



บทที่ 4

ผลการทดลอง

การศึกษาแบบจำลองภายในเตาผลิตก๊าซนี้ เป็นการศึกษาถึงการแบ่งแยกไชนและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นตลอดความสูงเบด ดังนั้นสิ่งสำคัญที่ควรทำการศึกษาคือ อุณหภูมิและปริมาณก๊าซต่างๆที่เกิดขึ้น ที่อัตราการป้อนถ่านไม้และความเร็วของอากาศต่างๆกัน นอกเหนือจากการศึกษาเหล่านี้ จะต้องทำการศึกษาหาคุณสมบัติของวัตถุดิบ เพื่อนำมาประกอบการพิจารณาผลการทดลองที่ได้ รายละเอียดของผลการทดลองต่างๆ มีดังต่อไปนี้

4.1 คุณสมบัติของถ่านไม้

ถ่านไม้ที่ใช้เป็นเศษถ่านไม้โกงกวางที่นำมาร่อนให้ได้ขนาด 4-6 มม. เมื่อทำการเผาไหม้แล้วถ่านไม้จะให้ความร้อนและผลิตภัณฑ์อื่นๆเกิดขึ้นหลายชนิด ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของถ่านไม้ที่ใช้ ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของถ่านไม้ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

4.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านไม้ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านไม้แบบแยกธาตุและการวิเคราะห์แบบประมาณ

การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis)		การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis)	
รายการวิเคราะห์	ร้อยละ	รายการวิเคราะห์	ร้อยละ
C	68.18	ความชื้น	4.97
H	3.41	เถ้า	4.31
N	0.29	สารระเหยได้	30.71
O (หาจากค่าแตกต่าง)	18.84	คาร์บอนคงตัว	60.01
ความชื้น	4.97	รวมทั้งหมด	100.00
เถ้า	4.31		
รวมทั้งหมด	100.00		

ค่าความร้อนของถ่านไม้ = 6.23 กิโลแคลอรี/กรัม

4.1.2 ความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไธซ์ของถ่านไม้

จากการทดลองให้อากาศผ่านเบดของถ่านไม้ที่ความสูงเบดค่าหนึ่ง ด้วยอัตราการไหลของอากาศที่ต่างกัน วัดความแตกต่างของความดันของเบดด้วยมานอมิเตอร์ ผลการทดลองดังแสดงในภาคผนวก ข.2 นำผลการทดลองไปเขียนกราฟหาค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไธซ์

จากกราฟรูปที่ ข.2 ได้ค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไธซ์ของถ่านไม้ขนาด 4-6 มม. (ที่ผ่าน screw feeder) แล้วเท่ากับ 74.5 เมตร/นาทิจ หรือ 40.19 ลบ.ม./ชม.

4.2 ผลของตัวแปรที่มีต่ออุณหภูมิและองค์ประกอบก๊าซตลอดความสูงเบด

เนื่องจากการศึกษาถึงสภาวะในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงสำหรับเตาผลิตก๊าซนี้มาแล้วในงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าตัวแปรต่างๆมีความสัมพันธ์กันกล่าวคือ ที่ความสูงเบดค่าหนึ่งจะมีช่วงของอัตราการป้อนถ่านไม้และอากาศที่เหมาะสมช่วงหนึ่งเท่านั้น ในการทดลองนี้จึงใช้ค่าความสูงเบดคงที่ที่ 50 ซม. อุณหภูมิเบดอยู่ในช่วง 850-1100 °ซ ตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือ อัตราการป้อนถ่านไม้ 100-260 กรัม/นาทิจ อัตราการป้อนอากาศ 0.28-0.36 ลบ.ม./นาทิจ การทดลองได้เริ่มจากการอุ่นเตาให้แก้อุณหภูมิประมาณ 600 °ซ จากนั้นป้อนถ่านไม้และอากาศเข้าสู่เตา ปรับแต่งให้ค่าทั้งสองสัมพันธ์กันจนอุณหภูมิเบดประมาณ 1000 °ซ แล้วจึงค่อยๆปรับค่าอัตราการไหลเข้าของอากาศตามที่ต้องการ จนระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ทำการบันทึกอุณหภูมิเบดจากนั้นดึงตัวอย่างก๊าซด้วยเครื่องสุญญากาศและวัดอุณหภูมิภายในเตาที่ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ 5, 10, 15, 20, 30, 40 และ 50 ซม.

ผลการทดลองของตัวแปรต่างๆมีดังต่อไปนี้

4.2.1 อัตราการไหลของอากาศ

การทดลองจะทำการแปรค่าอัตราการไหลของอากาศ โดยให้อัตราการป้อนถ่านไม้คงที่ เพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณอากาศที่มีต่ออุณหภูมิและองค์ประกอบก๊าซที่ตำแหน่งต่างๆ

ผลการทดลองที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 100 กรัม/นาทิจ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1-4.4

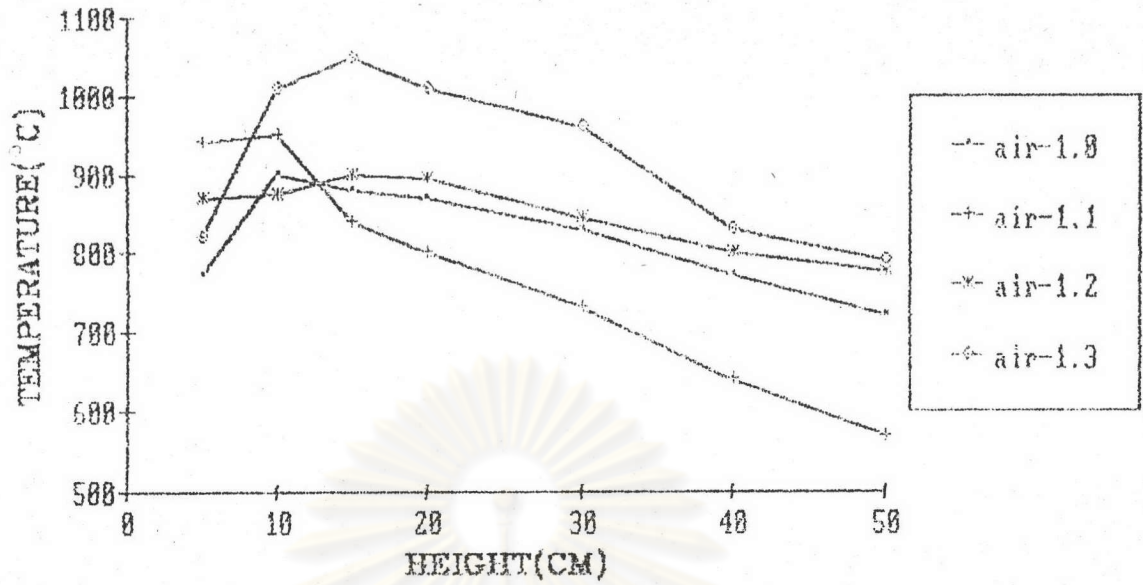
ผลการทดลองที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 180 กรัม/นาทิจ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5-4.8

ผลการทดลองที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 260 กรัม/นาทิจ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.9-4.12

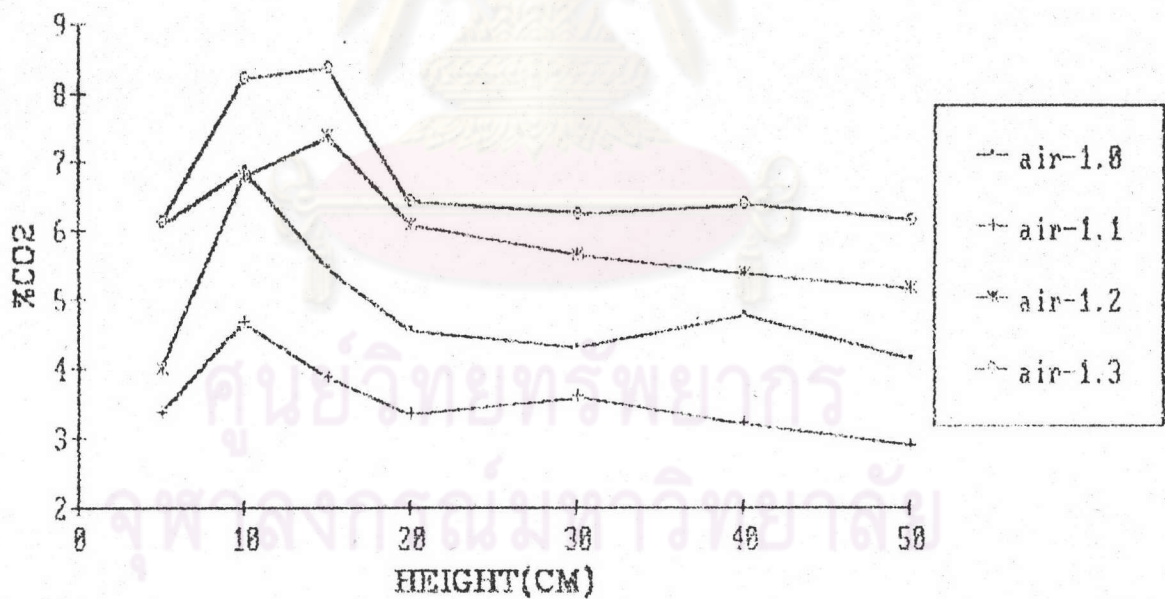
ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณก๊าซต่างๆที่เกิดขึ้นและอุณหภูมิที่แต่ละความสูงของเตาผลิตก๊าซ ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 100 กรัม/นาที

