

## บทที่ 5

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแกลบและขี้เถ้าอัด

จากการทดลอง หางค์ประกอบทางเคมี โดยใช้เตาไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิ 600 °ซ. ดังวิธีในหัวข้อ 4.3.1 ปรากฏผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 องค์ประกอบทางเคมีของแกลบ และขี้เถ้าอัด

องค์ประกอบทางเคมี	แกลบ (%)	ขี้เถ้าอัด (%)
ของเหลวทาร์ (Liquid tar)	14.90	29.86
ของแข็งทาร์ (Solid tar)	3.42	6.18
ถ่านคาร์บอน (Fixed Carbon)	41.93	30.30
ขี้เถ้า (Ash)	19.88	3.59
ก๊าซ (Gas)	19.87	30.07

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า ชีล้อยัดมีองค์ประกอบทางเคมีในส่วนที่จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์หลักของการทำกระบวนการไพโรไลซิส สูงกว่า แกลบ อันได้แก่ ก๊าซ, ของเหลวทาร์ และถ่านคาร์บอน อาจกล่าวได้ว่า ในกระบวนการไพโรไลซิส ชีล้อยัด สามารถผลิตก๊าซได้มากกว่าแกลบประมาณ 1.5 เท่า, ผลิตของเหลวทาร์ได้มากกว่า 2 เท่า แต่ให้ถ่านน้อยกว่าแกลบประมาณ 1.4 เท่า

## 5.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของแกลบและชีล้อยัด

ค่าความร้อนของแกลบและชีล้อยัด ถูกตรวจสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน (Bomb-calorimeter) ดังวิธีในหัวข้อ 4.3.6 ผลการทดลอง แสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าความร้อนของแกลบและชีล้อยัด

วัสดุทดสอบ	ค่าความร้อน (คาลอรีต่อกรัม)
แกลบ	3,200-3,420
ชีล้อยัด	4,300-4,490

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า ชีล้อยัด ให้ค่าความร้อนมากกว่า แกลบ ประมาณ 31.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเชื้อเพลิง ให้

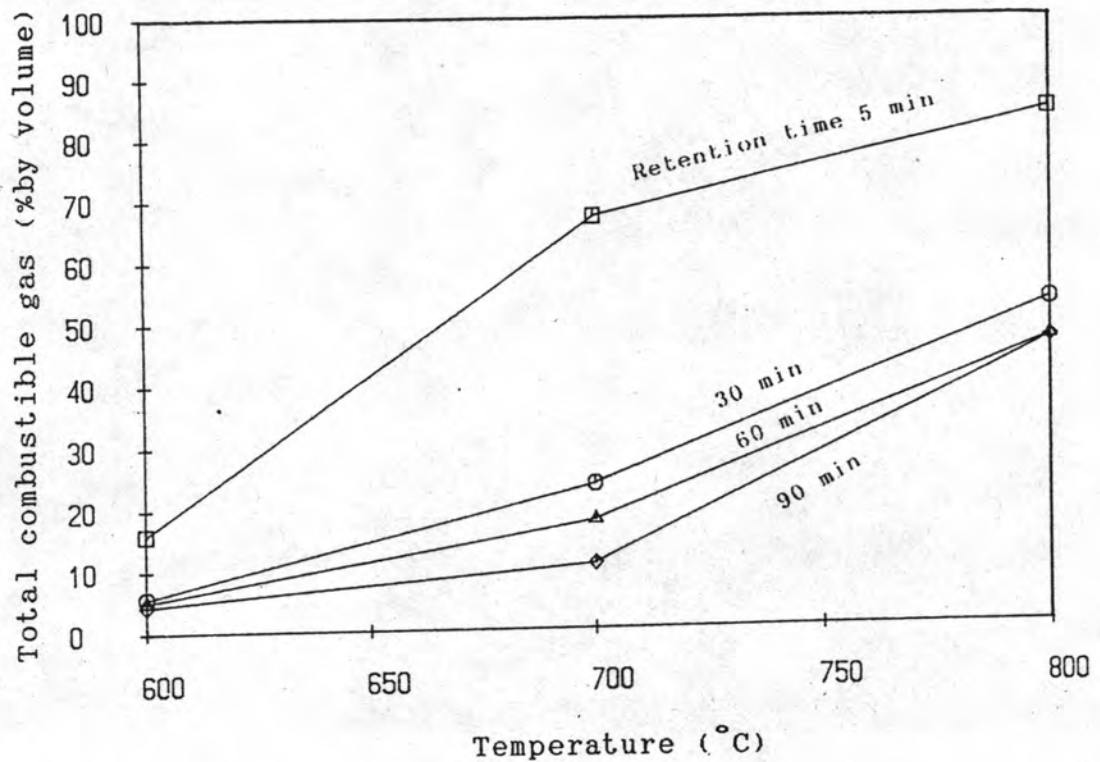
แก่เตาก็จะช่วยให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความร้อนได้มากกว่า

### 5.3 ผลการตรวจสอบปฏิกิริยารีดักชัน โดยให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การตรวจสอบปฏิกิริยารีดักชัน ที่เกิดขึ้นในเตาไพโรไลซิส นั้น มีจุดมุ่งหมายก็เพื่อตรวจสอบปริมาณก๊าซที่มีคุณสมบัติเผาไหม้ได้ (Combustible gas) อันได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide, CO) ก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen,  $H_2$ ) และก๊าซมีเทน (Methane,  $CH_4$ ) อันเป็นก๊าซองค์ประกอบหลัก ที่มีค่าความร้อนของก๊าซที่ผลิตได้จากเตาไพโรไลซิส โดยปริมาณก๊าซเหล่านี้เกือบทั้งหมด ผลิตได้จากชั้นปฏิกิริยารีดักชัน วิธีการทดลองดังอธิบายไว้ในหัวข้อ 4.3.3 โดยแบ่งขั้นตอนออกเป็นการศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน การศึกษาถึงผลกระทบของอัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่งผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

#### 5.3.1 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

จากกราฟรูปที่ 5.1 แสดงผลการทดลอง ของปริมาณรวมของก๊าซเชื้อเพลิง (Total combustible gas) ที่ผลิตได้ 3 ชนิด (ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์, ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซมีเทน) โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทดลอง  $600^{\circ}C$ ,  $700^{\circ}C$ , และ  $800^{\circ}C$ . ทั้งนี้ใช้ถ่านซีละเอียดเป็นวัสดุทดลอง และให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับคงที่ 60 มล. ต่อนาที แสดงผลที่ได้ในรูปปริมาณรวมของก๊าซ 3 ชนิด ในช่วงระยะเวลาทดลอง (Retention time) (ปริมาณของก๊าซแต่ละชนิด แสดงในตารางที่ ข1 ในภาคผนวก ข)



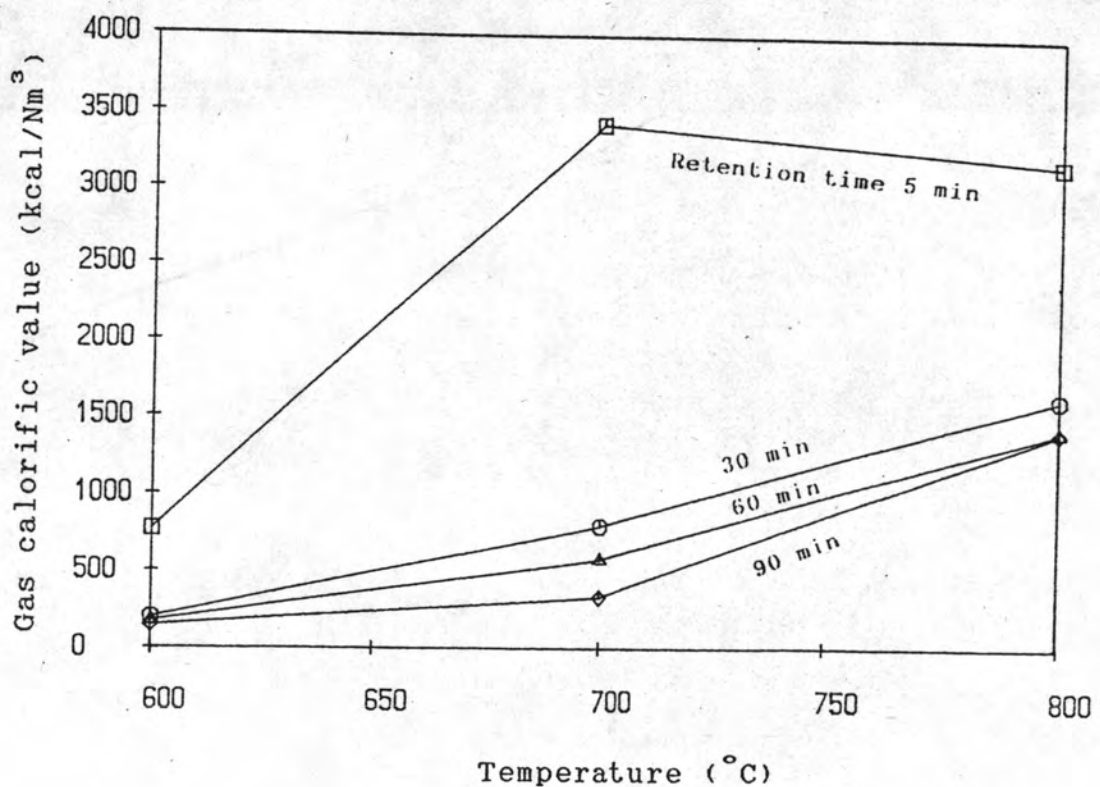
รูปที่ 5.1 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงรวม

จากผลการทดลอง พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ถ่าน เป็นการช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ผลผลิตผลิตภัณฑ์ ก๊าซเชื้อเพลิง เพิ่มมากขึ้น และปฏิกิริยาจะเกิดมากในช่วง 5-15 นาทีแรก แต่อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิสูงจะช่วยให้ได้ปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น แต่ก็ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์รองคือน้ำมันทาร์ (จากของเหลวทาร์) และถ่าน ลดปริมาณลง เนื่องจาก บางส่วนจะถูกใช้ไปในการเผาไหม้ และเปลี่ยนสภาพไปเป็นก๊าซ เมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้น ข้อสำคัญซึ่งที่ควรคำนึงถึงต่อการกำหนดชั้นอุณหภูมิภายในเตาไพโรไลซิส ก็คือการเพิ่มอุณหภูมิสูง จะทำให้สิ้นเปลืองวัสดุในการก่อสร้างตัวเตาเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนและมีคุณภาพมากขึ้น เพื่อให้สามารถทนต่อการกัด

กร่อนจากความร้อนสูงที่เพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นข้อที่ควรคำนึงถึงในการกำหนดออกแบบและในเชิงพาณิชย์

### 5.3.2 ผลของค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

จากกราฟรูปที่ 5.2 แสดงผลของค่าความร้อนของก๊าซที่ผลิตได้จากหัวข้อ 5.3.1 ค่าความร้อนของก๊าซได้จากการคำนวณโดยเทียบสัดส่วน



รูปที่ 5.2 ผลของค่าความร้อนของก๊าซที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงระยะเวลาทดลองต่าง ๆ



ส่วนของก๊าซที่ได้กับค่าความร้อนมาตรฐานของก๊าซ ดังแสดงวิธีการคำนวณไว้ในภาคผนวก ข

จากการทดลองพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิให้แก่เตา ทำให้ได้ค่าความร้อนของก๊าซเพิ่มขึ้น ในอัตราประมาณ 3.59 แคลอรีต่อองศาเซลเซียส (จากอุณหภูมิ 600-800°ซ. ที่ระยะเวลาเก็บกักถ่าน 30 นาที) และพบว่า ค่าความร้อนของก๊าซที่ได้ลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บกักถ่านในเตาเพิ่มมากขึ้น โดยค่าความร้อนลดลง 48.7 เปอร์เซ็นต์ ในช่วง 30 นาทีแรก, ลดลง 55.4 เปอร์เซ็นต์ ในช่วง 60 นาทีหลัง และลดลง 55.6 เปอร์เซ็นต์ ในช่วง 90 นาที ของการทดลอง ที่อุณหภูมิ 800°ซ. อาจกล่าวได้ว่า ค่าความร้อนของก๊าซที่ผลิตได้ลดลงไม่ต่างกันมากนัก ในช่วงระยะเวลาเก็บกัก 60-90 นาที ถ่านสามารถที่จะถูกเก็บกักโดยใช้ระยะเวลาสั้นเพิ่มขึ้นอีกได้ เพื่อการผลิตก๊าซ แต่อย่างไรก็ตามในการเพิ่ม ระยะเวลาเก็บกักของถ่าน ในเตาไพโรไลซิส จะมีผลทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ของถ่านมีคุณภาพลดลง เนื่องจากองค์ประกอบคาร์บอน ถูกใช้ไปในการผลิตก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยปฏิกิริยารีดักชันและข้อเสียประการหนึ่งของการกำหนดระยะเวลาเก็บกักนานเกินไป คือ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในชั้นเผาไหม้ ซึ่งใช้เป็นแหล่งให้ความร้อน แก่ชั้นปฏิกิริยารีดักชัน ในเตาไพโรไลซิส นั้นการกำหนดเวลาการเก็บกักถ่านในเตา เพื่อควบคุมอัตราการป้อนวัสดุเข้าสู่เตา และอัตราการขับถ่านออกจากเตา จึงควรที่จะกำหนดให้พอเหมาะไม่เร็วหรือช้าเกินไป

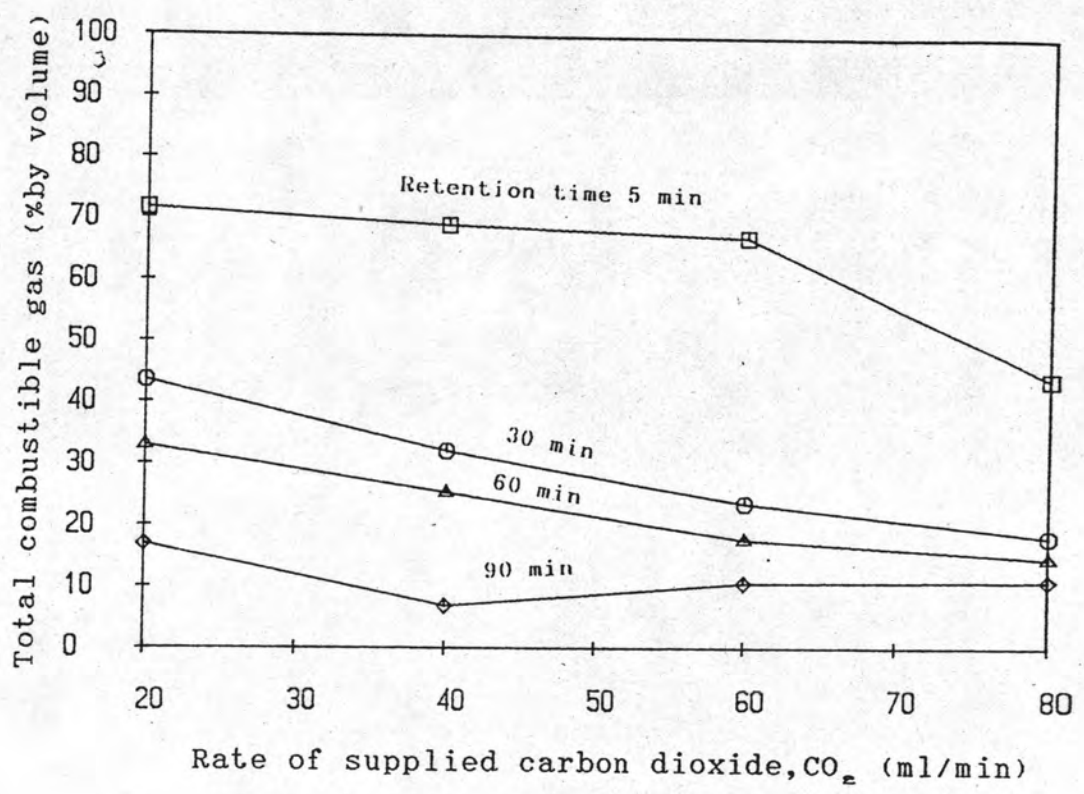
### 5.3.3 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

จากกราฟรูปที่ 5.3 แสดงผลของปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงรวม (ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์, ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซมีเทน) ที่ผลิตได้ โดยการทดลองเพิ่มอัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ให้ทำปฏิกิริยารีดักชันกับ ถ่านในกระบอกทดลองในอัตรา 20, 40, 60, และ 80 มล. ต่อ นาที และ ความคุมอุณหภูมิคงที่ 700 °ซ. วัสดุที่ใช้ทดลองคือถ่านซีละเอียด (รายละเอียดวิธีการทดลอง ดังอธิบายไว้ในหัวข้อ 4.3.3)

จากผลการทดลองพบว่า ให้ผลให้ทางกลับกัน กล่าวคือ การเพิ่มอัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังที่ทดลอง มีผลทำให้ได้ปริมาณการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงลดน้อยลง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเพิ่มอัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินไป ทำให้ก๊าซไหลผ่านชั้นถ่านเร็วขึ้น มีผลทำให้ช่วงระยะเวลาที่ก๊าซจะทำให้ปฏิกิริยารีดักชันกับถ่านคาร์บอนลดลง และการเพิ่มปริมาณให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาก ๆ เพื่อจะเร่งให้ทำปฏิกิริยาถ่านมากขึ้น นั้น เป็นเรื่องไม่จำเป็นมากนัก ดังจะเห็นได้จากผลการทดลอง รูปที่ 5.4 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนเกิน ที่ไม่ทำปฏิกิริยากับถ่านเพิ่มมากขึ้น ตามอัตราการเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

อาจกล่าวได้ว่า อัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แก่ ถ่านนั้น ไม่จำเป็นต้องสูงเกินไปเพราะจะทำให้ต้องเพิ่มความหนาของถ่านในชั้นปฏิกิริยารีดักชันเพิ่มมากขึ้นอันทำให้สิ้นเปลืองวัสดุ และได้รูปทรงของตัวเตาสูงเกินไป และอีกประการหนึ่ง อาจหมายความว่า การให้พลังงานในชั้นเผา

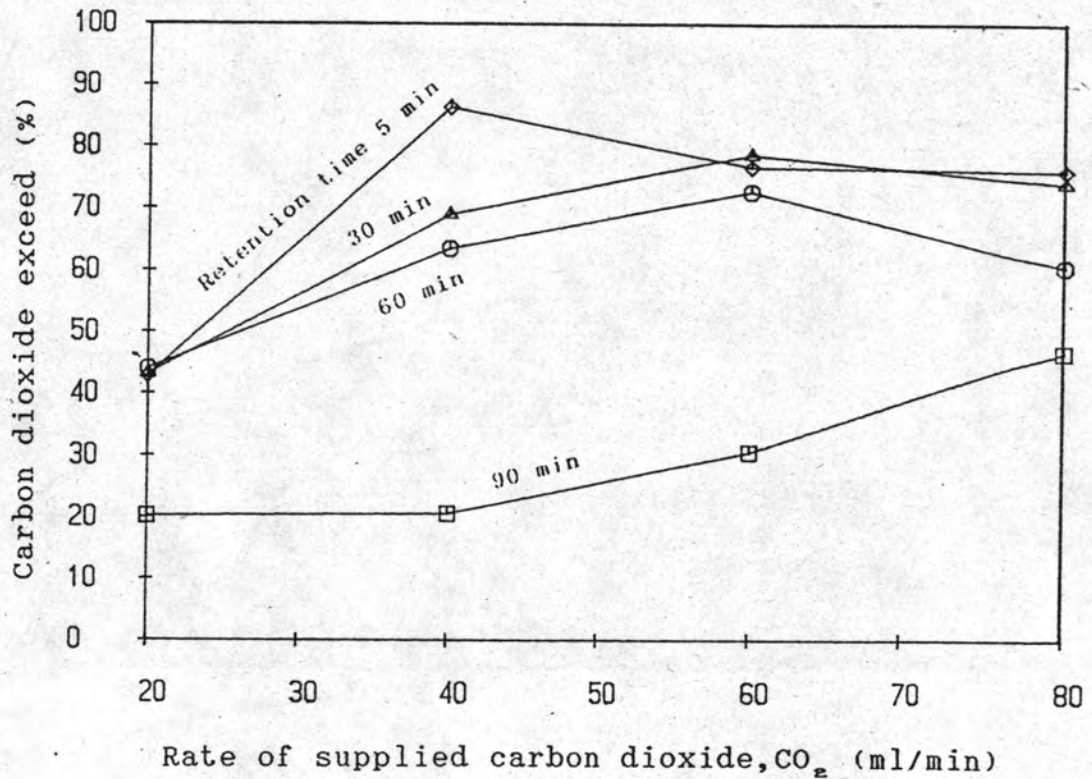
ไหม้ (Combustion) เพื่อเป็นแหล่งความร้อนให้แก่ชั้นปฏิกิริยาอื่น ๆ ในเตาแบบไพโรไลซิส นั้น ไม่จำเป็นต้องสูงเกินไป ซึ่งนับเป็นข้อดีเพราะทำให้การออกแบบชั้นเผาไหม้กระทัดรัดไม่สูงเกินไป ทำให้ไม่สิ้นเปลืองพลังงานมาก อันหมายถึง ปริมาณอากาศที่จะป้อนให้แก่ชั้นเผาไหม้ ไม่ต้องมากเกินไป ตัวอย่างเช่น หากกำหนดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากชั้นเผาไหม้ (Combustion layer) ที่จะเข้าสู่ชั้นปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction layer) ในอัตรา 20 มล. ต่อ นาที จะต้องให้ก๊าซออกซิเจน (Oxygen, O<sub>2</sub>) เพื่อเผาไหม้เชื้อเพลิงในอัตราเท่ากับ  $(\frac{32}{44}) \times 20$  มล. ต่อ นาที จากสมการ



