

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- ชัยวัฒน์ ธานีรัตน์. จลนพลศาสตร์ของการรีฟอร์มมีเทน ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ บนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล/อลูมินา, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- นครินทร์ สุรพงศ์ประภา. การควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ในฟลูอิโดซ์เบดของปฏิกิริยารีฟอร์มมีเทนแอลพีจีด้วยไอน้ำ, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533.
- ลาวัลย์ เรียรถาวร. รีฟอร์มมีเทนของก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ บนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล/อลูมินาในฟลูอิโดซ์เบด, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
- สมชาย ไอสวรรณ. จลนพลศาสตร์วิศวกรรมเคมี ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533.

### ภาษาอังกฤษ

- Akers, W.W. and Camp, D.P. Kinetics of the methane-steam reaction. *AIChE.J.*, (Vol.1), 1955 : 471-475.
- Bodrov, N.M., Apel'baum, L.O., and Temkia, M.I. Kinetics of the reaction of methane with steam on the surface of nickel. *Kinetika i Kataliz.* (Vol.5), 1964 : 696-705.
- Bond, G.C. Heterogeneous catalysis : Principles and Application. (2<sup>nd</sup> ed) Oxford: Clarendon Press, 1987.
- Chapra-Canale. Numerical methods for Engineering. (2<sup>nd</sup> ed) Singapore: McGraw Hill book company, 1988.
- Denbigh, K.G. Chemical Reactor Theory. (2<sup>nd</sup> ed) London : Cambridge University Press, 1971.

- Gadalla , A.M. and Bower, B. The role of catalyst support on the activity of nickel for reforming methane with CO<sub>2</sub>. Chemical Engineering Science 43(11) ,1988: 3049-3062.
- 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.
- Goff,S.P. and Wang , S.I. Syngas production by reforming. Chemical Engineering Progress (August 1987) : 46-53.
- Hawk, C.O. , Golden, P.L.,Storch H.H., and Freldner, A.C. Conversion of methane to carbonmonoxide and hydrogen Industrial Engineering Chemistry 24(1), 1934:223-227.
- Kemall,C. et al. Catalysis (Vol.3) London: The Chemical Society Burlington House,1980.
- Kuhre, C.J. and Shearer , C.J. Syn gas from heavy fuel. Hydrocarbon Processing , 59(52), (December 1971) : 113-117.
- Levenspiel,O. Chemical Reaction Engineering. (2<sup>nd</sup> ed) Singapore : John Wiley & Sons,1972.
- Murrey,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.
- 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-Nielson,J.R. Activity of nickel catalysts for steam reforming of hydrocarbon. Journal of Catalyst (Vol.31), 1973:173-199.
- Satterfield, C.N. Heterogeneous Catalysis in Practice. NY: McGraw Hill , 1980.
- Tomoyuki , I. Catalyst Engineering and Natural Gas Utilization. Paper presented at Faculty of Engineering ,Chulalongkorn University,Thailand, (October 15-17),1985.
- 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.
- Vokel H.K. , Chemical Industrial 31 n.p.,1979.





ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

1. คำนวณการป้อนสารตั้งต้นเข้าเครื่องปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิและความดันคงที่

ยกตัวอย่างข้อมูลการทดลองชุด A มีดังนี้

อุณหภูมิ 1023 องศาเซลวิน

ความดัน 1 บรรยากาศ

อัตราส่วน LPG : H<sub>2</sub>O : N<sub>2</sub> = 0.127 : 0.619 : 0.254

อัตราการป้อนแก๊สแอลพีจี ( $F_{0,LPG}$ ) =  $3.5 \times 10^{-4}$  โมล/วินาที

1) คำนวณความเข้มข้นของแก๊สต่างๆที่อุณหภูมิ 1023 องศาเซลวิน ความดันบรรยากาศ  
แก๊สมีคุณสมบัติใกล้เคียงแก๊สอุดมคติ

จาก  $PV = nRT$

$$n/V = P/RT$$

แก๊สจะมีความเข้มข้นเท่ากับ  $n/V = (1 \text{ atm}) / [(8.21 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})(1023 \text{ K})]$   
 $= 11.91 \text{ โมล/ม}^3$

ดังนั้น ความเข้มข้นของแก๊สแอลพีจี =  $0.127 \times 11.91 = 1.513 \text{ โมล/ม}^3$

ความเข้มข้นของไอน้ำ =  $0.619 \times 11.91 = 7.372 \text{ โมล/ม}^3$

ความเข้มข้นของแก๊สไนโตรเจน =  $0.254 \times 11.91 = 3.025 \text{ โมล/ม}^3$

2) คำนวณปริมาตรการไหลของแก๊สที่อุณหภูมิ 1023 องศาเซลวิน

อัตราการป้อนแก๊สแอลพีจี ( $F_{0,LPG}$ ) =  $n = 3.5 \times 10^{-4}$  โมล/วินาที

ปริมาตรการไหลของแก๊สแอลพีจี =  $V = nRT/P$   
 $= (3.5 \times 10^{-4}) (8.21 \times 10^{-5}) (1023) / (1)$

$$= 2.94 \times 10^{-5} \text{ ม}^3/\text{วินาที}$$

ปริมาตรการไหลของไอน้ำ =  $2.94 \times 10^{-5} \times [\text{H}_2\text{O}] / [\text{LPG}]$

$$= 1.43 \times 10^{-4} \text{ ม}^3/\text{วินาที}$$

ปริมาตรการไหลของไนโตรเจน =  $2.94 \times 10^{-5} \times [\text{N}_2] / [\text{LPG}]$

$$= 5.88 \times 10^{-5} \text{ ม}^3/\text{วินาที}$$

3) คำนวณปริมาตรการไหลของแก๊สที่อุณหภูมิของสารป้อน 303 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ

$$\begin{aligned} \text{จาก } V_{303} &= V_{1023} T_{303} / T_{1023} \\ \text{ปริมาตรการไหลของแก๊สแอลพีจี} &= 2.94 \times 10^{-5} \times (303 / 1023) \\ &= 8.71 \times 10^{-6} \text{ ม}^3/\text{วินาที} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรการไหลของไนโตรเจน} &= 5.88 \times 10^{-5} \times (303 / 1023) \\ &= 1.74 \times 10^{-5} \text{ ม}^3/\text{วินาที} \end{aligned}$$

และที่อุณหภูมิ 1023 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ ไอน้ำมีปริมาตรจำเพาะ = 4.72 ม<sup>3</sup>/กก.

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ปริมาตรการไหลของไอน้ำ} &= (1.43 \times 10^{-4} \text{ ม}^3/\text{วินาที}) / (4.72 \text{ ม}^3/\text{กก.}) \\ &= 3.03 \times 10^{-5} \text{ กก./วินาที} \end{aligned}$$

ที่อัตราส่วนของ LPG : H<sub>2</sub>O : N<sub>2</sub> ค่าอื่นๆก็คำนวณทำนองเดียวกัน ดังแสดงในภาคผนวก ค

## 2. คำนวณค่าการเปลี่ยนแปลง (X<sub>LPG</sub>)

$$X_{LPG} = \frac{\text{จำนวนโมลอะตอมของคาร์บอนใน CO และ CO}_2}{\text{จำนวนโมลอะตอมของคาร์บอนในองค์ประกอบของแอลพีจีทั้งหมด}}$$

แก๊สแอลพีจีที่ใช้มีส่วนประกอบดังนี้

	โมล(%)
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	5.80
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	50.57
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	43.63
	100.00

$$\text{ปริมาณคาร์บอนในองค์ประกอบของแก๊สแอลพีจีทั้งหมด} = (2 \times 5.80) + (3 \times 50.57) + (4 \times 43.63)$$

$$= 337.8 \text{ โมลอะตอมคาร์บอน} / 100 \text{ โมลแอลพีจี}$$

องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์จากการวิเคราะห์ด้วย GC ของตัวอย่าง A4 มีดังนี้



	โมล(%)
CO <sub>2</sub>	7.73
H <sub>2</sub>	48.94
O <sub>2</sub>	6.14
N <sub>2</sub>	20.78
CH <sub>4</sub>	13.62
CO	10.35
	100

### สมดุลของคาร์บอน

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลของคาร์บอนที่เข้า} &= (3.5 \times 10^{-4} \text{ โมลแอลพีจี/วินาที}) (337.8 \text{ โมลอะตอมคาร์บอน/100 โมลแอลพีจี}) \\ &= 1.18 \times 10^{-3} \text{ โมลอะตอม/วินาที} \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในผลิตภัณฑ์} = 7.73 + 13.62 + 10.35 = 31.70 \text{ โมลอะตอม/100 โมลแอลพีจี}$$

$$\text{อัตราการไหลของ N}_2 = 2 \times 3.5 \times 10^{-4} \text{ โมล/วินาที}$$

$$\text{ใน 100 โมลแอลพีจี มี N}_2 = 20.78 \text{ โมล}$$

$$\text{อัตราการไหลของคาร์บอนอะตอม} = [(2 \times 3.5 \times 10^{-4} \text{ โมล/วินาที}) \times (31.70 \text{ โมลอะตอม})] / (20.78 \text{ โมล})$$

$$\text{ดังนั้น ปริมาณคาร์บอนที่ออก} = 1.07 \times 10^{-3} \text{ โมล/วินาที}$$

### หาค่าการเปลี่ยนแปลง (X<sub>LPG</sub>)

จากองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้

$$\text{ปริมาณคาร์บอนของ CO และ CO}_2 \text{ ในผลิตภัณฑ์} = 7.73 + 10.35 = 18.08 \text{ โมลอะตอม}$$