Run No.	Air flow rate		(°C)		Height (cm)	Temp. (°C)	% CO	% CO ₂	% O ₂
	m ³ /min	U*/Umf	Td	Tw					
1	0.2776	0.89	31	24	5	770	8.46	6.06	14.39
					10	900	5.91	6.89	13.07
					15	880	6.67	5.45	12.28
					20	870	8.81	4.54	12.01
					30	830	9.31	4.29	12.50
					40	770	9.42	4.76	11.48
					50	720	11.97	4.12	10.56
2	0.2905	0.94	33	27	5	940	5.49	3.36	15.88
					10	950	4.13	4.65	13.45
					15	840	9.84	3.87	12.59
					20	800	10.87	3.35	11.67
					30	730	11.72	3.59	11.01
					40	640	12.22	3.20	10.55
					50	570	14.52	2.89	9.90
3	0.3034	0.98	34	28	5	870	6.10	3.97	16.85
					10	875	5.44	6.78	14.33
					15	900	4.01	7.36	13.91
					20	895	6.49	6.08	11.82
					30	845	7.55	5.64	11.64
					40	800	8.87	5.37	11.23
					50	775	10.53	5.15	10.86
4	0.3162	1.02	33	24	5	820	9.15	6.11	14.51
					10	1010	5.41	8.22	14.05
					15	1050	3.65	8.38	18.84
					20	1010	3.86	6.42	13.43
					30	960	4.41	6.24	12.87
					40	830	5.66	6.38	12.26
					50	790	6.46	6.14	12.05

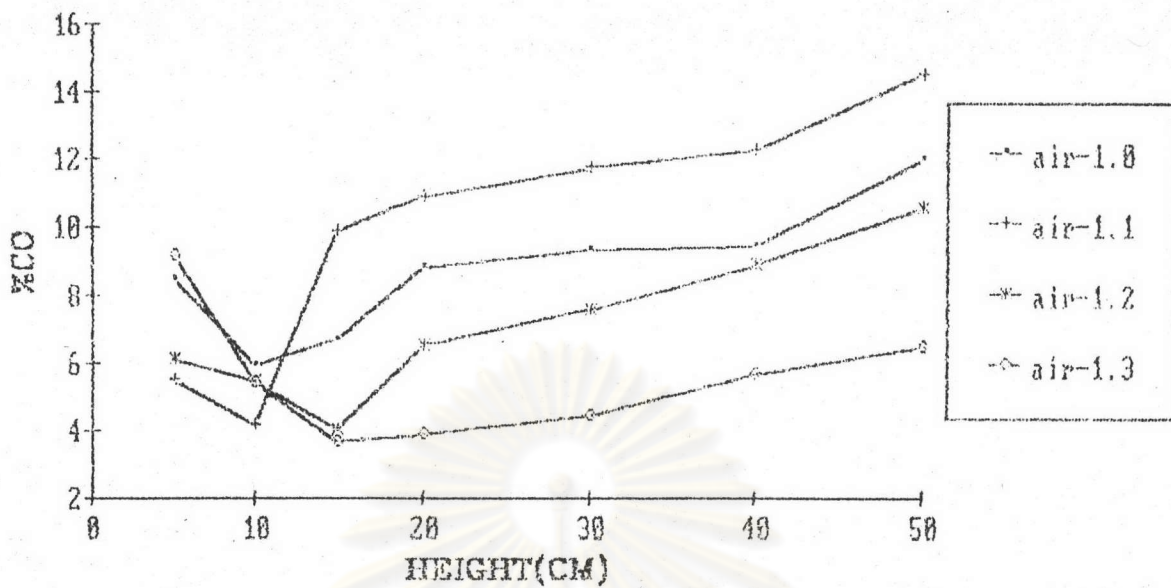
หมายเหตุ U* = ความเร็วลมที่ป้อนเข้าสู่เตา พิจารณาที่อุณหภูมิ 1000 °C ($V_1/T_1 = V_2/T_2$)



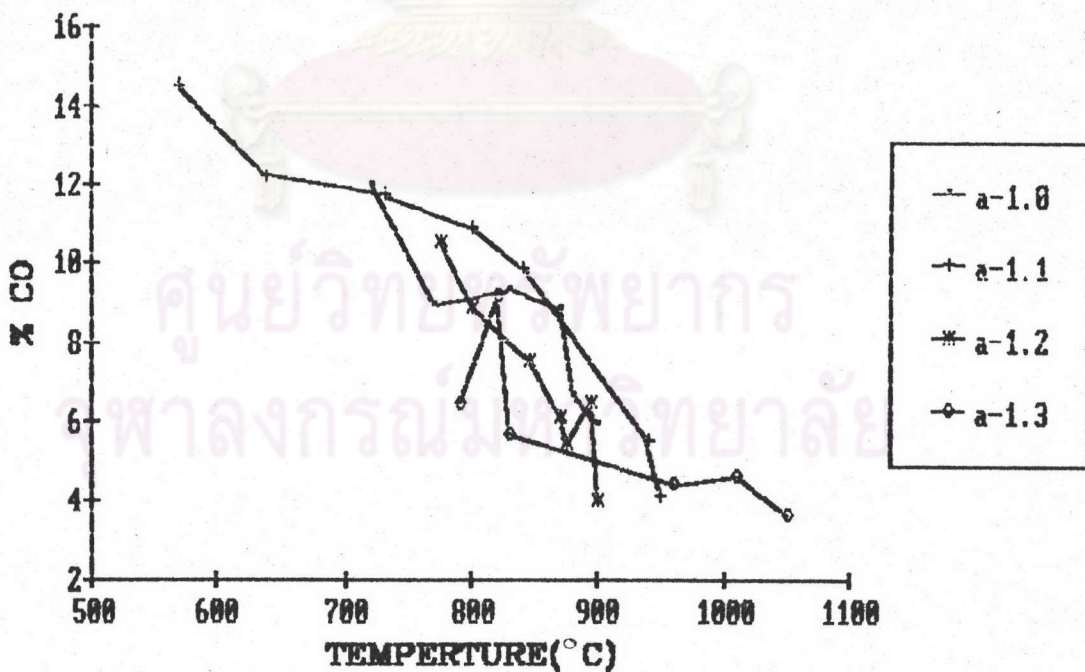
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 100 กรัมต่อนาที



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO₂ กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 100 กรัมต่อนาที



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 100 กรัมต่อนาที

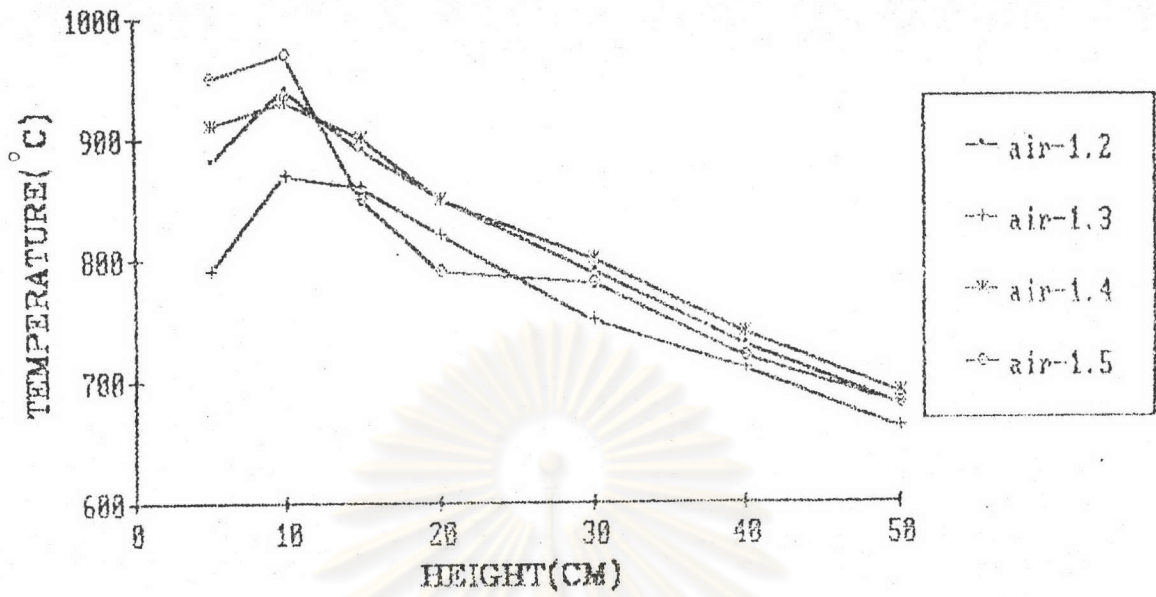


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO กับ อุณหภูมิ ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 100 กรัมต่อนาที

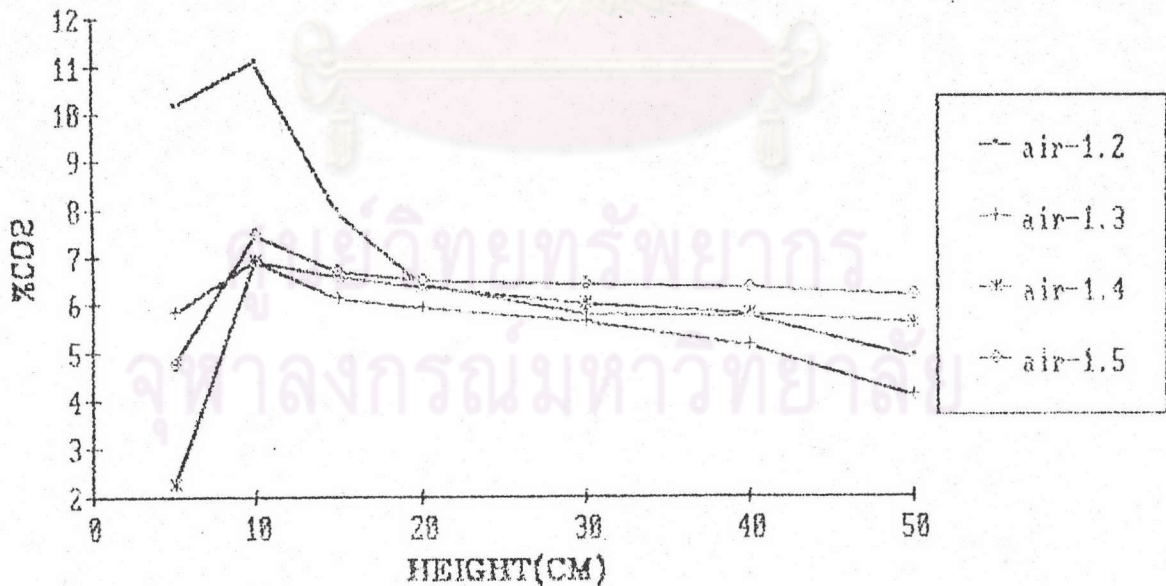
ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณก๊าซต่างๆที่เกิดขึ้นและอุณหภูมิที่แต่ละความสูงของเตาผลิตก๊าซ ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 180 กรัม/นาที

Run No.	Air flow rate		(°C)		Height (cm)	Temp. (°C)	% CO	% CO ₂	% O ₂
	m ³ /min	U*/Umf	Td	Tw					
1	0.3034	0.98	33	27	5	880	9.32	10.13	12.25
					10	940	6.47	11.08	10.89
					15	890	6.34	7.93	11.35
					20	850	6.89	6.43	12.63
					30	790	7.57	5.79	11.69
					40	730	7.66	5.73	11.23
					50	680	8.21	4.88	11.44
2	0.3162	1.02	32	27	5	790	9.64	5.82	15.83
					10	870	4.70	6.91	13.68
					15	860	6.19	6.12	12.75
					20	820	7.06	5.93	12.29
					30	750	8.31	5.63	11.88
					40	710	9.79	5.14	11.37
					50	660	10.54	4.09	10.89
3	0.3291	1.06	32	28	5	910	9.07	2.25	14.65
					10	930	7.97	6.91	12.80
					15	900	8.12	6.59	12.82
					20	850	9.53	6.36	12.29
					30	800	9.98	6.01	11.79
					40	740	10.11	5.78	10.93
					50	690	10.39	5.58	10.24
4	0.3420	1.10	32.5	27	5	1070	6.94	4.75	15.38
					10	970	5.15	7.46	14.65
					15	850	6.17	6.69	13.30
					20	790	7.87	6.50	12.72
					30	780	8.09	6.42	11.91
					40	720	10.82	6.34	11.26
					50	680	11.69	6.18	10.78

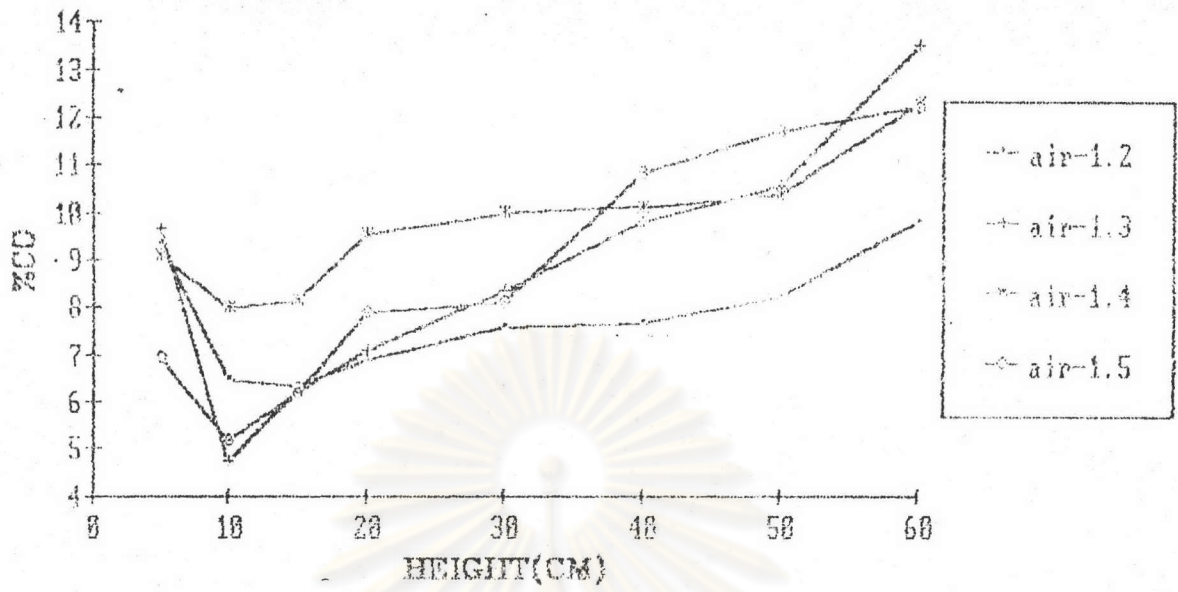
หมายเหตุ U* = ความเร็วลมที่ป้อนเข้าสู่เตา พิจารณาที่อุณหภูมิ 1000 °ซ ($V_1/T_1 = V_2/T_2$)



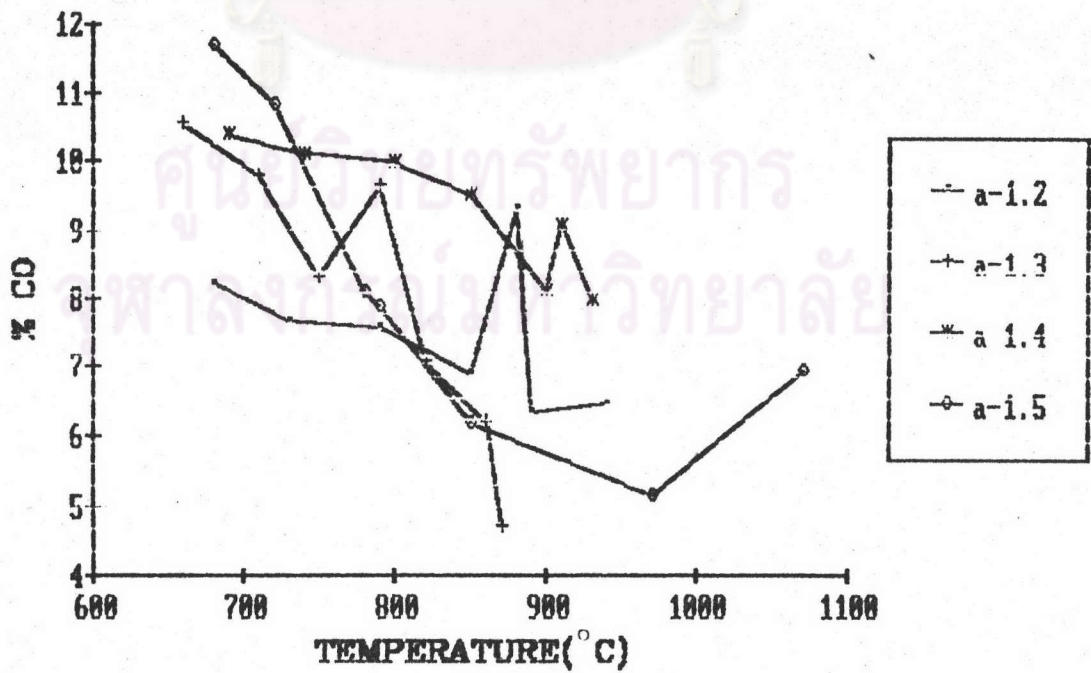
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 180 กรัมต่อนาที



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO2 กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 180 กรัมต่อนาที



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 180 กรัมต่อนาที

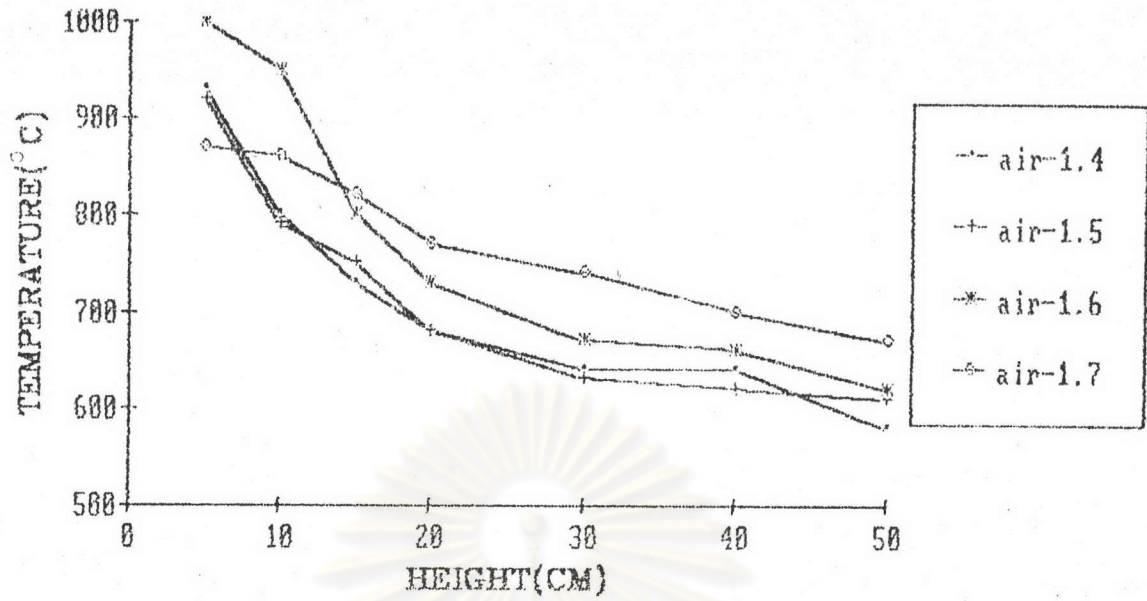


รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO กับ อุณหภูมิ ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 180 กรัมต่อนาที

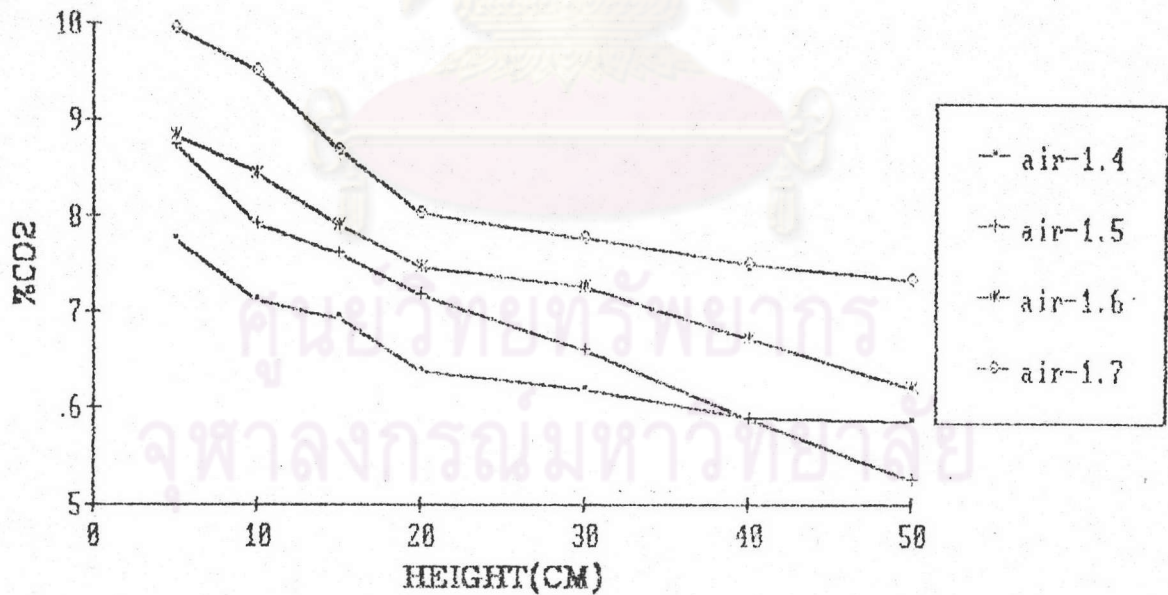
ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณก๊าซต่างๆที่เกิดขึ้นและอุณหภูมิที่แต่ละความสูงของเตาผลิตก๊าซ ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 260 กรัม/นาที

Run No.	Air flow rate		(°C)		Height (cm)	Temp. (°C)	% CO	% CO ₂	% O ₂
	m ³ /min	U*/Umf	Td	Tw					
1	0.3291	1.06	34	27	5	930	5.75	7.75	14.92
					10	800	7.43	7.12	14.80
					15	730	7.86	6.93	13.86
					20	680	8.57	6.37	13.68
					30	640	8.67	6.18	12.98
					40	640	9.09	5.89	12.20
					50	580	10.05	5.85	11.24
2	0.3420	1.10	30	26.5	5	920	5.86	8.74	14.69
					10	790	7.87	7.92	13.16
					15	750	8.45	7.60	12.93
					20	680	9.54	7.17	12.53
					30	630	10.02	6.59	11.17
					40	620	11.81	5.88	9.39
					50	610	12.29	5.25	8.32
3	0.3535	1.14	33	27	5	1000	6.17	8.83	14.84
					10	950	6.96	8.44	13.88
					15	800	7.23	7.90	13.53
					20	730	7.78	7.46	12.67
					30	670	8.42	7.25	12.14
					40	660	9.07	6.71	11.23
					50	620	9.85	6.19	10.77
4	0.3649	1.18	31	25	5	870	5.28	9.95	14.86
					10	860	6.29	9.51	13.69
					15	820	7.74	8.69	12.31
					20	770	8.43	8.03	11.92
					30	740	8.72	7.76	11.35
					40	700	9.68	7.49	10.51
					50	670	10.19	7.32	10.07

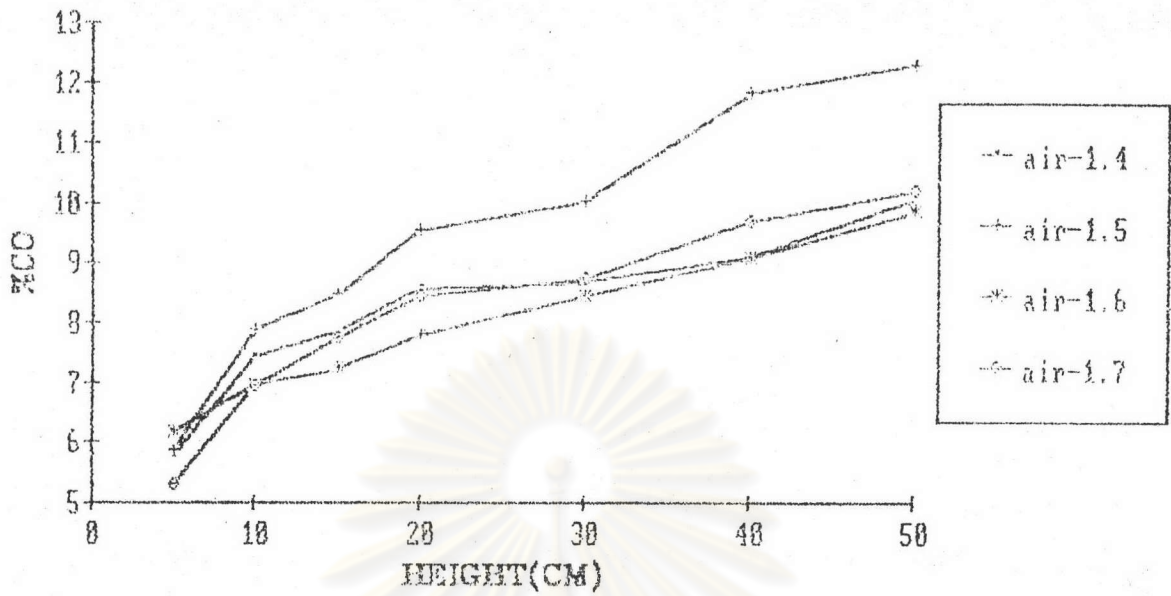
หมายเหตุ U* = ความเร็วลมที่ป้อนเข้าสู่เตา พิจารณาที่อุณหภูมิ 1000 °ซ ($V_1/T_1 = V_2/T_2$)



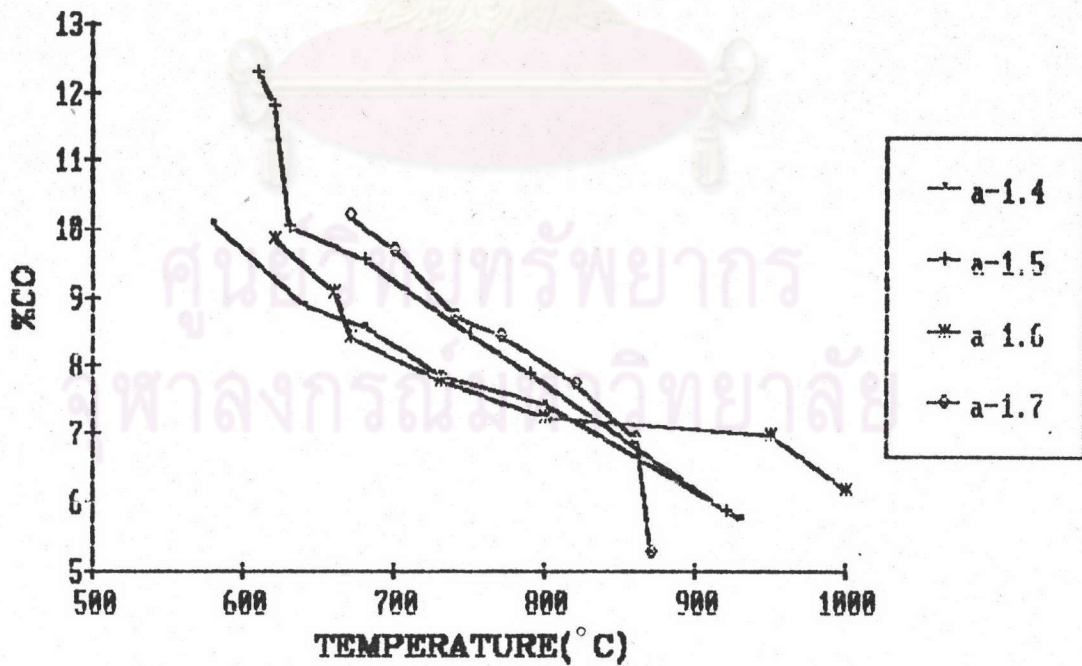
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 260 กรัมต่อนาที



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO₂ กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 260 กรัมต่อนาที



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 260 กรัมต่อนาที



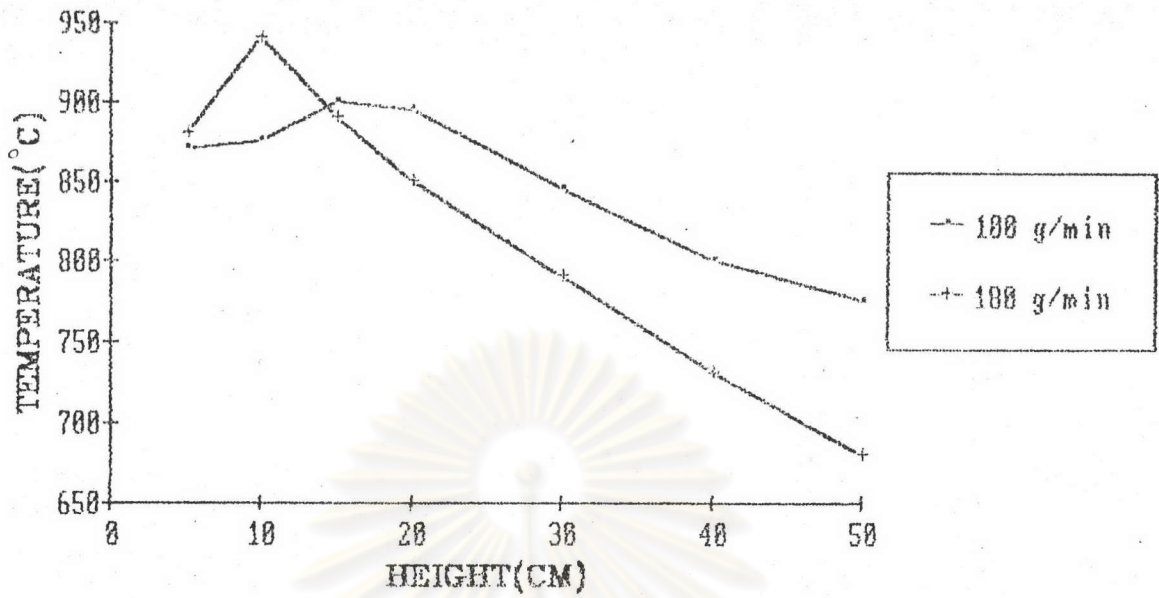
รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO กับ อุณหภูมิ ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 260 กรัมต่อนาที

4.2.2 อัตราการป้อนอากาศ

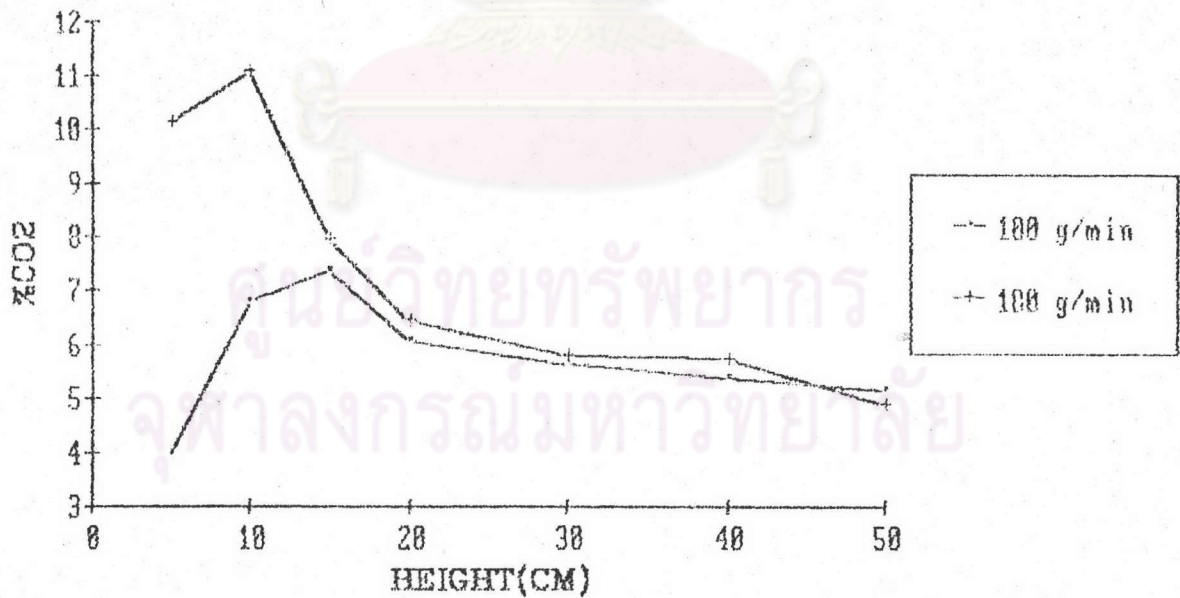
เนื่องจากข้อจำกัดของอัตราการไหลเข้าของอากาศที่มีต่ออัตราการป้อนถ่านไม้และความสูงเบดกล่าวคือ ที่ความสูงเบดคงที่และอัตราการป้อนถ่านไม้ค่าหนึ่ง จะมีอัตราการไหลเข้าของอากาศอยู่ในช่วงหนึ่งเท่านั้นที่จะทำให้เกิดการ Gasification ได้อย่างเสถียรภาพ เมื่อเปลี่ยนอัตราการป้อนถ่าน ช่วงของอัตราการไหลเข้าอากาศจึงต้องเปลี่ยนแปลงด้วยการทดลองที่อัตราการไหลเข้าของอากาศคงที่ จึงแปรค่าอัตราการป้อนถ่านได้ไม่มากนัก

- 4.2.2.1 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ ๑.3๑ ลบ.ม./นาที นำผลการทดลองที่ 3 จากตารางที่ 4.2 และผลการทดลองที่ 1 จากตารางที่ 4.3 มาหาความสัมพันธ์ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.13-4.15
- 4.2.2.2 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ ๑.32 ลบ.ม./นาที นำผลการทดลองที่ 4 จากตารางที่ 4.2 และผลการทดลองที่ 2 จากตารางที่ 4.3 มาหาความสัมพันธ์ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.16-4.18
- 4.2.2.3 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ ๑.33 ลบ.ม./นาที นำผลการทดลองที่ 3 จากตารางที่ 4.3 และผลการทดลองที่ 1 จากตารางที่ 4.4 มาหาความสัมพันธ์ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.19-4.21
- 4.2.2.4 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ ๑.34 ลบ.ม./นาที นำผลการทดลองที่ 4 จากตารางที่ 4.3 และผลการทดลองที่ 2 จากตารางที่ 4.4 มาหาความสัมพันธ์ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.22-4.24

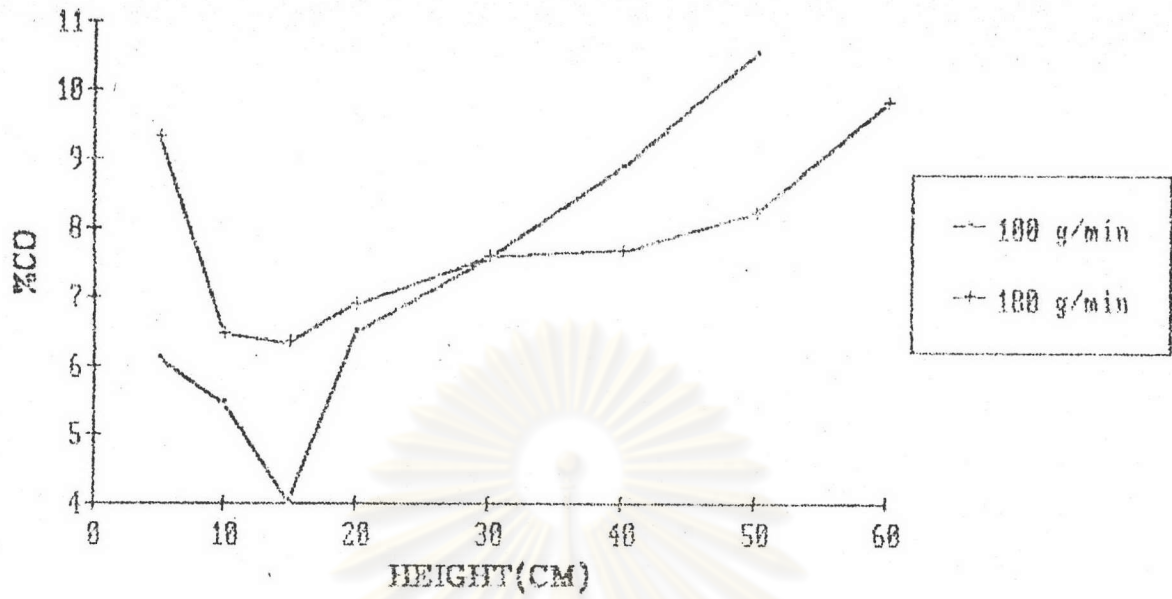
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.30 ลบ.ม.ต่อนาที

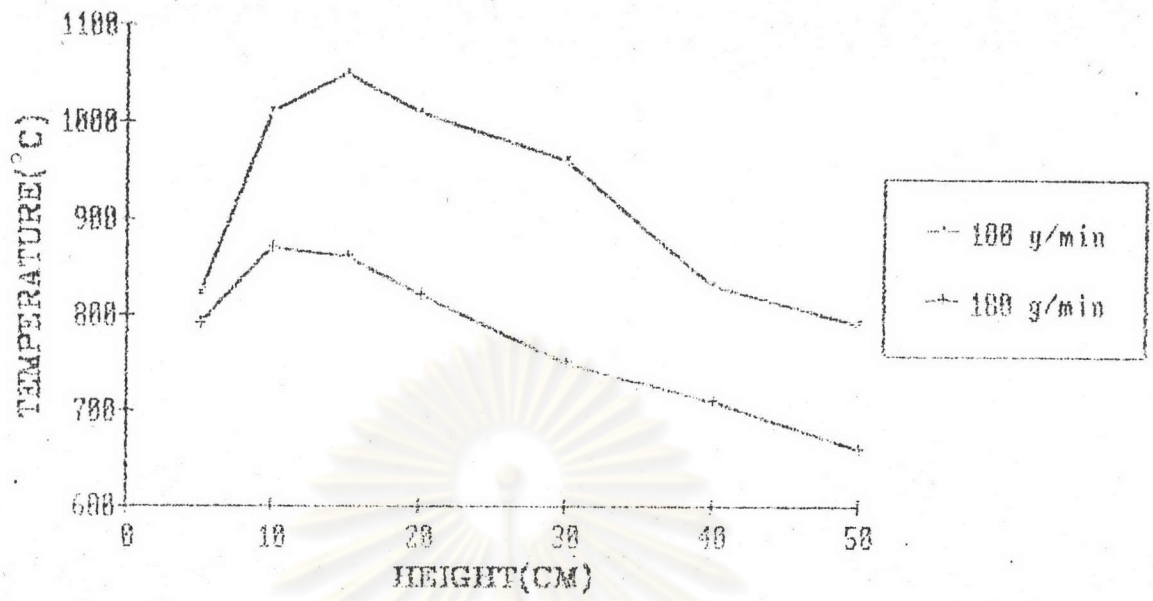


รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO₂ กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.30 ลบ.ม.ต่อนาที

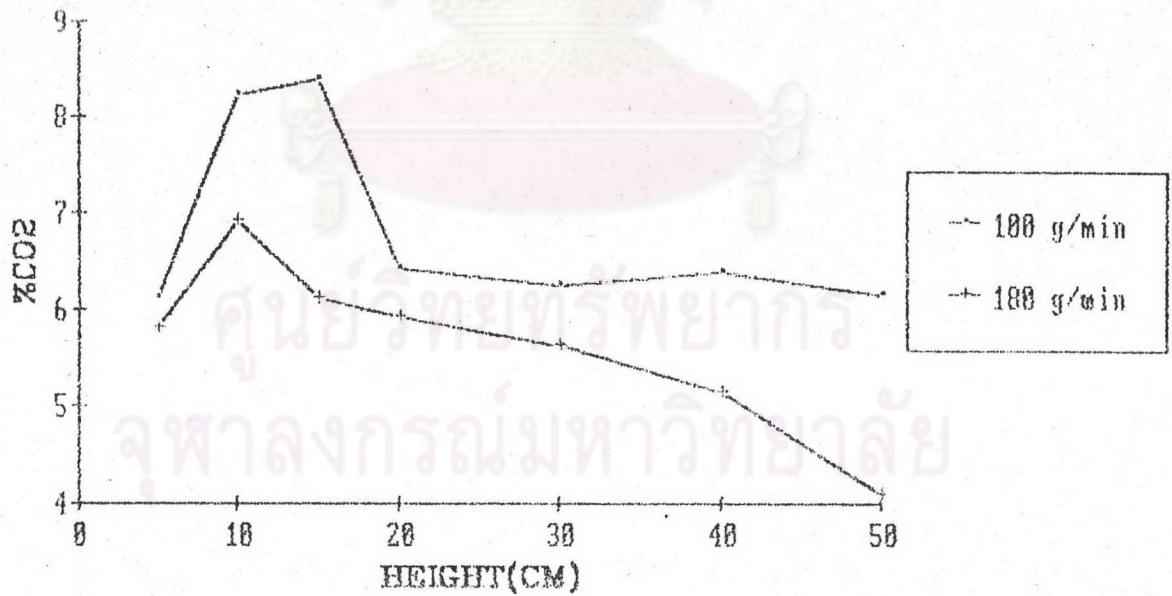


รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ
ที่อัตราการไหลของอากาศ ๑.๓๑ ลบ.ม.ต่อนาที

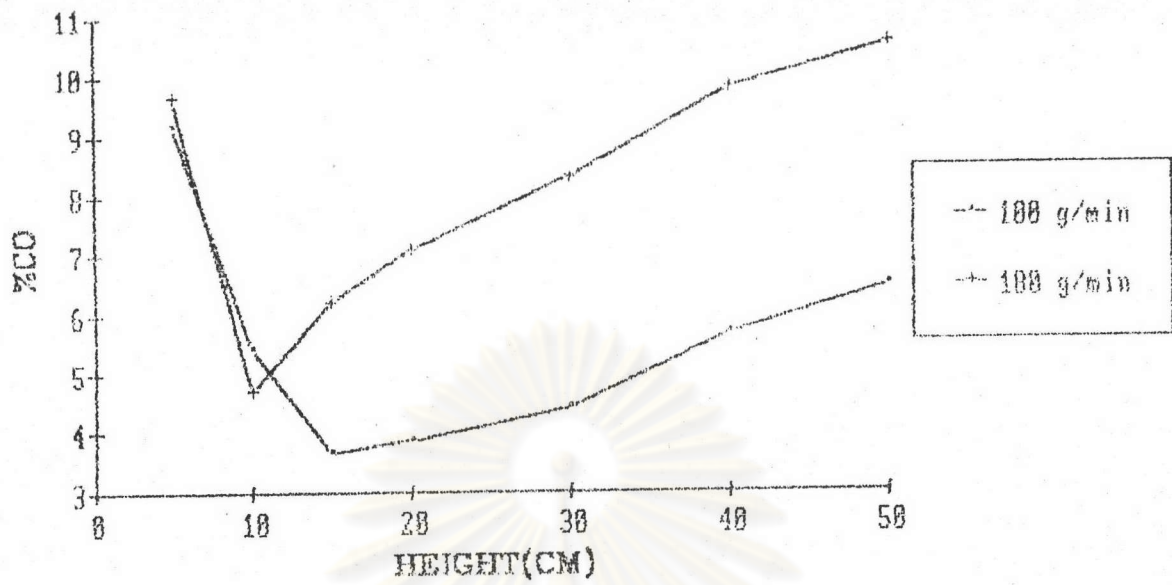
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.32 ลบ.ม.ต่อนาที

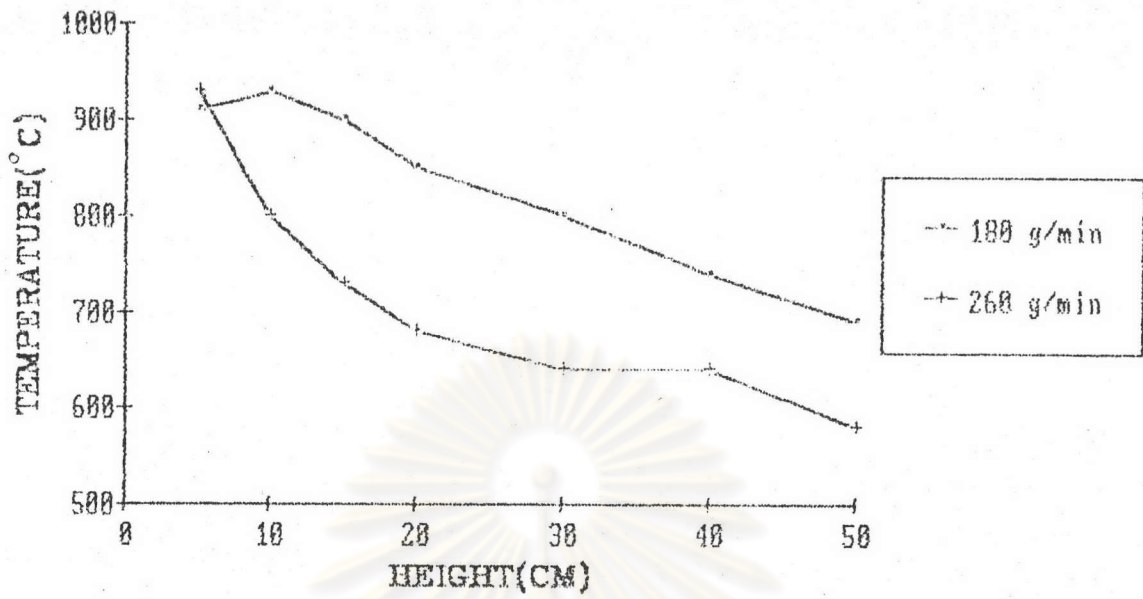


รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO₂ กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.32 ลบ.ม.ต่อนาที

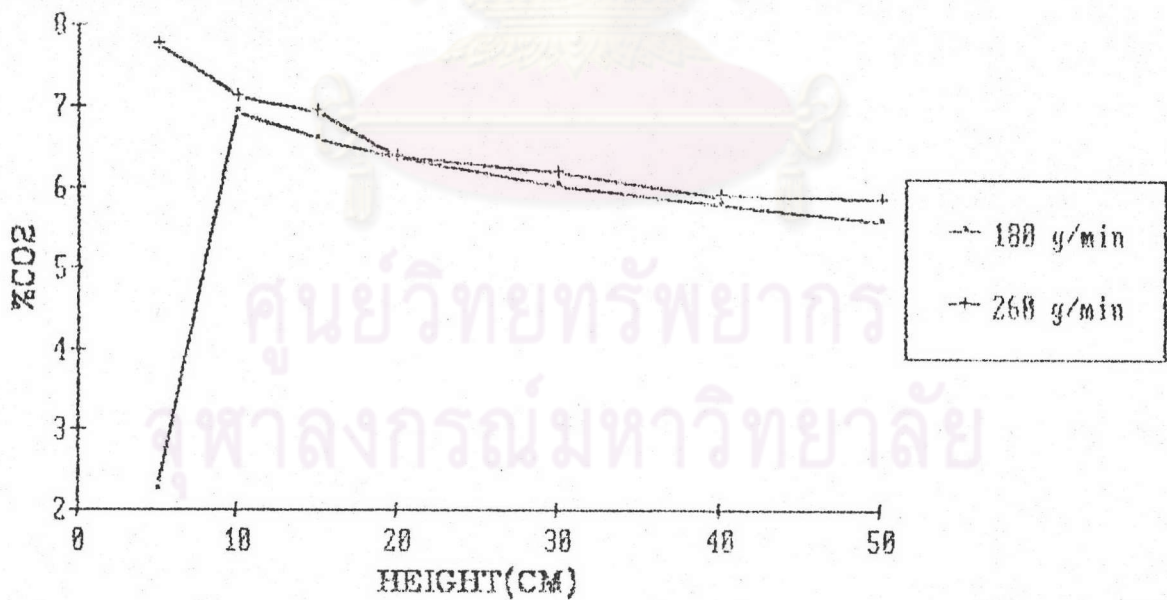


รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.32 ลบ.ม.ต่อนาที

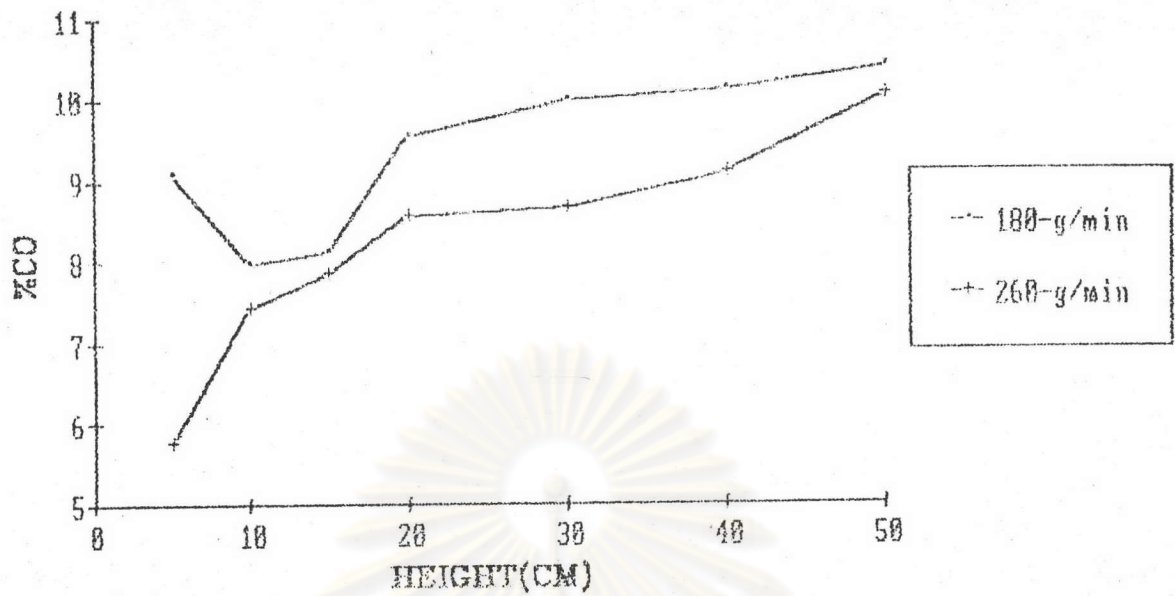
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.33 ลบ.ม.ต่อนาที

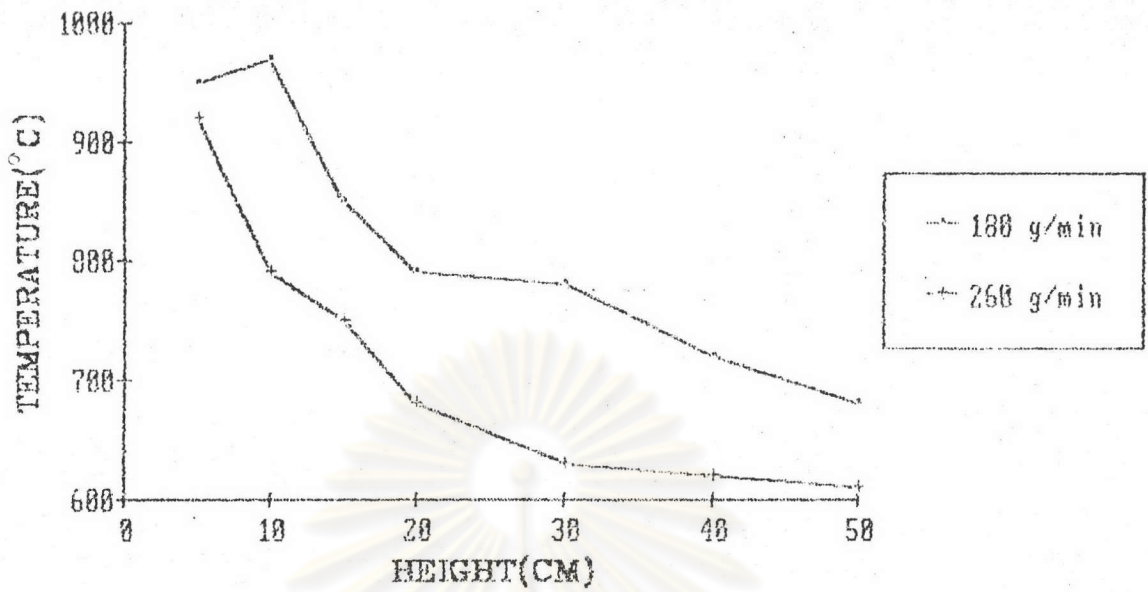


รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO₂ กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.33 ลบ.ม.ต่อนาที

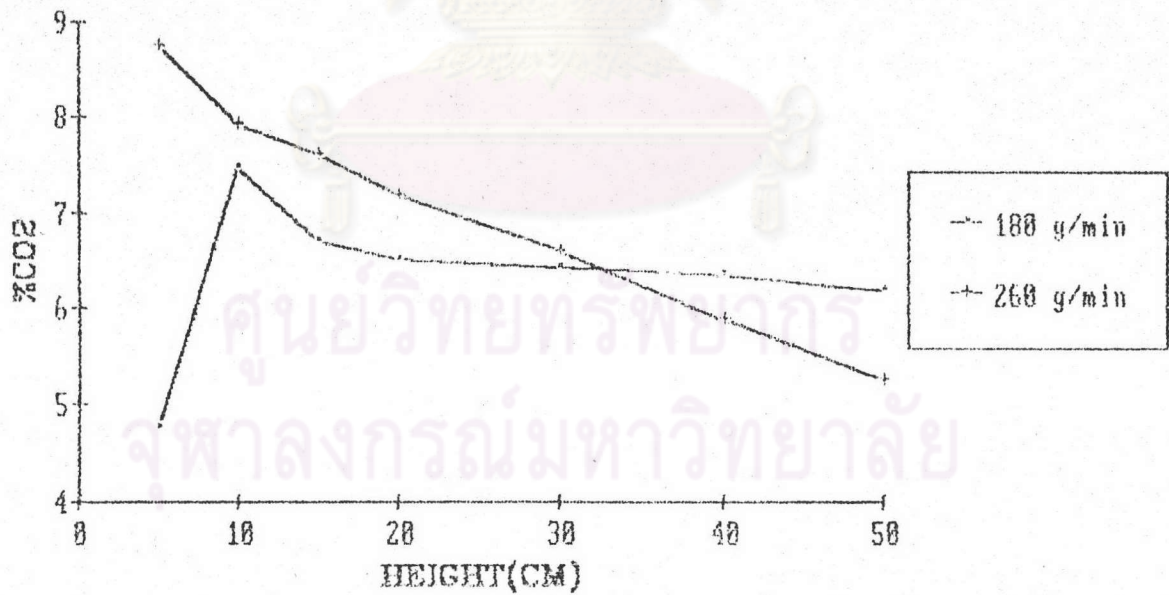


รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.33 ลบ.ม.ต่อนาที

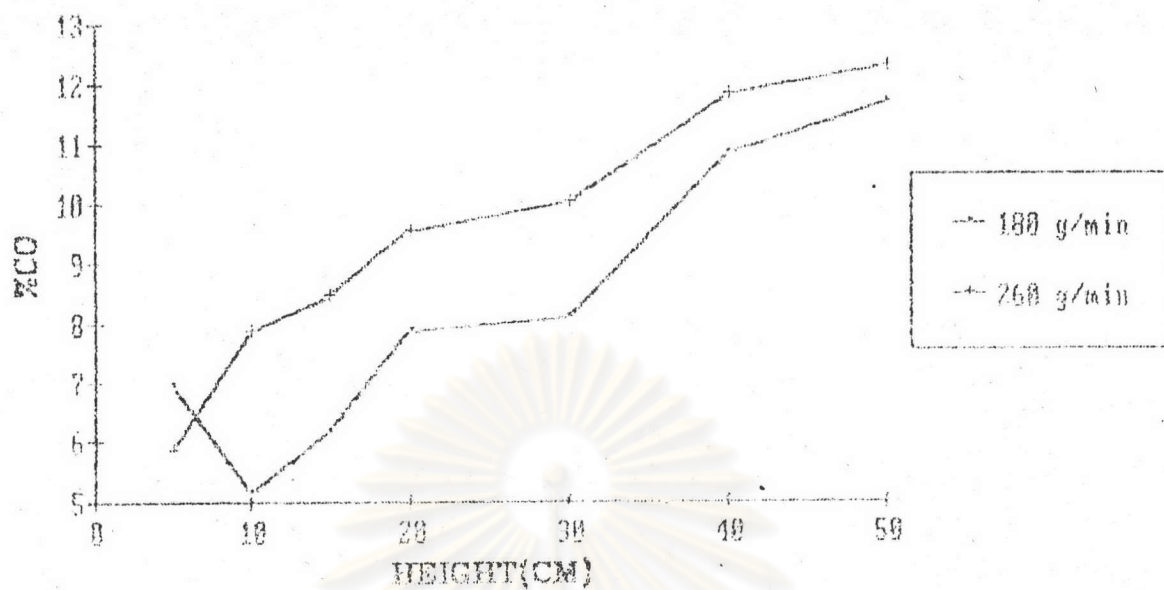
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.34 ลบ.ม.ต่อนาที



รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO₂ กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.34 ลบ.ม.ต่อนาที



รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO กับ ความสูงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.34 ลบ.ม.ต่อนาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย