รายการอ้างอิง

1. ลาวัลย์ เธียรถาวร. รีฟอร์มมิงของก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ บนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล/อลูมินาในฟลูอิไดซ์เบด, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2535.

2. Goff, C.O., and Wang, S.I. Syngas production by reforming. Chemical Engineering Progress. (August 1987):46-53.

3. Hawk, C.O., Golden, P.L., Storch H.H., and Freldner, A.C. Conversion ofmethane to carbonmonoxide and hydrogen Industrial Engineering Chemistry 24(1), 1934: 223-27.

4. Gerhard, E.R.,Allen, D.W., and Likims, M.R., Jr. Kinetics of methane-steam reaction. Ind. Eng. Chem.,Process Des. Dev.14(3), 1975:256-259.

5. Seldon R.A. Chemical from Synthesis Gas. D. Reidel Publishing, 1983

6. Resnick, W. Process Analysis and Design for Chemical Engineering USA: McGraw Hill Book Co., 1981.

7. Sigov, S.A. and Abdullaeva, U.A. Reforming Natural Gas with Carbon dioxide. n.p.:Zh., Khim., 1970.

8. Kunugita, E. et. al. Production of Synthesis gas from Carbon dioxide. World Congress III of Chemical Engineering I Japan,1986.

9. Satayaprasert, C. Synthesis gas production from CO_2 and CH_4. Proceeding of Regional Symposium on Petrochemical Technology Chulalongkorn University, Thailand, 1987.

10. Vitidsant, T. Reformage Du Catalytique Du Methane A La Vapeur En Lit Fluidise: Etude Kinetique Et Modelisation Du Reacteur. These De Doctorat De L'INPT, 1988.

11. 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.

12. Hatch, L.F. and Matar,S. From hydrocarbon to petrochemicals. Texas:Gulf Publishing Company, 1981.

13. Kirk-Othmer. Encycopedia of Chemical Technology. Vol.4 (3rd ed.) USA: A Wiley-Interscience Publication, 1978.

14. Kuhre, C.J. and Shearer, C.J. Syn gas from heavy fuel. Hydrocarbon Processing, 59(52), (December 1971): 113-117.

15. Serfrita, W. Industrial utilization of hydrogen. Introduction to Hydrogen Energy. Caracas: IAHE-fuel, 1975.

16. Shukla, S.D. and Pandy G.N. A Text Book of Chemical Technology (Inorganic). New Delhi: Vikas Publishing House PUT Ltd., 1977.

17. สมชาย รอสุวรรณ. จลนพลศาสตร์วิศวกรรมเคมี ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2532.

18. ปรีชา พหลเทพ. เคมีฟิสิกัล2 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2525.

19. Gilbert, F. and Kenneth B. Chemical reactor analysis and design. (2nd ed) Singapore : John Wiley & Sons, Inc, 1990.

20. Levenspiel, O. Chemical Reaction Engineering. (2nd ed) New Delhi: Wiley Eastern Limited, 1984.

21. Bond , G.C. Heterogeneous catalysis: Principles and Application. (2nd ed) Oxford: Clarendon Press, 1987.

22. Gadalla, A.M. and Bower, B. The role of catalyst support on the activity of nickel for reforming methane with CO_2. Chemical Engineering Science 43(11), 1988: 3049-3062.

23. Kemall, C. et al. Catalysis. (Vol.3) London: The Chemical Society Burlington House, 1980.

24. Satterfield, C.N. Heterogeneous Catalysis in Practice. NY: McGraw Hill, 1980.

25. Murrey, A.P. and Synder,T.S. Steam-methane reformer kinetic computer model with heattransfer and geometry options. Ind. Eng. Chem. Process.Res. Dev., (Vol.24), 1985: 268-294.

26. Chapra-Canale. Numerical methods for engineering. (2nd nd)Singapore: McGraw Hill book company,1988.

27. Aker, W.W. and Camp, D.P. Kinetics of the methane-steam reaction. AIChE.J., (Vol.1), 1955: 471-475.

28. Rostrup-Nielsen, J.R. Activity of nickel catalysts for steam reforming of hydrocarbon. Journal of Catalyst (Vol.31), 1973:173-199.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การคำนวณอัตราการป้อนสารเข้าเครื่องปฏิกรณ์

1. <u>คำนวณการป้อนสารที่สภาวะ อุณหภูมิและความดันคงที่</u>

อุณหภูมิ 923 เคลวิน

ความดัน 1 บรรยากาศ

$CH_4:H_2O:CO_2:N_2$ = 0.086 : 0.558 : 0.131 : 0.224

อัตราการป้อนมีเทน($F_{0,methane}$) = 1.608×10^{-4} โมล/วินาที

1.1 คำนวณความเข้มข้นของก๊าซที่ อุณหภูมิ 923 เคลวิน ความดัน 1 บรรยากาศ ก๊าซมีคุณสมบัติใกล้เคียงก๊าซอุดมคติ

จาก $PV = nRT$ หรือ $n/V = P/RT$

ก๊าซจะมีความเข้มข้นเท่ากับ $n/V = (1atm)/[(8.21 \times 10^{-5}\ m^3.atm.mol^{-1}.K^{-1})(923\ K)]$

