

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. รายงานประจำปี 2534. กรุงเทพฯ, 2534.
- ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ. การใช้ประโยชน์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในก๊าซธรรมชาติ.
วิศวกรรมสาร 4 (สิงหาคม 2527): 77-80.
- นครินทร์ สุรพงศ์ประภา การควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ในฟลูอิดไคซ์เบดของปฏิกิริยา
รีฟอร์มมิงแอลกอฮอล์ด้วยไอน้ำ, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533.
- บุษบา แซ่ลิ้ม. แก๊สธรรมชาติพลังงานอนาคตของอุตสาหกรรมไทย เทคนิค: เครื่องกลไฟฟ้า
อุตสาหกรรม (สิงหาคม 2531): 62-68.
- วันชัย ริมวิทยากร. เศรษฐศาสตร์พลังงาน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง,
2527.
- วิจิตร คงพล. พลังงานกับชีวิต. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2524.
- วิทยา เรืองพรวิสุทธิ์ คະຕະໂລໂສໂບຍແບບເອກເທອໂຣຈີເນຍສ ທີ່ ສຳຄັນ ແລະ ການປະຍຸກ
กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.
- สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ ฟลูอิดไดเซชัน กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.
- สุนิ ณิชธารสิทธิ์. คู่มือหลักสูตรเข้มข้นการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography.
กรุงเทพฯ: ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
2534.

ภาษาอังกฤษ

- Aker, W.W. and Camp, D.P. Kinetics of the methane-steam reaction. AICHE.J., (Vol.1), 1955: 471-475.
- Bond, G.C. Heterogeneous catalysis: Principles and Application. (2nd ed.) Oxford: Clarendon Press, 1987.
- Slessor, M. Energy in the Economy. London: The Mcmillan Press Ltd., 1978.
- Dwyer, J.B. et al. Reforming for Gaseous Hydrocarbons. U.S. Pat 3, 132, 010, May 5, 1964.
- Gadalla, A.M. and Bower, B. The role of catalyst support on the activity of nickel for reforming methane with CO₂. Chemical Engineering Science 43(11), 1988: 3049-3062.
- Gerhard, E.R., Allen, D.W., and Likins, M.R., Jr. Kinetics of the methane-steam reaction. Ind. Eng. Chem., Process Des. Dev. 14(3), 1975: 256-259.
- Goff, S.P. and Wang, S.I. Syngas production by reforming. Chemical Engineering Progress (August 1987): 46-53.
- Hatch, L.F. and Matar, S. From hydrocarbons to petrochemicals. Texas: Gulf Publishing Company, 1981.
- Hawk, C.O., Golden, P.L., Storch H.H., and Freidner, A.C. Conversion of methane to carbon monoxide and hydrogen. Industrial and Engineering Chemistry 24(1), 1934: 23-27.
- Kemall, C. et al. Catalysis. (Vol.3) London: The Chemical Society Burlington House, 1980.
- Kirk-Othmer. Encyclopedia of Chemical Technology. Vol.4 (3rd ed.) USA: A Wiley-Interscience Publication, 1978.

- Kuhre, C.J. and Shearer, C.J. Syn gas from heavy fuel. Hydrocarbon Processing, 59(12), (December 1971): 113-117.
- Kunii, D. and Levenspiel, O. Fluidization Engineering. NY: Robert E.Krieger Publishing Company, 1976.
- Kunugita, E. et al. Production of Synthesis gas from Carbon Dioxide. World Congress III of Chemical Engineering I Japan, 1986.
- Lebedev, N.N. Chemistry and technology of basic organic and petrochemical synthesis. (Vol. 1) Moscow: MIR Publishers, 1981.
- Levenspiel, O. Chemical Reaction Engineering. (2nd ed.) New Delhi: Wiley Eastern Limited, 1984.
- Murray, A.P. and Synder, T.S. Steam-methane reformer kinetic computer model with heat transfer and geometry options. Ind. Eng. Chem. Process. Res. Dev., (Vol.24), 1985: 268-294.
- Norton. Catalyst Carriers Technical Information, USA, n.d.
- Noyes, R. Ammonia and Synthesis Gas. NJ: Noyes, 1967.
- Reed, C.L. and Kuhre, C.J. Make syn gas by partial oxidation. Hydrocarbon Processing 58(9), 1979: 191.
- Reitmeier R.E., Atwood K., Bennett, H.A., Jr., and Baugh, H.M. Production of synthesis gas by reacting light hydrocarbons with steam and carbon dioxide. Industrial and Engineering Chemistry 40(4), (April 1984): 620-626.
- Resnick, W. Process Analysis and Design for Chemical Engineering. USA: McGraw Hill Book Co., 1981.
- Ross, J.R.H. and Steel, M.C.F. Mechanism of the steam reforming of methane over a coprecipitated nickel-alumina catalyst. J. Chem. Soc. Faraday Trans. 1 (Vol. 69) 1973: 10-21.

- Rostrup-Nielsen, J.R. Activity of nickel catalysts for steam reforming of hydrocarbons. Journal of Catalyst (Vol.31), 1973: 173-199.
- _____. Catalytic Steam Reforming. Berlin: Springer-Verlag, 1984.
- _____. Steam Reforming Catalysis. Copenhagen: Danish Technical Press, 1975.
- Satayaprasert, C. Synthesis gas production from CO₂ and CH₄. Proceeding of Regional Symposium on Petrochemical Technology Chulalongkorn University, Thailand, 1987.
- Satterfield, C.N. Heterogeneous Catalysis in Practice. NY: McGraw Hill, 1980.
- Seifrita, W. Industrial utilization of hydrogen. Introduction to Hydrogen Energy. Caracas: IAHE-fuel, 1975.
- Sheldon R.A. Chemical from Synthesis Gas. D. Reidel Publishing, 1983.
- Shukla, S.D. and Pandey G.N. A Text Book of Chemical Technology (Inorganic). New Delhi: Vikas Publishing House PUT Ltd., 1977.
- Sigov, S.A. and Abdullaeva, U.A. Reforming Natural Gas with Carbon dioxide. n.p.: Zh., Khim., 1970.
- Smith, J.M. and Ness, H.C.V. Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics. (3rd ed.) Tokyo: Mc Graw Hill Kogakusha, 1975.
- Smith, J.M. Chemical Engineering Kinetics. (2nd ed.) Tokyo: McGraw Hill Book Company, 1970.
- Tomoyuki, I. Catalyst Engineering and Natural Gas Utilization. Paper presented at Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand, (October 15-17), 1985.
- Trim, D.L. Design of Industrial Catalyst. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1980.
- United Catalysis Inc. Technical Information. KT: Louisville, n.d.

- Vitidsant, T. Reformage Du Catalytique Du Methane A La Vapeur En Lit Fluidise: Etude Linetique Et Modelisation Du Reacteur. These De Doctorat De L'INPT, 1988.
- Volkel H.K., Chemical Industrial 31 n.p., 1979
- Walas, S.M. Reaction Kinetics for Chemical Engineers. London: McGraw Hill Book Co., 1959.
- William F.B. and Robert L.D. Steam-methane reforming. Petroleum Processing Handbook NY: McGraw Hill Book Company, 1967.
- Wolfe Catalyst Handbook. London: Wolfe Scientific Books, 1970: 64-96.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 แสดงข้อมูลอิทธิพลของอัตราส่วนของไอน้ำต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทนที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส $U/U_{mf}=2.5$ ตัวเร่งปฏิกิริยา 550 กรัมและให้ไอน้ำมีปริมาณเป็น 4 เท่าของปริมาณมีเทน

การทดลองที่	อัตราส่วนสารตั้งต้น CO ₂ /CH ₄	ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซ็นต์)				อัตราส่วน H ₂ /CO
		CH ₄	CO ₂	H ₂	CO	
1	0.6	0.00	10.36	73.86	15.78	4.68
2	0.8	0.00	13.84	70.30	15.86	4.43
3	1.0	0.00	16.37	68.04	15.59	4.42
4	2.0	0.00	21.34	62.13	16.33	3.80
5	3.0	0.00	23.99	52.59	23.42	2.25

ตารางที่ ก.2 แสดงข้อมูลอิทธิพลของอัตราส่วนของไอน้ำต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทนที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส $U/U_{mf}=2.5$ ตัวเร่งปฏิกิริยา 550 กรัมและให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณเป็น 4 เท่าของปริมาณมีเทน

การทดลองที่	อัตราส่วนสารตั้งต้น H ₂ O/CH ₄	ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซ็นต์)				อัตราส่วน H ₂ /CO
		CH ₄	CO ₂	H ₂	CO	
6	0.6	0.64	15.61	39.86	43.89	0.91
7	0.8	0.53	16.49	43.01	39.97	1.08
8	1.0	0.43	16.42	44.84	38.31	1.17
9	2.0	0.30	18.44	50.63	30.63	1.65
10	3.0	0.00	19.81	55.26	24.93	2.22

ตารางที่ ก.3 แสดงข้อมูลอิทธิพลของอุณหภูมิที่ $U/U_{mf}=2.5$ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส
ตัวเร่งปฏิกิริยา 550 กรัมและให้ไอน้ำมีปริมาณ 4 เท่าของปริมาณมีเทน

การทดลองที่	อัตราส่วน CO ₂ /CH ₄	T (°C)	ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซ็นต์)				อัตราส่วน H ₂ /CO
			CH ₄	CO ₂	H ₂	CO	
11	0.6	650	3.64	5.44	80.13	10.79	7.43
12	0.6	700	0.00	10.36	73.86	15.78	4.68
13	0.6	750	0.00	8.84	73.45	17.71	4.15
14	0.6	800	0.09	9.85	71.70	18.36	3.91
15	0.8	650	4.63	15.09	69.13	11.15	6.20
16	0.8	700	0.00	13.84	70.30	15.86	4.43
17	0.8	750	0.00	10.68	71.36	17.96	3.97
18	0.8	800	0.00	12.92	68.73	18.35	3.75
19	1.0	650	4.48	16.98	66.00	12.54	5.26
20	1.0	700	0.00	16.37	68.04	15.59	4.36
21	1.0	750	0.00	10.27	71.01	18.72	3.79
22	1.0	800	0.00	8.04	72.17	19.79	3.65
23	2.0	650	3.39	23.41	58.17	15.03	3.87
24	2.0	700	0.00	21.54	62.13	16.33	3.80
25	2.0	750	0.00	17.60	62.04	20.36	3.05
26	2.0	800	0.00	16.01	59.56	24.43	2.44
27	3.0	650	0.84	27.01	51.75	18.40	2.81
28	3.0	700	0.00	23.99	52.59	23.42	2.25
29	3.0	750	0.00	21.31	54.45	24.24	2.25
30	3.0	800	0.00	20.53	54.89	24.58	2.23

ตารางที่ ก.4 แสดงข้อมูลอิทธิพลของอุณหภูมิที่ $U/Umf=2.5$ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส
ตัวเร่งปฏิกิริยา 550 กรัมและให้คาร์บอนไดออกไซด์เป็น 4 เท่าของปริมาณมีเทน

การทดลองที่	อัตราส่วน H ₂ O/CH ₄	T (°C)	ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซ็นต์)				อัตราส่วน H ₂ /CO
			CH ₄	CO ₂	H ₂	CO	
31	0.6	650	5.97	25.32	36.93	31.78	1.16
32	0.6	700	0.64	15.61	39.86	43.89	0.91
33	0.6	750	0.00	9.26	45.68	45.06	1.01
34	0.6	800	0.00	4.79	47.56	47.65	1.00
35	0.8	650	5.06	17.35	39.23	38.36	1.02
36	0.8	700	0.53	16.49	43.01	39.97	1.08
37	0.8	750	0.00	15.01	46.88	38.11	1.23
38	0.8	800	0.00	14.88	47.65	37.47	1.27
39	1.0	650	4.27	24.91	42.33	28.49	1.49
40	1.0	700	0.43	16.42	44.84	38.31	1.17
41	1.0	750	0.00	14.70	50.80	34.50	1.47
42	1.0	800	0.00	13.91	54.98	31.11	1.77
43	2.0	650	5.89	26.54	41.99	25.58	1.64
44	2.0	700	0.30	18.44	50.63	30.63	1.65
45	2.0	750	0.00	17.56	51.16	31.28	1.64
46	2.0	800	0.00	14.19	53.79	32.02	1.68
47	3.0	650	3.21	22.40	58.08	24.81	2.35
48	3.0	700	0.00	19.81	55.26	24.93	2.22
49	3.0	750	0.00	16.91	58.08	24.81	2.35
50	3.0	800	0.00	14.44	59.65	25.91	2.30

ตารางที่ ก.5 แสดงข้อมูลอิทธิพลของอัตราเร็วในการบ่มสารตั้งต้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส
ตัวเร่งปฏิกิริยา 550 กรัมและให้ไอน้ำมีปริมาณเป็น 4 เท่าของปริมาณมีเทน

การทดลองที่	อัตราส่วน CO ₂ /CH ₄	U/Umf	ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซ็นต์)				อัตราส่วน H ₂ /CO
			CH ₄	CO ₂	H ₂	CO	
51	0.6	2.0	1.58	9.06	76.86	12.50	6.15
52	0.6	2.5	0.00	10.36	73.86	15.78	4.63
53	0.6	3.0	0.00	10.32	73.17	16.51	4.43
54	0.6	3.5	0.00	10.90	72.38	16.72	4.33
55	0.8	2.0	1.03	9.54	73.18	16.25	4.50
56	0.8	2.5	0.00	13.84	70.30	15.86	4.43
57	0.8	3.0	0.36	10.89	71.67	17.44	4.11
58	0.8	3.5	0.14	11.40	70.16	18.30	3.83
59	1.0	2.0	0.00	10.66	72.75	16.59	4.39
60	1.0	2.5	0.00	16.37	68.04	15.59	4.36
61	1.0	3.0	0.00	12.17	70.24	17.59	3.99
62	1.0	3.5	0.00	13.38	68.27	18.35	3.72
63	2.0	2.0	1.53	14.12	64.56	19.79	3.26
64	2.0	2.5	0.00	21.54	62.13	16.39	3.80
65	2.0	3.0	0.00	18.26	61.78	19.96	3.10
66	2.0	3.5	0.00	22.50	57.73	19.77	2.92
67	3.0	2.0	0.16	18.75	62.89	18.20	3.46
68	3.0	2.5	0.00	23.99	52.59	23.42	2.25
69	3.0	3.0	0.00	19.39	58.93	21.68	2.72
70	3.0	3.5	0.00	24.02	53.57	22.41	2.39

ตารางที่ ก.6 แสดงข้อมูลอิทธิพลของอัตราเร็วในการป้อนสารตั้งต้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส
ตัวเร่งปฏิกิริยา 550 กรัมและให้คาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณ 4 เท่าของปริมาณมีเทน

การทดลองที่	อัตราส่วน H ₂ O/CH ₄	U/Umf	ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซ็นต์)				อัตราส่วน H ₂ /CO
			CH ₄	CO ₂	H ₂	CO	
71	0.6	2.0	0.25	14.44	35.34	49.97	0.71
72	0.6	2.5	0.64	15.61	39.86	43.89	0.91
73	0.6	3.0	1.48	18.27	41.37	38.88	1.06
74	0.6	3.5	2.40	19.67	42.09	35.84	1.17
75	0.8	2.0	0.51	28.81	28.61	42.07	0.68
76	0.8	2.5	0.53	16.49	43.01	39.97	1.08
77	0.8	3.0	1.06	17.42	49.10	32.42	1.51
78	0.8	3.5	1.27	18.20	51.87	28.66	1.81
79	1.0	2.0	0.60	20.91	36.96	41.53	0.89
80	1.0	2.5	0.43	16.42	44.84	38.31	1.17
81	1.0	3.0	0.87	16.69	51.30	31.14	1.65
82	1.0	3.5	1.25	20.48	53.11	25.16	2.11
83	2.0	2.0	0.41	17.79	48.00	33.80	1.42
84	2.0	2.5	0.30	18.44	50.63	30.63	1.65
85	2.0	3.0	0.63	20.84	51.04	27.49	1.86
86	2.0	3.5	1.18	23.48	51.91	23.43	2.22
87	3.0	2.0	0.18	18.72	53.24	27.86	1.91
88	3.0	2.5	0.00	19.81	55.26	24.93	2.22
89	3.0	3.0	0.41	20.04	55.91	23.64	2.37
90	3.0	3.5	1.00	20.79	56.08	22.13	2.53

ตารางที่ ก.7 แสดงข้อมูลอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ $U/U_{mf}=2.5$ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสและให้อินเนอร์เป็น 4 เท่าของปริมาณมีเทน

การทดลองที่	อัตราส่วน CO ₂ /CH ₄	ตัวเร่ง ปฏิกิริยา (กรัม)	ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซ็นต์)				อัตราส่วน H ₂ /CO
			CH ₄	CO ₂	H ₂	CO	
91	0.6	400	26.21	2.42	63.13	8.24	7.66
92	0.6	550	0.00	10.36	73.86	15.78	4.68
93	0.6	700	0.43	10.09	72.26	17.22	4.20
94	0.8	400	4.89	5.64	76.59	12.88	5.95
95	0.8	550	0.00	13.84	70.30	15.86	4.43
96	0.8	700	0.00	7.88	72.65	19.47	3.73
97	1.0	400	3.36	17.09	66.77	12.78	5.22
98	1.0	550	0.00	16.37	68.04	15.59	4.36
99	1.0	700	0.55	7.46	69.51	22.48	3.09
100	2.0	400	2.34	15.86	62.48	19.32	3.23
101	2.0	550	0.00	21.54	62.13	16.33	3.80
102	2.0	700	0.00	18.63	61.65	19.72	3.13
103	3.0	400	1.25	17.91	59.10	21.74	2.72
104	3.0	550	0.00	23.98	52.59	23.42	2.24
105	3.0	700	0.00	20.58	54.44	24.98	2.18

ตารางที่ ก.8 แสดงข้อมูลอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ $U/U_{mf}=2.5$ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสและให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็น 4 เท่าของปริมาณมีเทน

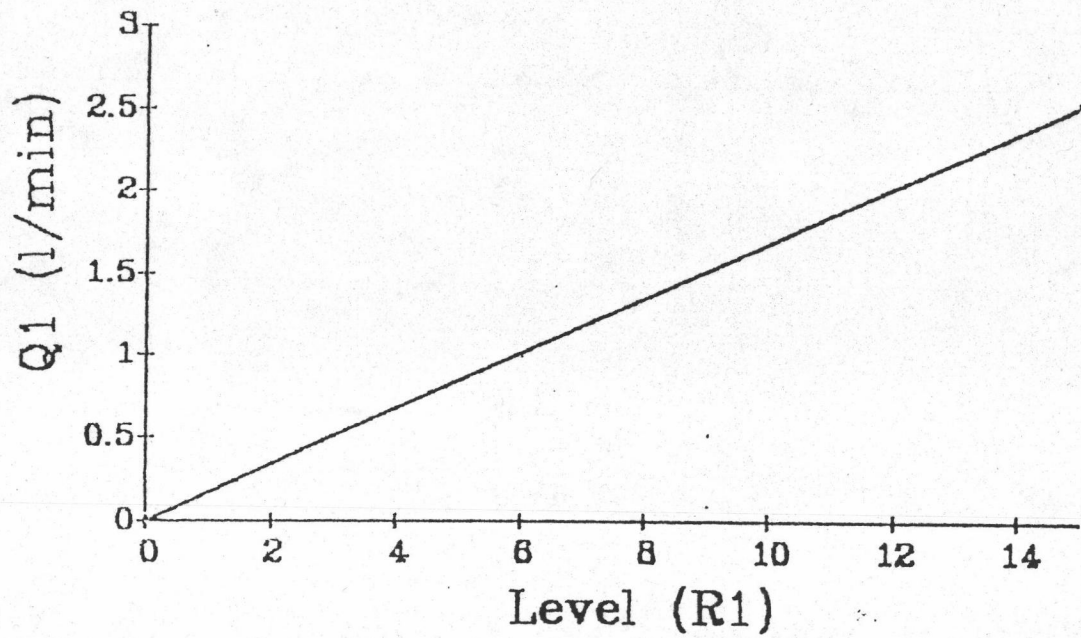
การทดลองที่	อัตราส่วน H ₂ O/CH ₄	ตัวเร่ง ปฏิกิริยา (กรัม)	ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ (เปอร์เซ็นต์)				อัตราส่วน H ₂ /CO
			CH ₄	CO ₂	H ₂	CO	
106	0.6	400	1.12	16.89	37.66	44.33	0.85
107	0.6	550	0.64	15.61	39.86	43.89	0.91
108	0.6	700	0.00	15.52	45.70	38.78	1.18
109	0.8	400	0.90	17.42	51.25	30.43	1.68
110	0.8	550	0.53	16.49	43.01	39.97	1.08
111	0.8	700	0.00	15.58	41.36	43.06	0.96
112	1.0	400	2.38	16.95	51.01	29.66	1.72
113	1.0	550	0.43	16.42	44.84	38.31	1.17
114	1.0	700	0.00	16.54	49.80	33.66	1.48
115	2.0	400	0.64	21.76	48.49	29.11	1.67
116	2.0	550	0.30	18.44	50.63	30.63	1.65
117	2.0	700	0.00	14.14	57.14	28.72	1.99
118	3.0	400	0.32	21.20	54.12	24.36	2.22
119	3.0	550	0.00	19.81	55.26	24.93	2.22
120	3.0	700	0.00	22.16	55.19	22.65	2.44

ภาคผนวก ข

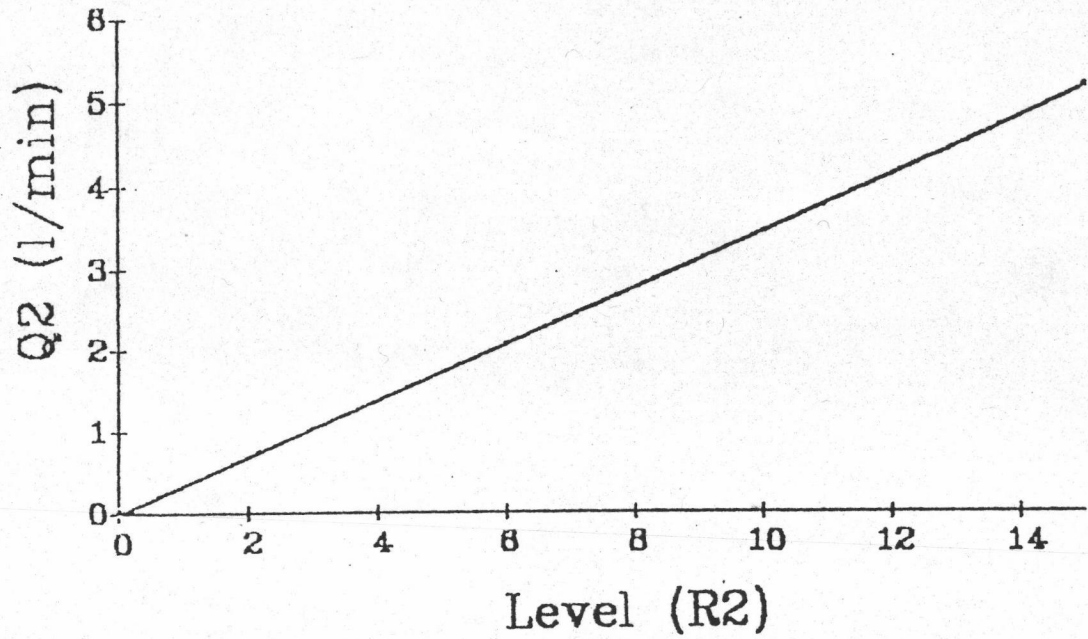
ความสัมพันธ์ระหว่างระดับซีดลุลอยของ โรตามิเตอร์กับอัตราการไหลของอากาศ

โรตามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีอยู่ทั้งหมด 3 ตัว คือ

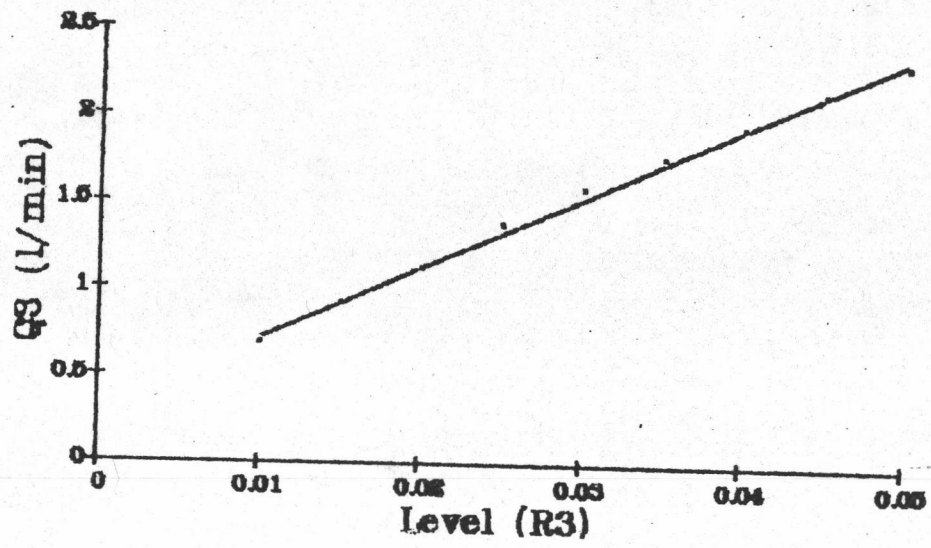
1. โรตามิเตอร์ตัวที่ 1 ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของก๊าซมีเทน ระดับซีดของโรตามิเตอร์ (R_1) มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของก๊าซ (Q_1) ดังรูปที่ ข.1
2. โรตามิเตอร์ตัวที่ 1 ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ระดับซีดของโรตามิเตอร์ (R_2) มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของก๊าซ (Q_2) ดังรูปที่ ข.2
3. โรตามิเตอร์ตัวที่ 1 ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน ระดับซีดของโรตามิเตอร์ (R_3) มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของก๊าซ (Q_3) ดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับขีดของโรตاميเตอร์ตัวที่ 1 (R_1) กับอัตราการไหลของก๊าซ (Q_1)



รูปที่ ข.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับขีดของโรตاميเตอร์ตัวที่ 2 (R_2) กับอัตราการไหลของก๊าซ (Q_2)



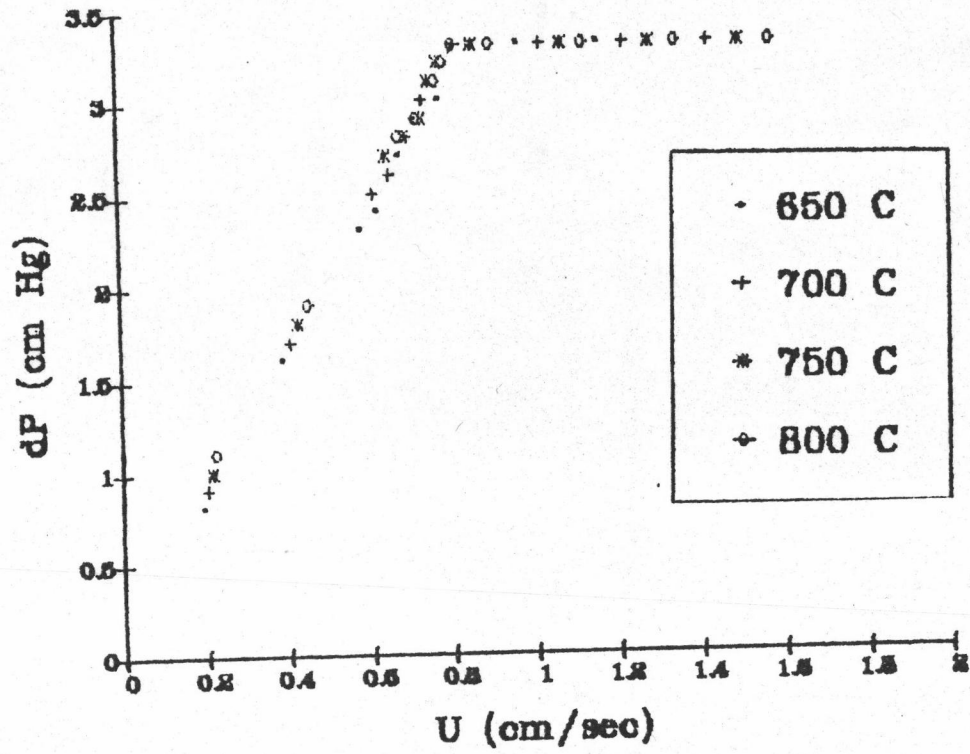
รูปที่ ข.๓ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับขีดของโรตاميเตอร์ตัวที่ 3 (R_3)
กับอัตราการไหลของก๊าซ (Q_3)

ภาคผนวก ค

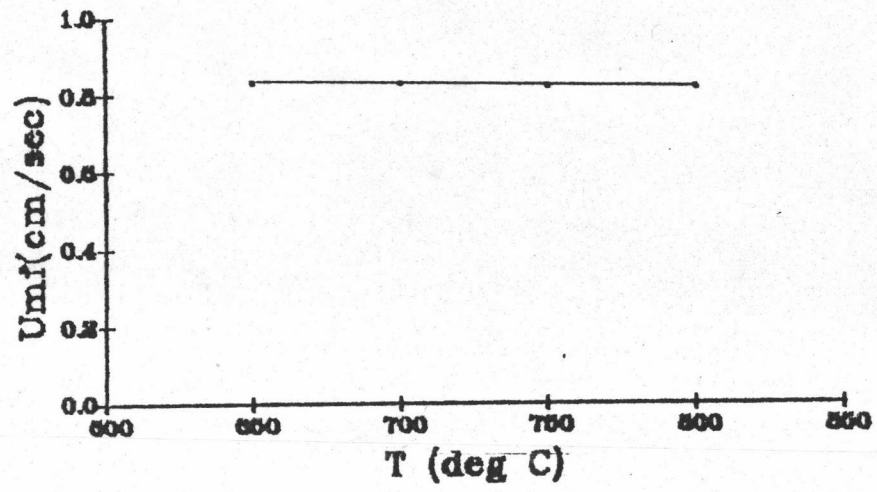
การหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชัน

ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชันเป็นค่าความเร็วอากาศที่มีค่าต่ำที่สุด ที่ทำให้อุณหภูมิของแข็งภายในเบตเริ่มขยับตัวและมีคุณสมบัติเสมือนของไหล ความเร็วจุดนี้สามารถหาได้จากการทดลอง เริ่มจากการผ่านอากาศที่ความเร็วต่ำเข้าคอลัมน์ ซึ่งบรรจุด้วยอนุภาคของแข็งจำนวนหนึ่ง ในสภาพเบตนิ่ง เมื่อมีอากาศไหลผ่านเบตจะทำให้เกิดความดันลด (Pressure drop) ที่เบต ความดันลดจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วอากาศที่ผ่านเบตมีค่าสูงขึ้น จนกระทั่งเม็ดของแข็งเริ่มขยับตัวที่จะลอยตัวสูงขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นในการเกิดฟลูอิดไอเซชัน ความเร็วที่จุดนี้เรียกว่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชัน หลังเพิ่มความเร็วจากนี้ไปความดันลดที่เบตจะไม่เปลี่ยนแปลงต่อไปอีก ด้วยหลักการดังกล่าวทำให้สามารถหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชันได้โดยเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วก๊าซที่ไหลผ่านเบตกับความดันลดที่เบต ดังรูป ค.1

ค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชันนี้จะมีค่าต่ำลงเมื่ออุณหภูมิเบตสูงขึ้น เมื่อนำค่าความเร็วต่ำสุดที่ได้จากการทดลองแต่ละอุณหภูมิมาเขียนความสัมพันธ์ในรูปกราฟแสดงได้ดังรูปที่ ค.2



รูปที่ ค.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วก๊าซที่ไหลผ่านเบดกับความดันลดที่เบด



รูปที่ ค.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วต่ำสุดในการเกิด
ฟลูอิดเซชันกับอุณหภูมิ

ภาคผนวก ง.

คำนวณอัตราการบ่อนสารเข้าเครื่องปฏิกรณ์

ตัวอย่างการคำนวณ

1. สภาวะการทดลอง

- อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิห้อง 700 องศาเซลเซียส (973 เคลวิน)
- อัตราเร็วในการบ่อนสารตั้งต้น 2.5 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิด

ฟลูอิดไอเซชัน ($U/U_{mf} = 2.5$)

- ปริมาณก๊าซในโตรเจนบ่อนเข้าเบด 30 เปอร์เซ็นต์
- อัตราส่วนของสารตั้งต้นไอน้ำต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทนเท่ากับ

3:3:1 โดยปริมาตร

2. เงื่อนไขการทดลอง

- เส้นผ่านศูนย์กลางเบด 10.70 เซนติเมตร
- ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชันที่ 700 องศาเซลเซียสเท่ากับ

0.8207 เซนติเมตรต่อวินาที (จากภาคผนวก ค)

- ความเร็วในการบ่อนสาร (U) เท่ากับ 2.0518 เซนติเมตรต่อวินาที

3. โปรแกรมคำนวณอัตราการป้อนสารเข้าเครื่องปฏิกรณ์ ดังนี้

```

10 PRINT
20 INPUT "1. VELOCITY (cm./sec)", V
30 PRINT
40 INPUT "2. TEMP. (K) ", T
50 PRINT
60 INPUT "3. H2O / CO2 / CH4 (H2O, CO2, CH4) ", X1, X2, X3
70 LET A=22*(10.7^2)/28
80 LET Q=V*A*303*60/(T*1000)
90 LET YH2O=X1*(.7/(X1+X2+X3))
100 LET YCO2=X2*(.7/(X1+X2+X3))
110 LET QH2O=YH2O*Q*18/22.4
120 LET YCH4=.7-YCO2-YH2O
130 LET QCH4=YCH4*Q
140 LET QCO2=YCO2*Q
150 LET QN2=.3*Q
160 LET RH2O=QH2O
170 LET RCO2=QCO2/.169
180 LET RCH4=QCH4/.343
190 LET RN2=(QN2-.31)/40.85
200 PRINT
210 PRINT "    VOLUMETRIC FLOWRATE OF H2O    = ";QH2O;" l/min"
220 PRINT
230 PRINT "    VOLUMETRIC FLOWRATE OF CH4    = ";QCH4;" l/min"
240 PRINT
250 PRINT "    VOLUMETRIC FLOWRATE OF CO2    = ";QCO2;" l/min"
260 PRINT
270 PRINT "    VOLUMETRIC FLOWRATE OF N2    = ";QN2;" l/min"
280 PRINT
290 PRINT "    SCALE OF H2O                    = ";RH2O
300 PRINT
310 PRINT "    ROTAMETER LEVEL OF CH4        = ";RCH4
320 PRINT
330 PRINT "    ROTAMETER LEVEL OF CO2        = ";RCO2
340 PRINT
350 PRINT "    ROTAMETER LEVEL OF N2        = ";RN2
360 PRINT
370 INPUT "    DO YOU WANT TO CONTINUE ? ", Y#
380 CLS
390 IF Y#="Y" OR Y#="y" THEN GOTO 20
400 END

```

4. ผลการคำนวณ

1. VELOCITY (cm./sec) 2.05175

2. TEMP. (K) 973

3. H₂O / CO₂ / CH₄ (H₂O, CO₂, CH₄) 3,3,1VOLUMETRIC FLOWRATE OF H₂O = .831349 l/minVOLUMETRIC FLOWRATE OF CH₄ = .344856 l/minVOLUMETRIC FLOWRATE OF CO₂ = 1.034568 l/minVOLUMETRIC FLOWRATE OF N₂ = 1.034568 l/minSCALE OF H₂O = .831349ROTAMETER LEVEL OF CH₄ = 1.005411ROTAMETER LEVEL OF CO₂ = 6.121702ROTAMETER LEVEL OF N₂ = 1.773728E-02

DO YOU WANT TO CONTINUE ?

ภาคผนวก จ

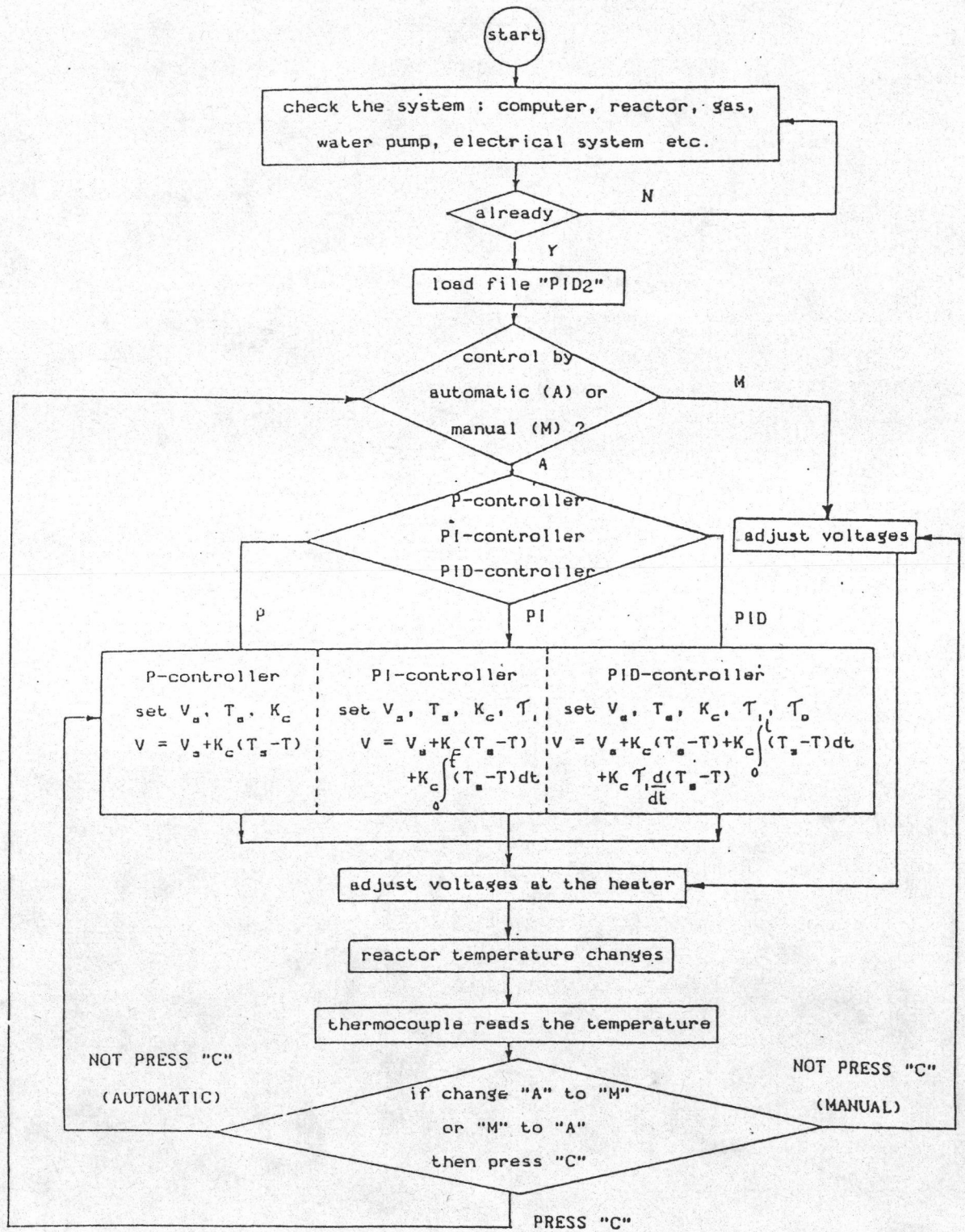
ตัวควบคุม

ตัวควบคุมหรือเครื่องควบคุม (Controller) โดยพื้นฐานมีอยู่ 4 แบบ คือ

1. การควบคุมแบบเปิด ปิด (On-off controller) เป็นการควบคุมที่มีรูปแบบของการควบคุมง่ายที่สุด สัญญาณการควบคุมจากเครื่องควบคุมที่ส่งให้ตัวควบคุมขั้นสุดท้ายทำงานจะมีเพียงสองจังหวะคือจังหวะเปิด และจังหวะปิด โดยการพิจารณาจากเครื่องหมายของค่าผิดพลาด ทำให้ผลตอบสนองที่ได้จากการควบคุมเกิดค่าผิดพลาดเป็นช่วง ๆ ตามสัญญาณ
2. การควบคุมแบบพรอบพรอชันนอล (Proportion controller) หรือการควบคุมแบบ P (P controller) เป็นการควบคุมที่ต่างจากการควบคุมแบบเปิด-ปิด โดยค่าของสัญญาณที่ส่งออกจากตัวควบคุมที่เวลาใด ๆ จะเป็นสัดส่วนกับค่าผิดพลาดขณะนั้น
3. การควบคุมแบบพรอบพรอชันนอล อินทิกรัล (Proportion integral controller) หรือการควบคุมแบบ PI (PI controller) เป็นการควบคุมที่ประยุกต์มาจากการควบคุมแบบ P โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดออฟเซตที่เกิดจากการควบคุมแบบ P
4. การควบคุมแบบพรอบพรอชันนอล อินทิกรัล เดริวาทีฟ (Proportional integral derivative controller) หรือการควบคุมแบบ PID (PID controller) เป็นการควบคุมที่ประยุกต์มาจากการควบคุมแบบ PI โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดออฟเซตที่เกิดจากการควบคุมแบบ P และยังคงควบคุมระบบให้เข้าสู่สภาวะคงที่ได้รวดเร็วกว่าควบคุมแบบ PI ในกรณีที่การควบคุมแบบ PI ใช้เวลานานในการนำระบบให้เข้าสู่สภาวะคงที่ได้

เมื่อมีการนำไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้งาน รูปแบบของการควบคุมทั้ง 4 จะถูกเขียนลงในโปรแกรมการใช้งานของไมโครคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาเบสิก โดยมีฟังก์ชันควบคุมอุณหภูมิดังนี้

ผังงานควบคุมอุณหภูมิ



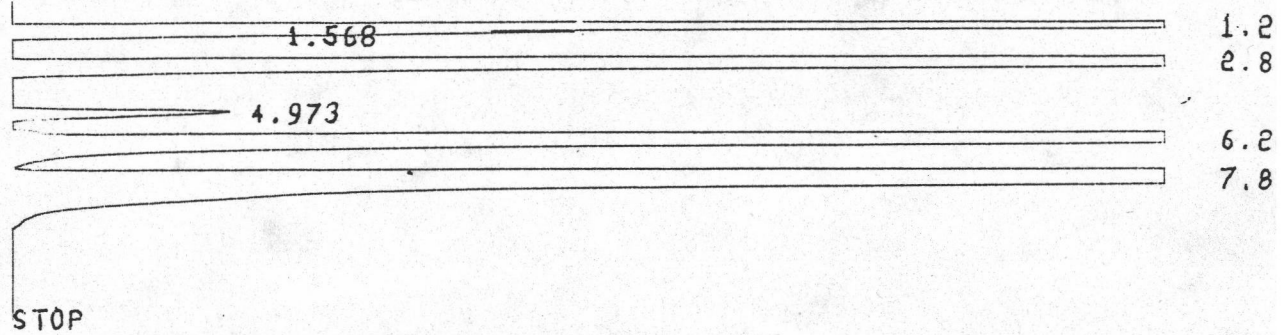
ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

เมื่อฉีดก๊าซตัวอย่างเข้าเครื่องวิเคราะห์ ก๊าซตัวอย่างจะถูกดูดซับบนพอร์พาค คิว (Parapak Q) ซึ่งบรรจุอยู่ในคอลัมน์ ก๊าซที่ถูกดูดซับได้ดีจะใช้เวลาอยู่ในคอลัมน์นาน ส่วนก๊าซที่ถูกดูดซับได้ยากกว่าจะออกจากคอลัมน์ได้เร็ว เมื่อก๊าซแต่ละชนิดจะถูกแสดงออกมา เป็นพีคที่เครื่องอินทิเกรเตอร์ และสามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของก๊าซแต่ละชนิดจากพื้นที่ใต้กราฟของแต่ละพีคได้ โดยมีตัวแก้ค่าผิดพลาด ดังนี้

ก๊าซ	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	H ₂	CO	O ₂
ตัวแก้ค่าผิดพลาด	0.84	1.21	0.87	0.81	0.87	0.66	71.36	1.035	1.33

ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของก๊าซจากผลการวิเคราะห์ ดังนี้



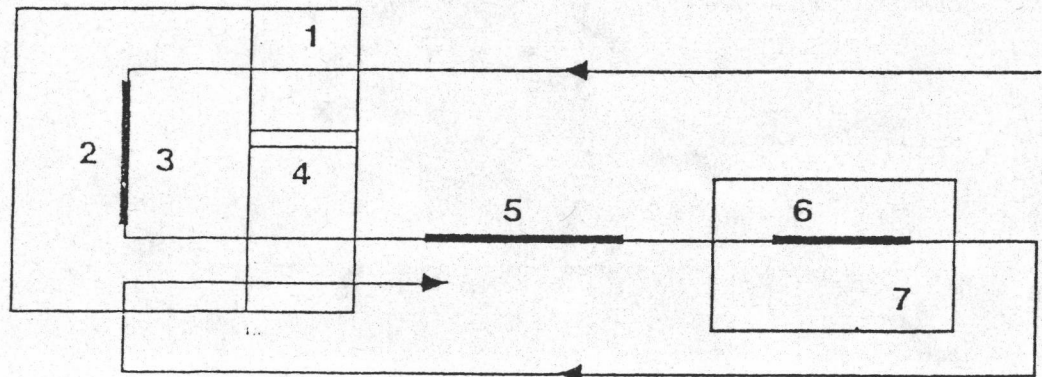
CHROMATOPAC C-R6A FILE 5
 SAMPLE NO 0 METHOD 41
 REPROT NO 1

PKNO	TIME	AREA	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1.262	833611	S		42.8966	
2	1.568	1990	T		0.1024	
3	2.853	331805			17.0743	
4	4.973	9661			0.4971	
5	6.207	404086	V		20.7938	
6	7.898	362151	V		18.6358	
TOTAL		1943305			100	

รูปที่ ๑.๑ แสดงพีคของก๊าซแต่ละชนิดที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ

ก๊าซ	พื้นที่โตพืช	ตัวแก้ค่าผิดปกติ	พื้นที่ที่ทำการแก้ไข	เปอร์เซ็นต์ก๊าซ
CH4	1990	1.21	2407.90	0.14
CO2	331805	0.84	278716.20	15.93
H2	9661	71.36	689408.96	39.40
N2	404086	1.00	404086.00	23.10
CO	362151	1.035	374826.29	21.43

			TOTAL	100.00



- | | |
|----------------------------|-------------------------------|
| 1. อินเจกเตอร์ | 5. คอลัมน์เปล่าสำหรับก๊าซผ่าน |
| 2. คอลัมน์ของพอรานัค คิว | 6. คอลัมน์ของโมเลคิวลาร์ซีฟ |
| 3. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี | 7. อ่างน้ำร้อน |
| 4. ดีเทกเตอร์ | |

รูปที่ ฉ.2 แสดงแผนภาพของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซที่ใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้

ตารางที่ จ.1 แสดงสภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

แก๊สที่ฉีดเข้าเครื่องวิเคราะห์	He บริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์
อุณหภูมิอินเจกเตอร์	110 องศาเซลเซียส
เซนซิวิตี (Sensibility)	1 มิลลิโวลต์
คอลัมน์ของพอรานัค คิว	คอลัมน์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ยาว 2 เมตร อนุภาคขนาด 50-80 ไมโครเมตร อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
คอลัมน์ของโมเลคิวลาร์ซีฟ	คอลัมน์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ยาว 3 เมตร อนุภาคขนาด 50-80 ไมโครเมตร อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
ความเข้มของสะพานไฟ	160 มิลลิแอมแปร์

ประวัติผู้เขียน

นางสาวลาวัลย์ เรียรถาวร เกิดวันที่ 10 พฤษภาคม 2512 ที่อำเภอเมือง
จังหวัดน่านบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง ในสาขา
เคมีวิศวกรรม ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ในปีการศึกษา 2532