รูปที่ 5.3 แสดงผลกระทบของก๊าซเชื้อเพลิงรวม จากการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

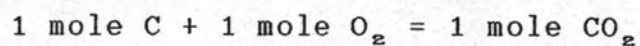


รูปที่ 5.3 แสดงผลกระทบของก๊าซเชื้อเพลิงทาร์ จากการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 5.4 แสดงผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนเกินขึ้นในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ

เคมีของการเผาไหม้

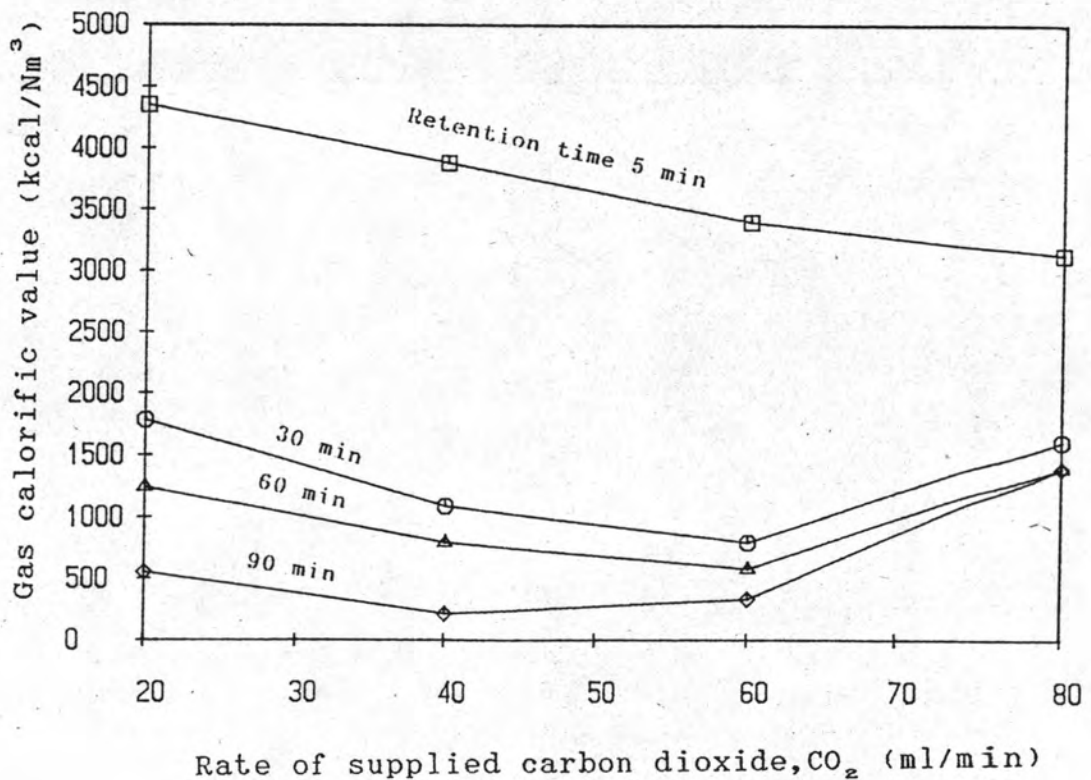


หรือสัดส่วนโดยน้ำหนัก  $12 + (2 \times 16) = (12 + 2 \times 16)$  ซึ่งเท่ากับต้องให้ออกซิเจนแก่ชิ้นเผาไหม้ 14.55 มล.ต่อนาที และเนื่องจากอากาศ (Air) ประกอบด้วยก๊าซออกซิเจน 23.2% และก๊าซไนโตรเจน

76.8% โดยน้ำหนักดังนั้นปริมาณอากาศที่ต้องการสำหรับชั้นเผาไหม้เท่ากับ  
14.55 มล. ต่อนาที/0.232 = 62.72 มล.ต่อนาที

5.3.4 ผลของค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากการ  
เปลี่ยนแปลงอัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากกราฟรูปที่ 5.5 แสดงผลของค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ อันประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ก๊าซไฮโดรเจนและ



รูปที่ 5.5 ผลค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซมีเทน จากการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามหัวข้อ 5.3.3 ที่อุณหภูมิทดลอง 700°C.

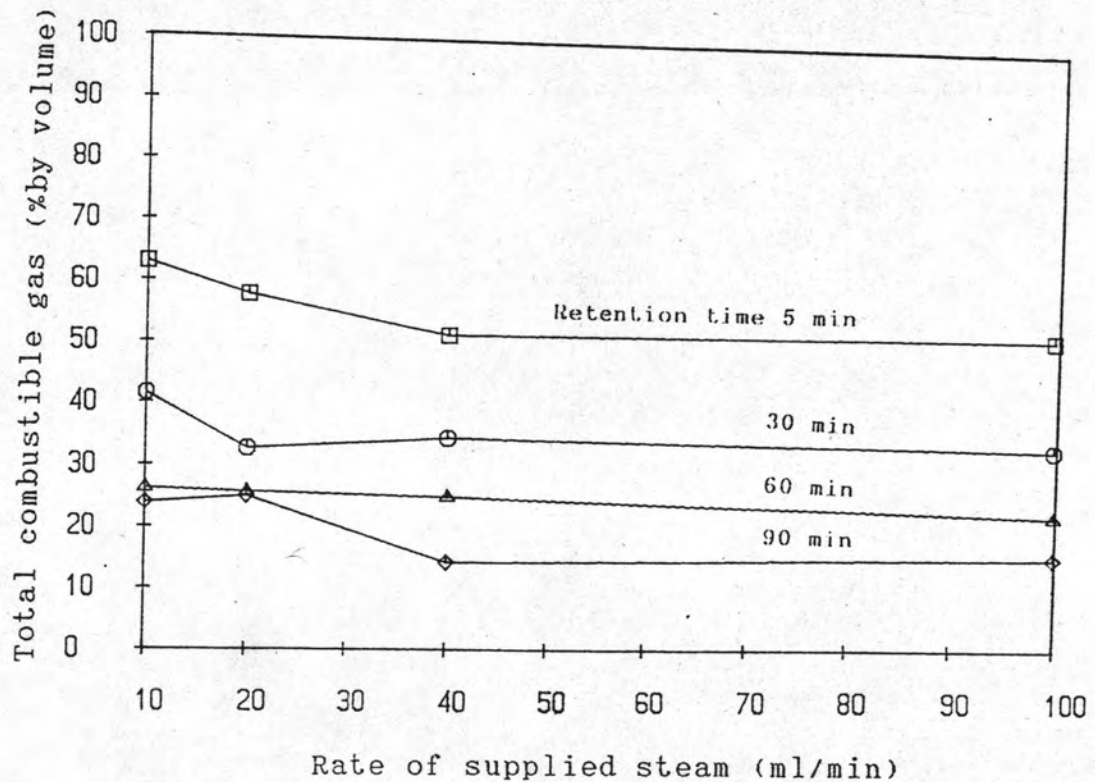
จะเห็นได้ว่า ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวมลดลง เมื่อเพิ่มอัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากสาเหตุดังได้อธิบายในหัวข้อ 5.3.3 โดยลดลงประมาณ 10.1 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จาก 20-80 มล.ต่อนาที (ระยะเวลาเก็บกักถ่าน 30 นาที) และค่าความร้อนโดยเฉลี่ยของก๊าซเชื้อเพลิงรวมเท่ากับ 1,908.24 แคลอรี ต่อลิบ.ม. ที่อุณหภูมิ 700°C. อัตราให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20 มล.ต่อนาที ระยะเวลาเก็บกักถ่าน 5-90 นาที (จากตารางที่ ก4 ภาคผนวก ก)

#### 5.4 ผลการตรวจสอบปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยการให้ไอน้ำ

การตรวจสอบปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis reaction) โดยการให้ไอน้ำเข้าทำปฏิกิริยากับถ่านในเตาทดลอง เพื่อผลิตก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน  $C(s) + H_2O(g) \longrightarrow CO(g) + H_2(g)$  ซึ่งเป็นก๊าซเชื้อเพลิงนั้น ได้ตั้งสมมติฐานว่า เป็นการให้ไอน้ำเข้าทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับถ่าน ในชั้นรีดักชัน (Reduction layer) ซึ่งมีอุณหภูมิพอเหมาะที่จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ดังวิธีการทดลอง ซึ่งได้อธิบายในหัวข้อ 4.3.4 ผลการทดลองจะเป็นการพิจารณาถึง ผลกระทบของก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ผลิตได้จากการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ไอน้ำ และเปรียบเทียบผลความแตกต่างระหว่างการให้ไอน้ำและการไม่ให้ไอน้ำแก่ระบบ ดังหัวข้อต่อไป

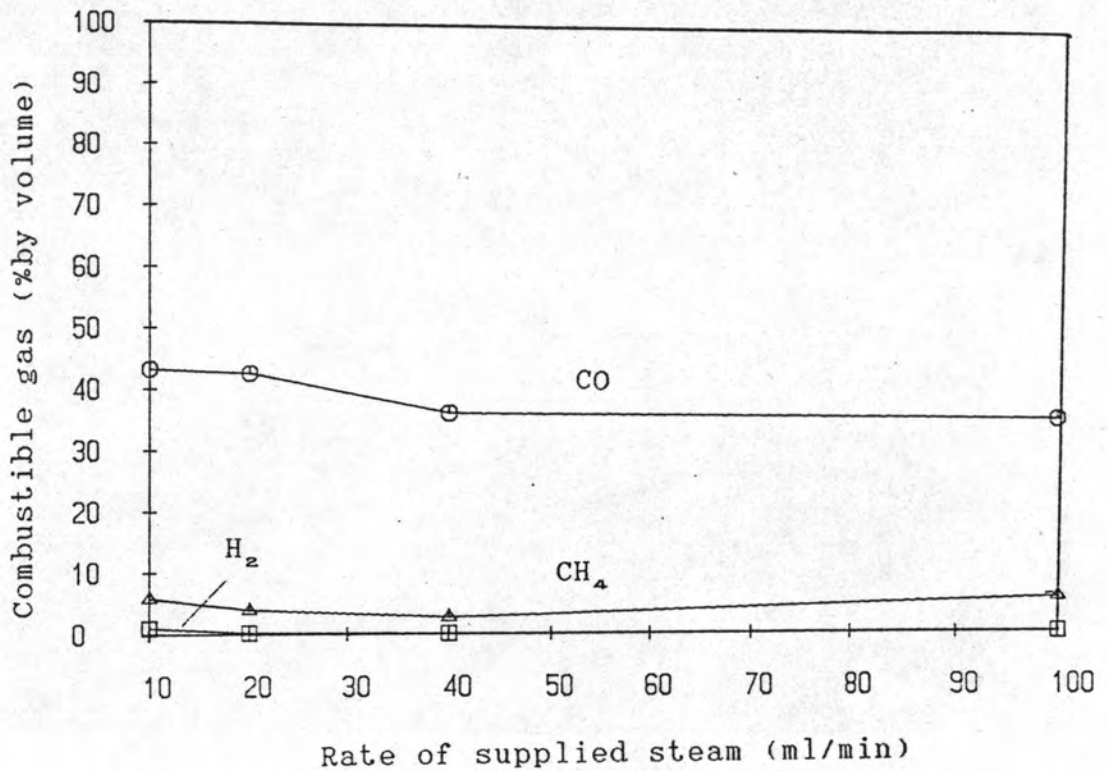
5.4.1 ผลกระทบของปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้อไอน้ำ

จากกราฟรูปที่ 5.6 แสดงผลของปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงรวม 3 ชนิด (ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์, ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซมีเทน) ที่ผลิตได้จากการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้อไอน้ำ จาก 10, 20, 40 และ 100 มล. ต่อ นาที ที่อุณหภูมิทดลอง  $700^{\circ}\text{C}$ . ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คงที่ 20 มล. ต่อ นาที โดยใช้ถ่านแกลบเป็นวัสดุทดสอบ



รูปที่ 5.6 แสดงผลของปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้อไอน้ำ



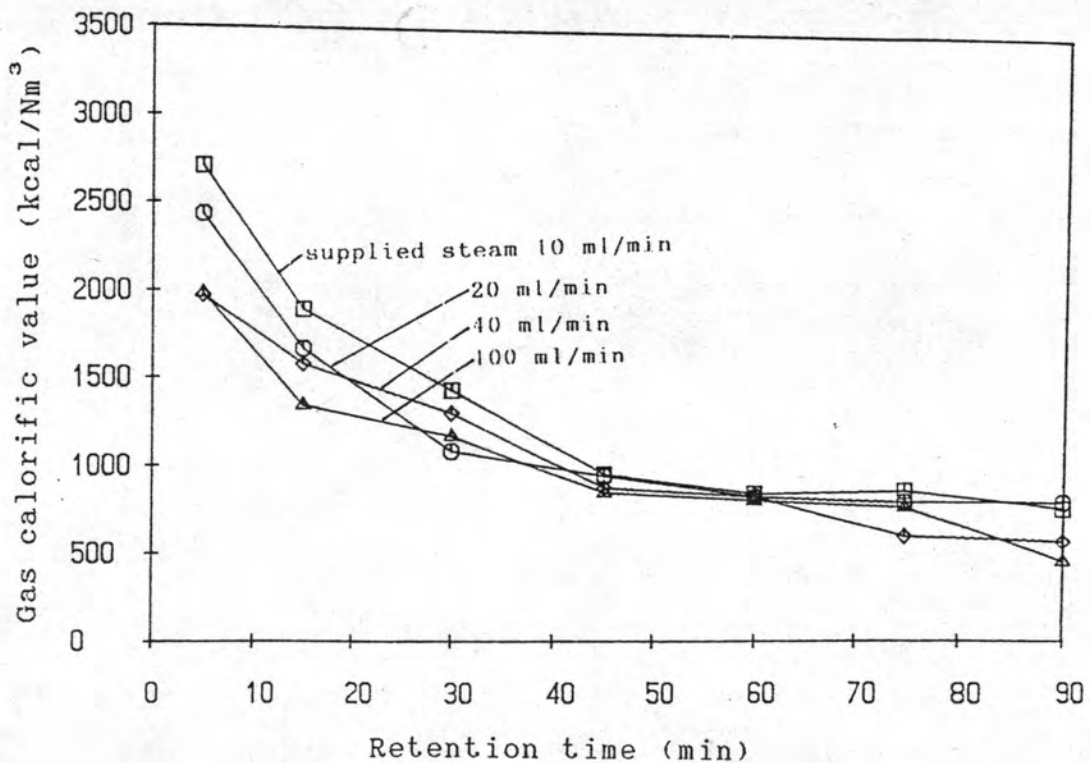


รูปที่ 5.7 แสดงผลของปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงต่าง ๆ ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ไอน้ำ

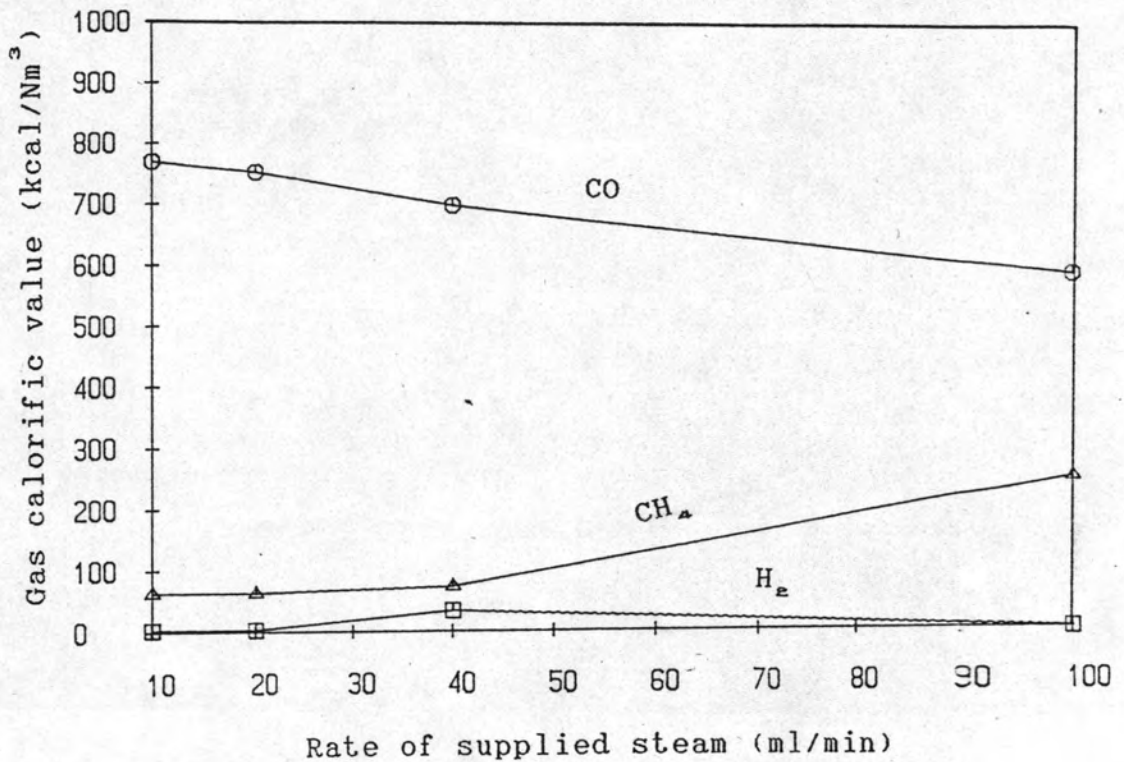
กราฟรูปที่ 5.7 แสดงผลของปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ไอน้ำ ที่ช่วงระยะเก็บกักถ่าน (Retention time) 15 นาที อุณหภูมิ 700°C. และอัตราให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20 มล.ต่อนาที

จากผลการทดลอง ดังกราฟรูปที่ 5.7 พบว่า การเพิ่มอัตราการให้ไอน้ำดังที่ทดลอง มีผลทำให้ปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราการให้ไอน้ำสูงเกินไป ทำให้ไอน้ำไหลผ่านชั้นของถ่านเร็วเกินไป

ไป ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสลดลง อาจกล่าวได้ว่า การเพิ่มอัตราการให้อไอน้ำแก่ถ่านสูงเกินไป ไม่ได้ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสูงขึ้นตามไปด้วย กลับกลายเป็นการหน่วงให้ปฏิกิริยาลดลง อีกทั้งยังทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน สำหรับการเปลี่ยนสภาพน้ำให้กลายเป็นไอ มากขึ้นด้วย จากผลการทดลองนี้ อาจสรุปได้ว่าอัตราการให้อไอน้ำที่ระดับ 10 มล.ต่อนาที ให้ปริมาณก๊าซเชื้อเพลิง มากกว่าที่อัตราให้อไอน้ำ 20, 40 หรือ 100 มล.ต่อนาที และในขั้นตอนการทดลอง การควบคุมอัตราการให้อไอน้ำในระดับที่ต่ำกว่า 10 มล.ต่อนาทีค่อนข้างยากต่อการควบคุมโดยอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง แต่ก็เป็นเรื่องที่น่าศึกษาต่อไป สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่เตาปฏิกรณ์



รูปที่ 5.8 ผลค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้อไอน้ำ

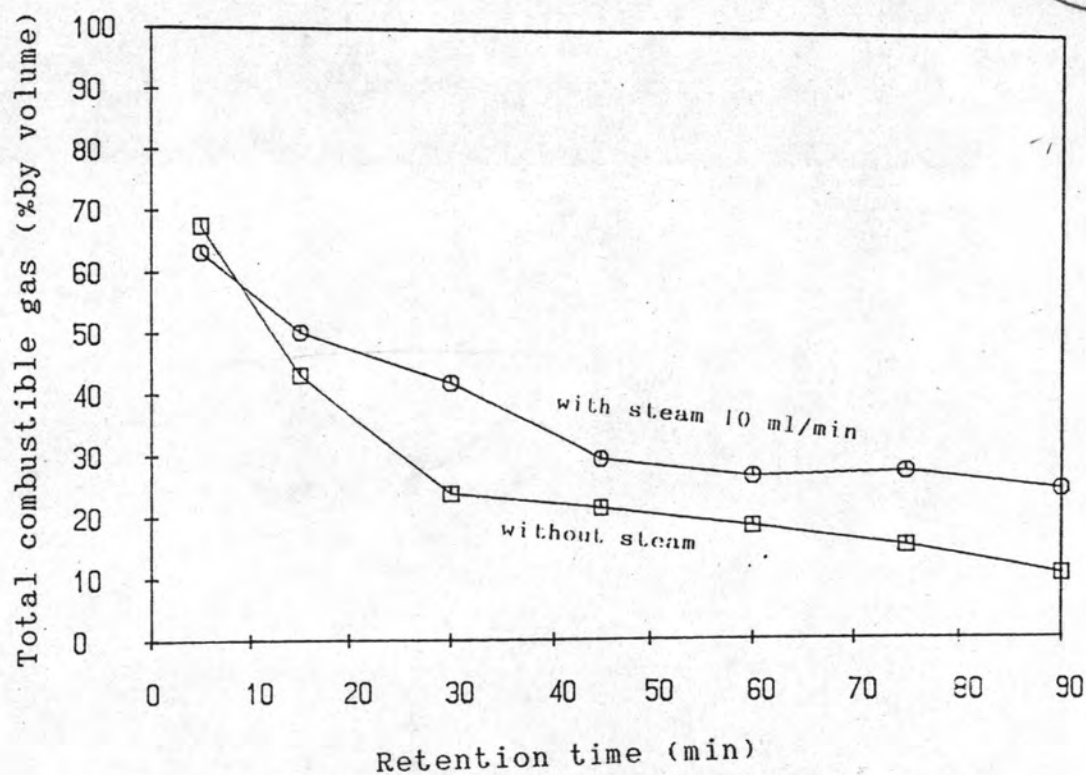


รูปที่ 5.9 ผลค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการเปลี่ยน  
แปลงอัตราการให้อไอน้ำ

#### 5.4.2 ผลค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการเปลี่ยน แปลงอัตราการให้อไอน้ำ

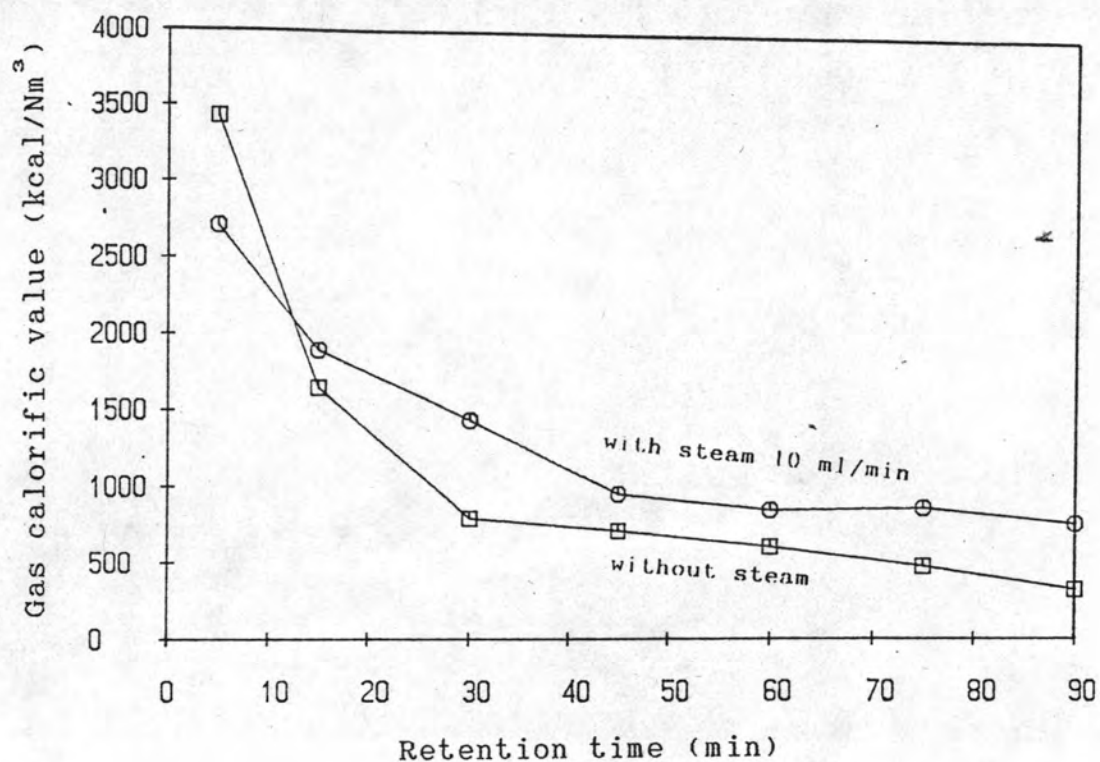
จากกราฟรูปที่ 5.8 แสดงผลของค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวม 3 ชนิดที่ได้จากกราฟรูปที่ 5.6 และกราฟรูปที่ 5.9 แสดงผลของค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงต่างๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 60 นาที อุณหภูมิควบคุม 700 °ซ. และอัตราให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20 มล. ต่อ นาที

จากผลการทดลองดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า ค่าความร้อนของก๊าซที่ผลิตได้ลดลง เมื่ออัตราการให้อไอน้ำสูงเกินจำเป็น และค่าความร้อนที่ได้จากก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ มากกว่าค่าความร้อนที่ได้จากก๊าซไฮโดรเจนประมาณ 1.42 เท่า และมากกว่าค่าความร้อนที่ได้จากก๊าซมีเทนประมาณ 1.2 เท่า และค่าความร้อนโดยเฉลี่ยของก๊าซเชื้อเพลิงรวมเท่ากับ 1,340 แคลอรีต่อ ลบ.ม. ที่อัตราให้อไอน้ำ 10 มล.ต่อนาที ระยะเวลาเก็บกักถ่าน 5-90 นาที (จากตารางที่ ก5 ภาคผนวก ก)



รูปที่ 5.10 ผลเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้ระหว่างการให้อไอน้ำและไม่ให้อไอน้ำ





รูปที่ 5.11 ผลเปรียบเทียบค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้ระหว่างการให้ไอน้ำและไม่ให้ไอน้ำ

#### 5.4.3 ผลเปรียบเทียบปริมาณและค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้ระหว่างการให้ไอน้ำและไม่ให้ไอน้ำ

จากกราฟรูปที่ 5.10 แสดงผลเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ระหว่างการให้ไอน้ำ และการไม่ให้ไอน้ำ และกราฟรูปที่ 5.11 แสดงผลของค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้ระหว่างทั้งสองกรณี ทั้งนี้โดยใช้ถ่านแกลบเป็นวัสดุทดสอบ ที่อุณหภูมิ 700°C. อัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คงที่ 60 มล.ต่อนาที และให้ไอน้ำในอัตรา 10 มล.ต่อนาที

จากผลการทดลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่า กรณีการให้ไอน้ำ ช่วยทำให้เพิ่มปริมาณและค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง กล่าวคือ ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวมเพิ่มขึ้นประมาณ 80.2 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาเก็บกักถ่านนาน 30 นาที, หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 40.2 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาเก็บกักถ่านนาน 60 นาที หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 136.9 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาเก็บกักถ่านนาน 90 นาที และโดยเฉลี่ยค่าปริมาณของก๊าซเชื้อเพลิงรวมทั้งหมดจากระยะเวลาเก็บกักถ่าน 5 นาที ถึง 90 นาที จะเพิ่มขึ้นประมาณ 31.35 เปอร์เซ็นต์ และค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวมเพิ่มขึ้นประมาณ 18.23 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ให้ไอน้ำ

#### 5.5 ผลการตรวจสอบปฏิกิริยารีดักชัน โดยการเปลี่ยนแปลงชั้นความหนาของถ่าน

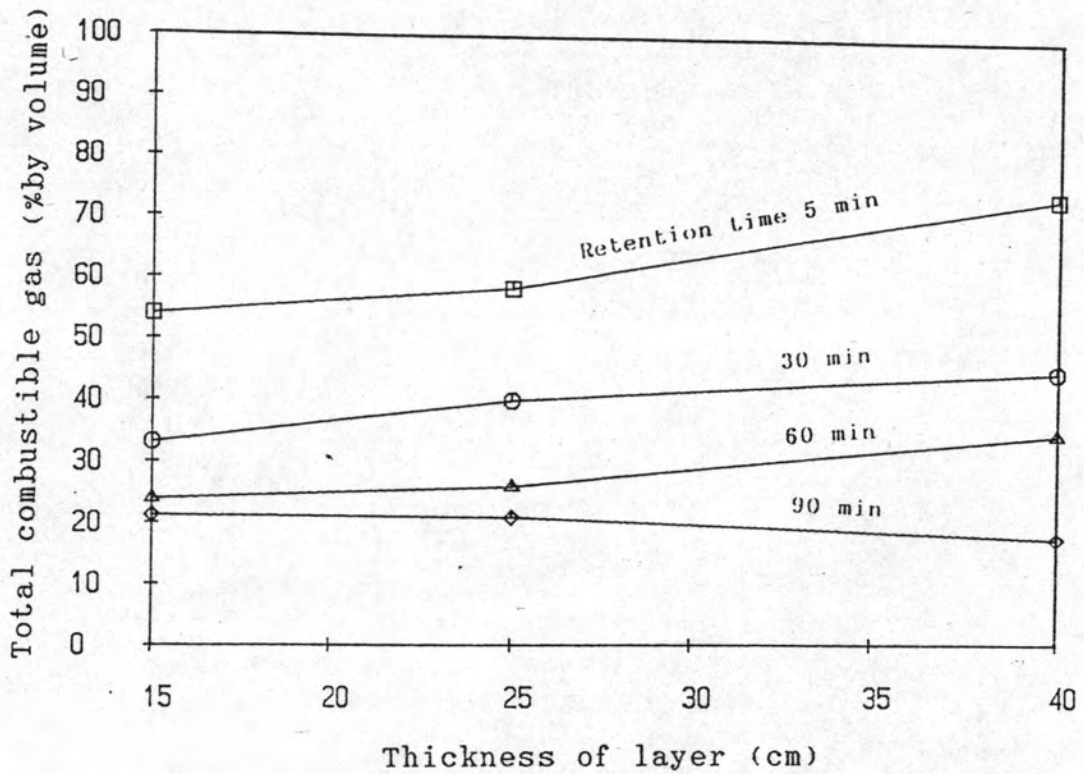
การทดลองเปลี่ยนแปลงชั้นความหนาของถ่าน ดังวิธีในหัวข้อ 4.3.5 ก็เพื่อศึกษาดูว่าการเพิ่มขึ้นความหนาของถ่านในเตาทดลอง จะมีผลช่วยทำให้การเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ผลิตปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นหรือไม่ ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญประการหนึ่ง สำหรับการกำหนดออกแบบความหนาของชั้นรีดักชันของเตาแบบไพโรไลซิส

##### 5.5.1 ผลกระทบของปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากการเปลี่ยนแปลงชั้นความหนาของถ่าน

จากกราฟรูปที่ 5.12 แสดงผลของปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงรวม 3 ชนิด (ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์, ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซมีเทน) ที่ผลิตได้

จากการเปลี่ยนแปลงชั้นความหนาของถ่าน 1 ใน 4 ส่วน, 2 ใน 4 ส่วน , และ 3 ใน 4 ส่วนของความสูงของกระบอกทดลอง หรือประมาณ 15 ซม., 25 ซม. และ 40 ซม. ตามลำดับ โดยใช้ถ่านที่เลือกอัดเป็นวัสดุทดสอบ ความคุมอุณหภูมิ 700°ซ. อัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คงที่ 20 มล. ต่อ นาที ที่ระยะเวลาการเก็บกักถ่านทดสอบนาน 5 นาที, 30 นาที, 60 นาที และ 90 นาที

จากผลการทดลอง ดังรูป 5.12 จะเห็นได้ว่า ปริมาณก๊าซ เชื้อเพลิงรวมที่ได้เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความหนาของถ่านโดยปริมาณก๊าซเชื้อเพลิง เพิ่มขึ้นประมาณ 19 เปอร์เซ็นต์และ 32 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มความหนาถ่าน 1.67 เท่าและ 2.67 เท่า ตามลำดับ (ที่ระยะเวลาเก็บกัก 30 นาที) ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า การเพิ่มความหนาของชั้นรีดักชันมีผลต่อการเพิ่มก๊าซเชื้อเพลิง หรืออีกนัยหนึ่งอาจกล่าวได้ว่ารูปทรงของเตาไพโรไลซิสแบบพอมสูง น่าจะให้ ผลดีกว่ารูปทรงเตาแบบอ้วนเตี้ย เนื่องจากอัตราการไหลของก๊าซผ่านชั้นถ่าน เป็นปัจจัยบ่งชี้ที่สำคัญ ชั้นของถ่านน้อยอัตราการไหลของก๊าซผ่านชั้นถ่านก็เร็ว โอกาสการเกิดปฏิกิริยาเคมีก็น้อย ชั้นของถ่านมาก อัตราการไหลผ่านชั้นถ่านก็ ช้าลง ทำให้โอกาสการเกิดปฏิกิริยาเคมีมากขึ้นแต่อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการเพิ่ม ชั้นความหนาของถ่านจะเป็นผลดีต่อการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง หากเพิ่มมากเกินไป ก็ไม่ใช่จะเป็นผลดี เพราะมีผลทำให้รูปทรงเตาสูงสิ้นเปลืองพลังงานใน การป้อนวัสดุเข้าเตา และต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในชั้นเผาไหม้เพื่อรักษาระดับ อุณหภูมิในชั้นรีดักชันให้คงที่

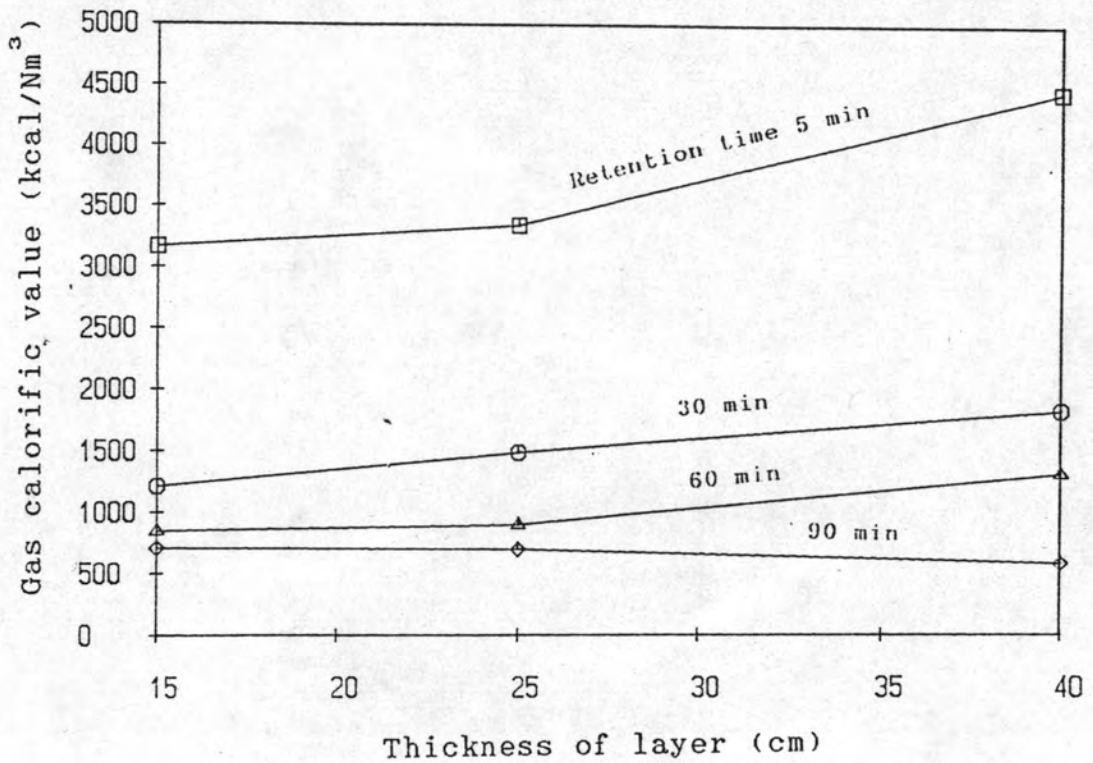


รูปที่ 5.12 แสดงผลของปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นถ่าน

5.5.2 ผลค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงชั้นความหนาของถ่าน

จากกราฟรูปที่ 5.13 แสดงผลค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงจากผลการทดลองในหัวข้อ 5.5.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความหนาของชั้นถ่าน โดยเพิ่มขึ้นในอัตราประมาณ 234.3 แคลอรี ต่อความหนาถ่าน 10 ซม.





รูปที่ 5.13 ผลค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นถ่าน

#### 5.6 ผลการตรวจสอบคุณภาพของถ่านที่ได้จากการทดลอง

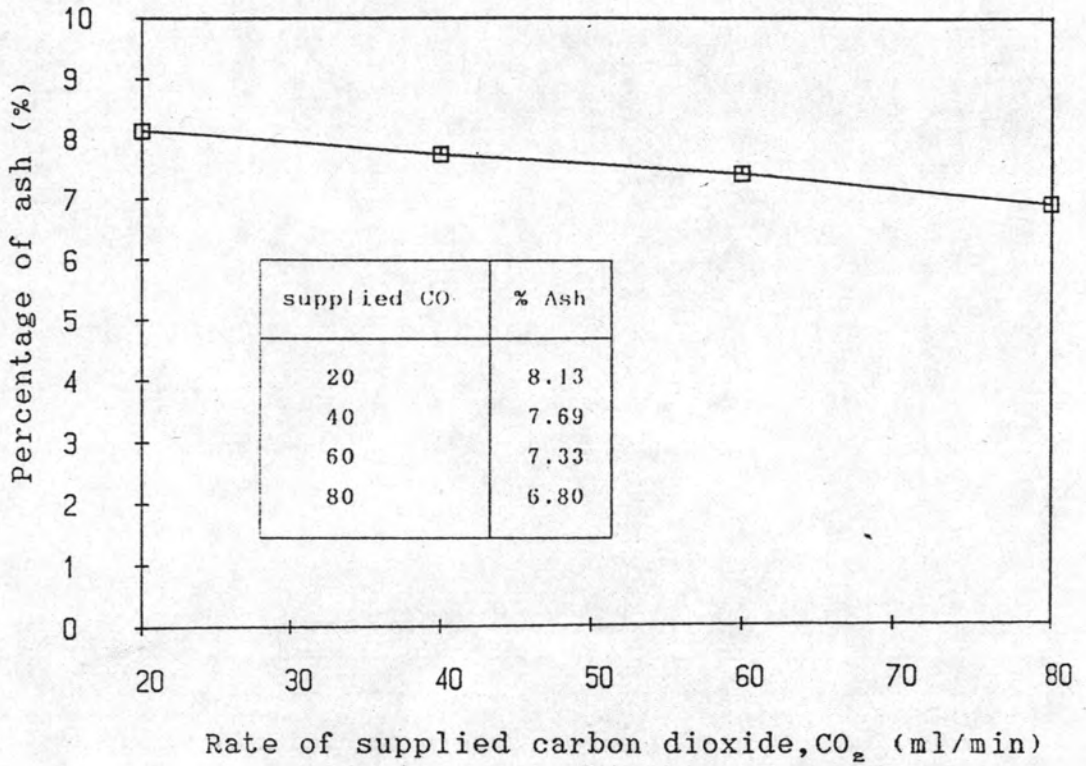
ถ่านที่ได้จากการทดลอง จะถูกตรวจสอบคุณภาพโดยการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ซีเฝ้าในถ่าน ตามวิธีที่กล่าวในหัวข้อ 4.3.1 (โดยใช้อุณหภูมิ 800°ซ เวลา 120 ชม.) และวิเคราะห์หาค่าความร้อนของถ่าน ตามวิธีในหัวข้อ 4.3.7 ผลการทดลองจะบ่งบอกถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถ่านที่ได้เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง กล่าวคือ ถ่านที่มีคุณภาพดีจะมีเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของซีเฝ้าในถ่านต่ำ และให้ค่าความร้อนสูง

### 5.6.1 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ซี้เถ้าในถ่าน

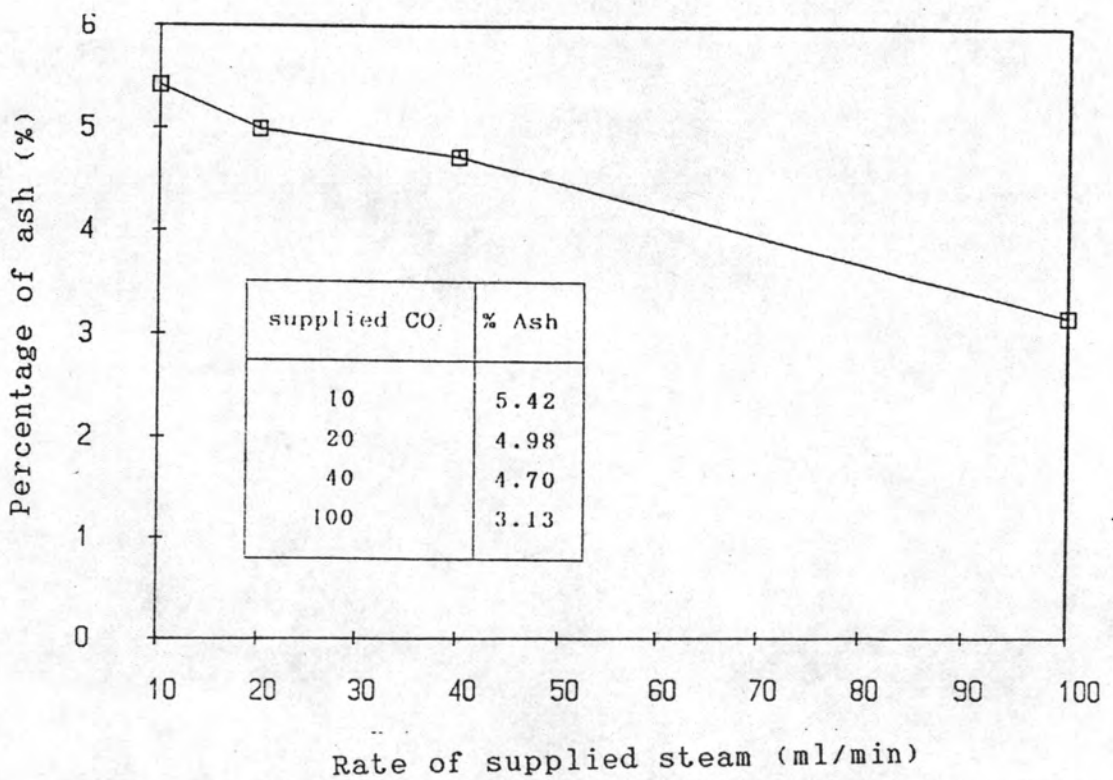
จากกราฟรูปที่ 5.14 แสดงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของซี้เถ้าในถ่านซี้เลื่อยอัด หลังจากการทดลองปฏิกิริยารีดักชัน โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จาก 20, 40, 60 และ 80 มล. ต่อ นาที ที่อุณหภูมิ 700°C. ระยะเวลาทดลอง 90 นาที (ระยะเวลาถ่านเก็บกักในกระบอกลดลง)

จากกราฟรูปที่ 5.15 แสดงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของซี้เถ้าในถ่านแกลบ ภายหลังจากการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยการให้ไอน้ำในอัตรา 10, 20, 40 และ 100 มล. ต่อ นาที และอัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คงที่ 60 มล. ต่อ นาที ที่อุณหภูมิ 700°C. และระยะเวลาทดลอง 90 นาที

จากผลการทดลองในรูปที่ 5.14 และรูปที่ 5.15 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ซี้เถ้าในถ่านเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นประมาณ 7-8 เปอร์เซ็นต์ กรณีถ่านซี้เลื่อยอัด ที่อัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20-80 มล. ต่อ นาที และเพิ่มขึ้นประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์ กรณีถ่านแกลบ ที่อัตราการให้ไอน้ำ 10-40 มล. ต่อ นาที และให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตรา 60 มล. ต่อ นาที และพบว่าเปอร์เซ็นต์ซี้เถ้าในถ่านลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำดังการทดลอง ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่า เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบคาร์บอนในถ่านสูงขึ้น ได้ผลิตภัณฑ์ถ่านเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของซีเฝ้าในถ่านซีเลื่อยอัด  
หลังจากการทดลองปฏิกิริยาอีตักชั่น



รูปที่ 5.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของซีเฝ้าในถ่านแกลบ  
หลังการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

### 5.6.2 ผลวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านที่ได้จากการทดลอง

จากตารางที่ 5.3 แสดงผลวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่าน  
แกลบและถ่านซีเลื่อยอัด ที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 5.6.1 ตามวิธี  
การทดลองดังหัวข้อ 4.3.7

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านที่ได้หลังการทดลอง  
ปฏิกิริยารีดักชัน

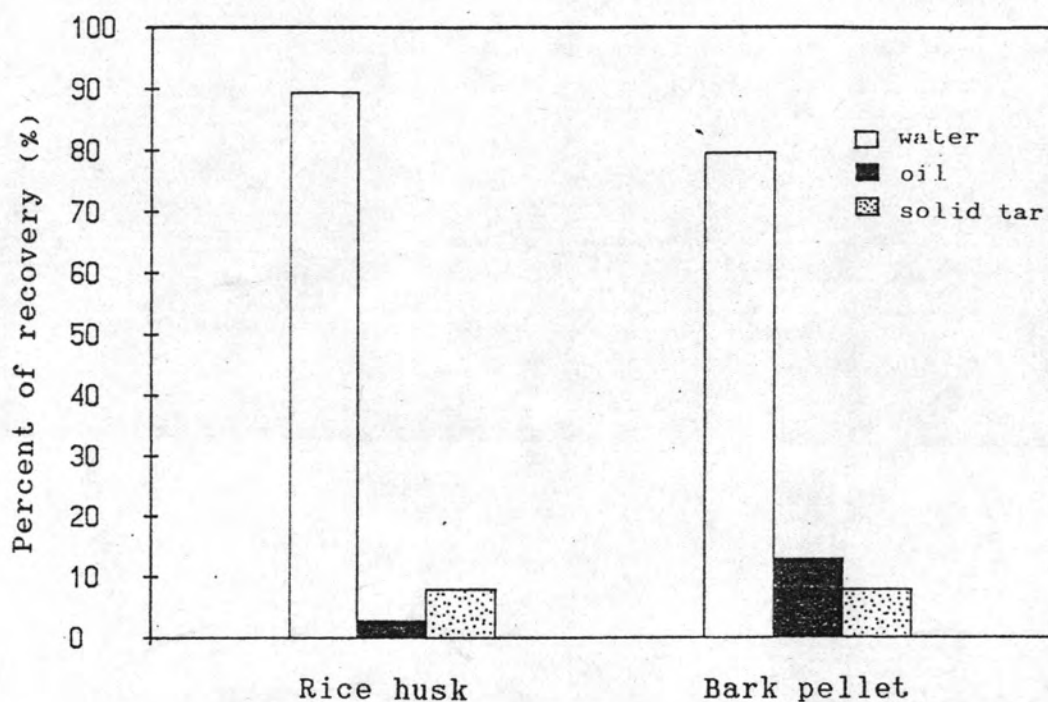
	เปอร์เซ็นต์ ซีเถ้า	ค่าความร้อนทดลอง (คาลอรีต่อกรัม)	ค่าความร้อนสุทธิ (คาลอรีต่อกรัม)
ถ่านแกลบ	3.1 - 5.4	4,427.02	4,623.52
ถ่านซีเลื่อยอัด	6.8 - 8.1	5,130.15	5,543.11

### 5.7 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติบางส่วนของของเหลวทาร์จากแกลบและซีเลื่อยอัด

ของเหลวทาร์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส จะถูกนำมาตรวจ  
สอบโดยวิธีการกลั่นลำดับส่วนโดยแบ่งช่วงอุณหภูมิการกลั่น และการกลั่นรวมเพื่อ  
แยกเฉพาะส่วนของเหลวของจากส่วนของแข็ง (Solid tar) ดังวิธีทดลองใน  
หัวข้อ 4.3.6 รวมทั้งการสกัดน้ำมันทาร์ (Tar oil) จากส่วนผสมของของ  
เหลว (น้ำกับน้ำมันทาร์) ที่กลั่นได้ และวิเคราะห์หาค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์



ที่ได้จากการกลั่นรวมทั้งน้ำมันทาร์ ตามวิธีทดลองในหัวข้อ 4.3.7 รวมทั้งการ  
หาค่าความร้อน ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่น รวมทั้งน้ำมันทาร์ ตามวิธี  
ทดลองในหัวข้อ 4.3.7



รูปที่ 5.16 แสดงองค์ประกอบของเหลวทาร์ ที่ได้จากการกลั่น

#### 5.7.1 ผลการกลั่นของเหลวทาร์และค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากการกลั่นช่วงอุณหภูมิเดียว

จากรูปที่ 5.16 แสดงปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นของ  
เหลวทาร์ อันได้แก่ส่วนผสมของเหลวและของแข็งทาร์ (Solid tar) ส่วน

ผสมของเหลวที่ได้ประกอบด้วยน้ำ และน้ำมันทาร์ (Tar oil) ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของน้ำ (Water content) โดยเครื่องวิเคราะห์ของเหลว (Liquid chromatograph) ดังวิธีทดลองในหัวข้อ 4.3.6 ก็จะทราบเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมน้ำมันทาร์ได้ น้ำมันทาร์สามารถแยกสกัดออกจากส่วนผสมของเหลวโดยใช้เครื่องเหวี่ยงแรงสูง ตามวิธีในหัวข้อ 4.3.6 เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าความร้อนโดยเครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน (Bomb-calorimeter) ดังกรรมวิธีในหัวข้อ 4.3.7 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันทาร์ (Tar oil) และของแข็งทาร์ (Solid tar) หลังการทดลองปฏิกิริยารีดักชัน ของแกลบและซีเลอซัด แสดงในตารางที่ 5.4 และตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.4 ผลวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันทาร์และของแข็งทาร์  
ของแกลบ

ผลิตภัณฑ์	เปอร์เซ็นต์ ส่วนผสมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ ซีเล้า	ค่าความร้อนทดลอง (คาลอรีต่อกรัม)	ค่าความร้อนสุทธิ (คาลอรีต่อกรัม)
น้ำมันทาร์ (Tar oil)	42.7	-	3,178.55	5,547.2
ของแข็งทาร์ (Solid tar)	-	3.1	6,005.67	6,197.8

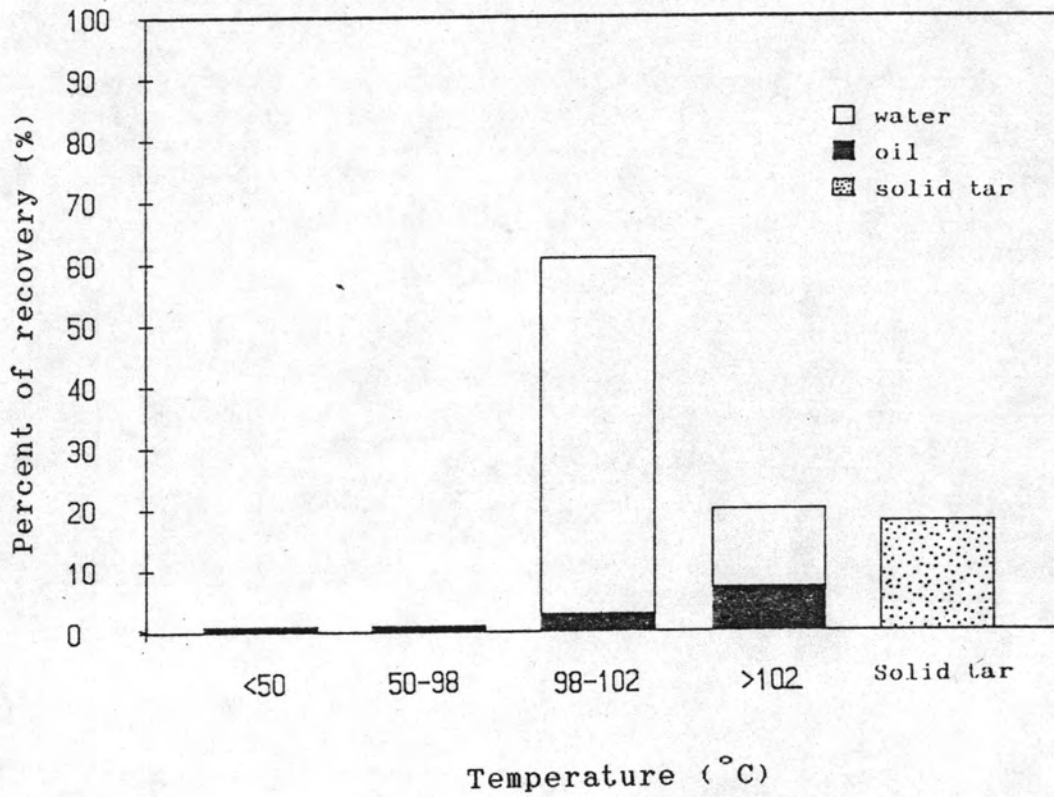
ตารางที่ 5.5 ผลวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันทาร์และของแข็งทาร์ของ  
ซีล้อยัด

ผลิตภัณฑ์	เปอร์เซ็นต์ ส่วนผสมน้ำ	เปอร์เซ็นต์ ซีลैया	ค่าความร้อนทดลอง (คาลอรีต่อกรัม)	ค่าความร้อนสุทธิ (คาลอรีต่อกรัม)
น้ำมันทาร์ (Tar oil)	57.5	-	2,920.50	6,871.76
ของแข็งทาร์ (Solid tar)	-	4.5	6,094.81	6,382.0

5.7.2 ผลการกลั่นของเหลวทาร์และค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่

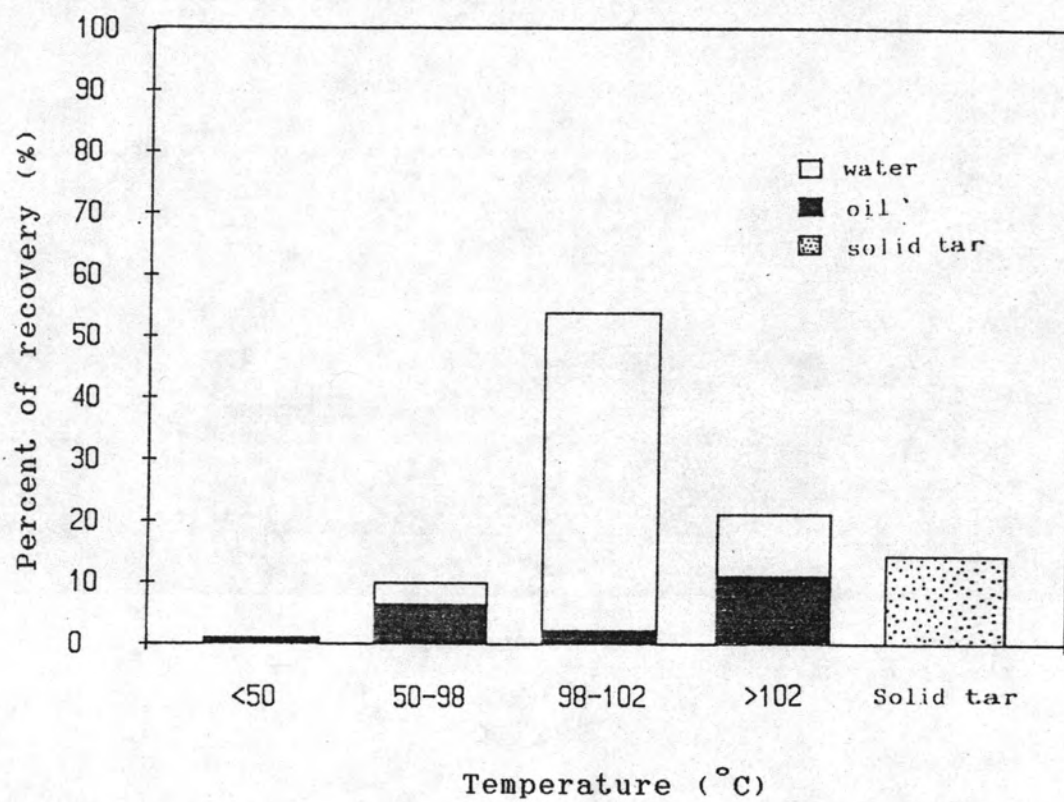
ได้จากการกลั่นในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ

จากรูปที่ 5.17 และรูปที่ 5.18 แสดงผลการกลั่นของ  
เหลวทาร์ที่ได้ ในช่วงอุณหภูมิต่างๆ จากของเหลวทาร์ของแกลบและซีล้อยัด  
ที่ได้จากการทำกระบวนการไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิ 600°C. ตามวิธีทดลองใน  
หัวข้อ 4.3.6



รูปที่ 5.17 แสดงผลการกลั่นของเหลวทาร์ ที่ช่วงอุณหภูมิกลั่นต่างๆ





รูปที่ 5.18 แสดงผลการกลั่นของเหลวทาร์จากซีเลื่อยอัด ที่ได้จากการ  
กลั่นในช่วงอุณหภูมิช่วง ๆ

ค่าความร้อนของส่วนผสมของเหลว (น้ำกับน้ำมันทาร์) ที่กลั่นได้ ทำการวิเคราะห์หาค่าความร้อนโดยตรง ตามวิธีทดลอง ในหัวข้อ 4.3.7 ค่าความร้อนที่ได้เป็นค่าความร้อนของส่วนผสมน้ำกับน้ำมันทาร์ ค่าความร้อนของน้ำมันทาร์บริสุทธิ์ คำนวณได้จากผลวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของน้ำ ด้วยผลการทดลองในตารางที่ 5.5 และตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ผลวิเคราะห์ค่าความร้อนน้ำมันทาร์ของแกลบ ที่ช่วงอุณหภูมิ กลั่นต่าง ๆ

อุณหภูมิการกลั่น (°ซ)	เปอร์เซ็นต์ที่ ที่กลั่นได้	เปอร์เซ็นต์ ของน้ำ	ค่าความร้อนทดลอง (คาลอรีต่อกรัม)	ค่าความร้อนสุทธิ (คาลอรีต่อกรัม)
< 50	0.86	12.80	3,941.20	4,519.72
50-98	0.98	30.21	3,545.43	5,080.14
98-102	60.74	95.40	-	-
> 102	19.77	64.61	1,883.67	5,322.61

หมายเหตุ เปอร์เซ็นต์ของแข็งทาร์ (Solid tar) หลังจากการกลั่น เท่ากับ 17.65 เปอร์เซ็นต์ ค่าความร้อนสุทธิ หมายถึง ค่าความร้อนของน้ำมันทาร์บริสุทธิ์ 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5.7 ผลวิเคราะห์ค่าความร้อนน้ำมันทาร์ของซีเลื่อยอัด ที่ได้  
จากการกลั่นในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ



อุณหภูมิการกลั่น	เปอร์เซ็นต์ที่ ที่กลั่นได้	เปอร์เซ็นต์ ของน้ำ	ค่าความร้อนทดลอง (คาลอรีต่อกรัม)	ค่าความร้อนสุทธิ (คาลอรีต่อกรัม)
< 50	0.97	20.63	4,301.09	5,419.04
50-98	9.87	35.50	4,255.80	6,598.14
98-102	53.76	96.0	-	-
> 102	21.10	47.66	3,324.17	6,351.11

หมายเหตุ เปอร์เซ็นต์ของแข็งทาร์ (Solid tar) หลังจากการกลั่นเท่ากับ  
14.30 เปอร์เซ็นต์

**5.8 ผลการสกัดสารประกอบอินทรีย์บางส่วนของเหลวทาร์ โดยวิธีทางเคมี**

ของเหลวทาร์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส จะทำการกรองเพื่อ  
แยกเอาส่วนที่เป็นสลัดจ์ (Sludge) หรือของแข็งทาร์ออก แล้วนำเอาเฉพาะ  
ส่วนที่เป็นของเหลวที่ได้จากการกรอง มาทำการทดลองสกัดแยกสารประกอบ  
อินทรีย์บางส่วนอันได้แก่สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Neutral and Basic),  
กรดอินทรีย์ (Organic acid) และสารฟีนอล (Phenol) ตามกรรมวิธีทาง  
เคมี ในหัวข้อ 4.3.8 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.8 ผลการสกัดสารประกอบอินทรีย์บางส่วนจากของเหลวทาร์  
ของซีเลียมอัด โดยวิธีทางเคมี

ผลิตภัณฑ์ที่ได้	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเฉลี่ย
สารอินทรีย์ธรรมชาติ (Neutral and basic)	2.3 - 2.5
กรดอินทรีย์ (Organic acid)	3.1 - 3.2
สารฟีนอล (Phenol)	4.1 - 4.3