$= 13.2$ โมล/ม^3

ดังนั้น ความเข้มข้นของมีเทน $= 0.086 \times 13.2 = 1.14$ โมล/ม^3

ไอน้ำ $= 0.558 \times 13.2 = 7.37$ โมล/ม^3

คาร์บอนไดออกไซด์ $= 0.131 \times 13.2 = 1.73$ โมล/ม^3

ไนโตรเจน $= 0.224 \times 13.2 = 2.96$ โมล/ม^3

1.2 คำนวณปริมาตรการไหลของก๊าซ ที่อุณหภูมิ 923 เคลวิน

อัตราการป้อนมีเทน($F_{0,methane}$) = n = 1.608×10^{-4} โมล/วินาที

ปริมาตรการไหลของมีเทน $= V = nRT/P$

$= (1.608 \times 10^{-4})(8.21 \times 10^{-5})(923)/(1)$

$= 1.22 \times 10^{-5}$ ม^3/วินาที

ปริมาตรการไหลของไอน้ำ $= 1.22 \times 10^{-5} \times [H_2O]]/[CH_4]$

$= 7.92 \times 10^{-5}$ ม^3/วินาที

ปริมาตรการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ $= 1.22 \times 10^{-5} \times [CO_2]/[CH_4]$

$= 1.85 \times 10^{-5}$ ม^3/วินาที

ปริมาตรการไหลของไนโตรเจน $= 1.22 \times 10^{-5} \times [N_2]/[CH_4]$

$= 3.18 \times 10^{-5}$ ม^3/วินาที

1.3 คำนวณปริมาตรการไหลของก๊าซและน้ำที่อุณหภูมิ 303 เคลวิน

จาก $V_{303} = V_{923} T_{303} / T_{923}$

ดังนั้น ปริมาตรการไหลของมีเทน $= 1.22 \times 10^{-5} \times (303/923)$

$= 4.0 \times 10^{-6}$ ม^3/วินาที

ปริมาตรการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ $= 1.85 \times 10^{-5} \times (303/923)$

$= 6.08 \times 10^{-6}$ ม^3/วินาที

ปริมาตรการไหลของไนโตรเจน $= 3.18 \times 10^{-5} \times (303/923)$

$= 1.04 \times 10^{-5}$ ม^3/วินาที

และที่อุณหภูมิ 923 เคลวิน ความดัน 1 บรรยากาศ ไอน้ำมีปริมาตรจำเพาะ = 4.19 ม^3/กก.

ดังนั้น ปริมาตรการไหลของไอน้ำ $= (7.92 \times 10^{-5}$ ม^3/วินาที$)/(4.19$ ม^3/กก.$)$

$= 1.89 \times 10^{-5}$ กก./วินาที

ที่อัตราส่วนของ $CH_4 : H_2O : CO_2 : N_2$ ค่าอื่นๆก็คำนวณทำนองเดียวกัน ผลการคำนวณดังแสดงใน ภาคผนวก ข

2. <u>คำนวณอัตราการป้อนสารที่สภาวะ ความดันคงที่ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ</u>

ความดัน 1 บรรยากาศ

อุณหภูมิ 823,873,923 และ 973 เคลวิน

อัตราการป้อนมีเทน($F_{0,methane}$) $= 3.42 \times 10^{-4}$ โมล/วินาที

ปริมาตรการไหลของก๊าซและน้ำที่อุณหภูมิ 303 เคลวิน

ปริมาตรการไหลของมีเทน $= 8.52 \times 10^{-6}$ ม^3/วินาที

ปริมาตรการไหลของไอน้ำ $= 1.88 \times 10^{-5}$ กก./วินาที

ปริมาตรการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ = 5.26×10^{-6} ม^3/วินาที

ปริมาตรการไหลของไนโตรเจน = 1.08×10^{-6} ม^3/วินาที

2.1 คำนวณปริมาตรการไหลของก๊าซ ที่อุณหภูมิ 923 เคลวิน

อัตราการป้อนมีเทน($F_{0,methane}$) = n = 3.42×10^{-4} โมล/วินาที

จาก $V_{923}=V_{303}T_{923}/T_{303}$

ปริมาตรการไหลของมีเทน = 8.52×10^{-6} x 923/303

= 2.60×10^{-5} ม^3/วินาที

ปริมาตรการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ = 5.26×10^{-6} x923/303

= 1.60×10^{-5} ม^3/วินาที

ปริมาตรการไหลของไนโตรเจน = 1.08×10^{-6} x923/303

= 3.29×10^{-5} ม^3/วินาที

และที่อุณหภูมิ 923 เคลวิน ความดัน 1 บรรยากาศ ไอน้ำมีปริมาตรจำเพาะ = 4.19 ม^3/กก.

ดังนั้น ปริมาตรการไหลของไอน้ำ = (1.88×10^{-5} ม^3/วินาที)x(4.19 ม^3/กก.)

= 7.88×10^{-5} กก./วินาที

$CH_4:H_2O:CO_2:N_2$ = 0.169 : 0.513 : 0.104 : 0.214

2.2 คำนวณความเข้มข้นของก๊าซที่ อุณหภูมิ 923 เคลวิน ความดัน 1 บรรยากาศ

ก๊าซมีคุณสมบัติใกล้เคียงก๊าซอุดมคติ

จาก PV =nRT หรือ n/V = P/RT

ก๊าซจะมีความเข้มข้นเท่ากับ n/V = (1atm) / [(8.21×10^{-5} $m^3.atm.mol^{-1}.K^{-1}$)(923 K)

= 13.2 โมล/ม^3

ดังนั้น ความเข้มข้นของมีเทน = 0.169x13.2 = 2.230 โมล/ม^3

ไอน้ำ = 0.513x13.2 = 6.767 โมล/ม^3

คาร์บอนไดออกไซด์ = 0.104x13.2 = 1.377 โมล/ม^3

ไนโตรเจน = 0.214x13.2 = 2.826 โมล/ม^3

ที่ อุณหภูมิอื่นๆ ก็คำนวณทำนองเดียวกัน ผลการคำนวณดังแสดงใน ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลอัตราการป้อนสารที่สภาวะ อุณหภูมิ และความดันคงที่ ของการทดลองที่ A ถึง D

การทดลองที่	ความเข้มข้น(mol/m^3)				$F_{0,methane}$(mol/s)	ปริมาตรการไหล(m^3/s) ที่ 923 K				ปริมาตรการไหล ที่ 303 K				น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา,W(kg)	$W/F_{0,methane}$
	CH_4	H_2O	CO_2	N_2		CH_4	H_2O	CO_2	N_2	CH_4(m^3/s)	H_2O(kg/s)	CO_2(m^3/s)	N_2(m^3/s)		
A1	0.247	8.510	3.530	0.913	1.61E−04	1.22E−05	4.21E−04	1.75E−04	4.52E−05	4.01E−06	1.01E−04	5.73E−05	1.48E−05	2.00E−03	12.40
A2	0.247	8.510	3.530	0.913	1.61E−04	1.22E−05	4.20E−04	1.74E−04	4.51E−05	4.00E−06	1.00E−04	5.72E−05	1.48E−05	6.00E−03	37.30
A3	0.247	8.510	3.530	0.913	1.61E−04	1.22E−05	4.20E−04	1.74E−04	4.50E−05	4.00E−06	1.00E−04	5.72E−05	1.48E−05	1.00E−02	62.20
B1	0.397	8.510	3.530	0.763	2.58E−04	1.95E−05	4.19E−04	1.74E−04	3.75E−05	6.41E−06	9.99E−05	5.70E−05	1.23E−05	2.00E−03	7.76
B2	0.397	8.510	3.530	0.763	2.58E−04	1.95E−05	4.18E−04	1.74E−04	3.75E−05	6.41E−06	9.98E−05	5.70E−05	1.23E−05	6.00E−03	23.30
B3	0.397	8.510	3.530	0.763	2.58E−04	1.95E−05	4.19E−04	1.74E−04	3.75E−05	6.41E−06	9.99E−05	5.70E−05	1.23E−05	1.00E−02	38.80
C1	0.664	8.420	3.490	0.626	4.39E−04	3.32E−05	4.21E−04	1.75E−04	3.13E−05	1.09E−05	1.01E−04	5.73E−05	1.03E−05	2.00E−03	4.56
C2	0.664	8.420	3.490	0.626	4.38E−04	3.32E−05	4.21E−04	1.74E−04	3.13E−05	1.09E−05	1.00E−04	5.73E−05	1.03E−05	6.00E−03	13.70
C3	0.664	8.420	3.490	0.626	4.39E−04	3.32E−05	4.21E−04	1.75E−04	3.13E−05	1.09E−05	1.01E−04	5.73E−05	1.03E−05	1.00E−02	22.80
C4	0.664	8.420	3.490	0.626	4.38E−04	3.32E−05	4.20E−04	1.74E−04	3.13E−05	1.09E−05	1.00E−04	5.72E−05	1.03E−05	1.40E−02	32.00
D1	0.816	8.370	3.470	0.544	5.39E−04	4.09E−05	4.19E−04	1.74E−04	2.72E−05	1.34E−05	1.00E−04	5.70E−05	8.94E−06	2.00E−03	3.71
D2	0.816	8.370	3.470	0.544	5.41E−04	4.10E−05	4.20E−04	1.74E−04	2.73E−05	1.34E−05	1.00E−04	5.72E−05	8.96E−06	6.00E−03	11.10
D3	0.816	8.370	3.470	0.544	5.38E−04	4.07E−05	4.18E−04	1.73E−04	2.72E−05	1.34E−05	9.97E−05	5.69E−05	8.92E−06	1.00E−02	18.60
D4	0.816	8.370	3.470	0.544	5.38E−04	4.08E−05	4.19E−04	1.74E−04	2.72E−05	1.34E−05	9.99E−05	5.70E−05	8.93E−06	1.40E−02	26.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ข.2 ข้อมูลอัตราการป้อนสารที่สภาวะ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และความดันคงที่ ของการทดลองที่ E ถึง M

การทดลองที่	ความเข้มข้น(mol/m^3)				$F_{0,methane}$(mol/s)	ปริมาตรการไหล(m^3/s) ที่ 923 K				ปริมาตรการไหล ที่ 303 K				น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา,W(kg)	$W/F_{0,methane}$
	CH_4	H_2O	CO_2	N_2		CH_4	H_2O	CO_2	N_2	CH_4(m^3/s)	H_2O(kg/s)	CO_2(m^3/s)	N_2(m^3/s)		
E1	1.139	7.366	1.732	2.963	1.61E-04	1.22E-05	7.88E-05	1.85E-05	3.17E-05	4.00E-06	1.88E-05	6.06E-06	1.04E-05	6.00E-03	37.31
E2	1.139	7.366	1.732	2.963	1.61E-04	1.22E-05	7.88E-05	1.85E-05	3.17E-05	4.00E-06	1.88E-05	6.06E-06	1.04E-05	1.00E-02	62.19
E3	1.139	7.366	1.732	2.963	1.61E-04	1.22E-05	7.88E-05	1.85E-05	3.17E-05	4.00E-06	1.88E-05	6.06E-06	1.04E-05	1.40E-02	87.06
E4	1.139	7.366	1.732	2.963	1.61E-04	1.22E-05	7.88E-05	1.85E-05	3.17E-05	4.00E-06	1.88E-05	6.06E-06	1.04E-05	1.80E-02	111.94
F1	1.690	7.108	1.863	2.539	2.47E-04	1.87E-05	7.87E-05	2.06E-05	2.81E-05	6.14E-06	1.88E-05	6.77E-06	9.23E-06	6.00E-03	24.30
F2	1.690	7.108	1.863	2.539	2.47E-04	1.87E-05	7.87E-05	2.06E-05	2.81E-05	6.14E-06	1.88E-05	6.77E-06	9.23E-06	1.00E-02	40.50
F3	1.690	7.108	1.863	2.539	2.47E-04	1.87E-05	7.87E-05	2.06E-05	2.81E-05	6.14E-06	1.88E-05	6.77E-06	9.23E-06	1.40E-02	56.70
F4	1.690	7.108	1.863	2.539	2.47E-04	1.87E-05	7.87E-05	2.06E-05	2.81E-05	6.14E-06	1.88E-05	6.77E-06	9.23E-06	1.80E-02	72.90
G1	2.290	6.950	1.850	2.110	3.43E-04	2.60E-05	7.89E-05	2.10E-05	2.39E-05	8.53E-06	1.88E-05	6.89E-06	7.86E-06	6.00E-03	17.50
G2	2.290	6.950	1.850	2.110	3.43E-04	2.60E-05	7.89E-05	2.10E-05	2.39E-05	8.53E-06	1.88E-05	6.89E-06	7.86E-06	1.00E-02	29.16
G3	2.290	6.950	1.850	2.110	3.43E-04	2.60E-05	7.89E-05	2.10E-05	2.39E-05	8.53E-06	1.88E-05	6.89E-06	7.86E-06	1.40E-02	40.83
G4	2.290	6.950	1.850	2.110	3.43E-04	2.60E-05	7.89E-05	2.10E-05	2.39E-05	8.53E-06	1.88E-05	6.89E-06	7.86E-06	1.80E-02	52.49
H1	2.950	6.240	1.940	1.890	4.80E-04	3.64E-05	7.69E-05	2.39E-05	2.33E-05	1.19E-05	1.84E-05	7.85E-06	7.65E-06	6.00E-03	12.50
H2	2.950	6.240	1.940	1.890	4.80E-04	3.64E-05	7.69E-05	2.39E-05	2.33E-05	1.19E-05	1.84E-05	7.85E-06	7.65E-06	1.00E-02	20.83
H3	2.950	6.240	1.940	1.890	4.80E-04	3.64E-05	7.69E-05	2.39E-05	2.33E-05	1.19E-05	1.84E-05	7.85E-06	7.65E-06	1.40E-02	29.17
H4	2.950	6.240	1.940	1.890	4.80E-04	3.64E-05	7.69E-05	2.39E-05	2.33E-05	1.19E-05	1.84E-05	7.85E-06	7.65E-06	1.80E-02	37.50
I1	1.970	3.530	1.620	6.080	2.47E-04	1.87E-05	3.35E-05	1.54E-05	5.77E-05	6.14E-06	8.00E-06	5.05E-06	1.90E-05	6.00E-03	24.30
I2	1.970	3.530	1.620	6.080	2.47E-04	1.87E-05	3.35E-05	1.54E-05	5.77E-05	6.14E-06	8.00E-06	5.05E-06	1.90E-05	1.00E-02	40.50
I3	1.970	3.530	1.620	6.080	2.47E-04	1.87E-05	3.35E-05	1.54E-05	5.77E-05	6.14E-06	8.00E-06	5.05E-06	1.90E-05	1.40E-02	56.70
I4	1.970	3.530	1.620	6.080	2.47E-04	1.87E-05	3.35E-05	1.54E-05	5.77E-05	6.14E-06	8.00E-06	5.05E-06	1.90E-05	1.80E-02	72.90
J1	1.490	6.660	1.270	3.780	2.47E-04	1.87E-05	8.36E-05	1.59E-05	4.75E-05	6.14E-06	2.00E-05	5.24E-06	1.56E-05	6.00E-03	24.30
J2	1.490	6.660	1.270	3.780	2.47E-04	1.87E-05	8.36E-05	1.59E-05	4.75E-05	6.14E-06	2.00E-05	5.24E-06	1.56E-05	1.00E-02	40.50
J3	1.490	6.660	1.270	3.780	2.47E-04	1.87E-05	8.36E-05	1.59E-05	4.75E-05	6.14E-06	2.00E-05	5.24E-06	1.56E-05	1.40E-02	56.70
J4	1.490	6.660	1.270	3.780	2.47E-04	1.87E-05	8.36E-05	1.59E-05	4.75E-05	6.14E-06	2.00E-05	5.24E-06	1.56E-05	1.80E-02	72.90
K1	1.460	8.470	1.330	1.940	2.47E-04	1.87E-05	1.09E-04	1.70E-05	2.49E-05	6.14E-06	2.59E-05	5.60E-06	8.16E-06	6.00E-03	24.30
K2	1.460	8.470	1.330	1.940	2.47E-04	1.87E-05	1.09E-04	1.70E-05	2.49E-05	6.14E-06	2.59E-05	5.60E-06	8.16E-06	1.00E-02	40.50
K3	1.460	8.470	1.330	1.940	2.47E-04	1.87E-05	1.09E-04	1.70E-05	2.49E-05	6.14E-06	2.59E-05	5.60E-06	8.16E-06	1.40E-02	56.70
K4	1.460	8.470	1.330	1.940	2.47E-04	1.87E-05	1.09E-04	1.70E-05	2.49E-05	6.14E-06	2.59E-05	5.60E-06	8.16E-06	1.80E-02	72.90
L1	1.240	9.670	1.090	1.200	2.47E-04	1.87E-05	1.46E-04	1.64E-05	1.81E-05	6.14E-06	3.48E-05	5.40E-06	5.94E-06	6.00E-03	24.30
L2	1.240	9.670	1.090	1.200	2.47E-04	1.87E-05	1.46E-04	1.64E-05	1.81E-05	6.14E-06	3.48E-05	5.40E-06	5.94E-06	1.00E-02	40.50
L3	1.240	9.670	1.090	1.200	2.47E-04	1.87E-05	1.46E-04	1.64E-05	1.81E-05	6.14E-06	3.48E-05	5.40E-06	5.94E-06	1.40E-02	56.70
L4	1.240	9.670	1.090	1.200	2.47E-04	1.87E-05	1.46E-04	1.64E-05	1.81E-05	6.14E-06	3.48E-05	5.40E-06	5.94E-06	1.80E-02	72.90
M1	2.350	7.150	1.230	2.470	3.43E-04	2.60E-05	7.91E-05	1.36E-05	2.73E-05	8.53E-06	1.89E-05	4.46E-06	8.97E-06	6.00E-03	17.50
M2	2.350	7.150	1.230	2.470	3.43E-04	2.60E-05	7.91E-05	1.36E-05	2.73E-05	8.53E-06	1.89E-05	4.46E-06	8.97E-06	1.00E-02	29.16
M3	2.350	7.150	1.230	2.470	3.43E-04	2.60E-05	7.91E-05	1.36E-05	2.73E-05	8.53E-06	1.89E-05	4.46E-06	8.97E-06	1.40E-02	40.83
M4	2.350	7.150	1.230	2.470	3.43E-04	2.60E-05	7.91E-05	1.36E-05	2.73E-05	8.53E-06	1.89E-05	4.46E-06	8.97E-06	1.80E-02	52.49

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลอัตราการป้อนสารที่สภาวะ อุณหภูมิ และความดันคงที่ ของการทดลองที่ N ถึง Q

การทดลองที่	$F_{0,methane}$(mol/s)	ปริมาตรการไหล ที่ 303 K				ปริมาตรการไหล(m^3/s) ที่ อุณหภูมิต่างๆ				น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา,W(kg)	$W/F_{0,methane}$	ความเข้มข้น(mol/m^3)			
		CH_4(m^3/s)	H_2O(kg/s)	CO_2(m^3/s)	N_2(m^3/s)	CH_4	H_2O	CO_2	N_2			CH_4	H_2O	CO_2	N_2
N1	3.42E-04	8.52E-06	1.88E-05	5.26E-06	1.08E-05	2.31E-05	7.02E-05	1.43E-05	2.93E-05	6.00E-03	17.54	2.501	7.590	1.544	3.170
N2	3.42E-04	8.52E-06	1.88E-05	5.26E-06	1.08E-05	2.31E-05	7.02E-05	1.43E-05	2.93E-05	1.00E-02	29.24	2.501	7.590	1.544	3.170
N3	3.42E-04	8.52E-06	1.88E-05	5.26E-06	1.08E-05	2.31E-05	7.02E-05	1.43E-05	2.93E-05	1.40E-02	40.94	2.501	7.590	1.544	3.170
N4	3.42E-04	8.52E-06	1.88E-05	5.26E-06	1.08E-05	2.31E-05	7.02E-05	1.43E-05	2.93E-05	1.80E-02	52.63	2.501	7.590	1.544	3.170
O1	3.42E-04	8.52E-06	1.88E-05	5.26E-06	1.08E-05	2.45E-05	7.45E-05	1.52E-05	3.11E-05	6.00E-03	17.54	2.357	7.155	1.455	2.988
O2	3.42E-04	8.52E-06	1.88E-05	5.26E-06	1.08E-05	2.45E-05	7.45E-05	1.52E-05	3.11E-05	1.00E-02	29.24	2.357	7.155	1.455	2.988
O3	3.42E-04	8.52E-06	1.88E-05	5.26E-06	1.08E-05	2.45E-05	7.45E-05	1.52E-05	3.11E-05	1.40E-02	40.94	2.357	7.155	1.455	2.988
O4	3.42E-04	8.52E-06	1.88E-05	5.26E-06	1.08E-05	2.45E-05	7.45E-05	1.52E-05	3.11E-05	1.80E-02	52.63	2.357	7.155	1.455	2.988
P1	3.42E-04	8.52E-06	1.88E-05	5.26E-06	1.08E-05	2.60E-05	7.88E-05	1.60E-05	3.29E-05	6.00E-03	17.54	2.230	6.767	1.377	2.826
P2	3.42E-04	8.52E-06	1.88E-05	5.26E-06	1.08E-05	2.60E-05	7.88E-05	1.60E-05	3.29E-05	1.00E-02	29.24	2.230	6.767	1.377	2.826
P3	3.42E-04	8.52E-06	1.88E-05	5.26E-06	1.08E-05	2.60E-05	7.88E-05	1.60E-05	3.29E-05	1.40E-02	40.94	2.230	6.767	1.377	2.826
P4	3.42E-04	8.52E-06	1.88E-05	5.26E-06	1.08E-05	2.60E-05	7.88E-05	1.60E-05	3.29E-05	1.80E-02	52.63	2.230	6.767	1.377	2.826
Q1	3.42E-04	8.52E-06	1.88E-05	5.26E-06	1.08E-05	2.74E-05	8.30E-05	1.69E-05	3.47E-05	6.00E-03	17.54	2.115	6.420	1.306	2.681
Q2	3.42E-04	8.52E-06	1.88E-05	5.26E-06	1.08E-05	2.74E-05	8.30E-05	1.69E-05	3.47E-05	1.00E-02	29.24	2.115	6.420	1.306	2.681
Q3	3.42E-04	8.52E-06	1.88E-05	5.26E-06	1.08E-05	2.74E-05	8.30E-05	1.69E-05	3.47E-05	1.40E-02	40.94	2.115	6.420	1.306	2.681
Q4	3.42E-04	8.52E-06	1.88E-05	5.26E-06	1.08E-05	2.74E-05	8.30E-05	1.69E-05	3.47E-05	1.80E-02	52.63	2.115	6.420	1.306	2.681

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทในมาโนมิเตอร์กับอัตราการไหลของก๊าซ

มาโนมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีอยู่ 4 ตัว คือ

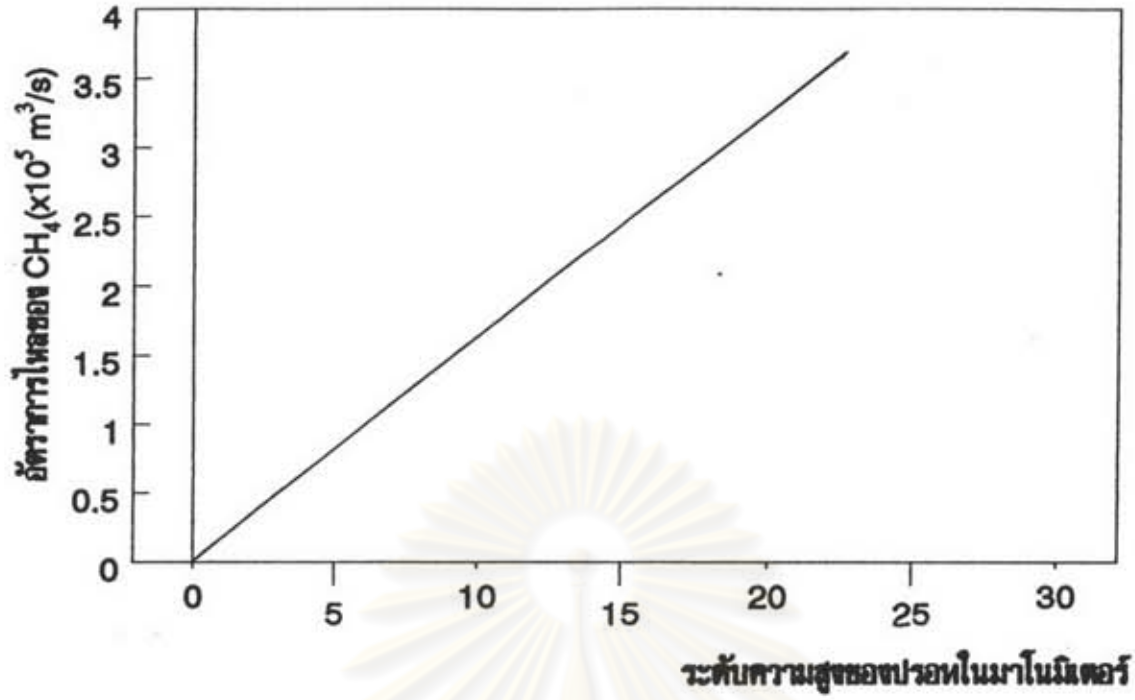
1. มาโนมิเตอร์ตัวที่ 1 ใช้สำหรับวัดแรงดันทางเข้าเบดบรรจุที่มีเทนไหลผ่าน ระดับความสูงของปรอทในมาโนมิเตอร์ มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของมีเทน ดังรูปที่ ค.1

2. มาโนมิเตอร์ตัวที่ 2 ใช้สำหรับวัดแรงดันทางเข้าเบดบรรจุที่คาร์บอนไดออกไซด์ ไหลผ่านระดับความสูงของปรอทในมาโนมิเตอร์ มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ ชุดที่ 1 ดังรูปที่ ค.2

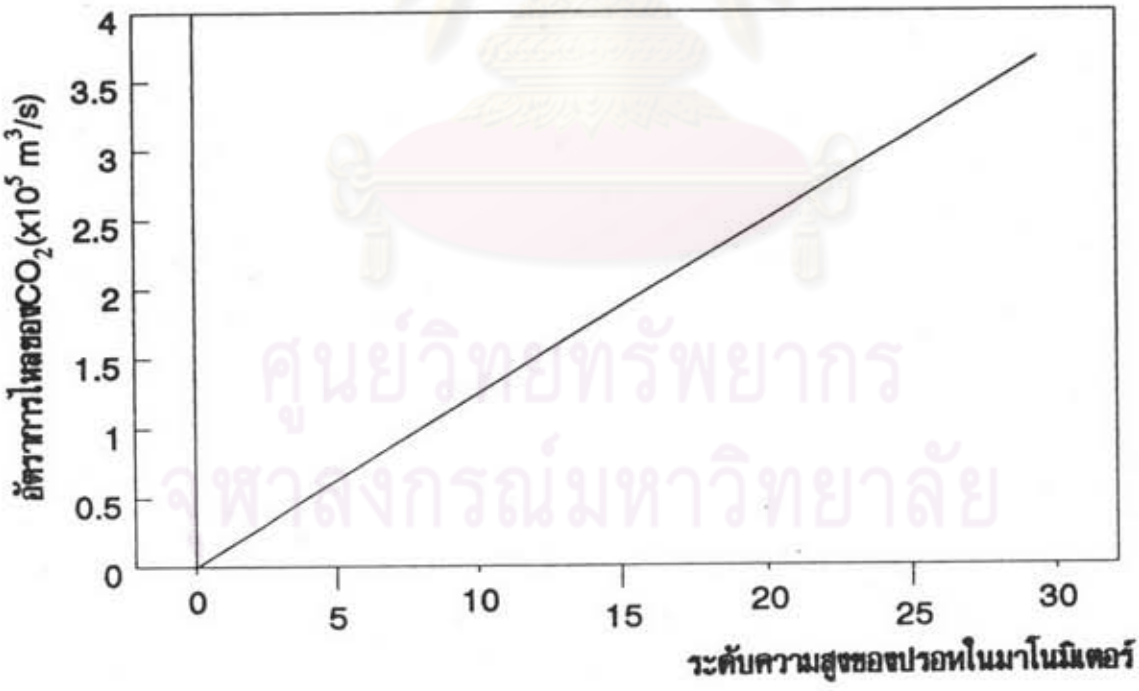
3. มาโนมิเตอร์ตัวที่ 3 ใช้สำหรับวัดแรงดันทางเข้าเบดบรรจุที่ไนโตรเจนไหลผ่าน ระดับความสูงของปรอทในมาโนมิเตอร์ มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของไนโตรเจน ดังรูปที่ ค.3

4. มาโนมิเตอร์ตัวที่ 4 ใช้สำหรับวัดแรงดันทางเข้าเบดบรรจุที่คาร์บอนไดออกไซด์ ไหลผ่านระดับความสูงของปรอทในมาโนมิเตอร์ มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ ชุดที่ 2 ดังรูปที่ ค.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

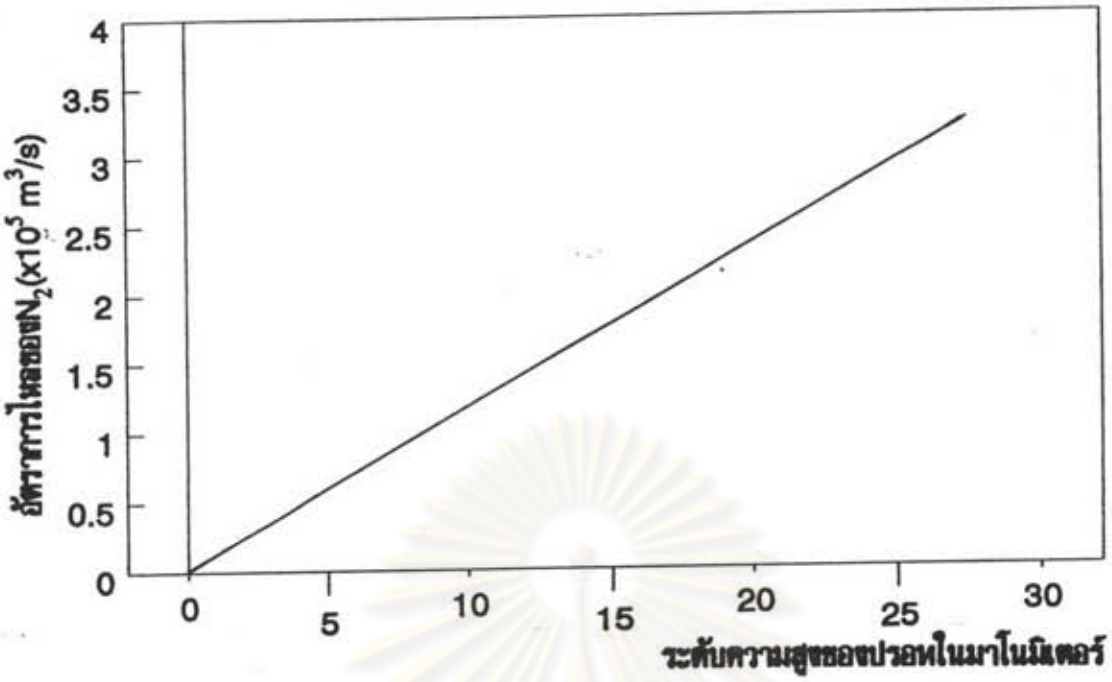


รูปที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของปรอทในมาโนมิเตอร์กับอัตราการไหลของมีเทน

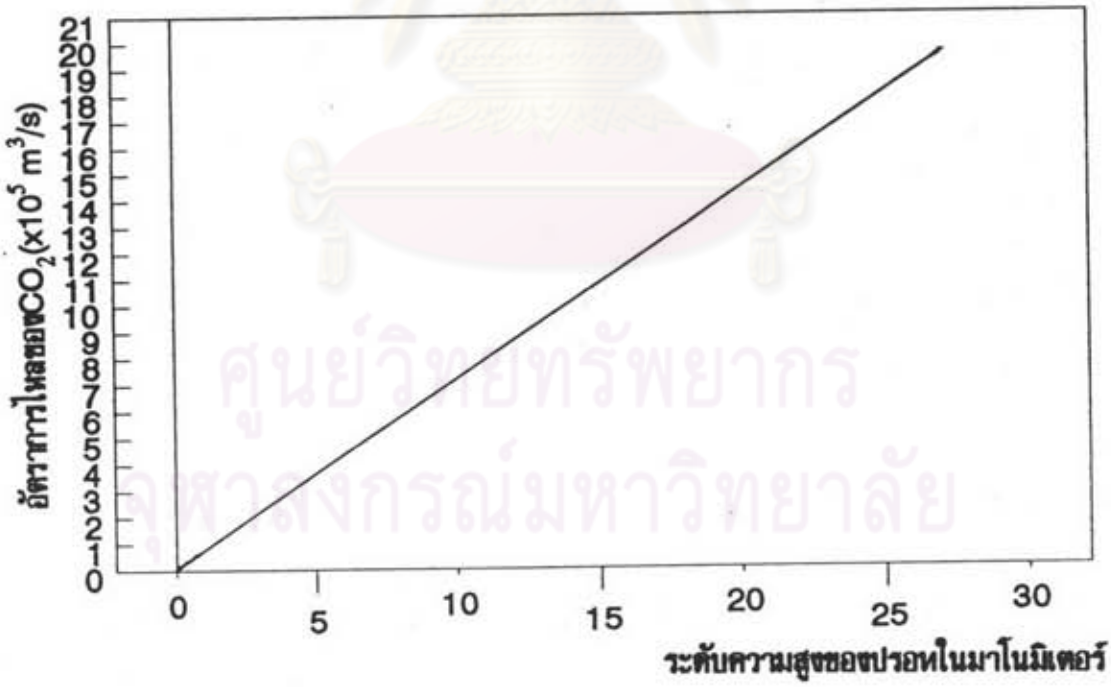


รูปที่ ค.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของปรอทในมาโนมิเตอร์กับอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ชุดที่ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ค.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของปรอทในมาโนมิเตอร์กับอัตราการไหลของไนโตรเจน



รูปที่ ค.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของปรอทในมาโนมิเตอร์กับอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ชุดที่ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

ก๊าซผสมที่จะนำมาวิเคราะห์ส่วนประกอบ เมื่อนำมาฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ จะถูกก๊าซฮีเลี่ยมซึ่งเป็นก๊าซตัวพาไหลผ่านไปตามคอลัมน์ที่บรรจุตัวดูดซับไว้ เมื่อผ่านคอลัมน์ของพอราพัก คิว(Porapak Q) พอราแพค คิวจะดูดซับก๊าซเอาไว้ ก๊าซที่มีความดูดซับได้น้อยจะถูกพาออกจากคอลัมน์ก่อน ทำให้ก๊าซแต่ละชนิดแยกออกจากคอลัมน์ไม่พร้อมกัน และผ่านเข้าคอลัมน์อีกชุดหนึ่งซึ่งบรรจุโมเลกิวลาร์ซีฟ ก๊าซที่แยกจากกันได้น้อยเนื่องจากความสามารถถูกดูดซับใกล้เคียงกันในคอลัมน์ของพอราแพค คิว จะถูกดูดซับด้วยโมเลกิวลาร์ซีฟและแยกออกจากกันได้ จากคอลัมน์ทั้งสองจะทำให้ก๊าซที่ฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟแยกออกจากกันได้หมด ปริมาณของก๊าซแต่ละชนิดจะถูกแสดงออกมาเป็นพีค(Peak) พร้อมค่าของพื้นที่ใต้พีคโดยเครื่องอินทิเกรเตอร์(integrator) ก๊าซที่มีปริมาณมากจะให้พีคที่มีพื้นที่ใต้พีคมาก จากค่าพื้นที่ใต้พีคสามารถนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของก๊าซแต่ละชนิดได้ โดยมีตัวแก้ค่าผิดพลาด ดังนี้

ก๊าซ	CO_2	CH_4	H_2	CO	O_2
ตัวแก้ค่าผิดพลาด	0.84	1.21	71.36	1.037	1.33

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของก๊าซจากผลการวิเคราะห์ ดังนี้

CHROMATOPAC C-R6A FILE 5
SAMPLE NO 0 METHOD 41
REPORT NO 1448

PKNO	TIME	AREA	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1.115	275890			32.6336	
2	1.365	37380	V		4.4215	
3	2.372	191380	V		22.6374	
4	4.45	20326			2.4043	
5	4.925	9838	V		1.1636	
6	5.412	235114	V		27.8105	
7	6.52	46936	V		5.5518	
8	8.092	28552	V		3.3773	
	TOTAL	845416			100	

รูปที่ ง.1 แสดงพีกของก๊าซแต่ละชนิดที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก๊าซ	พื้นที่ใต้พีก	ตัวแก้ค่าผิดพลาด	พื้นที่ที่ทำการแก้ไข	เปอร์เซ็นต์ก๊าซ
CH_4	46936	1.21	56793	2.48
CO_2	191380	0.84	160759	7.02
H_2	20326	71.36	1450463	63.31
O_2	9838	1.33	13085	0.57
N_2	235114	1.00	235114	10.26
CO	28552	1.035	374826	16.36

			รวม	100.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายชัยวัฒน์ ธานีรัตน์ เกิดวันที่ 22 กรกฎาคม 2505 ที่ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต ในสาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ในปีการศึกษา 2528 ปัจจุบันทำงานอยู่ที่ กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ เขตราชเทวี กรุงเทพฯ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย