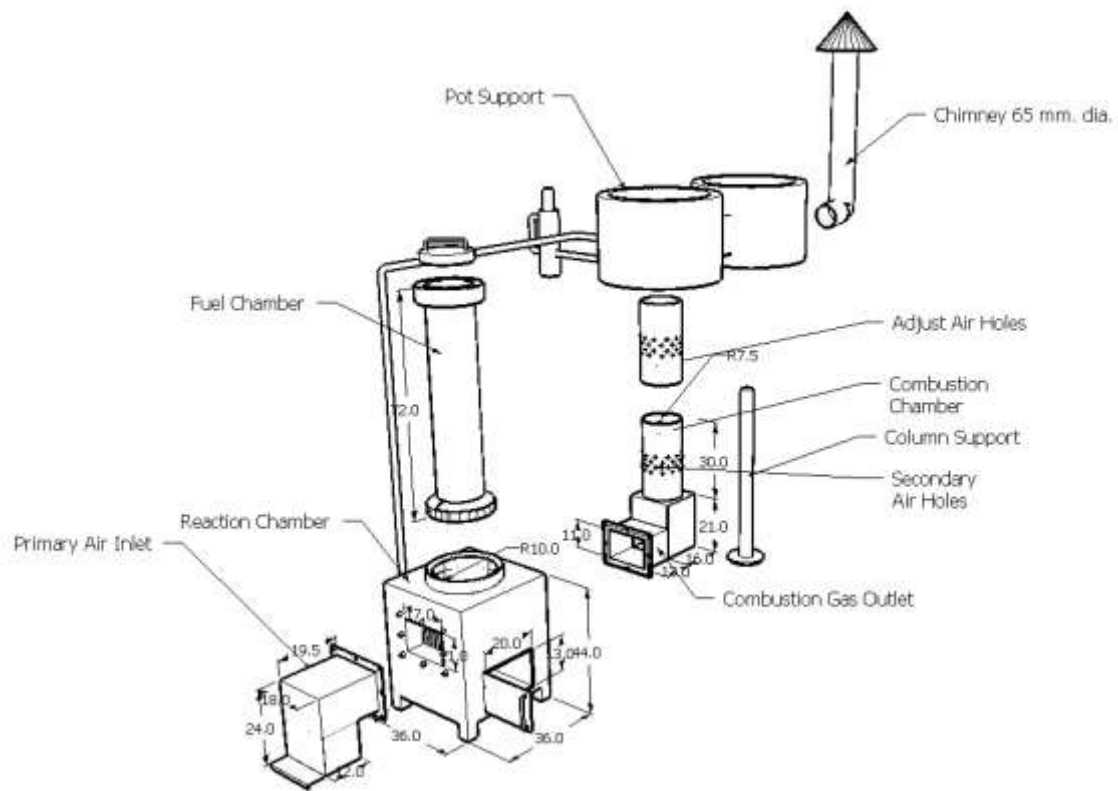
เพื่อระบายแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ จึงมีการออกแบบให้มีท่อเพื่อระบายแก๊สร้อนที่เกิดขึ้น

ซึ่งได้ออกแบบเป็นท่อต่อตรงจากภาชนะใบที่สอง ท่อระบายแก๊สไอเสียแสดงดังรูปที่ 4.10



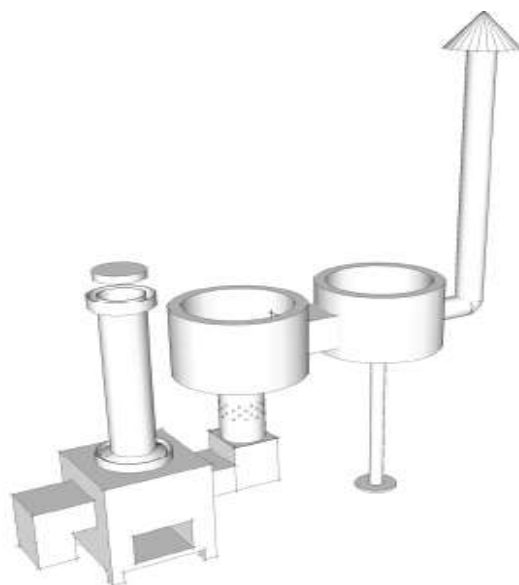
รูปที่ 4.10 ท่อระบายแก๊สไอเสีย

ส่วนต่างๆของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงดังที่กล่าวข้างต้น เมื่อนำมาประกอบกันจะได้ระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง การประกอบระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง แสดงดังรูปที่ 4.11



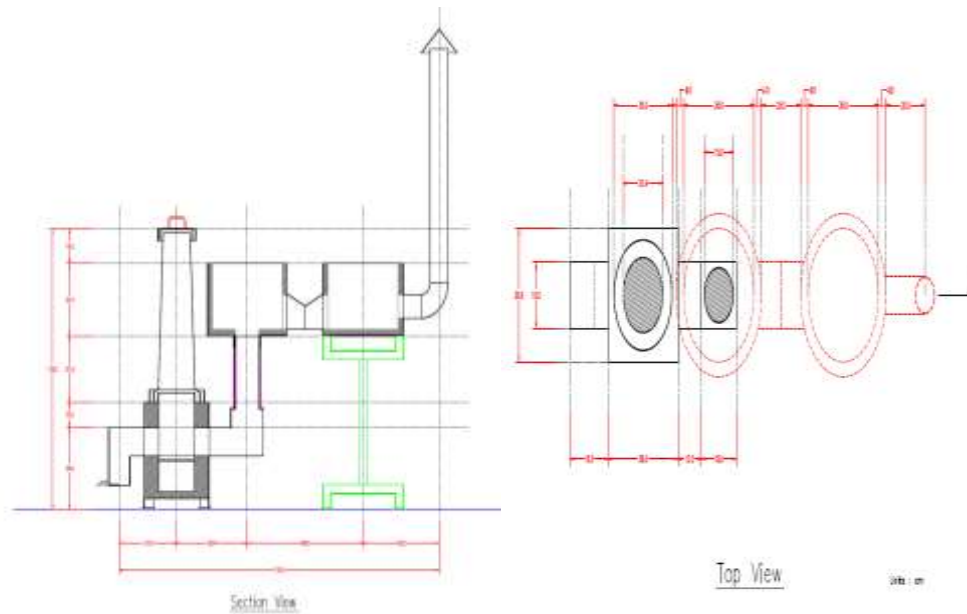
รูปที่ 4.11 การประกอบระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

ภาพรวมของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเมื่อประกอบส่วนต่างๆเข้าด้วยกันแล้ว ภาพสามมิติของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 4. 12



รูปที่ 4.12 ภาพสามมิติของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

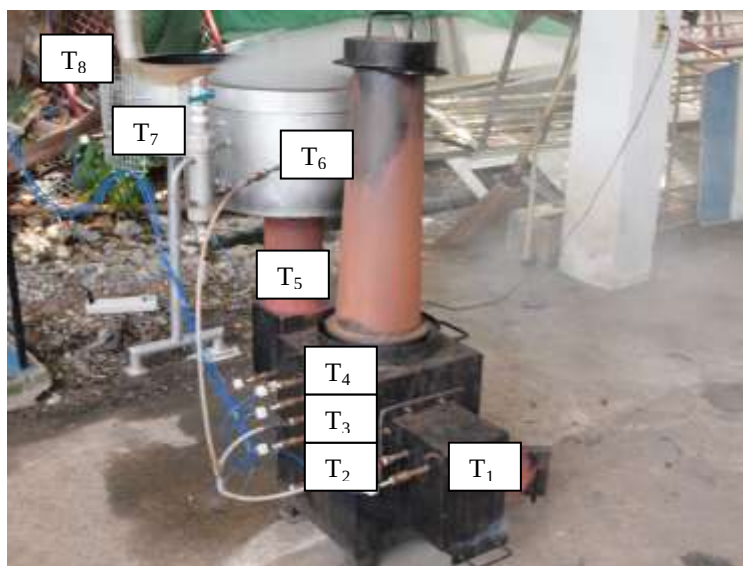
มุมมองด้านหน้า และมุมมองด้านบนของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 มุมมองด้านหน้าและมุมมองด้านบนของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

4.2 การทดสอบสมรรถนะของเตาแก๊สชีวมวล

การทดสอบสมรรถนะของเตาแก๊สชีวมวลในการศึกษานี้ได้ทำการทดลองใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ ชีวมวลไม้ยูคาลิปตัส เศษกิ่งไม้ และกะลามะพร้าว การศึกษานี้กำหนดให้ปริมาณอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของชีวมวลแต่ละชนิดเป็นตัวแปรควบคุม ชนิดของชีวมวลเป็นตัวแปรต้น โดยศึกษาตัวแปรตามต่างๆ ได้แก่ (1) ระดับของอุณหภูมิของตัวแปรต่างๆ ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในเตาแก๊สชีวมวล 8 ตำแหน่ง (2) ระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตา (3) อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด (4) ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิต และ (5) ปริมาณแก๊สร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงและระบายออกทางปล่อง ซึ่งผลการทดสอบจะนำเสนอเป็นลำดับต่อไป ตำแหน่งที่ทำการวัดค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ 8 ตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิ 8 ตำแหน่ง

4.2.1 ผลการทดสอบและวิเคราะห์สมรรถนะของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ชี้นไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง

4.2.1.1 ผลการทดสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิภายในเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ชี้นไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง

จากการทดลองใช้งานระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้ออกแบบด้วยเทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบอากาศไหลตามขวางโดยใช้ชี้นไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง ในระหว่างการดำเนินการได้ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิภายในเตาแก๊สชีวมวลที่ตำแหน่งต่างๆ การวัดอุณหภูมิกระทำโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด เค และบันทึกข้อมูลโดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติแบบต่อเนื่อง ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิภายในระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงมี 8 ตำแหน่ง ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นภายในระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสามารถพิจารณาได้จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เทียบกับระยะเวลา เนื่องจากการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลจะต้องมีการจุดเตาเพื่อให้เชื้อเพลิงติดไฟก่อนโดยใช้เศษชีวมวลชิ้นเล็กๆเป็นเชื้อเพลิง เมื่อชีวมวลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเริ่มติดไฟจึงควบคุมปริมาณอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาให้เหมาะสมสำหรับชีวมวลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ดังนั้นในการใช้งานระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจะแบ่งช่วงเวลาเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรกเป็นช่วงเวลา

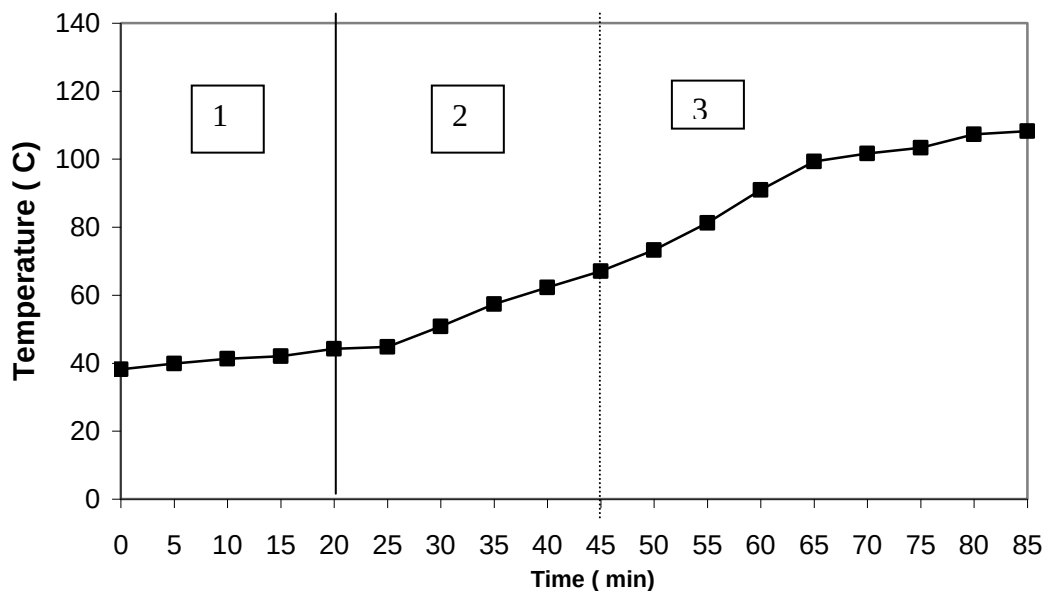
เชื้อเพลิงชีวมวลใช้ในการเริ่มต้นไฟ ช่วงที่สองหลังจากชีวมวล เริ่มต้นไฟแล้ว ในช่วงนี้จะต้องปรับปริมาณอากาศปฐมภูมิที่ใช้ให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิงแต่ละชนิด เพราะถ้าใช้ปริมาณอากาศมากเกินไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิง และถ้าใช้ปริมาณอากาศน้อยมากเกินไปปริมาณความร้อนจะไม่เพียงพอสำหรับการเกิดปฏิกิริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งปริมาณอากาศที่ใช้ในกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจะต้องน้อยกว่าปริมาณอากาศที่ต้องการในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ในช่วงนี้การเกิดปฏิกิริยายังไม่เสถียร ช่วงที่สามเป็นช่วงที่เตามีอุณหภูมิสูงขึ้น เชื้อเพลิงภายในเตาเกิดปฏิกิริยาอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นการศึกษากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สชีวมวลในการศึกษารุ่นนี้ จึงศึกษาโดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาเป็น 3 ช่วง โดยช่วงที่หนึ่งเป็นช่วงที่เริ่มจุดเตา จนเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้เริ่มต้นไฟ ช่วงที่สองเป็นช่วงที่เชื้อเพลิงชีวมวลติดไฟและปรับปริมาณอากาศให้เหมาะสมกับการทำปฏิกิริยาเกิดแก๊สเชื้อเพลิง และช่วงที่สามเป็นช่วงที่เชื้อเพลิง ชีวมวลภายในเตาเริ่มเกิดปฏิกิริยาและเกิดแก๊สเชื้อเพลิงอย่างสม่ำเสมอ การนำเสนอผลและวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิของตัวแปรต่างๆที่ทำการวัด จะนำเสนอเป็นลำดับ

1). การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศปฐมภูมิภายในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ขึ้นไม้อุทาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง

อากาศปฐมภูมิเป็นอากาศจากภายนอกที่เข้าสู่ระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง เพื่อเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (gasifying agent) ถ้าพิจารณาอุณหภูมิของอากาศปฐมภูมิภายในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของอากาศปฐมภูมิมีการเปลี่ยนแปลงโดย ในช่วงแรกที่เริ่มจุดเตาใช้เวลาประมาณ 20 นาที ในช่วงนี้อุณหภูมิของอากาศปฐมภูมิมีค่าเฉลี่ยประมาณ 40 องศาเซลเซียสซึ่งมีค่าเกือบเท่ากับอุณหภูมิของอากาศที่อยู่ภายนอก แต่เมื่อเวลาผ่านไปในช่วงที่สอง อุณหภูมิของอากาศปฐมภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 40 องศาเซลเซียส เป็น 60 องศาเซลเซียส ภายในช่วงเวลา 25 นาที และจะสังเกตได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปในช่วงที่สาม

เมื่อเดินระบบนานมากขึ้นอุณหภูมิอากาศปฐมภูมิจะมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนถึงประมาณ 100 องศาเซลเซียส การที่อุณหภูมิอากาศปฐมภูมิมีค่าสูงขึ้นตลอดเนื่องจากอากาศจากภายนอกที่ผ่านเข้าไปได้รับความร้อนที่สะสมภายในเตาจากเชื้อเพลิงภายในในเตาที่ติดไฟ การที่อากาศปฐมภูมิมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อากาศมีค่าเอนทัลปีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ปฏิกิริยาการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเกิดได้ดีขึ้น การอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นเป็นวิธีที่นิยมใช้กันในการเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาของเชื้อเพลิง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศปฐมภูมิแสดงดังกราฟรูปที่

4.15

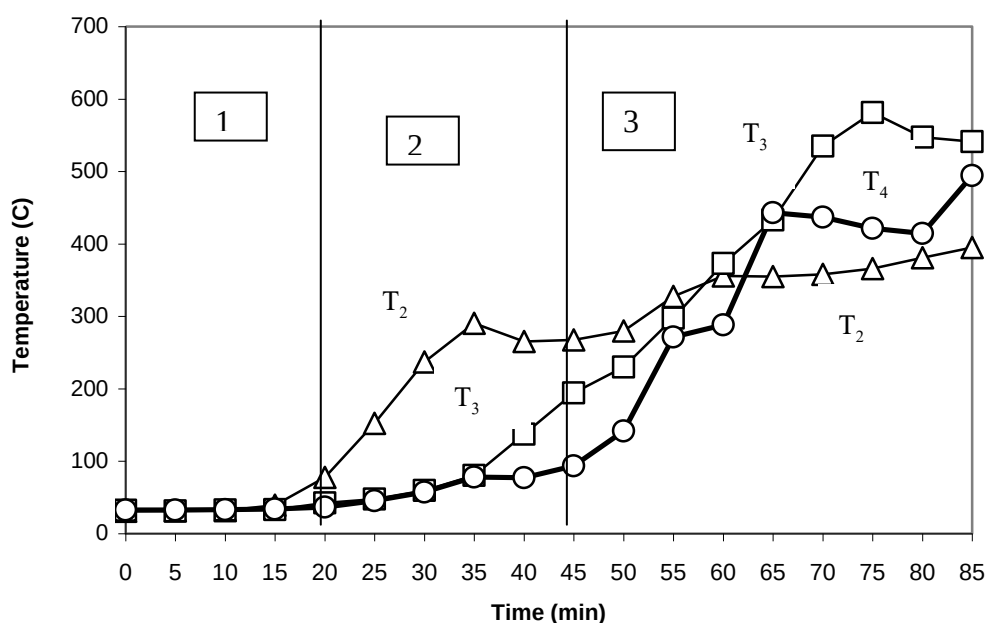


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงอุณหภูมิอากาศปฐมภูมิ

2). การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ชิ้นไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง เตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเป็นส่วนที่บรรจุเชื้อเพลิงอยู่ภายใน เป็นส่วนที่มีความสำคัญในระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง เพราะปฏิกิริยาการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจะขึ้นภายในเตานี้ หลังจากทีเชื้อเพลิงบรรจุภายในเตาและจุดเตาโดยใช้เชื้อเพลิงชิ้นเล็กๆ และจ่ายอากาศปฐมภูมิไปยังเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงและเชื้อเพลิงเริ่มติดไฟ เชื้อเพลิงชีวมวลที่บรรจุอยู่ภายในเตาแก๊สชีวมวลจะเกิดปฏิกิริยาต่างๆกัน ตามระดับความร้อนที่เชื้อเพลิงในแต่ละชั้นได้รับ เชื้อเพลิงที่อยู่ภายในเตาในแต่ละ

บริเวณจะได้รับความร้อนไม่เท่ากัน ถ้าพิจารณาจากลักษณะของเตาเกิดชีวมวลแบบอากาศไหลตามขวางซึ่งมีช่องจ่ายอากาศปฐมภูมิอยู่เหนือตะแกรงขึ้นไป เชื้อเพลิงบางส่วน ที่อยู่ในบริเวณช่องจ่ายอากาศปฐมภูมิ จะเกิดการเผาไหม้เมื่อเชื้อเพลิงได้รับความร้อนและมีอุณหภูมิสูงขึ้น บริเวณนี้จะมีอุณหภูมิสูงสุดซึ่งเรียกว่าโซนเผาไหม้ เชื้อเพลิงที่อยู่ติดกับโซนเผาไหม้จะได้รับความร้อนและผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาจากกระบวนการเผาไหม้ โดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะไหลเข้าทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงที่อยู่ในบริเวณถัดไปทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันผลิตแก๊สเชื้อเพลิง สำหรับเชื้อเพลิงที่อยู่ห่างออกไปจากโซนเผาไหม้จะได้รับความร้อนและอากาศในปริมาณที่จำกัดทำให้เกิดปฏิกิริยาคลั่งสารระเหยที่อยู่ในเชื้อเพลิงออกมาซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยาการเผาถ่าน (pyrolysis) และเชื้อเพลิงที่อยู่ห่างออกไปได้รับความร้อนเกิดการระเหยนํ้าออกจากเชื้อเพลิง จากการวัดอุณหภูมิภายในเตาที่ตำแหน่งต่างๆ 3 ตำแหน่ง คือที่ตำแหน่งเหนือตะแกรงขึ้นไปที่ระยะ 5 , 10 และ 15 เซนติเมตร ผลของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆแสดงในกราฟรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกที่เริ่มจุดเตาอุณหภูมิภายในเตาที่ตำแหน่งต่างๆยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภายในเตายังไม่เกิดปฏิกิริยาเนื่องจากเชื้อเพลิงยังไม่ติดไฟ ในช่วงที่ สอง เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 20 นาที อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในเตามีการเปลี่ยนแปลง โดยอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆที่ทำการวัดมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดย อุณหภูมิ T_2 ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง เหนือตะแกรง จะมีอุณหภูมิสูงสุด เนื่องจากการจุดเตาสำหรับเตาแบบอากาศไหลตามขวาง จะจุดที่ด้านข้างใต้ตะแกรงดังนั้นเชื้อเพลิงที่อยู่ติดกับตะแกรงจึงได้รับความร้อนและติดไฟ ดังนั้นอุณหภูมิที่ตำแหน่ง T_2 จะสูงที่สุด ในช่วงหลังจากเชื้อเพลิงติดไฟแล้ว และอุณหภูมิ T_3 ซึ่งอยู่เหนือขึ้นไปก็ยังได้รับความร้อนจากเชื้อเพลิงบริเวณ T_2 อุณหภูมิ T_3 จึงเพิ่มขึ้น สำหรับอุณหภูมิที่ตำแหน่ง T_4 อุณหภูมิ ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในช่วงนี้ เนื่องจากอยู่ห่างจากบริเวณ T_2 มาก ความร้อนจากบริเวณ T_2 และ T_3 ส่งผ่านไปได้น้อย การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ในช่วงที่ สามซึ่งเป็นช่วงที่เกิดปฏิกิริยาภายในเตาเริ่มคงที่ แล้ว จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิ ณ ตำแหน่ง T_3 จะมีค่าสูงที่สุด เพราะเนื่องจากที่ตำแหน่ง T_3 อยู่ ตรงกับตำแหน่งที่จ่ายอากาศปฐมภูมิ เมื่อเชื้อเพลิงบริเวณนี้ได้รับความร้อนและได้รับอากาศที่จ่ายเข้าไปจึงทำให้บริเวณนี้เกิดเป็นโซนเผาไหม้ และ บริเวณ T_2 จะเป็นโซนรีดักชัน และเกิดการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในบริเวณนี้ และ อุณหภูมิในบริเวณ T_4 จะสูงเพิ่มขึ้นเนื่องจากเตาร้อนขึ้น จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาทำให้สามารถเข้าใจปฏิกิริยาการเกิดแก๊สเชื้อเพลิงภายในเตาได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะทำให้สามารถดำเนินการจุดเตาแก๊สเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ



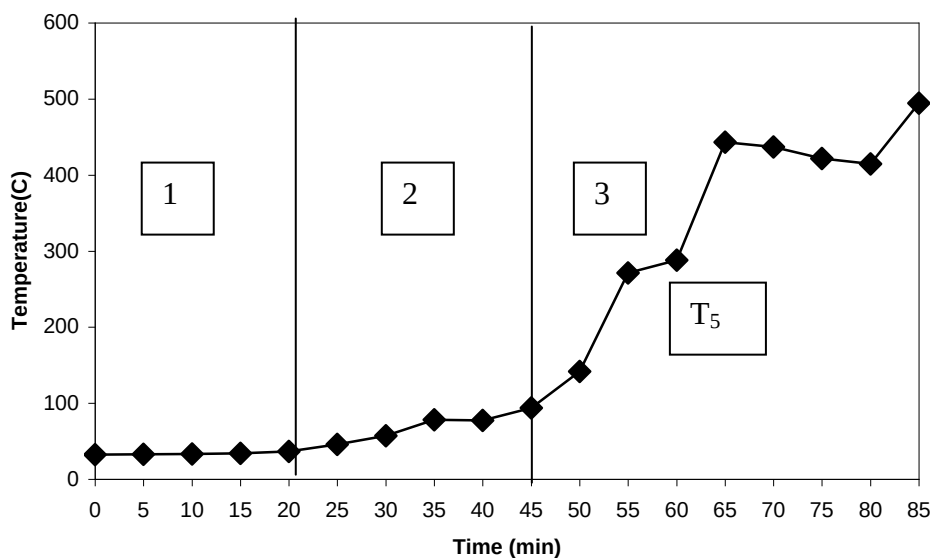
รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สชีวมวล

3). การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ชิ้นไม้

ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง

แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในเตาแก๊สชีวมวล ที่ใช้เชื้อเพลิงชิ้นไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง เกิดขึ้นเนื่องจากเชื้อเพลิงได้รับความร้อนและติดไฟ โดยใช้อากาศปฐมภูมิที่จ่ายเข้าไปภายในเตาในปริมาณที่ต่ำกว่าปริมาณอากาศที่ต้องการตามทฤษฎีสำหรับการเผาไหม้ที่

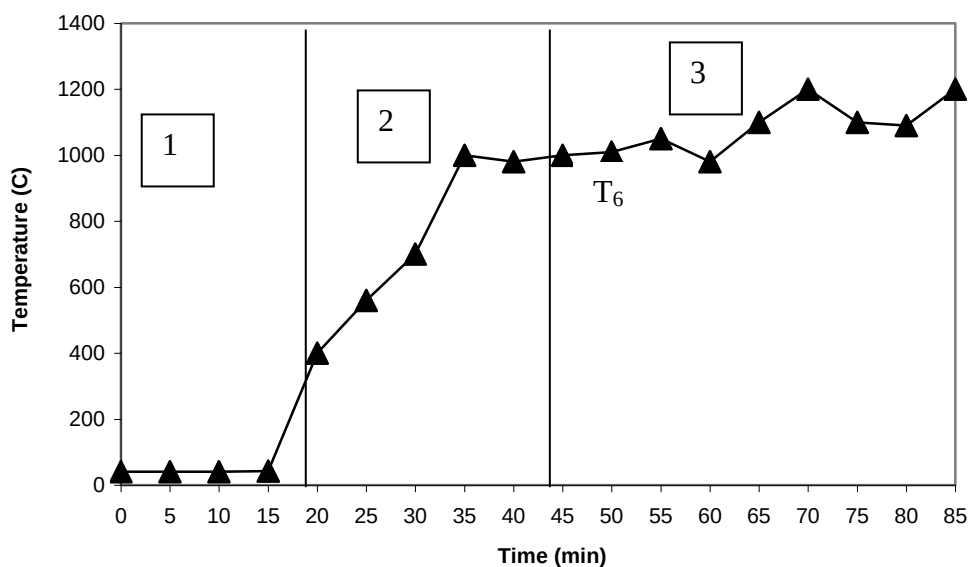
สมบูรณ์ ดังนั้นเชื้อเพลิงจะไม่เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดกระบวนการปลดปล่อยสารระเหย(Volatilization)ออกมา ซึ่งสารระเหยเป็นองค์ประกอบที่อยู่ในเศษไม้ ดังที่ปรากฏในรูปของคว้น ในช่วงแรกคว้นจะมีสีขาวซึ่งเป็นการขับไล่ความชื้นในเศษไม้ออกมา เมื่อความชื้นถูกขับออกมาหมดคว้นจะเปลี่ยนเป็นสีเข้วเข้มหรือออกเหลือง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเศษไม้แสดงดังกราฟรูปที่ 4.17 จากกราฟจะเห็นได้ว่า ในช่วงแรกที่เชื้อเพลิงเริ่มติดไฟอุณหภูมิยังไม่สูงมากนัก แก๊สเชื้อเพลิงจะยังไม่เกิดขึ้น และเมื่อเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิสูงขึ้นในช่วงที่สองจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงเริ่มเปลี่ยนแปลงสูงขึ้น และเห็นชัดเจนในช่วงที่สามอุณหภูมิแก๊สเชื้อเพลิงจะมีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อดำเนินการทดสอบจนถึงช่วงที่สามนั้นอุณหภูมิแก๊สเชื้อเพลิงอยู่ในสภาวะที่คงที่



รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ชิ้นไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง

4). การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเผาไหม้ของแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ขึ้นไม้อยู่ภายใต้สภาวะเป็นเชื้อเพลิง

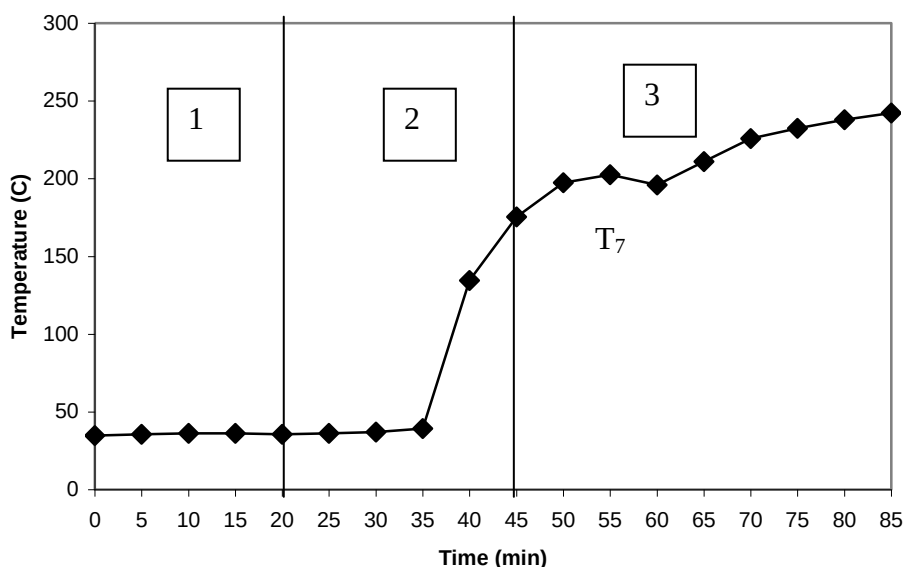
การประยุกต์นำแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลไปใช้ประโยชน์ในรูปของความร้อนนั้นจะต้องเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ในการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงนั้นต้องการอากาศเพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ดังนั้นแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลจึงถูกส่งมายังส่วนเผาไหม้โดยใช้อากาศชุดเดียวจากภายนอกเตา จากลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการเผาไหม้ของแก๊สเชื้อเพลิงดังแสดงในรูปที่ 4.18 จะเห็นว่าในช่วงแรก อุณหภูมิยังไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากเป็นช่วงที่เริ่มจุดเตา แก๊สเชื้อเพลิงยังไม่เกิดขึ้น ในช่วงที่สองอุณหภูมิการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเริ่มสูงขึ้นโดยมีอุณหภูมิประมาณ 400- 600 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงว่าแก๊สเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นในช่วงที่สองยังมีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์บางส่วน ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการเกิดแก๊สเชื้อเพลิงมากเกินไปในช่วงนี้ทำให้ปริมาณอากาศชุดเดียวไม่เพียงพอสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และหลังจากที่การเกิดแก๊สเชื้อเพลิงเริ่มเสถียรและมีการปรับอากาศที่เหมาะสมสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ อุณหภูมิแก๊สเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิสูงมากขึ้นอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 1000- 1200 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์



รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากขึ้นไม้อยู่ภายใต้สภาวะ

5). การนำความร้อนเหลือทิ้งไปใช้งาน

การศึกษานี้ได้ออกแบบที่วางภาชนะทำด้วยปูนทนไฟซึ่งทำให้เก็บความร้อนได้ดี และนอกจากนี้ยังได้ออกแบบให้มีการนำความร้อนเหลือทิ้งจากการใช้งานมาใช้ประโยชน์ โดยต่อท่อนำความร้อนที่เหลือที่ยังมีอุณหภูมิสูงมากอยู่ไปใช้ประโยชน์ก่อนที่จะทิ้งสู่บรรยากาศ ผลการทดลองวัดอุณหภูมิของความร้อนเหลือทิ้งแสดงดังกราฟในรูปที่ 4.19 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์นั้นยังคงมีอุณหภูมิสูงซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ก่อนทิ้งสู่บรรยากาศ โดยหลังจากที่เกิดปฏิกิริยาภายในเตาและเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงนำความร้อนไปใช้ประโยชน์โดยตรงแล้วอุณหภูมิอากาศร้อนยังคงมีอุณหภูมิสูงอยู่โดยอุณหภูมิมักอยู่ระหว่าง 150- 250 องศาเซลเซียส ซึ่งยังคงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ก่อนนำไปทิ้งสู่บรรยากาศ

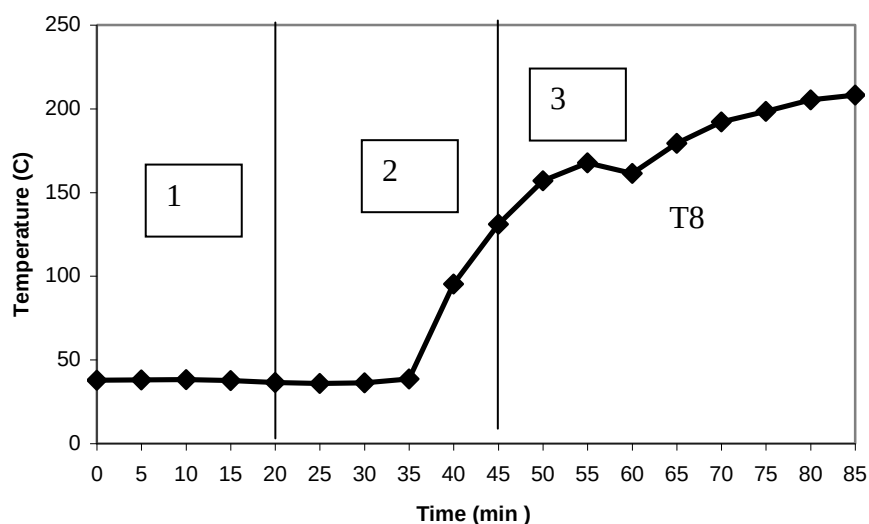


รูปที่ 4.19 อุณหภูมิจากความร้อนที่ส่งต่อมายังภาชนะใบที่สองโดยการส่งผ่านความร้อน

6). อุณหภูมิแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ระบายออกทางปล่อง

หลังจากที่นำความร้อนจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์แล้ว แก๊สร้อนจะถูกระบายออกทางปล่อง โดยอุณหภูมิของแก๊สร้อนที่ระบายออกทางปล่องแสดงดังกราฟในรูปที่ 4.20 จากกราฟจะเห็นได้ว่าถึงแม้ว่าได้นำความร้อนที่เหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ก่อนที่จะระบายสู่

บรรยากาศ แล้ว อุณหภูมิของแก๊สร้อนยังคงมีอุณหภูมิสูง โดยมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 100- 200 องศาเซลเซียส ซึ่งเห็นได้ว่ายังคงสามารถนำความร้อนเหลือทิ้งไปใช้ประโยชน์ต่อได้อีก ก่อนที่จะนำมาระบายทิ้งสู่บรรยากาศ



รูปที่ 4.20 อุณหภูมิแก๊สไอเสียที่ระบายออกที่ปล่องที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ชี้นไม้ยูคาลิปตัส เป็นเชื้อเพลิง

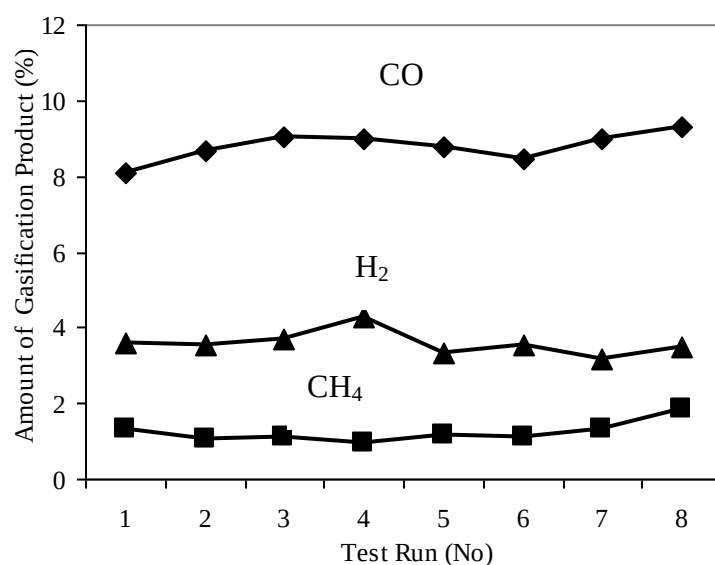
4.2.1.2 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ชี้น

ไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง

แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ชี้นไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิงในการศึกษานี้ พิจารณาจากปริมาณของแก๊สองค์ประกอบหลักที่อยู่ในแก๊สเชื้อเพลิง ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจน โดยทำการวัดปริมาณแก๊สเชื้อเพลิง ขณะสถานะการเกิดปฏิกิริยาภายในเตาอยู่ในสถานะที่เสถียร การวัดปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงในระหว่างการดำเนินการเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ชี้นไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิงนั้น ใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สโครโมโตกราฟี โดยในช่วงที่ทำการทดลองได้ทำการวัดปริมาณแก๊ส โดยในแต่ละค่าที่รายงานในผลการทดลองแต่ละค่า เป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยจากการวัดขณะปฏิกิริยาภายในเตาอยู่ในสถานะที่เสถียร โดยแต่ละค่าได้จากการวัดต่อเนื่องกัน 3 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย แก๊สที่ทำการวัดในการศึกษานี้

คือ ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวล และ ปริมาณแก๊สร้อนจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ระบายสู่บรรยากาศทางปล่องระบาย

1). ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงจาที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ชี้นไม้ยูคาลิปตัสขึ้นเป็นเชื้อเพลิง ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ชี้นไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิงจากการทดสอบในแต่ละครั้งแสดงดังกราฟในรูปที่ 4. 21 จากกราฟแสดงให้เห็นว่าภายใต้เงื่อนไขการดำเนินการที่ใกล้เคียงกันโดยใช้การสังเกตและปรับปริมาณอากาศปฐมภูมิที่ใช้ในแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง จากการทดสอบทั้งแปดครั้งปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดที่วัดที่ช่องทางออกของแก๊สเชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงกันทั้งแปดการทดลอง ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่รายงานในผลการทดลองแต่ละค่า เป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยจากการวัดขณะปฏิกิริยาภายในเตาอยู่ในสถานะที่เสถียร โดยแต่ละค่าได้จากการวัดต่อเนื่องกัน 3 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย จากผลการวัดแสดงว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณสูงสุด โดยมีปริมาณอยู่ระหว่าง 8- 10 % และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 8.7 % แก๊สไฮโดรเจน มีค่าอยู่ระหว่าง 4- 4.5 % และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 3.6 % และแก๊สมีเทน มีค่าอยู่ระหว่าง 1.8 -2 % และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.3 %



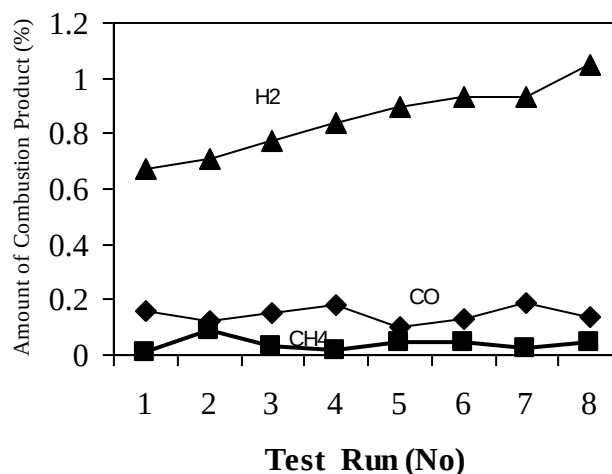
รูปที่ 4. 21 ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ชี้นไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง

2). ปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ชั้นไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง

และระบายสู่บรรยากาศทางปล่อง

หลังจากแก๊สเชื้อเพลิงไหลผ่านมายังหัวเผาจะผสมกับอากาศทุติยภูมิที่ผ่านเข้าทางช่องจ่ายอากาศทุติยภูมิ และแก๊สเชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้ ความสมบูรณ์ของการเผาไหม้สามารถพิจารณาได้จากปริมาณแก๊สร้อนหลังจากการเผาไหม้ ปริมาณแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้จะวัดเทียบกับปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ โดยปริมาณแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้แสดงดังกราฟที่ 4. 22

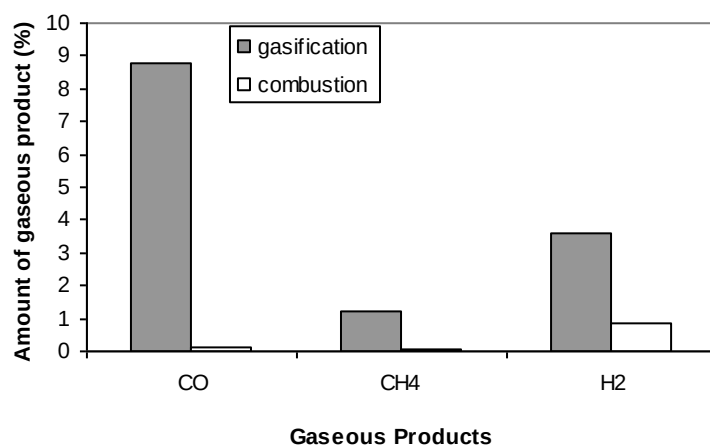
จากผลการทดลองในรูปที่ 4.21 ได้ทำการวัดปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกับปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สมีเทน จากการทดลองพบว่าปริมาณแก๊สร้อนจากการเผาไหม้มีปริมาณลดลงจากปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สเชื้อเพลิง โดยปริมาณแก๊สร้อนแต่ละชนิดจากการเผาไหม้มีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณคงเหลือ 0.15 % จากปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ผลิตในแก๊สเชื้อเพลิง แก๊สมีเทนมีปริมาณคงเหลือ 0.04 % จากปริมาณแก๊สมีเทนที่ผลิตในแก๊สเชื้อเพลิง และ แก๊สไฮโดรเจนมีปริมาณคงเหลือ 0.85 % จากปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ผลิตในแก๊สเชื้อเพลิง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเกิดขึ้นภายใต้สภาวะการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ว่าแก๊สที่ระบายออกทางปล่องไม่มีควันปนออกมา



รูปที่ 4.22 ปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ที่ระบายออกทางปล่อง

3). การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้

การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้แสดงดังรูปที่ 4.23 จากการเปรียบเทียบแก๊สเชื้อเพลิงแต่ละชนิดพบว่า หลังจากแก๊สเชื้อเพลิงผ่านกระบวนการเผาไหม้แล้วปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงแต่ละชนิดลดลง โดยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณคงเหลือ 0.15 % จากปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ผลิตโดยมีปริมาณลดลงจากเดิมประมาณ 98 % แก๊สมีเทนมีปริมาณคงเหลือ 0.04 % จากปริมาณแก๊สมีเทนที่ผลิตโดยมีปริมาณลดลงจากเดิมประมาณ 97 % และแก๊สไฮโดรเจนมีปริมาณคงเหลือ 0.85 % จากปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ผลิต โดยมีปริมาณลดลงจากเดิมประมาณ 76 % จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเกิดขึ้นภายใต้สภาวะการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ว่าแก๊สที่ระบายออกทางปล่องไม่มีควันปนออกมา



รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และแก๊สร้อนจากการเผาไหม้

4.2.1.3 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาแก๊สชีวมวลจากการใช้ชี้นไม้

ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง

ระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการใช้งานเตาแก๊สชีวมวล ระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาคือระยะเวลาดังแต่เริ่มจุดเชื้อเพลิงจนเริ่มเกิดแก๊สเชื้อเพลิงซึ่งแสดงให้เห็นจากเมื่อจุดไฟแก๊สเชื้อเพลิงแล้วแก๊สเชื้อเพลิงจุดไฟติด จากผลการทดสอบการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ชี้นไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิงและบันทึกระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาจากการใช้งานเตาแก๊สชีวมวล 3 ครั้ง มีผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงระยะเวลาจุดเตาที่ใช้ชี้นไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง

การทดสอบ	เวลา (นาที)
ครั้งที่ 1	20
ครั้งที่ 2	22
ครั้งที่ 3	20
ค่าเฉลี่ย	20.6

จากผลการทดลองวัดระยะเวลาจุดเตาแก๊สชีวมวลดังแสดงในตารางที่ 4. 2 พบว่าค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ขึ้นไม้อยู่คาลิปดัสเป็นเชื้อเพลิงใช้เวลาประมาณ 20 นาที ซึ่งค่าที่ได้จากการสังเกตนี้สอดคล้องกับช่วงเวลาที่อุณหภูมิในเตาแก๊สชีวมวลมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.16 ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สชีวมวล และ กราฟในรูปที่ 4.17 ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิง

4.2.1.4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ขึ้นไม้อยู่คาลิปดัสเป็นเชื้อเพลิง

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวลจากการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ขึ้นไม้อยู่คาลิปดัสเป็นเชื้อเพลิง ทำการทดสอบโดยเปรียบเทียบระหว่างปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ต่อระยะเวลาที่เชื้อเพลิงผลิตแก๊สเชื้อเพลิง จากการทดสอบโดยชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ และบันทึกระยะเวลาที่ดำเนินการตั้งแต่เริ่มต้นจุดเตาจนถึงเวลาที่ใช้เชื้อเพลิงจนหมด และนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ขึ้นไม้อยู่คาลิปดัสเป็นเชื้อเพลิง

ปริมาณขึ้นไม้อยู่คาลิปดัส (กิโลกรัม)	ระยะเวลาที่ใช้เชื้อเพลิง (นาที)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (กิโลกรัม ต่อ ชั่วโมง)
20	150	8
20	158	7.6
20	160	7.5
20	165	7.27
ค่าเฉลี่ย		7.6

จากผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการทดสอบโดยใช้ชิ้นไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง จากการทดสอบ 4 ครั้ง มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ย 7.6 กิโลกรัม ต่อ ชั่วโมง

4.2.2 ผลการทดสอบและวิเคราะห์สมรรถนะของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

การทดสอบสมรรถนะของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงนั้นมี ขั้นตอนการเตรียมเตาแก๊สชีวมวลและการจุดเตาดำเนินการเช่นเดียวกับการทดสอบโดยใช้ชิ้นไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นจะไม่กล่าวรายละเอียดซ้ำในส่วนนี้ สำหรับการทดสอบสมรรถนะของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง ได้ทำการทดสอบอุณหภูมิภายในเตาแก๊สชีวมวลที่ตำแหน่งต่างๆ 8 ตำแหน่ง ระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตา ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ปริมาณแก๊สร้อนจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ระบายสู่บรรยากาศ และ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

4.2.2.1 ผลการทดสอบอุณหภูมิภายในเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

อุณหภูมิภายในเตาแก๊สชีวมวล ที่ ตำแหน่งต่างๆวัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด เคและบันทึกข้อมูลโดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติแบบต่อเนื่อง ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิภายในเตามี 8 ตำแหน่ง ปฏิบัติการเคมีความร้อนที่เกิดขึ้นภายในระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสามารถพิจารณาได้จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับระยะเวลา จากการศึกษาและสังเกตตลอดการทดลองใช้งานเตาแก๊สชีวมวลพบว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลานั้นคือเตาแก๊สชีวมวลจำเป็นต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการจุดเตาและใช้เวลาช่วงหนึ่งในการเกิดปฏิกิริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ดังนั้นเพื่อสามารถอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองใช้งานเตาแก๊สชีวมวลจึงแบ่งช่วงในการพิจารณาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเป็น 3 ช่วงคือ

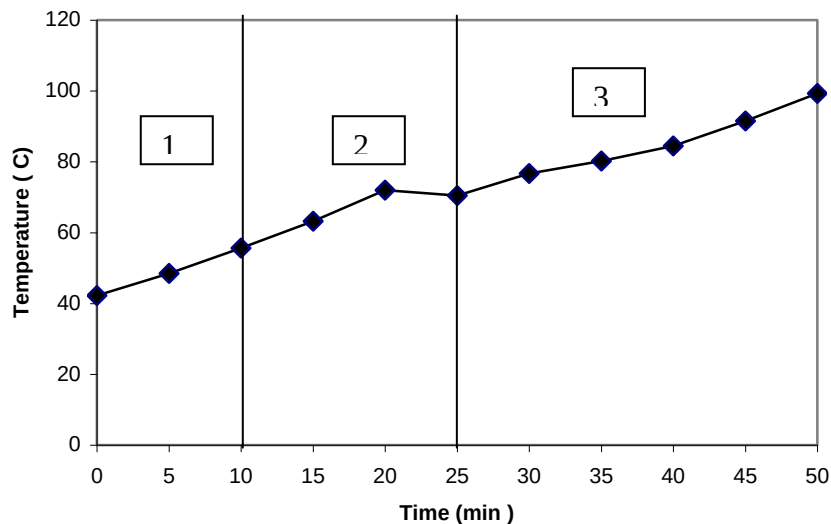
ช่วงแรกเป็นช่วงที่เริ่มจุดเตาจนเริ่มเกิด ปฏิกิริยาเคมีความร้อนภายในเตา ซึ่งเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะใช้เวลาในช่วงนี้ไม่เท่ากัน เชื้อเพลิงที่ติดไฟง่ายจะใช้เวลาในการติดไฟสั้น ช่วงที่สอง เป็นช่วงที่เชื้อเพลิงภายในเตาเริ่มติดไฟ ในช่วงนี้จะมีการปรับปริมาณของอากาศปฐุมภูมิ เพื่อควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตออกมาในช่วงนี้จะไม่เสถียร และช่วงที่สาม เป็นช่วงที่เตาเริ่มร้อนจนปฏิกิริยาภายในเตาสามารถเกิดได้อย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิภายในเตาจะสูงขึ้น เป็น ช่วงที่เกิดแก๊สมีความเสถียร อุณหภูมิและลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวแปรต่างๆจะนำเสนอเป็นลำดับดังนี้

1). อุณหภูมิอากาศปฐุมภูมิภายในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

อากาศปฐุมภูมิเป็นอากาศจากภายนอกที่เข้าสู่ระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเป็นสารตั้งต้น (gasifying agent) ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ถ้าพิจารณาอุณหภูมิของอากาศปฐุมภูมิภายในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงจะเห็นได้ว่ากะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงที่ติดไฟง่าย ดังนั้นช่วงเวลาที่ใช้ในการจุดเตาจะสั้นและอุณหภูมิของอากาศปฐุมภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้งาน ตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลอง โดยมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจาก 40 องศาเซลเซียส เป็น 100 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความร้อนจากเตาที่ส่งผ่านมายังห้องอากาศปฐุมภูมิจะอุ่นอากาศที่ผ่านเข้ามา โดยในช่วงต้นที่เริ่มจุดเตาอุณหภูมิจะไม่สูงมากนักและเมื่อ เชื้อเพลิงเริ่มติดไฟอุณหภูมิอากาศปฐุมภูมิจะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับตลอดเวลาที่มีการใช้งาน การที่อุณหภูมิอากาศปฐุมภูมิมีค่าสูงขึ้นทำให้อากาศมีค่าเอนทัลปีเพิ่มมากขึ้น ซึ่ง จะส่งผลให้ปฏิกิริยาการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเกิดได้ดีขึ้น การอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นเป็นวิธีที่นิยมใช้กันในการเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาของเชื้อเพลิง

ถ้าพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศปฐุมภูมิดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.24 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของอากาศปฐุมภูมิมีการเปลี่ยนแปลง ในช่วงแรกที่เริ่มจุดเตาอุณหภูมิของ

อากาศมีค่าประมาณ 40 องศาเซลเซียสซึ่งมีค่าเกือบเท่ากับอุณหภูมิของอากาศที่อยู่ภายนอก แต่เมื่อเวลาผ่านไปในช่วงที่เชื้อเพลิงในเตาเริ่มติดไฟจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของอากาศปฐมภูมิมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง



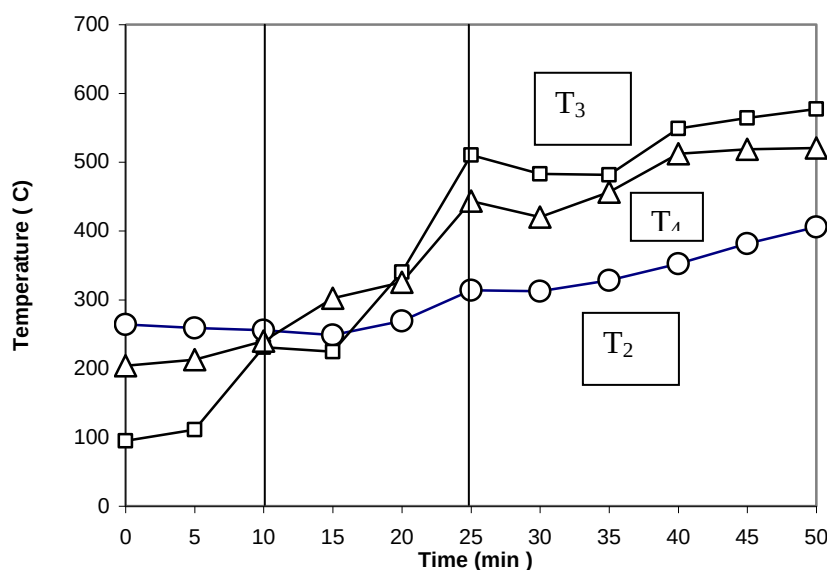
รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศปฐมภูมิจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

2). อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

หลังจากจ่ายอากาศปฐมภูมิไปยังเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงและจุดไฟแล้ว เชื้อเพลิงกะลามะพร้าว จะเริ่มติดไฟและเกิดความร้อนภายในเตาแก๊สชีวมวล กะลามะพร้าวที่บรรจุอยู่ภายในเตาแก๊สชีวมวลจะเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ กัน เนื่องจากเชื้อเพลิงในแต่ละบริเวณได้รับความร้อนไม่เท่ากัน ถ้าพิจารณาจากลักษณะของเตาแก๊สชีวมวลแบบอากาศไหลตามขวางซึ่งมีช่องจ่ายอากาศปฐมภูมิอยู่เหนือตะแกรงขึ้นไปและมีการจุดเตาได้ตะแกรง ดังนั้นในบริเวณที่จุดเตาเชื้อเพลิงจะเริ่มติดไฟและมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 4.25 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกที่มีการจุดเตาอุณหภูมิภายในเตามีการเปลี่ยนแปลงโดยเชื้อเพลิงชั้นที่ติดกับตะแกรงจะมี

การเผาไหม้บางส่วนเพราะในช่วงต้นที่จุดไฟจะเปิดให้อากาศเข้าทางช่องถ่ายเถ้าหรือช่องที่อยู่ใต้ ตะแกรงเพื่อจุดเตา ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงต้นของ T_2 ซึ่งจุดวัดอุณหภูมิอยู่ใน ตำแหน่งที่ใกล้กับตะแกรง โดยวัดที่ตำแหน่งเหนือตะแกรง 5 เซนติเมตร จึงมีอุณหภูมิสูงที่สุด สำหรับ T_3 และ T_4 มีอุณหภูมิต่ำกว่า T_2 โดย T_2 มีอุณหภูมิ ประมาณ 280 องศาเซลเซียส ที่ จุดวัดอุณหภูมิ T_3 มีค่าอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และ ที่จุดวัดอุณหภูมิ T_4 อุณหภูมิมีค่า 200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในช่วงที่สองหลังจากที่เชื้อเพลิงเริ่มติดไฟและปิดเตาไม่ให้อากาศ ทางช่องระบายเถ้า แต่ให้อากาศทางช่องจ่ายอากาศปฐมภูมิ ในช่วงนี้เป็นช่วงเริ่มต้นของ กระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเจนจากระดับของอุณหภูมิว่า ที่ตำแหน่ง T_3 อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เพราะเป็นตำแหน่งที่ตรงกับช่องที่จ่ายอากาศปฐมภูมิ โดยในช่วงเวลา 15 นาที อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจาก 200 องศาเซลเซียส เป็น 550 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวติดไฟได้ดีมาก เมื่อได้รับอากาศที่จ่ายเข้าไปจึงทำให้ กะลามะพร้าวบางส่วนติดไฟเกิดเป็นโซนที่เรียกว่า โซนเผาไหม้ อุณหภูมิ T_2 ซึ่งอยู่เหนือ ตะแกรงและอยู่ใต้ T_3 เชื้อเพลิงบริเวณนี้ได้รับความร้อนและเกิดปฏิกิริยาเคมีความร้อนโดยใช้ คาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตจากการเผาไหม้ในบริเวณ T_3 เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา ถึงแม้ว่าไม่ได้รับอากาศที่จ่ายจากช่องอากาศปฐมภูมิ อุณหภูมิ T_4 ซึ่งอยู่เหนือบริเวณ T_3 หรือที่ เรียกว่าโซนเผาไหม้ เชื้อเพลิงบริเวณนี้จะได้รับความร้อนโดยไม่มีอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาทำให้ บริเวณนี้เกิดกระบวนการที่เรียกว่า ไพโรไลซิส และปล่อยสารระเหยออกมาในรูปของควัน ซึ่ง เรียกว่าแก๊สเชื้อเพลิง หลังจากเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวติดไฟอย่างต่อเนื่อง ในช่วงที่สาม จะเห็น ได้ว่าอุณหภูมิ T_3 มีค่าเกือบคงที่ที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส โดยที่ตำแหน่งวัด อุณหภูมิ T_4 และ T_2 มีอุณหภูมิลดต่ำมาเป็นลำดับดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.25 จากการพิจารณา

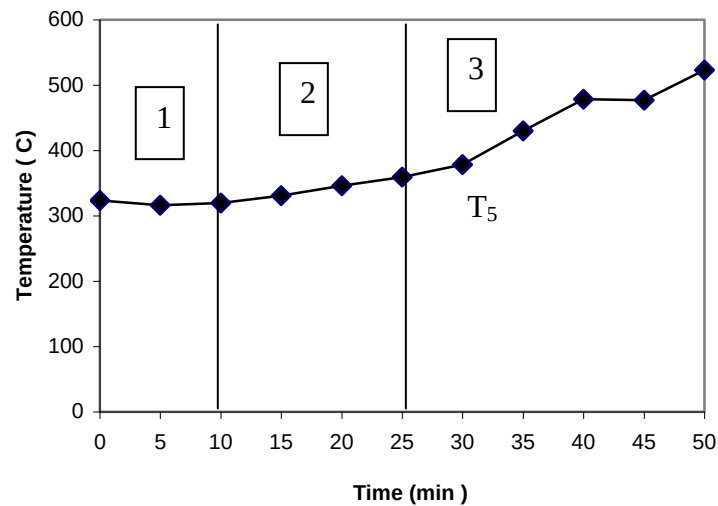
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาจะเห็นว่าระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาในเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงนั้นใช้ระยะเวลาประมาณ 10 นาที



รูปที่ 4.25 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

3). อุณหภูมิแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

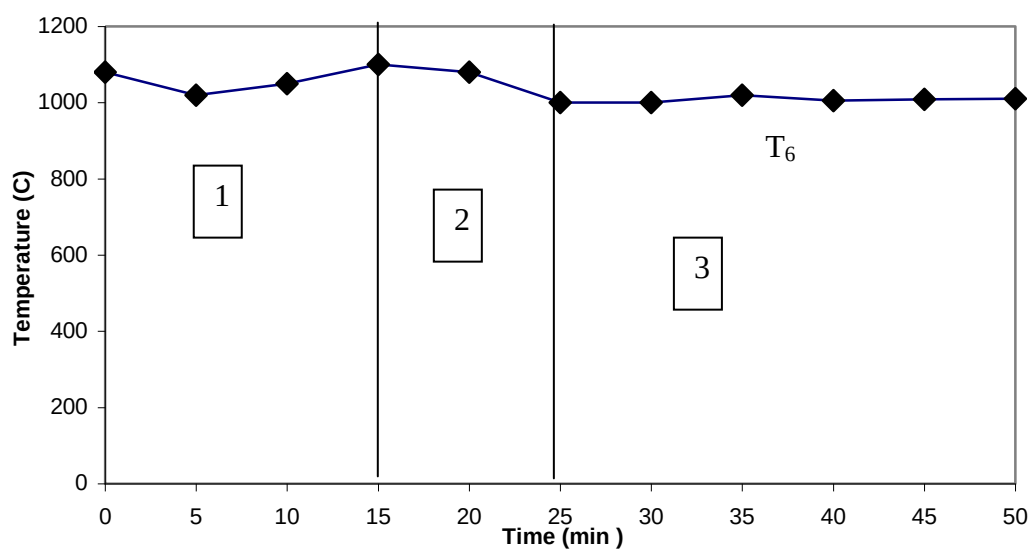
แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงในกราฟในรูปที่ 4.26 จากผลการทดสอบและตรวจวัดอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงพบว่าอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงในช่วงต้นจะมีอุณหภูมิต่ำที่สุด เนื่องจากเป็นช่วงที่เริ่มจุดเตา แต่เมื่อเวลาผ่านไปในช่วงที่สองที่มีการเดินระบบผ่านไป 10 นาที ในช่วงนี้ เตาร้อนขึ้นปฏิกิริยาภายในเตาเกิดได้ดีขึ้น อุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ในช่วงนี้มีค่าประมาณ 300-350 องศาเซลเซียส โดยในช่วงเวลา 15 นาที อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 50 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไปถึงในช่วงที่สามจะเห็นว่าอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ไปเป็น 500 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงนี้การเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับผลของอุณหภูมิภายในเตาที่เกิดขึ้นในช่วงที่สาม



รูปที่ 4.26 อุณหภูมิแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

4). อุณหภูมิเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

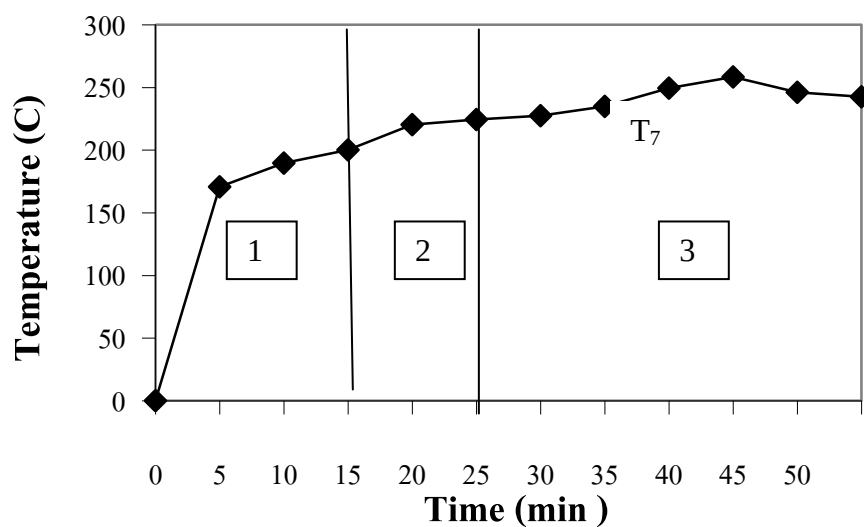
แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สเชื้อเพลิงจะไหลเข้าสู่ระบบเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนไปประยุกต์ใช้งานในระบบ อุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงที่เผาไหม้เป็นดัชนีที่บ่งชี้ความสมบูรณ์ในการเผาไหม้ จากผลการทดลองวัดอุณหภูมิเผาไหม้ของแก๊สเชื้อเพลิง ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.27 พบว่าแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกะลามะพร้าวและเผาไหม้มีอุณหภูมิเผาไหม้อยู่ในช่วง 1000 - 1100 องศาเซลเซียส ตลอดทั้ง สามช่วง ซึ่งแสดงว่าเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์



รูปที่ 4.27 อุณหภูมิเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

5). อุณหภูมิที่ได้ภาชนะใบที่สองที่ได้รับความร้อนจากความร้อนที่เหลือจากการใช้งาน

จากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเพื่อนำความร้อนที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์ในการหุงต้ม ในการศึกษาได้ออกแบบที่วางภาชนะทำด้วยปูนทนไฟซึ่งทำให้เก็บความร้อนได้ดี และนอกจากนี้ ยังได้ออกแบบให้มีการนำความร้อนเหลือทิ้งจากการใช้งานมาใช้ประโยชน์ โดยต่อท่อนำความร้อน ที่เหลือที่ยังมีอุณหภูมิสูงมากอยู่ไปใช้ประโยชน์ก่อนที่จะทิ้งสู่บรรยากาศ ผลการทดลองวัด อุณหภูมิของความร้อนเหลือทิ้งจากการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยใช้กะลามะพร้าวแสดงดังกราฟในรูป ที่ 4.28 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์นั้นยังคงมีอุณหภูมิสูงซึ่ง สามารถนำไปใช้ประโยชน์ก่อนทิ้งสู่บรรยากาศ โดยหลังจากที่เกิดปฏิกิริยาภายในเตาและเกิดแก๊ส เชื้อเพลิงแล้วอุณหภูมิอากาศร้อนมีค่าอยู่ระหว่าง 150- 250 องศาเซลเซียส

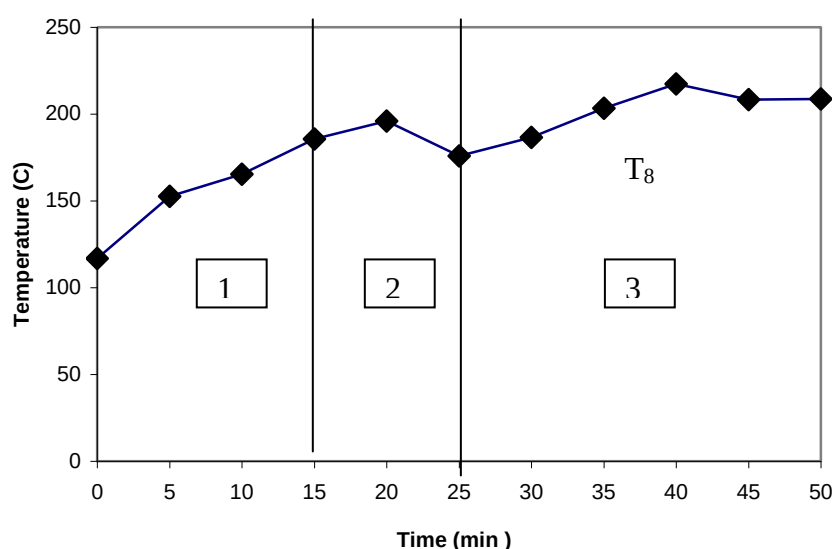


รูปที่ 4.28 อุณหภูมิที่ได้ภาชนะใบที่สองที่ได้รับความร้อนจากความร้อนที่เหลือจากการใช้งาน

6). อุณหภูมิแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้กะลามะพร้าว

เป็นเชื้อเพลิง

หลังจากที่นำความร้อนจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์แล้ว แก๊สร้อนจะถูกระบายออกจากท่ออากาศ โดยอุณหภูมิของแก๊สร้อนที่ระบายออกทางปล่องแสดงดังกราฟในรูปที่ 4.29 จากกราฟจะเห็นได้ว่าถึงแม้ว่าได้นำความร้อนที่เหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ก่อนที่จะระบายสู่บรรยากาศ อุณหภูมิของแก๊สร้อนยังคงมีอุณหภูมิสูง โดยมีอุณหภูมิ ระหว่าง 100- 200 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.29 อุณหภูมิแก๊สร้อนจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้กะลามะพร้าว

เป็นเชื้อเพลิง

4.2.2.2 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้

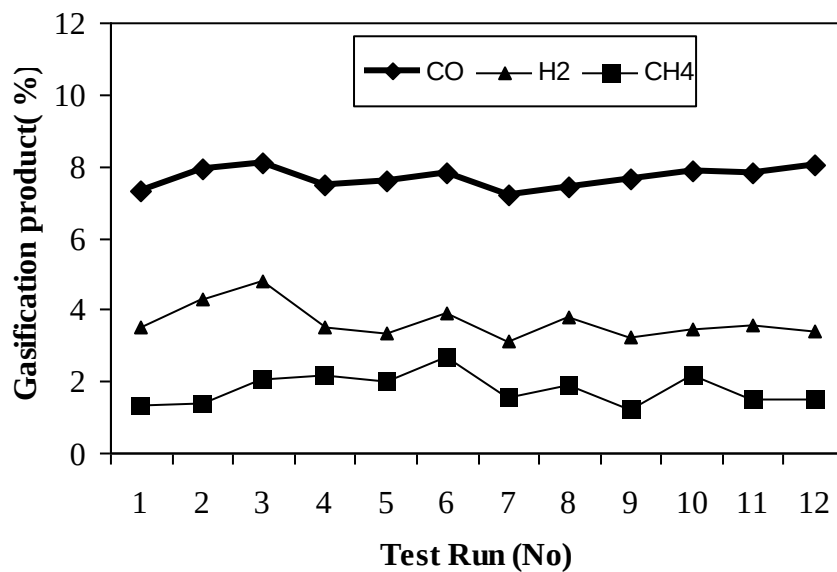
กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

การศึกษาปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้เศษไม้เป็นเชื้อเพลิงในการศึกษานี้พิจารณาจากปริมาณของแก๊สองค์ประกอบหลักที่อยู่ในแก๊สเชื้อเพลิง ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจน โดยทำการวัดปริมาณแก๊สเชื้อเพลิง

ขณะสภาวะการเกิดปฏิกิริยาภายในเตาอยู่ในสภาวะที่เสถียร การวัดปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงในระหว่างการดำเนินการเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สแบบโครมาโตกราฟฟี โดยทำการทดลองวัดแก๊สเชื้อเพลิงจำนวน 12 ครั้ง โดยค่าที่ได้ในแต่ละครั้งเป็นค่าที่ได้จากการวัด 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิต โดยแก๊สที่ทำการวัดในการศึกษานี้ได้แก่ แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตออกจากเตาแก๊สชีวมวล และ แก๊สร้อนจากการเผาไหม้ที่ระบายสู่บรรยากาศทางปล่อง

1). ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง จากการทดสอบในแต่ละครั้งแสดงดังกราฟในรูปที่ 4.30 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าภายใต้เงื่อนไขการดำเนินการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลภายใต้สภาวะที่ใกล้เคียงกันโดยใช้การสังเกตและปรับปริมาณอากาศป้อนลมที่ใช้ในแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง จากการทดสอบทั้ง 12 ครั้งปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดที่วัดที่ช่องทางออกของแก๊สเชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงกัน โดยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณสูงสุด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 7.18 – 8.08 % โดยมีปริมาณเฉลี่ย 7.68 % แก๊สไฮโดรเจนมีปริมาณอยู่ระหว่าง 3.15 - 4.8 % โดยมีปริมาณเฉลี่ย 3.66 % และแก๊สมีเทน มีค่าอยู่ระหว่าง 1.3 -2.2 % โดยมีปริมาณเฉลี่ย 1.79 %

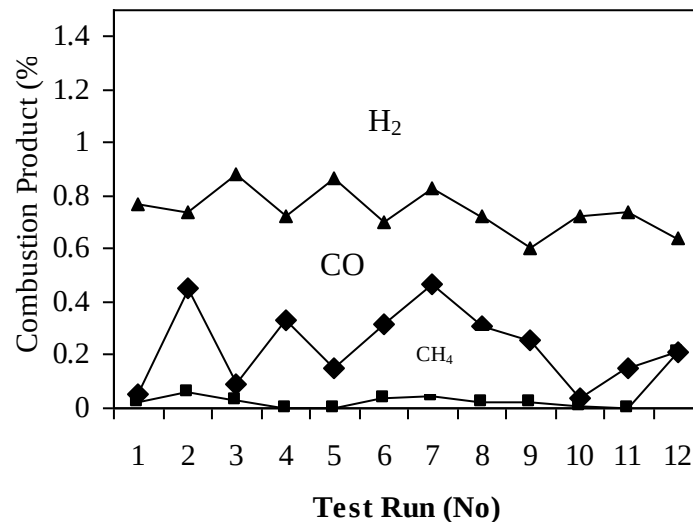


รูปที่ 4.30 ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงจากที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

2). ปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

หลังจากแก๊สเชื้อเพลิงไหลผ่านมายังหัวเผาจะผสมกับอากาศชุดยวภูมิที่ผ่านเข้าทางช่องจ่ายอากาศชุดยวภูมิ และแก๊สเชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้ ความสมบูรณ์ของการเผาไหม้สามารถพิจารณาได้จากปริมาณแก๊สไอเสียหลังจากการเผาไหม้

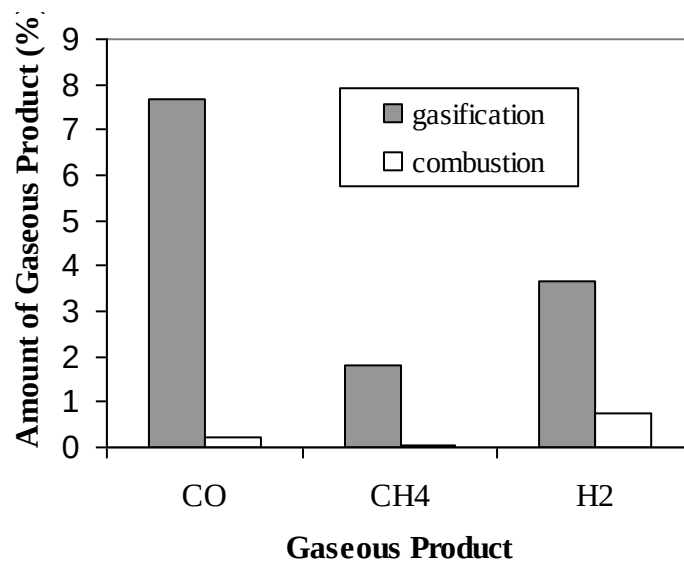
จากผลการทดลองในรูปที่ 4.31 แสดงปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ ที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง จากผลการทดลองพบว่าแก๊สเชื้อเพลิงที่เกิดซึ่งได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สมีเทน มีปริมาณลดลงอย่างชัดเจน จากผลการทดลองวัดปริมาณแก๊สร้อนแต่ละชนิดจากการเผาไหม้ 12 ครั้ง พบว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.04- 0.45 % โดยมีค่าเฉลี่ย 0.24 % แก๊สมีเทนมีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.0004 - 0.04 % โดยมีค่าเฉลี่ย 0.037 % และแก๊สไฮโดรเจนมีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.64 – 0.88% โดยมีค่าเฉลี่ย 0.74 %



รูปที่ 4.31 ปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

3). การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ที่ระบายออกทางปล่องแสดงดังกราฟรูปที่ 4.32 จากการเปรียบเทียบแก๊สเชื้อเพลิงแต่ละชนิดพบว่า หลังจากแก๊สเชื้อเพลิงผ่านกระบวนการเผาไหม้แล้วปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงแต่ละชนิดลดลง โดยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณคงเหลือ 0.24 % จากปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ผลิต 7.68 % โดยมีปริมาณลดลงจากเดิมประมาณ 96.8 % แก๊สมีเทนมีปริมาณคงเหลือ 0.037 % จากปริมาณแก๊สมีเทนที่ผลิต 1.79 % โดยมีปริมาณลดลงจากเดิมประมาณ 98 % และ แก๊สไฮโดรเจนมีปริมาณคงเหลือ 0.75 % จากปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ผลิต 3.66 % โดยมีปริมาณลดลงจากเดิมประมาณ 80 % จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเกิดขึ้นภายใต้สภาวะการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ว่าแก๊สที่ระบายออกทางปล่องไม่มีควันปนออกมา



รูปที่ 4.32 การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้

4.2.2.3 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาแก๊สชีวมวลจากการใช้

กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

ระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการใช้งานเตาแก๊สชีวมวล ระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาคือระยะเวลาดังแต่เริ่มจุดเชื้อเพลิงจนเริ่มเกิดแก๊สเชื้อเพลิงซึ่งแสดงให้เห็นจากเมื่อจุดไฟแก๊สเชื้อเพลิงแล้วแก๊สเชื้อเพลิงจุดไฟติด จากผลการทดสอบการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงและบันทึกระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาจากการใช้งานเตาแก๊สชีวมวล 3 ครั้ง มีผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4. 4

ตารางที่ 4.4 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

การทดสอบ	เวลา (นาที)
ครั้งที่ 1	12
ครั้งที่ 2	8
ครั้งที่ 3	10
ค่าเฉลี่ย	10

จากผลการสังเกตระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงใช้เวลาประมาณ 10 นาที ซึ่งค่าที่ได้จากการสังเกตนี้สอดคล้องกับกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สชีวมวล ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.25 และกราฟ ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงดังในรูปที่ 4.26

4.2.2.4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลที่กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวลจากการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง ทำการทดสอบโดยเปรียบเทียบระหว่างปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ต่อระยะเวลาที่เชื้อเพลิงผลิตแก๊สเชื้อเพลิง จากการทดสอบโดยชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ และบันทึกระยะเวลาที่ดำเนินการตั้งแต่เริ่มต้นจุดเตาจนถึงเวลาที่ใช้เชื้อเพลิงจนหมด และนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลที่กะลามะพร้าวเป็น

เชื้อเพลิง

ปริมาณกะลามะพร้าว (กิโลกรัม)	ระยะเวลาที่ใช้เชื้อเพลิง (นาที)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (กิโลกรัม ต่อ ชั่วโมง)
20	120	10
20	132	9
20	125	9.6
20	128	9.4
ค่าเฉลี่ย		9.5

จากผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการทดสอบโดยใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง จากการทดสอบ 4 ครั้ง มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ย 9.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

4.2.3 ผลการทดสอบและวิเคราะห์สมรรถนะของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

การทดสอบสมรรถนะของเตาแก๊สชีวมวลโดยใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง มีขั้นตอนการเตรียมเตาแก๊สชีวมวลและจุดเตาดำเนินการเช่นเดียวกับการทดสอบโดยใช้ชิ้นไม้ยูคาลิปตัส และกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง การทดสอบสมรรถนะของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง ทำโดยการทดสอบอุณหภูมิภายในเตาแก๊สชีวมวลที่ตำแหน่งต่างๆ ระยะเวลาการจุดเตา ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ปริมาณแก๊สร้อนที่ระบายออกทางปล่อง หลังจากการเผาไหม้ และ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

4.2.3.1 ผลการทดสอบอุณหภูมิภายในเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

การวัดอุณหภูมิภายในเตาแก๊สชีวมวล ณ ตำแหน่งต่างๆ กระทำโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค และบันทึกข้อมูลโดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติแบบต่อเนื่อง ตำแหน่งที่ทำการวัด

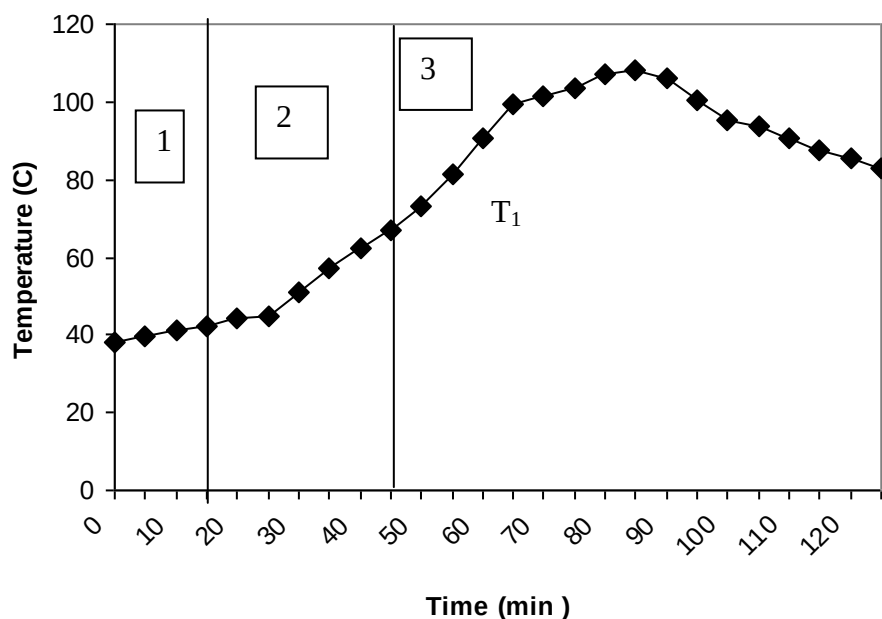
อุณหภูมิภายในเตามี 8 ตำแหน่ง ปฏิบัติการเคมีความร้อนที่เกิดขึ้นภายในระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสามารถพิจารณาได้จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา จากการศึกษาและสังเกตในช่วงของการทดสอบเตาแก๊สชีวมวลโดยใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิงพบว่าอุณหภูมิภายในระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาที่ดำเนินการนั่นคือเตาแก๊สชีวมวลจำเป็นต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการจุดเตาและใช้เวลาช่วงหนึ่งในการเกิดปฏิกิริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง เช่นเดียวกับการดำเนินการทดสอบโดยใช้ชิ้นไม้ยูคาลิปตัส และกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ในระหว่างการทดลองใช้งานเตาแก๊สชีวมวลจึงแบ่งช่วงในการพิจารณาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงแรกเป็นช่วงที่เริ่มจุดเตาจนเชื้อเพลิงเริ่มติดไฟ ช่วงที่สอง เป็นช่วงที่เชื้อเพลิงภายในเตาติดไฟและเริ่มผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ในช่วงนี้จะมีการปรับปริมาณของอากาศปฐมนุมิ เพื่อควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตออกมาในช่วงนี้ยังไม่เสถียร และช่วงที่สามเป็นช่วงที่เตาเริ่มร้อนจนปฏิกิริยาภายในเตาสามารถเกิดได้อย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิภายในเตาจะสูงขึ้นเป็นช่วงที่การเกิดแก๊สมีความเสถียร อุณหภูมิและลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวแปรต่างๆจะนำเสนอเป็นลำดับดังนี้

1). อุณหภูมิอากาศปฐมนุมิภายในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

อากาศปฐมนุมิเป็นอากาศจากภายนอกที่เข้าสู่ระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (gasifying agent) ถ้าพิจารณาอุณหภูมิของอากาศปฐมนุมิภายในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิงจะเห็นได้ว่าเศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิงที่ติดไฟง่าย เนื่องจากเนื้อไม้มีความหนาแน่นต่ำ ดังนั้นเตาจะสะสมความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นในระยะเวลาสั้น อุณหภูมิของอากาศปฐมนุมิจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลองเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเริ่มจาก 40 องศาเซลเซียส เป็น 100 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความร้อนจากเตาที่ส่งผ่านมายัง

ห้องอากาศปฐมภูมิจะอุ่นอากาศที่ผ่านเข้ามา โดยในช่วงต้นที่เริ่มจุดเตาอุณหภูมิจะไม่สูงมากนัก และเมื่อ เชื้อเพลิงเริ่มติดไฟอุณหภูมิอากาศปฐมภูมิจะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับตลอดเวลาที่มีการใช้งาน การที่อุณหภูมิอากาศปฐมภูมิต่ำสูงขึ้นทำให้อากาศมีค่าเอนทัลปีเพิ่มมากขึ้น ซึ่ง จะส่งผลให้ ปฏิกิริยาการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเกิดได้ดีขึ้น การอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นเป็นวิธีที่นิยมใช้กันในการเพิ่ม ประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาของเชื้อเพลิง

ถ้าพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศปฐมภูมิดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.33 จะ เห็นได้ว่าอุณหภูมิของอากาศปฐมภูมิมีการเปลี่ยนแปลง ในช่วงแรกที่เริ่มจุดเตาอุณหภูมิของอากาศ มีค่าประมาณ 40 องศาเซลเซียสซึ่งมีค่าเกือบเท่ากับอุณหภูมิของอากาศที่อยู่ภายนอก แต่เมื่อเวลา ผ่านไปในช่วงที่เชื้อเพลิงในเตาเริ่มติดไฟจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของอากาศปฐมภูมิมีค่าสูงขึ้นอย่าง ต่อเนื่อง

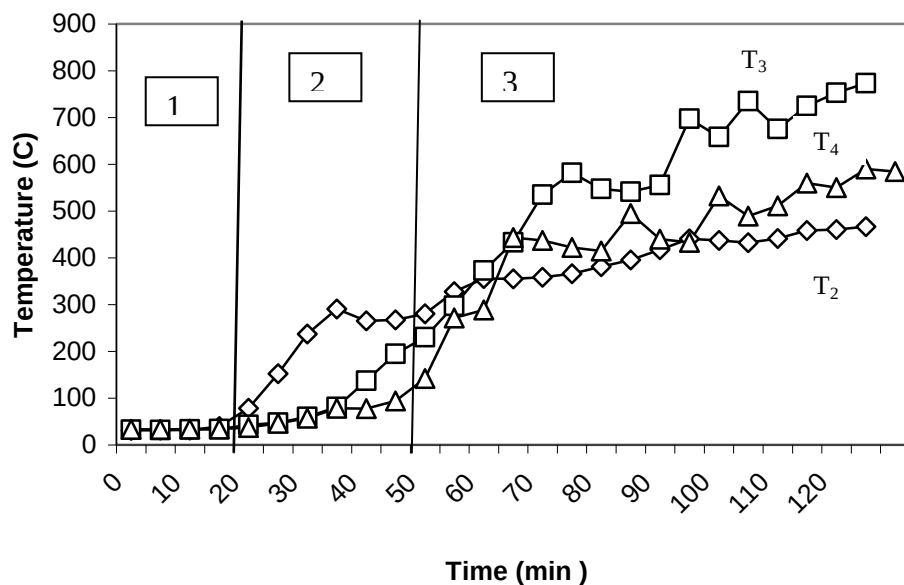


รูปที่ 4.33 อุณหภูมิอากาศปฐมภูมิภายในเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

2). อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

หลังจากจ่ายอากาศปฐมภูมิไปยังเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงและจุดไฟแล้ว เศษกิ่งไม้จะเริ่มติดไฟและเกิดความร้อนขึ้นภายในเตาแก๊สชีวมวล เศษกิ่งไม้ที่อยู่ภายในเตาแก๊สชีวมวลจะเกิดปฏิกิริยาต่างๆกัน เนื่องจากเชื้อเพลิงในแต่ละบริเวณได้รับความร้อนไม่เท่ากัน ถ้าพิจารณาจากลักษณะของเตาแก๊สชีวมวลแบบอากาศไหลตามขวางซึ่งมีช่องจ่ายอากาศปฐมภูมิอยู่เหนือตะแกรงขึ้นไปและมีการจุดเตาใต้ตะแกรง ดังนั้นในบริเวณที่จุดเตาเชื้อเพลิงจะเริ่มติดไฟและมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 4.34 แสดงให้เห็นว่าในช่วงต้นที่จุดเตาอุณหภูมิภายในเตายังไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในช่วงนี้จะใช้เวลาประมาณ 20 นาที ต่อมาในช่วงที่สองแสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงชั้นที่ติดกับตะแกรงจะมีการเผาไหม้บางส่วนเพราะในช่วงต้นที่จุดไฟจะเปิดให้อากาศไหลเข้าทางช่องถ่ายเถ้าหรือช่องที่อยู่ใต้ตะแกรงเพื่อจุดเตา หลังจากเชื้อเพลิงเริ่มติดไฟและปิดประตูเตาไม่ให้อากาศทางช่องระบายเถ้า แต่ให้อากาศทางช่องจ่ายอากาศปฐมภูมิ ในช่วงนี้เป็นช่วงเริ่มต้นของกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเจนจากระดับของอุณหภูมิว่า ที่ตำแหน่ง T_3 อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เพราะเป็นตำแหน่งที่ตรงกับช่องที่จ่ายอากาศปฐมภูมิ โดยในช่วงเวลา 40 นาที อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจาก 150 องศาเซลเซียส เป็น 300 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงติดไฟได้ดีมาก เมื่อได้รับอากาศที่จ่ายเข้าไปจึงทำให้เศษกิ่งไม้บางส่วนติดไฟเกิดเป็นโซนที่เรียกว่า โซนเผาไหม้ อุณหภูมิ T_2 ซึ่งอยู่เหนือตะแกรงและอยู่ใต้ T_3 เชื้อเพลิงบริเวณนี้ได้รับความร้อนและเกิดปฏิกิริยาเคมีความร้อนโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตจากการเผาไหม้ในบริเวณ T_3 เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาถึงแม้ว่าไม่ได้รับอากาศที่จ่ายจากช่องอากาศปฐมภูมิ อุณหภูมิ T_4 ซึ่งอยู่เหนือบริเวณ T_3 หรือโซนเผาไหม้ เชื้อเพลิงบริเวณนี้จะได้รับความร้อนโดยไม่มีอากาศทำให้บริเวณนี้เกิดกระบวนการที่เรียกว่า

ไพโรไลซิส และปล่อยสารระเหยออกมาในรูปของควัน ซึ่งเรียกว่าแก๊สเชื้อเพลิง หลังจาก
เชื้อเพลิงเศษกิ่งไม้ติดไฟอย่างต่อเนื่อง ในช่วงที่สาม จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ตำแหน่ง T_3 มีค่าเกือบ
คงที่ที่อุณหภูมิประมาณ 700-850 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ตำแหน่ง T_4 และ อุณหภูมิที่
ตำแหน่ง T_2 จะมีอุณหภูมิลดต่ำมาเป็นลำดับ

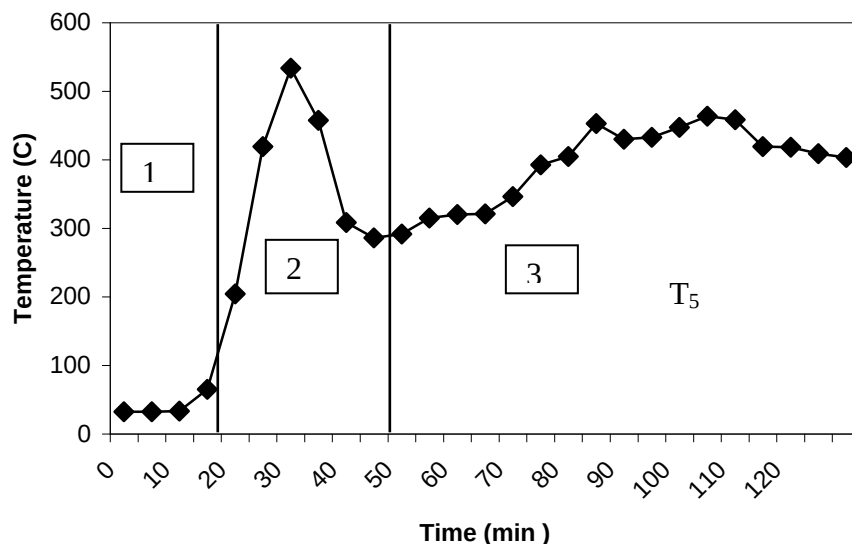


รูปที่ 4.34 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

3). อุณหภูมิแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลง
อุณหภูมิ ดังแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงในกราฟในรูปที่ 4.35 จากผลการ
ทดสอบและตรวจวัดอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิงพบว่าอุณหภูมิของแก๊ส
เชื้อเพลิงในช่วงต้นจะมีอุณหภูมิต่ำที่สุด เนื่องจากเป็นช่วงที่เริ่มจุดเตา แต่เมื่อเวลาผ่านไปในช่วงที่
สองที่มี ในขณะนี้ เตาร้อนขึ้นปฏิกิริยาภายในเตาเกิดได้ดีขึ้นอุณหภูมิของแก๊สที่ผลิตได้ในช่วงนี้มี
อุณหภูมิสูงขึ้นจากกราฟจะเห็นว่าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นกว่าในช่วงที่เริ่มจุดเตาโดยมีอุณหภูมิบางช่วง
เพิ่มถึง 500 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดเนื่องจากช่วงนี้เป็นช่วงที่มีการปรับปริมาณอากาศที่ใช้ในการทำ
ปฏิกิริยา และเมื่อมีการปรับปริมาณอากาศที่ใช้ในปริมาณที่เหมาะสมกับเชื้อเพลิงที่ใช้จะเห็นได้ว่า

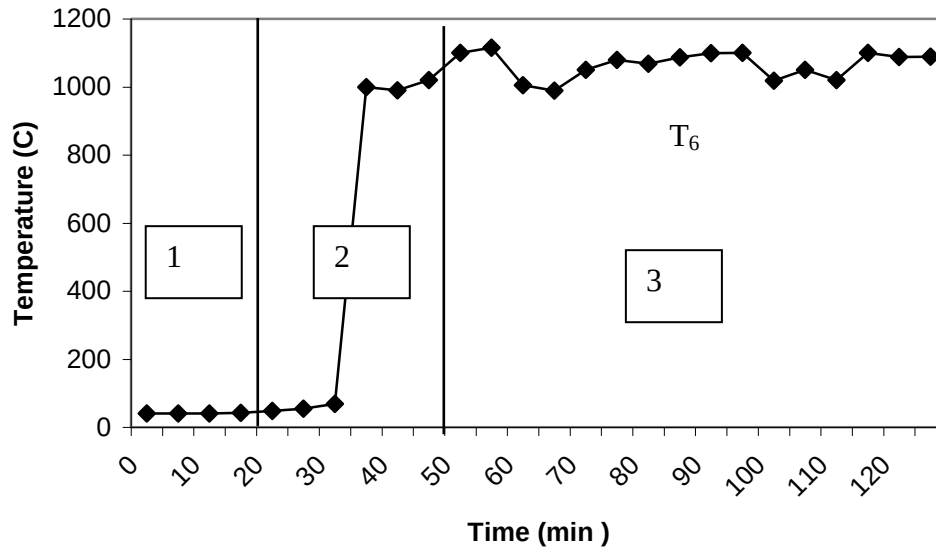
อุณหภูมิคงอยู่ที่ประมาณ 350-300 องศาเซลเซียส และเมื่อเวลาผ่านไปถึงในช่วงที่สามจะเห็นว่าอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิก่อนข้างคงที่โดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 350-400 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงนี้การเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับผลของอุณหภูมิภายในเตาที่เกิดขึ้นในช่วงที่สาม



รูปที่ 4.35 อุณหภูมิแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

4). อุณหภูมิเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

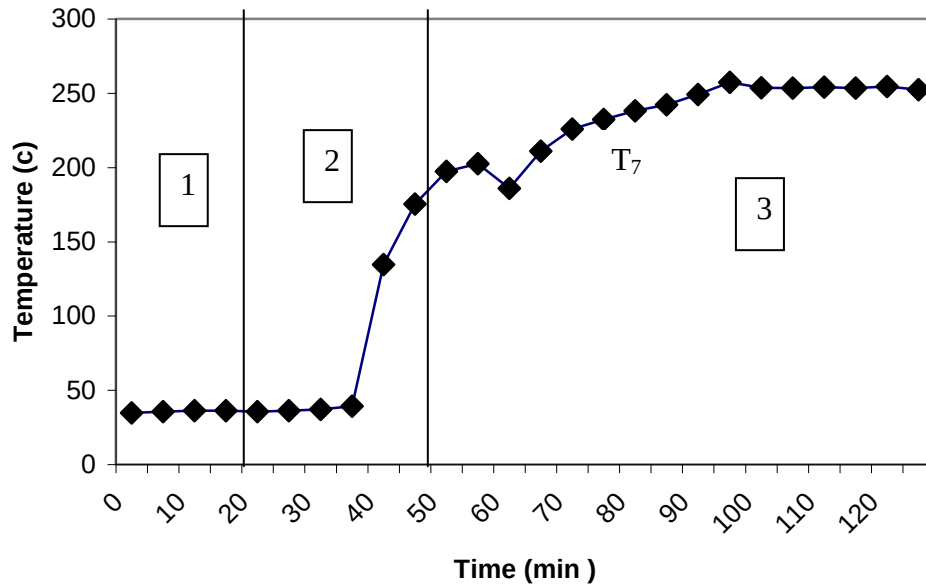
แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สเชื้อเพลิงจะไหลเข้าสู่ระบบเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนไปประยุกต์ใช้งานในระบบ อุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงที่เผาไหม้เป็นดัชนีที่บ่งชี้ความสมบูรณ์ในการเผาไหม้ จากผลการทดลองวัดอุณหภูมิเผาไหม้ของแก๊สเชื้อเพลิง ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.36 พบว่าแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิเผาไหม้อยู่ในช่วง 1000 - 1100 องศาเซลเซียส ตลอดทั้ง สามช่วง ซึ่งแสดงว่าเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์



รูปที่ 4.36 อุณหภูมิเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

5). อุณหภูมิที่ได้ภาชนะใบที่สองที่ได้รับความร้อนจากความร้อนที่เหลือจากการใช้งาน

จากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเพื่อนำความร้อนที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์ในการหุงต้มในการศึกษานี้ได้ออกแบบที่วางภาชนะทำด้วยปูนทนไฟซึ่งทำให้เก็บความร้อนได้ดี และนอกจากนี้ยังได้ออกแบบให้มีการนำความร้อนเหลือทิ้งจากการใช้งานมาใช้ประโยชน์ โดยต่อท่อนำความร้อนที่เหลือที่ยังมีอุณหภูมิสูงมากอยู่ไปใช้ประโยชน์ก่อนที่จะทิ้งสู่บรรยากาศ ผลการทดลองวัดอุณหภูมิของความร้อนเหลือทิ้งจากการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยใช้กะลามะพร้าวแสดงดังกราฟในรูปที่ 4.37 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์นั้นยังคงมีอุณหภูมิสูงซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ก่อนทิ้งสู่บรรยากาศ โดยหลังจากที่เกิดปฏิกิริยาภายในเตาและเกิดแก๊สเชื้อเพลิงแล้วอุณหภูมิอากาศร้อนมีค่าอยู่ระหว่าง 150- 250 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.37 อุณหภูมิที่ได้ภาชนะใบที่สองที่ได้รับความร้อนจากความร้อนที่เหลือจากการใช้งาน

6). อุณหภูมิแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

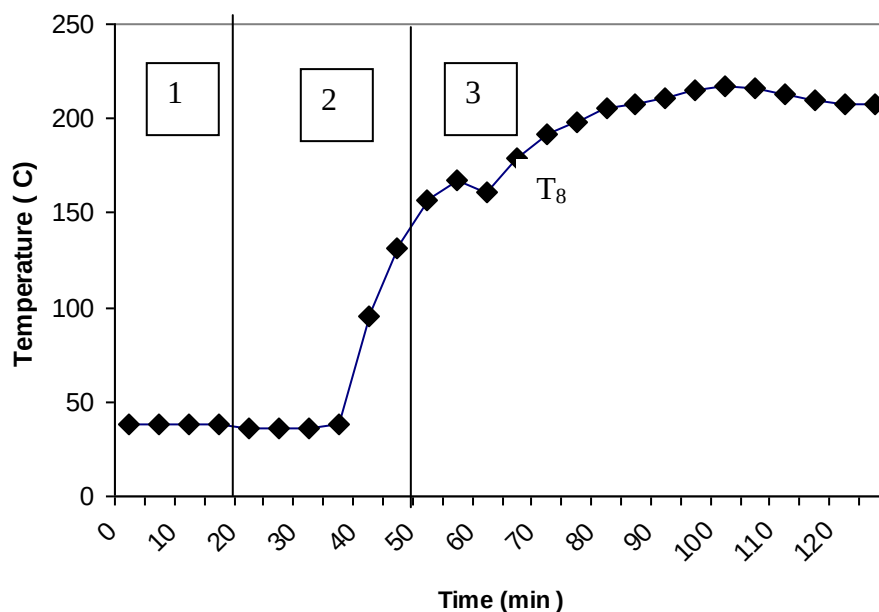
หลังจากที่นำความร้อนจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์แล้ว แก๊สไอเสีย

จะถูกระบายออกจากท่ออากาศ โดยอุณหภูมิของแก๊สร้อนที่ระบายออกทางปล่องแสดงดังกราฟใน

รูปที่ 4.38 จากกราฟจะเห็นได้ว่าถึงแม้ว่าได้นำความร้อนที่เหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ก่อนที่จะ

ระบายสู่บรรยากาศ อุณหภูมิของแก๊สร้อนยังคงมีอุณหภูมิสูง โดยมีอุณหภูมิ ระหว่าง 100- 200

องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.38 อุณหภูมิแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงจากเตาแก๊สชีวมวล

ที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

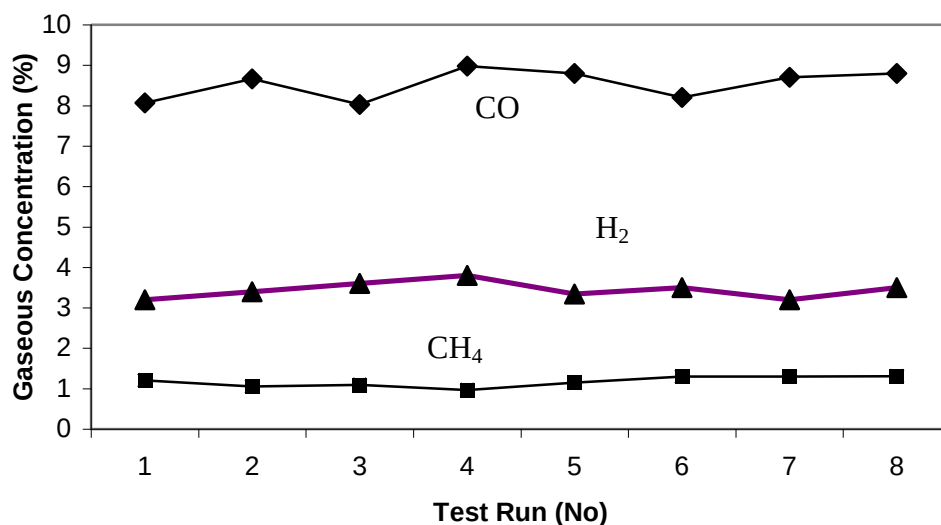
4.2.3.2 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่ง

ไม้เป็นเชื้อเพลิง

การศึกษาปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิงในการศึกษานี้พิจารณาจากปริมาณของแก๊สองค์ประกอบหลักที่อยู่ในแก๊สเชื้อเพลิง ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรเจน โดยทำการวัดปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงขณะสถานะการเกิดปฏิกิริยาภายในเตาอยู่ในสถานะที่เสถียร การวัดปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงในระหว่างการดำเนินการเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สแบบโครมาโตกราฟฟี โดยทำการทดลองวัดแก๊สเชื้อเพลิงจำนวน 12 ครั้ง โดยแต่ละค่าเป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยจากการวัด แก๊สเชื้อเพลิง 3 ครั้ง โดยแก๊สที่ทำการวัดในการศึกษานี้ได้แก่ แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตออกจากเตาแก๊สชีวมวล และ แก๊สร้อนจากการเผาไหม้ที่ระบายสู่บรรยากาศทางปล่อง

1). ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง จากการทดสอบในแต่ละครั้งแสดงดังกราฟในรูปที่ 4.39 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าภายใต้เงื่อนไขการดำเนินการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลภายใต้สภาวะที่ใกล้เคียงกันโดยใช้การสังเกตและปรับปริมาณอากาศป้อนภูมิที่ใช้ในแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง จากการทดสอบทั้ง 8 ครั้งปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดที่วัดที่ช่องทางออกของแก๊สเชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงกัน โดยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณสูงสุด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 8.07 – 8.98 % โดยมีค่าเฉลี่ย 8.53 % แก๊สไฮโดรเจน มีปริมาณอยู่ระหว่าง 3.2 - 3.8 % โดยมีค่าเฉลี่ย 3.44 % และแก๊สมีเทน มีค่าอยู่ระหว่าง 1.05 -1.31 % โดยมีค่าเฉลี่ย 1.17 %

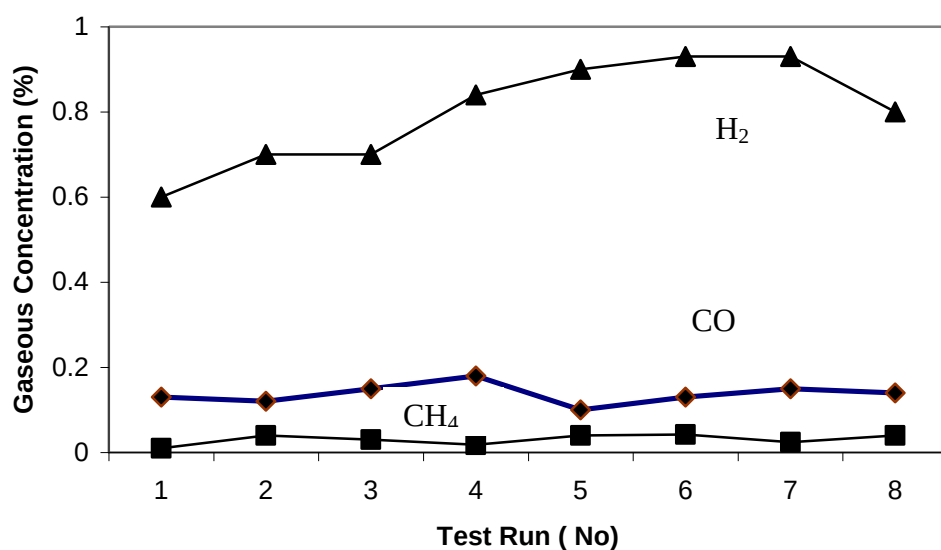


รูปที่ 4.39 ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

2). ปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้จากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

หลังจากแก๊สเชื้อเพลิงไหลผ่านมายังหัวเผาจะผสมกับอากาศป้อนภูมิที่ผ่านเข้าทางช่องจ่ายอากาศป้อนภูมิ และแก๊สเชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้ ความสมบูรณ์ของการเผาไหม้สามารถพิจารณาได้จากปริมาณแก๊สไอเสียหลังจากการเผาไหม้

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.40 แสดงปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ ที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง พบว่าแก๊สเชื้อเพลิงที่เกิดซึ่งได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สมีเทน มีปริมาณลดลงอย่างชัดเจน จากผลการทดลองวัดปริมาณแก๊สไอเสียแต่ละชนิดจากการเผาไหม้ 8 ครั้ง พบว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1- 0.18 % โดยมีค่าเฉลี่ย 0.14 % แก๊สมีเทนมีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.018 - 0.04 % โดยมีค่าเฉลี่ย 0.03 % และแก๊สไฮโดรเจนมีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.7 – 0.93% โดยมีค่าเฉลี่ย 0.8 %

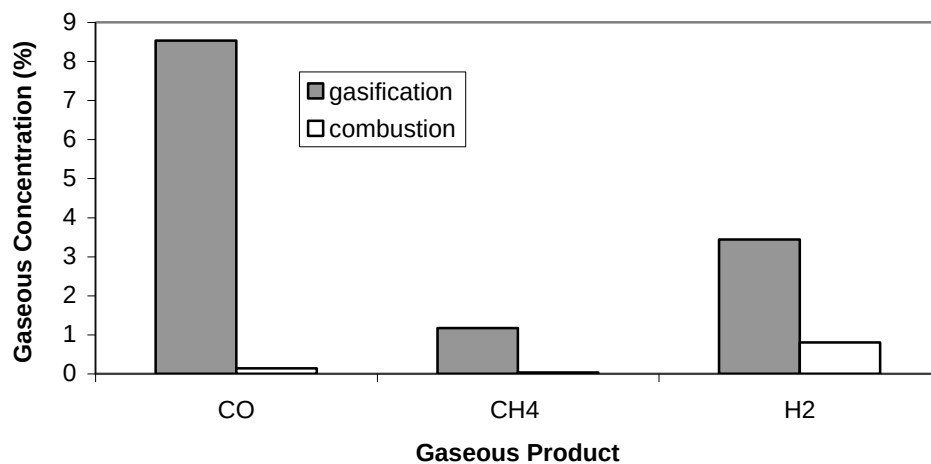


รูปที่ 4.40 ปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้จากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

3). การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงจากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ที่ระบายออกทางปล่องแสดงดังกราฟรูปที่ 4.41 จากการเปรียบเทียบแก๊สเชื้อเพลิงแต่ละชนิดพบว่า หลังจากที่แก๊สเชื้อเพลิงผ่านกระบวนการเผาไหม้แล้วปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงแต่ละชนิดลดลงโดยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณคงเหลือ 0.14% จากปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ผลิต 8.53 % โดยมีปริมาณลดลงจากเดิมประมาณ 98.4 % แก๊สมีเทนมี

ปริมาณคงเหลือ 0.03 % จากปริมาณแก๊สมีเทนที่ผลิต 1.17 % โดยมีปริมาณลดลงจากเดิมประมาณ 97.4 % และ แก๊สไฮโดรเจนมีปริมาณคงเหลือ 0.8 % จากปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ผลิต 3.44 % โดยมีปริมาณลดลงจากเดิมประมาณ 76.7 % จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงเกิดขึ้นภายใต้สภาวะการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ว่า แก๊สที่ระบายออกทางปล่องไม่มีควันปนออกมา



รูปที่ 4.41 การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเชื้อเพลิง และปริมาณแก๊สไอเสียจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

4.2.3.3 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาแก๊สชีวมวลจากการใช้

เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

ระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาคือระยะเวลาดังแต่เริ่มจุดเชื้อเพลิงจนเริ่มเกิดแก๊สเชื้อเพลิงเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการใช้งานเตาแก๊สชีวมวล ซึ่งสามารถสังเกตได้จากช่วงระยะเวลาที่เริ่มจุดเชื้อเพลิงจนกระทั่งเกิดแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งสังเกตได้จากแก๊สเชื้อเพลิงเริ่มติดไฟ จากผลการทดสอบการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิงและบันทึกระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาจากการใช้งานเตาแก๊สชีวมวล 3 ครั้ง มีผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4. 6

ตารางที่ 4. 6 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

การทดสอบ	เวลา (นาที)
ครั้งที่ 1	15
ครั้งที่ 2	12
ครั้งที่ 3	15
ค่าเฉลี่ย	14

จากผลการสังเกตเวลาที่ใช้ในการจุดเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิงดังแสดงในตารางที่ 4. 6 พบว่ามีค่าเฉลี่ยประมาณ 14 นาที ซึ่งค่าที่ได้จากการสังเกตนี้สอดคล้องกับกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาแก๊สชีวมวล ดังแสดงในรูปที่ 4.34 และ กราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิงในรูปที่ 4.35

4.2.3.4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวลจากการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิงทำการทดสอบโดยเปรียบเทียบระหว่างปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ต่อระยะเวลาที่เชื้อเพลิงผลิตแก๊สเชื้อเพลิง จากการทดสอบโดยชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ และบันทึกระยะเวลาที่ดำเนินการตั้งแต่เริ่มต้นจุดเตาจนถึงเวลาที่ใช้เชื้อเพลิงจนหมด และนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

ปริมาณเศษกิ่งไม้ (กิโลกรัม)	ระยะเวลาที่ใช้เชื้อเพลิง (นาที)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (กิโลกรัม ต่อ ชั่วโมง)
20	140	8.5
20	145	8.3
20	150	8
20	150	8
ค่าเฉลี่ย		8.2

จากผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการทดสอบโดยใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง ค่าเฉลี่ยของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการทดสอบ 4 ครั้งมีค่า 8.2 กิโลกรัม ต่อ ชั่วโมง

4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลแบบต่างๆ

จาก ผลการทดลองการดำเนินการเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ดังรายละเอียดที่นำเสนอไปในหัวข้อที่ 4.2 ถ้านำผลการทดสอบสำหรับเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด มาพิจารณาเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด โดยในส่วนนี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบใน 3 ส่วนคือ เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตา เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และ เปรียบเทียบค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิต จากการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ขึ้นไม้อยูคาลิปตัส กะลามะพร้าว และ เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง

4.3.1 การเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เชื้อเพลิงแบบต่างๆ

จากข้อมูลแสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตา ดังตารางที่แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาสำหรับเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ ขึ้นไม้อยูคาลิปตัส กะลามะพร้าว และ เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง ในตารางที่ 4.2 ตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.6 ตามลำดับ ถ้านำข้อมูลระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจุด

เตาของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดมาเปรียบเทียบกัน จะได้ข้อมูลที่เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาแก๊สชีวมวลจากชีวมวลชนิดต่างๆ

เชื้อเพลิงชีวมวล	ระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตา (นาที)
จีนไม้ยูคาลิปตัส	20.6
กะลามะพร้าว	10
เศษกิ่งไม้	14

จากข้อมูลในตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า จากการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาชีวมวลที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า จีนไม้ยูคาลิปตัสใช้เวลาในการจุดเตานานที่สุด 20.6 นาที ซึ่งนานกว่าการใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง ประมาณ 10 นาที และนานกว่าการใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิงประมาณ 6 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจีนไม้ยูคาลิปตัสติดไฟได้ยากกว่ากะลามะพร้าวและเศษกิ่งไม้ เพราะกะลามะพร้าวจะมีน้ำมันมะพร้าวติดอยู่ที่กะลา ทำให้สามารถติดไฟได้ง่ายกว่า และไม้ยูคาลิปตัสมีความหนาแน่นของเนื้อไม้สูงกว่าเมื่อเทียบกับเศษกิ่งไม้ จึง ทำให้อากาศแทรกเข้าไปเพื่อใช้ในการจุดเตาได้น้อยกว่า ดังนั้นสำหรับเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้จีนไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้มีอากาศไหลผ่านเข้าไปได้มากขึ้นและทำให้ระยะเวลาในการจุดเตาสั้นลงอาจทำได้โดยในช่วงแรกที่ยังจุดเตาให้เดิมเชื้อเพลิงไม่เต็มเตา

4.3.2 การเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการใช้งานเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เชื้อเพลิงแบบต่างๆ

จากข้อมูลแสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ จีนไม้ยูคาลิปตัส กะลามะพร้าว และ เศษกิ่งไม้ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ตาราง

ที่ 4.5 และ ตารางที่ 4.7 ตามลำดับ ถ้านำข้อมูลอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยของชีวมวลทั้ง 3 ชนิดมาวิเคราะห์ จะได้ข้อมูลที่เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ชีวมวลทั้ง 3 ชนิดเป็นเชื้อเพลิง แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ชีวมวลชนิดต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงชีวมวล	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
จีนไม้ยูคาลิปตัส	7.6
กะลามะพร้าว	9.5
เศษกิ่งไม้	8.2

จากข้อมูลในตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า เตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากที่สุด เมื่อเทียบกับเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ จีนไม้ยูคาลิปตัส และเศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งจะเห็นได้ว่า ข้อมูลนี้สอดคล้องกับข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตาเพราะ กะลามะพร้าวมีระยะเวลาการจุดเตาสั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงติดไฟได้เร็ว ดังนั้นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจึงมีค่าสูงมากกว่าในกรณีของการใช้เศษกิ่งไม้และจีนไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง

4.3.3 การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ชีวมวลชนิดต่างๆ

จากข้อมูลปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ดังรายละเอียดแสดงใน กราฟที่ สำหรับเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้จีนไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง กราฟที่ สำหรับเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง และกราฟที่ สำหรับเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้เศษกิ่งไม้เป็นเชื้อเพลิง ถ้านำข้อมูลปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวล

ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดมาวิเคราะห์ ซึ่งได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สมีเทน จะได้ค่าเฉลี่ยของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้แต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ชีวมวลแบบต่างๆ

เชื้อเพลิงชีวมวล	ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิง		
	CO (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)
จีนไม้ยูคาลิปตัส	8.7	1.3	3.6
กะลามะพร้าว	7.68	1.79	3.66
เศษกิ่งไม้	8.53	1.17	3.44

จากตารางเปรียบเทียบปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ชีวมวลแบบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.10 คำนวณค่าปริมาณความร้อนรวมของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ โดยคำนวณจากค่าความร้อนของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ มีค่า 283 MJ/kmol จากค่าความร้อนของแก๊สมีเทน มีค่า 731.6 MJ/kmol และจากค่าความร้อนของแก๊สไฮโดรเจน มีค่า 241 MJ/kmol จะได้ปริมาณความร้อนที่ผลิตได้จากเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 3 ชนิดมีค่าตามตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ชีวมวลแบบต่างๆ

เชื้อเพลิงชีวมวล	ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ (MJ/kmol)
จีนไม้ยูคาลิปตัส	42.8
กะลามะพร้าว	43.49
เศษกิ่งไม้	40.9

จากค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ขึ้นไม้ยูคาลิปตัส
กะลามะพร้าว และเศษกิ่งไม้ เป็นเชื้อเพลิง ดังแสดงในตารางที่ 4.11 จะเห็นว่า แก๊สเชื้อเพลิงที่
ผลิตได้จากการใช้เชื้อเพลิงทั้งสามชนิดมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยค่าความร้อนของแก๊ส
เชื้อเพลิงที่ผลิตจากกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงจะผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนมากที่สุด