$$\text{อัตราการไหลของ N}_2 = 2 \times 3.5 \times 10^{-4} \text{ โมล/วินาที}$$

$$\text{ใน 100 โมลแอลพีจี มี N}_2 = 20.78 \text{ โมล}$$

$$\text{อัตราการไหลของคาร์บอนอะตอมใน CO และ CO}_2 = [(2 \times 3.5 \times 10^{-4} \text{ โมล/วินาที}) \times (18.08 \text{ โมลอะตอม})] / (20.78 \text{ โมล})$$

$$\text{ดังนั้น ปริมาณคาร์บอนที่เกิด} = 6.09 \times 10^{-4} \text{ โมล/วินาที}$$

$$\text{ค่าการเปลี่ยนแปลง (X}_{LPG}\text{)} = \text{ปริมาณคาร์บอนที่เกิด} / \text{ปริมาณคาร์บอนที่เข้า}$$

$$= 6.09 \times 10^{-4} / 1.18 \times 10^{-3} = 0.516$$

### 3. การคำนวณค่า $\Phi$

จากหลักการของ Weisz-Prater :

$$\Phi = \frac{(-r_A)_{\text{obs}} L^2}{D_e C_{A_g}}$$

ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการคำนวณค่า  $\Phi$  ในงานวิจัยนี้แสดงดังนี้

อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ได้จากการทดลอง, $(-r_A)_{\text{obs}}$	139,104 mol / hr.m <sup>3</sup>
ความเข้มข้นของสารตั้งต้น, $C_{A_g}$	1.513 mol / m <sup>3</sup>
ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่, $D_e$	0.189 m <sup>2</sup> / hr
ความลึกของรูพรุน, $L$	5.25x10 <sup>-5</sup> m

นำค่าตัวแปรจากตารางแทนในสมการข้างต้นจะได้

$$\begin{aligned}\Phi &= \frac{(139,104 \text{ mol / hr.m}^3)(5.25 \times 10^{-5} \text{ m})^2}{(0.189 \text{ m}^2 / \text{hr})(1.513 \text{ mol / m}^3)} \\ &= 1.34 \times 10^{-3}\end{aligned}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

จากค่าพื้นที่ใต้พีคสามารถนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของแก๊สแต่ละชนิดได้ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตอบสนองสัมพัทธ์ ดังนี้

แก๊ส	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO
สปส.ของการตอบสนองสัมพัทธ์ (Vitidsant,1988)	0.84	1.21	0.81	0.87	0.66	71.36	1.33	1.00	1.037

วิธีหรร้อยละองค์ประกอบในแก๊สผลิตภัณฑ์แสดงได้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์ของการตอบสนองสัมพัทธ์ มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ใต้พีคดังสมการ

$$V_i = K_i S_i \tag{ข1}$$

$$V_{N_2} = K_{N_2} S_{N_2} \tag{ข2}$$

$$V_i / V_{N_2} = (K_i / K_{N_2}) (S_i / S_{N_2}) \tag{ข3}$$

โดยที่

$K_i / K_{N_2}$  = ค่าสัมประสิทธิ์ของการตอบสนองสัมพัทธ์ขององค์ประกอบ i

$K_i$  = ค่าสัมประสิทธิ์ของการตอบสนองขององค์ประกอบ i

$V_i$  = ปริมาตรขององค์ประกอบ i

$S_i$  = พื้นที่ใต้พีคขององค์ประกอบ i

วิธีหรร้อยละองค์ประกอบในแก๊สผลิตภัณฑ์

$$X_i = V_i / V_T = K_i S_i / [ (K_i S_i) + K_{N_2} S_{N_2} ]$$

เมื่อ  $V_T$  = ปริมาตรรวม

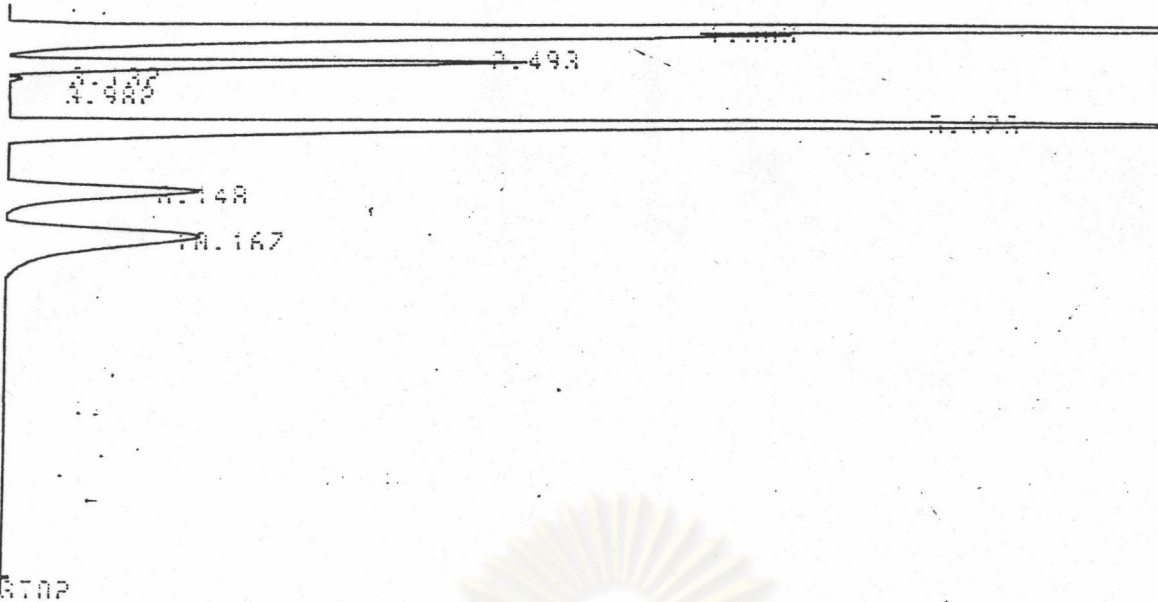
$V_i$  = ปริมาตรขององค์ประกอบ i

j = องค์ประกอบในแก๊สผลิตภัณฑ์ยกเว้นองค์ประกอบ N<sub>2</sub>

ตัวอย่างการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของแก๊สจากผลการวิเคราะห์ แสดงดังต่อไปนี้



START



0.953

2.493

3.132

8.148

10.167

STOP

PARAMETER C-26A  
 SAMPLE NO 0  
 REPORT NO 2571

FILE 5  
 METHOD 41

PKNO	TIME	AREA	HK	TONO	CONC	NAME
1	0.953	94014			25.3931	
2	1.383	36841	V		8.33	
3	2.493	24281	V		8.5583	
4	3.132	6943			1.8752	
5	5.999	8339	V		2.2522	
6	8.148	102160			27.5934	
7	8.148	59099	V		15.9627	
8	10.167	44558	V		12.835	
TOTAL		370234			100	

รูปที่ ข1 พีคของแก๊สแต่ละชนิดที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์แก๊ส.

พีคที่	แก๊ส	พื้นที่ใต้พีค (S <sub>i</sub> )	ค่าสัมประสิทธิ์ของการตอบสนองสัมพัทธ์ (K <sub>i</sub> /K <sub>N2</sub> )	(K <sub>i</sub> /K <sub>N2</sub> )(S <sub>i</sub> )	ร้อยละองค์ประกอบ
3	CO <sub>2</sub>	24281	0.84	20396	2.77
4	H <sub>2</sub>	6943	71.36	49545	67.34
6	N <sub>2</sub>	102160	1.00	102160	13.89
7	CH <sub>4</sub>	59099	1.21	71510	9.72
8	CO	44558	1.035	46207	6.28
				735725	100.00

ภาคผนวก ค  
ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ค1 อัตราการป้อนสารที่สภาวะอุณหภูมิ 1023 องศาเคลวินและความดันบรรยากาศ ของการทดลองที่ A ถึง I

การทดลองที่	ความเข้มข้น(mol/m <sup>3</sup> )			F <sub>0,LPG</sub> (mol/s)	ปริมาตรการไหล(m <sup>3</sup> /s)ที่1023K			ปริมาตรการไหล(m <sup>3</sup> /s)ที่303K			น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา,W(kg)	W/F <sub>0,LPG</sub>
	LPG	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>		LPG	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	LPG	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>		
A1	1.513	7.372	3.025	3.5 E-4	2.94E-5	1.43E-4	5.88E-5	8.71E-6	3.03E-5	1.74E-5	2.0E-3	5.71
A2	1.513	7.372	3.025	3.5 E-4	2.94E-5	1.43E-4	5.88E-5	8.71E-6	3.03E-5	1.74E-5	6.0E-3	17.14
A3	1.513	7.372	3.025	3.5 E-4	2.94E-5	1.43E-4	5.88E-5	8.71E-6	3.03E-5	1.74E-5	1.0E-2	28.57
A4	1.513	7.372	3.025	3.5 E-4	2.94E-5	1.43E-4	5.88E-5	8.71E-6	3.03E-5	1.74E-5	1.5E-2	42.86
B1	1.751	6.646	3.512	4.5 E-4	3.78E-5	1.43E-4	7.56E-5	1.12E-5	3.41E-5	2.24E-5	2.0E-3	4.44
B2	1.751	6.646	3.512	4.5 E-4	3.78E-5	1.43E-4	7.56E-5	1.12E-5	3.41E-5	2.24E-5	6.0E-3	13.33
B3	1.751	6.646	3.512	4.5 E-4	3.78E-5	1.43E-4	7.56E-5	1.12E-5	3.41E-5	2.24E-5	1.0E-2	22.22
B4	1.751	6.646	3.512	4.5 E-4	3.78E-5	1.43E-4	7.56E-5	1.12E-5	3.41E-5	2.24E-5	1.4E-2	31.11
C1	2.382	7.146	2.382	6.0 E-4	5.03E-5	1.51E-4	5.03E-5	1.49E-5	3.19E-5	1.49E-5	2.0E-3	3.33
C2	2.382	7.146	2.382	6.0 E-4	5.03E-5	1.51E-4	5.03E-5	1.49E-5	3.19E-5	1.49E-5	6.0E-3	10.00
C3	2.382	7.146	2.382	6.0 E-4	5.03E-5	1.51E-4	5.03E-5	1.49E-5	3.19E-5	1.49E-5	1.0E-2	16.67
C4	2.382	7.146	2.382	6.0 E-4	5.03E-5	1.51E-4	5.03E-5	1.49E-5	3.19E-5	1.49E-5	1.4E-2	23.33
D1	2.060	7.791	2.060	4.5 E-4	3.78E-5	1.43E-4	3.78E-5	1.12E-5	3.41E-5	1.12E-5	2.0E-3	4.44
D2	2.060	7.791	2.060	4.5 E-4	3.78E-5	1.43E-4	3.78E-5	1.12E-5	3.41E-5	1.12E-5	6.0E-3	13.33
D3	2.060	7.791	2.060	4.5 E-4	3.78E-5	1.43E-4	3.78E-5	1.12E-5	3.41E-5	1.12E-5	1.0E-2	22.22
D4	2.060	7.791	2.060	4.5 E-4	3.78E-5	1.43E-4	3.78E-5	1.12E-5	3.41E-5	1.12E-5	1.4E-2	31.11



ตารางที่ ค1 (ต่อ) อัตราการป้อนสารที่สภาวะ อุณหภูมิ 1023 องศาเคลวินและความดันบรรยากาศ ของการทดลองที่ A ถึง I

การทดลองที่	ความเข้มข้น(mol/m <sup>3</sup> )			F <sub>0,LPG</sub> (mol/s)	ปริมาตรการไหล(m <sup>3</sup> /s)ที่1023K			ปริมาตรการไหล(m <sup>3</sup> /s)ที่303K			น้ำหนักตัวเร่ง ปฏิกิริยา,W(kg)	W/F <sub>0,LPG</sub>
	LPG	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>		LPG	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	LPG	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>		
E1	2.981	7.110	1.880	7.0 E-4	5.87E-5	1.43E-4	3.78E-5	1.74E-5	3.41E-5	1.12E-5	2.0E-3	2.86
E2	2.981	7.110	1.880	7.0 E-4	5.87E-5	1.43E-4	3.78E-5	1.74E-5	3.41E-5	1.12E-5	5.0E-3	7.14
E3	2.981	7.110	1.880	7.0 E-4	5.87E-5	1.43E-4	3.78E-5	1.74E-5	3.41E-5	1.12E-5	8.0E-3	11.43
E4	2.981	7.110	1.880	7.0 E-4	5.87E-5	1.43E-4	3.78E-5	1.74E-5	3.41E-5	1.12E-5	1.2E-2	17.14
F1	1.072	8.694	2.144	3.5 E-4	2.94E-5	2.38E-4	5.87E-5	8.71E-6	5.67E-5	1.74E-5	2.0E-3	5.71
F2	1.072	8.694	2.144	3.5 E-4	2.94E-5	2.38E-4	5.87E-5	8.71E-6	5.67E-5	1.74E-5	5.0E-3	14.29
F3	1.072	8.694	2.144	3.5 E-4	2.94E-5	2.38E-4	5.87E-5	8.71E-6	5.67E-5	1.74E-5	8.0E-3	22.86
F4	1.072	8.694	2.144	3.5 E-4	2.94E-5	2.38E-4	5.87E-5	8.71E-6	5.67E-5	1.74E-5	1.2E-2	34.29
G1	1.286	8.063	2.562	4.5 E-4	3.78E-5	2.38E-4	7.56E-5	1.12E-5	5.67E-5	2.24E-5	2.0E-3	4.44
G2	1.286	8.063	2.562	4.5 E-4	3.78E-5	2.38E-4	7.56E-5	1.12E-5	5.67E-5	2.24E-5	5.0E-3	11.11
G3	1.286	8.063	2.562	4.5 E-4	3.78E-5	2.38E-4	7.56E-5	1.12E-5	5.67E-5	2.24E-5	8.0E-3	17.78
G4	1.286	8.063	2.562	4.5 E-4	3.78E-5	2.38E-4	7.56E-5	1.12E-5	5.67E-5	2.24E-5	1.2E-2	26.67
H1	1.775	8.371	1.775	6.0 E-4	5.03E-5	2.38E-4	5.03E-5	1.49E-5	5.67E-5	1.49E-5	2.0E-3	3.33
H2	1.775	8.371	1.775	6.0 E-4	5.03E-5	2.38E-4	5.03E-5	1.49E-5	5.67E-5	1.49E-5	5.0E-3	8.33
H3	1.775	8.371	1.775	6.0 E-4	5.03E-5	2.38E-4	5.03E-5	1.49E-5	5.67E-5	1.49E-5	8.0E-3	13.33
H4	1.775	8.371	1.775	6.0 E-4	5.03E-5	2.38E-4	5.03E-5	1.49E-5	5.67E-5	1.49E-5	1.2E-2	20.00
I1	2.084	8.480	1.346	7.0 E-4	5.87E-5	2.38E-4	3.78E-5	1.74E-5	5.67E-5	1.12E-5	2.0E-3	2.86
I2	2.084	8.480	1.346	7.0 E-4	5.87E-5	2.38E-4	3.78E-5	1.74E-5	5.67E-5	1.12E-5	5.0E-3	7.14
I3	2.084	8.480	1.346	7.0 E-4	5.87E-5	2.38E-4	3.78E-5	1.74E-5	5.67E-5	1.12E-5	8.0E-3	11.43
I4	2.084	8.480	1.346	7.0 E-4	5.87E-5	2.38E-4	3.78E-5	1.74E-5	5.67E-5	1.12E-5	1.2E-2	17.14



ตารางที่ ค2 อัตราการป้อนสารที่สภาวะ ความดันบรรยากาศ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ของการทดลองที่ W ถึง Z

การทดลองที่	อุณหภูมิ (K)	ความเข้มข้น(mol/m <sup>3</sup> )			F <sub>0,LPG</sub> (mol/s)	ปริมาตรการไหล(m <sup>3</sup> /s)ที่อุณหภูมิต่างๆ			ปริมาตรการไหล(m <sup>3</sup> /s)ที่303K			น้ำหนักตัวเร่ง ปฏิกิริยา,W(kg)	W/F <sub>0,LPG</sub>
		LPG	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>		LPG	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	LPG	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>		
W1	973	1.59	7.74	3.18	3.5E-4	2.80E -5	1.36E -4	5.59E -5	8.71E -6	3.03E -5	1.74E -5	2.0E-3	5.71
W2	973	1.54	7.74	3.18	3.5E-4	2.80E -5	1.36E -4	5.59E -5	8.71E -6	3.03E -5	1.74E -5	5.0E-3	14.29
W3	973	1.54	7.74	3.18	3.5E-4	2.80E -5	1.36E -4	5.59E -5	8.71E -6	3.03E -5	1.74E -5	8.0E-3	22.86
W4	973	1.54	7.74	3.18	3.5E-4	2.80E -5	1.36E -4	5.59E -5	8.71E -6	3.03E -5	1.74E -5	1.1E-2	31.43
X1	1023	1.51	7.37	3.03	3.5E-4	2.94E -5	1.43E -4	5.87E -5	8.71E -6	3.03E -5	1.74E -5	2.0E-3	5.71
X2	1023	1.51	7.37	3.03	3.5E-4	2.94E -5	1.43E -4	5.87E -5	8.71E -6	3.03E -5	1.74E -5	5.0E-3	14.29
X3	1023	1.51	7.37	3.03	3.5E-4	2.94E -5	1.43E -4	5.87E -5	8.71E -6	3.03E -5	1.74E -5	8.0E-3	22.86
X4	1023	1.51	7.37	3.03	3.5E-4	2.94E -5	1.43E -4	5.87E -5	8.71E -6	3.03E -5	1.74E -5	1.1E-2	31.43
Y1	1073	1.44	7.01	2.88	3.5E-4	3.08E -5	1.50E -4	6.16E -5	8.71E -6	3.03E -5	1.74E -5	2.0E-3	5.71
Y2	1073	1.44	7.01	2.88	3.5E-4	3.08E -5	1.50E -4	6.16E -5	8.71E -6	3.03E -5	1.74E -5	5.0E-3	14.29
Y3	1073	1.44	7.01	2.88	3.5E-4	3.08E -5	1.50E -4	6.16E -5	8.71E -6	3.03E -5	1.74E -5	8.0E-3	22.86
Y4	1073	1.44	7.01	2.88	3.5E-4	3.08E -5	1.50E -4	6.16E -5	8.71E -6	3.03E -5	1.74E -5	1.1E-2	31.43
Z1	1123	1.38	6.72	2.76	3.5E-4	3.23E -5	1.57E -4	6.65E -5	8.71E -6	3.03E -5	1.74E -5	2.0E-3	5.71
Z2	1123	1.38	6.72	2.76	3.5E-4	3.23E -5	1.57E -4	6.65E -5	8.71E -6	3.03E -5	1.74E -5	5.0E-3	14.29
Z3	1123	1.38	6.72	2.76	3.5E-4	3.23E -5	1.57E -4	6.65E -5	8.71E -6	3.03E -5	1.74E -5	8.0E-3	22.86
Z4	1123	1.38	6.72	2.76	3.5E-4	3.23E -5	1.57E -4	6.65E -5	8.71E -6	3.03E -5	1.74E -5	1.1E-2	31.43



ตารางที่ ค3 อัตราการป้อนสารที่สภาวะ ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 1023 องศาเซลวินและน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาของ ที่ M ถึง T ของการทดลองที่ M ถึง T

การทดลองที่	ความเข้มข้น(mol/m <sup>3</sup> )			F <sub>0,LPG</sub> (mol/s)	ปริมาตรการไหล(m <sup>3</sup> /s)ที่1023K			ปริมาตรการไหล(m <sup>3</sup> /s)ที่303K			น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา,W(kg)	W/F <sub>0,LPG</sub>
	LPG	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>		LPG	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	LPG	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>		
M	0.333	10.981	0.591	3.62E-4	2.95E -5	9.72E -4	5.23E -5	9.0E -6	2.32E -4	1.55E -5	2.0E-3	5.52
N	0.331	10.921	0.660	3.62E-4	2.95E -5	9.72E -4	5.87E -5	9.0E -6	2.32E -4	1.74E -5	2.0E-3	5.52
O	0.414	10.671	0.830	4.5E-4	3.78E -5	9.72E -4	7.56E -5	1.12E -5	2.32E -4	2.24E -5	2.0E-3	4.44
P	0.424	10.897	0.586	4.5E-4	3.78E -5	9.72E -4	5.23E -5	1.12E -5	2.32E -4	1.55E -5	2.0E-3	4.44
Q	0.557	10.773	0.580	6.0E-4	5.03E -5	9.72E -4	5.23E -5	1.49E -5	2.32E -4	1.55E -5	2.0E-3	3.33
R	0.650	10.685	0.575	7.03E-4	5.91E -5	9.72E -4	5.23E -5	1.75E -5	2.32E -4	1.55E -5	2.0E-3	2.86
S	0.659	10.830	0.421	7.03E-4	5.91E -5	9.72E -4	3.78E -5	1.75E -5	2.32E -4	1.12E -5	2.0E-3	2.86
T	0.736	10.603	0.571	8.04E-4	6.75E -5	9.72E -4	5.23E -5	2.0E -5	2.32E -4	1.55E -5	2.0E-3	2.50

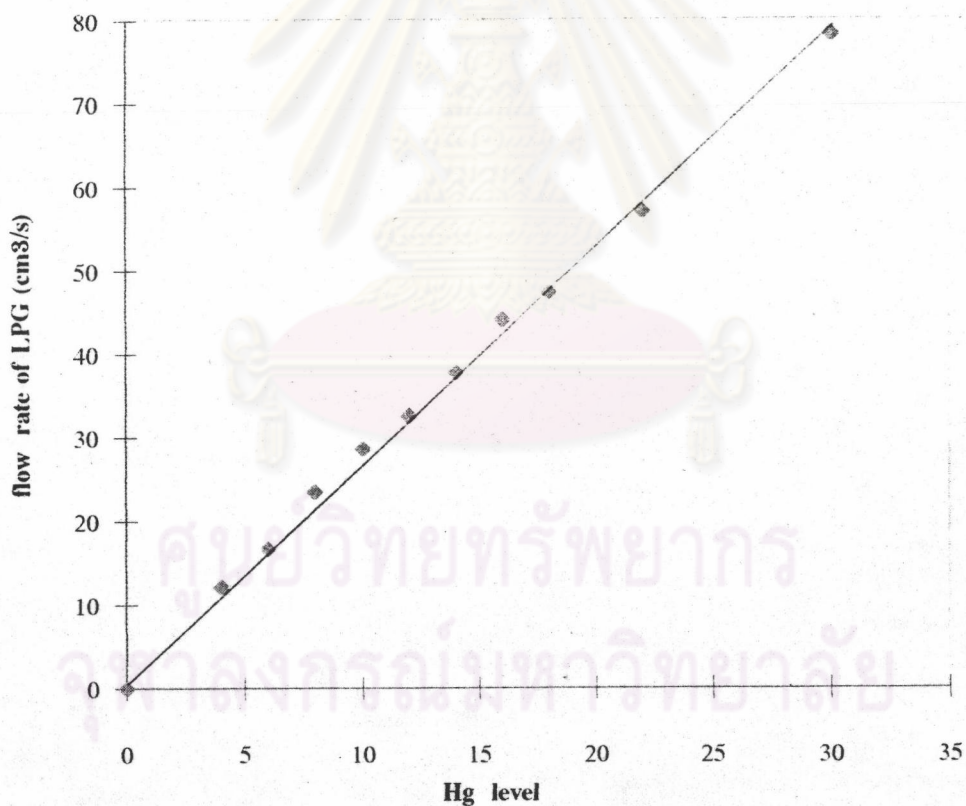
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ง

ความสัมพันธ์ระหว่างระดับปรอทในมาโนมิเตอร์กับอัตราการไหลของแก๊ส

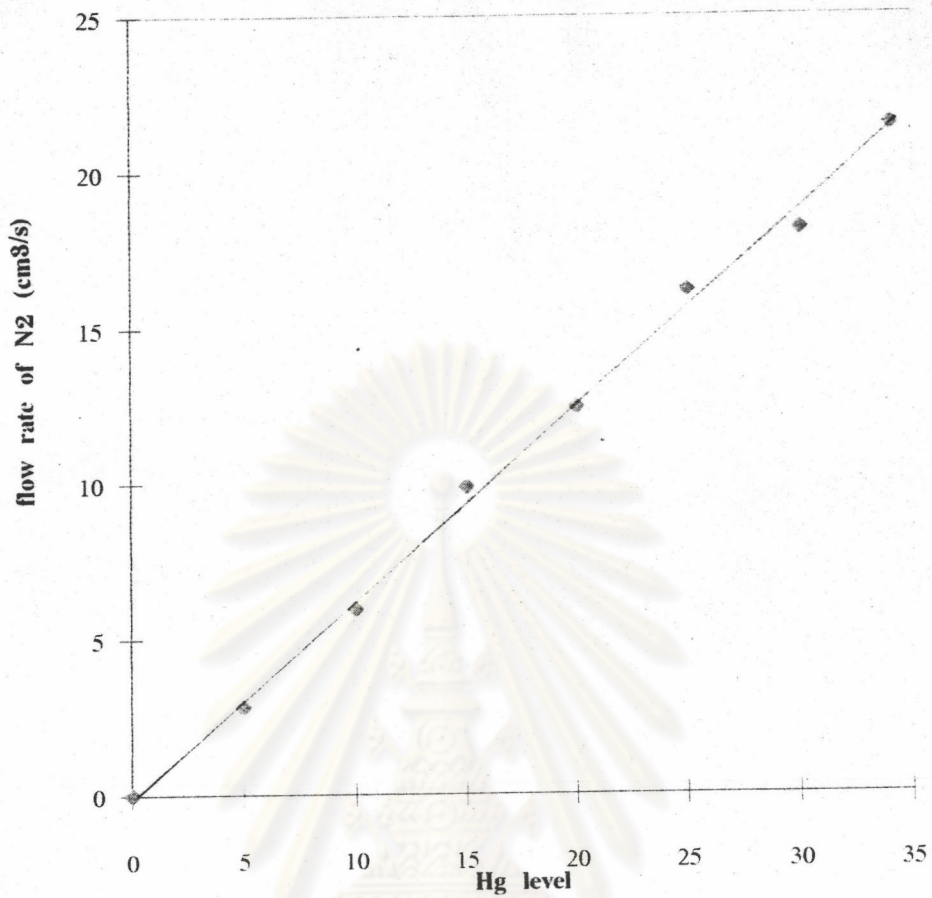
มาโนมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีอยู่ 2 ตัว คือ

1. มาโนมิเตอร์ตัวที่ 1 ใช้สำหรับวัดแรงดันทางเข้าเบดบรรจุที่มีแอลพีจีไหลผ่าน ระดับความสูงของปรอทในมาโนมิเตอร์ มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของแก๊สแอลพีจี ดังรูปที่ ง1
2. มาโนมิเตอร์ตัวที่ 2 ใช้สำหรับวัดแรงดันทางเข้าเบดบรรจุที่ไนโตรเจนไหลผ่าน ระดับความสูงของปรอทในมาโนมิเตอร์ มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน ดังรูปที่ ง2



รูปที่ ง1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของปรอทในมาโนมิเตอร์กับอัตราการไหลของแก๊สแอลพีจี





รูปที่ ง2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของปรอทในมาโนมิเตอร์กับอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นางสาวภัทรานิษฐ์ ไททยสุวรรณ เกิดวันที่ 5 มกราคม 2514 ที่จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2534 และเข้าศึกษาต่อที่ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2535



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย