

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลองหาคุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ

ผลการทดลองหาคุณสมบัติทางกายภาพของแกลบที่ใช้ในการวิจัยได้แสดงผลไว้ใน

ตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ

คุณสมบัติทางกายภาพ	ค่าที่ได้จากการทดลอง
ความชื้น (ร้อยละ)	10.05
ล้าระเหยได้ (ร้อยละ)	49.08
เถ้า (ร้อยละ)	19.78
คาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)	21.09
ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	805.0
เส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเทียบเท่า (เมตร)	2.18×10^{-3}
สัดส่วนช่องว่าง	0.84
ความเป็นทรงกลมเทียบเท่า	0.26
คุณค่าทางความร้อน (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม) (dry basis)	3370.2*

หมายเหตุ : * คุณค่าทางความร้อนวิเคราะห์ผลโดยการพลังงานแห่งชาติ

ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของแกลบ โดยวิธี Ultimate analysis

ได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแกลบ

องค์ประกอบของแกลบ	ค่าที่วิเคราะห์ได้ (ร้อยละ)* (dry basis)
C	33.72
H	4.04
N	0.48
S, O and ash (by difference)	61.76

หมายเหตุ : * ข้อมูลจากตารางวิเคราะห์ผลโดยศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ผลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน

จากการทดลองให้อากาศไหลผ่านเบตที่มีความสูงต่าง ๆ กัน ด้วยอัตราความเร็วที่ต่างกัน วัดความแตกต่างของความดันของเบตด้วยมาโนมิเตอร์ ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาคผนวกที่ 4 จากผลการทดลองนำไปเขียนกราฟเพื่อหาความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน รูปที่ 5-1 แสดงการหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน จากกราฟจะเห็นว่าที่ความสูงของเบตต่าง ๆ กัน ค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชันมีค่าใกล้เคียงกัน โดยได้ค่าเฉลี่ยประมาณ 32.5 ซม./วินาที

5.3 ผลการทดลองการเผาไหม้แกลบในคอลัมน์การเผาไหม้

การทดลองเผาไหม้แกลบในคอลัมน์การเผาไหม้ เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบของก๊าซร้อนที่ออกจากคอลัมน์การเผาไหม้ก่อนจะนำก๊าซร้อนนี้ผ่านเข้าไปในคอลัมน์กาศิฟิเคชัน การทดลองกระทำที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ กัน และก๊าซร้อนจากคอลัมน์ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบโดยใช้แก๊สโครมาโตกราฟี ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 5-3



ตารางที่ 5-3 แสดงผลการทดลองการเผาไหม้แกลบที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในคอลัมน์การเผาไหม้

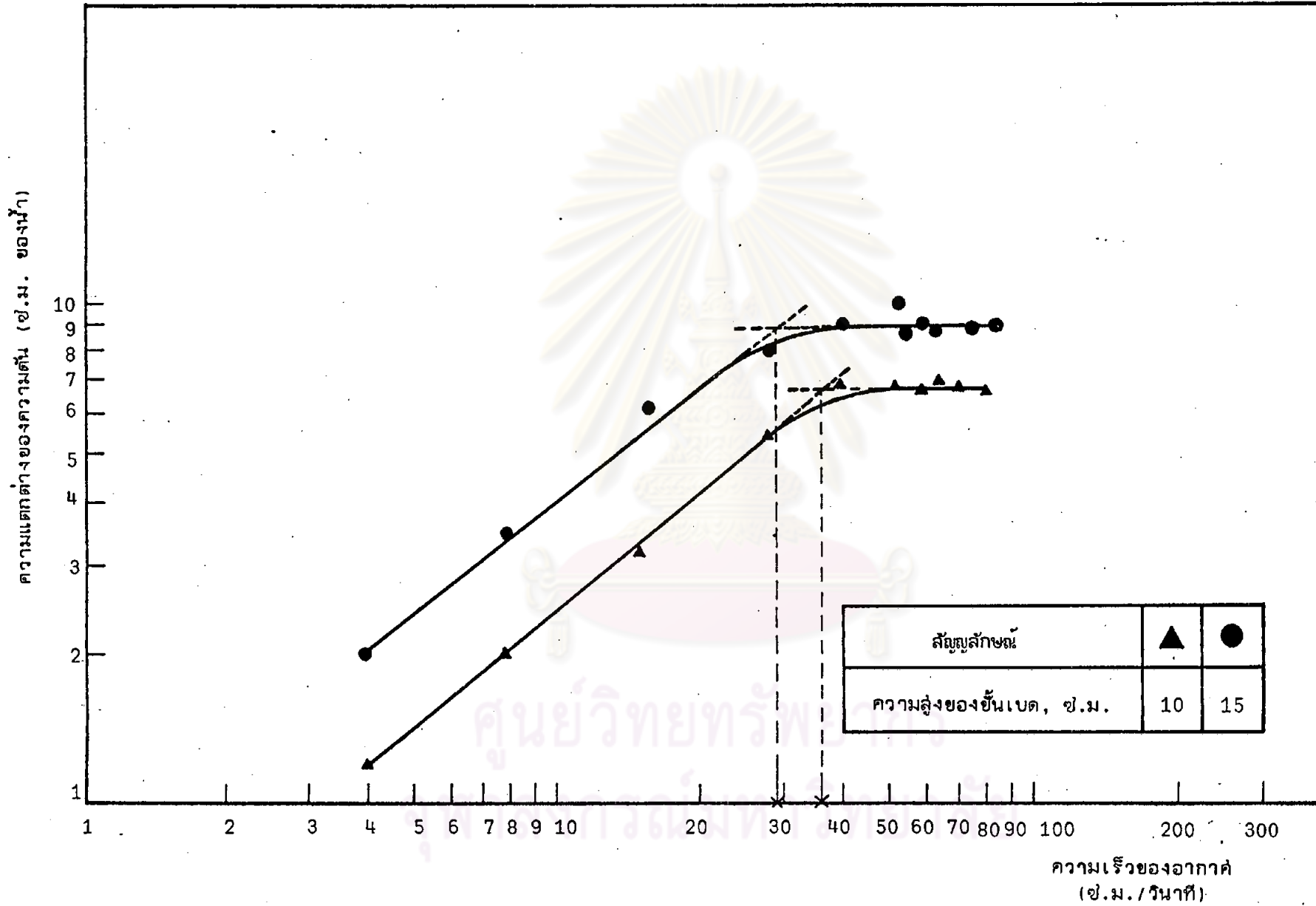
การทดลองที่	อัตราการไหลของอากาศ (ลบ.ม./นาท.)	อุณหภูมิในเบด (องศาเซลเซียส)	องค์ประกอบของก๊าซ (ร้อยละโดยปริมาตร)		
			CO ₂	O ₂	N ₂
1	0.467	500	2.60	16.04	81.35
2	0.500	600	2.63	19.86	77.51
3	0.533	700	2.30	20.14	77.56
4	0.567	800	3.03	18.08	78.89

5.4 ผลการทดลองกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันเพื่อผลิตก๊าซชีววมวลจากแกลบ

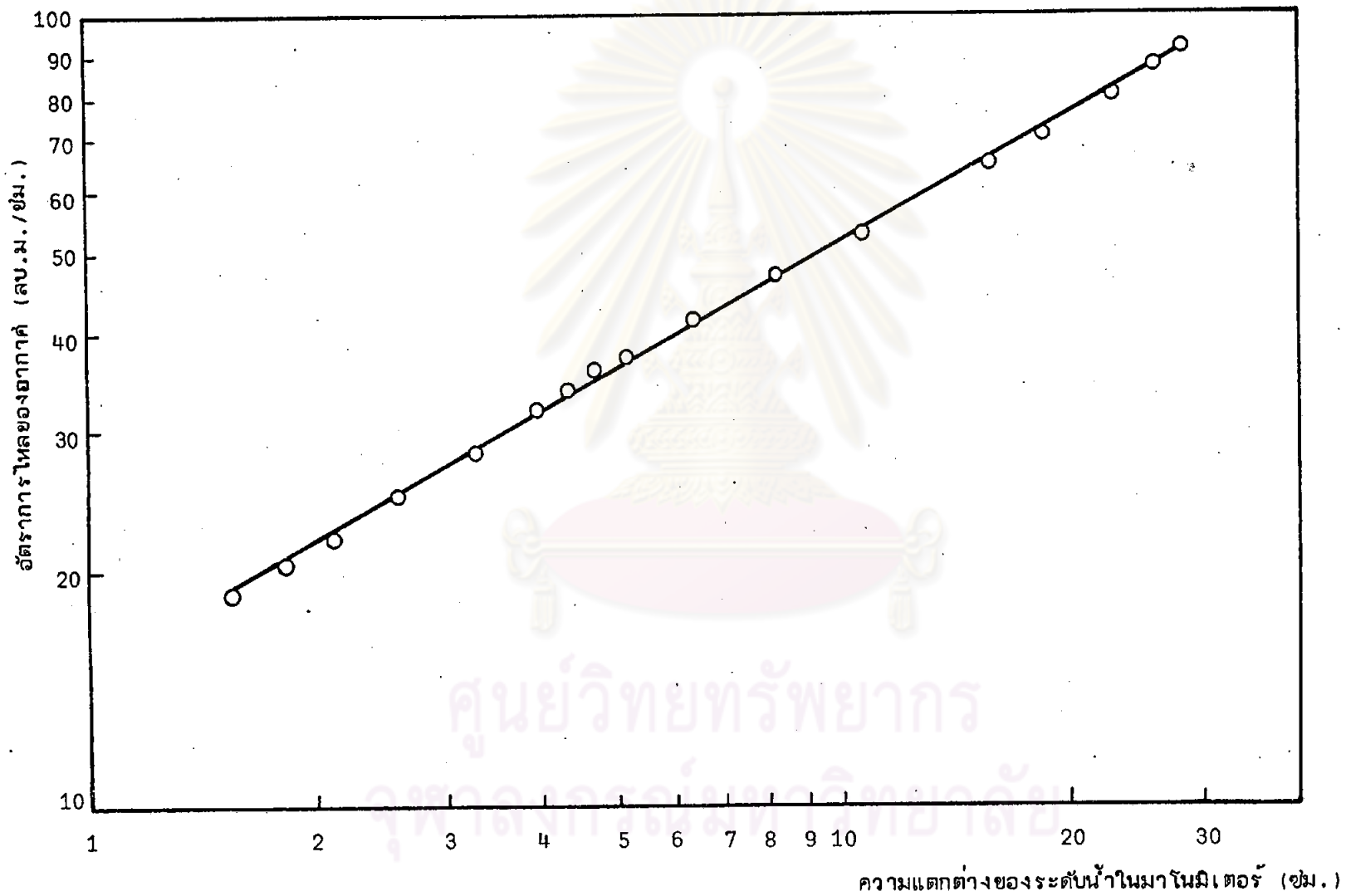
ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 5-4, 5-5, 5-6 และ 5-7 โดยศึกษาผลของตัวแปรต่อปริมาณร้อยละของก๊าซชีววมวลที่ผลิตได้ ตัวแปรที่สนใจศึกษาคือ อัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิในเบดของคอลัมน์กระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน โดยทดลองเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศดังนี้ 0.533, 0.567, 0.633 และ 0.683 ลบ.ม./นาท. และใช้ อุณหภูมิทดลอง 650, 700, 750, 800, 850 และ 900 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลของอากาศที่ใช้หาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันแตกต่างของมาโนมิเตอร์กับอัตราการไหลของอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 5-2 ซึ่งกราฟนี้เป็นผลการทดลองจากการปรับเทียบค่าความดันแตกต่างของอากาศที่ไหลผ่าน orifice meter กับเครื่องวัด อัตราการไหลของอากาศที่ได้มาตรฐาน

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 5-4 ได้นำผลการทดลองดังกล่าวไปเขียนกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของก๊าซแต่ละชนิดกับตัวแปรที่ได้ศึกษา



รูปที่ 5-1 แสดงการหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน



รูปที่ 5-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของระดับน้ำในมาโนมิเตอร์กับอัตราการไหลของอากาศ

ตารางที่ 5-4 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ 0.533 ลบ.ม./นาที

การทดลองที่	อุณหภูมิของ ก๊าซซีพีเคชั่น (องศาเซลเซียส)	ปริมาณก๊าซ ออกซิเจนที่ใช้ เทียบกับคาร์บอน ในก๊าซ (กรัม-โมล) (1)	องค์ประกอบของก๊าซชีวมวล * (ร้อยละโดยปริมาตร)						คุณค่าทางความ ร้อนของก๊าซ - ชีวมวล (แคลอรี/กรัม ของก๊าซแห้ง) (2)	ประสิทธิภาพของ กระบวนการ ก๊าซซีพีเคชั่น (ร้อยละ) (3)
			CO	CO ₂	O ₂	N ₂	H ₂	CH ₄		
1	700	1.200	3.505	10.280	4.089	72.206	2.57	0.351	167.24	17.00
2	750	1.276	2.357	12.121	2.694	80.696	1.908	0.225	115.51	11.18
3	800	0.616	7.212	6.854	10.333	72.23	3.058	0.316	266.69	25.27

(1) ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เทียบกับคาร์บอน 1 โมล คำนวณจากก๊าซชีวมวลที่วิเคราะห์ได้ (Flue gases)

(2) คุณค่าทางความร้อนของก๊าซชีวมวล คำนวณจากคุณค่าความร้อนรวมของก๊าซ CO, H₂ และ CH₄ ต่อกรัมของก๊าซชีวมวลแห้ง

(3) ประสิทธิภาพของกระบวนการ คำนวณจากคุณค่าทางความร้อนของก๊าซชีวมวลที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นอัตราส่วนร้อยละต่อพลังงานความร้อนทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบ

รายละเอียดการคำนวณ (1), (2) และ (3) แสดงไว้ในภาคผนวกที่ 5

* dry basis

ตารางที่ 5-5 ผลการทดลองที่อัตราไหลของอากาศ 0.567 ลบ.ม./นาที

การทดลองที่	อุณหภูมิของ ก๊าซซีพีเคชั่น (องศาเซลเซียส)	ปริมาณก๊าซ ออกซิเจนที่ไ้ เทียบกับคาร์บอน ในก๊าซ (กรัม-โมล) (1)	องค์ประกอบของก๊าซชีวมวล *						คุณค่าทางความ ร้อนของก๊าซ - ชีวมวล (แคลอรี/กรัม ของก๊าซแห้ง) (2)	ประสิทธิภาพของ กระบวนการ ก๊าซซีพีเคชั่น (ร้อยละ) (3)
			CO	CO ₂	O ₂	N ₂	H ₂	CH ₄		
4	650	1.147	2.451	11.299	2.247	80.788	0.204	0.01	60.03	6.15
5	700	0.904	6.838	11.396	2.878	74.94	3.338	0.610	281.54	26.43
6	750	0.954	4.609	14.378	2.468	77.794	0.644	0.107	125.89	11.23
7	800	1.087	6.284	11.49	0.718	77.558	3.411	0.539	266.65	22.22
8	850	0.873	8.113	11.975	2.294	75.460	1.906	0.253	248.51	22.37
9	900	1.204	4.912	10.65	2.49	80.622	1.158	0.172	152.22	12.79

- (1) ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ไ้เทียบกับคาร์บอน 1 โมล คำนวณจากก๊าซชีวมวลที่วิเคราะห์ได้ (Flue gases)
- (2) คุณค่าทางความร้อนของก๊าซชีวมวล คำนวณจากคุณค่าความร้อนรวมของก๊าซ CO, H₂ และ CH₄ ต่อกรัมของก๊าซชีวมวลแห้ง
- (3) ประสิทธิภาพของกระบวนการ คำนวณจากคุณค่าทางความร้อนของก๊าซชีวมวลที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นอัตราส่วนร้อยละต่อพลังงานความร้อนทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบ

รายละเอียดการคำนวณ (1), (2) และ (3) แสดงไว้ในภาคผนวกที่ 5

* dry basis

ตารางที่ 5-6 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ 0.633 ลบ.ม./นาที

การทดลองที่	อุณหภูมิของ ก๊าซซีพีเคชั่น (องศา เซลเซียส)	ปริมาณก๊าซ ออกซิเจนที่ใช้ เทียบกับคาร์บอน ในก๊าซ (กรัม-โมล) (1)	องค์ประกอบของก๊าซชีวมวล *						คุณค่าทางความร้อนของก๊าซชีวมวล (แคลอรี/กรัม ของก๊าซแห้ง) (2)	ประสิทธิภาพของ กระบวนการ ก๊าซซีพีเคชั่น (ร้อยละ) (3)
			CO	CO ₂	O ₂	N ₂	H ₂	CH ₄		
10	650	0.997	0.957	11.221	8.823	78.857	0.142	-	24.66	3.12
11	700	0.929	0.53	4.95	15.828	78.68	0.012	-	12.16	1.35
12	750	0.916	5.232	13.914	2.854	77.167	0.714	0.119	143.46	14.22
13	800	1.241	3.95	11.056	2.950	81.162	0.882	-	110.96	10.70
14	850	1.063	11.651	7.146	0.536	78.43	1.93	0.31	342.54	31.20
15	900	0.951	11.244	8.356	1.148	75.507	3.446	0.299	371.24	32.58

(1) ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เทียบกับคาร์บอน 1 โมล คำนวณจากก๊าซชีวมวลที่วิเคราะห์ได้ (Flue gases)

(2) คุณค่าทางความร้อนของก๊าซชีวมวล คำนวณจากคุณค่าความร้อนรวมของก๊าซ CO, H₂ และ CH₄ ต่อกรัมของก๊าซชีวมวลแห้ง

(3) ประสิทธิภาพของกระบวนการ คำนวณจากคุณค่าทางความร้อนของก๊าซชีวมวลที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นอัตราส่วนร้อยละต่อพลังงานความร้อนทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบ

รายละเอียดการคำนวณ (1), (2) และ (3) แสดงไว้ในภาคผนวกที่ 5

* dry basis

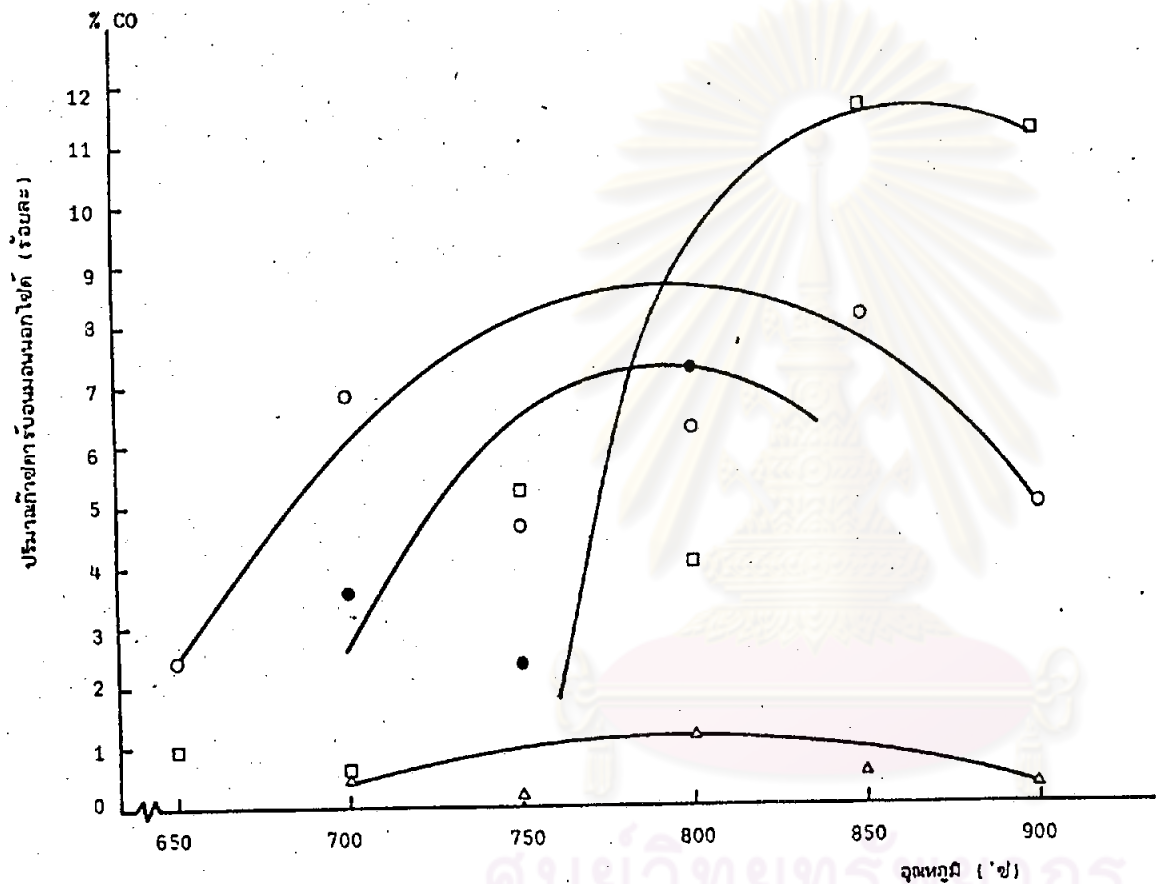
ตารางที่ 5-7 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ 0.683 ลบ.ม./นาที

การทดลองที่	อุณหภูมิของ ก๊าซซีพีเคชั่น (องศา เซลเซียส)	ปริมาณก๊าซ ออกซิเจนที่ใช้ เทียบกับคาร์บอน ในก๊าซ (กรัม-โมล) (1)	องค์ประกอบของก๊าซชีววมวล*						คุณค่าทางความร้อนของก๊าซ ชีววมวล (แคลอรี/กรัม ของก๊าซแห้ง) (2)	ประสิทธิภาพของ กระบวนการ ก๊าซซีพีเคชั่น (ร้อยละ) (3)
			CO	CO ₂	O ₂	N ₂	H ₂	CH ₄		
16	700	0.853	0.402	16.064	6.426	77.01	0.10	-	10.58	1.35
17	750	0.926	0.106	15.905	5.917	78.062	0.011	-	2.14	0.25
18	800	1.084	1.016	15.544	3.193	79.521	0.726	-	38.88	4.46
19	850	0.540	0.463	13.896	11.837	73.701	0.103	-	12.28	1.26
20	900	0.388	0.306	17.174	11.963	70.543	0.015	-	6.74	0.59

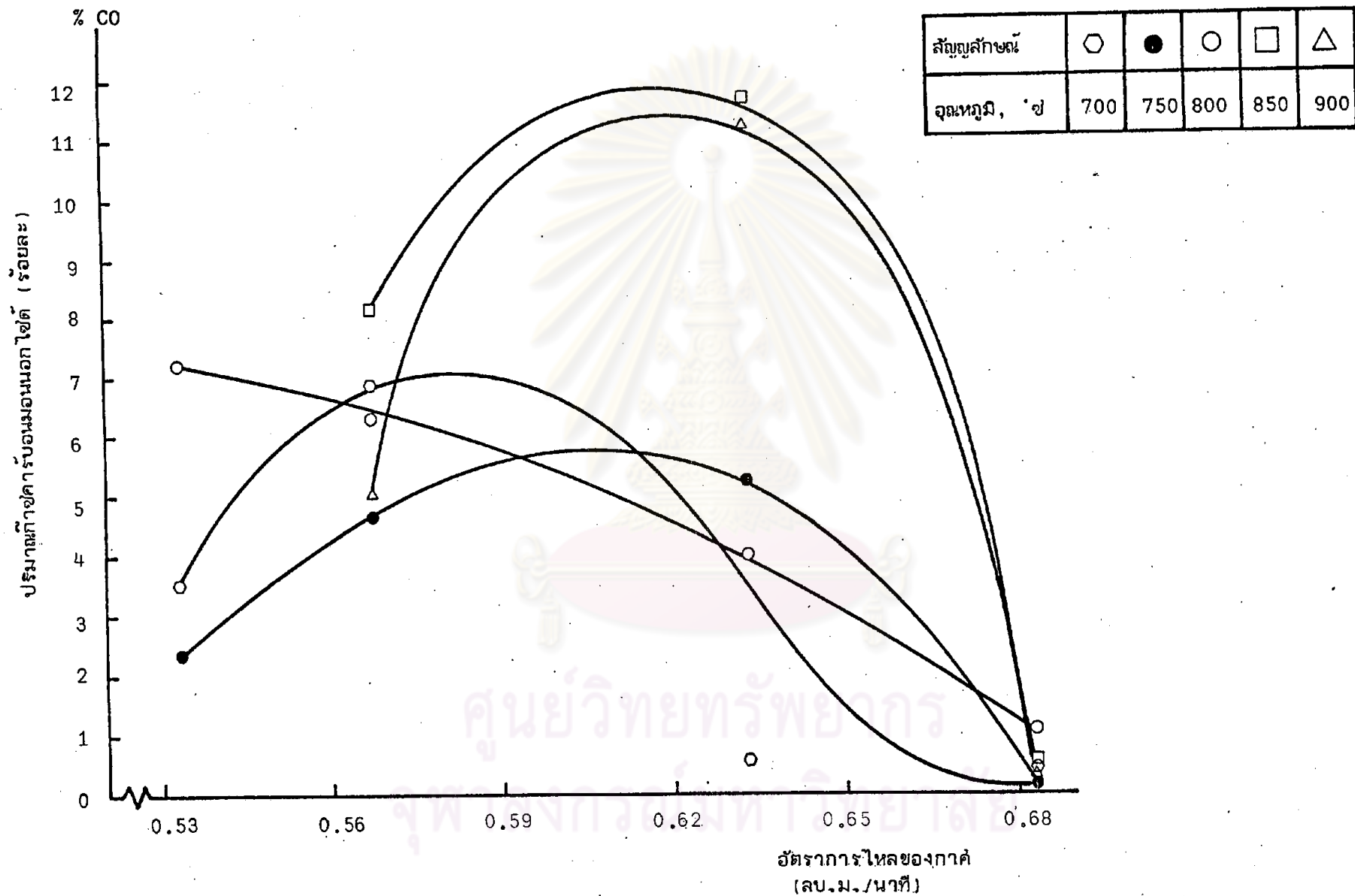
- (1) ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เทียบกับคาร์บอน 1 โมล คำนวณจากก๊าซชีววมวลที่วิเคราะห์ได้ (Flue gases)
- (2) คุณค่าทางความร้อนของก๊าซชีววมวล คำนวณจากคุณค่าความร้อนรวมของก๊าซ CO, H₂ และ CH₄ ต่อกรัมของก๊าซชีววมวลแห้ง
- (3) ประสิทธิภาพของกระบวนการ คำนวณจากคุณค่าทางความร้อนของก๊าซชีววมวลที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นอัตราส่วนร้อยละต่อพลังงานความร้อนทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบ

รายละเอียดการคำนวณ (1), (2) และ (3) แสดงไว้ในภาคผนวกที่ 5

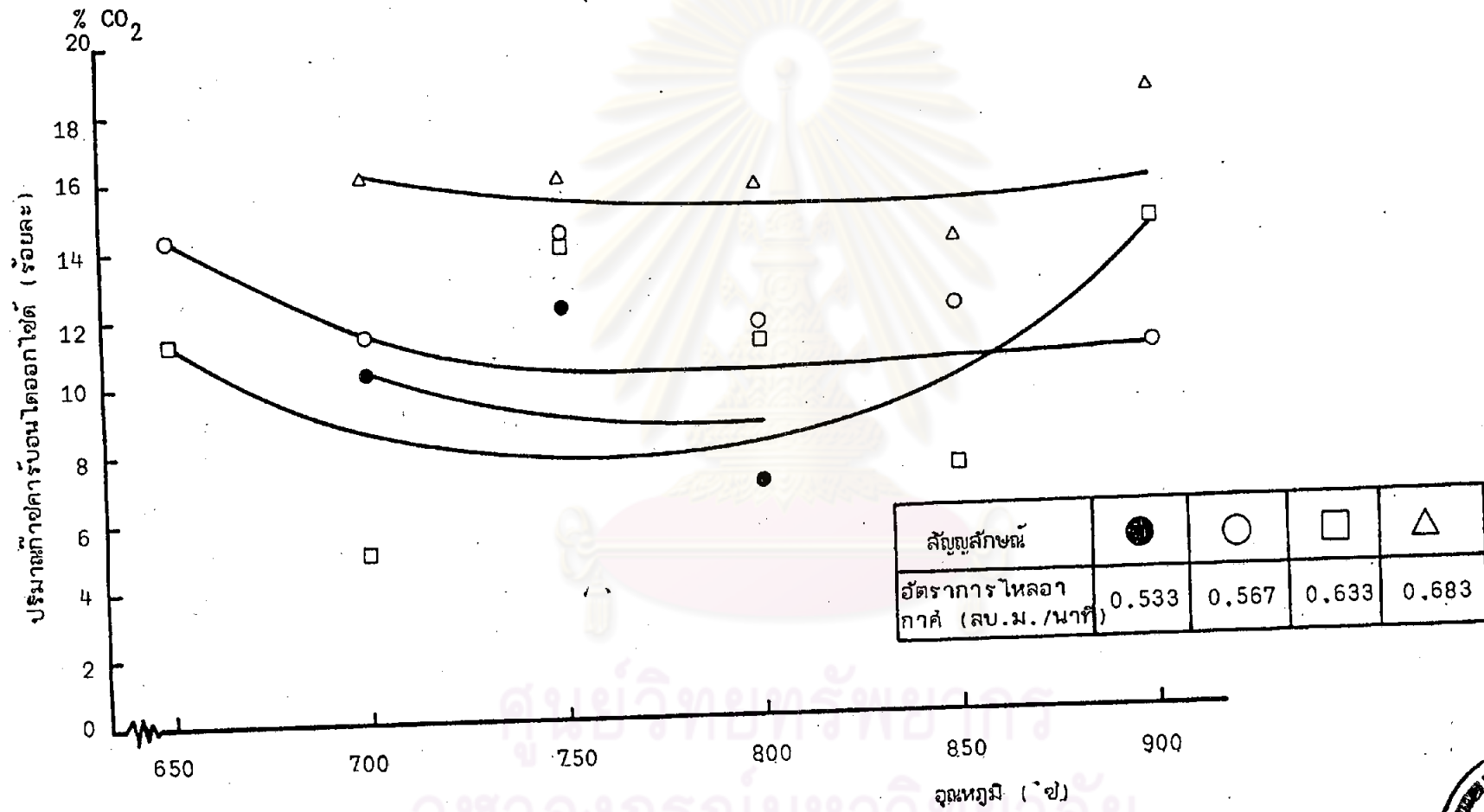
* dry basis



รูปที่ 5-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิกับปริมาณของ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

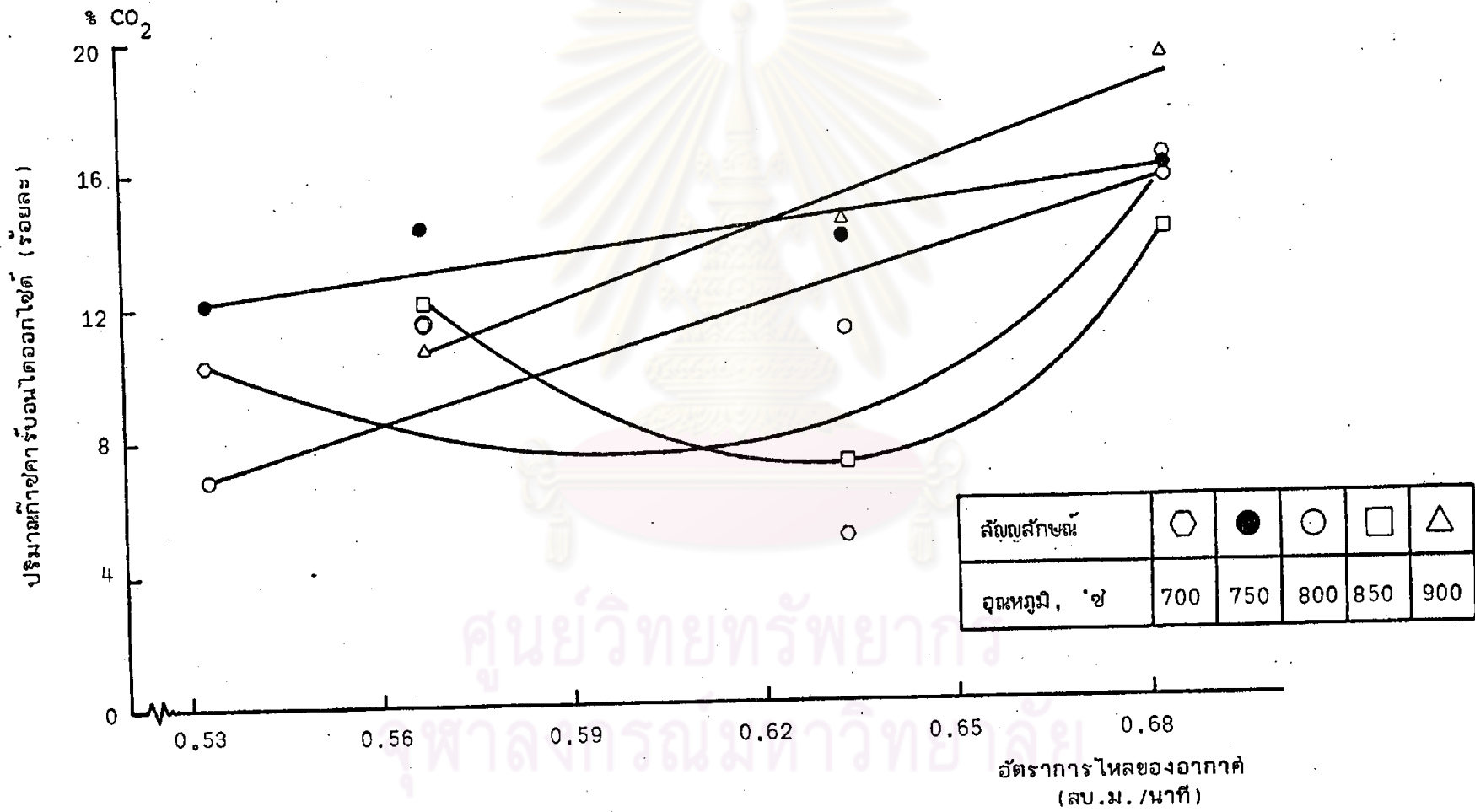


รูปที่ 5-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ของอากาศกับปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



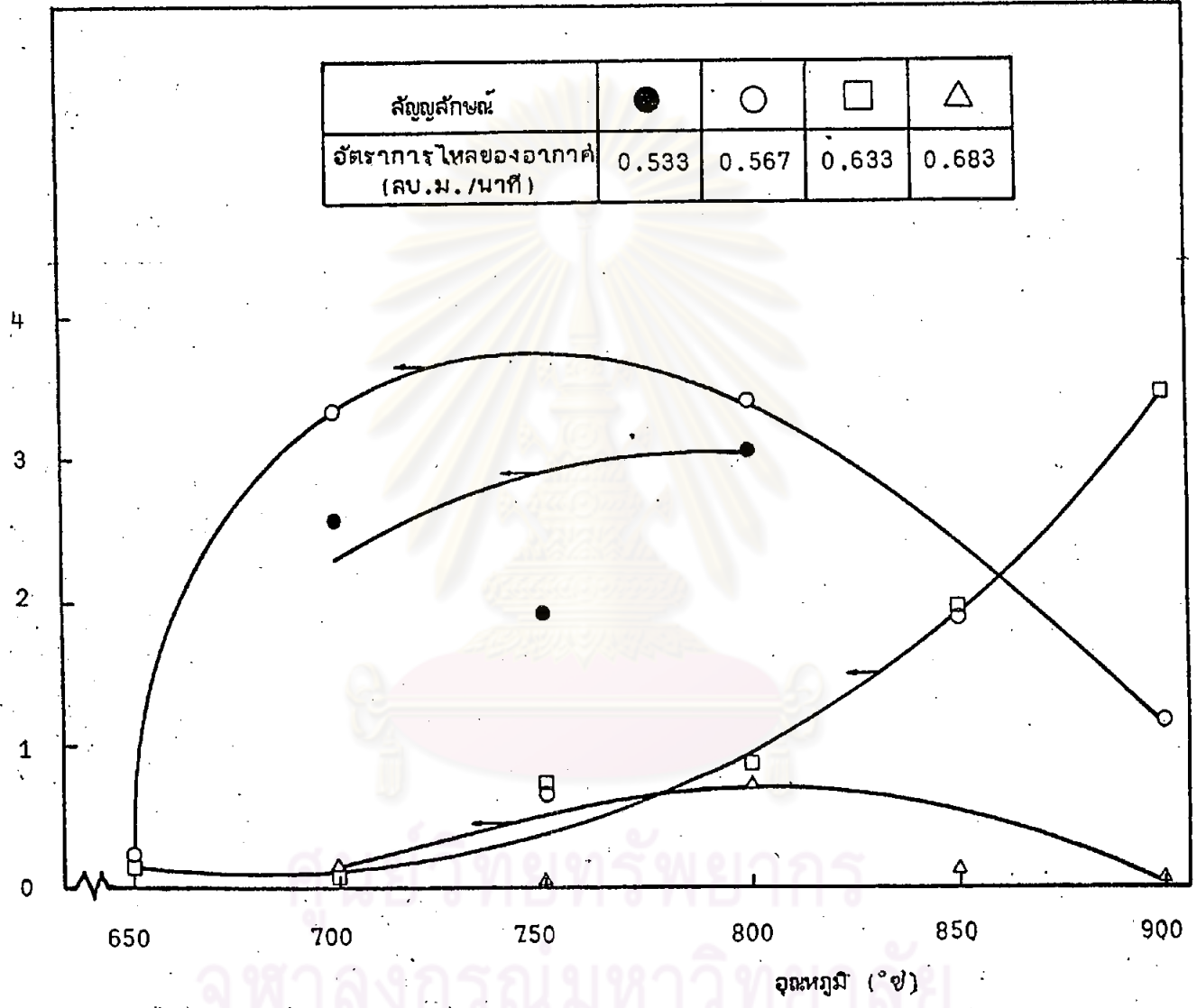
รูปที่ 5-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์





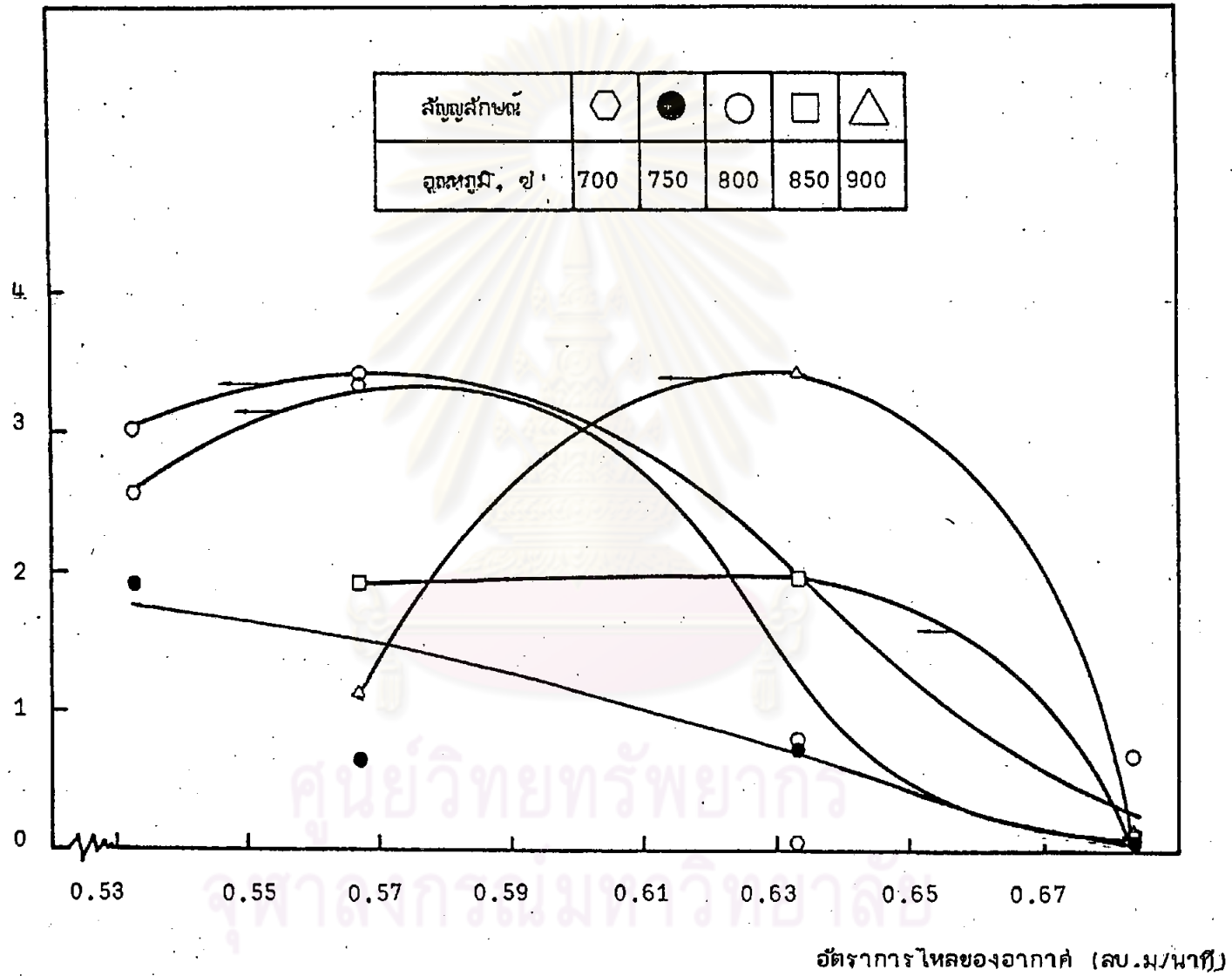
รูปที่ 5-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ปริมาณร้อยละของก๊าซไฮโดรเจน



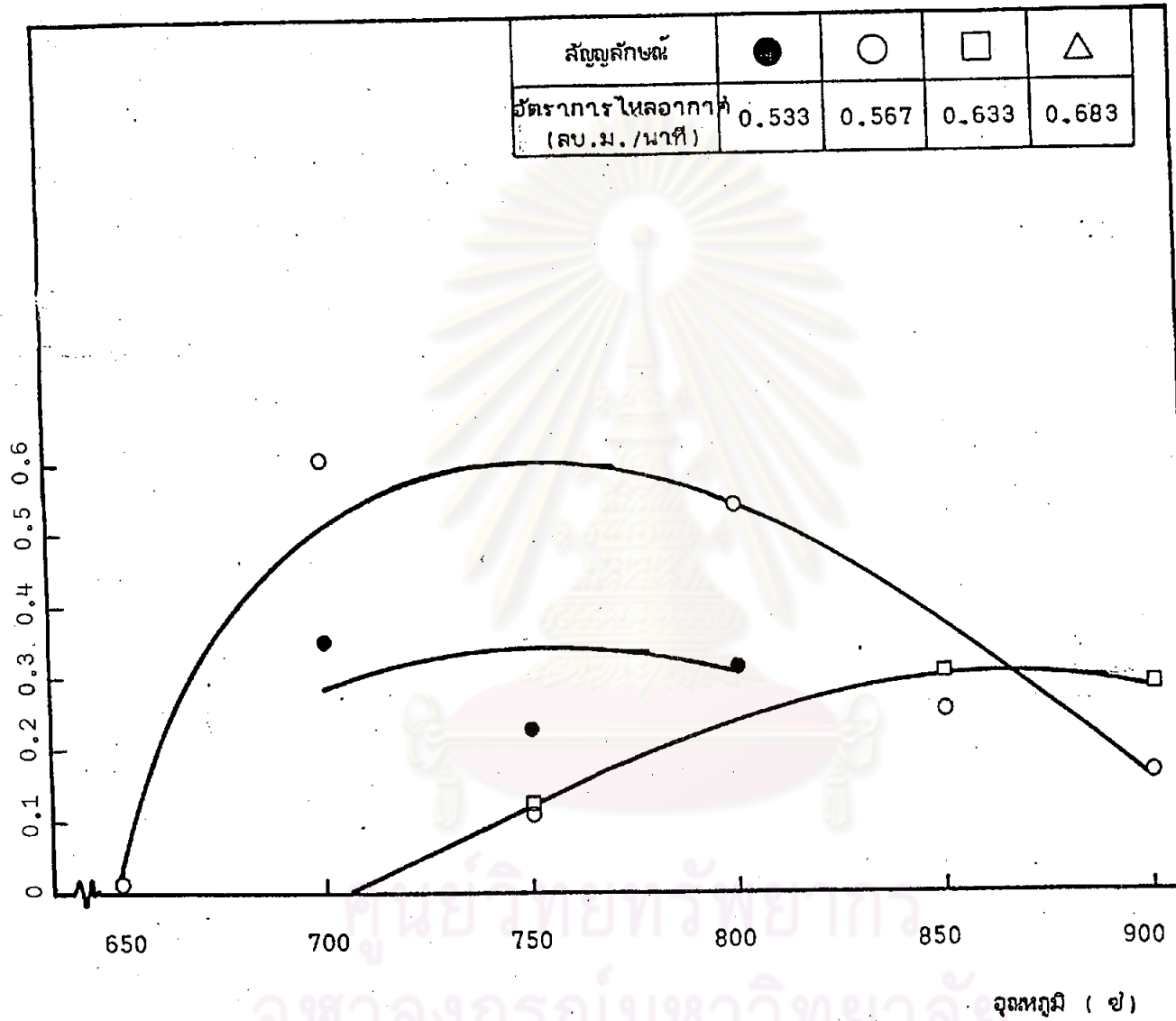
รูปที่ 5-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณร้อยละของก๊าซไฮโดรเจน

ปริมาณร้อยละของก๊าซไฮโดรเจน



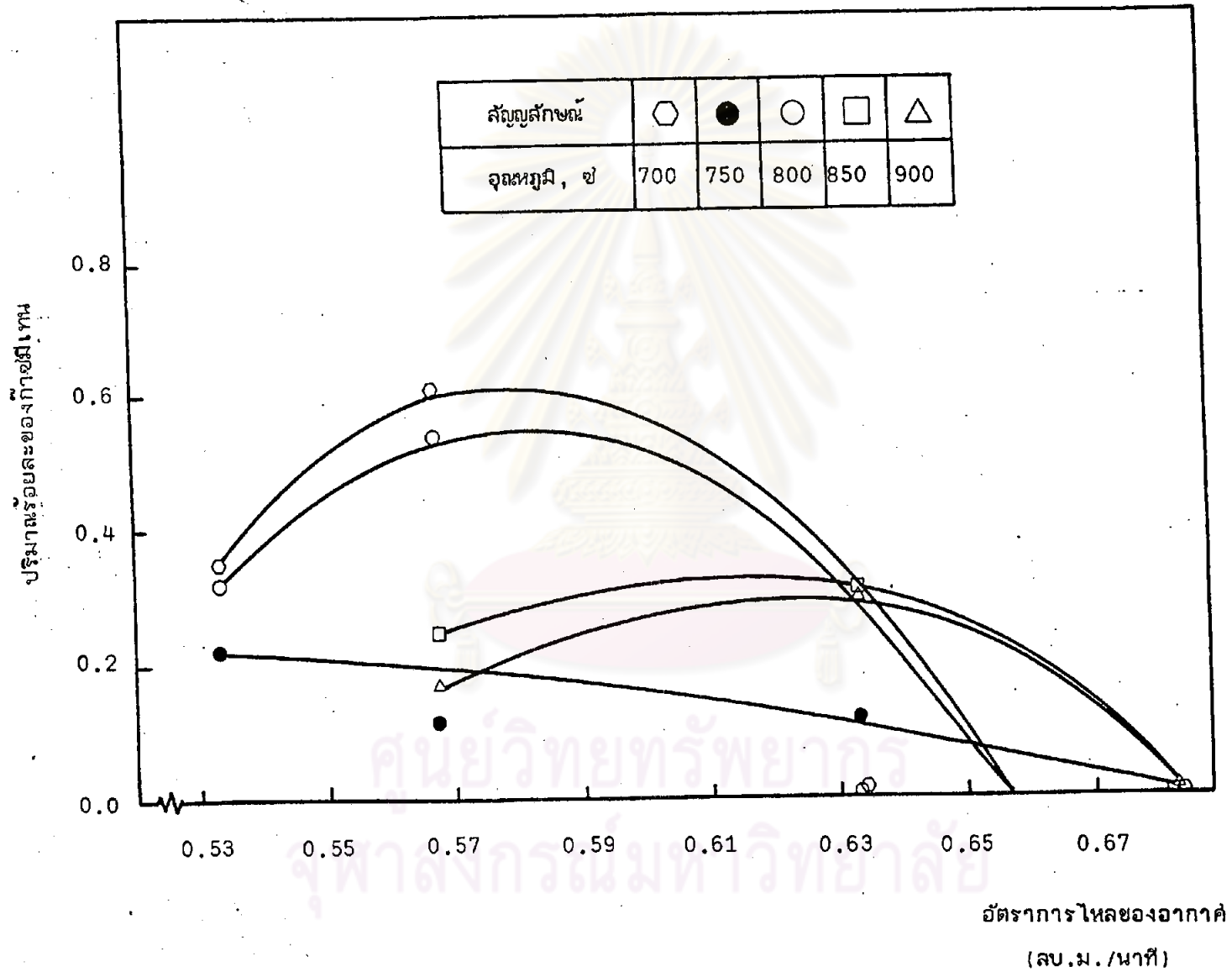
รูปที่ 5-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับปริมาณร้อยละของก๊าซไฮโดรเจน

ปริมาณร้อยละของก๊าซมีเทน



รูปที่ 5-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดหมุ่กับปริมาณร้อยละของก๊าซมีเทน





รูปที่ 5-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศ กับปริมาณร้อยละของก๊าซมีเทน

ตารางที่ 5-8 แสดงปริมาณร้อยละก๊าซออกซิเจนที่มากเกินพอ

อุณหภูมิ (°ซ)	ปริมาณ O ₂ ที่ใช่	ปริมาณ O ₂ ทาง ทฤษฎีเพื่อการเผา ไหม้อย่างสมบูรณ์	ปริมาณร้อยละ O ₂ ที่มากเกินพอ (ร้อยละ)	ER
700	2.95	5.53	46.66	0.53
750	3.11	5.63	44.76	0.55
800	1.61	6.17	73.91	0.26
650	3.42	5.86	41.64	0.58
700	3.16	6.31	49.92	0.50
750	3.14	6.40	50.94	0.49
800	3.46	6.64	47.89	0.52
850	3.49	7.18	51.39	0.47
900	3.35	6.87	51.24	0.49
650	2.54	5.51	53.90	0.46
700	1.05	6.10	82.79	0.17
750	3.71	7.10	47.75	0.52
800	3.74	6.87	45.56	0.54
850	4.14	7.10	43.09	0.60
900	4.04	7.68	47.40	0.53
700	2.91	5.51	47.19	0.53
750	3.04	5.96	48.99	0.51
800	3.60	5.83	38.25	0.62
850	1.66	7.10	76.62	0.23
900	1.51	8.93	83.09	0.17