

บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง
(Experimental and Result)

6.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

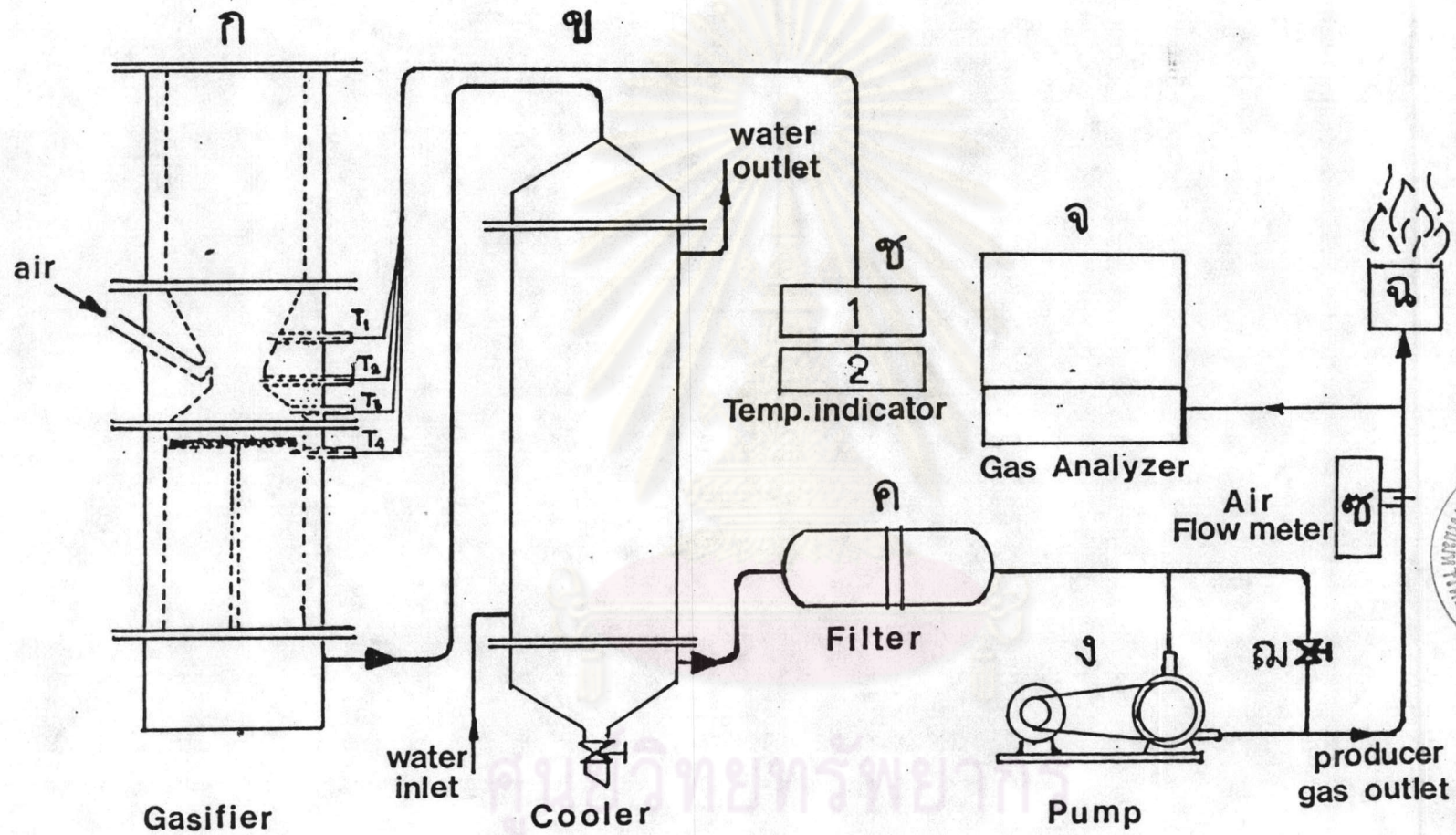
เนื่องจากใช้ไม้ในการศึกษาการเกิด ก๊าซซิฟิเคชัน ดังนั้นเตาปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจึงออกแบบและสร้างเป็นระบบ หมในเตาวิ่งลง เพื่อให้เหมาะสมกับวัสดุที่ใช้เผาในเตาปฏิกรณ์ และเนื่องจากทดลองไว้ใช้ ความดันในเตาค่ากว่าอากาศภายนอกเตา (Negative guage Pressure) บ้างเล็กน้อย คือใช้ปั๊มระบบดูดลม (Suction pump) ดึงตรงด้านขาออกของก๊าซจากเตา ดังนั้นจึงต้องออกแบบสร้างระบบทำความสะอาดก๊าซด้วยก่อนที่จะต่อเข้าปั๊ม เพื่อป้องกันไม่ให้ปั๊มชำรุดหรือเสียหายอันเนื่องจากสิ่งสกปรกในก๊าซ เชื้อเพลิง โดยออกแบบสร้างเครื่องช่วยทำให้ก๊าซ เย็นลงโดยใช้น้ำเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (Water Cooler) เพื่อให้สาร ระเหยในไม้ และไอน้ำจากก๊าซเชื้อเพลิง กลั่นตัวเป็นของเหลว แยกออกมาจากก๊าซเชื้อเพลิง ก่อนที่จะเข้า ปั๊ม และเพื่อให้ก๊าซสะอาดยิ่งขึ้น จึงได้ติดตั้งกรองก๊าซที่ออกแบบเองด้วยอีก 1 ตัว ก่อนจะเข้าปั๊ม เมื่อติดตั้งทั้งระบบแล้วจะได้รูปลักษณะ ดังภาพที่ 6.1

ส่วนต่างๆ ของระบบ เตาผลิตก๊าซเชื้อ ทั้งชุดประกอบด้วย

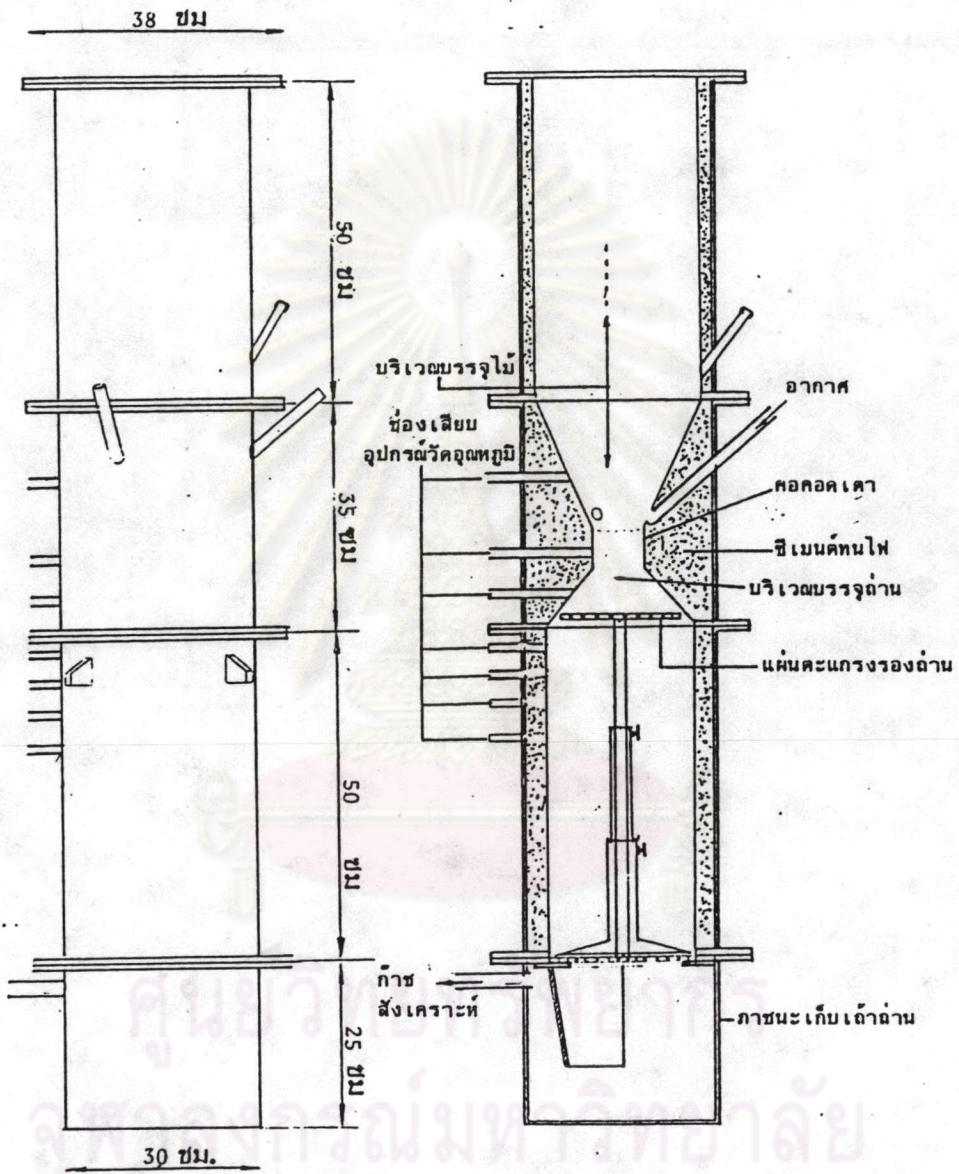
ก. เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ระบบลมในเตาวิ่งลง (Downdraft Gasifier) ทำด้วยเหล็กธรรมดา เส้นผ่าศูนย์กลาง 30.4 ซม. ด้านนอก และ 30 ซม. ด้านใน ความสูงทั้งหมด 160 ซม. ทางเข้าของอากาศที่ใช้เผา มี 3 ทาง ขนาดรูอากาศที่เข้าประมาณ .75 นิ้ว หรือ 1.8 ซม. ทางออกของก๊าซ เชื้อเพลิง (Producer gas) มีทางเดียว ขนาดท่อทางออกประมาณ 1.5 นิ้ว หรือ 3.8 ซม. จากท่อนำก๊าซเชื้อเพลิง จะต้องเชื่อมเข้ากับ เครื่องช่วยทำให้ก๊าซ เย็นลง ตัวเตาปฏิกรณ์ยังแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆดังนี้ (ดูรายละเอียดในรูปที่ 6.2)

ส่วนล่างสุด เป็นส่วนเก็บเถ้าถ่านสูงประมาณ 25 ซม.

ส่วนที่สอง เป็นส่วนที่ใช้บรรจุถ่านสามารถปรับปริมาณที่จะบรรจุได้ส่วนนี้มีการฉนวนที่ผนังด้านในหนาประมาณ 3 ซม. เพื่อช่วยลดการสูญเสียความร้อนจากการเผาไหม้ในเตา มีความสูงประมาณ 50 ซม. จะมีท่อสำหรับใช้เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เลียนวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 6.1 แผนภาพส่วนประกอบต่างๆ ของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ระบบลมในเตาวิ่งลง ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 6.2 แสดงส่วนต่างๆภายในของเตาปฏิกรณ์ผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ในการศึกษา และทดลอง

ส่วนที่สามเป็น ส่วนที่จะมีการเผาไหม้ภายในโดยเฉพาะตรงบริเวณคอคอด ส่วนนี้มีการหล่อค้ำในเป็นรูปกรวยคว่ำกับกรวยหงาย โดยเชื่อมติดกันด้วยคอคอด ขนาดของคอคอดที่หล่อไว้มี 2 ขนาด คือ 14 ซม. กับ 18 ซม. ใช้ในการทดลองนี้ ความสูงของส่วนนี้ประมาณ 35 ซม. จะมีท่อสำหรับใช้เทอร์โมคัปเปิลเสียบวัดอุณหภูมิ

ส่วนบนสุดเป็นส่วนบรรจุไม้ (Wood Hopper) ลากปูนค้ำในหนา 2 ซม. ส่วนสูงประมาณ 50 ซม.

ข. อุปกรณ์ช่วยทำให้ก๊าซเย็นลงโดยใช้ น้ำ (Water Cooler) มีโครงสร้างเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระบบท่อ 2 ชั้น (Shell and tube heat exchanger) แลก เปลี่ยนความร้อนไหลสวนทางกัน

ค. อุปกรณ์ช่วยกรองก๊าซหรือหม้อกรองก๊าซ (Gas filter)

ง. อุปกรณ์มัลมระบบดูด (Suction pump)

จ. อุปกรณ์วัดปริมาณของก๊าซต่างๆ เป็น % ปริมาตรหรือ % โมล เรียกว่า Gas Chromatograph แบบใช้สภาพการนำความร้อนของก๊าซเป็นตัววิเคราะห์ผล (Thermal Conductivity Detector) โดยจะเก็บก๊าซไว้ในกระบอกฉีดพลาสติกขนาด 60 มิลลิลิตร ดูตัวอย่างในรูปที่ 6.3

ฉ. อุปกรณ์การเผาไหม้เชื้อเพลิงทิ้ง (Fair Combustor) เพื่อความปลอดภัย

ช. อุปกรณ์บอกผลการวัดอุณหภูมิ (Temp indicator) ต้องติดกับอุปกรณ์วัดเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เช่นจุด T_1, T_2, T_3 และ T_4 เป็นต้น

ซ. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของก๊าซขาออก (Air Flowmeter)

ณ. อุปกรณ์วาล์วไหลย้อนกลับ (by pass valve) เพื่อปรับความเร็วของก๊าซ (Producer gas outlet)

6.2 วัสดุทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มี

1. ไม้สี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาดประมาณ $(0.5)^3$ ลูกบาศก์นิ้ว
2. ไม้สี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาดประมาณ 1 ลูกบาศก์นิ้ว
3. ไม้สี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาดประมาณ $(1.5)^3$ ลูกบาศก์นิ้ว
4. ถ่านไม้
5. น้ำ

ไม้ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ได้หาปริมาณความชื้น (Moisture Content) สารระเหยในไม้ (Volatile matter) ถ่านคงตัว (Fixed Carbon) และ เถ้าถ่าน (Ash) ดังในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 แสดงองค์ประกอบต่างๆในไม้ที่ใช้ในการทดลอง (เทียบน้ำหนักไม้แห้ง)

ขนาดของไม้ (ลบ.น.)	ความชื้น (%โดย นน.)	สารระเหยในไม้ (%โดย นน.)	ถ่านคงตัว (%โดย นน.)	เถ้าถ่าน (%โดย นน.)
$(0.5)^3$	20.80	68.09	30.98	0.93
1^3	20.80	68.09	30.98	0.93
$(1.5)^3$	23.67	69.31	29.55	1.14



6.3 วิธีการทดลอง (Procedure)

เมื่อติดตั้งระบบ เรียบร้อยแล้วก็ เริ่มจาก

1. เติมน้ำลงในเตาผลิตก๊าซ ก่อนให้ถึงบริเวณคอคอ (throat)
2. เดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าให้บีบทำงานและปรับความเร็วลมประมาณ 15 - 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง นำเศษกระดาษหรือสำลีชุบน้ำมันจุดไปแล้วหย่อนใส่ลงในเตา รอว่า ถ่านติดไฟหรือยัง ถ้าว่านติดไฟดีแล้ว
3. ให้เติมไม้ที่จะใช้ทดลองในเตาจนเต็ม แล้วปิดฝาส่วนบนล็อกให้แน่น พร้อมกับปรับความเร็วลมมาที่ความเร็วค่าที่สูงสุดที่ บีบจะทำได้ประมาณ 5 ลบ.ม./ชม.
4. สังเกตอุณหภูมิที่เครื่องอ่านว่าคงที่หรือยัง โดยปกติประมาณ 10 นาที อุณหภูมิจะคงที่ โดยมากจะสังเกตว่าอุณหภูมิต่างกัน 5 ถึง 10° ซ. ก็ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 800° ซ. และ 10 ถึง 20° ซ. ก็ได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 800° ซ. เมื่อดูว่าพอจะคงที่ดีแล้ว
5. เริ่มบันทึกผลการทดลอง โดยจดอุณหภูมิตามจุดวัดต่างๆ จดค่าอัตราการไหลของก๊าซ เก็บก๊าซ เชื้อเพลิง ส่วนหนึ่ง เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas Chromatograph)
6. ปรับอัตราการไหลของก๊าซใหม่ อาจจะปรับเพิ่มครั้งละ 5 ลบ.ม./ชม. หรือครั้งละเท่าไรก็ได้ แล้วแต่ความเหมาะสมของชุดข้อมูลที่ต้องการ เช่น อาจจะปรับเป็น 9 ลบ.ม./ชม. แล้วทำตามการทดลองในข้อ 4 และข้อ 5 แล้วก็ปรับใหม่อีก ทำซ้ำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะปรับเพิ่มไม่ได้แล้ว (คือบีบให้อัตราการไหลของก๊าซสูงที่สุด) ถ้าไม่มีการเติมน้ำก็หยุดการทดลองของเตาได้
7. ถ้ามีการเติมน้ำก็ต้องตั้งอัตราการไหลของก๊าซให้คงที่ค่าใดค่าหนึ่ง แล้วเติมน้ำโดยปรับอัตราการเติมน้ำจากน้อยก่อน เช่น 37 มิลลิลิตร/นาที แล้วก็ทำตามข้อ 4 ข้อ 5 ใหม่ ยกเว้นข้อ 6 แล้วเพิ่มอัตราการเติมน้ำเป็น 50 มิลลิลิตร/นาที หรือเท่าไรก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสมของชุดข้อมูล ทำตามข้อ 4 ข้อ 5 ทุกครั้งที่มีการปรับอัตราการเติมน้ำใหม่ เมื่อได้ข้อมูลครบแล้วก็หยุดการทดลองของเตาปฏิกรณ์
8. หากจะต้องมีการเปลี่ยนปริมาณของถ่านที่จะใช้ก็ต้องถอดส่วนต่างๆ ของเตาออก แล้วติดตั้งใหม่ โดยการปรับระดับตะแกรงรองถ่านตามปริมาณถ่านที่จะต้องใส่ลงในเตา แล้วทดลองตั้งแต่ข้อ 1 จนถึงข้อ 6 ใหม่ ในการเปลี่ยนระดับของตะแกรงรองถ่านขนาดของไม้ต้องใช้ขนาดเดียวกันทุกระดับของตะแกรงรองถ่านที่ปรับ

9. หากมีการ เปลี่ยนขนาดไม้ของไม้ก็ต้องให้ระดับของแผ่นตะแกรงรองถ่านอยู่กับ
ที่แล้วก็ทำการทดลองจาก 1-6

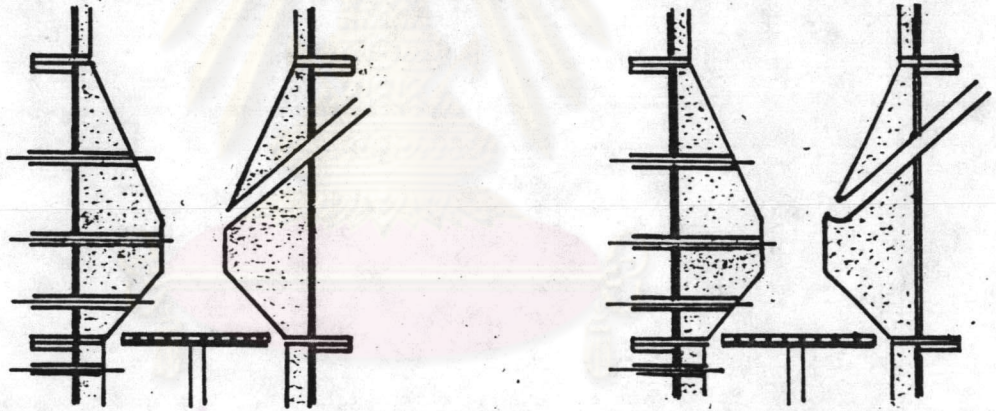
ในการทดลองครั้งนี้ทำการทดลองทั้งหมด 8 ชุดการทดลอง ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6.2

การทดลอง ชุดที่	ใช้ไม้ขนาด (ลูกบาศก์นิ้ว)	ระยะจากแผ่น ตะแกรงรองถ่านถึง จุดวัดอุณหภูมิตรง คอคอด (ซม.)	เส้นผ่าศูนย์กลาง กลางคอคอด (ซม.)	อัตราการไหล ของก๊าซสัง- เคราะห์ (ลบ.ม/ซม.)	อัตราการเติมน้ำ (มิลลิลิตร/นาท)
1	1	2	14	5 ถึง 43	-
2	1	5	14	5 ถึง 43	-
3	1	10	14	5 ถึง 43	-
4	1	10	14	43	0 ถึง 180
5	1	20	14	5 ถึง 43	-
6	(1.5) ³	5	18	5 ถึง 43	-
7	1	5	18	5 ถึง 43	-
8	(.5) ³	5	18	5 ถึง 43	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายเหตุ ในการเผาเพื่อตรวจสอบการทำงานของ เตาผลิตก๊าซ ว่าทำงานได้หรือไม่ การไหลของก๊าซต่างๆ ได้พบปรากฏการณ์บางอย่างคือ ในตอนแรกให้ลมใน เตาตรงทางเข้าวิ่งลงดังรูปที่ 6.3 เมื่อใช้ไอศรการไหลของลมสูงๆ คือ ตั้งแต่ 30 ลบ.ม./ชม. ขึ้นไป บริเวณที่เกิดการเผาไหม้ เกิดการเลื่อนลงไป อยู่ตรงบริเวณตะแกรงรองถ่าน สิ่งเกิดจากอุณหภูมิจุดวัดตรงคอคอดลดลงจน เห็นได้ชัด คือจากประมาณ 1100°C ลดลงเหลือประมาณ $600-700^{\circ}\text{C}$ เท่านั้น แต่เมื่อได้แก้ไขการวิ่งของอากาศเข้าเตาปฏิกรณ์เสียใหม่ เป็นดังรูปที่ 6.4 ไม่พบว่าการเลื่อนของ บริเวณที่เกิดการเผาไหม้ที่อัตราการไหลมากกว่า 30 ลบ.ม./ชม. โดย ใช้ระบบอากาศวิ่งทะแยงขึ้นก่อนที่จะวิ่งผ่านคอคอด



รูปที่ 6.3 แสดงลักษณะภายในเตาผลิต
ก๊าซก่อนแก้ไขปรับปรุง

รูปที่ 6.4 แสดงลักษณะภายในเตาผลิต
ก๊าซหลังแก้ไขปรับปรุง

6.4 ผลการทดลอง

จากการทดลองทั้ง 8 ชุด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 6.8 ถึง 6.15 ซึ่งนำไปทดลองเป็นกราฟ เพื่อให้ง่ายต่อการวิจารณ์ผลการทดลอง ดังในรูปกราฟที่

จากรูปที่ 6.5 เป็นผลการทดลองที่ใช้ไม้ขนาด 1 ลูกบาศก์นิ้ว ระยะระหว่างแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอกคอดประมาณ 2 เซนติเมตร ขนาดคอกคอด 14 เซนติเมตร ซึ่งก็คือการทดลองชุดที่ 1 นั้นเอง เราจะพบว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซ อุณหภูมิตรงคอกคอด จะสูงขึ้น แต่จะคงที่เมื่ออัตราการไหลของก๊าซมากกว่า 25 ลูกบาศก์ต่อชั่วโมง ส่วนอุณหภูมิที่อยู่เหนือคอกคอด และอุณหภูมิที่อยู่ใต้แผ่นตะแกรงรองถ่านก็จะมีแนวโน้ม เหมือนกับอุณหภูมิตรงคอกคอด ในการเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซ เชื้อเพลิงนี้จะทำให้เปอร์เซ็นต์ของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น แต่จะทำให้เปอร์เซ็นต์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ส่วนเปอร์เซ็นต์โมลของก๊าซมีเทนเปลี่ยนน้อยมาก

จากรูปที่ 6.6 เป็นผลการทดลองชุดที่ 2 ระยะระหว่างแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอกคอด 5 เซนติเมตร เพิ่มขึ้นจากชุดที่ 1 อีก 3 เซนติเมตร จะพบว่าแนวโน้มผลการทดลอง เหมือนกับชุดที่ 1

จากรูปที่ 6.7 เป็นผลการทดลองชุดที่ 3 ระยะระหว่างแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอกคอด 10 เซนติเมตร เพิ่มขึ้นจากชุดที่ 2 อีก 5 เซนติเมตร จะพบว่าแนวโน้มผลการทดลอง เหมือนชุดที่ 1

จากรูปที่ 6.8 เป็นผลการทดลองชุดที่ 5 ระยะระหว่างแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอกคอด 20 เซนติเมตร เพิ่มขึ้นจากชุดที่ 3 อีก 10 เซนติเมตร จะพบว่าแนวโน้มผลการทดลอง เหมือนกับชุดที่ 1

จากรูปที่ 6.9 เป็นการนำข้อมูลผลการทดลองในชุดที่ 1, 2, 3 และ 5 มาพิจารณาในกราฟเดียวกัน จากการเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนระยะระหว่างแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอกคอด จะเห็นว่าที่อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงค่าเดียวกัน เมื่อมีการเพิ่มระยะระหว่างแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอกคอด จะพบว่าเปอร์เซ็นต์โมลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น แต่จะพบว่าเปอร์เซ็นต์โมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง

ตารางที่ 6.3 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของ เตาผลิตก๊าซ และผลการวิเคราะห์ก๊าซ เชื้อเพลิงด้วย Gas Chromatograph ของการทดลอง

ชุดที่ 1

อัตราการไหลของก๊าซ- เชื้อเพลิง (ลบ.ม./ชม.)	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของ เตาผลิตก๊าซ (°ซ)			ปริมาณก๊าซต่างๆของก๊าซเชื้อเพลิง (%โมล)					
	1	2	3	CO	CH ₄	H ₂	CO ₂	N ₂	O ₂
4	238	650	370	6.24	3.41	4.47	14.01	68.80	3.07
7	263	741	420	7.51	2.87	5.22	13.32	68.2	2.88
11	310	775	482	8.90	2.34	5.89	12.50	67.36	3.10
16	394	980	550	11.38	2.00	6.65	10.69	66.54	2.74
20	383	1003	666	11.58	1.85	7.14	10.55	66.16	2.45
23	402	1074	730	12.73	1.64	7.23	10.50	65.96	1.94
26	365	1131	758	13.16	1.40	7.63	10.70	65.41	1.70
30	381	1024	763	14.27	1.33	7.91	10.25	64.51	1.73
35	395	1106	771	15.05	1.31	8.11	10.06	63.98	1.49
40	420	1142	793	16.23	1.27	8.91	8.93	63.29	1.37
43	407	1033	791	16.11	1.27	8.99	9.25	63.08	1.30

ตารางที่ 6.4 จุดหมุ่ที่ตำแหน่งต่างๆของเตาผลิตก๊าซ และผลการวิเคราะห์ก๊าซเชื้อเพลิงด้วย Gas Chromatograph ของการทดลอง

ชุดที่ 2

อัตราการใช้ของก๊าซ- เชื้อเพลิง (ลบ.ม./ชม.)	จุดหมุ่ตำแหน่งต่างๆของเตาผลิตก๊าซ (°ซ) ตำแหน่งที่			ปริมาณก๊าซต่างๆของก๊าซเชื้อเพลิง (%โมล.)					
	1	2	3	CO	CH ₄	H ₂	CO ₂	N ₂	O ₂
5	189	520	407	6.53	4.27	4.76	12.92	68.54	2.98
9	310	749	502	9.31	3.75	5.59	11.01	67.91	2.43
12	294	952	551	12.10	2.54	7.19	10.23	66.15	1.79
16	297	996	654	12.58	1.63	7.82	9.88	66.53	1.56
20	285	1020	746	13.87	1.38	8.13	9.83	65.36	1.43
23	309	1080	775	13.65	1.21	8.52	10.03	65.13	1.46
27	357	1092	816	15.46	1.08	8.57	9.61	63.90	1.38
31	415	1109	843	15.86	0.96	8.63	9.95	64.03	1.42
35	391	1127	857	16.32	0.92	9.10	9.40	62.79	1.42
40	365	1184	903	17.37	1.24	9.22	9.34	61.80	1.03
43	357	1213	872	17.84	0.88	9.24	9.28	61.49	1.27



ตารางที่ 6.5 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของเตาผลิตก๊าซ และผลการวิเคราะห์ก๊าซเชื้อเพลิงด้วย Gas Chromatograph ของการทดลอง ชุดที่ 3

อัตราการไหลของก๊าซ- เชื้อเพลิง (ลบ.บ./ชม.)	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของ ตำแหน่งที่			ปริมาณก๊าซต่างๆของก๊าซ เชื้อเพลิง (%โมล)					
	1	2	3	CO	CH ₄	H ₂	CO ₂	N ₂	O ₂
5	326	778	475	7.81	4.05	5.02	11.7	68.35	3.16
9	361	884	563	9.92	3.94	6.46	9.84	67.01	2.83
12	340	988	649	12.58	2.66	7.67	8.97	66.03	2.66
16	398	994	710	13.41	1.80	8.01	9.32	65.59	1.87
20	484	1064	751	15.66	1.47	8.23	9.97	63.23	1.44
24.5	563	1106	796	14.80	1.39	8.46	10.07	63.90	1.38
27.5	568	1127	826	16.69	1.47	8.78	9.30	62.64	1.12
31.5	688	1150	865	18.19	1.66	9.92	9.08	60.00	1.15
35	664	1186	884	18.51	0.95	9.23	9.44	60.78	1.09
40	668	1208	887	18.50	0.48	9.15	9.80	60.97	1.10
43	570	1234	934	18.30	0.96	8.67	10.12	60.75	1.20

ตารางที่ 6.6 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของเตาผลิตก๊าซ และผลการวิเคราะห์ก๊าซเชื้อเพลิงด้วย Gas Chromatograph ของ การทดลองชุดที่ 4

อัตราการเติมน้ำเข้า Gasifier (มล./นาที)	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของ เตาผลิตก๊าซ (๓) ตำแหน่งที่			ปริมาณก๊าซต่างๆของก๊าซ เชื้อเพลิง (%โมล)					
	1	2	3	CO	CH ₄	H ₂	CO ₂	N ₂	O ₂
0	570	1234	934	18.30	0.96	8.67	10.12	60.75	1.20
35	468	1198	930	15.70	1.96	11.57	11.11	58.26	1.40
50	463	1164	911	15.29	1.79	9.96	11.08	59.39	2.49
74	397	1090	897	13.90	1.66	11.65	12.15	58.62	2.02
100	342	1101	871	13.62	1.71	11.40	11.38	59.88	2.01
160	447	1098	851	13.42	1.80	11.62	11.27	59.48	2.41



ตารางที่ 6.7 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของเตาผลิตก๊าซ และผลการวิเคราะห์ก๊าซเชื้อเพลิงด้วย Gas Chromatograph ของการทดลอง

ชุดที่ 5

อัตราการไหลของก๊าซ เชื้อเพลิง (ลบ.ม./ชม.)	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของ เตาผลิตก๊าซ (°ซ)				ปริมาณก๊าซต่างๆของก๊าซ เชื้อเพลิง (%โมล)					
	1	2	3	4	CO	CH ₄	H ₂	CO ₂	N ₂	O ₂
5	310	720	280	53	12.68	1.29	4.78	6.96	70.04	4.25
9	356	856	396	53	14.19	1.65	5.56	7.91	66.77	3.92
13	470	923	498	74	16.20	1.92	6.05	7.38	65.10	3.35
17	522	987	683	128	16.95	1.99	6.52	7.91	63.81	2.82
20	490	1002	720	238	18.34	2.14	8.20	7.40	61.72	2.20
25	528	1044	778	370	19.31	2.01	8.90	7.62	60.75	1.41
30	520	1065	803	457	19.90	1.83	10.34	7.1	59.97	0.86
35	501	1109	882	540	21.50	1.40	11.22	7.29	57.76	0.83
40	503	1156	901	650	22.34	1.18	11.55	6.39	57.48	1.06
43	489	1210	936	721	21.75	1.08	12.68	6.75	56.8	0.93

ตารางที่ 6.8 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของเตาผลิตก๊าซ และผลการวิเคราะห์ก๊าซเชื้อเพลิงด้วย Gas Chromatograph ของการทดลอง

ชุดที่ 6

อัตราการไหลของก๊าซ- เชื้อเพลิง (ลบ.ม./ชม.)	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของเตาผลิตก๊าซ (°ซ)			ปริมาณก๊าซต่างๆของก๊าซ เชื้อเพลิง (%โมล)					
	1	2	3	CO	CH ₄	H ₂	CO ₂	N ₂	O ₂
3	224	630	158	9.27	4.78	5.80	12.39	66.67	1.09
7	443	740	208	11.79	3.88	7.42	12.79	63.80	1.03
12	579	821	223	14.47	4.35	9.37	10.92	59.77	1.12
18	601	892	274	16.27	3.27	10.77	9.71	58.92	1.06
23	627	998	301	16.89	2.98	11.69	9.37	58.03	1.04
28	637	1021	403	18.26	2.33	12.09	9.38	56.96	0.98
33	625	1159	448	20.24	1.94	11.98	8.08	56.74	1.02
38	683	1101	399	18.53	2.69	11.55	9.64	56.62	0.97
43	673	1128	445	18.00	1.71	12.02	9.99	57.59	0.69

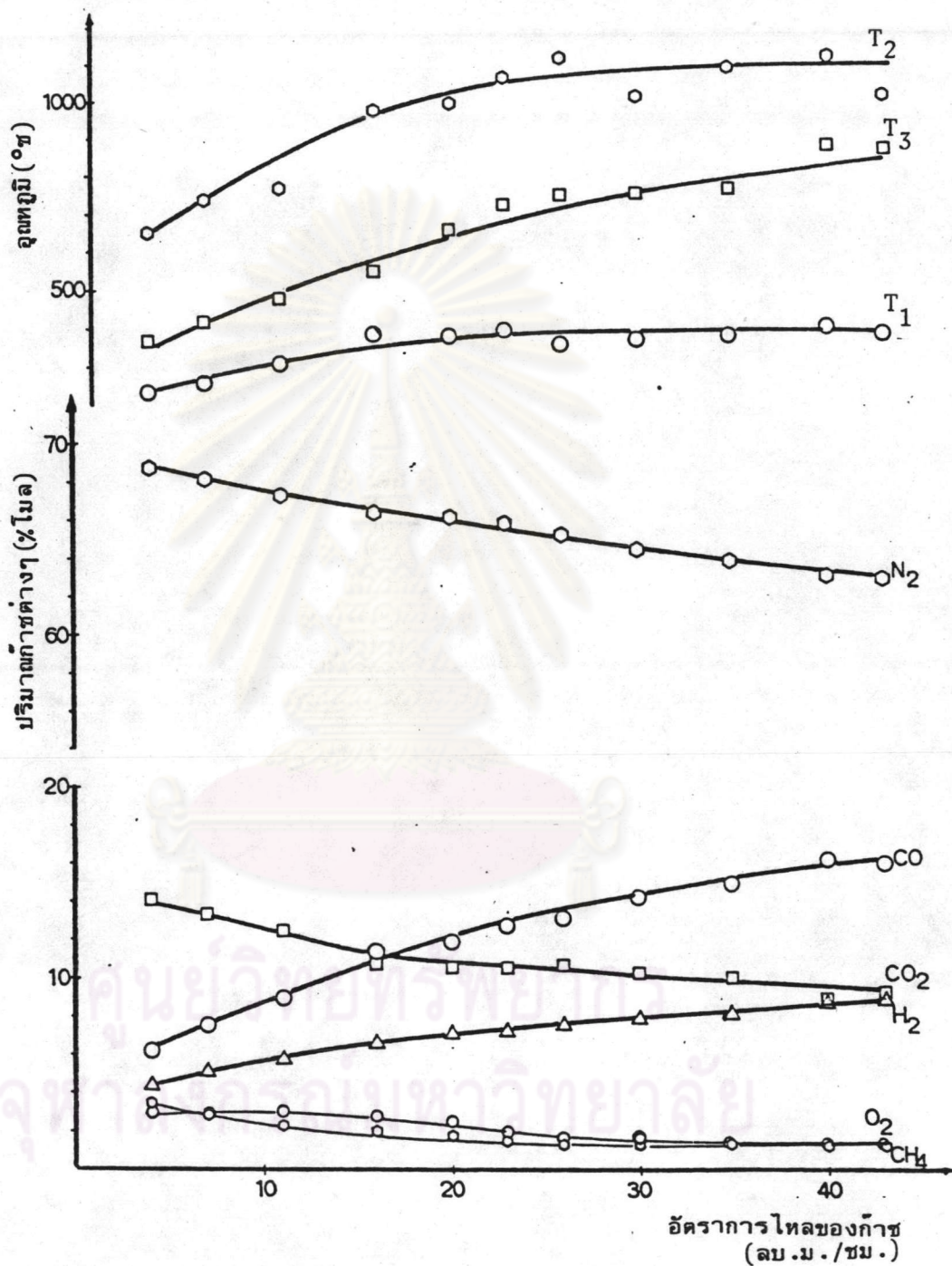
ตารางที่ 6.9 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของเตาผลิตก๊าซ และผลการวิเคราะห์ก๊าซเชื้อเพลิงด้วย Gas Chromatograph ของการทดลอง ชุดที่ 7

อัตราการไหลของก๊าซ- เชื้อเพลิง (ลบ.ม./ชม.)	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของเตาผลิตก๊าซ (°ซ) ตำแหน่งที่			ปริมาณก๊าซต่างๆของก๊าซเชื้อเพลิง (%โมล)					
	1	2	3	CO	CH ₄	H ₂	CO ₂	N ₂	O ₂
5	420	686	200	11.48	5.74	5.04	11.29	65.30	1.15
9	433	702	210	13.30	5.17	6.49	10.30	63.65	1.09
14	507	786	221	15.27	3.71	7.33	11.07	61.49	1.13
18	527	904	264	18.04	2.93	8.09	9.53	59.93	1.12
23	689	967	293	19.46	2.45	9.39	8.90	58.63	1.17
28	573	1011	350	20.02	1.68	11.59	8.59	57.02	1.12
33	693	1109	410	20.66	2.53	13.70	9.27	52.74	1.10
37	681	1178	447	20.72	1.78	12.66	8.62	55.12	1.10
43	672	1160	464	19.78	2.47	12.59	9.18	54.88	1.10

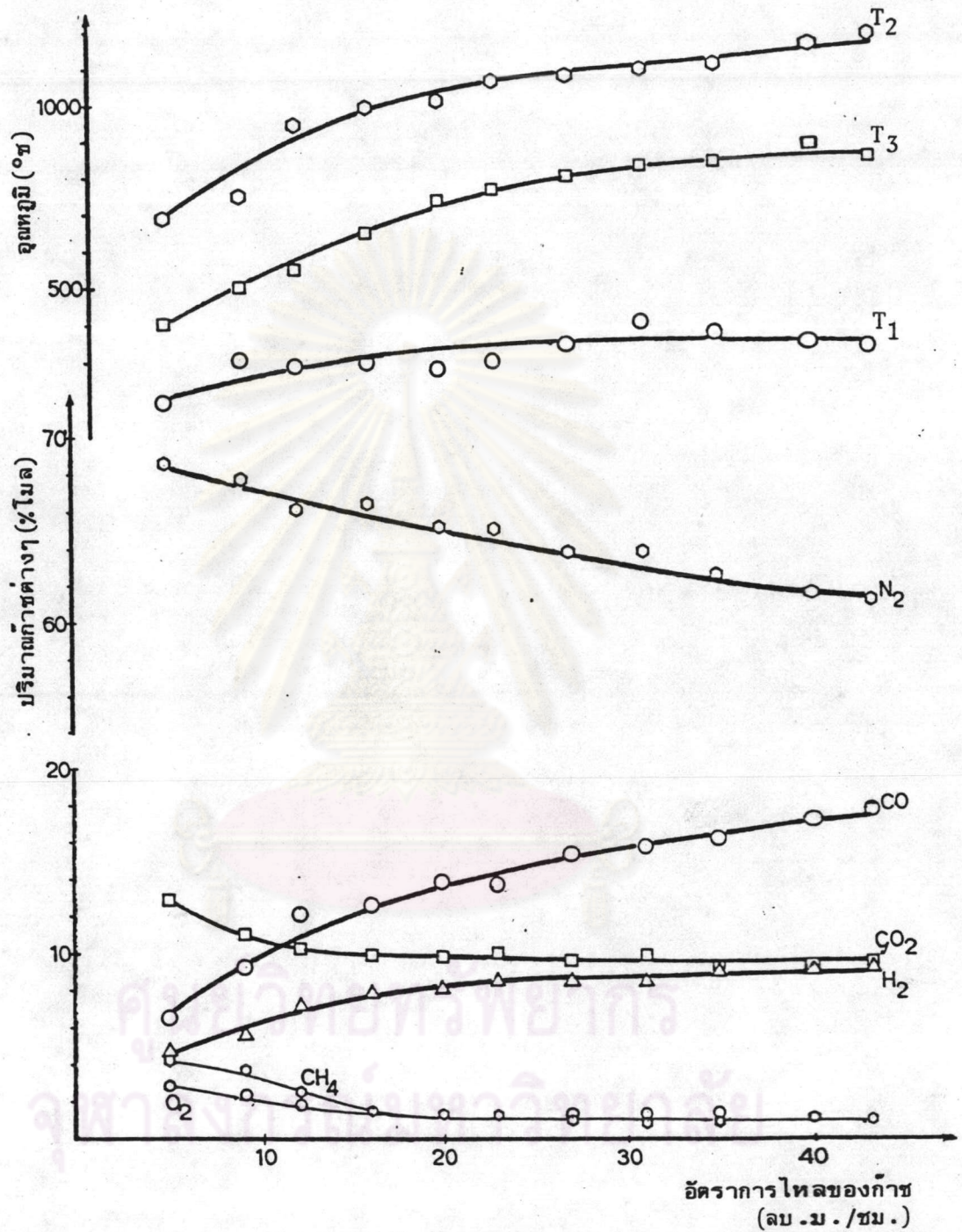
ตารางที่ 6.10 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของเตาผลิตก๊าซ และผลการวิเคราะห์ก๊าซเชื้อเพลิงด้วย Gas Chromatograph ของการทดลอง

ชุดที่ 8

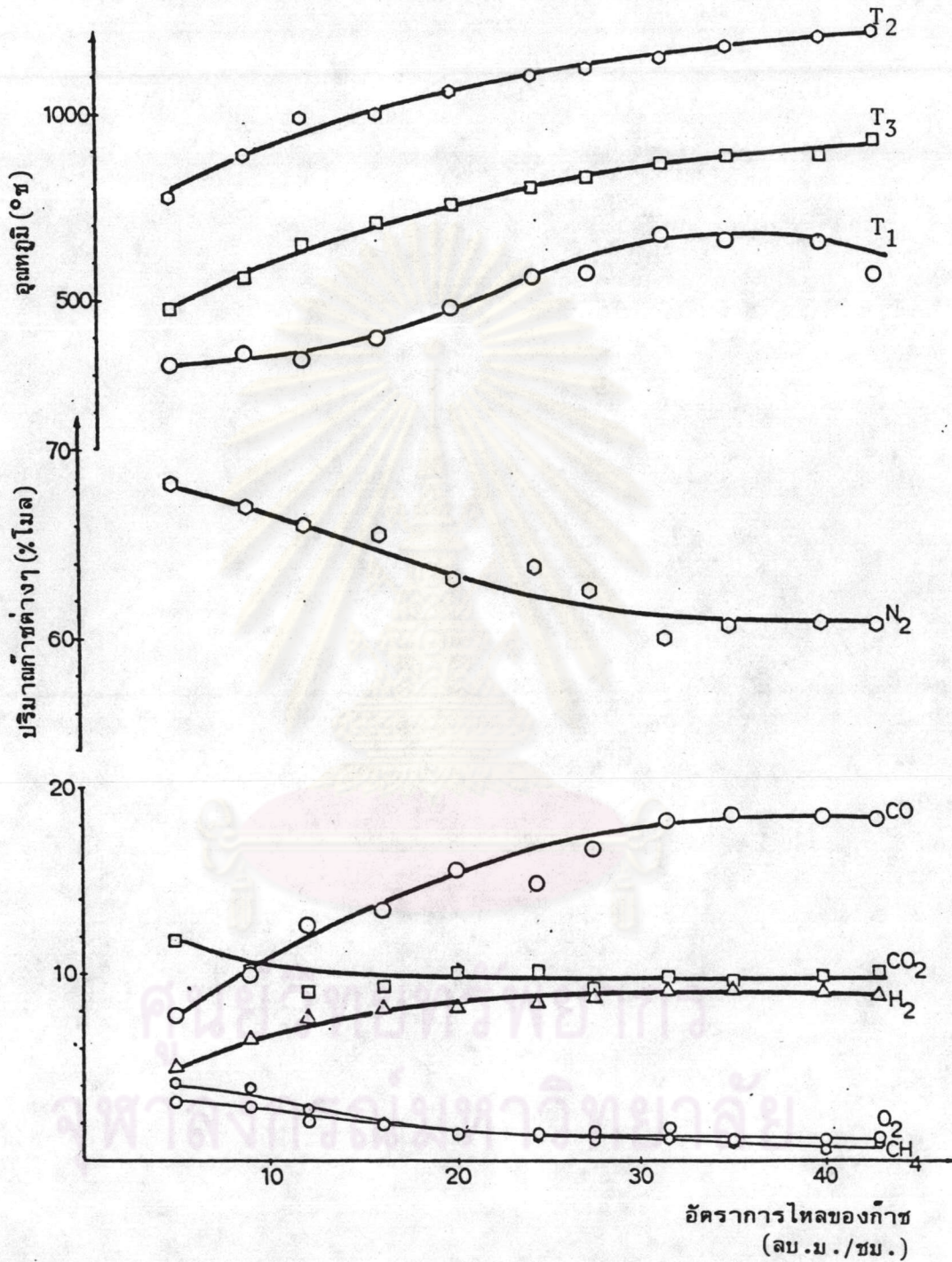
อัตราการไหลของก๊าซ- เชื้อเพลิง (ลบ.ม./ชม.)	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของเตาผลิตก๊าซ (°ซ) ตำแหน่งที่			ปริมาณก๊าซต่างๆของก๊าซ เชื้อเพลิง (%โมล)					
	1	2	3	CO	CH ₄	H ₂	CO ₂	N ₂	O ₂
7	318	603	176	8.12	3.77	4.21	14.22	68.21	1.47
14	362	758	239	14.75	4.76	5.86	11.03	62.51	1.09
20	451	825	274	17.72	5.61	7.72	8.70	59.63	0.62
25	503	892	294	18.74	5.49	8.93	8.28	58.04	0.52
30	466	966	341	19.91	4.63	9.49	7.27	58.33	0.37
35	492	1023	431	21.17	3.87	10.00	6.84	57.84	0.28
40	341	1083	446	19.97	4.45	11.17	7.23	56.95	0.23
43	401	1168	461	20.41	4.08	11.27	6.99	56.83	0.42



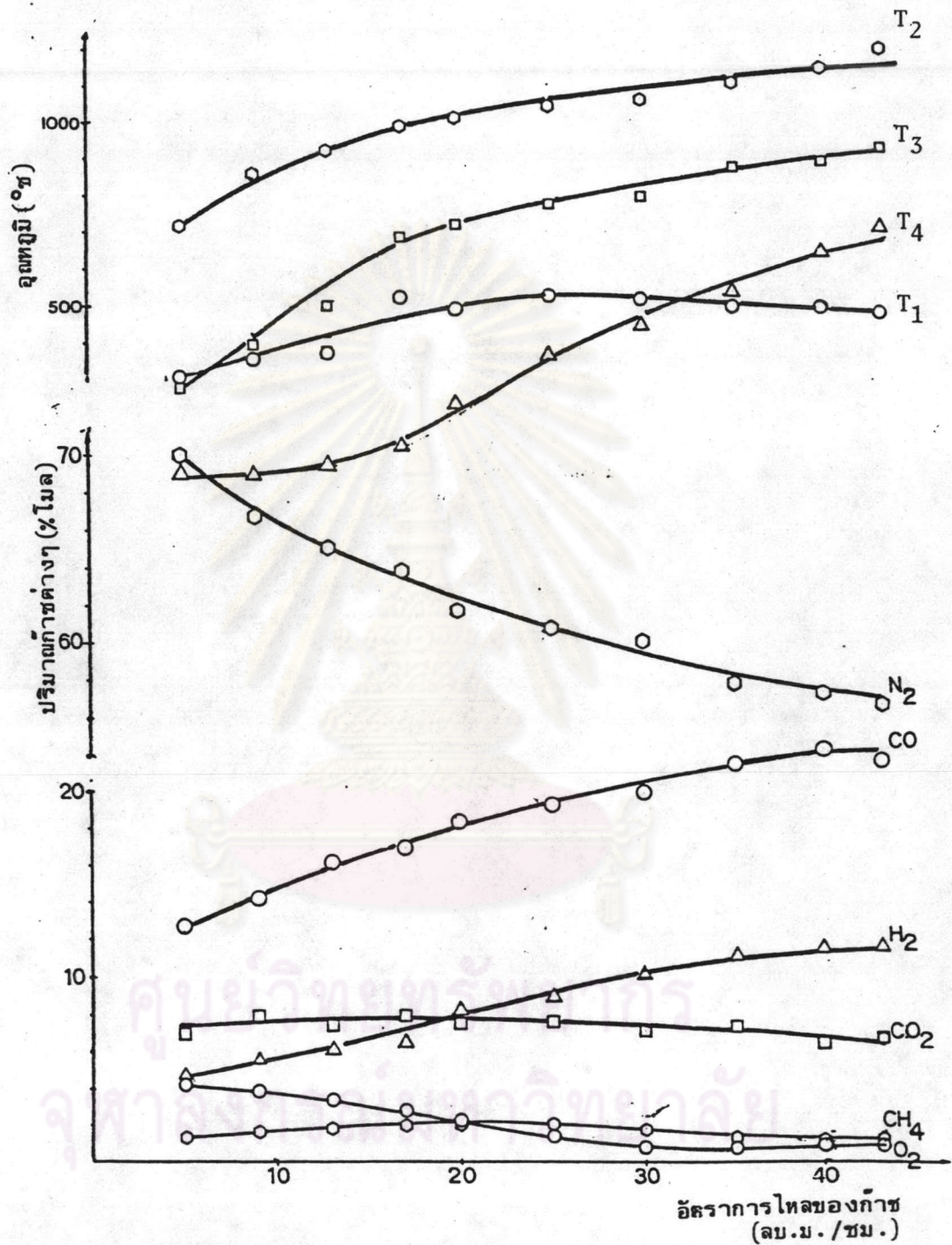
รูปที่ 6.5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆและอุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆของเตาปฏิกรณ์กับอัตราการใช้ความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 1 (ระยะจากแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอคอดเท่ากับ 2 ซม.)



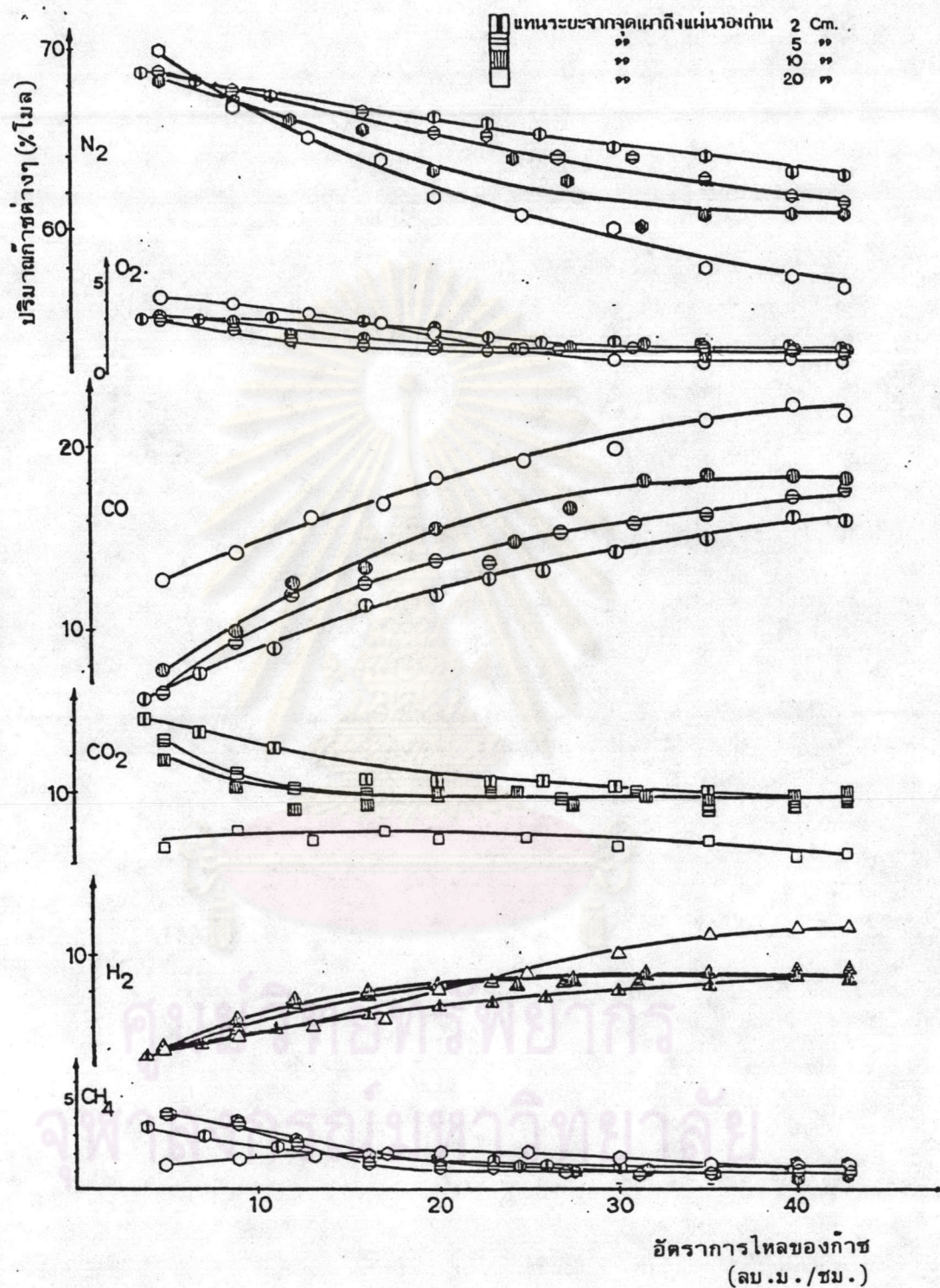
รูปที่ 6.6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆและอุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆของเตาปฏิกรณ์กับอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงของการทดลองชุดที่ 2 (ระยะจากแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอคอดเท่ากับ 5 ซม.)



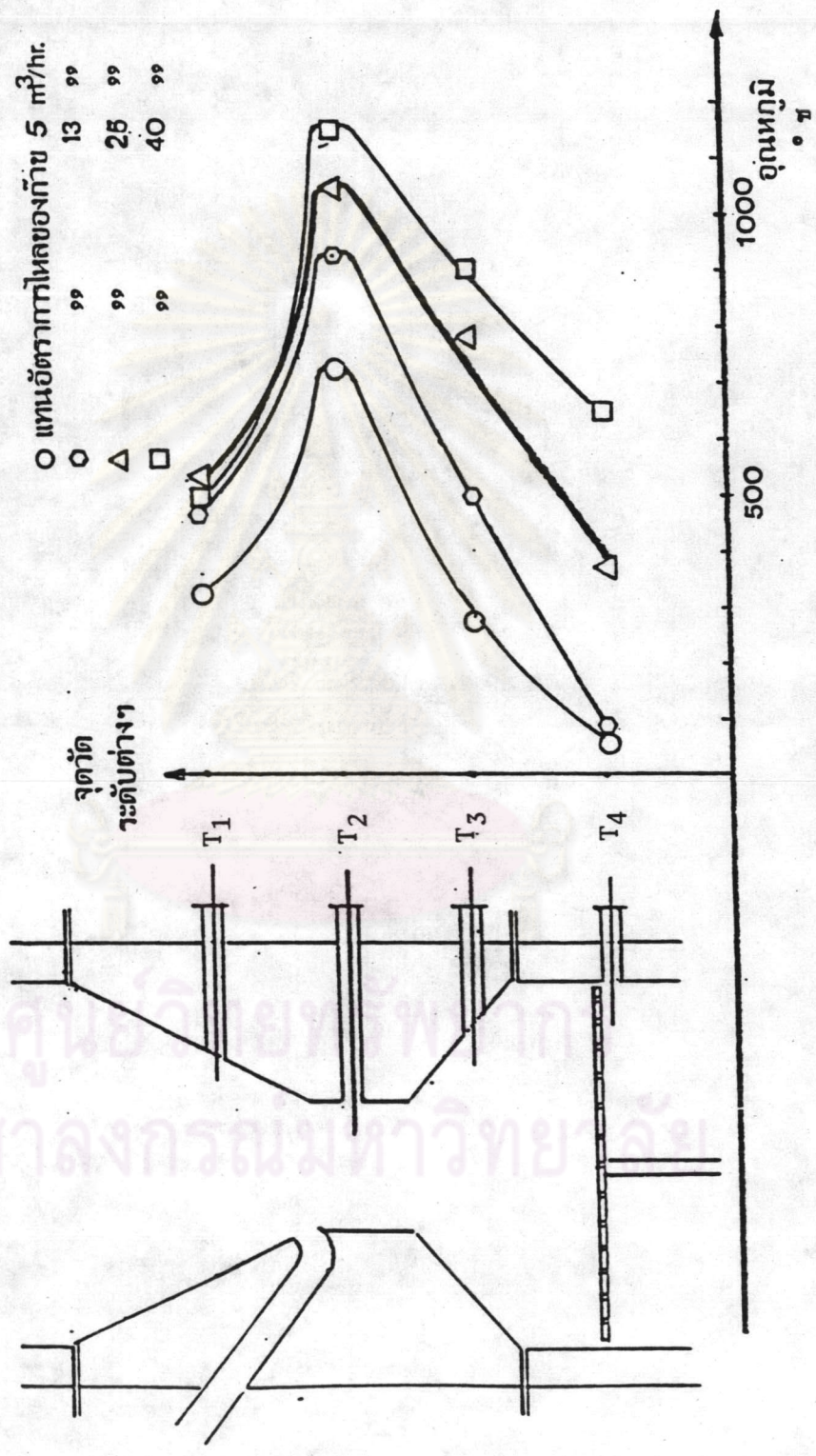
รูปที่ 6.7 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆและอุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆของเตาปฏิกรณ์กับอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 3 (ระยะจากแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอคอดเท่ากับ 10 ซม.)



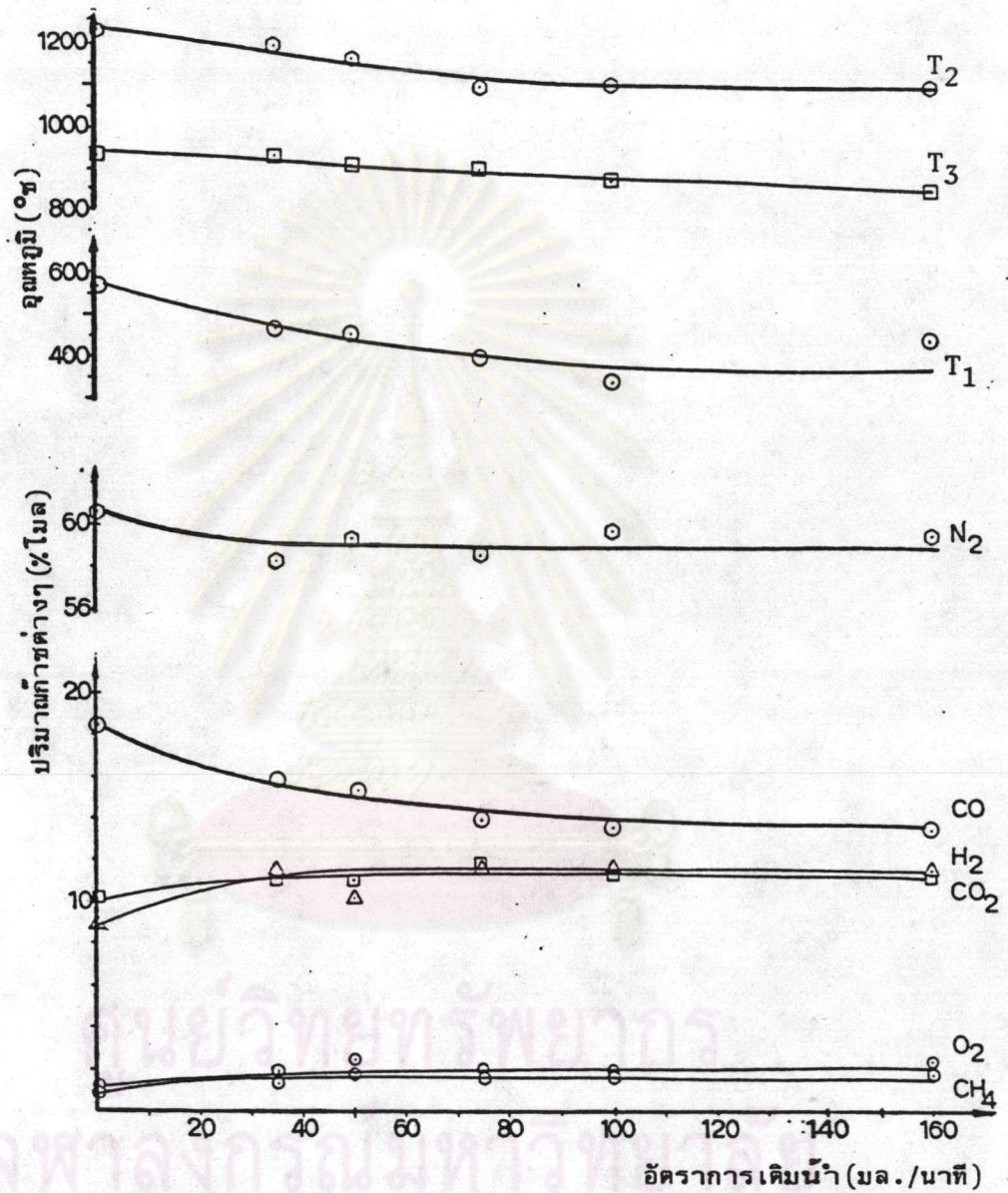
รูปที่ 6.8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆและอุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆของเตาปฏิกรณ์กับอัตราไหลของก๊าซเชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 5 (ระยะจากแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอคอดเท่ากับ 20 ซม.)



รูปที่ 6.9 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆกับอัตราการไหลของก๊าซ เชื้อเพลิง
 เชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 1, 2, 3 และ 5 เพื่อเปรียบเทียบระยะจากแผ่นตะแกรงร
 แผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอคอดต่างๆ

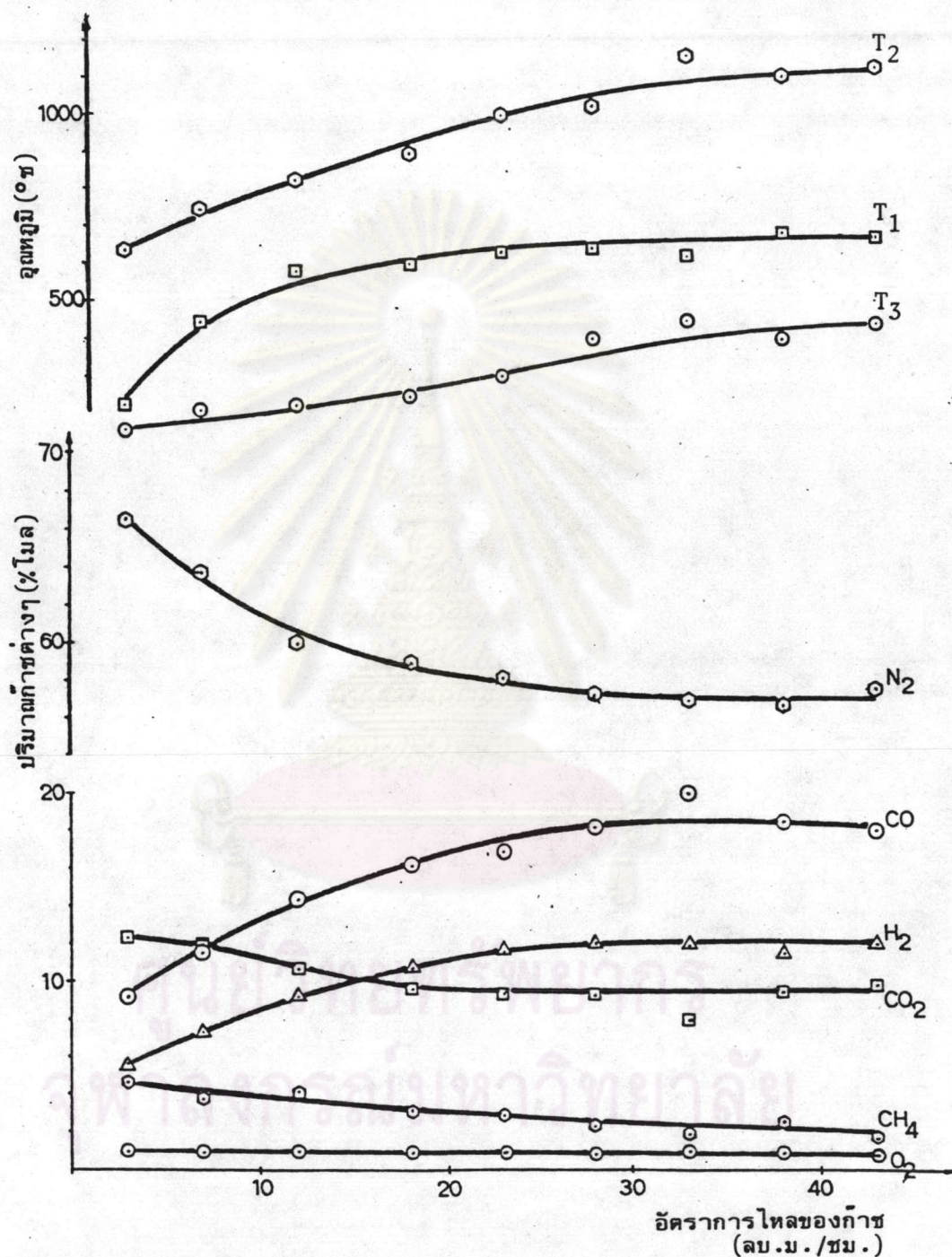


รูปที่ 6.10 แสดงลักษณะของอุณหภูมิ (temperature profile) ภายในเตาปฏิกรณ์ของการทดลองชุดที่ 5

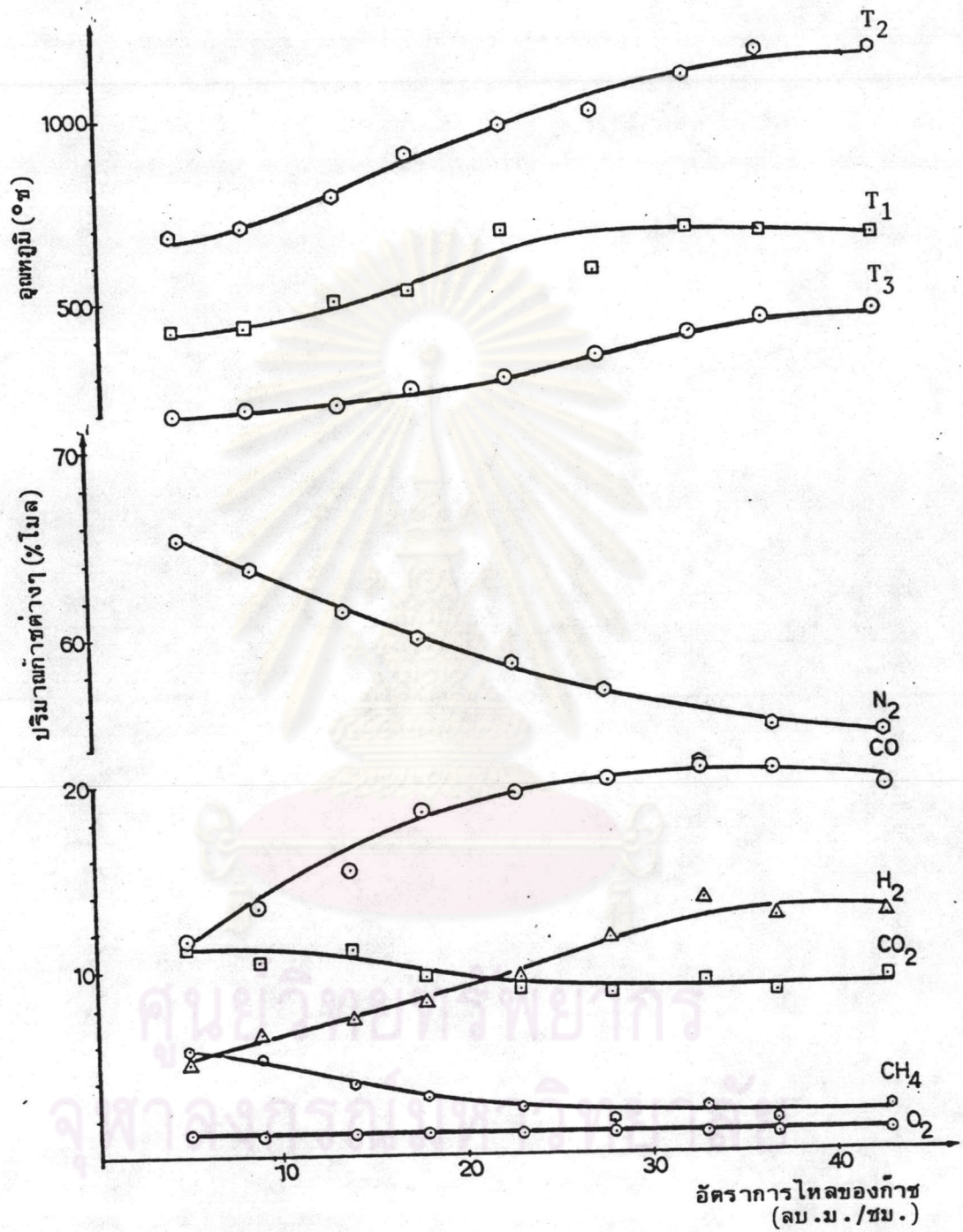


รูปที่ 6.11 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆ และอุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆ ของเตาปฏิกรณ์กับอัตราการเติมน้ำ ของการทดลองชุดที่ 4

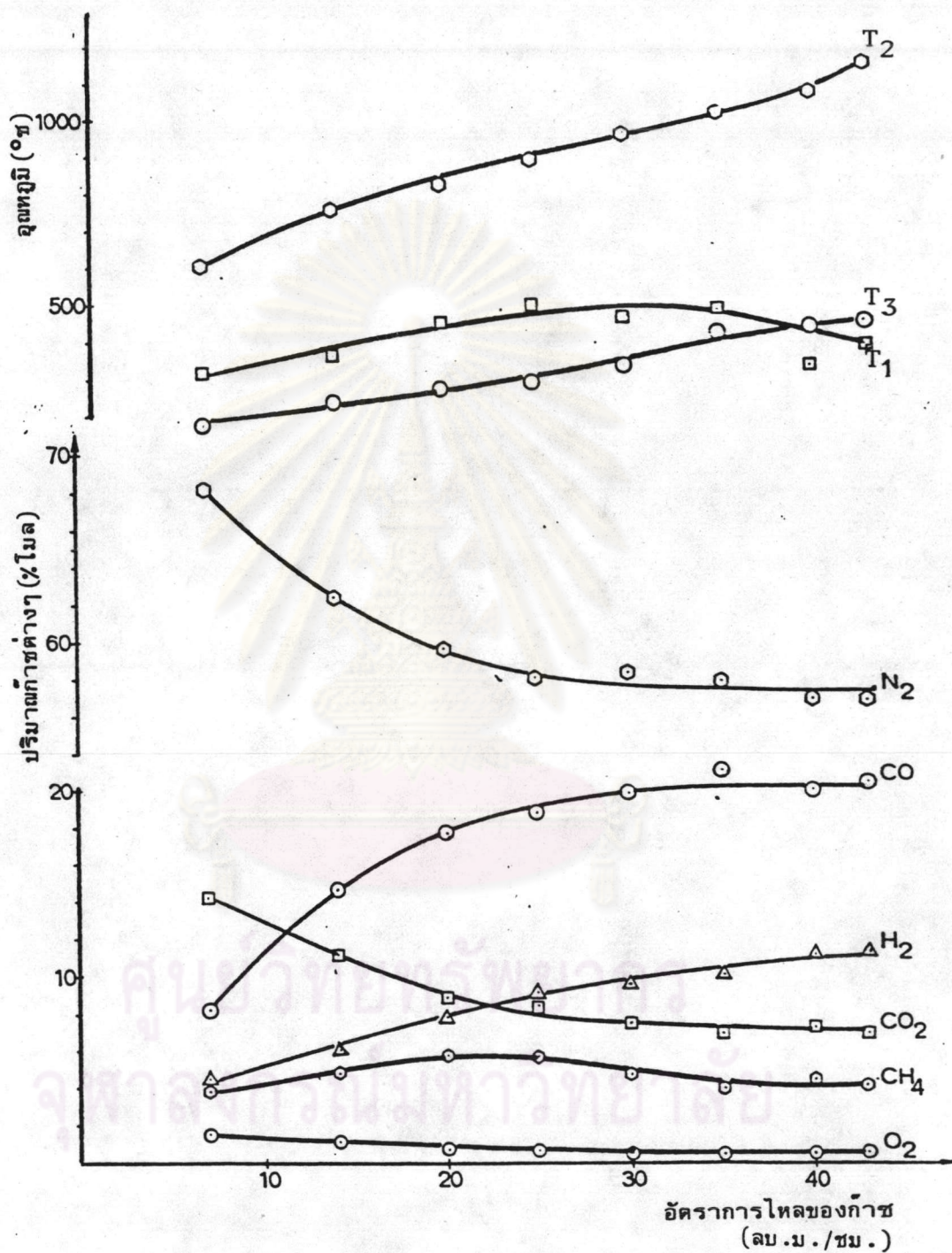




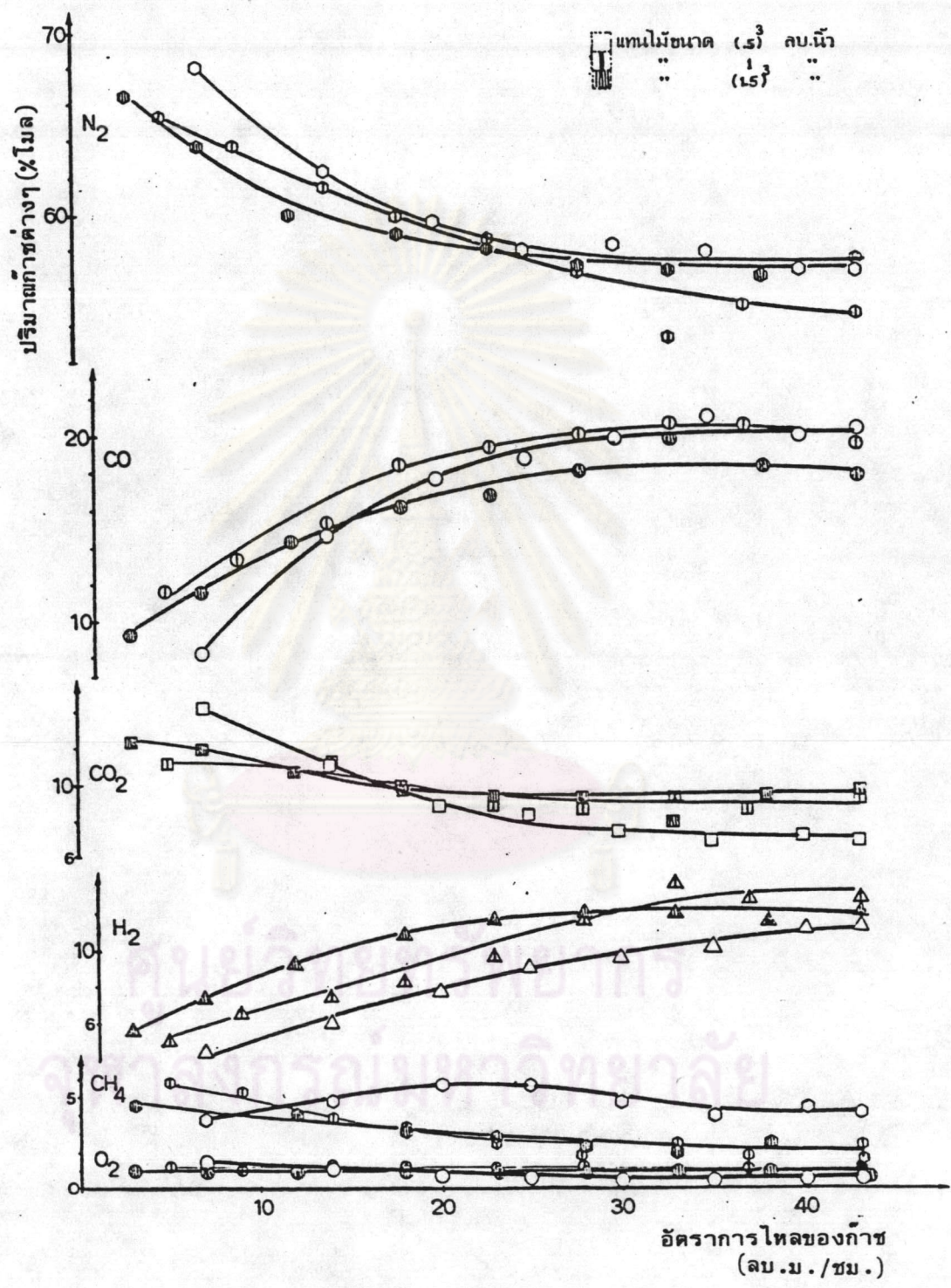
รูปที่ 6.12 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆและอุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆของเตาปฏิกรณ์กับอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 6 (ใช้ไม้ขนาด (1.5)³ลูกบาศก์นิ้ว)



รูปที่ 6.13 เป็นกราฟแสดงสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆและอุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆของเตาปฏิกรณ์กับอัตราการไหลของก๊าซเชื้อ ของการทดลองชุดที่ 7 (ใช้ไม้ขนาด (1)³ ลูกบาศก์นิ้ว)



รูปที่ 6.14 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆ และอุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆ ของเตาปฏิกรณ์กับอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 8 (ใช้ไม้ขนาด (0.5)³ ลูกบาศก์นิ้ว)



รูปที่ 6.15 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซต่างๆ กับอัตราการไหลของก๊าซ
เชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 6, 7 และ 8 (เพื่อเปรียบเทียบผลการใช้
ไม้ขนาดต่างๆ)

จากรูปที่ 6.10 เป็นการแสดงลักษณะของอุณหภูมิที่จุดต่างๆของเตา (Temperature Profile) ของการทดลองชุดที่ 5 จะพบว่าอุณหภูมิตรงจุดคอคคอกสูงที่สุด

จากรูปที่ 6.11 เป็นการแสดงให้เห็นการเติมน้ำของการทดลองชุดที่ 4 เมื่อมีการเพิ่มอัตราการเติมน้ำจะทำให้เปอร์เซ็นต์โมลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง แต่เปอร์เซ็นต์ของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ 6.12 เป็นผลการทดลองชุดที่ 6 ซึ่งใช้ไม้สีเหลืองมวลภาคขนาด 1.5 นิ้ว เมื่อมีการเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงจะพบว่าแนวโน้มผลการทดลองเหมือนกับการทดลองชุดที่ 1

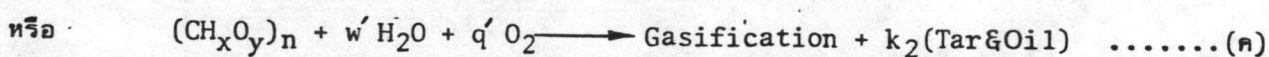
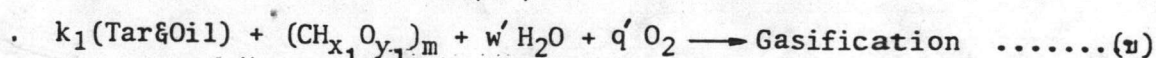
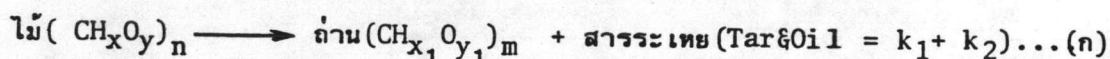
จากรูปที่ 6.13 เป็นผลการทดลองชุดที่ 7 ซึ่งใช้ไม้สีเหลืองมวลภาคขนาด 1 นิ้ว เมื่อมีการเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงจะพบว่าแนวโน้มผลการทดลองเหมือนกับการทดลองชุดที่ 1

จากรูปที่ 6.14 เป็นผลการทดลองชุดที่ 8 ซึ่งใช้ไม้สีเหลืองมวลภาคขนาด 0.5 นิ้ว เมื่อมีการเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงจะพบว่าแนวโน้มผลการทดลองเหมือนกับการทดลองชุดที่ 1

จากรูปที่ 6.15 เป็นการเปรียบเทียบผลของการใช้ไม้ขนาดต่างๆจากการทดลองชุดที่ 6, 7 และ 8 จะพบว่าที่อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงค่าเดียวกันนั้น การเพิ่มขนาดของไม้มีผลต่อเปอร์เซ็นต์โมลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซไฮโดรเจนเพียงเล็กน้อย

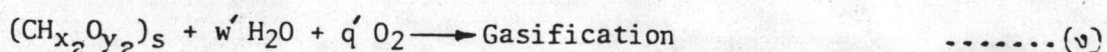
6.5. การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิธีสมดุลมวลสาร เพื่อหาปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในการเผาเพื่อเกิดก๊าซซิติเคชั่น

การเกิดก๊าซซิติเคชั่นนั้นไม้จะมีการเปลี่ยนเป็นถ่านกับสารระเหยก่อน จากนั้นสารระเหย สารระเหยส่วนหนึ่งกับถ่านจะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนและไอน้ำเกิดก๊าซซิติเคชั่นขึ้นดังขั้นตอนต่อไปนี้

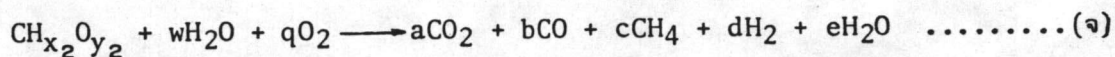


จาก สมการ (ข) $k_1(\text{Tar\&Oil}) + (\text{CH}_{x_1}\text{O}_{y_1})_m$ อาจเขียนใหม่เป็น $(\text{CH}_{x_2}\text{O}_{y_2})_s$

ฉะนั้น สมการ (ค) เขียนใหม่ได้เป็น



ในการเทียบพื้นฐาน คาร์บอน 1 โมล สมการ (ง) เขียนใหม่ได้เป็น



โดยที่ $x_2 \neq x_1 \neq x$, $y_2 \neq y_1 \neq y$, $w' \neq w$, $q' \neq q$

ปริมาณก๊าซออกซิเจน (q) ที่ใช้ในการเกิดก๊าซซีทีเคชั่นนั้น เนื่องจากใช้อากาศในการเผา ดังนั้นปริมาณก๊าซออกซิเจนจึงขึ้นตรงต่อปริมาณก๊าซในโครเจนด้วย โดยที่ปริมาณในโครเจน 79 โมล เทียบได้กับปริมาณก๊าซออกซิเจน 21 โมล (12)

จากสมดุลยมวลสารของธาตุคาร์บอน (1 โมล)

$$a + b + c = 1 \quad (6.1)$$

และเนื่องจากเราวัดปริมาณของก๊าซต่างๆ เป็น % ปริมาตรหรือ % โมล จะได้ว่า จาก 6.1 จะเปลี่ยนเป็น

$$n(\% \text{CO}_2) + n(\% \text{CO}) + n(\% \text{CH}_4) = 1 \quad (6.2)$$

$$n = 1 / (\% \text{CO}_2 + \% \text{CH}_4 + \% \text{CO}) \quad (6.3)$$

หรืออาจจะสรุปว่า มี

$$\text{CO}_2 = n(\% \text{CO}_2) \quad \text{โมล} = a \quad (6.4)$$

$$\text{CO} = n(\% \text{CO}) \quad \text{โมล} = b \quad (6.5)$$

$$\text{CH}_4 = n(\% \text{CH}_4) \quad \text{โมล} = c \quad (6.6)$$

$$\text{H}_2 = n(\% \text{H}_2) \quad \text{โมล} = d \quad (6.7)$$

$$\text{N}_2 = n(\% \text{N}_2) \quad \text{โมล} \quad (6.8)$$

$$\text{O}_2 \text{ ที่เหลือ} = n(\% \text{O}_2) \quad \text{โมล} \quad (6.9)$$

ถ้ามีปริมาณก๊าซในโครเจน 79 โมลแสดงว่าเดิมจะมี ก๊าซออกซิเจนอยู่ด้วย 21 โมล

$$n(\% \text{N}_2) \quad \quad \quad \frac{21n(\% \text{N}_2)}{79} \quad \text{โมล}$$

เนื่องจากมีก๊าซออกซิเจนเหลือจากการทำปฏิกิริยา $n(\% \text{O}_2)$ โมล

$$\text{จำนวนโมลของก๊าซออกซิเจนที่ใช้ (q)} = \frac{21n(\% \text{N}_2)}{79} - n(\% \text{O}_2) \quad \text{โมล}$$

$$= \frac{[\frac{21}{79}(\% \text{N}_2) - (\% \text{O}_2)]}{(\% \text{CO}_2 + \% \text{CO} + \% \text{CH}_4)} \quad (6.10)$$



ตารางที่ 6.11 ผลการคำนวณหาปริมาณ O_2 ที่ใช้ในการเผาเพื่อเกิด Gasification
ของการทดลองที่ 1

อัตราการไหลของ ก๊าซเชื้อเพลิง (ลบ.บ./ชม.)	ปริมาณ O_2 ที่ใช้เผา เทียบกับ C หนึ่งโมล (โมล)
4	0.643
7	0.643
11	0.625
16	0.621
20	0.624
23	0.627
26	0.621
30	0.596
35	0.587
40	0.585
43	0.581

ตารางที่ 6.12 ผลการคำนวณหาปริมาณ O_2 ที่ใช้ในการเผาเพื่อเกิด Gasification
ของการทดลองที่ 2

อัตราการใช้ของ ก๊าซ (ลบ.ม./ชม.)	ปริมาณ O_2 ที่ใช้เผา เทียบกับ C หนึ่งโมล (โมล)
5	0.642
9	0.649
12	0.635
16	0.669
20	0.636
23	0.637
27	0.597
31	0.583
35	0.573
40	0.551
43	0.538

ตารางที่ 6.13 ผลการคำนวณหาปริมาณ O_2 ที่ใช้ในการเผาเพื่อเกิด Gasification
ของการทดลองที่ 3

อัตราการไหลของ ก๊าซเชื้อเพลิง (ลบ.ม./ชม.)	ปริมาณ O_2 ที่ใช้เผา เทียบกับ C หนึ่งโมล (โมล)
5	0.637
9	0.632
12	0.638
16	0.634
20	0.567
24.5	0.594
27.5	0.566
31.5	0.512
35	0.521
40	0.525
43	0.509

ตารางที่ 6.14 ผลการคำนวณหาปริมาณ O_2 ที่ใช้ในการเผาเพื่อเกิด Gasification
ของการทดลองที่ 4

อัตราการเติมน้ำ (มล./นาท)	ปริมาณ O_2 ที่ใช้เผา เทียบกับ C หนึ่งโมล (โมล.)
0	0.509
35	0.490
50	0.472
74	0.489
100	0.521
160	0.506

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.15 ผลการคำนวณหาปริมาณ O_2 ที่ใช้ในการเผาเพื่อเกิด Gasification
ของการทดลองที่ 5

อัตราการใช้ของ ก๊าซเชื้อเพลิง (ลบ.ข./ชม.)	ปริมาณ O_2 ที่ใช้เผา เทียบกับ C หนึ่งโมล (โมล)
5	0.686
9	0.582
13	0.547
17	0.527
20	0.509
25	0.509
30	0.523
35	0.481
40	0.475
43	0.479

ศูนย์วิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.16 ผลการคำนวณหาปริมาณ O_2 ที่ใช้ในการเผาเพื่อเกิด Gasification
ของการทดลองที่ 6

อัตราการไหลของ ก๊าซเชื้อเพลิง (ลบ.ม./ชม.)	ปริมาณ O_2 ที่ใช้เผา เทียบกับ C หนึ่งโมล (โมล)
3	0.629
7	0.574
12	0.497
18	0.499
23	0.492
28	0.472
33	0.465
38	0.456
43	0.492

ตารางที่ 6.17 ผลการคำนวณหาปริมาณ O_2 ที่ใช้ในการเผาเพื่อเกิด Gasification
ของการทดลองที่ 7

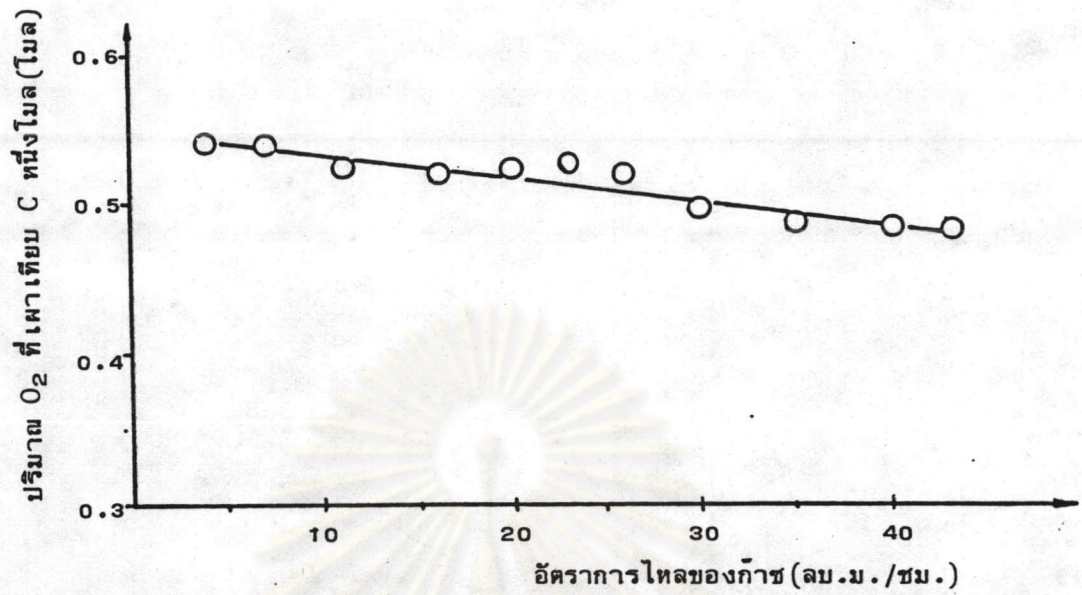
อัตราการไหลของ ก๊าซ เชื้อเพลิง (ลบ.ม./ชม.)	ปริมาณ O_2 ที่ใช้เผา เทียบกับ C หนึ่งโมล (โมล)
5	0.569
9	0.550
14	0.506
18	0.476
23	0.468
28	0.463
33	0.426
37	0.435
43	0.429

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

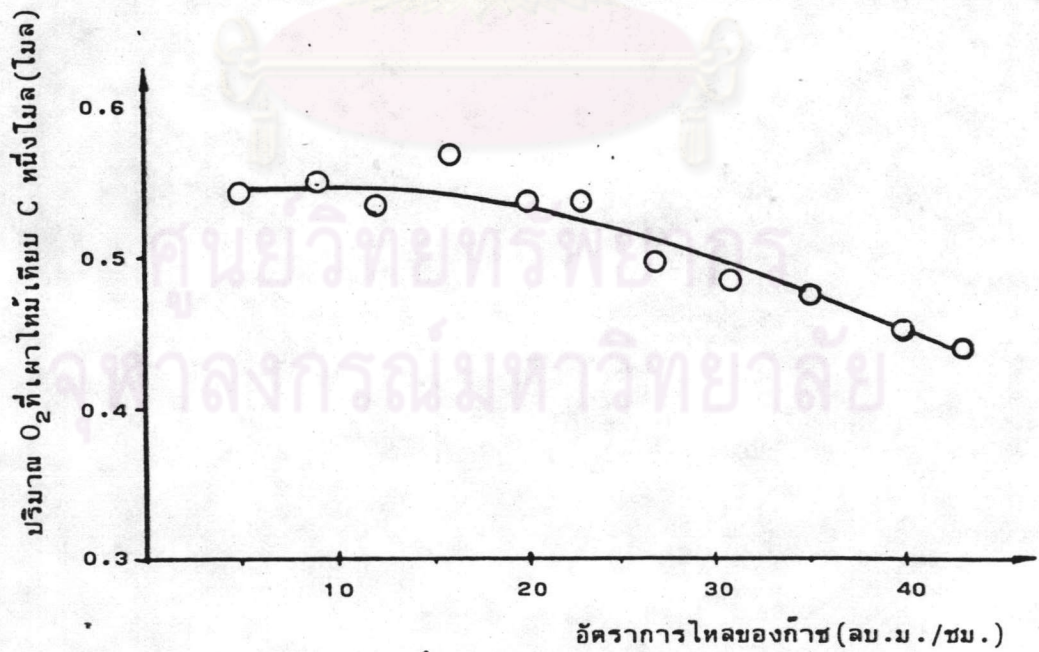
ตารางที่ 6.18 ผลการคำนวณหาปริมาณ O_2 ที่ใช้ในการเผาเพื่อเกิด Gasification
ของการทดลองที่ 8

อัตราการไหลของ ก๊าซเชื้อเพลิง (ลบ.ม./ชม.)	ปริมาณ O_2 ที่ใช้เผา เทียบกับ C หนึ่งโมล (โมล)
7	0.636
14	0.508
20	0.476
25	0.459
30	0.476
35	0.474
40	0.471
43	0.467

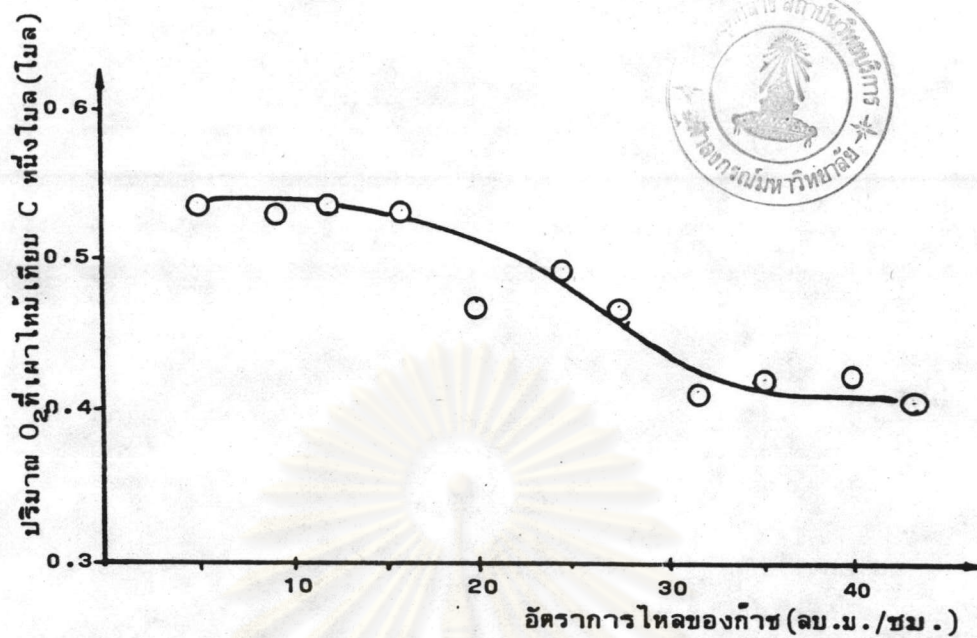




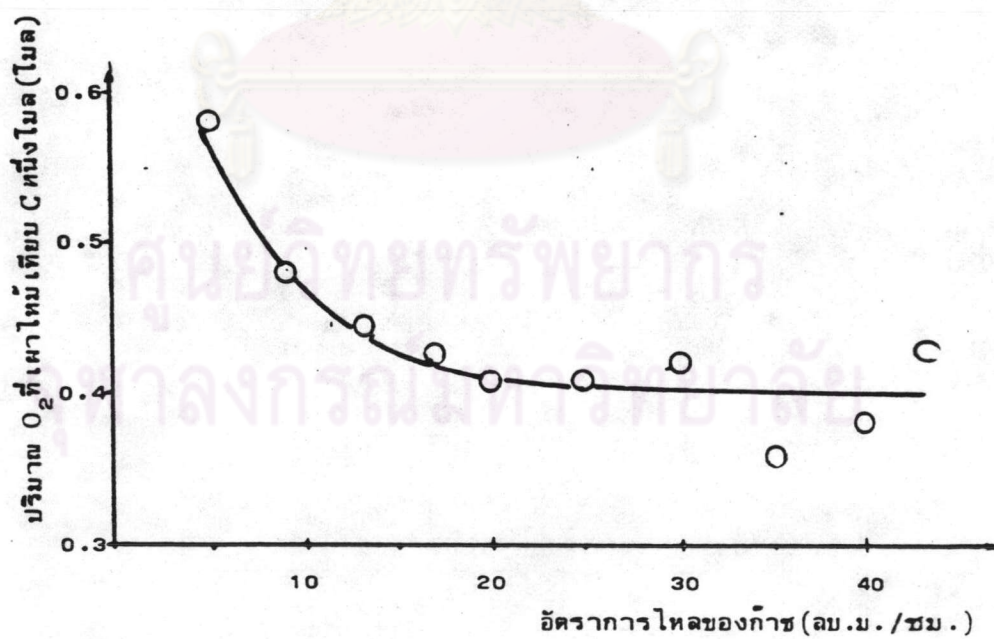
รูปที่ 6.16 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิด ก๊าซซิติเคชั่นเทียบคาร์บอนหนึ่งโมล กับ อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 1



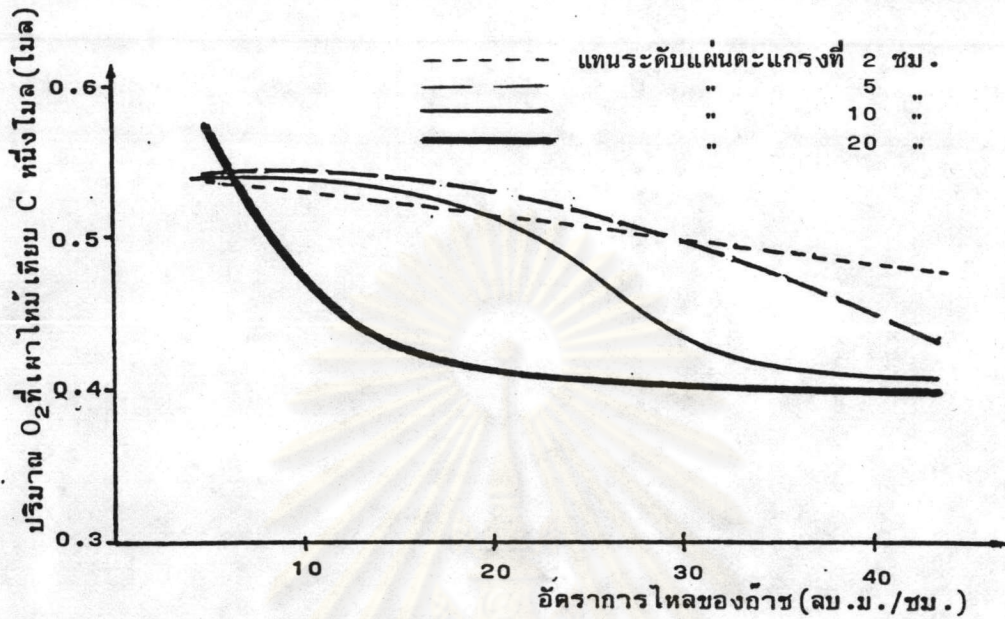
รูปที่ 6.17 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิด ก๊าซซิติเคชั่นเทียบคาร์บอนหนึ่งโมล กับ อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 2



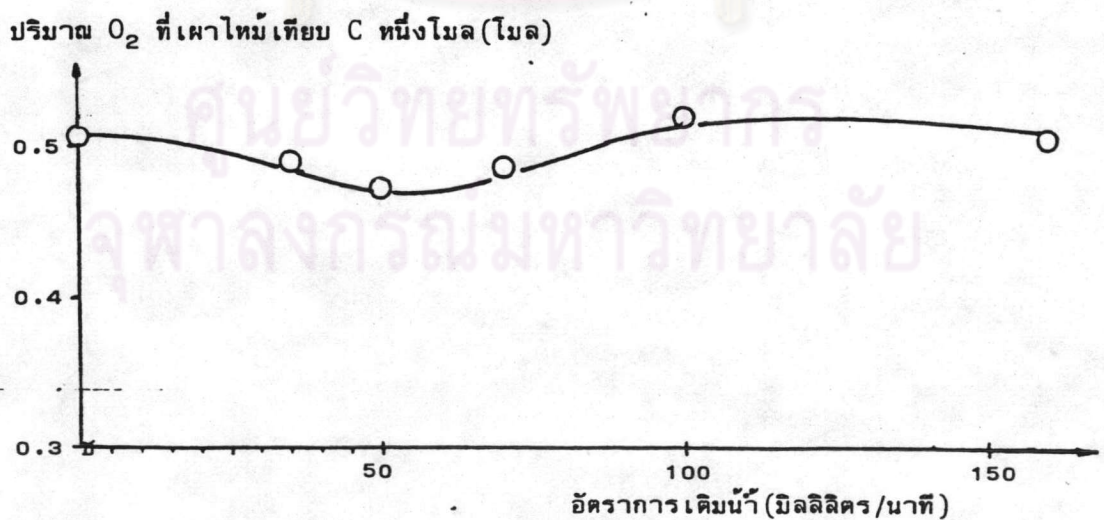
รูปที่ 6.18 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อ เกิด ก๊าซซิติเคชั่นเทียบคาร์บอนหนึ่งโมล กับ อัตรากาโรลของก๊าซเชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 3



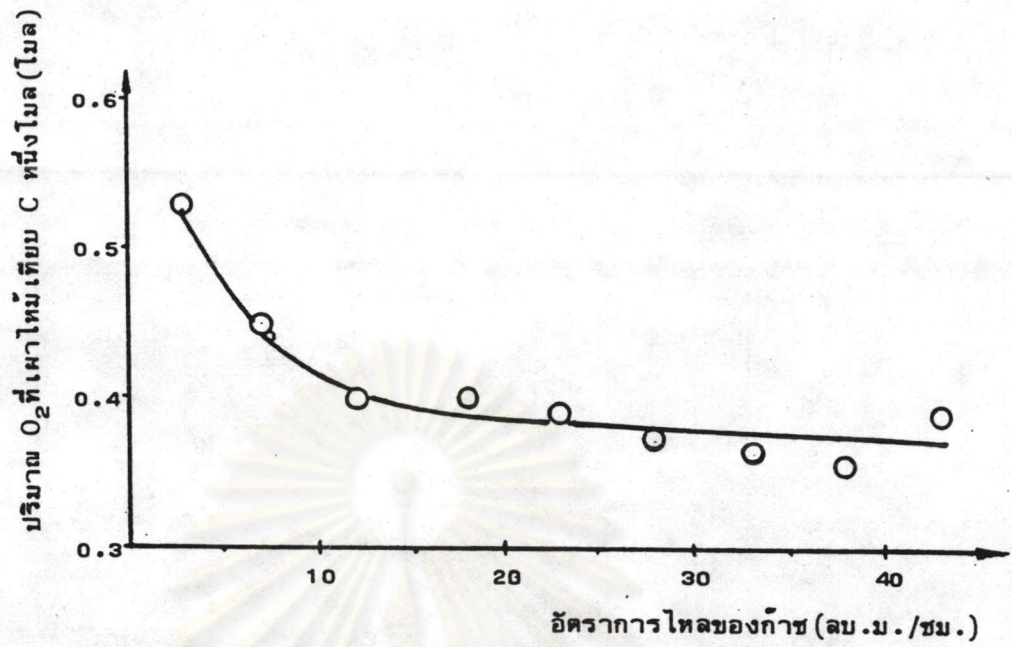
รูปที่ 6.19 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อ เกิด ก๊าซซิติเคชั่นเทียบคาร์บอนหนึ่งโมล กับ อัตรากาโรลของก๊าซเชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 5



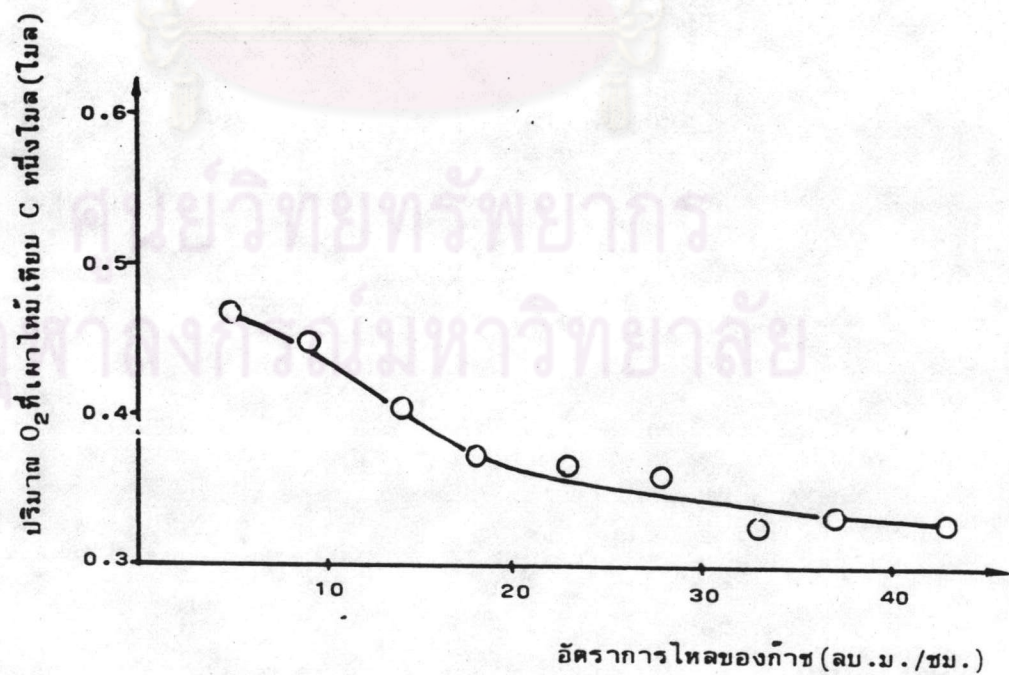
รูปที่ 6.20 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิดก๊าซซีพี เคชั่น เทียบคาร์บอนหนึ่งโมล กับ อัตราการไหลของก๊าซ เชื้อเพลิงของการทดลองชุดที่ 1, 2, 3 และ 5 เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้ระยะจากแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอคอดค่าต่างๆในการทดลอง



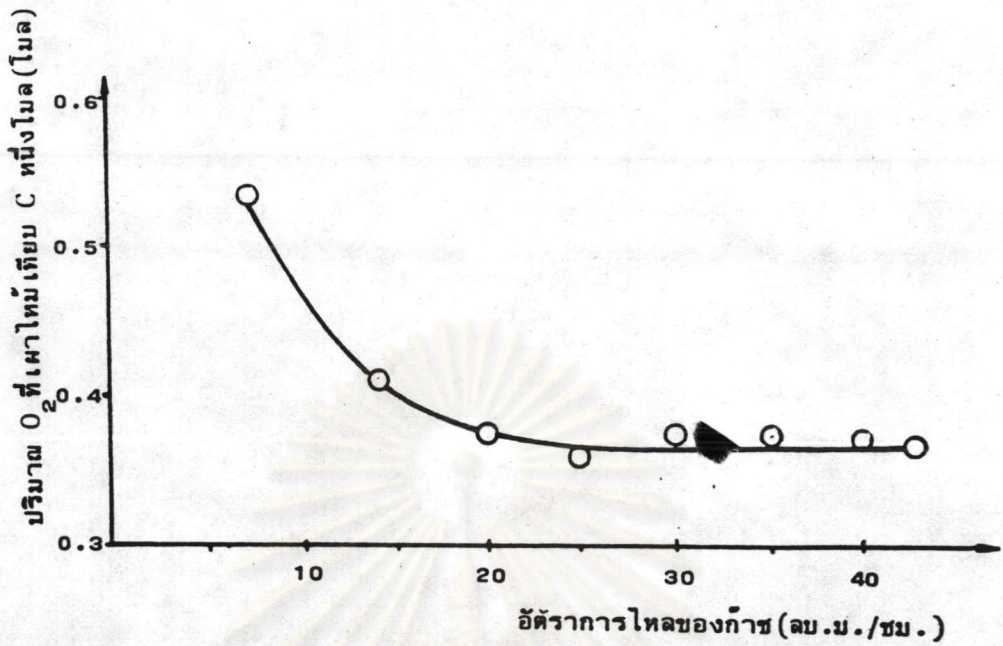
รูปที่ 6.21 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิดก๊าซซีพี เคชั่น กับ อัตราการเติมน้ำของการทดลองชุดที่ 4



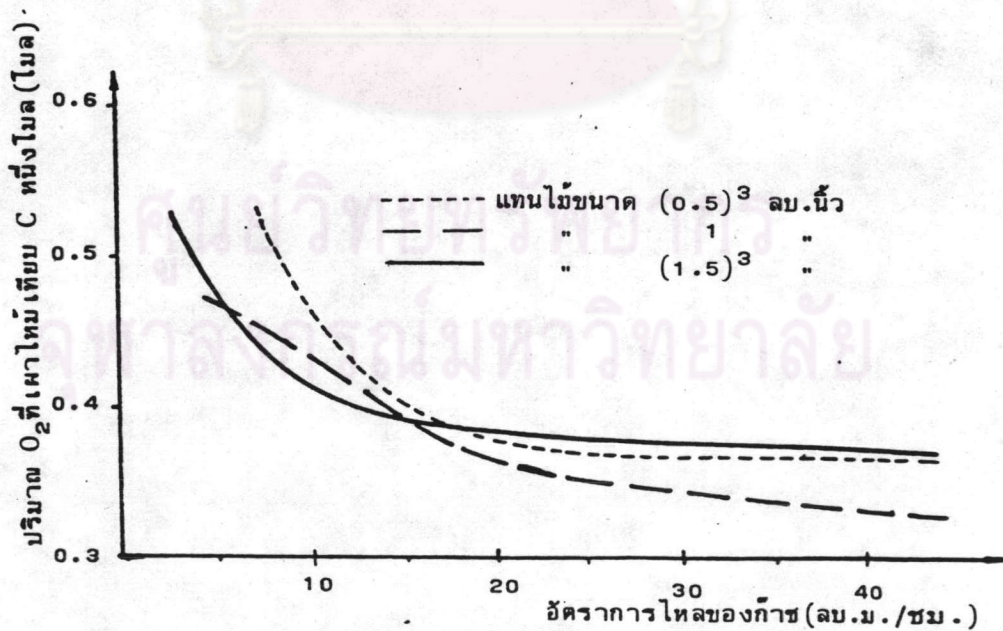
รูปที่ 6.22 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิด ก๊าซซีพี เคซีน เทียบคาร์บอนหนึ่งโมล กับ อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 6



รูปที่ 6.23 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิด ก๊าซซีพี เคซีน เทียบคาร์บอนหนึ่งโมล กับ อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง ของการทดลองชุดที่ 7



รูปที่ 6.24 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิดก๊าซซิติ เคชั่นเทียบคาร์บอนหนึ่งโมล กับ อัตราการใช้ของก๊าซเชื้อเพลิงของการทดลองชุดที่ 8



รูปที่ 6.25 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เผาเพื่อเกิดก๊าซซิติ เคชั่นเทียบคาร์บอนหนึ่งโมล กับ อัตราการใช้ของก๊าซเชื้อเพลิงของการทดลองชุดที่ 6, 7 และ 8 เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้ไม้ขนาดต่างๆ

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิธีสมดุลงมวลสาร เพื่อหาปริมาณก๊าซออกซิเจน
ที่ใช้เผา ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 6.11 ถึง 6.18 และนำไปพลอตกราฟดังรูปที่

จากรูปที่ 6.16 ถึง 6.19 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจน
ที่เผากับอัตราการไหลของก๊าซ เชื้อเพลิงจะพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง ทำให้
ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เผาเทียบคาร์บอน 1 โมลลดลง

จากรูปที่ 6.20 เป็นการเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนระยะระหว่างแผ่นตะแกรง
รองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอคอดของการทดลองชุดที่ 1, 2, 3 และ 5 พบว่าเมื่อมีการเพิ่ม
ระยะระหว่างแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดอุณหภูมิตรงคอคอด ทำให้ปริมาณการใช้ก๊าซออกซิเจน
ที่เผาเทียบคาร์บอน 1 โมลลดลงที่อัตราการไหลของก๊าซค่าเดียวกัน

จากรูปที่ 6.21 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เผาเทียบคาร์บอน
1 โมลกับอัตราการเดินน้ำของการทดลองชุดที่ 4 พบว่าอัตราการเดินน้ำไม่มีผลต่อปริมาณ
ก๊าซออกซิเจนที่เผาเทียบกับคาร์บอน 1 โมล

จากรูปที่ 6.22 ถึง 6.24 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่
เผาเทียบกับคาร์บอน 1 โมล กับอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงของการทดลองชุดที่ 6, 7
และ 8 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง ทำให้ปริมาณการใช้ก๊าซออกซิเจนที่เผา
เทียบกับคาร์บอน 1 โมลลดลง

จากรูปที่ 6.25 เป็นการเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนขนาดไม้ของการทดลองชุด
ที่ 6, 7 และ 8 พบว่าขนาดของไม้ไม่มีผลต่อปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เผาเทียบกับคาร์บอน 1
โมล

6.6 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกที่จุดสมดุลเคมีโดยใช้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์

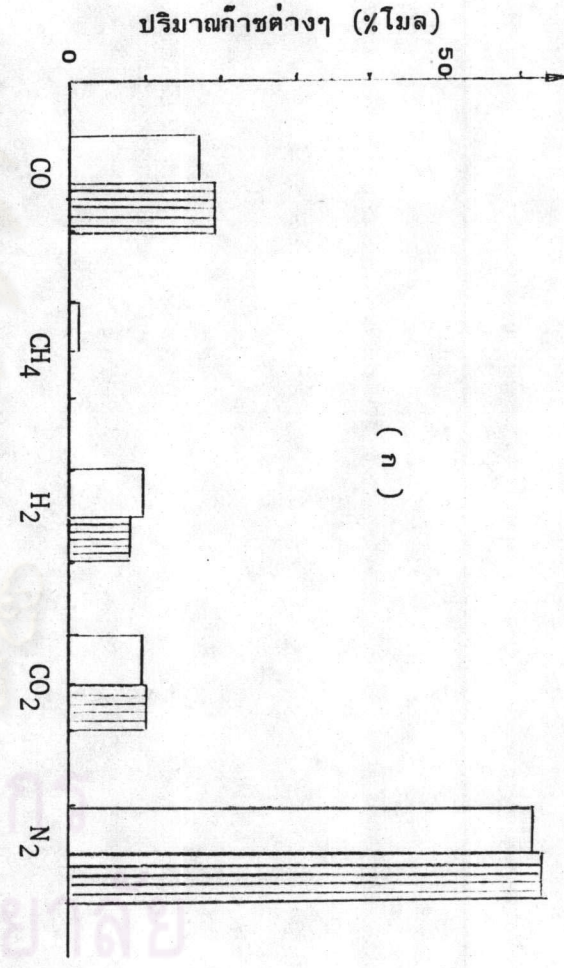
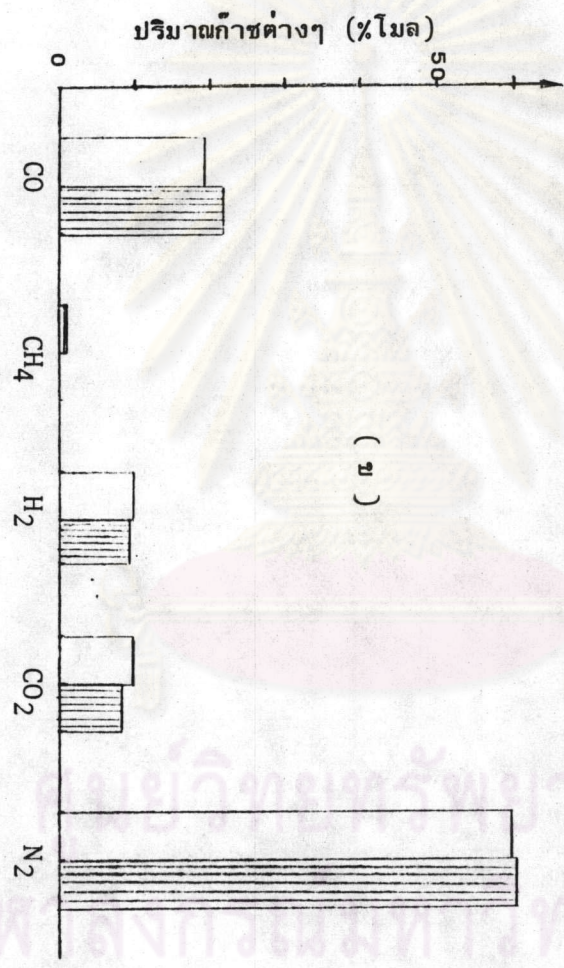
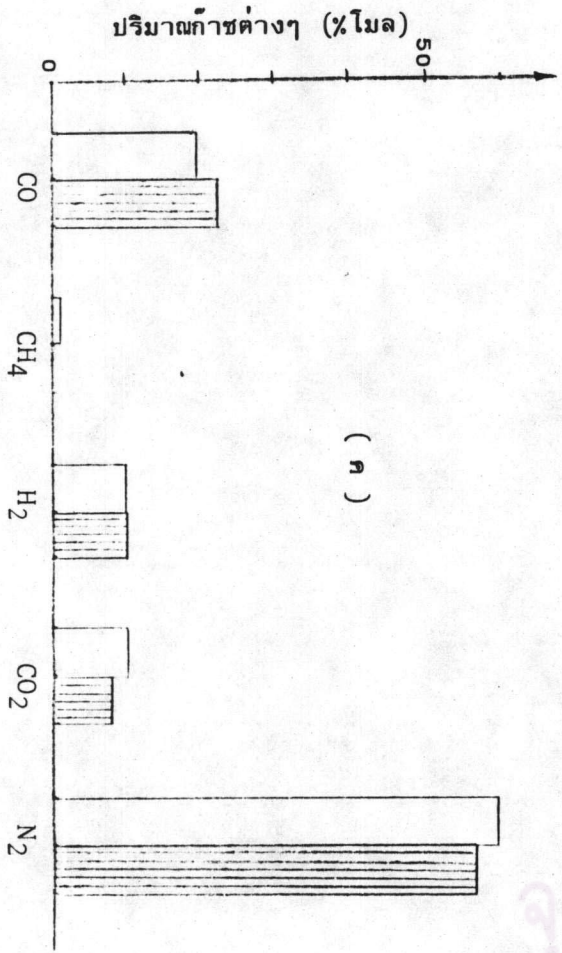
การเปรียบเทียบโดยใช้ผลการทดลองที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์โมลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
ที่สูงสุดของแต่ละการทดลอง กับ การคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกที่จุดสมดุลเคมีโดยใช้
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังในตารางที่ 6.19 หรือในรูปที่ 6.26 ก ถึง ข จะเห็นว่าค่าที่ได้
จากการคำนวณมีความแตกต่างกับค่าที่ได้จากการทดลองมาก โดยเฉพาะเปอร์เซ็นต์โมลของก๊าซ
มีเทนจากการคำนวณมีค่าเป็นศูนย์หมดแต่จากการทดลองไม่เป็นศูนย์ ซึ่งจะสรุปว่าการเกิดก๊าซซี

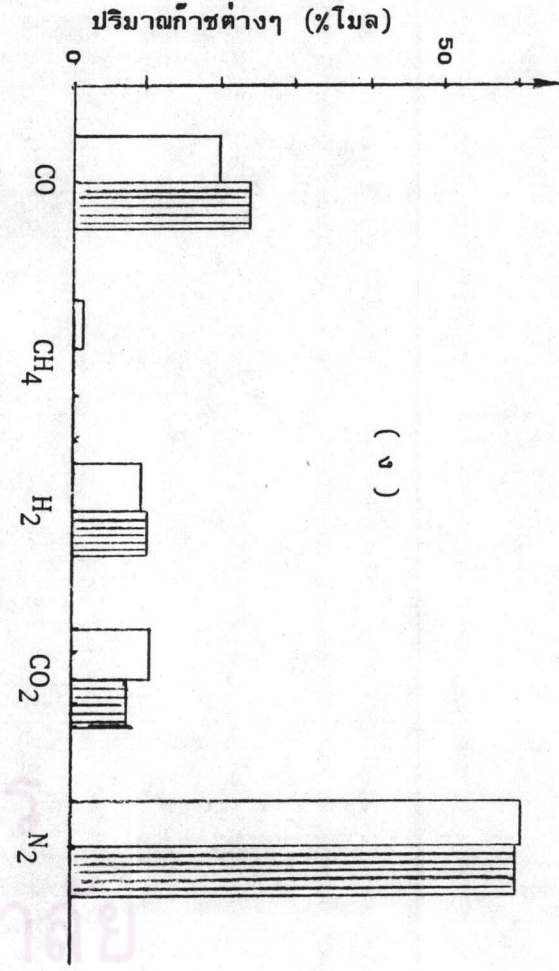
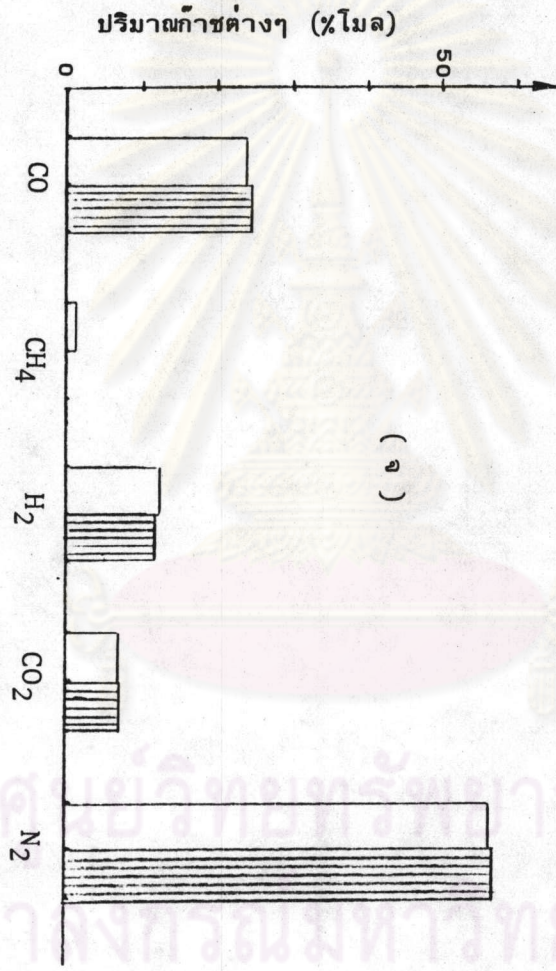
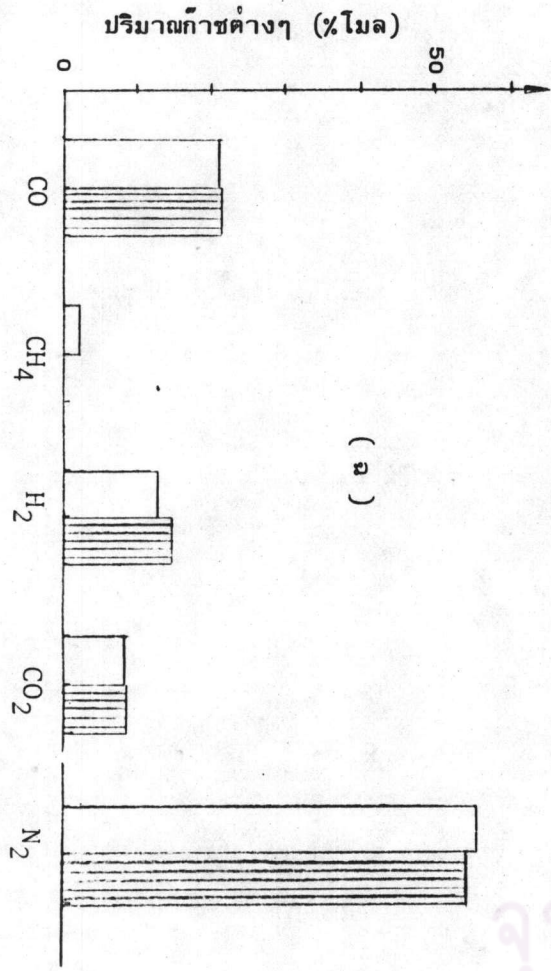
ตารางที่ 6.19 แสดงการเปรียบเทียบผล เเปอร์เซ็นต์โมลของก๊าซต่างๆจากการทดลองกับการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิก

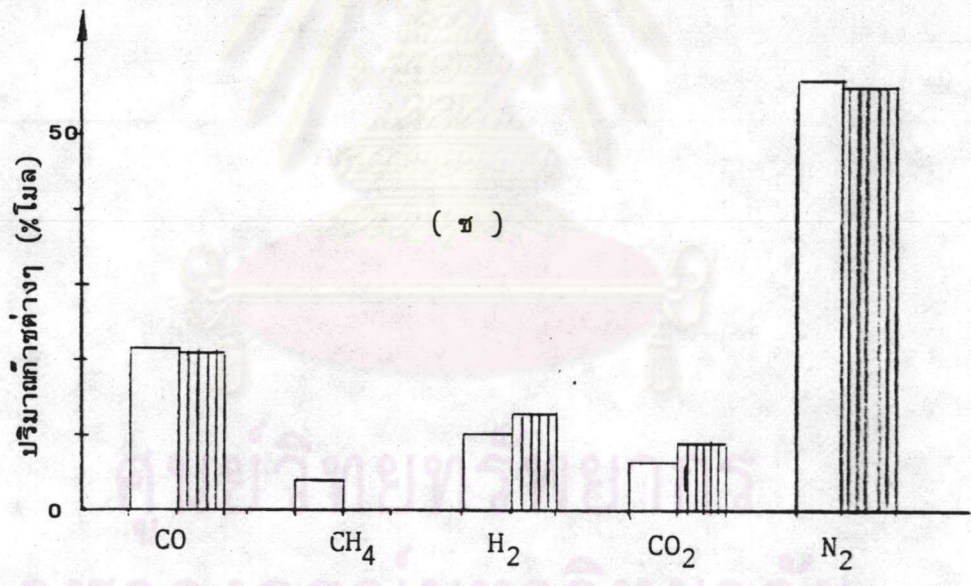
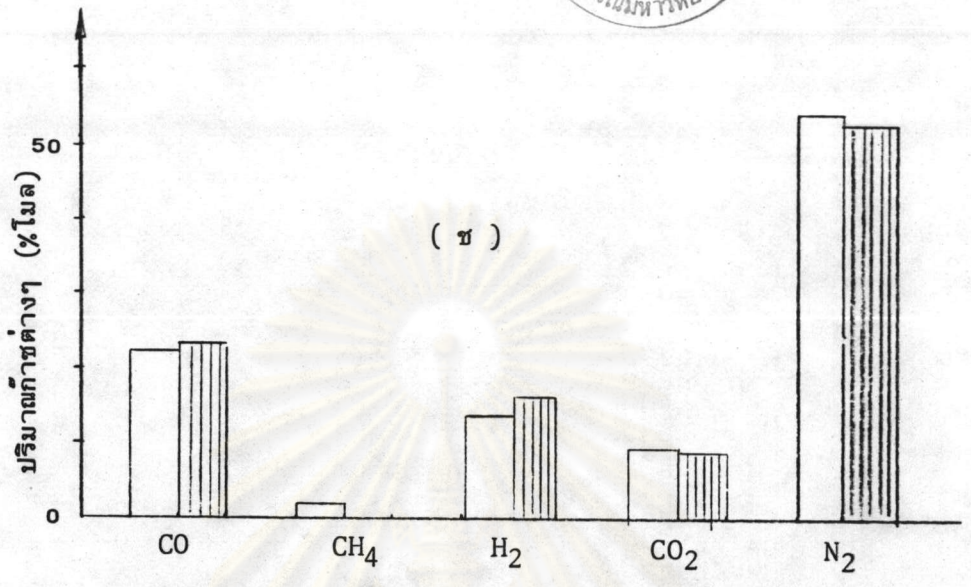
ที่จุดสมดุลเคมีด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ใหญ่ใช้สูตรทางเคมีอย่างง่ายของโมเป็น $CH_{1.421}O_{0.605}$

ความชื้น 22.6 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



การทดลองชุดที่	อุณหภูมิเฉลี่ยของจุดวัด T_1 และ T_3	เปอร์เซ็นต์โมลของก๊าซต่างๆจากการทดลองโดยโมคิดปริมาณ ออกซิเจนที่เหลือ	เปอร์เซ็นต์โมลของก๊าซต่างๆจากการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกที่จุดสมดุลเคมี
		CO CH ₄ H ₂ CO ₂ N ₂	CO CH ₄ H ₂ CO ₂ N ₂
1	967	17.36 1.36 9.53 9156 62.19	18.85 - 8.03 9.89 64.21
2	1042.5	18.99 0.94 9.83 9.88 60.36	21.93 - 9.04 8.15 60.88
3	1035	19.52 1.00 9.74 9.96 59.78	22.64 - 9.78 7.84 56.74
4	1084	19.41 1.02 9.20 10.73 59.64	23.76 - 9.87 7.16 59.21
5	1023.5	23.53 1.24 12.16 6.73 56.34	24.66 - 11.87 6.96 56.51
6	786.5	21.27 2.04 12.59 8.49 55.61	21.36 - 14.85 9.56 54.23
7	812.5	21.87 1.88 13.36 9.09 53.80	23.29 - 15.95 8.59 52.17
8	753	21.45 3.92 10.14 6.39 57.56	20.81 - 12.99 8.84 56.46







รูปที่ 6.26 แสดงการเปรียบเทียบ เปอร์เซ็นต์โมลของก๊าซต่างๆจากการทดลองกับการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกที่จุดสมดุลเคมี ก ถึง ข เป็นผลการเปรียบเทียบจากการทดลองชุดที่ 1 ถึง 8 ตามลำดับ โดยที่

-  แทน ผลการทดลอง
-  แทน ผลการคำนวณ

พี เคชันยังไม่ถึงจุดสมดุลไม่ได้ เพราะ เปอร์ เซนต์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บางชุดการทดลอง มีค่าต่ำกว่าการคำนวณทั้งนี้ เป็น เพราะข้อกำหนดที่ตั้งขึ้นในการ เขียนโปรแกรม โดยเฉพาะสูตรของไม้ที่ใช้เป็น $CH_{1.421}O_{0.605}$ อาจไม่ถูกต้องนัก อีกทั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการคำนวณซึ่ง ใช้ค่าเฉลี่ย ของอุณหภูมิที่จุดวัด T_2 กับ T_3 ซึ่งก็อาจจะไม่ถูกต้องนักก็ได้ ดังได้เคยกล่าวไว้แล้วว่า โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณนี้ เป็นการหาค่าอย่างคร่าวๆ

6.7 สรุปผลการทดลอง

- เมื่อมีการเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซ เชื้อเพลิง. อุณหภูมิใน เต้าผลิตก๊าซที่จุดวัดต่างๆ จะสูงขึ้นอัน เนื่องจาก เกิดการ เผาไหม้ เร็วขึ้นทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเต้าผลิตก๊าซ เพิ่มขึ้น เปอร์ เซนต์โมลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์กับก๊าซไฮโดร เจนจะ เพิ่มขึ้น เพราะผลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และ ยังทำให้เปอร์เซนต์โมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับก๊าซไนโตร เจนลดลง. ปริมาณของก๊าซออกซิ เจนที่ถูกใช้ในการเผา เพื่อเกิดกาซซิติ เคชัน เทียบกับคาร์บอนในไม้ 1 โมลลดลง

- เมื่อมีการเพิ่มระยะจากจุดวัดอุณหภูมิตรงคอคอดถึงแผ่นตะแกรงรองถ่านในช่วง การทดลองนี้ จะมีผลทำให้ เปอร์เซนต์โมลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เพิ่มขึ้น เปอร์เซนต์โมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับก๊าซไนโตร เจนลดลง เนื่องจากบริเวณที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันเพิ่มขึ้น ปริมาณการใช้ก๊าซออกซิ เจนจากอากาศในการ เผา เพื่อ เกิดกาซซิติ เคชัน เทียบพื้นฐานคาร์บอน 1 โมลมีแนวโน้มลดลง

- เมื่อมีการเพิ่มขนาดของไม้ที่ใช้การทดลองนี้ มีผลต่อการ เปลี่ยนแปลง เปอร์ เซนต์ โมลของก๊าซต่างๆและปริมาณการใช้ก๊าซออกซิ เจนในการ เผา เพื่อ เกิดกาซซิติ เคชัน เพียง เล็กน้อย

- เมื่อมีการเพิ่มอัตราการเติมน้ำในช่วงการทดลองนี้ มีผลต่อการ เปลี่ยนแปลง เปอร์ เซนต์โมลของก๊าซต่างๆและปริมาณการใช้ก๊าซออกซิ เจนในการ เผา เพื่อ เกิดกาซซิติ เคชัน เพียง เล็กน้อย



๗ ข้อเสนอแนะ

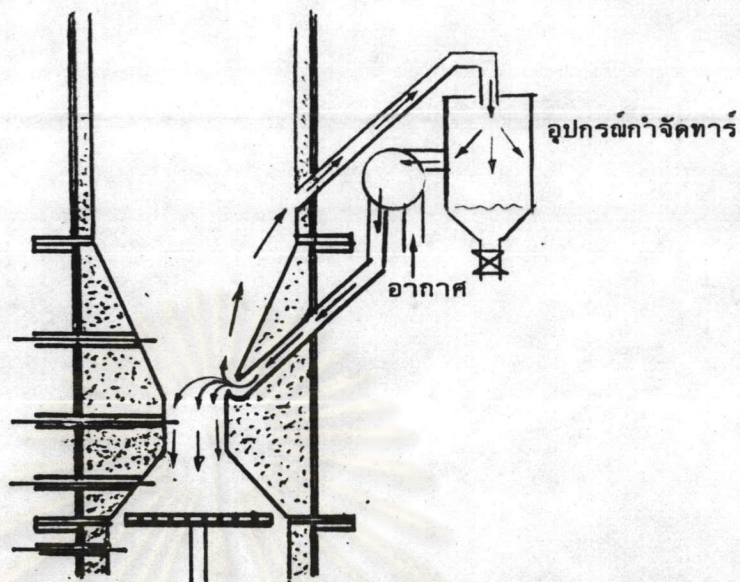
ในการศึกษาและทดลองครั้งนี้มีปัญหามากมายที่ผู้ทดลองได้ประสบมา

- มีการเลื่อนลงของบริเวณเผาไหม้ เมื่อใช้อัตราการไหลของก๊าซสูงๆ ในการทดลองเพื่อตรวจสอบเครื่องมือซึ่งได้ดัดแปลงแก้ไขแบบของเค้าแล้ว ดังในรูปที่ 6.4
- ทาร์ (Tar) เป็นปัญหาที่สำคัญ เพราะเนื่องจากเครื่องทดลองทั้งหมดเป็นระบบดูดก๊าซที่ขาออกจากเตาผลิตก๊าซ ทำให้มีทาร์บางส่วนเข้าไปติดอยู่ในบีม์ที่ดูดก๊าซระบบโรตารี ทำให้บีม์ขัดข้องและหยุดทำงานได้ หากใช้ติดต่อกันเป็นเวลานานๆ แม้ว่าจะมีอุปกรณ์จับทาร์คือ อุปกรณ์ลดอุณหภูมิและหม้อกรองก๊าซแต่ก็กำจัดได้ไม่หมด ดังนั้นทุกครั้งที่ทดลองจะต้องล้างทำความสะอาดบีม์ก่อนทดลอง สารละลายที่ใช้ล้างทำความสะอาดที่ดีพอสมควรคือ ทินเนอร์

- ไม้ที่ใช้ในเตาผลิตก๊าซ เชื้อเพลิงโดยเฉพาะขนาด $(1.5)^3$ ลบ.น. ซึ่งเป็นขนาดใหญ่ บางครั้งไม่ยอมเลื่อนตก ซึ่งมีผลต่อข้อมูลต่างๆ ของการทดลองด้วย ดังนั้นต้องหาวิธีการทำให้เลื่อนตกได้ขณะเผา เช่น ใช้แท่งเหล็กยาวคอยกระทุ้ง หรืออาจคิดใบกวนเพื่อช่วยในการเลื่อนตก

หมายเหตุ : ไม้ขนาด $(2)^3$ ลบ.น. ผู้ทดลองได้ลองใช้แล้วปรากฏว่าไม่ยอมเลื่อนตก คงเป็นเพราะเตาขนาดเล็กไป (เส้นผ่าศูนย์กลางภายในเพียง 26 ซม.)

- หลังจากการทดลองในแต่ละครั้งพบว่าที่ผนังด้านข้างที่บริเวณบรรจุไม้มีทาร์จับอยู่มากคงเป็นเพราะเมื่อเกิดการก่อก้อนทำลายไม้ที่เหนือบริเวณเผาไหม้จะให้ทาร์ออกมาและส่วนหนึ่งก็ลอยขึ้นข้างบน อีกส่วนหนึ่งก็ลงข้างล่างผ่านคอคอดบนออกมากับก๊าซเชื้อเพลิง ถึงแม้ว่าจะเกิดการสลายทาร์ (Tar Cracking) บ้าง แต่ก็ยังปนมากับก๊าซเชื้อเพลิงมากอยู่ดี ผู้ทดลองมีความเห็นว่าจะให้ทาร์ลอยขึ้นด้านบนมากๆ เพื่อลดปริมาณทาร์ในก๊าซลง อาจจะใช้ระบบลมรีไซเคิลกลับ (Recycle) ช่วย ดังรูป



- จากข้อมูลการทดลองที่อัตราการไหลของก๊าซสูงๆ คือ 30 ถึง 43 ลบ.ม./ชม. บริเวณที่มีการเผาไหม้ยังคงอยู่ตรงคอคอดได้ (ดูจากอุณหภูมิที่อ่านได้) และให้ % โมลของ CO_2 สูง นั่นคือหากจะนำไปใช้งานหรือดัดแปลงเป็นเตาผลิตก๊าซที่ใช้งานกับเครื่องยนต์ก็ควรจะใช้อัตราการไหลในช่วงนี้ สำหรับเตาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 26 ซม. นี้

- จากผลการทดลองในการเพิ่มระยะแผ่นตะแกรงรองถ่านถึงจุดวัดคืออุณหภูมิตรงคอคอด หรืออีกนัยหนึ่งคือเพิ่มบริเวณบรรจุถ่านนั่นเอง ทำให้ปริมาณก๊าซ CO เพิ่มขึ้นและ CO_2 ลดลง ซึ่งจะมีส่วนช่วยอย่างมากในการออกแบบสร้างเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงสำหรับใช้กับไม้

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย